

ANÁLISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X PORTÁTIL DE PIGMENTOS DE ARTE LEVANTINO Y ESQUEMÁTICO DE ABRIGOS DEL RÍO VERO (HUESCA, NORESTE DE ESPAÑA)

PORTABLE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS OF LEVANTINE AND SCHEMATIC ART
PIGMENTS FROM THE RIVER VERO SHELTERS (HUESCA, NE SPAIN)

Pablo Martín-Ramos

Universidad de Valladolid
pmr@uva.es
<https://orcid.org/0000-0003-2713-2786>

José Antonio Cuchí-Oterino

Universidad de Zaragoza
cuchi@unizar.es
<https://orcid.org/0000-0001-9067-2940>

Manuel Bea Martínez

Universidad de Zaragoza
manubea@unizar.es
<https://orcid.org/0000-0002-2841347>

Recepción: 22/12/2023. Aceptación: 22/01/2024
Publicación on-line: 6/03/2024

RESUMEN: El cañón del río Vero (Huesca, España) contiene un excepcional legado arqueológico con más de sesenta abrigos rocosos con pinturas rupestres y forma parte del Patrimonio Mundial "Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica". Este estudio presenta los resultados del análisis *in situ* y no destructivo de la composición multielemental de los pigmentos utilizados en ocho de los principales abrigos mediante espectroscopía de fluorescencia de rayos X portátil (pXRF): Chimiachas, Muriecho y Arpán (Arte Levantino); y Mallata, Barfaluy, Quizans, Lecina Superior y Forau del Cocho (Arte Esquemático). Los pigmentos rojos, basados en minerales de hierro, fueron los más abundantes en todos los conjuntos analizados. Los pigmentos negros, en ausencia de manganeso, estaban asociados al carbón de huesos o al negro carbón, probablemente, de naturaleza vegetal. A través del contenido en fósforo, se aportan pruebas del uso de fosfatos óseos como componente de las pinturas, bien como carga o como aglutinante. Los estudios geológicos indican que el yeso detectado es de origen externo, probablemente asociado al polvo atmosférico rico en yeso. Los valores de pXRF de este amplio conjunto de pinturas puede servir de base para futuros estudios de caracterización en los que se utilicen otras técnicas portátiles de análisis químico.

Palabras clave: Análisis multielemental; espectroscopía de fluorescencia de rayos X; Parque Cultural del Río Vero.

ABSTRACT: The Vero River canyon in Huesca, Spain, boasts a remarkable archaeological heritage comprising over sixty rock shelters adorned with cave paintings. This site is integral to the World Heritage designation 'Rock Art of the Mediterranean Basin on the Iberian Peninsula'. This research unveils findings from a non-invasive, *in situ* multi-elemental composition analysis of pigments employed in eight key shelters. The analysis, conducted through portable X-ray fluorescence spectroscopy (pXRF), focuses on the cave paintings of Chimiachas, Muriecho, and Arpán (representing Levantine Art), as well as Mallata, Barfaluy, Quizans, Lecina Superior, and Forau del Cocho (representing Schematic Art). Across all River Vero rock shelters, red pigments dominated, composed of iron minerals. Black pigments, devoid of manganese, were linked to bone char or vegetal carbon black. The presence of phosphorus indicates the utilization of bone phosphates in the paints, either as a filler or as a binder. Geological assessments reveal that the identified gypsum originates externally, likely associated with gypsum-rich atmospheric dust. This comprehensive pXRF analysis of the extensive painting collection can serve as a foundational reference for future characterization studies utilizing alternative portable chemical analysis techniques.

Keywords: multi-elemental analysis; X-ray fluorescence spectroscopy; River Vero Cultural Park.

Cómo citar este artículo / How to cite this article: Martín-Ramos, P., Cuchí-Oterino, J. A., y Bea Martínez, M. (e.p.). Análisis por fluorescencia de rayos X portátil de pigmentos de arte levantino y esquemático de abrigos del río Vero (Huesca, Noroeste de España). *Salduie*, 24.1: 1-26. https://doi.org/010.26754/ojs_salduie/sald.2024110024

1. INTRODUCCIÓN

El Parque Cultural del Río Vero está situado en la Sierra de Guara y zonas limítrofes (afloramientos meridionales del Pirineo Central), en la provincia de Huesca, y contiene un excepcional legado arqueológico de más de 60 abrigos con pinturas rupestres, recogidos en diversos trabajos (Beltrán 1993; Calvo, 1993; Baldellou 1990; Baldellou *et al.* 2009; Utrilla 2000; Hameau y Painaud 2004; Bea, 2018; Bea y Lanau 2021; Lanau 2019), localizados en unos pocos kilómetros cuadrados de una zona francamente agreste. En diferentes abrigos rocosos se pueden encontrar magníficos ejemplos de los tres ciclos artísticos clásicos del arte rupestre europeo: Paleolítico (40.000–10.000 a.C.), y otros dos de cronología post-paleolítica (desde el 10.000 a.C.), a saber, Levantino y Esquemático.

Debido a la importancia de este núcleo de arte rupestre, estos yacimientos fueron inscritos en 1998 en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO, como parte del “Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica” y en 2001 fue declarado Parque Cultural del Río Vero (Decreto 110/2001) por el Gobierno de Aragón (Juste, 2008), en aplicación de la Ley 12/1997 de Parques Culturales de Aragón, contando con las manifestaciones rupestres como uno de los principales ejes vertebradores del Parque (Baldellou *et al.*, 2009).

Como es conocido, el abrigo de Gallinero, con un conjunto de motivos esquemáticos, fue señalado por P. Minvielle en 1969. El descubrimiento de otros abrigos decorados se produjo a raíz de diferentes campañas de prospección llevadas a cabo por A. Beltrán (Beltrán 1979, 1985, 1990) y, sobre todo, por V. Baldellou y su equipo (Baldellou *et al.* 1983a, 1983b, 1985, 1986a, 1986b, 1988, 1993, 2000; Painaud y Ayuso 2021).

Tras la fase de descubrimiento, la inclusión en la Lista del Patrimonio Mundial y la declaración del Parque Cultural, la atención se ha centrado en el estudio, difusión, documentación y conservación de este patrimonio. A modo de ejemplo, se ha llevado a cabo una exhaustiva documentación geométrica mediante escáner láser y técnicas fotogramétricas en diversos conjuntos tanto levantinos como esquemáticos (Arpán, Chimiachas, Lecina Superior, Mallatas...) y en el paleolítico de la cueva de la Fuente del Trucho (Bea y Angás 2014; Bea *et al.* 2021). También se han realizado análisis de pigmentos mediante técnicas destructivas (LA-ICPMS) en los abrigos de Barfaluy,

Coveta de l'Engardaixo, Gallinero, Mallata, La Raja y Cueva de Regacens (Resano *et al.* 2007). Sin embargo, la carencia de un análisis exhaustivo de las pinturas del Parque Cultural del Río Vero ha determinado que el presente trabajo se aborde utilizando una técnica no destructiva de análisis *in situ*: la espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil (pXRF).

Durante la última década, esta técnica ha sido ampliamente utilizada como método para identificar la composición de pigmentos en el arte rupestre (Beck *et al.*, 2014; Roldán *et al.*, 2010; Sepúlveda *et al.*, 2015; Chanteraud *et al.* 2021; Trosseau *et al.* 2021), dado que su estado de desarrollo tecnológico ha evolucionado y que existen procedimientos de calibración robustos, fácilmente realizables y ampliamente disponibles (Lemièrre y Harmon 2021). Las limitaciones de esta técnica, descritas en Zerboni *et al.* (2022) y Domingo *et al.* (2021), pueden superarse en parte aplicando procedimientos de Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (GC/MS). Además, el equipamiento pXRF ofrece ventajas en comparación con otros analizadores químicos portátiles de campo (como los basados en la espectroscopia de descomposición inducida por láser, LIBS) cuando se aborda la detección de elementos con alto potencial de ionización (por ejemplo, S, P, F, Cl y Br) y no requiere un conjunto de estándares estrechamente emparejados con la matriz para el análisis cuantitativo (Lemièrre y Harmon 2021).

El objetivo del estudio es determinar los componentes químicos que se encuentran en las pinturas postpaleolíticas de la cuenca del río Vero y establecer (si fuera posible) semejanzas y diferencias en la composición de los conjuntos estudiados en función de estilos, temáticas o distribución.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y abrigos seleccionados

Las sierras prepirenaicas, entre ellas las de Guara y Carrodilla, tienen un paisaje muy accidentado, con profundos cañones fluvio-kársticos en los que hay numerosos abrigos, resultado de la erosión diferencial (Cuchi *et al.* 2021). En algunos de ellos se han localizado pinturas rupestres. Una de las zonas más ricas en esta manifestación es la cuenca del río Vero. Siete abrigos con pinturas de esta cuenca, más el Forau del Cocho, en la sierra de Estadilla, han sido seleccionados para este trabajo (Fig. 1). Todos los abrigos,

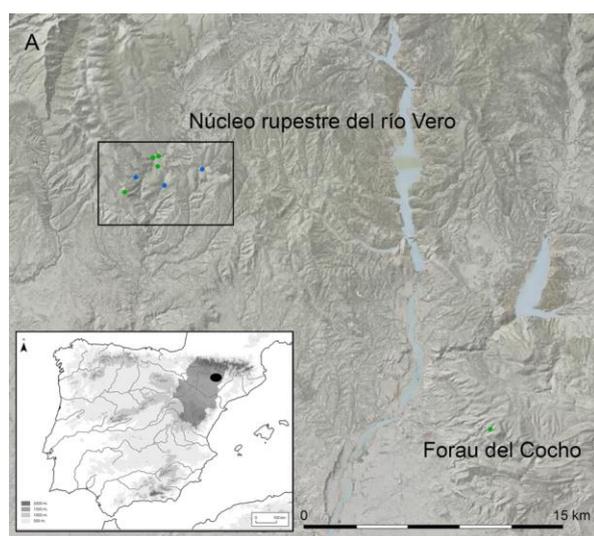
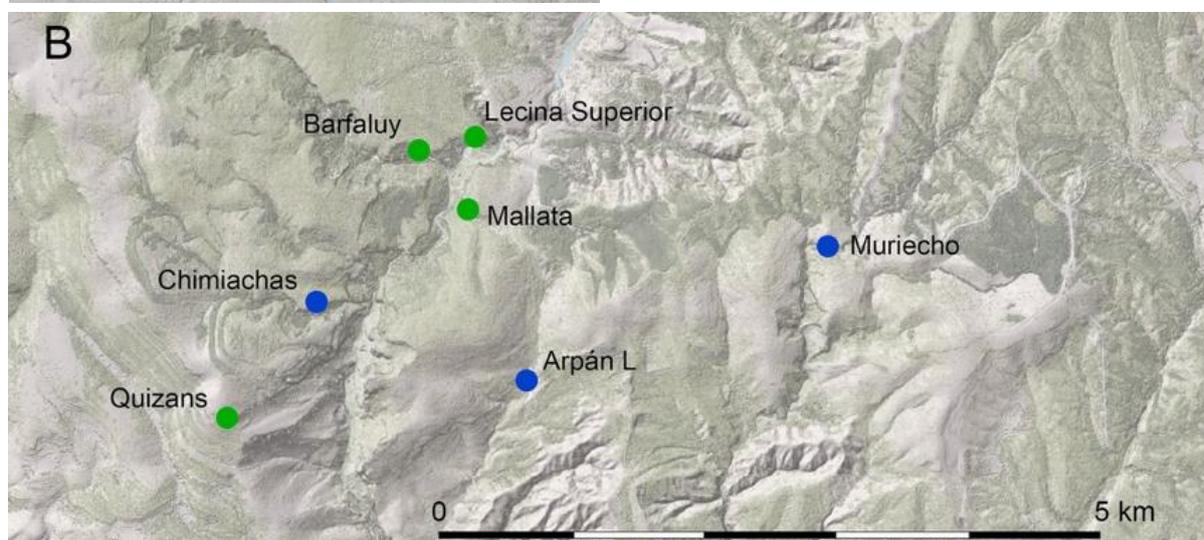


Figura 1. Localización de los abrigos rocosos del cañón del río Vero (Huesca, noreste de España). El mapa B amplía el área encerrada en un recuadro en el mapa A. Los yacimientos de Arte Levantino están marcados en azul, mientras que los abrigos de Arte Esquemático están marcados en color verde. Norte hacia la parte superior.



excepto el de Forau del Cocho, se localizan en un área inferior a 20 km². La selección de los ocho abrigos rupestres se ha basado en el estilo de las pinturas, el número de motivos, la representatividad, la filiación crono-cultural y el grado de conservación. Como conjuntos de Arte Levantino, que exhiben como características un fuerte naturalismo de las representaciones y una clara intencionalidad en la definición de las escenas (Bea *et al.* 2021), se han investigado los de Chimiachas, Muriecho y Arpán, situados en el límite noroccidental de la zona del Vero.

2.2. Marco geológico

Todos los abrigos estudiados en este trabajo están abiertos en calizas de la formación Guara de edad Luteciense (Eoceno medio) que consiste en una rampa

de carbonatos marinos someros (Silva-Casal *et al.* 2019, 2021), rica en fósiles de foraminíferos. En el río Vero, esta unidad alcanza espesores de varios centenares de metros, en estratos de orden decamétrico de calizas bioclásticas con textura *grainstone-packstone* (Geoartec 2014). La calcita es prácticamente el único mineral identificado a partir de los difractogramas de rayos X de polvo en las muestras de Arpán, Mallata I y Lecina en las que no se encontró yeso.

Respecto a las pinturas de Arte Esquemático, con motivos abstractos y figurativos y a las que se atribuye una amplia cronología (Lanau y Hameau 2021), se han estudiado los de Mallata, Barfaluy, Quizans, Lecina Superior y Forau del Cocho. La inclusión de este último, pese a su ubicación a 27 km en línea recta del resto, se ha debido a la relativamente alta intensidad de su coloración roja, que llevó a sugerir la presencia de cinabrio como pigmento.

2.3. Mediciones pXRF in situ

Las mediciones se han realizado entre junio de 2020 y junio de 2021, con el permiso de las autoridades culturales del Gobierno de Aragón y la inestimable colaboración del Parque Cultural del Vero. Las determinaciones in situ han tratado de ajustarse a las recomendaciones sobre protocolos de investigación de UNESCO-ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Sitios) ratificadas en su Asamblea General de en Zimbabue (ICOMOS, 2003), frente a la obtención de micromuestras y su examen en laboratorio mediante técnicas destructivas (Hernanz *et al.* 2014).

La caracterización in situ y no destructiva de los pigmentos murales se ha realizado con un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X modelo NITON XL3t GOLDD+ (ThermoFisher Scientific; Waltham, MA, EE.UU.), equipado con un tubo de rayos X de 2 W y un detector de deriva de silicio. El rango de elementos a determinar ha incluido los comprendidos entre el Mg y el U y excluye C, O, H y N, relacionados con la materia orgánica. Dado el reducido espesor de la capa de pintura y la capacidad de penetración del haz de rayos X, conviene recalcar que los resultados pueden verse afectados por la composición de la roca subyacente o depósitos superficiales.

Los puntos analizados han sido seleccionados en función de las figuras representadas en cada abrigo, y están numerados en calcos de las pinturas (excepto los puntos analizados en Quizans y Forau del Cocho, indicados sobre fotografías). En las figuras grandes, los análisis han sido realizados para varios puntos (p. e. en el ciervo de Chimiachas), mientras que en las pequeñas el análisis se ha centrado en las áreas de mayor intensidad de color que, en el caso de los motivos humanos, solían corresponder a la cabeza. Además, con fines comparativos, también se han tomado algunas medidas en la roca sin pintar. Para una mejor comprensión de los resultados, los puntos de muestreo aparecen junto a los resultados obtenidos.

Referencia	Bal *	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
1	57,32	0,83	-	29,23	0,30	1,30	0,12	10,64	0,10	0,10
2	55,26	2,05	0,03	27,78	0,57	2,02	-	11,88	0,12	0,19
3	56,52	0,72	0,05	28,17	0,47	1,98	0,08	11,70	0,08	0,17
4	56,81	1,03	0,07	25,94	0,85	3,61	0,12	11,09	0,11	0,34
5	54,94	0,71	0,09	27,51	0,75	3,93	0,08	10,39	0,11	0,35
6	51,47	0,80	0,06	26,35	1,21	3,32	0,16	16,17	0,13	0,30
7	52,75	0,81	0,05	30,31	0,52	2,11	-	13,09	0,11	0,21
8	49,06	0,59	0,03	33,79	0,79	2,39	0,22	12,75	0,14	0,18
9	58,05	0,67	0,04	33,95	0,35	1,43	0,49	4,68	0,19	0,09
Media	54,69	0,91	0,05	29,23	0,64	2,46	0,18	11,38	0,12	0,21

* Bal (balance): diferencia al 100% de la suma de todos los elementos medidos. Incluye elementos con número atómico $Z \leq 11$, principalmente C, N, O, F y Na.

Tabla 1. Composición química de la pintura de ciervo de Chimiachas (expresada en porcentajes) determinada por pXRF.

En la presentación de resultados a partir de los datos brutos del análisis multielemental sólo se han seleccionado los elementos más importantes, seguidos de una normalización al 100%.

2.4 Análisis estadístico

Para reducir el número de variables y determinar la idoneidad de agrupar o dividir las pinturas de los ocho abrigos rocosos en función de las características litológicas pigmento/roca, se ha utilizado el análisis de componentes principales (ACP) con normalización de Kaiser como herramienta exploratoria. Los análisis estadísticos han sido realizados en el programa informático IBM SPSS (IBM, Armonk, NY, EE.UU.).

3. RESULTADOS

3.1. Chimiachas

Chimiachas es famoso por la espléndida figura solitaria de un gran ciervo macho (Fig. 2) (Baldellou *et al.* 1986).

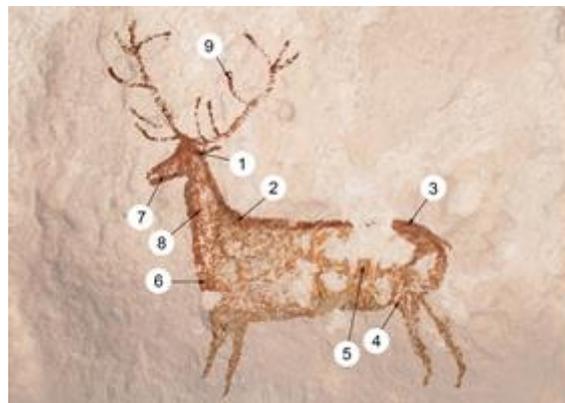


Figura 2. Ciervo de Chimiachas. Puntos de muestreo sobre calco digital (según M. Bea).

Referencia	Bal	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
C1	49,01	0,04	-	36,27	-	0,82	0,25	13,27	0,09	0,04
C2	55,20	0,09	0,03	27,69	0,54	2,63	0,06	12,52	0,13	0,09
C3	46,34	0,72	0,14	27,29	2,61	7,82	0,56	13,52	0,19	0,71

#C1, delaminaciones blancas; #C2, zona naranja natural; #C3, zona sucia a la altura de los pies.

Tabla 2. Composición química de la roca sustrato del abrigo rocoso de Chimiachas (expresada en %) determinada por pXRF.

3.2. Muriecho

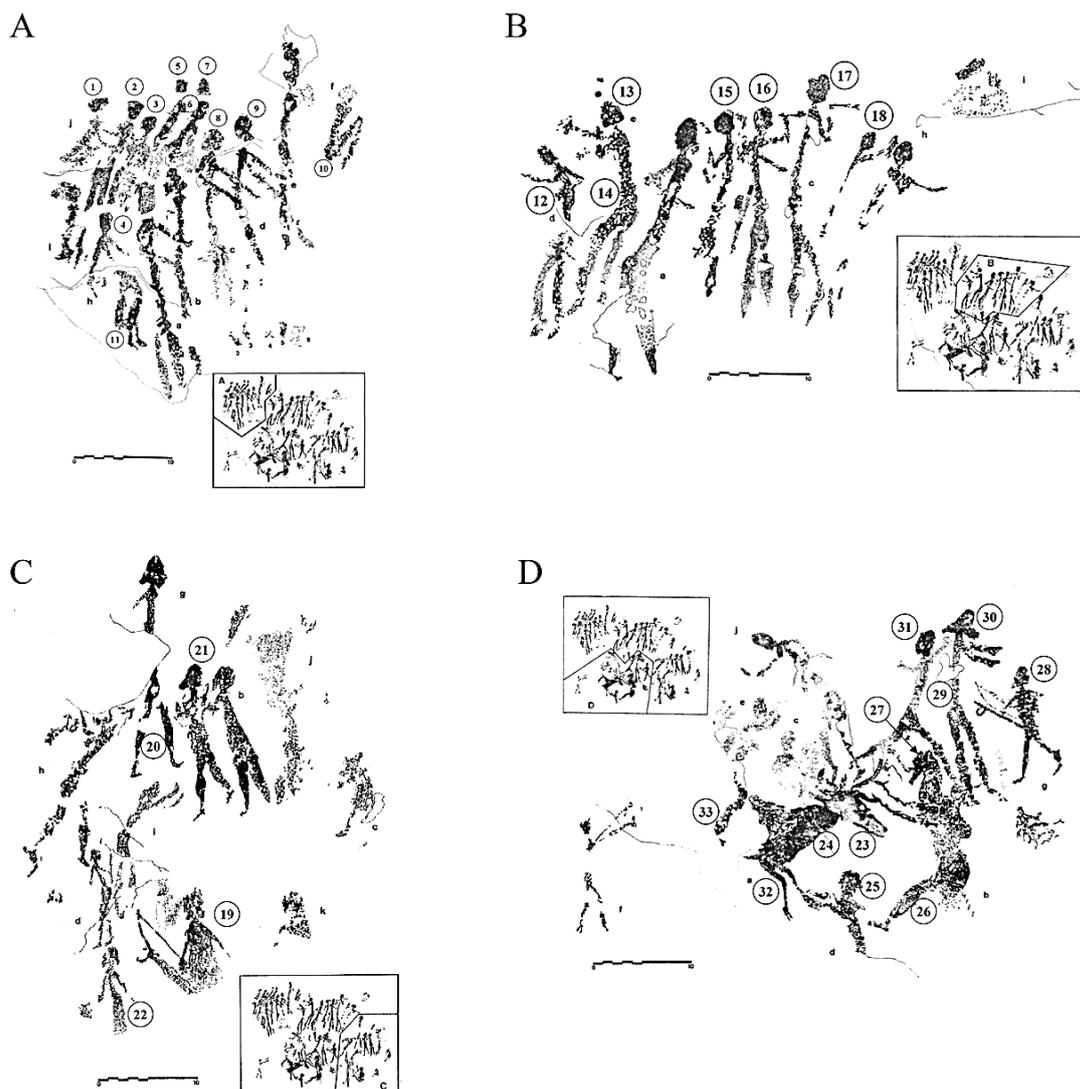
El abrigo de Muriecho está dividido en cuatro paneles (Baldellou *et al.* 2000).

En el primero (Fig. 3), aparecen abundantes figuras cuya agrupación ha sido interpretada como una escena ceremonial (con figuras humanas tocando

música y bailando, todas integra-das en una escena ritual de caza de un venado vivo (Utrilla y Martínez Bea 2005). En el panel 2 se observan dos antropomorfos; en el panel 3, restos no identificables; y en el panel 4, un ciervo mal conservado. La escena de caza es conocida por sus pinturas de color rojo oscuro, con tendencia al castaño.

Figura 3. A. Puntos analizados del abrigo de Muriecho del sector 1 (sobre calco de Baldellou *et al.* 2000):

- B. Sección B del sector 1
- C. Sección C del sector 1
- D. Sección D en el sector 1



Referencia	Sector	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
1	A	54,41	5,23	0,04	23,03	0,89	2,17	0,35	13,29	0,09	0,41
2	A	56,86	2,30	0,04	27,94	1,01	2,68	0,18	8,50	0,11	0,31
3	A	56,81	3,20	0,05	27,05	0,91	2,40	0,20	8,89	0,11	0,32
4	A	52,81	4,10	0,04	25,57	0,79	2,09	0,18	13,93	0,09	0,33
5	A	49,96	4,00	0,04	26,91	1,01	2,32	0,16	14,31	0,08	0,35
6	A	48,97	2,69	0,06	27,66	1,04	2,41	0,24	16,44	0,07	0,34
7	A	50,07	3,48	0,06	27,39	1,60	3,58	0,31	12,88	0,09	0,44
8	A	50,84	2,40	0,06	28,59	1,43	3,48	1,01	10,60	0,11	0,44
9	A	55,41	4,27	0,07	24,38	0,81	2,54	0,61	11,16	0,07	0,57
10	A	53,79	2,45	0,06	27,94	1,10	2,83	0,10	11,26	0,08	0,35
11	A	55,30	2,50	0,07	27,66	0,92	2,84	0,73	9,28	0,09	0,50
Media	Sector A	53,20	3,33	0,05	26,74	1,05	2,67	0,37	11,97	0,09	0,40
12	B	51,98	3,12	0,08	27,81	0,99	2,92	0,61	11,96	0,07	0,37
13	B	46,89	3,24	0,07	25,56	1,00	2,41	0,25	20,08	0,04	0,38
14	B	42,72	2,59	0,06	28,30	1,17	2,69	0,35	21,59	0,08	0,38
15	B	43,45	2,15	0,06	26,14	0,80	1,87	0,32	24,75	0,05	0,34
16	B	45,11	3,00	0,06	24,97	0,86	1,97	0,29	23,24	0,04	0,39
17	B	45,04	8,10	0,07	24,39	1,04	2,15	0,19	18,48	0,07	0,39
18	B	49,36	3,49	0,05	24,16	0,40	1,45	0,16	20,55	0,05	0,28
Media	Sector B	46,36	3,67	0,06	25,90	0,89	2,21	0,31	20,09	0,06	0,36
19	C	47,65	2,04	0,10	25,13	1,52	3,93	0,47	18,48	0,04	0,50
20	C	45,99	3,35	0,06	23,72	1,00	2,25	0,44	22,73	0,04	0,38
21	C	42,19	3,42	0,06	24,94	1,24	3,06	0,12	24,43	0,05	0,37
22	C	47,90	2,26	0,10	27,76	2,48	5,50	1,03	11,52	0,10	0,60
Media	Sector C	45,93	2,77	0,08	25,39	1,56	3,69	0,51	19,20	0,06	0,46
23	D	51,04	1,79	0,08	30,09	1,79	4,33	1,62	8,55	0,12	0,46
24	D	51,39	5,25	0,09	25,50	1,60	4,21	1,15	9,88	0,10	0,59
25	D	48,69	3,01	0,10	26,19	1,63	4,12	0,76	13,84	0,11	0,63
26	D	51,37	1,78	0,10	27,84	1,99	4,79	0,84	10,41	0,15	0,63
27	D	56,67	2,18	0,08	25,98	1,34	3,83	1,24	7,97	0,07	0,50
28	D	44,65	2,07	0,07	26,56	1,53	3,44	0,61	20,43	0,05	0,46
29	D	44,36	1,89	0,07	26,30	1,49	3,34	0,64	21,33	0,06	0,42
30	D	45,65	2,47	0,07	24,92	1,93	3,99	0,47	19,88	0,06	0,48
31	D	51,67	1,92	0,10	25,09	1,12	3,13	0,72	15,03	0,06	0,44
32	D	49,49	3,80	0,10	25,09	2,11	4,86	0,66	12,93	0,07	0,68
33	D	47,57	0,90	0,10	25,17	1,88	4,18	0,41	19,05	0,05	0,60
Media	Sector D	49,32	2,46	0,09	26,25	1,67	4,02	0,83	14,48	0,08	0,53
Media	Total	49,58	3,04	0,07	26,23	1,29	3,14	0,53	15,38	0,08	0,44

Tabla 3. Composición química de las pinturas del abrigo de Muriecho (en %) determinada por pXRF.

Referencia	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
C1	56,59	-	0,05	41,03	-	0,60	-	1,64	0,04	-
C2	57,71	0,33	0,05	38,79	0,67	2,13	-	0,14	-	0,14

Tabla 4. Composición química del soporte en abrigo de Muriecho (en %) determinada por pXRF.

3.3. Arpán

El abrigo de Arpán, como en el caso de Muriecho, también se encuentra dividido en cuatro sectores (Baldellou *et al.* 1993).

El sector uno (Fig. 4), junto con restos no identificables, presenta algunos animales, un arquero y, posiblemente, un escalador. En el sector dos solo hay sólo manchas y rastros informales y que no se han analizado. El sector tres (Fig. 4.B y 5.A y 5.B) presenta dos ciervos, uno casi completo, así como un arquero y una posible figura humana desvaída. El sector 4 (Fig. 5.C) no es levantino y presenta figuras toscas de un arquero y un ciervo.

3.4. Mallata

Los abrigos de Mallata I, B1 y C cuelgan sobre el acantilado de la peña del mismo nombre, donde recientemente se han descubierto otros abrigos (Lanau *et al.* 2021).

En Mallata I hay varios antropomorfos, uno de un tamaño relativamente grande; tres escenas en las que los humanos atan a los animales por el hocico; y varias figuras geométricas, entre ellas dos cruces inscritas en círculos (Figs. 6 y 7).

Mallata B1 muestra varias pinturas organizadas en tres sectores: el panel 1 muestra varios antropomorfos, dos de los cuales sujetan a un cuadrúpedo

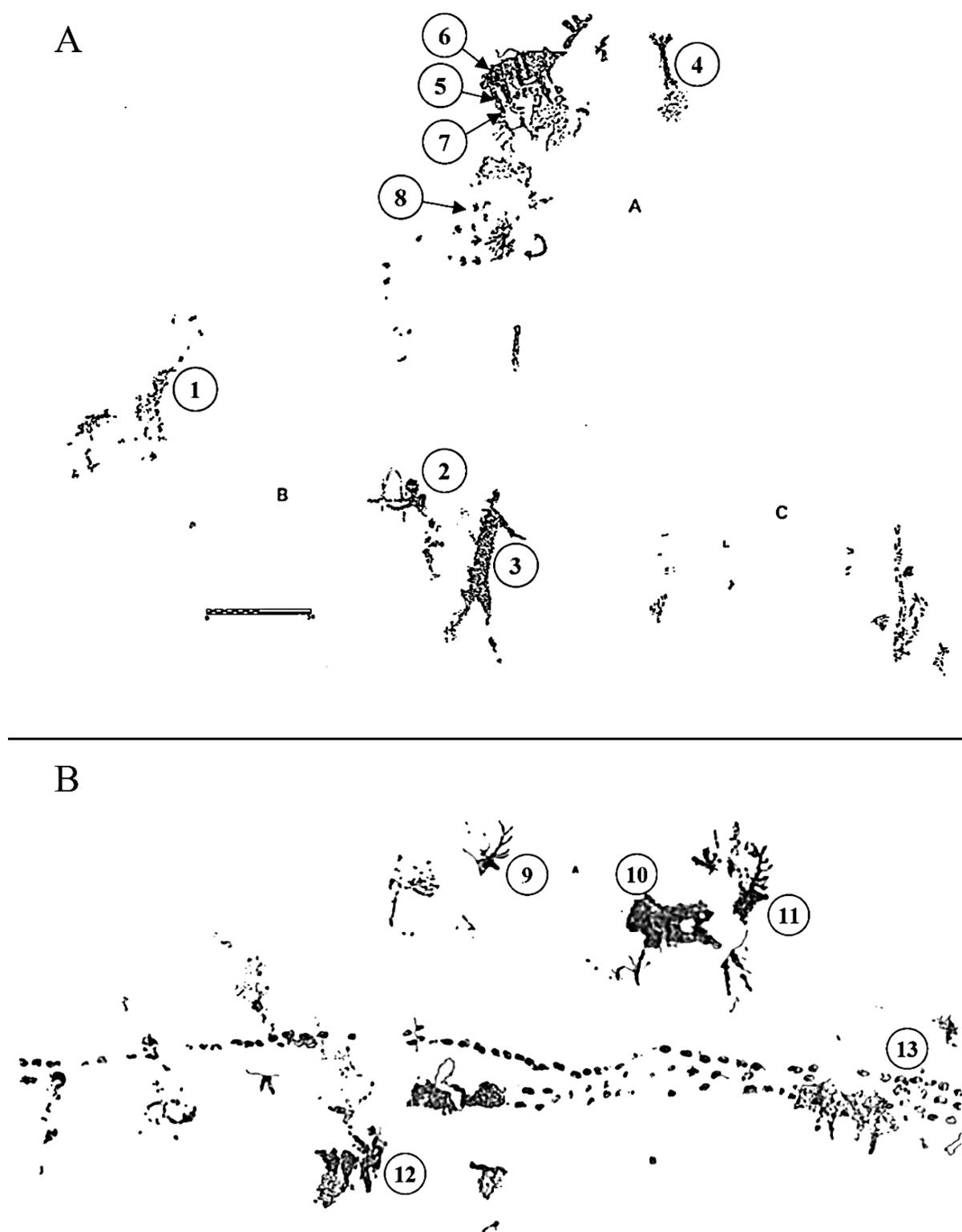


Figura 4. Puntos analizados en el abrigo de Arpán L.
(sobre calco de Baldellou *et al.* 1993):

A. Sector 1

B. Zonas A y B del sector 3

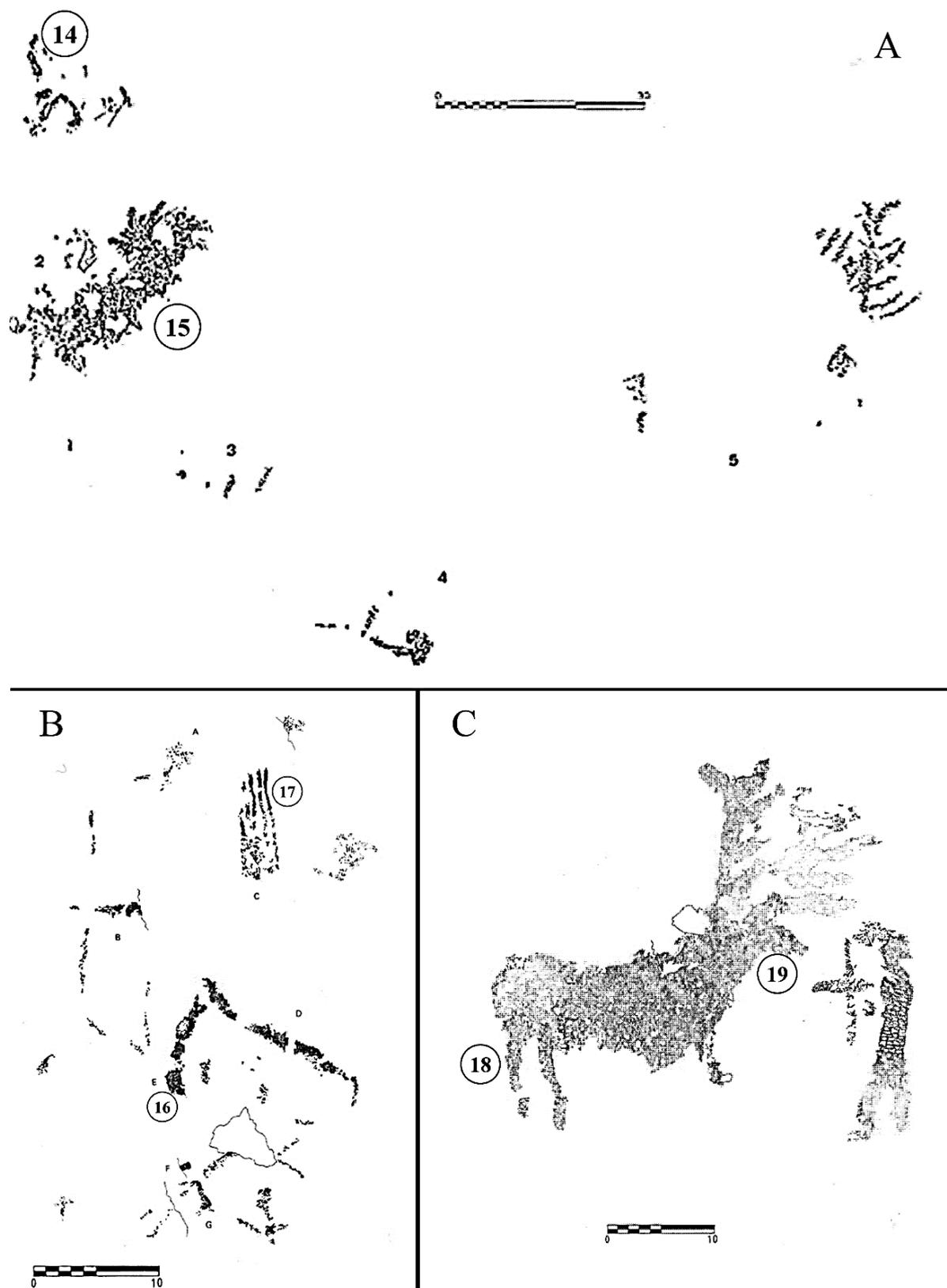


Figura 5. Puntos analizados en el abrigo de Arpán L. (sobre calco de Baldellou *et al.* 1993):

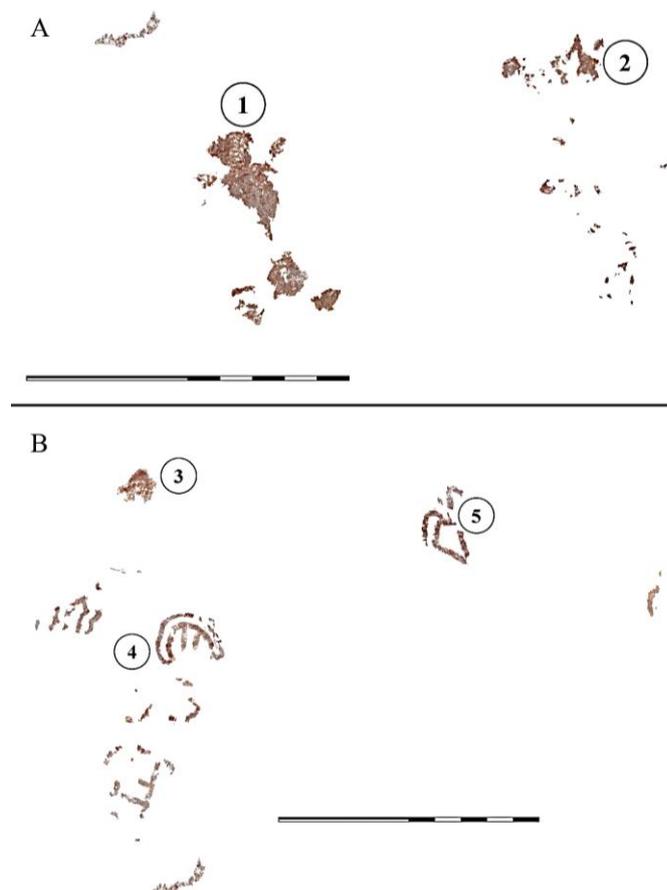
- A. Zona C del sector 3
- B. Zona D del sector 3
- C. Sector 4

Referencia	Sector	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
1	1	56,69	0,89	0,06	34,42	1,36	4,29	-	1,73	0,15	0,35
2	1	53,69	1,49	0,10	29,57	1,30	5,03	0,55	7,49	0,12	0,63
3	1	58,05	2,98	0,06	27,62	1,71	6,42	1,36	1,22	0,09	0,41
4	1	45,49	1,07	0,04	29,10	0,52	1,20	0,20	22,14	0,03	0,17
5	1	58,20	2,01	-	31,29	0,68	3,46	0,32	3,67	0,09	0,21
6	1	58,41	0,97	0,03	31,51	0,52	4,90	0,13	3,22	0,09	0,17
7	1	58,77	1,62	0,04	31,01	0,43	2,61	0,10	5,09	0,08	0,17
8	1	59,22	1,05	0,05	34,57	0,55	2,15	0,18	1,84	0,12	0,24
9	3A/B	42,96	1,03	0,04	28,96	1,08	2,53	0,57	22,58	0,04	0,15
10	3A/B	51,41	5,85	0,06	22,69	0,44	1,68	0,12	17,10	0,09	0,44
11	3A/B	50,86	3,07	0,06	27,10	0,56	1,51	0,06	16,29	0,12	0,32
12	3A/B	50,23	1,30	0,09	27,44	1,27	3,67	-	15,22	0,13	0,51
13	3A/B	54,52	1,08	0,13	25,53	0,88	3,82	0,27	12,86	0,21	0,64
14	3C	43,91	6,54	0,03	24,22	0,85	1,55	0,37	22,21	0,05	0,19
15	3C	52,95	0,89	0,05	30,00	0,94	2,72	0,23	11,73	0,12	0,30
16	3D	55,32	4,97	0,04	28,28	0,79	2,95	0,67	6,44	0,17	0,31
17	3D	55,38	0,79	0,05	35,12	0,64	1,97	0,27	5,42	0,18	0,13
18	4	50,95	1,94	0,15	24,19	2,88	8,03	1,83	8,85	0,21	0,82
19	4	47,88	1,72	0,08	25,56	2,75	8,11	3,16	9,83	0,27	0,57
Media		52,89	2,17	0,06	28,85	1,06	3,61	0,61	10,26	0,12	0,35

Tabla 5. Composición química de las pinturas del refugio de Arpán (en %) determinada por pXRF.

Referencia	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
C1	53,17	0,13	-	41,77	0,87	2,83	-	0,95	0,11	0,13
C2	50,09	0,08	0,03	39,54	0,47	1,36	0,09	8,11	0,06	0,10
C3	49,68	0,65	0,11	30,18	1,45	4,56	0,08	12,49	0,17	0,56
C4	50,54	0,85	0,12	26,18	1,59	5,06	0,55	14,23	0,16	0,66

Tabla 6. Composición química de la roca madre del refugio de Arpán (en %) determinada por pXRF.



con una cuerda (Fig. 8.A); el panel 2 está formado por figuras geométricas (Fig. 8.B); y en el panel 3 hay varios ramiformes (Fig. 8.C).

El abrigo de Mallata C, próximo a los anteriores, contiene un conjunto pictórico de análoga temática y estilo (aunque peor conservado), repartido en 8 sectores diferenciados, sobre los que no se llevaron a cabo análisis.

Figura 6. Puntos analizados en el abrigo de Mallata I: (calcos según M. Bea):

A. Sector 1a
B. Sector 1c

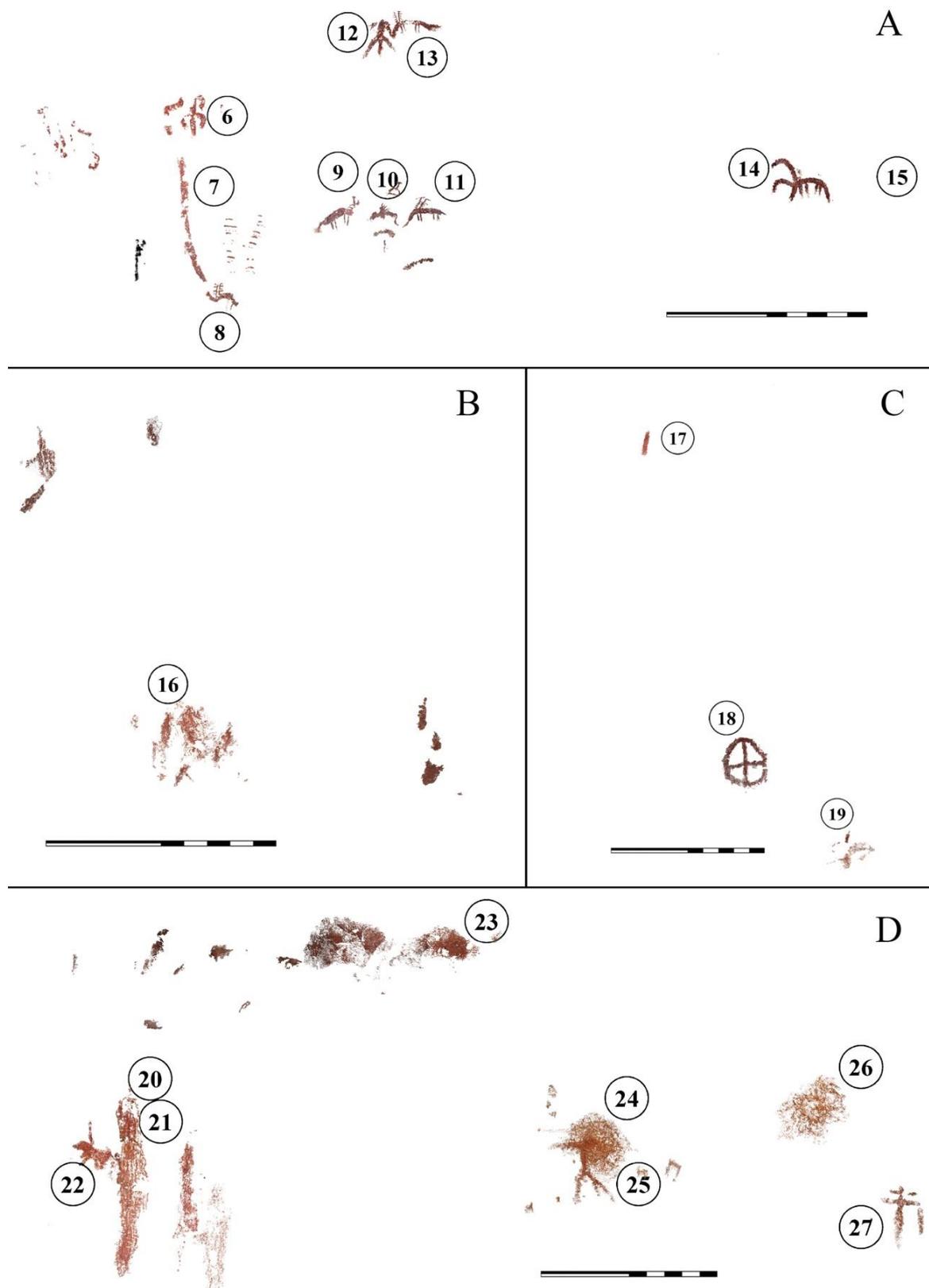


Figura 7. Puntos analizados en el abrigo de Mallata I (calcos según M. Bea):

- A. Sector 2
- B. Sector 3
- C. Sector 4
- D. Sector 5

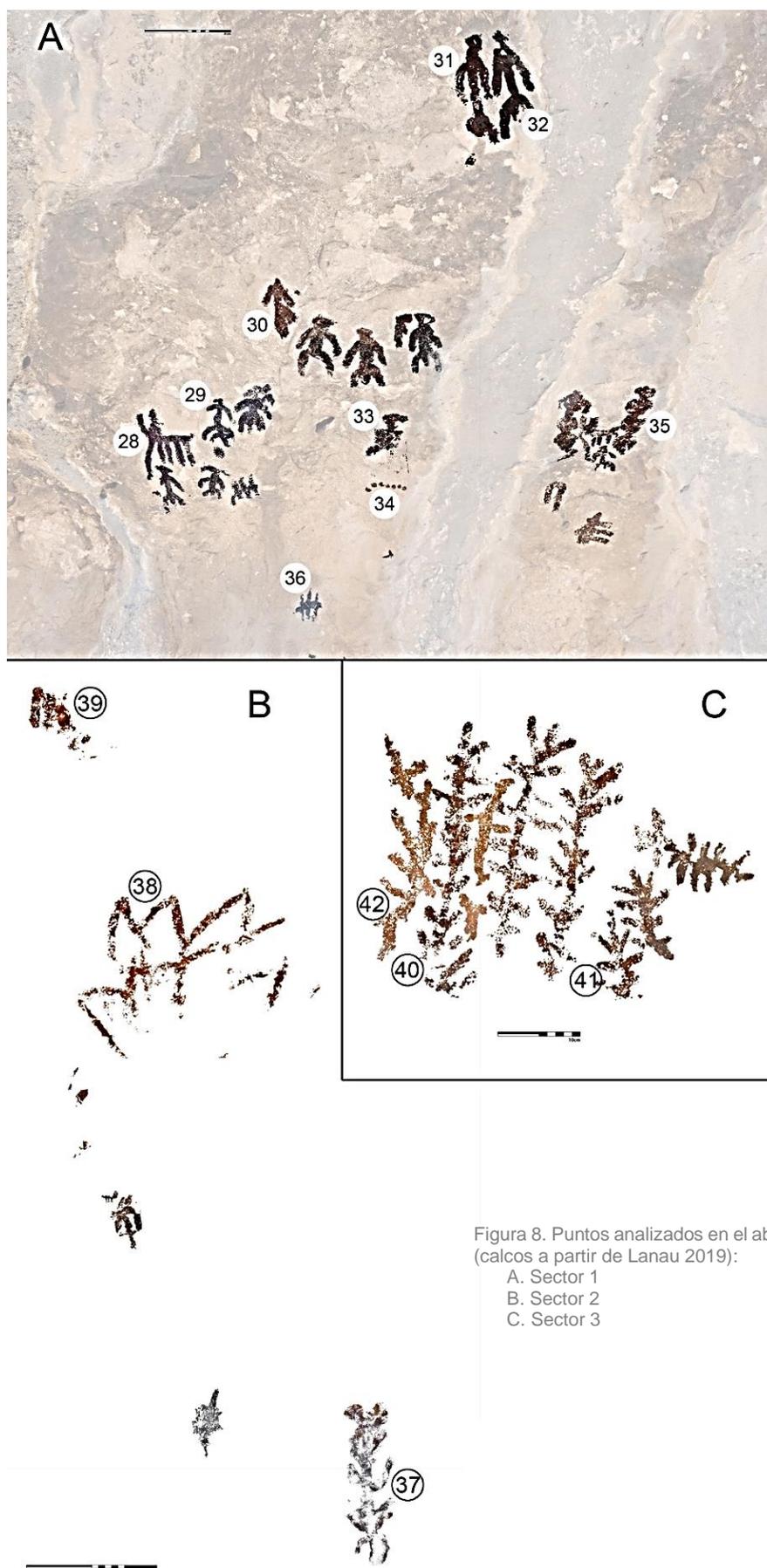


Figura 8. Puntos analizados en el abrigo de Mallata B1 (calcos a partir de Lanau 2019):

- A. Sector 1
- B. Sector 2
- C. Sector 3

<i>Mallata I</i>											
Referencia	Sector	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
1	1	59,74	2,21	0,08	25,88	0,84	5,32	0,35	5,12	0,10	0,29
2	1	52,30	1,04	0,07	28,93	1,58	10,09	0,15	5,11	0,23	0,40
3	1	59,06	2,20	0,07	28,39	1,05	2,84	0,89	4,95	0,23	0,25
4	1	56,05	3,25	0,06	28,77	0,97	3,28	0,17	5,88	0,22	0,36
5	1	55,21	3,48	0,07	29,12	1,55	4,50	0,33	5,11	0,21	0,33
6	2	47,91	3,57	0,05	28,22	1,36	2,86	-	14,29	0,14	0,30
7	2	51,40	2,87	0,05	28,07	0,67	2,12	0,43	12,95	0,05	0,20
8	2	50,74	3,49	0,07	26,95	1,38	3,51	0,55	11,68	0,12	0,38
9	2	49,81	2,43	0,05	28,84	1,21	2,74	0,48	14,08	0,05	0,24
10	2	48,20	1,80	0,08	30,04	1,23	3,80	0,52	13,86	0,07	0,34
11	2	50,39	4,32	0,06	27,71	1,05	2,84	1,02	10,96	0,21	0,35
12	2	50,36	0,69	0,04	33,91	1,10	2,57	0,22	10,76	0,13	0,15
13	2	54,05	4,35	0,03	28,68	0,76	2,05	0,35	9,30	0,14	0,22
14	2	51,61	5,08	0,05	30,46	1,25	4,21	0,46	6,33	0,05	0,39
15	2	52,06	0,74	0,06	34,85	0,72	2,28	0,50	8,44	0,06	0,24
16	3	55,04	1,34	0,08	25,84	0,56	2,13	0,09	14,22	0,11	0,52
17	4	52,38	0,81	0,04	34,65	0,40	1,17	0,10	10,26	0,07	0,09
18	4	54,13	5,27	0,06	24,39	0,70	2,12	0,47	12,30	0,11	0,31
19	4	59,46	2,90	0,05	27,05	0,65	2,26	0,22	6,83	0,16	0,32
20	5	55,79	2,28	0,04	32,36	0,39	1,85	0,14	6,72	0,15	0,21
21	5	53,28	0,48	0,04	32,70	0,76	2,43	0,16	9,62	0,18	0,29
22	5	53,35	0,89	0,06	32,88	0,61	2,52	-	9,11	0,18	0,30
23	5	57,72	0,29	0,04	35,77	0,47	1,23	-	4,14	0,19	0,11
24	5	55,26	0,64	0,06	32,75	0,85	2,83	-	7,12	0,17	0,27
25	5	53,42	0,93	0,09	29,19	1,29	3,88	-	10,47	0,18	0,51
26	5	53,40	0,63	0,09	31,80	1,06	3,71	-	8,60	0,20	0,42
27	5	56,94	1,44	0,04	33,45	1,01	3,30	-	3,12	0,25	0,31
Media	Mallata I	53,67	2,20	0,06	30,06	0,94	3,13	0,38	8,94	0,15	0,30
<i>Mallata B1</i>											
Referencia	Sector	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
28	1	61,77	6,78	0,05	25,75	0,51	1,68	0,06	2,76	0,14	0,43
29	1	55,87	8,61	-	26,18	0,67	1,77	-	6,40	0,14	0,21
30	1	58,21	4,87	-	31,01	0,63	1,93	-	2,97	0,16	0,13
31	1	62,72	3,22	-	29,25	0,39	1,61	-	2,32	0,09	0,32
32	1	55,67	1,82	-	31,96	0,71	5,17	-	2,07	0,27	0,28
33	1	57,94	10,58	-	26,13	0,75	2,08	-	1,84	0,25	0,25
34	1	54,28	1,56	-	35,85	0,98	2,49	-	3,09	0,14	0,18
35	1	55,52	5,08	0,03	30,77	0,63	4,50	-	2,51	0,37	0,50
36	1	58,24	6,63	0,04	22,77	1,01	3,31	0,55	6,94	0,12	0,27
37	2	50,64	4,85	0,09	27,04	2,98	7,17	0,63	5,72	0,12	0,59
38	2	54,71	1,29	-	34,16	0,60	1,74	-	7,08	0,13	0,19
39	2	59,24	1,12	0,03	33,82	0,37	1,28	-	3,85	0,09	0,15
40	3	61,22	0,53	-	28,62	0,32	2,03	0,07	6,85	0,13	0,16
41	3	47,55	9,98	0,03	27,39	0,51	2,09	0,17	11,87	0,09	0,19
42	3	57,74	2,18	0,04	29,59	0,96	3,17	-	5,77	0,18	0,29
Media	Mallata B1	56,75	4,61	0,04	29,35	0,80	2,80	0,30	4,80	0,16	0,28
Media	Total	54,77	3,06	0,06	29,81	0,89	3,01	0,36	7,46	0,15	0,29

Tabla 7. Composición química de las pinturas de los abrigos Mallata I y Mallata B1 (en %) determinada por pXRF.

3.5. Barfaluy

En el paraje de Barfaluy existen cinco abrigos con pinturas diferenciados (I a V, siendo los tres primeros los más importantes) y con varios sectores definidos en cada uno de ellos.

En Barfaluy I, el primer sector (Fig. 9) está formado por varios cuadrúpedos, así como humanos con pies y manos marcados. En el centro, dos figuras humanas flanquean a una tercera tumbada. Todos

son motivos de líneas finas, de color rojo y bien conservados. En el sector dos (Fig. 10) se ha identificado un motivo muy desvaído en forma de ídolo oculado, único en el Parque Cultural del Río Vero. En el sector tres (Fig. 10) se observa una enigmática figura formada por cuatro zigzags superpuestos. En el sector cuatro hay una única digitación horizontal.

En Barfaluy II, en el sector 1 (Fig. 11.D), hay dos antropomorfos, uno posiblemente un jinete. En el sector 2 hay manchas difusas y signos abstractos

indeterminados, con un posible ramiforme u antropomorfo (Fig. 11.A). En el sector 3 hay figuras abstractas, incluyendo dos signos en forma de cruz, así como un antropomorfo y un motivo de ciervo (Fig. 11.B).

El sector 1 de Barfaluy III (Fig. 12), con pinturas negras, muestra un cuadrúpedo y un posible antropomorfo. En el sector 2 aparece un ciervo y un rebaño de cabras/íbex y en el sector 3 otro rebaño de cabras.

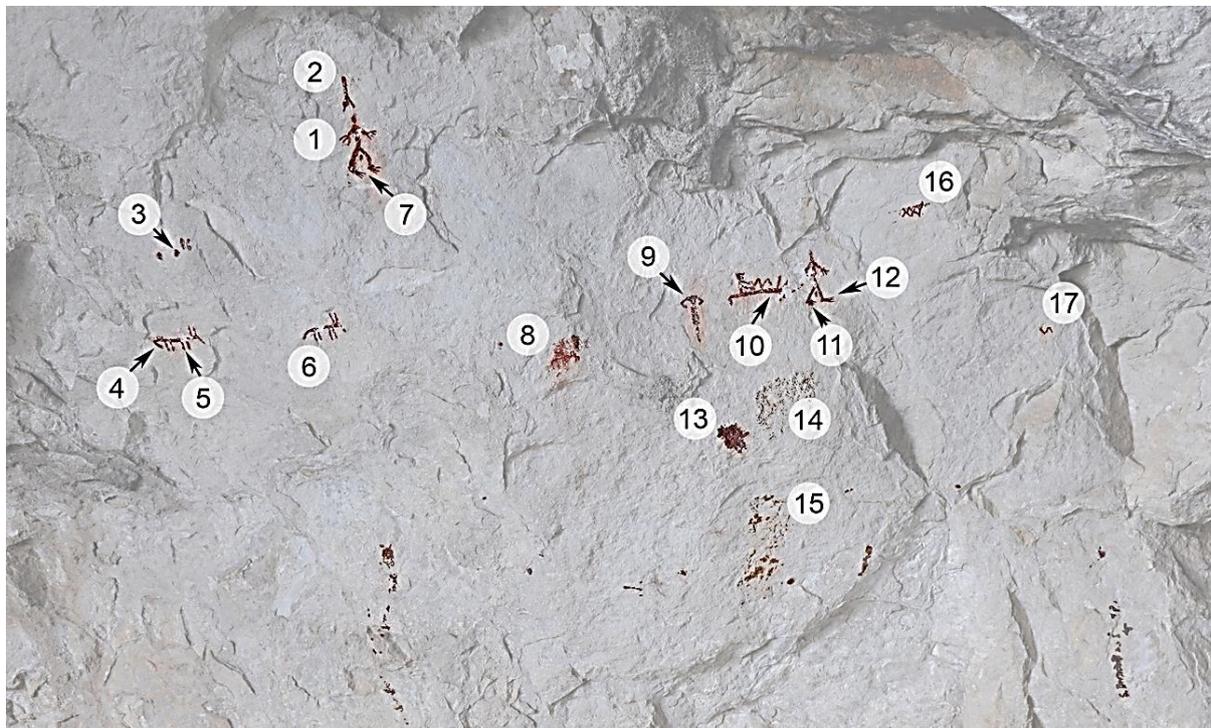
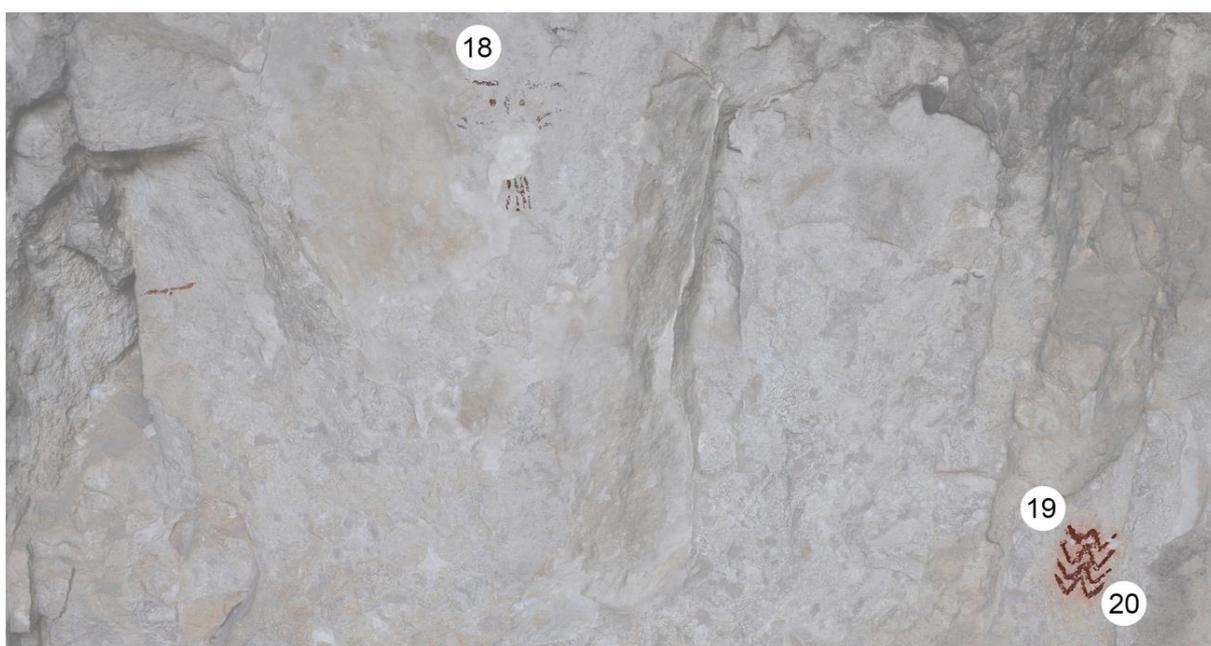


Figura 9. Puntos analizados en el sector 1 del abrigo de Barfaluy I (a partir de calco de Lanau 2019).

Figura 10. Abrigo de Barfaluy I: A. Punto muestreado en el sector 2 (18) y sector 3 (19 y 20) (calcos a partir de Lanau 2019).



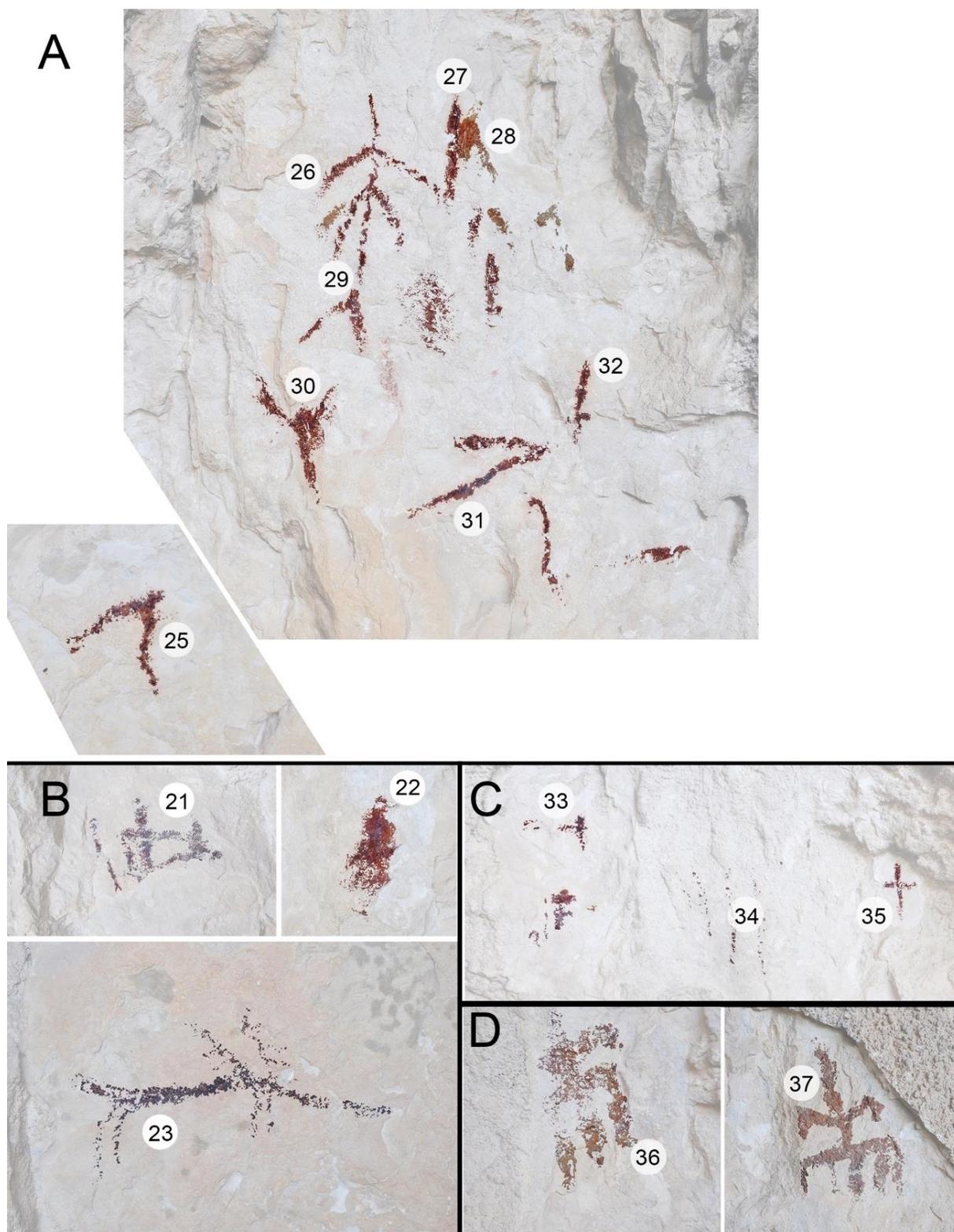


Figura 11. Abrigo de Barfaluy II
(calcos a partir de Lanau 2019):

- A. Sector 3, panel 2.
- B. Sector 3, panel 3.
- C. Sector 3, panel 1.
- D. Sector 1

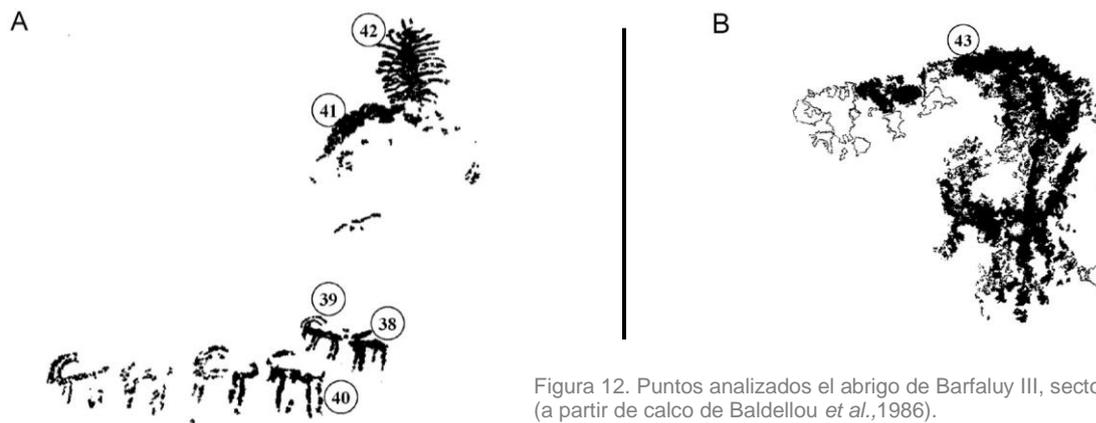


Figura 12. Puntos analizados el abrigo de Barfaluy III, sector 1 (a partir de calco de Baldellou *et al.*, 1986).

Referencia	Sector	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
1	I.1	64,13	3,09	0,17	27,21	0,67	2,60	-	0,82	0,08	0,46
2	I.1	63,65	1,58	0,08	30,94	0,34	1,54	-	1,42	0,09	0,26
3	I.1	63,12	0,50	0,05	31,74	0,36	1,58	-	2,39	0,09	0,13
4	I.1	47,16	0,29	0,07	43,45	1,83	3,76	0,16	2,94	0,11	0,19
5	I.1	51,56	0,45	0,05	37,57	1,07	2,91	0,24	4,81	0,08	0,21
6	I.1	56,76	2,33	0,12	32,88	1,09	3,41	0,19	2,76	0,07	0,34
7	I.1	58,91	0,19	0,03	35,50	0,70	2,01	-	2,42	0,09	0,10
8	I.1	54,20	1,10	0,11	34,49	1,73	3,84	0,16	3,94	0,09	0,28
9	I.1	56,52	1,81	0,10	34,75	1,08	3,38	-	1,86	0,06	0,31
10	I.1	55,22	1,04	0,08	35,13	1,62	3,55	0,06	2,94	0,06	0,24
11	I.1	57,45	1,71	0,12	31,04	1,52	3,81	-	2,10	0,06	0,38
12	I.1	55,87	1,77	0,14	33,78	1,37	3,58	0,14	2,93	0,06	0,31
13	I.1	57,26	1,13	0,14	32,74	1,34	4,19	0,24	2,45	0,06	0,39
14	I.1	56,47	0,42	0,11	34,46	1,17	3,06	-	3,92	0,04	0,30
15	I.1	58,71	0,47	0,11	33,37	0,78	3,44	-	2,75	0,05	0,30
16	I.1	59,79	1,28	0,09	33,05	0,53	1,61	-	3,37	0,06	0,18
17	I.1	60,13	0,28	0,06	32,11	0,36	1,57	-	5,23	0,07	0,15
18	I.2	56,60	0,24	0,07	32,44	-	1,57	-	8,83	0,06	0,15
- ^a	I.3	57,76	0,19	0,07	32,80	0,35	1,60	-	5,82	0,07	0,11
19	I.3	48,54	0,31	0,08	39,71	0,69	1,98	0,15	8,19	0,09	0,19
20	I.3	56,49	0,39	0,07	33,12	0,38	1,59	0,16	7,52	0,10	0,14
Media	Barf. I	56,97	0,98	0,09	33,92	0,95	2,69	0,17	3,78	0,07	0,24
21	II	52,40	3,53	0,08	27,22	1,44	4,42	0,47	9,65	0,15	0,52
22	II	55,08	4,28	0,06	24,84	-	1,37	0,20	13,45	0,06	0,25
23	II	46,55	3,26	0,09	26,44	1,47	3,58	0,50	17,49	0,07	0,44
24	II	52,72	3,21	0,05	30,62	0,41	1,42	-	9,98	0,15	0,24
25	II	51,77	2,79	0,06	29,26	0,33	1,57	-	13,84	0,06	0,22
26	II	51,75	2,06	0,06	31,90	0,36	1,77	0,10	11,66	0,06	0,17
27	II	56,91	4,53	0,05	27,97	-	1,00	-	7,77	0,10	0,25
28	II	58,84	0,99	0,16	27,72	0,81	3,15	0,09	7,68	0,14	0,37
29	II	56,93	4,41	0,07	28,50	0,39	1,67	-	7,57	0,04	0,25
30	II	56,66	4,26	0,04	27,91	0,50	1,36	-	8,70	0,12	0,27
31	II	48,50	3,27	0,06	28,20	0,78	1,42	0,12	17,19	0,05	0,27
32	II	58,50	4,02	0,07	27,13	0,54	1,83	0,30	6,90	0,20	0,35
33	II	50,56	3,94	0,05	27,98	0,78	2,38	0,17	13,66	0,05	0,25
34	II	52,71	0,40	0,06	34,95	0,57	2,38	-	8,37	0,24	0,20
35	II	56,44	1,77	0,06	31,37	0,60	1,91	0,17	6,35	0,06	0,17
- ^b	II	53,35	0,70	0,08	32,29	1,08	2,61	0,35	9,04	0,13	0,32
- ^c	II	53,94	0,40	0,09	33,66	0,72	2,38	0,09	8,36	0,10	0,21
36	II.1	53,54	0,45	0,09	30,15	0,57	2,93	0,24	10,07	0,12	0,30
37	II.1	52,15	0,92	0,15	26,20	1,25	5,41	0,43	12,72	0,09	0,58
Media	Barf. II	55,43	1,73	0,08	31,72	0,86	2,53	0,21	6,92	0,09	0,27
38	III	64,04	0,35	0,08	28,46	0,87	2,91	-	2,81	0,13	0,31
39	III.2	59,06	0,36	0,08	31,12	0,96	3,68	0,20	3,98	0,17	0,32
40	III.2	59,00	0,35	0,08	29,28	1,14	4,14	0,12	5,29	0,16	0,36
41	III.2	61,98	0,22	0,07	30,57	0,53	2,07	-	4,23	0,14	0,18
42	III.2	63,77	0,22	0,06	30,31	0,50	1,98	-	2,78	0,15	0,19
43	III.1	57,49	0,14	0,05	35,27	0,27	1,03	-	5,18	0,27	0,29
Media	Barf. III	60,89	0,27	0,07	30,84	0,71	2,64	0,16	4,05	0,17	0,28
Media	Total	56,11	1,55	0,08	31,56	0,83	2,54	0,21	6,61	0,10	0,27

Tabla 8. Composición química por pXRF de las pinturas de los abrigos de Barfaluy (en %).

Referencia	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
C1	56,58	0,11	0,05	35,91	0,57	2,31	0,08	3,23	0,05	0,14
C2	43,32	0,05	0,04	40,66	0,41	1,14	-	14,18	0,03	0,09

Tabla 9. Composición química de la roca madre de los abrigos de Barfaluy (en %) determinada por pXRF.

3.6. Quizans

Consta dos abrigos. En el abrigo I, la figura más interesante de las conservadas es un cérvido bastante

desvaído (Fig. 13), siendo el resto de las pinturas manchas y digitaciones. En Quizans II encontramos un dudoso antropomorfo.

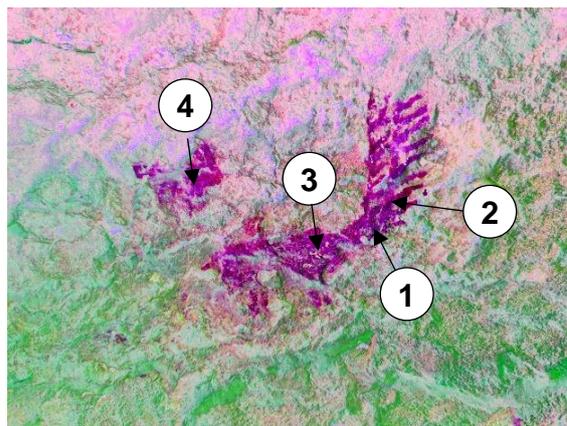
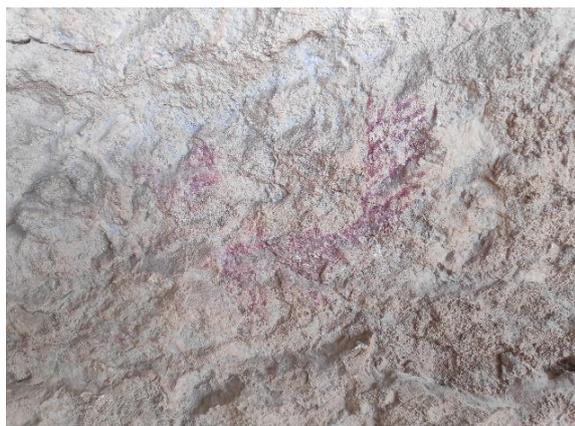


Figura 13. Pintura analizada en el abrigo de Quizans I (izquierda: fotografía original; derecha: puntos muestreados tras aplicación de un filtro CRGB para facilitar la visualización).

Referencia	Sector	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
1q		52,05	1,18	0,16	28,91	1,86	5,38	0,85	9,04	0,09	0,41
2q		52,55	0,55	0,10	30,39	1,53	4,01	0,60	8,26	0,10	0,30
3q		50,51	1,00	0,16	28,07	2,02	5,17	1,34	10,99	0,10	0,38
4q		52,83	1,02	0,03	28,93	1,96	5,06	0,43	9,04	0,13	0,39
dedada		53,61	0,45	0,05	30,89	0,32	1,02	-	13,29	0,12	0,18
dedada		44,00	0,43	0,04	29,18	0,34	1,56	0,06	24,07	0,04	0,18
dedada		53,38	0,43	0,04	27,19	0,45	1,91	-	16,27	0,04	0,21
dedada		47,41	0,4	0,05	31,07	0,97	2,19	0,22	17,35	0,09	0,21
dedada		53,21	0,67	0,05	29,42	0,47	2,14	-	12,03	0,14	0,31
dedada		48,88	0,98	0,03	32,19	0,62	1,59	-	15,44	0,08	0,13
dedada		49,31	0,54	0,03	28,42	0,31	1,25	-	19,94	0,06	0,08

Tabla 10. Composición química por pXRF de pinturas del abrigo de Quizans I (en %)

Referencia	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
C1	53,07	0,461	0,08	22,47	1,23	4,29	-	4,29	0,04	0,36
C2	47,65	-	-	40,98	-	0,39	-	0,39	0,16	0,05
C3	45,69	0,55	0,06	32,73	0,84	2,67	0,42	2,67	0,07	0,2
C4	46,74	0,26	0,04	44,32	1,23	2,36	-	2,36	0,04	0,24

Tabla 11. Composición química de la roca madre Quizans I (en %) determinada por pXRF.

Referencia	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
Fig. vertical costra	52,15	1,11	0,06	29,16	0,56	2,71	0,41	13,43	0,07	0,29
Fig. vertical arriba	51,48	0,53	0,04	30,64	0,74	2,78	1,26	12,06	0,20	0,21
Trazo vertical*	59,77	1,07	0,29	14,98	2,90	9,89	0,83	8,65	0,11	0,60

*Trazo sospechoso. Presenta un 0,53% de bario.

Tabla 12. Composición química por pXRF de pinturas del abrigo de Quizans II (en %)

3.7. Lecina Superior

El abrigo de Lecina Superior (Figs 14 y 15) presenta -

varios antropomorfos y cuadrúpedos, barras, digitaciones así como bóvidos y un cánido seminaturalista. ciones y un signo pectiniforme,

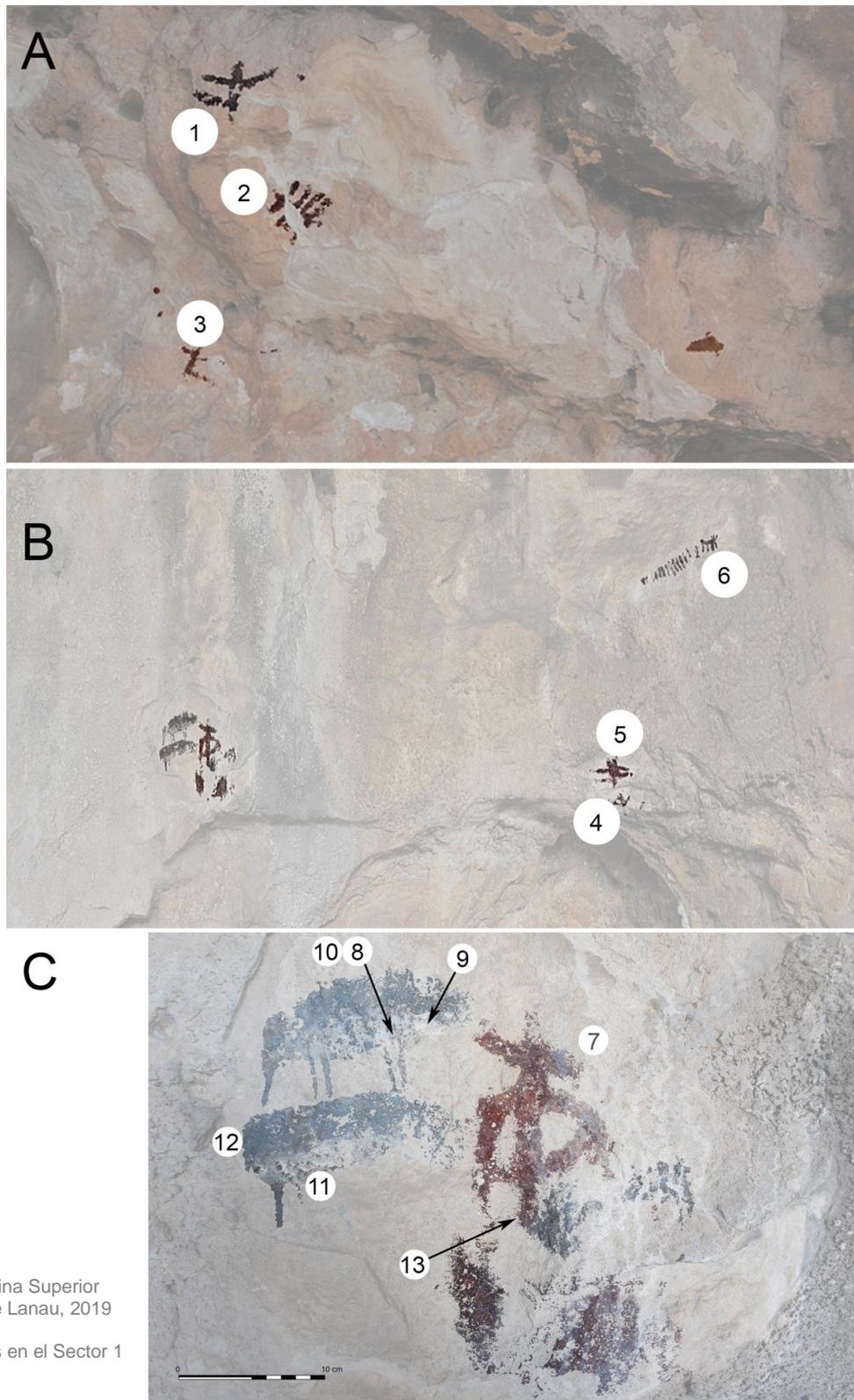


Figura 14. Abrigo de Lecina Superior (calcos A. y B. a partir de Lanau, 2019 y C de M. Bea):

- A. Puntos analizados en el Sector 1
- B. Sector 2
- C. Sector 3

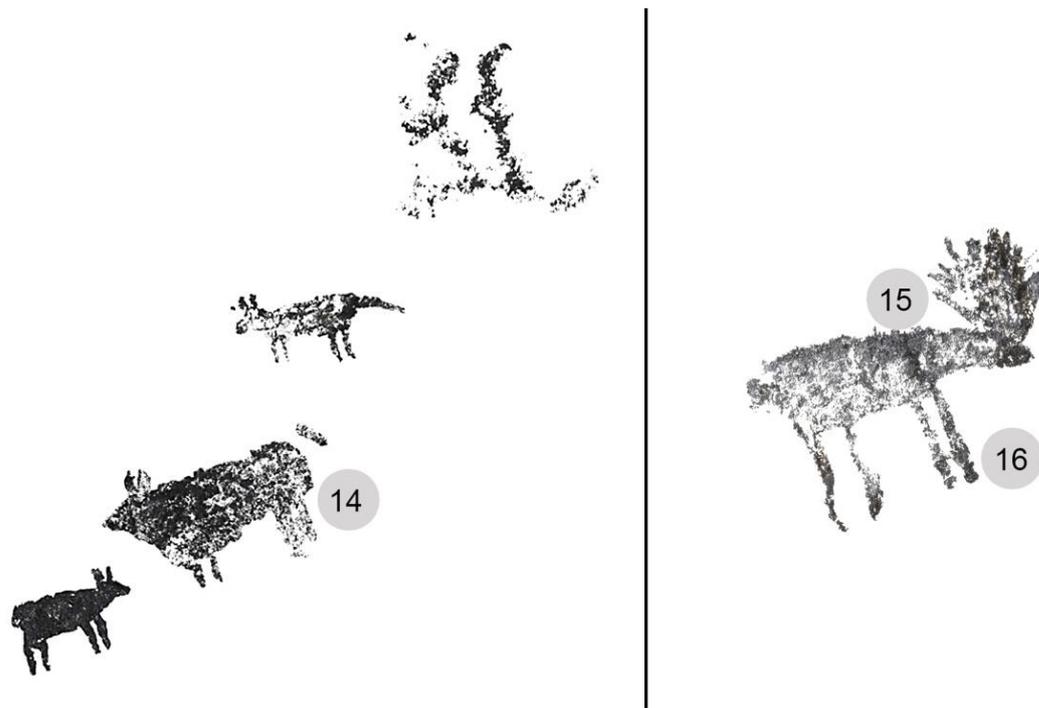


Figura 15. Abrigo de Lecina Superior.
(calcos a partir de Lanau, 2019):
Izda: Punto muestreado en el sector 5
Dcha: puntos analizados en el sector 6

Referencia	Sector	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
1	1	60,16	4,44	0,07	25,94	1,21	3,94	0,94	1,50	0,09	0,51
2	1	56,92	6,33	0,09	24,54	1,65	5,30	1,97	1,24	0,08	0,54
3	1	57,48	1,91	0,06	31,11	1,24	3,84	0,58	2,08	0,05	0,44
4	2	59,54	1,67	0,03	33,92	0,63	2,04	0,11	1,66	0,08	0,24
5	2	58,60	0,93	0,06	32,57	0,60	2,65	0,22	3,91	0,10	0,29
6	2	57,40	0,23	0,06	34,83	0,94	3,92	0,06	2,13	0,09	0,29
7	3	48,48	2,76	0,10	28,46	1,86	5,48	0,07	10,89	0,08	0,61
8	3	53,54	0,05	-	29,32	0,43	1,51	-	14,88	0,09	0,08
9	3	52,54	0,13	0,04	29,91	0,69	2,37	-	13,99	0,10	0,17
11	3	51,93	0,09	0,04	27,95	1,05	3,22	0,06	14,30	0,09	0,13
12	3	49,59	0,11	0,03	29,65	0,27	1,52	-	18,57	0,09	0,12
13	3	53,19	0,29	0,04	31,35	-	1,70	-	11,92	0,13	0,15
14	5	54,79	0,64	0,10	30,00	1,82	6,19	0,67	4,04	0,10	0,57
15	6	61,51	0,14	0,05	34,19	0,50	1,86	-	1,39	0,07	0,21
16	6	59,58	0,25	0,06	31,95	0,87	2,99	0,10	3,78	0,11	0,26
- ^a	6	60,40	0,47	0,06	30,87	0,52	2,53	-	4,77	0,06	0,24
Media		55,98	1,21	0,06	30,06	0,95	3,19	0,48	7,07	0,09	0,29

^a Pigmento naranja, artificial, en la izquierda del sector 5, no mostrado en los calcos.

Tabla 13. Composición química de las pinturas del abrigo de Lecina Superior (en %) determinada por pXRF.

Referencia	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
C1	47,83	0,14	0,03	36,44	0,40	2,05	0,16	12,07	0,37	0,45
C2	58,99	-	-	36,33	-	2,95	0,11	1,34	0,06	0,13
C3	46,53	0,04	-	44,80	0,61	1,44	-	6,45	0,02	0,04

Tabla 14. Composición química de la roca madre del abrigo superior de Lecina (en %) determinada por pXRF.

3.8. Forau del Cocho

El abrigo de Forau del Cocho (Figs 16 y 17), está situado en un contexto espacial diferente, al este del

Cinca. Presenta signos abstractos como digitaciones, barras y trazos circulares), así como un cérvido semi-naturalista y dos ciervos anaranjados. El fuerte color rojizo de las pinturas llamó en su día la atención de manera que se ha sugerido la presencia de cinabrio.

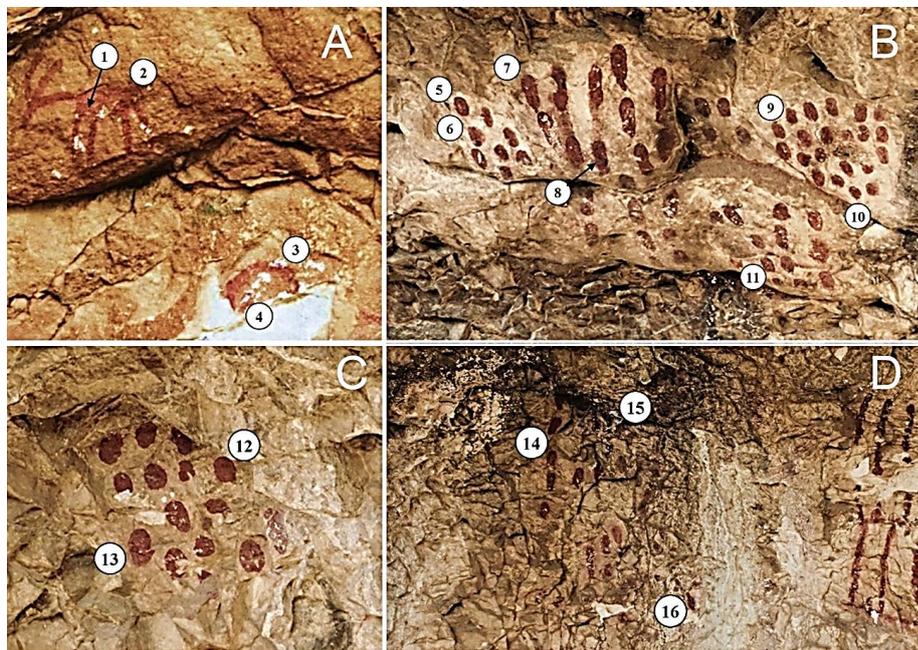


Figura 16. Abrigo del Forau del Cocho:
A. Covacho I
B. Covacho VIII
C. Covacho VIII
D. Covacho VII

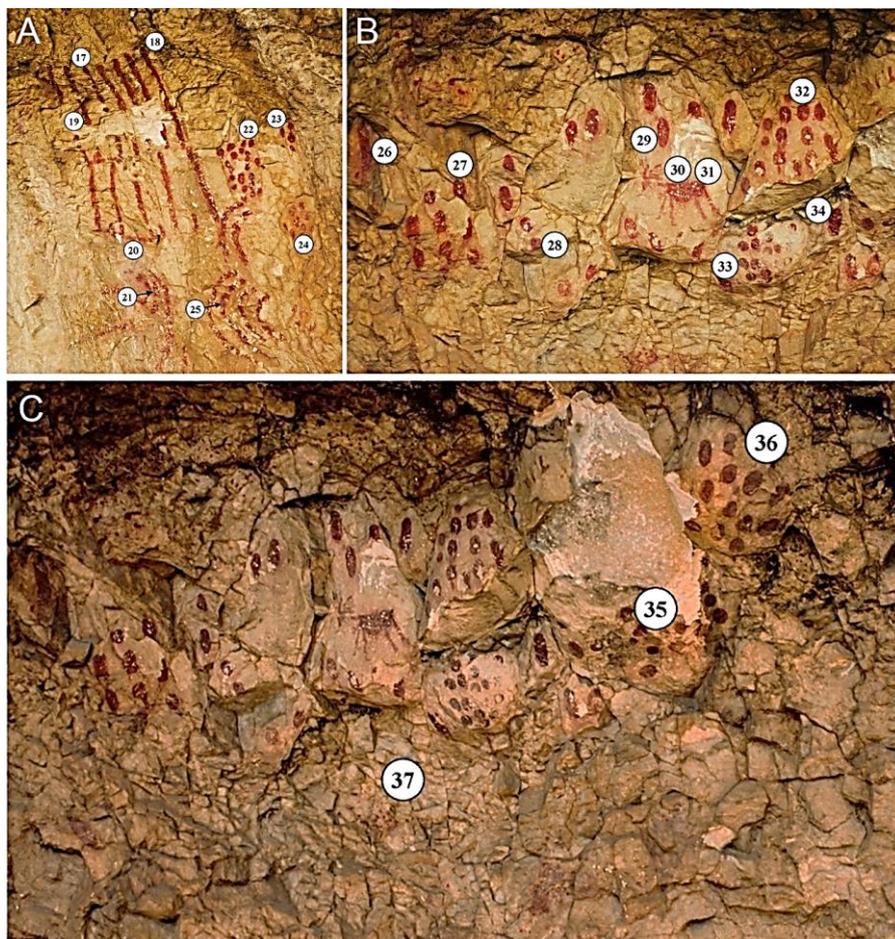


Figura 17. Abrigo del Forau del Cocho:
A. Covacho VII
B. y C. "Covacho VI

Referencia	Covacho	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
1	I	53,19	0,76	0,07	30,96	1,49	4,49	0,95	7,69	0,06	0,29
2	I	52,76	1,01	0,09	27,64	1,55	4,80	0,43	11,18	0,08	0,38
3	I	48,98	0,56	0,05	28,42	0,68	2,70	0,59	17,68	0,05	0,25
4	I	46,90	0,53	0,05	28,73	0,97	3,13	0,17	19,15	0,05	0,29
·	I	45,41	0,70	0,05	32,88	0,80	2,44	0,25	17,11	0,08	0,22
5	VIII	54,31	7,69	0,05	22,11	0,77	2,66	0,26	10,16	0,18	0,26
6	VIII	46,59	10,81	0,04	25,39	1,03	2,25	0,14	11,70	0,18	0,22
7	VIII	59,78	7,72	0,04	23,12	0,40	1,79	0,08	6,65	0,12	0,23
8	VIII	56,66	4,46	0,05	26,49	0,77	3,07	1,11	5,74	0,17	0,33
9	VIII	56,80	8,55	0,03	25,66	0,52	1,65	-	6,38	0,15	0,20
10	VIII	48,93	6,36	0,04	28,10	1,26	2,92	0,42	11,54	0,19	0,18
11	VIII	54,26	6,01	-	29,80	0,61	2,34	0,13	6,39	0,15	0,21
12	VIII	51,27	2,18	0,05	28,80	0,70	1,98	0,06	14,58	0,11	0,21
13	VIII	51,86	2,32	0,05	27,78	0,68	2,32	0,21	14,41	0,11	0,22
14	VII	58,62	1,70	0,04	31,01	0,92	2,79	-	4,29	0,26	0,26
15	VII	57,50	1,09	0,04	26,98	0,55	1,64	-	11,72	0,22	0,23
16	VII	51,08	0,89	0,07	31,71	1,65	4,12	0,44	8,16	0,22	0,32
17	VII	53,06	4,05	0,03	27,82	0,68	1,69	-	12,23	0,18	0,14
18	VII	63,12	3,42	0,03	27,86	0,62	2,19	-	2,28	0,22	0,21
19	VII	53,62	0,64	0,04	33,16	0,30	1,14	0,51	10,23	0,15	0,15
20	VII	50,88	0,63	0,05	32,52	0,63	1,91	0,07	12,90	0,14	0,23
21	VII	50,07	1,31	0,06	29,30	1,77	4,53	1,01	10,04	0,31	0,33
22	VII	56,29	2,22	0,04	29,47	0,73	2,48	0,30	8,10	0,16	0,18
23	VII	47,26	1,79	0,06	30,87	1,40	3,70	0,34	13,91	0,23	0,39
24	VII	53,54	1,70	0,07	29,61	1,32	3,75	0,32	9,01	0,20	0,43
25	VII	58,22	1,87	0,06	24,01	0,71	2,74	0,13	11,59	0,18	0,43
26	VI	53,03	2,34	0,08	26,77	0,97	3,89	0,11	12,14	0,19	0,43
27	VI	46,53	1,99	0,04	30,47	0,94	2,28	0,28	17,03	0,19	0,18
28	VI	46,58	1,36	0,05	31,02	0,57	1,92	-	18,17	0,13	0,17
29	VI	50,71	1,01	0,03	30,41	0,27	1,25	-	15,99	0,13	0,17
30	VI	44,89	1,27	0,06	30,50	0,96	2,61	-	19,30	0,12	0,27
31	VI	43,60	1,54	0,05	29,84	0,81	2,01	0,09	21,72	0,09	0,18
32	VI	51,44	1,88	0,05	29,75	1,28	2,88	0,22	11,91	0,28	0,23
33	VI	43,36	4,29	0,05	27,58	0,58	2,03	0,23	21,44	0,09	0,28
34	VI	46,46	2,59	0,05	27,39	0,90	2,59	0,50	16,40	0,12	0,24
35	VI	49,28	1,88	0,03	27,60	0,66	1,80	0,35	18,15	0,09	0,11
36	VI	51,34	0,99	0,06	31,92	0,79	4,05	-	10,41	0,19	0,20
37	VI	47,96	1,24	0,06	30,84	1,14	2,62	0,21	15,42	0,13	0,34
Media		51,48	2,72	0,05	28,80	0,88	2,66	0,34	12,44	0,15	0,25

* Pequeños puntos que no aparecen en la fotografía.

Tabla 15. Composición química de las pinturas del abrigo de Forau del Cocho (en %) determinada por pXRF

Referencia	Bal (C, N, O, F, Na)	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
C1	49,33	0,19	0,06	32,03	0,73	1,92	-	15,29	0,22	0,19

Tabla 16. Composición química de la roca madre del abrigo del Forau del Cocho (en %) determinada por pXRF.

4. DISCUSIÓN

Dado el color rojo de la mayoría de las pinturas, no es de extrañar que el principal elemento observado en los pigmentos sea el hierro, como ocurre en la mayoría de las pinturas rupestres prehistóricas del área mediterránea española (Roldán *et al.* 2010; Domingo *et al.* 2021; Hernanz *et al.* 2014; Zerboni *et al.* 2022). El origen más plausible de este pigmento podrían ser los nódulos de Fe(III) (hematites, alterada a goethita o incluso limonita) que localmente aparecen en las cercanas calizas marinas cretácicas (Silva 2021).

Otra posibilidad sería el uso de ocre, mezcla de óxidos de hierro con arcillas de descalcificación. Se conoce una cavidad cercana de la que se ha extraído este material en diferentes épocas (Villarreal y Cuchi 2013).

Los contenidos en porcentajes de hierro de las pinturas de Forau del Cocho, Mallata B1 y I, y Muriecho han resultado superiores a los de Arpán, Barfaluy, Lecina, y Chimiachas. Los valores más bajos se han observado en el abrigo de Quizans. Si se adopta este contenido de hierro como marcador del estado de conservación, las pinturas mejor conservadas serían

las de Mallata y las peor conservadas las de Quizans. Sin embargo, no se puede descartar que los contenidos en hierro varíen en función de las diferentes técnicas/recetas pictóricas de los distintos autores en diferentes épocas.

También cabe señalar que se ha detectado hierro en la roca madre en zonas donde las pinturas no son visibles a simple vista (aunque en concentraciones más bajas). Su presencia puede tener un origen natural, aunque también puede estar asociada a pinturas desaparecidas. El titanio se encuentra presente en nódulos ferruginosos como el analizado en Cuchí *et al.* (2021) y, por tanto, también es componente los pigmentos. No obstante, como ya se ha señalado, se encuentra correlacionado con los constituyentes de la arcilla, no con el hierro, por lo que no puede considerarse un oligoelemento útil para la caracterización de los pictogramas rojos.

Esta ausencia de correlación está de acuerdo con los hallazgos de Resano *et al.* (2007), quienes usando LA-ICPMS en pinturas de estilo esquemático encontradas en varios abrigos del Vero encontraron que sólo As, Co, Mo, Sb, Tl, y Zr mostraron una alta correlación con Fe. Para culminar con los pigmentos rojos, y en contra de algunas expectativas, no se encontró mercurio en Forau del Cocho, lo que descarta el uso del cinabrio.

El manganeso no ha sido detectado en ninguna de las pinturas postpaleolíticas estudiadas, incluyendo las negras, para las cuales la bibliografía había hipotetizado que era el pigmento más probable. Esta hipótesis estaba en consonancia con la presencia de manganeso en otras pinturas negras de arte rupestre levantino (Roldán *et al.*, 2010). Sorprendentemente, este elemento sí se detecta en pinturas paleolíticas de la cercana cueva de La Fuente del Trucho (Cuchí y Martín-Ramos 2021).

En ausencia de manganeso, el color negro de algunas pinturas puede asociarse bien con el negro de humo o con el carbón de huesos, en línea con los hallazgos de otros autores como, por ejemplo, Hernanz *et al.* (2010 y 2014), López-Montalvo *et al.* (2014) y Petraglia *et al.* (2017) en otros yacimientos levantinos y de arte esquemático de la Península Ibérica. En esas medidas hay un alto porcentaje de *Bal*, que reúne los elementos ligeros (C, N, O, F, Na), entre los que se encuentra el carbono; sin embargo, el método no discrimina entre el C procedente de materiales orgánicos carbonizados y el procedente del lecho de roca caliza. Hay que tener en cuenta que la emisión de rayos X del equipo atraviesa la fina y discontinua

capa de pigmento (cuyo espesor varía de 2 a 5 micras), según Resano *et al.* (2007) y, por tanto, escanea también la roca madre subyacente, hecho que ha sido destacado en trabajos como Chanteraud *et al.* (2021) (mientras que, por ejemplo, LA-ICPMS y LIBS permitirían un perfil en profundidad). Por esta razón, la presencia de calcio es omnipresente en todas las mediciones y su origen, aparte de la roca del sustrato, puede ser referidos a recubrimientos inorgánicos (por ejemplo, películas de carbonato cálcico), formaciones de bacterias oxalotróficas (oxalato cálcico), o a polvo atmosférico. Además, debido a la presencia histórica de ganado, algunas cuevas muestran densas coberturas parciales de hollín negro procedentes de la combustión espontánea del estiércol. En la actualidad, las pinturas conocidas están fuera de abrigos ganaderos.

La presencia de fósforo es bastante irregular en las pinturas, así como en la roca de soporte. Es evidente en las pinturas oscuras de Muriecho pero no en las de Barfaluy I. Esto permitiría quizás distinguir los pigmentos negros de carbón (mucho más frecuentes en contextos de Arte Levantino según Domingo *et al.* 2021) de los de carbón de hueso, pero es muy posible que la médula de huesos triturados se utilizara como aglutinante para las pinturas en algunos casos. Además, algunos de los abrigos han servido de corrales para el ganado y es posible que los excrementos de los animales y los restos óseos cubrieran parcialmente las paredes de los refugios aportando fósforo y potasio.

Los contenidos de sílice y aluminio pueden atribuirse a arcillas, bien por la descalcificación del sustrato calizo o aportados por el polvo atmosférico (Rogerio *et al.* 2009). El potasio posiblemente tenga el mismo origen, dado que la presencia de illita es general en la cuenca del Ebro.

Hay una presencia manifiesta de azufre en todas las pinturas, pero también aparece en las mediciones en la roca sin pintar. En una primera aproximación, pueden considerarse varias hipótesis: que el azufre proceda de la roca del sustrato en forma de yeso geológico o que provenga de un sulfuro metálico, tipo pirita; que sea constituyente del propio pigmento, o que su origen sea exógeno, ya sea como contaminante atmosférico (gas, polvo, humo) o deposición del agua de lluvia.

La presencia de yeso geológico fue descartada por el análisis de difracción de rayos X de polvo de muestras de roca fresca de los refugios de Arpán y Chimiachas (Geoartec 2014), pero no así la de pirita.

En este caso, sería la oxidación de la pirita presente en los sedimentos marinos la que diera lugar al yeso, por reacción con el carbonato cálcico y a las acumulaciones de nódulos de hierro (III). Sin embargo, la presencia de pirita es desconocida en las canteras de calizas de todo el Prepirineo, sierras elevadas desde el Eoceno medio y sometidas a largos e intensos procesos de karstificación con infiltración de aguas atmosféricas ricas en oxígeno.

La presencia de azufre en las grasas animales o albúmina de huevo de ave utilizados como aglutinantes en pinturas, es también muy baja, ver por ejemplo Van Dalen (1988) y Grossfeld y Walter (1934), y, por otro lado, el análisis con pXRF detecta azufre en zonas no pintadas.

En consecuencia, el azufre encontrado en la superficie de la roca debe haber sido depositado por un aporte externo. La formación de yeso por reacción entre el SO_2 como contaminante atmosférico y la calcita de la roca ha sido sugerida por Hernanz *et al.* (2014), pero la zona estudiada está deshabitada y aislada, lejos de zonas industriales. Por ejemplo, la distancia, en línea recta, entre la zona del río Vero y la central térmica de Andorra, un conocido emisor de azufre debido a la combustión de lignito, supera los 130 km. El contenido de azufre en la vegetación local es demasiado bajo para suponer su presencia significativa en el humo de los incendios forestales o de las hogueras cercanas. Por lo tanto, puede considerarse que el origen más probable de este yeso sea el transporte atmosférico de polvo de yeso, muy abundante en el cercano valle semiárido del Ebro y donde son frecuentes las tormentas de polvo. Este, en deposición seca o disuelto en el agua de lluvia, impregnaría la superficie de la roca.

El origen del contenido de cloro también es complejo de asignar. Su presencia parece ser exógena al sustrato calcáreo de la zona y puede atribuirse a una contribución del polvo atmosférico.

Aun cuando prácticamente todas las medidas (excepto las realizadas en Chimiachas) han sido realizadas sobre figuras diferentes, poco se puede decir sobre las diferencias entre las pinturas individuales de cada uno de los abrigo. Es posible que dichas figuras no sean contemporáneas y, en algunos casos, los cambios de color pueden apreciarse a simple vista. Además, no puede descartarse la posibilidad de que algunas de ellas hayan sido repintadas en la antigüedad. Esto necesitaría un estudio más detallado.

En cuanto a las mediciones realizadas sobre el ciervo de Chimiachas, pintura emblemática de la

zona, los resultados (Tab. 1) han sido muy homogéneos para todos los elementos excepto para el hierro, cuyo mayor contenido en algunas mediciones puede deberse a una mayor aplicación de pigmento o a una menor alteración.

Lo que parece claro, a la vista de los valores medios de los resultados por elemento de los distintos abrigo (Tab. 17), es que todos los conjuntos de pinturas postpaleolíticas estudiados tienen una composición muy similar

Pese a que las diversas mediciones del sustrato calizo han sido realizadas de forma no sistemática ni exhaustiva, los resultados muestran, como era de esperar, la presencia dominante de calcio. En cuanto a la presencia de hierro, su variabilidad es muy notable, y, en algunos casos de manchas ferruginosas, el contenido de este elemento es del orden de lo observado en algunas pinturas. Sin un estudio detallado, es difícil señalar si se trata de hierro natural o de restos de una pintura muy degradada. También es muy variable la presencia de azufre.

4.1. Análisis estadístico

Con el objetivo de relacionar componentes que pudieran tener un origen común y sugerir una paleta determinada, se ha realizado un análisis estadístico de las 225 mediciones realizadas en las pinturas (excluidas las mediciones en el lecho rocoso), que ha dado como resultado la matriz de correlaciones que figura en la tabla 18. Los coeficientes de correlación han sido, en general, bajos. Considerando el hierro como el elemento más interesante, por ser el principal constituyente del pigmento, la principal observación es que no correlaciona con el resto de los elementos, salvo una moderada correlación negativa con el calcio (dado que cuanto más pigmento presente, menor es la contribución de la roca madre).

El bajo coeficiente de correlación del hierro con el azufre excluye el uso de yeso en el proceso de pintura como extendedor como carga para aditivar el pigmento o como base para la pintura (es decir, como imprimación), lo que sugiere que el azufre asociado al yeso formaría parte de la capa del sustrato o de las acreciones que cubren los pigmentos, o que el azufre tendría un origen en el polvo atmosférico.

Sorprendentemente, el hierro no se correlaciona bien con el titanio, un elemento que por otro lado se correlaciona bien con los componentes de la arcilla (Si, Al y K).

También es interesante la afinidad del fósforo con los elementos de la arcilla, un aspecto que debería estudiarse con más detalle. Tal vez la presencia de fósforo pueda atribuirse a hidroxapatito exógeno. El hecho de que el cloro no se correlacione con el resto de los elementos, excepto el azufre, apoya una contribución atmosférica.

Se han realizado una serie de análisis de componentes principales para tratar de encontrar diferencias entre las distintas pinturas o abrigos. Cuando se consideraron todos los elementos, se observa un claro predominio del calcio, derivado lógicamente de la roca soporte y de acuerdo con las conclusiones de Chanteraud *et al.* (2021) sobre el predominio del calcio y las limitaciones de la técnica pXRF.

Cuando se excluye el calcio como factor común del soporte, así como el titanio y el cloro (elementos minoritarios que no ayudaban a discriminar), el 84,6% de la varianza puede ser explicada mediante tres factores. Los parámetros de comunalidades iniciales específicos extraídos han sido examinados mediante la prueba de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett para comprobar la racionalidad

de los datos y la adecuación del muestreo analítico. El valor KMO de 0,579 (>0,5) ha revelado un muestreo suficiente, y el nivel de significación de la prueba de Bartlett (<0,0001) indica que los datos son adecuados y útiles para reducir sustancialmente la dimensión de estos.

El factor F1 (que explica el 50,14% de la varianza acumulada total) está vinculado a Al, Si, P y K, es decir, a componentes de la arcilla; el factor F2 (que explica el 18,47% de la varianza) está constituido por S, y el factor F3 (que explica el 16,0% de la varianza acumulada total) está vinculado a Fe. En el gráfico F1 vs. F2 (Fig. 18), se puede observar que las medidas de algunos abrigos aparecen agrupadas, de tal manera que las medidas de Barfaluy (negro) se concentran en la esquina inferior izquierda, Muriecho (fucsia) en la esquina superior derecha, y Chimiachas-Forau del Cocho-Quizans en la zona intermedia. En cambio, las medidas de Mallata y Arpan se encuentran dispersas. Esto apunta principalmente a diferencias en la composición del lecho rocoso. Por el contrario, el factor F3 (asociado al hierro) no nos permite discriminar los pigmentos entre los abrigos (Fig. 18).

Abrigo	BaI	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
Chimiachas	54,69	0,91	0,05	29,23	0,64	2,46	0,18	11,38	0,12	0,21
Muriecho	49,68	2,85	0,08	26,55	1,36	3,38	0,56	14,73	0,08	0,47
Arpán	52,89	2,17	0,06	28,85	1,06	3,61	0,61	10,26	0,12	0,35
Barfaluy	56,11	1,55	0,08	31,56	0,83	2,54	0,21	6,61	0,10	0,27
Lecina Superior	55,98	1,21	0,06	30,06	0,95	3,19	0,48	7,07	0,09	0,29
Forau del Cocho	51,48	2,72	0,05	28,80	0,88	2,66	0,34	12,44	0,15	0,25
Mallata	54,77	3,06	0,06	29,81	0,89	3,01	0,36	7,46	0,15	0,29
Quizans	51,51	0,74	0,09	28,53	1,09	3,33	0,67	13,56	0,10	0,28

Tabla 17. Valores medios de la composición química de las pinturas parietales de los abrigos del río Vero y por pXRF.

Tabla 18. Coeficientes de correlación entre los distintos elementos medidos en las pinturas rupestres de varios abrigos del Parque Cultural del Río Vero.

	Fe	Ti	Ca	Al	Si	P	S	Cl	K
Fe	1	-0,178	-0,542	0,020	-0,062	0,099	0,040	0,065	0,146
Ti	-0,178	1	-0,225	0,623	0,623	0,345	-0,057	-0,144	0,650
Ca	-0,542	-0,225	1	-0,249	-0,239	-0,315	-0,427	0,076	-0,481
Al	0,020	0,623	-0,249	1	0,847	0,625	0,018	0,057	0,726
Si	-0,062	0,623	-0,239	0,847	1	0,565	-0,178	0,175	0,699
P	0,099	0,345	-0,315	0,625	0,565	1	0,025	0,058	0,517
S	0,040	-0,057	-0,427	0,018	-0,178	0,025	1	-0,308	0,047
Cl	0,065	-0,144	0,076	0,057	0,175	0,058	-0,308	1	0,049
K	0,146	0,650	-0,481	0,726	0,699	0,517	0,047	0,049	1

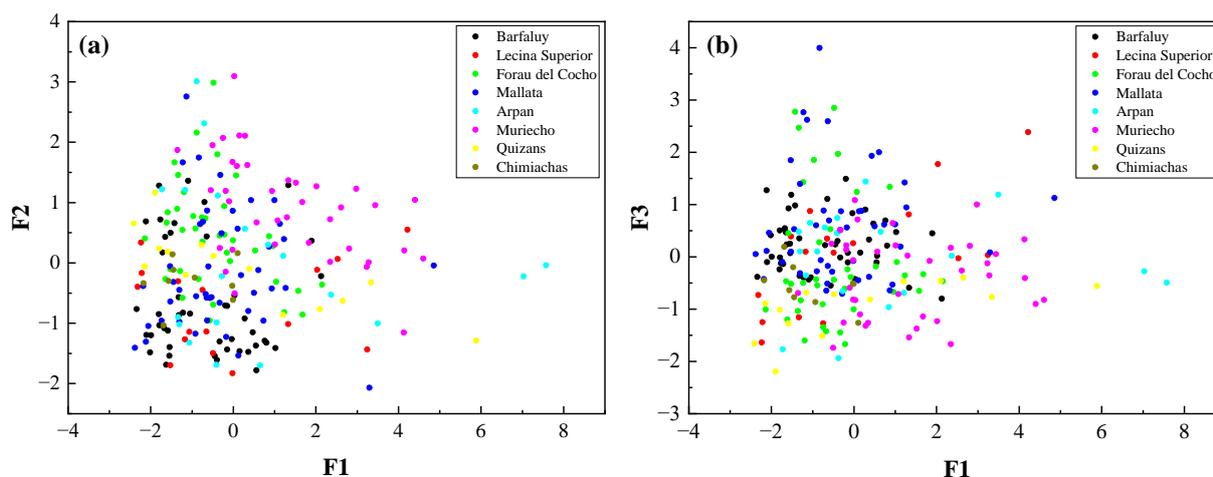


Figura 18. (a) Gráfica F2 vs. F1; (b) gráfica F3 vs. F1.

5. CONCLUSIONES

Casi todas las pinturas postpaleolíticas analizadas en los abrigos rocosos del río Vero han sido realizadas con óxidos de hierro(III) (hematites). Puede descartarse la presencia de pigmentos a base de manganeso en las pinturas de color oscuro y la de cinabrio en las pinturas de color rojo vivo del Forau del Cocho.

En el caso de las pinturas oscuras, los constituyentes más probables son el negro carbón o el carbón de huesos.

La presencia de fósforo puede estar relacionada con el carbón óseo o con el uso de médula ósea o hueso triturado en las pinturas. La presencia de azufre y cloro puede atribuirse principalmente a la deposición atmosférica. Dado que los rayos X penetran por debajo de la superficie del objetivo, y que el volumen analizado en cada uno de los puntos objetivo es de aproximadamente 1 mm³, los análisis realizados lo han sido, en realidad, sobre una mezcla de materia pictórica con sustrato calizo subyacente y, ocasionalmente, depósitos superficiales relativamente importantes de sulfato cálcico de origen exógeno. Las limitaciones derivadas del uso del pXRF sobre estas pinturas y la roca de soporte pueden superarse utilizando, en nuevos estudios, técnicas complementarias como la espectroscopia Raman portátil.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal del Parque Cultural del Río Vero su colaboración en este estudio, en particular a María Nieves Juste (Directora del Parque

Cultural del Río Vero) y a Rosa Berges (guía de arte rupestre), así como la ayuda logística de José Luis Villarroel. Agradecemos también los comentarios de dos anónimos revisores.

Este trabajo ha sido financiado por la Fundación BBVA dentro del programa de Ayudas Leonardo a Investigadores y Creadores Culturales 2019. La Fundación BBVA no se hace responsable de las opiniones, comentarios y contenidos incluidos en el proyecto y/o de los resultados obtenidos del mismo, que son responsabilidad total y absoluta de sus autores.

BIBLIOGRAFÍA

- Aramendia, J.; de Vallejuelo, S.F.-O.; Maguregui, M.; Martínez-Arkarazo, I.; Giakoumaki, A.; Martí, A.P.; Madañaga, J.M.; Ruiz, J.F. (2020). Long-term in situ non-invasive spectroscopic monitoring of weathering processes in open-air prehistoric rock art sites. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412, 8155-8166, doi:10.1007/s00216-020-02949-2.
- Bea, M.; Lanau, P. (2021). *Corpus del Arte Rupestre del Alto Aragón*; Instituto de Estudios Altoaragoneses, Diputación Provincial de Huesca. 298 p.
- Bea, M.; Calvo, M.J. Arte levantino (2021). En M. Bea, P. Lanau (coords.), *Corpus del arte rupestre del Alto Aragón*, (pp. 135-158). Huesca. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Diputación Provincial de Huesca.
- Bea, M.; Angás, J. (2014). The conservation of Spanish Levantine Rock-Art in Aragón, Spain, Using 3-D Laser Scanning. En T. Darvill, A. Batarda Fernandes. (Eds). *Open-Air Rock-Art Conservation and Management: State of the Art and Future Perspectives*. (pp. 179-186). Routledge. New York.
- Bea, M.; Angás, J.; Miranda, J. (2021). Documentación de los conjuntos rupestres. En M. Bea y P. Lanau (coords.), *Corpus del arte rupestre del Alto Aragón*, (pp. 95-110). Huesca. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Diputación Provincial de Huesca.

- Beltrán, A. 1979. Las pinturas rupestres de Colungo (Huesca): problemas de extensión y relaciones entre el Arte paleolítico y el Arte levantino. *Caesaraugusta*, 61-88.
- Beltrán, A. (1987). La conservación del Arte Rupestre. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonenses*, 61-82.
- Beltrán, A. (1990). Las figuras "seminaturalistas" y los signos geométricos de los abrigos del "Forau del Cocho", en Estadilla (Huesca): problemas en torno al arte "esquemático". *Archivo de Prehistoria Levantina*, 279-298.
- Baldellou, V.; Painaud, A.; Calvo, M.J. (1983a). Las pinturas esquemáticas del Tozal de Mallata (Asque-Colungo, Huesca). *Zephyrus*, 1983, 123-129.
- Baldellou, V.; Painaud, A.; Calvo, M.J. (1983b). Las pinturas esquemáticas de Quizans y Cueva Palomera (Alquézar, Huesca). *Zephyrus*, 117-122.
- Baldellou, V.; Painaud, A.; Calvo, M.J. (1985). Las pinturas esquemáticas de Mallata B (Huesca). *Boletín del Museo de Zaragoza*, 17-36.
- Baldellou, V.; Painaud, A.; Calvo, M.J. (1986a). Dos nuevos covachos con pinturas naturalistas en el Vero (Huesca). En *Estudios en homenaje al Dr. Antonio Beltrán Martínez* (pp. 115-133). Universidad de Zaragoza, Facultad de Filosofía y Letras.
- Baldellou, V.; Painaud, A.; Calvo, M.J.; Ayuso, P. (1986b). Las pinturas esquemáticas de la partida de Barfaluy (Lecina-Bárcabo, Huesca). *Empúries*, 64-83.
- Baldellou, V.; Painaud, A.; Calvo, M.J. (1988). Los covachos pintados de Lecina Superior, del Huerto Raso y de la Artica del Campo (Huesca). *Bolskan*, 147-174.
- Baldellou, V.; Calvo, M^a.J.; Juste, M^a.N.; Pardinilla, I. (2009). *Arte rupestre en el río Vero*. Comarca de Somontano de Barbastro, Huesca.
- Baldellou, V.; Painaud, A.; Calvo, M.J.; Ayuso, P. (1993). Las pinturas rupestres del barranco de Arpán (Asque-Colungo, Huesca). *Bolskan*, 31-96.
- Baldellou, V.; Ayuso, P.; Painaud, A.; Calvo, M.J. (2000). Las pinturas rupestres de la partida de Muriecho (Colungo y Bárcabo, Huesca). *Bolskan*, 33-86.
- Beck, L.; Rousselière, H.; Castaing, J.; Duran, A.; Lebon, M.; Moignard, B.; Plassard, F. (2014). First use of portable system coupling X-ray diffraction and X-ray fluorescence for in-situ analysis of prehistoric rock art. *Talanta*, 129, 459-464, doi:10.1016/j.talanta.2014.04.043.
- Beltrán, A. 1989. *El arte rupestre aragonés. Aportaciones de las pinturas prehistóricas de Albalate del Arzobispo y Estadilla*. Ibercaja, Zaragoza.
- Chanteraud, C.; Chalmin, É.; Lebon, M.; Salomon, H.; Jacq, K.; Noûs, C.; Delannoy, J.-J.; Monney, J. (2021). Contribution and limits of portable X-ray fluorescence for studying Palaeolithic rock art: a case study at the Points cave (Aiguèze, Gard, France). *Journal of Archaeological Science: Reports* 2021, 37, doi:10.1016/j.jasrep.2021.102898.
- Cuchí, J.A.; Martín-Ramos, P.; Salomero, E. (2021a). El marco geológico del Prepirineo. In *Corpus del arte rupestre del Alto Aragón*, Bea Martínez, M., Lanau Hernández, P., Eds. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Diputación Provincial de Huesca: Huesca, Spain; pp. 19-28.
- Cuchí, J.A.; Martín-Ramos, P. (2021). Sobre la composición elemental de los pigmentos de las pinturas rupestres de los abrigos del río Vero (Huesca). En *Actas del IV Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés*, Zaragoza.
- Domingo, I.; Vendrell, M.; Chieli, A. (2021). A critical assessment of the potential and limitations of physicochemical analysis to advance knowledge on Levantine rock art. *Quaternary International*, 572, 24-40, doi:10.1016/j.quaint.2020.09.020.
- Geoartec Technical Solutions S.L. (2014). *Caracterización petrológica e hídrica del soporte de las representaciones pictóricas rupestres de los abrigos de Lecina Superior, Arpán y Mallata I (Huesca)*. Informe no publicado. p. 14.
- Grossfeld, J., Walter, G. (1934). Phosphorus, sulphur and alkali content of hen's eggs. *Zeitschrift für Untersuchung der Lebensmittel*, 67, 510-529.
- Hameau, P.; Painaud, A. (2004). L'expression schématique en Aragon présentation et recherches récentes. *L'Anthropologie*, 108, 617-651.
- Hernanz, A.; Ruiz-López, J.F.; Gavira-Vallejo, J.M.; Martín, S.; Gavrilenko, E. (2010) Raman microscopy of prehistoric rock paintings from the Hoz de Vicente, Minglanilla, Cuenca, Spain. *Journal of Raman Spectroscopy*, 41, 1394-1399, doi:10.1002/jrs.2582.
- Hernanz, A.; Ruiz-López, J.F.; Madariaga, J.M.; Gavrilenko, E.; Maguregui, M.; Fdez-Ortiz de Vallejuelo, S.; Martínez-Arkarazo, I.; Alloza-Izquierdo, R.; Baldellou-Martínez, V.; Viñas-Vallverdú, R.; Rubio i Mora, A.; Pitarch, À.; Giakoumaki, A. (2014). Spectroscopic characterisation of crusts interstratified with prehistoric paintings preserved in open-air rock art shelters. *Journal of Raman Spectroscopy*, 45, 1236-1243, doi:10.1002/jrs.4535.
- ICOMOS (2003): *Principios para la Preservación, Conservación y Restauración de Pinturas Murales*. Ratificados por la XIV Asamblea General, celebrada en Victoria Falls, Zimbabue, en octubre de 2003.
- Juste, M^a.N. (2008). Parque Cultural del río Vero. En *Parques Culturales de Aragón*, (pp. 16-23). Gobierno de Aragón, Zaragoza.
- Lanau, P.; Hameau, P. (2021). Arte esquemático. En M. Bea Martínez y P. Lanau Hernández. *Corpus del arte rupestre del Alto Aragón*, (pp. 159-176). Instituto de Estudios Altoaragoneses, Diputación Provincial de Huesca.
- Lanau, P.; Gisbert, M.; Bea, M.; Puyo, A. (2021). Prospecciones arqueológicas y nuevos hallazgos de conjuntos rupestres en el término de Colungo (Huesca). En *Actas del IV Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés* (pp. 52-58).
- Lemière, B.; Harmon, R.S. (2021). XRF and LIBS for field geology. En R. Crocombe, P. Leary, B. Kamrath. (Eds). *Portable Spectroscopy and Spectrometry*, (pp. 455-497). Wiley. Hoboken, NJ, USA.
- López-Montalvo, E.; Villaverde, V.; Roldán, C.; Murcia, S.; Badal, E. (2014). An approximation to the study of black pigments in Cova Remigia (Castellón, Spain). Technical and cultural assessments of the use of carbon-based black pigments in Spanish Levantine Rock Art. *Journal of Archaeological Science*, 52, 535-545, doi:10.1016/j.jas.2014.09.017.
- Painaud, A.; Ayuso, P. (2019). Algunas reflexiones sobre una nueva figura en el abrigo de Mallata I (Asque, Colungo, Huesca). *Bolskan*, 27, 23-30.
- Petraglia, M.D.; López-Montalvo, E.; Roldán, C.; Badal, E.; Murcia-Mascarós, S.; Villaverde, V. (2017). Identification of plant cells in black pigments of prehistoric Spanish Levantine rock art by means of a multi-analytical approach. A new method for social identity materialization using chaîne opératoire. *PLoS ONE*, 12, e0172225.
- Resano, M.; García-Ruiz, E.; Alloza, R.; Marzo, M.P.; Vandenebeele, P.; Vanhaecke, F. (2007). Laser

- ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry for the characterization of pigments in prehistoric rock art. *Anal. Chem.*, 79, 8947–8955.
- Rogerio Candellera, M.A.; Vanhaecke, F.; Resano, M.; Marzo, P.; Porca, E.; Alloza Izquierdo, R.; Saiz Jiménez, C. (2009). Combinación de análisis de imagen y técnicas analíticas para la distinción de diferentes fases en un panel rupestre (La Coquinera II, Obón, Teruel). En J.A. López Mira, R. Martínez Valle, C. Matamoros de Villa. (Eds) *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica: 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO*. Generalitat Valenciana: Valencia, pp. 327–334.
- Rousaki, A.; Vandenabeele, P. (2021). In situ Raman spectroscopy for cultural heritage studies. *J. Raman Spectrosc.*, 52, 2178–2189.
- Sepúlveda, M.; Gutiérrez, S.; Cárcamo, J.; Oyaneder, A.; Valenzuela, D.; Montt, I.; Santoro, C.M. (2015). In situ X-ray fluorescence analysis of rock art paintings along the coast and valleys of the Atacama Desert, Northern Chile. *J. Chil. Chem. Soc.*, 60, 2822–2826.
- Silva-Casal, R.; Aurell, M.; Payros, A.; Pueyo, E.L.; Serra-Kiel, J. (2019). Carbonate ramp drowning caused by flexural subsidence: The South Pyrenean middle Eocene foreland basin. *Sediment. Geol.*, 393–394, 105538.
- Silva-Casal, R.; Serra-Kiel, J.; Rodríguez-Pintó, A.; Pueyo, E.L.; Aurell, M.; Payros, A. (2021). Systematics of Lutetian Larger Foraminifera and magneto-biostratigraphy from the South Pyrenean Basin (Sierras Exteriores, Spain). *Geol. Acta*, 19, 0015.
- Trosseau, A.; Maigret, A.; Coquinot, Y.; Reiche, I. (2021). In situ XRF study of black colouring matter of the Palaeolithic figures in the Font-de-Gaume cave. *J. Anal. At. Spectrom.* 2021, 36, 2449–2459.
- Utrilla, M.d.P. (2000). *El arte rupestre en Aragón* Caja de Ahorros de la Inmaculada de Aragón (CAI). Zaragoza.
- Utrilla, P.; Martínez-Bea, M. (2005). La captura del ciervo vivo en el arte prehistórico. *Munibe*, 161-178.
- Van Dalen, G. (1998). Determination of the phosphorus and sulphur content in edible oils and fats by wavelength-dispersive x-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrometry: An International Journal*, 27(1), 26-30.
- Villarroel Salcedo, J.L.; Cuchí Oterino, J.A. (2013). La cavidad conocida como Sotarraña, en Betorz (Huesca). *Lucas Mallada Rev. Cienc.*, 15, 191–201.
- Víñas Vallverdú, R.; Saucedo Sánchez de Tagle, E. R. (2000). Los cérvidos en el arte rupestre postpaleolítico. *Quaderns de prehistòria i arqueologia de Castelló*, 53-68.
- Zerboni, A.; Dayet, L.; d'Errico, F.; García Diez, M.; Zilhão, J. (2022). Critical evaluation of in situ analyses for the characterisation of red pigments in rock paintings: A case study from El Castillo, Spain. *Plos One*, 17, e0262143, doi:10.1371/journal.pone.0262143.
- Zerboni, A.; Chieli, A.; Vendrell, M.; Roldán, C.; Giráldez, P.; Domingo, I. (2022). Characterizing paint technologies and recipes in Levantine and Schematic rock art: El Carche site as a case study (Jalance, Spain). *Plos One*, 17, doi:10.1371/journal.pone.0271276.