

Memòria de la intervenció arqueològica
preventiva de la Cova del Tabac

Documentació Gràfica
(Camarasa, La Noguera)

2024

Direcció: Rafael Mora Torcal

Autors/es:

Rafael Mora Torcal

Alfonso Benito Calvo

Jorge Martínez-Moreno

Javier Roda Gilabert

Susana Vega Bolivar

Índex

1.Dades tècniques	2
2.Resum	3
3.Marc Històric	5
4. Context geogràfic.....	11
5. Context geològic.....	13
6. Objectius i treballs realitzats.....	16
7. Modelat 3D a color de la Cova del Tabac	17
7.1.Metodologia.....	17
7.2. Resultats.....	20
7.3. Identificació de les principals formacions espeleològiques utilitzant color 3D	24
8. Registre hiperspectral del conjunt pictòric de la Cova del Tabac.....	34
8.1. Metodologia.....	35
8.2. Resultats.....	41
9. Conclusions dels treballs realitzats	67
10. Mesures adoptades per evitar la degradació de les restes.....	71
11. Propostes d'anàlisis pluridisciplinàries.....	72
12. Fotografies	73
13. Inventari	74
14. Bibliografia	75

1.Dades tècniques

Nom del jaciment: Cova del Tabac

Municipi: Camarasa

Comarca: La Noguera

Coordenades geogràfiques: X=232986, Y=4641005, ETRS89 UTM

Alçada sobre el nivell del mar: 660 m s.n.m.

Protecció del jaciment: L'àrea excavada

Tipus d'intervenció del Departament de Cultura: Excavació arqueològica

Activitat portada a terme: Documentació gràfica

Tipus d'estructures localitzades: Unitats arqueològiques, estructures

Cronologia del jaciment: Neolític

Crèdits de la intervenció: Ajuntament de Camarasa, Centre d'Estudis de Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria de la Universitat Autònoma de Barcelona (CEPAP-UAB) y Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH).

Cost real del treball de camp: 9.623 €

Nom de la intervenció: Cova del Tabac (Camarasa, La Noguera)

Terminis que consten a la resolució: Expedient
CTL_2023_EXP_ARQ002PREV_6042 (2271 CU00056 2023/2-40687)

2.Resum

Durant els darrers anys s'han realitzat diversos treballs enfocats a investigar les característiques de la Cova del Tabac, aprofundint en aspectes com el seu aixecament topogràfic, la contextualització geològica de la cavitat, determinar les fases de formació de la cavitat i la seqüència estratigràfica del seu replà, així com el reconeixement geomorfològic regional per identificar les etapes en l'evolució del paisatge que va formar la galeria.

A través d'aquests estudis s'ha definit que la Cova del Tabac es va formar a les roques carbonatades del Campanià-Maastrichtià, travessant la vora est del massís del Mont-Roig. La Cova del Tabac presenta una geometria subhoritzontal situada al mateix nivell que la sala de la Pas del Sastre, constituint totes dues una galeria de gènesi freàtica que connectaria hidràulicament la vall del riu Noguera-Pallaresa amb la vall del riu Segre, abans de la confluència dels dos rius. La posició de la galeria Tabac es va establir amb sostres al voltant dels 640 m sobre el nivell del mar, i va definir una taula freàtica a uns +385-390 m d'alçada relativa sobre l'actual riu Segre. Aquesta posició morfològica és molt superior a les terrasses fluvials descrites fins avui pels rius de la conca del riu Segre, per la qual cosa el nivell de base relacionat amb la seva formació hauria estat imposat per etapes més antigues de l'evolució del paisatge. Així, durant el 2021 es van reconèixer pediments antics amb una posició equivalent a la Cova del Tabac, els nivells de base dels quals haurien marcat els nivells freàtics responsables de la formació de la cavitat. Després de la formació del conducte, en una fase força posterior, la cavitat va ser parcialment emplenada amb dipòsits detrítics externs de vessant que mostren fàcies més madures des del fons cap a l'actual entrada, indicant que durant aquesta fase la cavitat estaria expulsant sediments i fluxos cap al vall del riu Segre.

Així, a fi de poder difondre aquest coneixement sobre la seva formació i un dels elements culturals més grans que conté la cavitat, com són les seves pintures rupestres, en aquest informe es presenta nous resultats abordats gràcies a la introducció d'anàlisis

avançades amb la variable del color, com és la modelització 3D a color de la Cova del Tabac i el registre hiperspectral de les pintures rupestres de la Cova del Tabac. Ambdós mètodes faciliten l'observació de les característiques espeleològiques de la cavitat i el seu patrimoni rupestre, que aprofundeixen en el coneixement i la divulgació del Patrimoni Natural i Cultural d'aquesta cavitat.

Paraules clau: Prepirineu, Cova del Tabac, Pintures Rupestres, Neolític Antic, Modelatge 3D, Hiperspectral

3.Marc Històric

La Cova del Tabac forma part d'un conjunt de cavitats càrstiques de les serralades de la Noguera amb indicis d'ocupació prehistòrica que són esmentades ja en publicacions de finals del segle XIX (Pleyán de Porta *et al.* 1880; Vidal 1894). Totes elles, sovint ubicades en alçada com la Cova del Tabac i la Cova de l'Aigua a Camarasa, la Cova Negra de Tragó, la Cova del Foric o la Cova de Joan d'Os a Tartareu. Aquests enclaus comparteixen un ús perllongat d'aquest espais relacionats principalment amb pràctiques ramaderes. Una altre característica comuna és la presència de materials arqueològics descontextualitzats que corresponen amb una àmplia franja crono-cultural (Neolític Antic fins Bronze Final), que indiquen a intensa freqüentació d'aquestes cavitats al passat (Oms Arias 2014).

Lluís Maria Vidal (1894) va publicar la primera referència estructurada al referir la Cova del Tabac en el marc de les investigacions que portava a terme a la província de Lleida a finals del segle XIX. En aquest treball descriu les característiques del dipòsit sedimentari relacionant-lo amb les usos i costums locals:

Des de molts anys els pagesos del voltant van a la cova a omplir-hi sacs amb la terra que conté, perquè aquesta terra, que rep des de tants sigles els excrements de la munió de rates pinyades que s'allotgen en el sostre, conté, sobre tot en les capes més sòmes, gran quantitat de matèries amoniacals, y és, per lo tant, un excel·lent adob. Y abans que fos coneguda aquesta aplicació, recorden els vells del país qu'en època en qu'era més extès l'ús del rapé anaven â boscar-hi, entre la fina pols de la cova, aquella que pel seu color se prestava més a barrejar-la amb la pols del tabac, d'on li ve a la cova el nom que té (Vidal 1894).

Donada aquesta intensa afectació dels sediments, Vidal decideix explorar l'entrada i la primera cambra trobant acumulacions de pedres caigudes del sostre i de les

parets de la cova que haurien dificultat la tradicional extracció de sediment. El material recuperat no és excessivament extens però indica una llarga ocupació d'aquest espai, que a partir de la presència de ceràmiques antigues, abundants molins de vaivé, percussors, fulles de sílex, estris d'os, braçalets de pecten i abundants petxines. Les ceràmiques son descrites com fragments decorats amb ditades, cordons digitats i en garlandes, així com fragments amb decoració incisa de ratlles i triangles. Tots i que escadussers esmenta la presència de restes de fauna domèstica i salvatge, així com possibles ossos humans (crani).

Tot aquest conjunt fou catalogat per Serra i Ràfols (1921) que posteriorment incorpora a la seva síntesis sobre el poblament prehistòric a Catalunya, incloent la Cova del Tabac, la Cova de l'Aigua i la Cova Negra de Tragó dins del grup de coves Neoneolítiques del que anomena cultura indígena, seguint la proposta de Bosch Gimpera (1923) (Serra i Ràfols 1930). Aquest esquema interpretatiu es seguit, ara convertit en Cultura de les Coves definida per Maluquer (1945), englobant a la Cova del Tabac.

A la dècada dels anys setanta i vuitanta l'activitat del Grup de Recerques Espeleològiques Mediterrània explora algunes d'aquestes coves del macís del Montsec, els resultats d'aquests treballs i dels materials arqueològics foren publicades a la revista Mediterrània (Vega 1981). Aquest grup va realitzar treballs, del que es desconeix la seva intensitat, a aquestes a coves de la zona conegudes des del segle XIX com la Cova Colomera (Sant Esteva de la Sarga) o la Cova del Moro (Olvena). De la Cova del Tabac es publica una planta de tota la cavitat i escassos materials arqueològics trobats en superfície que reiteren les pautes referides per Vidal (1894) i Serra i Ràfols (1930) (Fig.1).

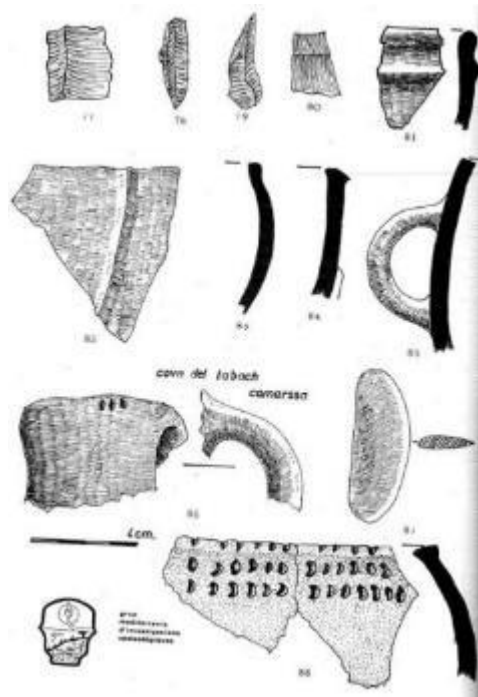


Figura 1.- Materials arqueològics procedents de la Cova del Tabac (Vega 1981).

Al 1978, Díez Coronel documenta un plafó amb pintures parietals a l'interior de la cova compostes per 12 grafies esquemàtiques d'un color ataronjat vermellós, identificant varis antropomorfs oculats, un estel·liforme i diverses figures indeterminades (Fig.2) (Díez-Coronel i Montull 1985) (Fig.2). Al 1985, aquestes van ser Bé Cultural de Interès Nacional (PH BCIN 2049-ZA). Al 1990 el Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya va encetar el Corpus de pintures rupestres dedicant el seu primer volum a la Conca del Segre (Castells 1990). En aquest volum s'incorpora el estudi del conjunt de pintures de la Cova del Tabac, refent els motius gràfic del calc que va elaborar per Díez-Coronel possiblement molt alterats, i descrivint, la seva situació, mides, tècnica emprada, color, estil, morfologia i estat conservació de forma individual de cada motiu, així com la bibliografia sobre les mateixes, convertint-se en la versió canònica al referir

aquest conjunt d'art rupestre . Al 1998 s'integren dins la Declaració del Patrimoni Mundial de l'Art Rupestre de l'Arc Mediterrani de la Península Ibèrica de la UNESCO.

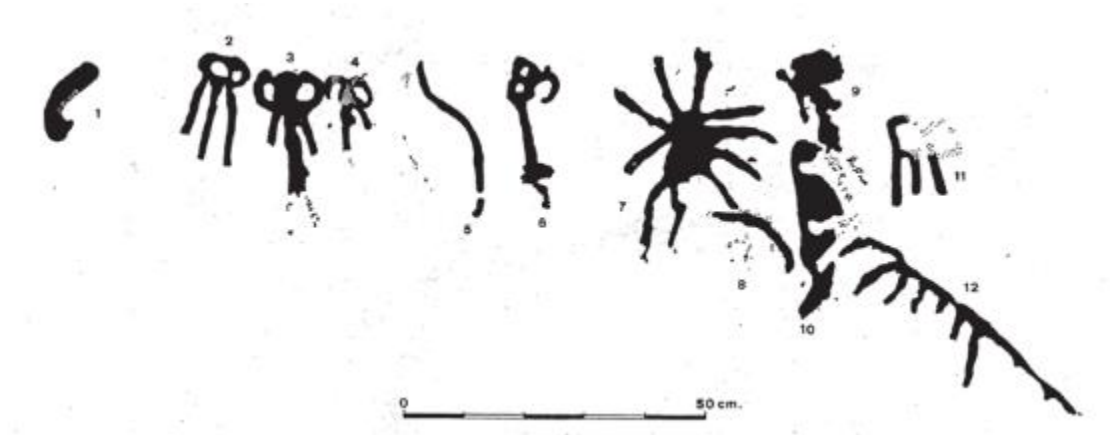


Figura 2.- Calc de les grafies esquemàtiques de la Cova del Tabac (Díez-Coronel i Montull 1985)

L'any 2017, el Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya , l'Ajuntament de Camarasa i el Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Universitat Autònoma de Barcelona van encetar un projecte integral de recuperació de la Cova del Tabac (Fig.3). Des de llavors, fins a data d'avui, s'han portat a terme excavacions arqueològiques sistemàtiques a la cavitat així com tot un projecte de recuperació integral de la cavitat que aborda des de la socialització del coneixement generat a públic no especialitzat fins a estudis concrets de la formació de la cavitat (Vega *et al.* 2021).



Figura 3.- Plafó amb les pintures rupestres de la Cova del Tabac, després de la seva restauració.

En línies generals, l'adscripció crono-cultural de les ocupacions prehistòriques de la Cova del Tabac es planteja en base a les restes ceràmiques i altres materials que defineixen un ampli espectre cronològic que oscil·la des del Neolític Antic fins l'Edat del Bronze (Ruiz Zapatero 1985; Martín 1992; Petit i Mendizàbal 2001; Oms Arias *et al.* 2009). L'escàs registre arqueològic i l'absència de contextos estratigràfics de referència obliga a realitzar una caracterització genèrica de la seva dinàmica d'ocupació de la Cova del Tabac.

Els darrers anys s'estan portant a terme diversos projectes de recerca que aportant informacions sobre els patrons d'assentament prehistòric de les coves al Mont-roig i àrees adjacents. Així, a la Cova del Parco (Alós de Balaguer) s'han documentat materials recuperats però amb problemes d'ordre contextual atribuïts al Neolític Antic (Petit 1996). Igualment, s'han començat les excavacions a l'Abric del Xicotó proporcionant materials adscrits al Neolític Antic (Oms Arias *et al.* 2019). A la Cova Gran de Santa Linya (Les Avellanes i Santa Linya) també es registren ocupacions de l'Edat del Bronze, i especialment de diversos esdeveniments relacionats amb el Neolític Final i Neolític Antic

(Mora *et al.* 2011; Mora Torcal *et al.* 2019). A la cova sepulcral del Forat de la Conqueta (Les Avellanes i Santa Linya) s'han exhumat restes humanes que corresponen a més de 30 individus, juntament amb aixovars del III mil·lenni. A la base de la seqüència d'aquest jaciment es va identificar una ocupació prèvia atribuïda al Neolític Antic (González Marcén 2010). Els projectes de recerca iniciats a l'any 2005 al voltant de la Serra del Montsec que inclou els jaciments de la Cova Colomera, la Balma de la Massana i la Cova del Mort, abasten des del Neolític Antic al Bronze inicial (Oms Arias *et al.* 2010).

4. Context geogràfic

La Cova del Tabac s'ubica a la comarca de la Noguera, municipi de Camarasa, Lleida (Fig.4). La cavitat es localitza a la Serra del Mont-roig, que forma part de les Serres Marginals del Prepirineu.

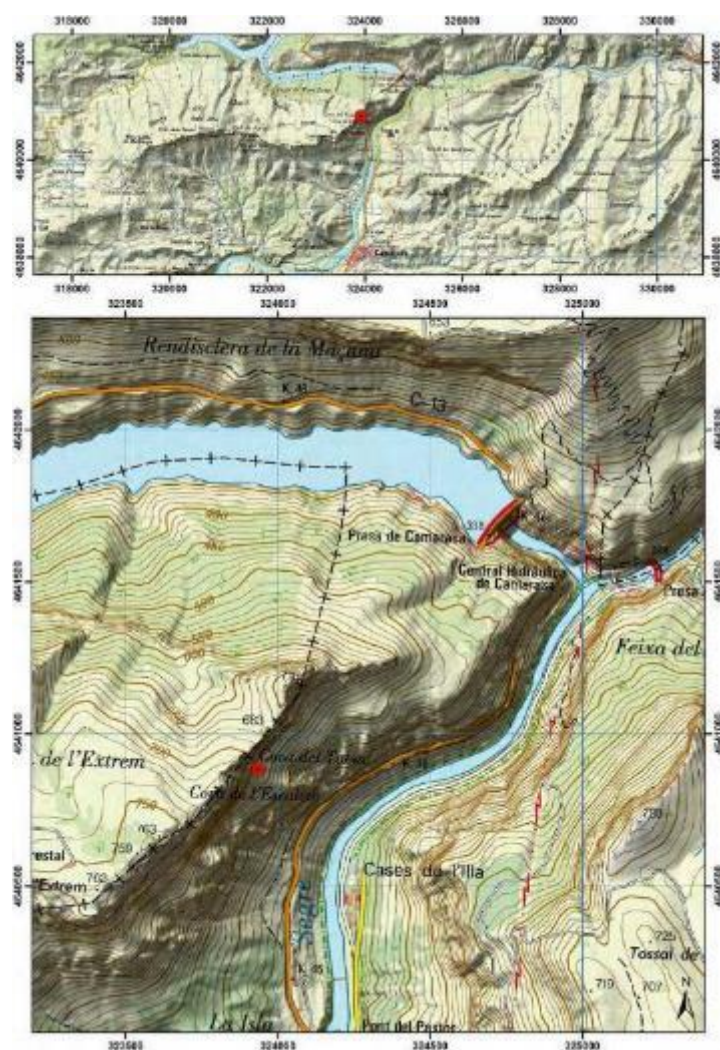


Figura 4.- Posició topogràfica de la Cova del Tabac. Sistema de coordenades, UTM, ETRS89.

La cavitat es localitza al marge est de la serra del Mont-roig, que forma part d'aquestes Serres Exteriors prepirinenques. La comarca de la Noguera presenta diverses unitats de paisatge; la Cova del Tabac es localitza a la coneguda com els Aspres de la Noguera (Observatori del Paisatge, 2006) (Fig.5).

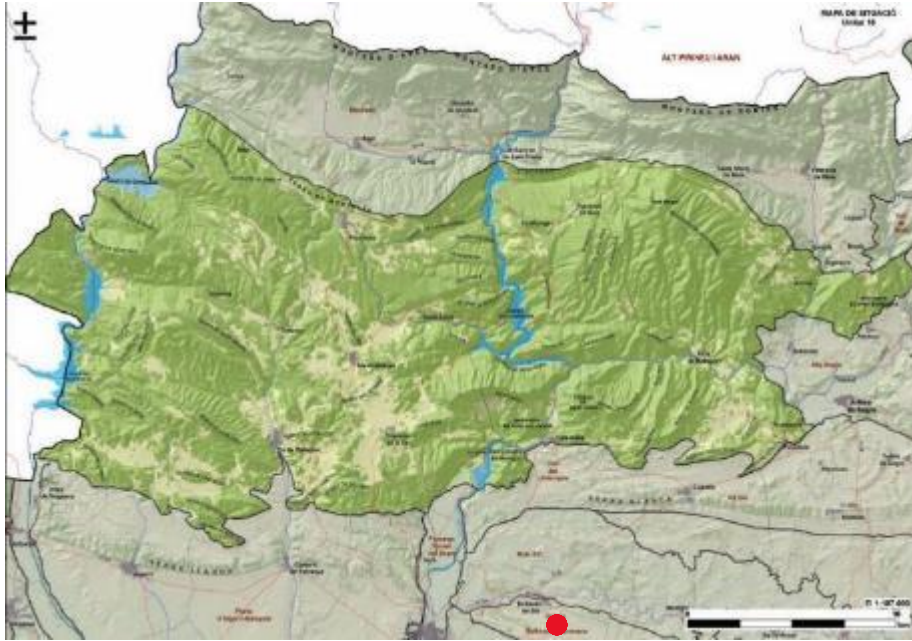


Figura 5.- La posició topogràfica de la Cova del Tabac dins de l' Unitat paisatgística dels Aspres de la Noguera (Observatori del paisatge,2006).

Aquesta unitat paisatgística comprèn bona part de les Serres Marginals compreses entre les Serres de Sant Mamet i Montclús al nord, i al sud Mont-roig, on s'ubica la Cova del Tabac (Fig.6).



Figura 6.- Vista àrea de la Cova del Tabac al penya-segat del Mont-roig

Els cursos fluvials del riu Noguera Pallaresa a l'oest i el riu Segre a l'est es connecten al peu del Mont-roig. Un element rellevant del paisatge que emmarca a la Cova del Tabac és el contrast entre les zones de valls i planes que corresponen amb sector meridional de la Depressió de l'Ebre amb les primeres Serres Prepirinenques. La Cova del Tabac s'ubica en el cingle superior del vessant sud del Mont-roig,i les seves coordenades geogràfiques son X: 324032, Y: 4641052 i Z: 633 m.s.n.m. (Datum ETRS89).

5. Context geològic

La Cova del Tabac està situada en el sector més oriental de les Serres Exteriors dels Prepirineus (o Marginals segons la denominació geològica). Aquestes serres conformen el mantell meridional de la Unitat Sudpirinenca Central, que enllaça immediatament cap al sud amb el marge nord de la Depressió de l'Ebre (Gil *et al.* 1990; Teixel *et al.* 1996; Briansó *et al.* 2000). Les Serralades Marginals estan formades per litologies compreses entre el Triàsic i l'Oligocè, amb abundància de dipòsits carbonatats, que en conjunt plegats i notablement fracturats per l'orogènia Alpina. D'altra banda, a la

Depressió de l'Ebre abunden els sediments detrítics fins, a més d'afloraments de guix, també afectats per aquest plegament.

La Cova del Tabac es localitza en la làmina encavalcant del Mont-roig, que presenta cabussament monoclinal cap al N i que, entorn al del riu Segre es troba plegada formant una parella anticlinal-sinclinal amb vergència E. Al nord de la Cova del Tabac s'identifica una falla N-S de caràcter local, que afecta els materials cretàtics on es desenvolupa el sistema endocàrstic Tabac-Pas del Sastre. No obstant, cap estructura tectònica rellevant (al mapa escala 1:50.000) travessa la Cova del Tabac (Fig.7).

La formació on es desenvolupa la Cova del Tabac són calcàries bioclàstiques del Cretaci superior (Campanià-Maastrichtià) que es recolzen a través d'un contacte de transició amb la unitat arenosa i lutítica infrajacent constituïda per sorrenques i graves quarsíferes, lutites i calcàries ocres del Cretaci Superior (Santonià-Campanià inferior). D'altra banda, el límit superior de les calcàries del Campanià-Maastrichtià gradualment - localment net- connecten amb les calcàries micrítiques de la Fàcies Garumniana.

La unitat Campanià-Maastrichtià constitueix el tram de calcàries més potent del domini de les Serres Marginals, essent equivalent en edat i fàcies a la Formació Bona de les Serres Marginals. Aquesta formació conte dos fàcies, les calcàries bioclàstiques

“grainstones i packstones” ocre amb gran quantitat de fòssils, i calcàries grises de gra fi “packstones i wackestones” amb nombrosos foraminífers.

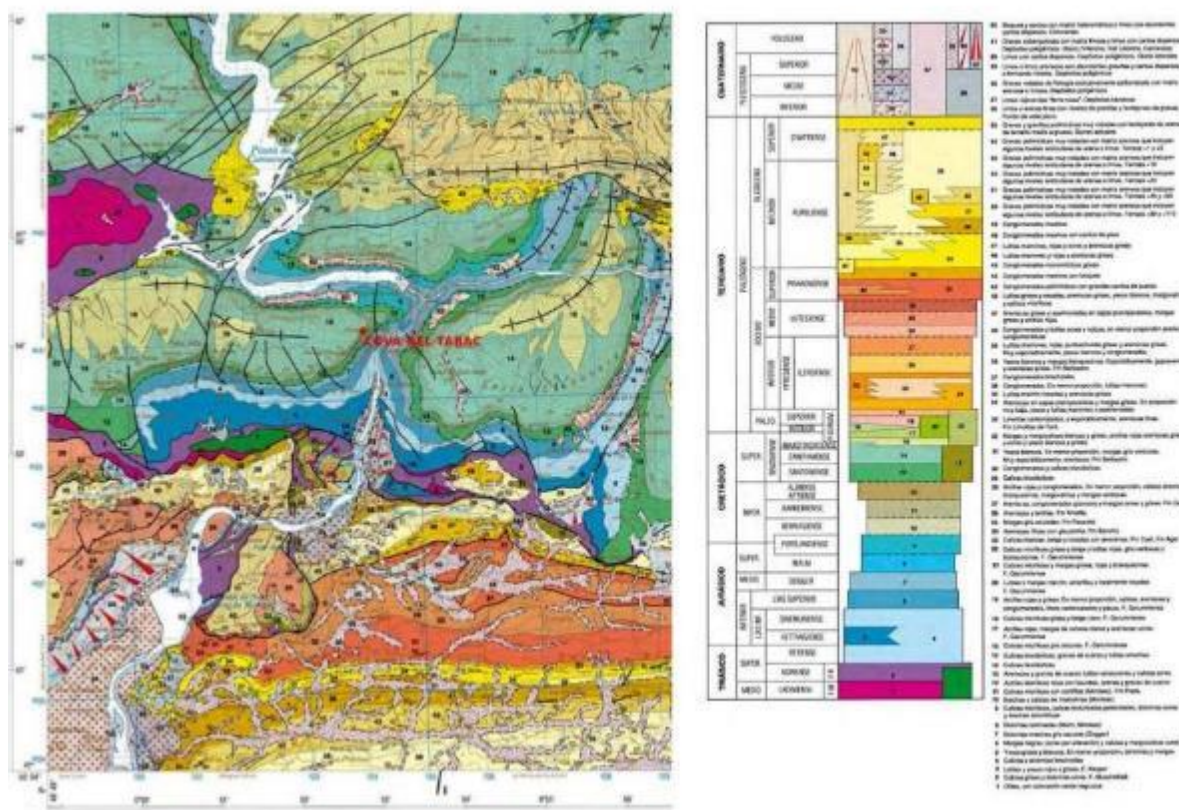


Figura 7.- Posició de la Cova del Tabac en un extracte del mapa geològic, escala 1:50.000 Sèrie MAGNAN (IGME), full 328, Artesa de Segre Llegendra del mapa geològic 1:50.000 Sèrie MAGNA (IGME), full 328, Artesa de Segre (Briansó *et al.* 2000).

Les primeres aflorèn en capes formant trams de diverses desenes de metres, presentant estratificació creuada de mitjana i gran escala, amb un contingut fòssilífer compost per briozous, lamel·libranquis, algues coral·linàcies, coralls, equinoderms, gasteròpodes, rudistes i foraminífers (miliòlids, orbitòidids i rotàlids). Localment, especialment cap a la base contenen grans d'arena de quars. Les calcàries de gra fi i micrítiques contenen rudistes, gasteròpodes i algues dasicladals, i foraminífers de tipus miliòlids (nezzazatinèlids, rotàlids i ataxofragmínids). Les rudistes, coralls i algues formen petites bioconstruccions donen fàcies de calcàries noduloses amb estratificació massiva, que es troben parcialment dolomititzades en els sectors on la successió estratigràfica té menor espessor, arribant a desaparèixer cap al sud de la Cova del Tabac.

A les làmines encavalcants de Sant Llorenç de Montgai es reconeixen altres dipòsits mesozoics. (Teixel *et al.* 1996; Briansó *et al.* 2000) (Fig. 7).

Aquesta formació es va produir en un medi sedimentari de plataforma poc profunda, alternant dipòsits energètics (barres de “grainstones” i “packstones” bioclàstics) amb fàcies poc energètiques (“packstones” bioclàstics de gra fi) i “lagoon” (calcàries micrítiques). De S a N s’observa un augment de la làmina d’aigua sota la qual es van dipositar els sediments i es detecta l’efecte de la diacronia en aquesta unitat i els dipòsits infrajaccents (Briansó *et al.* 2000).

6. Objectius i treballs realitzats

Els treballs realitzats han consistit en el modelatge 3D de la cavitat així com a l’ús de la càmera hiperspectral per la documentació gràfica de les pintures rupestres conegudes de la cavitat.

Els objectius dels treballs realitzats han consistit en:

- Escaneig 3D a color de la cavitat per obtenir un model detallat de la cavitat.
- Ús de la càmera hiperspectral per la documentació gràfica del panell de pintures rupestres de la cavitat així com de les noves pintures documentades.

A la present memòria es detallen els treballs de documentació gràfica realitzada i la metodologia emprada per a la seva realització.

7. Modelat 3D a color de la Cova del Tabac

Els escàners làser terrestres són instruments muntats sobre la superfície del terreny a través dels quals es pot obtenir un model 3D del seu entorn amb precisions mil·limètriques. Aquests instruments inclouen un sensor làser que captura la geometria 3D de l'entorn i sensors fotogràfics que capturen el color del seu entorn, en cas d'estar il·luminat. Aquest va ser el cas en la Cova del Tabac, on es va muntar un sistema d'il·luminació per a proporcionar color al model 3D de la cavitat.

7.1. Metodologia

El conjunt de la cavitat ha estat modelitzat en 3D aplicant el TLS RCT360 de Leica. L'escàner muntat sobre el seu trípod de treball o bé en el seu suport per a sòl, desenvolupa un escanejat de 360 graus al seu voltant proporcionant un model 3D del seu entorn, compost per un núvol de punts de coordenades 3D amb precisió mil·limètrica. L'aplicació de successives preses o escanejos al llarg de la cavitat ha permès obtenir el model 3D virtual de la cova en color.



Figura 8.-Exemple del posicionament de l'escàner làser terrestre Leica RTC360 sobre el trípod a l'entrada de la Cova del Tabac.



Figura 9.- Exemple del posicionament del escàner làser terrestre Leica RTC360 directament sobre el seu suport per al terra.



Figura 10.- Il·luminació ambiental de la cavitat con focus LED portàtils.



Figura 11.- Sistema d'il·luminació frontal muntat en el escàner per a la il·luminació directa per a les fotografies que pren l'escàner làser.

Per a l'obtenció de dades de color es va utilitzar un sistema d'il·luminació consistent en focus LED distribuïts per la cavitat per a proporcionar llum ambiental al conjunt de la cavitat. Al mateix temps, també es va muntar un sistema de llum frontal en l'escàner, que girava amb l'escàner durant la presa de dades de manera que proporcionava llum directa a les fotografies de l'escàner.

Els escanejos van ser units mitjançant tècniques de registre o alineació 3D utilitzant les zones de solapament entre escanejos, per a compondre el model final del conjunt de la cavitat, que va ser georeferenciat en coordenades UTM (ETRS89 H30N) per al seu muntatge amb els models fotogramètrics obtinguts amb el dron. La georeferenciació del model tridimensional obtingut amb el dron TLS-RGB va ser realitzada a partir de models anteriors que estaven georeferenciats a partir dels punts de control UTM ETRS89H31N que el servei de topografia de la Generalitat va establir en l'entrada de la cavitat per al muntatge del reixat d'entrada.

7.2. Resultats

L'aplicació de successives preses o escanejos al llarg de la cavitat va permetre obtenir el model 3D virtual de la cova. La presa de dades es va realitzar sobre l'escàner estàndard de l'escàner RTC360, muntat a diferents alçades segons les condicions i altures de la cavitat. La presa de dades va ser controlada i registrada progressivament amb una tauleta iPad, connectada a l'escàner mitjançant WIFI, a través del programari Leica Cyclone FIELD 360. Amb aquest programari es va anar seleccionant la resolució dels escanejats, amb la funció de color activada, i realitzant el seu registre progressiu. El registre es va realitzar ajudat per la funció de registre “Visual Inertial System (VIS) Technology” que proporciona l'escàner, consistent en un conjunt de cambres situades en les vores i part superior de l'escàner que registren i controlen el moviment de l'escàner i la seva posició relativa entre escanejats, facilitant la unió entre núvols de punts de diferents preses. En total, es van realitzar un total de 135 escanejats, distribuïts des de la terrassa de l'entrada a la cavitat fins al final accessible de la cavitat, tapada per bretxes al·lòctones. Aquests 135 escanejats van ser realitzats a resolució de 12 mm als 10 m amb fotografia esfèrica adaptativa. Per a que la fotografia adquirís colors RGB en les zones interiors es van utilitzar els focus portàtils LED, que es van distribuir al llarg de la cavitat, i la llum frontal muntada sobre l'escàner.

Després de la presa de dades en camp, i ja en laboratori, es va procedir a la descàrrega de dades i el seu processament en una estació de treball del Laboratori de Cartografia 3D i Anàlisi 3D (CENIEH). Aquest processament es va realitzar amb el programari Cyclone Register 360. Els 135 escanejats van ser importats en un únic conjunt, on es van analitzar i van reprocessar tots els enllaços creats.

L'optimització del registre va proporcionar paràmetres de qualitat, definits per un solapament global del 75%, amb una força del 77%, determinant un error de núvol a núvol de 0,004m.



Resultados de error para Conjunto 1

Número de escaneos: 135
Número de enlaces: 447
Fuerza: 77 %

Error de conjunto
0.004 m ✓

Solape: 79 %

Solape
79 % ✓

Fuerza
77 % ✓

Nube a nube
0.004 m ✓

Error de diana
—

Error máximo de 0.015 m.

Error máximo de 0.020 m.

Error mayor de 0.020 m.

Figura 13.- Paràmetres de qualitat en el registre del conjunt de núvols de punts, determinat per un error mig del conjunt de 0,004 m.



Figura 14.- Exemple dels núvols de punts amb RGB a l'interior de la Cova del Tabac.

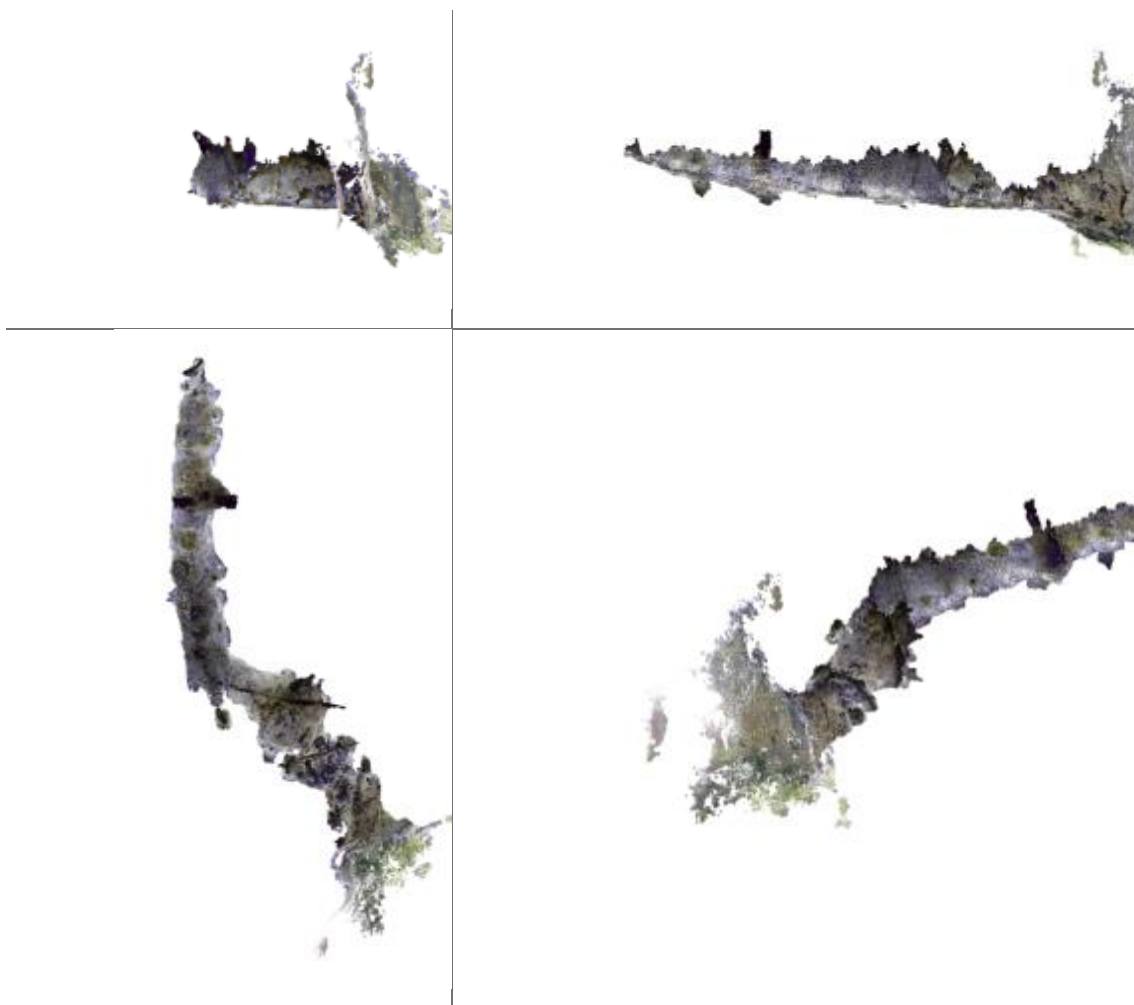


Figura 15.- Alçat, perfil, planta i vista isomètrica núvol de punts de la Cova del Tabac (d'esquerra a dreta i de a dalt a baix).

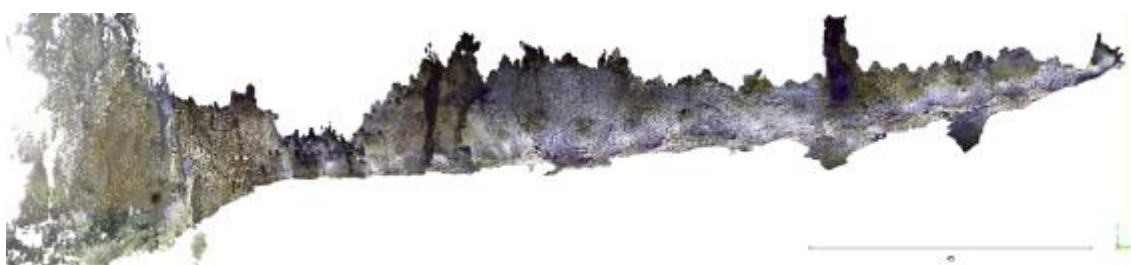


Figura 16.- Alçat E-W isomètric del núvol de punts de la Cova del Tabac. Escala expressada en m.

El model 3D va ser netejat de punts d'objectes estranys a la cavitat, com ara els derivats del muntatge o del personal de treball. Els resultats mostren el núvol de punts 3D dels aproximadament 180 m de longitud de la cova Cova del Tabac, que compta amb prop de 430 milions de punts (mostrejat a 2 mm de resolució), té colors (RGB) associats i està georeferenciada. En aquest conjunt de dades, destaca l'elevada precisió interna del núvol de punts amb un error 3D del conjunt de ± 4 mm (error d'unió entre escanejats) en un total de 135 escanejats i un error de georeferenciació de ± 2.7 cm.

7.3. Identificació de les principals formacions espeleològiques utilitzant color 3D

Per a la consulta oberta a tot el públic de totes les dades referents al núvol de punts i les panoràmiques RGB preses amb l'escàner RTC360 de Leica, també es va generar un arxiu consultable a través de programari de lliure accés i instal·lació TrueView de Leica. Aquest programari permet la consulta lliure dels models 3D, navegar virtualment pel model i realitzar consultes o afegir informació en punts específics, facilitant la identificació i consulta de les principals formes i dipòsits espeleològics en la Cova del Tabac. A través d'aquest programari i els models 3D generats es presenta una revisió dels principals espeleògens i espeleotemes de la cavitat.

Uns dels principals elements que criden l'atenció en la Cova del Tabac són els forats que s'observen en el sostre de la cavitat. Aquests forats, comunament de forma circular o el·líptica es diuen cúpules i són formades per la dissolució de l'aigua causa en la roca.

Moltes d'elles van ser generades per les aigües subterrànies que van formar la cavitat, mentre que per a unes altres, les denominades *bell holes* (forats de campana), que venen definides per una altura major que la seva amplària, també es proposen una gènesi produïda per la condensació i corrosió.

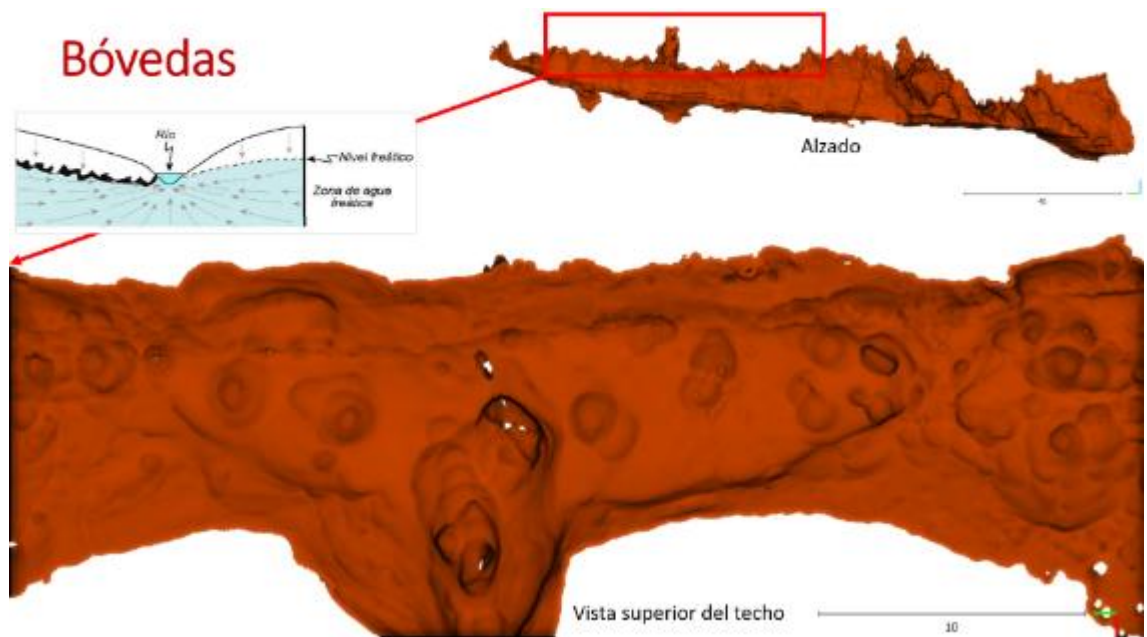


Figura 17.- Voltes presents en el sostre de la Cova del Tabac, generades per la dissolució a pressió que es generava quan l'aigua omplia la cavitat.

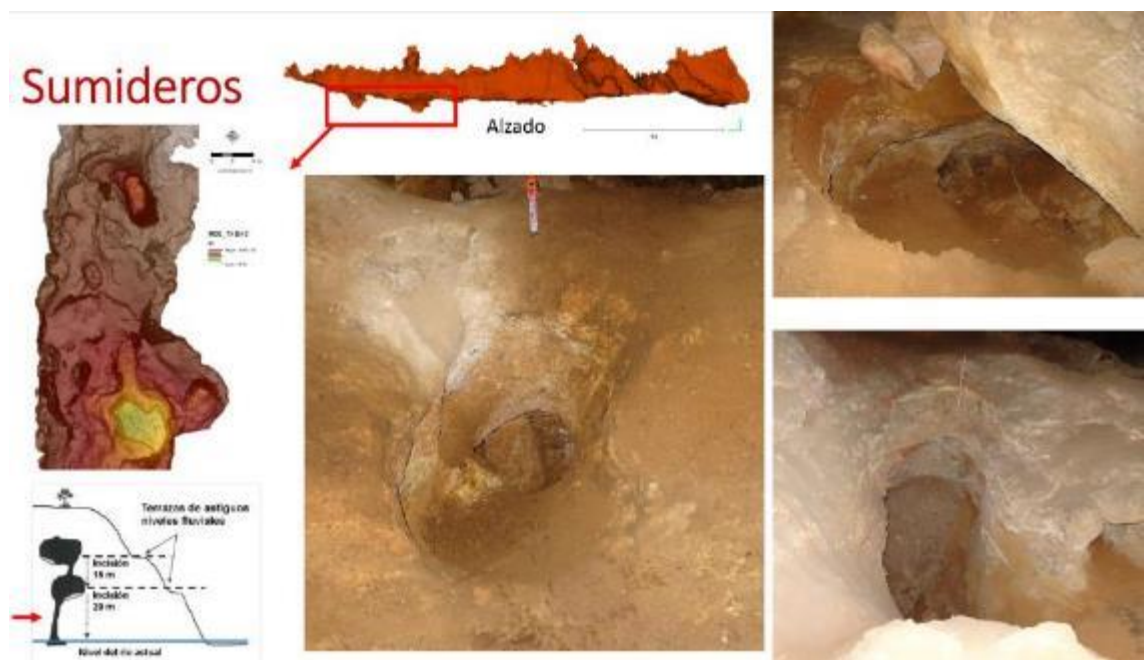


Figura 18.- Principals embornals identificats en els models 3D, il·lustrats amb fotografies.

Un altre dels principals elements que destaquen quan es visita la cavitat és la presència de pous, localitzats principalment en el sector fosc de la cavitat. Tal com la morfologia obtinguda amb els 3D indica, caracteritzada per vores i formes arrodonides, aquests pous són d'origen natural. Es denominen embornals i han estat excavats per les aigües que s'infilten en la cavitat i erosionen el farciment detrític infiltrant-se per aquests embornals fins a zones més profundes del massís del Mont-roig.



Figura 19.- Vista de la galeria final de la Cova del Tabac des de la part final fins l'entrada, utilitzant el programari d'ús gratuït *TrueView*. Els cercles vermells indiquen la posició dels escanejats a través dels quals se pot navegar fent doble clic a cadascun. Es fan visibles els pous i embornals a la part principal de la cavitat.



Figura 20.- Vista de la part intermitja de la cavitat de la Cova del Tabac, a la zona de caos de blocs formats per el desplom del sostre, utilitzant el programari d'ús gratuït *TrueView*. Els cercles vermells indiquen la posició dels escanejats a través dels quals es pot navegar fent click sobre cadascun.

Desplomes



Figura 21.- Vista de la part intermitja de la cavitat de la Cova del Tabac, on destaquen els blocs desplomats del sostre per la presència de un encreuament de fractures.

En la part intermèdia de la cavitat, en la zona de trànsit entre el sector amb llum i el sector a les fosques, es localitza un caos de blocs format per l'enfonsament del sostre. Aquest enfonsament del sostre es va deure a una major feblesa de la roca en aquesta zona a causa de fractures que creuen el sostre.



Figura 22.- Panoràmica 360° generada amb Trueview on s'observa l'encreuament de fractures en el sostre que va causar los desploms que van formar el caos de blocs situats al sector intermig de la cavitat. També es nota la presència de les petites cúpules circulars.

Encara que els espeleotemes com estalagmites i estalactites no són freqüents a la Cova del Tabac, també podem trobar alguns casos que ens donen dades sobre l'evolució

de la cavitat. En concret, podem trobar els denominats com a falsos sòls, que són crostes estalagmítiques que es formen en el sòl de la cavitat sobre els dipòsits terrígens. Posterior aquests dipòsits terrígens són erosionats, deixant les crostes calcàries com a sòls penjants.



Figura 23.- Detalls fotogràfics d'alguns espeleotemes característics de la Cova del Tabac.



Figura 24.- Panoràmica 360° generada amb Trueview on s'observa el tros de terra penjant, format per la crosta estalagmítica formada sobre el dipòsit terrigen i penjant després de l'erosió d'aquest.

També s'observen estalagmites, d'aspecte antic que poden estar basculades o inclinades pel socavament que l'erosió ha causat en els dipòsits detrítics de la seva base.



Figura 25.- Panoràmica 360° generada amb *Trueview* on s'observa una estalagmita d'aspecte molt antic. S'observa que actualment té la superfície seca i amb estigmes d'erosió, la qual cosa indica la seva antiguitat.



Figura 26.- Panoràmica 360° generada amb *Trueview* on s'observa un fals sòl amb estalagmites erosionades, que en conjunt estan inclinades pel descalçament que va causar l'erosió de la seva base detrítica.

En la cavitat, la formació de espeleotemes més recents és rara, encara que també pot ser observada. Aquest és el cas dels *gours* situats en la sagristia o petita sala lateral situada després d'una gatera. Els *gours* són discs formats per la precipitació de la calcita que delimita petits gorgs, plens d'aigua durant els períodes humits.



Figura 27.- Situació dels espeleotemes més recents de la Cova del Tabac, corresponent als *gours* localitzats a la petita sala de la sagristia, que encara se poden observar plens d'aigua en els períodes de pluja.

Un altre de les formacions crucials per a comprendre l'evolució de la Cova del Tabac és el seu farciment detrític. Està compost per argiles, clastos de calcària i sorres, que van emplenar parcialment la cavitat i actualment forma el sòl de pràcticament la majoria de la cavitat. Es distribueixen des del fons de la cavitat, per on van entrar per fluxos d'aigua, tapant la connexió entre la Cova del Tabac i la Cova del Pas del Sastre, fins a la sortida de la Cova del Tabac, per on sortien de la cavitat precipitant-se al canó del riu Segre.



Figura 28.- Situació dels espeleotemes més recents de la Cova del Tabac.



Figura 29.- Panoràmica 360° generada amb *Trueview* on s'observa el fons de la cavitat, tapada pel rebliment detrític que va bloquejar la connexió entre la Cova del Tabac i la Cova del Pas del Sastre.



Figura 30.- Panoràmica 360° generada amb *Trueview* de l'entrada de la Cova del Tabac, on s'observen els sediments més fins del rebliment detrític, format per llims, argiles y sorres fines.

Però sens dubte, una dels elements més importants de la Cova del Tabac és el seu conjunt pictòric, situat en la zona de trànsit entre el sector il·luminat per la llum del dia i el sector fosc, on no arriba la llum del dia. En aquesta zona de trànsit es localitza un arc o pòrtic de 7,7x3,6 m, en la part dreta del qual es localitza el panell rupestre principal.



Figura 31.- Vista *TrueView* del pòrtic on es localitzen les pintures rupestres de la cavitat de la Cova del Tabac. A través d'aquest programari es poden fer mesures de les dades 3D i introduir informació en punts específics.



Figura 32.- Vista del pòrtic format pel núvol de punts 3D amb color RGB.

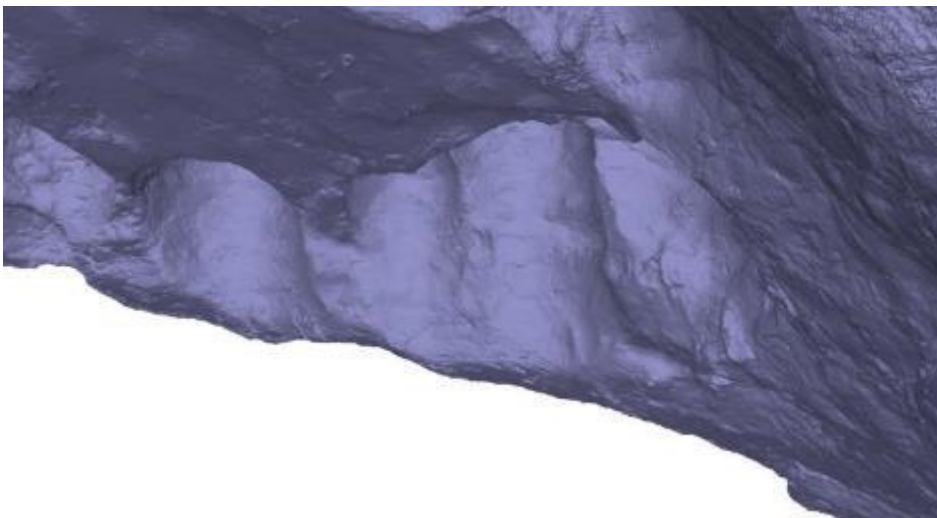


Figura 33.- Vista 3D del extrem N del pòrtic on es troba el panell rupestre sota un conjunt de tres cúpules *bell holes*, que conformen un “campanar”.

A l'extrem nord del pòrtic es localitza un conjunt de cúpules de tipus *bell holes* (forats de campana). D'aquesta manera, podria expressar-se que les pintures rupestres es van dibuixar en la base d'un campanar, aprofitant les morfologies còncaues que les bases d'aquestes cúpules o campanar van proporcionar. A través de l'enaltit dels colors vermells amb l'algoritme DStretch als colors RGB dels models 3D es pot observar com les figures principals ocupen en aquestes concavitats. En concret l'antropomorf es localitza en la base de la cúpula esquerra, mentre que la figura solar se situa en la concavitat de la cúpula central, de majors dimensions.



Figura 34.- Vistes 3D per mostrar la relació entre els espeleògens i el panell rupestre principal de la Cova del Tabac. El panell rupestre es situa a la base de les tres cúpules *bell holes* (o forats de campana), com si es tractés d'un campanar.



Figura 35.- Aplicació del algoritme DStretch (Harman, 2024), per gentilesa de J. Pizarro, per a enaltir els colors vermells de les pintures rupestres en el model 3D. En aquest model es pot apreciar que les pintures principals ocupen les concavitats relacionades amb la base de les cúpules, posicionant el motiu antropomorf principal en la concavitat de la cúpula esquerra, de menors dimensions, i el motiu solar a la concavitat de la cúpula principal, de major alçada i amplada.

8. Registre hiperespectral del conjunt pictòric de la Cova del Tabac

Les imatges hiperespectrals capturen informació contínua (o gairebé contínua) al llarg de l'espectre electromagnètic, proporcionant informació més completa de l'espectre que les imatges capturades amb càmeres fotogràfiques convencionals. Així, mentre que la informació d'una càmera convencional proporciona tres canals o bandes de color RGB, compostes per la banda vermella (*red*, R), verda (*green*, G) i blau (*blue*, B), les càmeres hiperespectrals arriben a poder capturar desenes o centenars de bandes, tant de l'espectre visible com de l'espectre no visible, proporcionant una ingent quantitat d'informació sobre l'espectre electromagnètic reflectit per l'objecte a analitzar. Les càmeres hiperespectrals són àmpliament usades en agricultura, mineria, vigilància, imatges de satèl·lit, etc., proporcionant les “petjades” o signatures espectrals que ajuden a identificar i analitzar els diferents components continguts en les imatges.

Si l'aplicació de la fotografia digital convencional ja va representar un revulsiu en l'anàlisi de les pintures rupestres, per exemple aplicant diferents correccions per a ressaltar, estudiar i conservar les pintures rupestres (p.e. DStrech, dissenyat per Harman (2024), l'aplicació de les càmeres hiperspectrals també obre un nou camp tecnològic per a l'anàlisi de les pintures proporcionant centenars de bandes de color al llarg d'un rang espectral molt més ampli. La captura de color en les càmeres hiperspectrals proporciona nombroses capes d'informació sobre l'espectre electromagnètic, la composició del qual forma un cub de dades tridimensional.

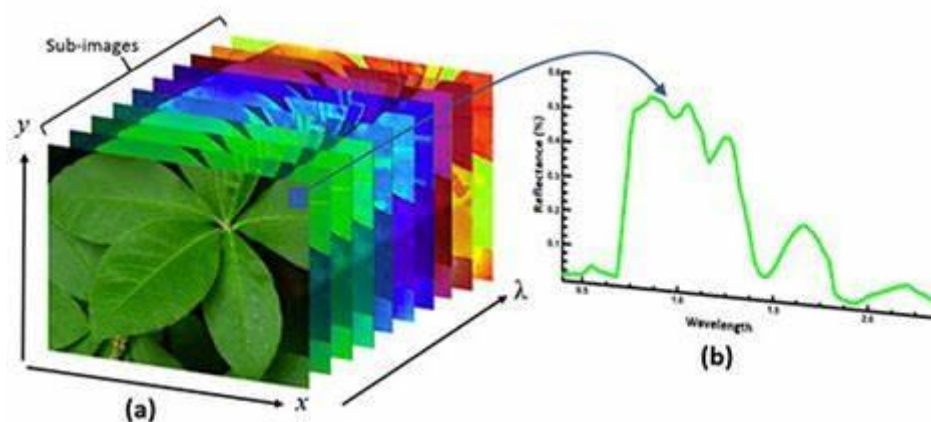


Figura 36.- Exemple d'un cub hiperspectral format per centenars de capes que contenen diferents longituds d'ona dins de l'espectre electromagnètic.

D'aquesta manera, les imatges hiperspectrals milloren la captura d'informació espectral (en detriment de la resolució espacial), facilitant l'estudi de la composició de cada pigment mitjançant l'anàlisi de la llum solar reflectida i s'apliquen per a la discriminar entre pigments i identificar pigments degradats no visibles (Bayarri et al., 2019, 2021, Schmitt et al 2023), encara que la captura està molt condicionada per les condicions lumíniques i la rugositat del substrat.

8.1. Metodologia

El registre de las pintures rupestres de la Cova del Tabac es va realitzar utilitzant el següent equipament del Laboratori de Cartografia Digital i Anàlisi 3D del CENIEH:

- Càmera hiperspectral Hyperspec VNIR A-Series, de Headwall, muntada sobre un motor rotatori per al escombrat hiperspectral de la escena a escanejar. Aquesta càmera captura 854 canals o bandes distribuïdes entre els 400 i els 1000 nm.
- Un objectiu 17 mm
- 4 focus halògenes de 400W
- Ordinador portàtil pel control de la presa de dades i els seu emmagatzematge
- Generador elèctric per proporcionar electricitat al conjunt

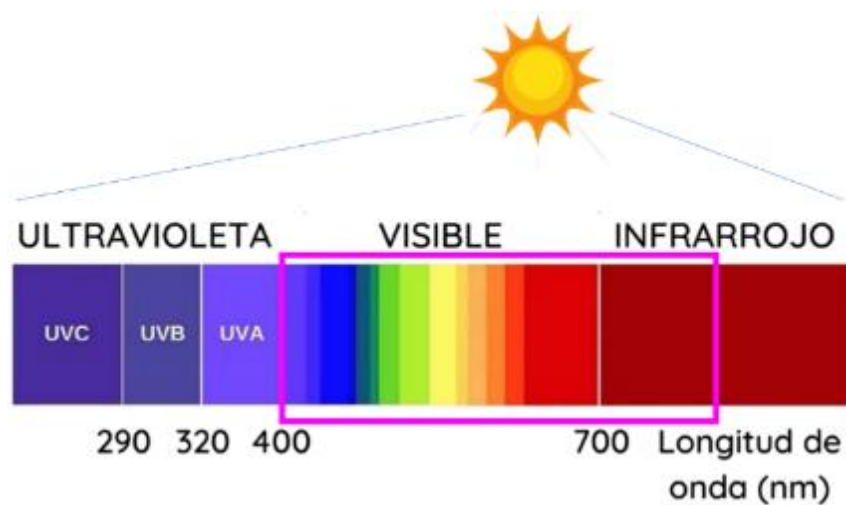


Figura 37.- Espectre electromagnètic capturat per la càmera Hyperspec VNIR A-Series, de Headwall, usada per a l'anàlisi hiperspectral de las pintures rupestres de la Cova del Tabac.

Amb esta configuració es van realitzar les següents preses en les dues zones amb pintures rupestres:

Zona del Pòrtic, panell principal

- Preses nº1 a nº 3. Probes de calibratge i ajust de la càmera.
- Presa nº 4 (nom Tabac4_2024_03_06_11_16_26 - copia): 3 focus halògens de 400W cadascun posicionats al terra. Càmera a 1.5 m de distància de la pintura. Amb referència de blancs espectrals.

- Presa nº 5 (nom Tabac5_2024_03_06_11_22_46 – copia): 3 focus halògens de 400W cadascun posicionats al terra. Càmera a 1.5 m de distància de la pintura. Amb referència de blancs espectrals.
- Presa nº 6 (nom Tabac6_2024_03_06_11_27_26 - copia): 3 focus halògens de 400W cadascun aixecats i enfocant perpendicularment al panell. Càmera a 1.5 m de distància de la pintura. Amb referència de blancs espectrals.
- Presa nº 7 (nom Tabac7_2024_03_06_11_39_11 – copia): 4 focus halògens de 400W cadascun aixecats i enfocant perpendicularment al panell. Càmera a 1.5 m de distància de la pintura. Amb referència de blancs espectrals.
- Presa nº 8 (nom Tabac8_reducido_2024_03_06_11_54_46 - copia): 4 halògens de 400W cadascun aixecats i enfocant perpendicularment al panell. Càmera a 1 m de distància de la pintura.

Pintura aïllada de la cúpula

- Presa nº1 (nom Tabac_Zona2_Toma1_2024_03_06_12_33_04 – copia): 2 focus halògens de 400W cadascun. Càmera a 1 m de distància de la pintura. Amb referència de blancs espectrals.
- Presa nº2 (nom Tabac_Zona2_Toma2_2024_03_06_12_34_45 - copia): 2 focus halògens de 400W cadascun. Càmera a 1 m de distància de la pintura.

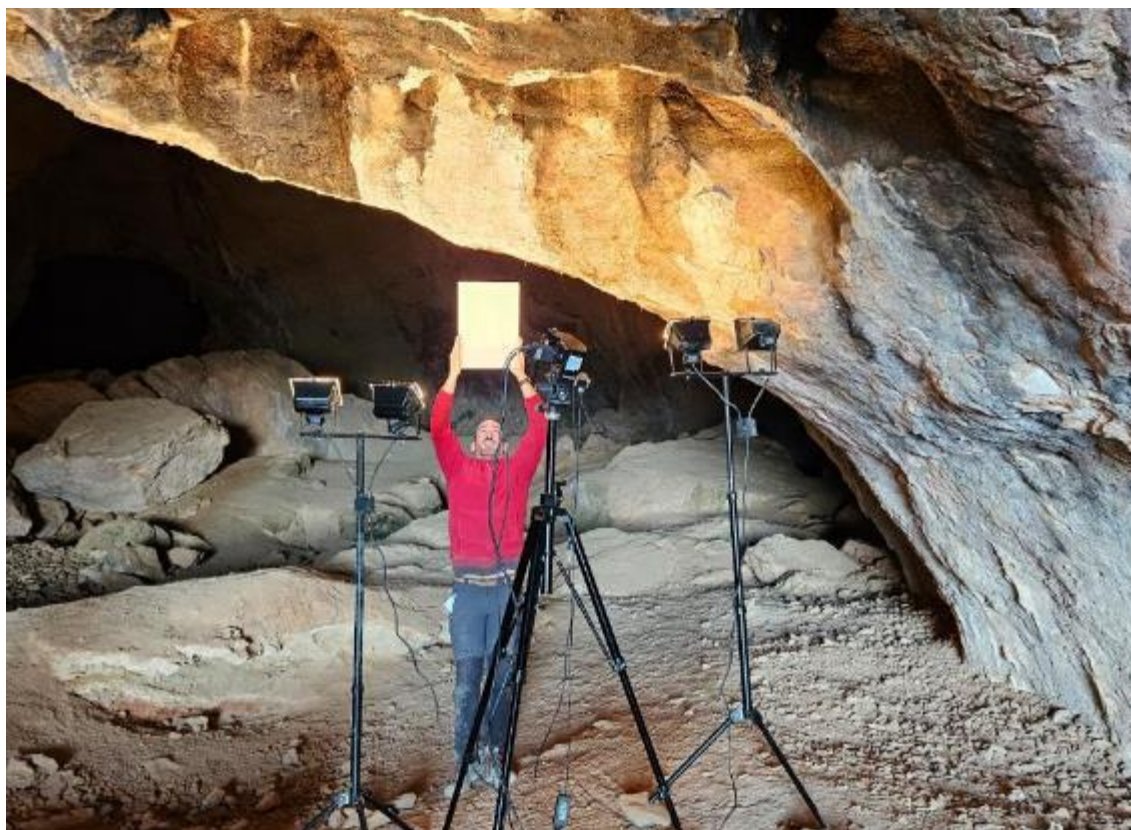


Figura 38.- Escombrat hiperespectral del panell principal del pòrtic de la Cova del Tabac, con la càmera Hyperspec VNIR de Headwall i la referència de blancs espectrals.

Les preses es van realitzar amb el programari propi de la càmera hiperespectral Headwall (Hyperspec III), que realitza una captura de la longitud d'ona entre 400 nm i 1000 nm corresponent a l'espectre VNIR, que inclou l'espectre visible i l'infraroig. Per a aquestes preses l'objectiu de la càmera va ser calibrada utilitzant un patró de negres i blancs, i es van calibrar els negres tapant l'objectiu.

Una vegada realitzades les preses, en el programari SpectralView, també propi de Headwall, organitza automàticament els píxels del espectraló segons els seus nivells digitals i la seva signatura és guardada com a referència de blancs sota el nom “*sceneWhiteReference.hdr*” (lloc per defecte pel programa, amb un nivell de reflectància del espectraló del 78% segons indicacions del certificat de calibratge). Després d'això, s'empra l'eina Reflectance per a extreure un cub de reflectàncies (*raw_*rf.hdr*), introduint la referència de blancs de l'escena en el processament.



Figura 39.- Escombrat hiperspectral de la pintura aïllada de la cúpula con la càmera VNIR A-Series, de Headwall, i focus halògens de 400W.

S'ha calculat la reflectància per a tots els cubs (menys les preses 1-3 de la zona 1). Hi ha preses on no està el espectral, per la qual cosa la reflectància s'ha determinat emprant el blanc de referència de l'escena anterior. És a dir, la presa n°8 de la zona 1 i la presa n°2 de la zona 2, s'han processat amb la referència de color de la presa núm. 7 de la zona 1 i la presa n°1 de la zona dues, respectivament. És per aquesta raó que en les seves carpetes també està definit l'arxiu amb extensió *raw_*rf.hdr*.

Després d'una anàlisi del senyal hiperspectral es va observar que el grau de diferenciació i la qualitat de la il·luminació era major en els següents cubs, pels quals van ser seleccionats per a realitzar el tractament estadístic:

- Presa n° 7 (nom Tabac7_2024_03_06_11_39_11 – copia): 4 focus halògens de 400W cadascun aixecats i enfocats perpendicularment al panell. Càmera a 1.5 m de distància de la pintura. Amb referència de blancs espectrals.

- Presa nº1 (nom Tabac_Zona2_Toma1_2024_03_06_12_33_04 – copia): 2 focus halògens de 400W cadascun. Càmera a 1 m de distància de la pintura. Amb referència de blancs espectrals.

D'aquesta manera, en els cubs d'aquestes preses ja calibrades amb els blancs de referència es va aplicar la següent metodologia i anàlisi, recentment sintetitzats en el treball de Schmitt et al (2023). Per a això, es van utilitzar els programes de lliure accés OrfeoToolBox 9.0, a través del plugin de QGIS, i Spectronon (de la signatura Resonon).

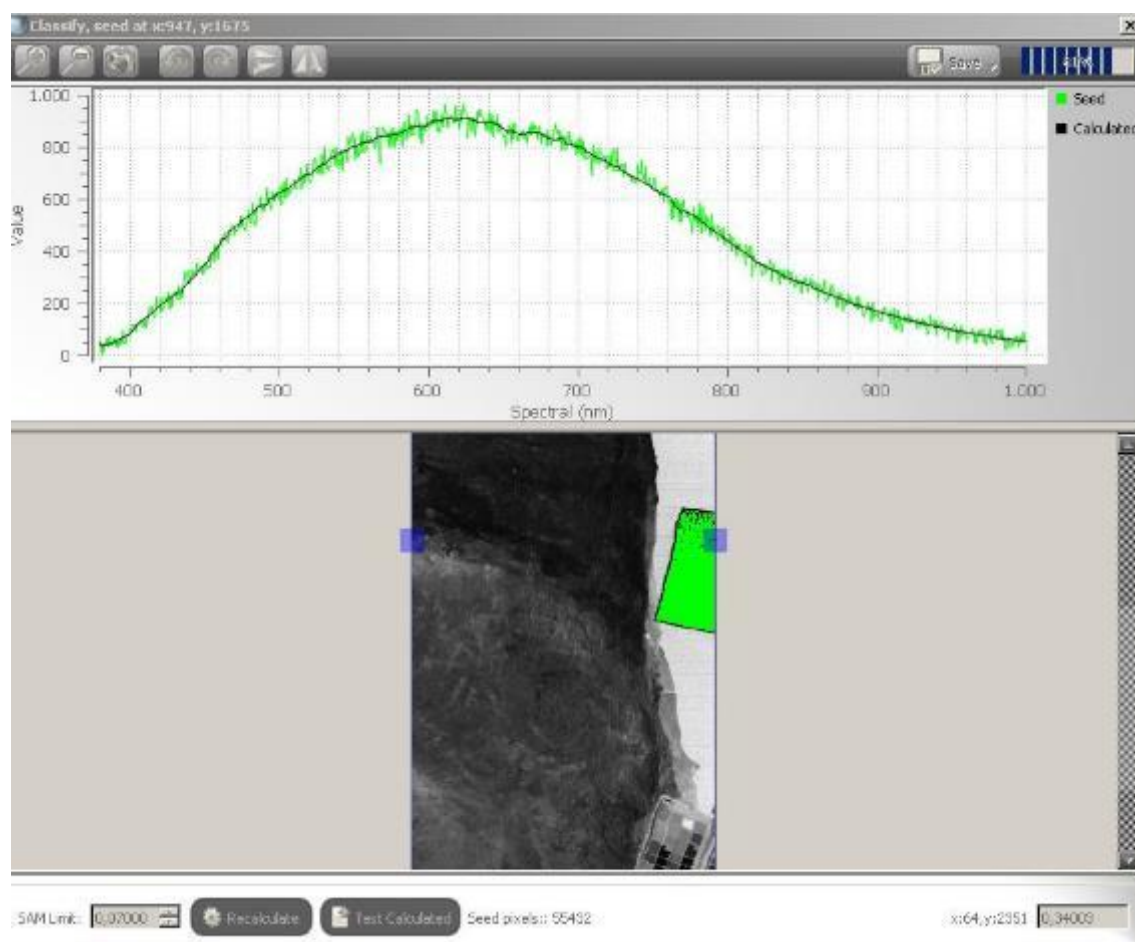


Figura 40.- Calibratge dels espectres a partir de la identificació dels blancs determinats pel panell de l'espectral.

- Aplicar una màscara per eliminar el blanc de referència del cub, amb l'objectiu d'evitar valors extrems en els anàlisis estadístics.
- Extreure la signatura espectral en el blanc de referència, a fi d'analitzar els sorolls en els extrems de l'espectre que estan en el límit de mesura de la càmera. Les bandes dels extrems de l'espectre que presentin sorolls evidents es van eliminar del cub hiperespectral a fi de que no influeixin en les anàlisis

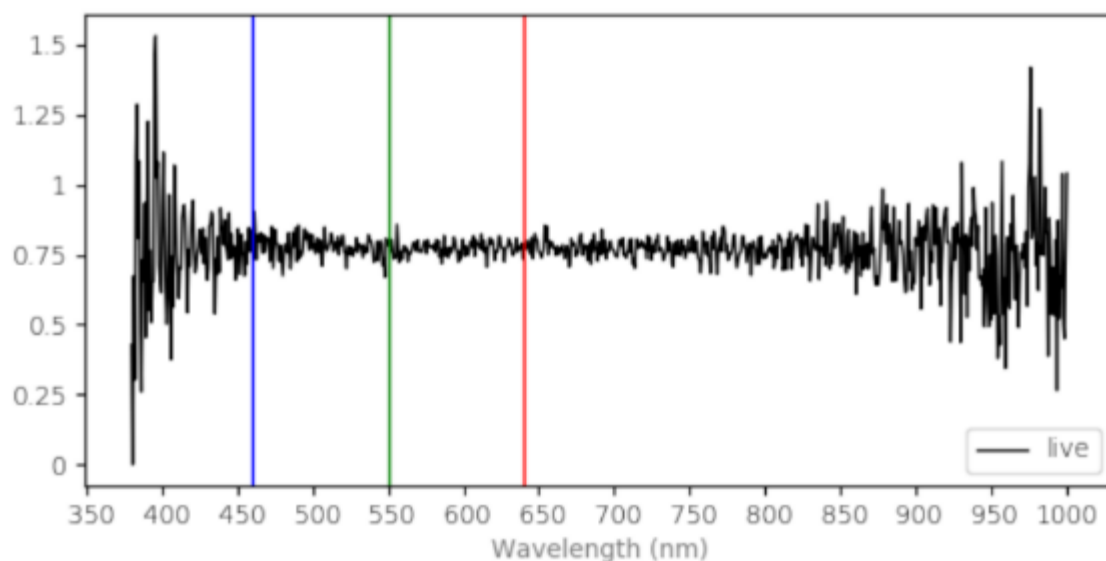


Figura 41.- Signatura espectral en el blanc de referència on es pot observar l'error en els extrems, les longituds d'ona dels quals van ser eliminades dels cubs hiperespectrals abans de les anàlisis. D'aquesta manera, les anàlisis es van centrar en l'espectre entre els 410 i els 910 nm.

- Reduir la dimensionalitat dels cubs hiperespectrals per a sintetitzar els principals components dels 854 canals o bandes que defineixen les signatures espectrals. A aquest efectes es van aplicar les anàlisis recomanades en la bibliografia recent:
 - *Principal Components Analysis* (PCA).
 - *Independent Components Analysis* (ICA)
 - *Minimum Noise Fraction Transform* (MNF)
- Classificar els cubs resultants, reduint als primers components obtinguts amb aquestes anàlisis. A aquest efecte existeixen mètodes de classificació no supervisada, on l'usuari només selecciona el nombre de classes (p.E. algorismes ISODATA o K-MEANS), i classificacions supervisades, on l'usuari identifica la signatura espectral a identificar a partir d'àrees d'entrenament, com per exemple és el cas de l'algorisme *Sample Angle Mapper* (SAM) aplicat en aquest informe.

8.2. Resultats

Els cubs hiperespectrals després dels processos de rotació, transposició i eliminació de soroll visual se mostren a continuació:

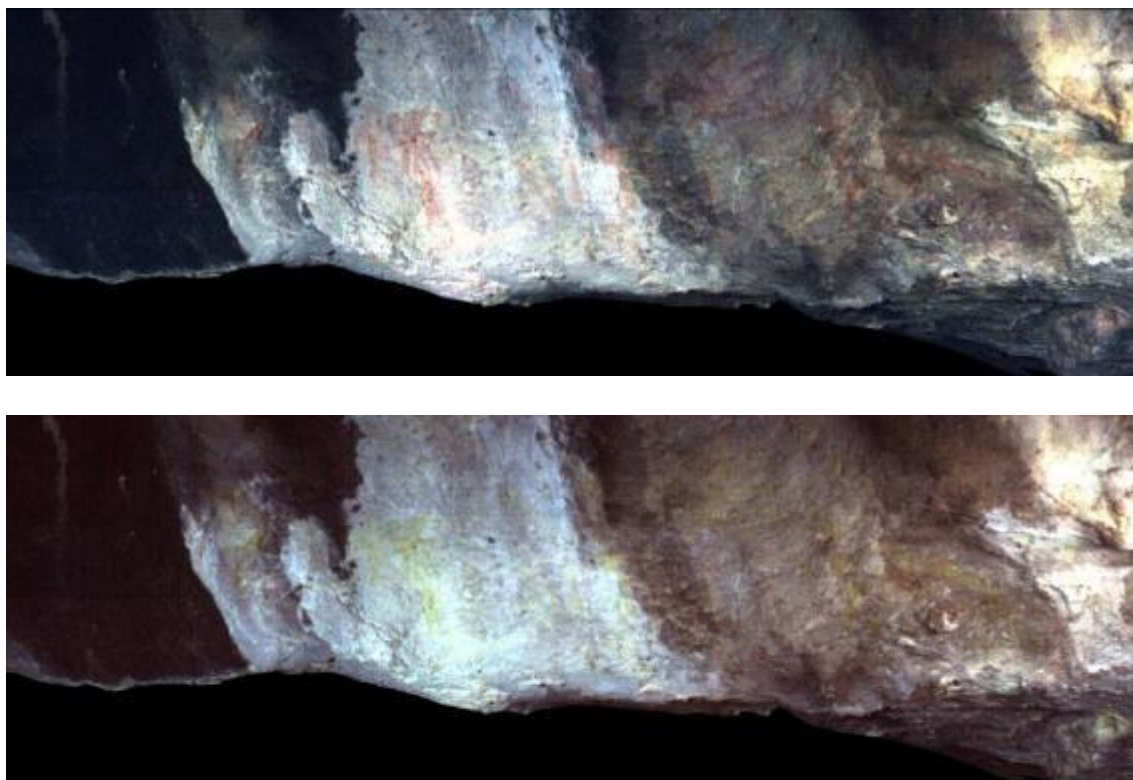


Figura 42.- Cub hiperespectral del panell principal del pòrtic, corresponent la imatge superior a una composició RGB clàssica (R: 640,2 nm, G: 550 nm, B: 459,7 nm) i la imatge inferior a una composició d'infrarojos (R: 860 nm, G: 650.4 nm i B: 550 nm).



Figura 43.- Cub hiperspectral de la figura aïllada en la cúpula, corresponent la imatge superior a una composició RGB (R: 640,2 nm, G: 550 nm, B: 459,7 nm) i la imatge inferior a una composició d'infrarojos (R: 860 nm, G: 650.4 nm y B: 550 nm).

En aquestes imatges es pot apreciar visualment les imatges, les quals van ser mostrejades per a conèixer la seva signatura espectral. La signatura espectral d'alguns dels punts de mostreig es mostra a continuació:

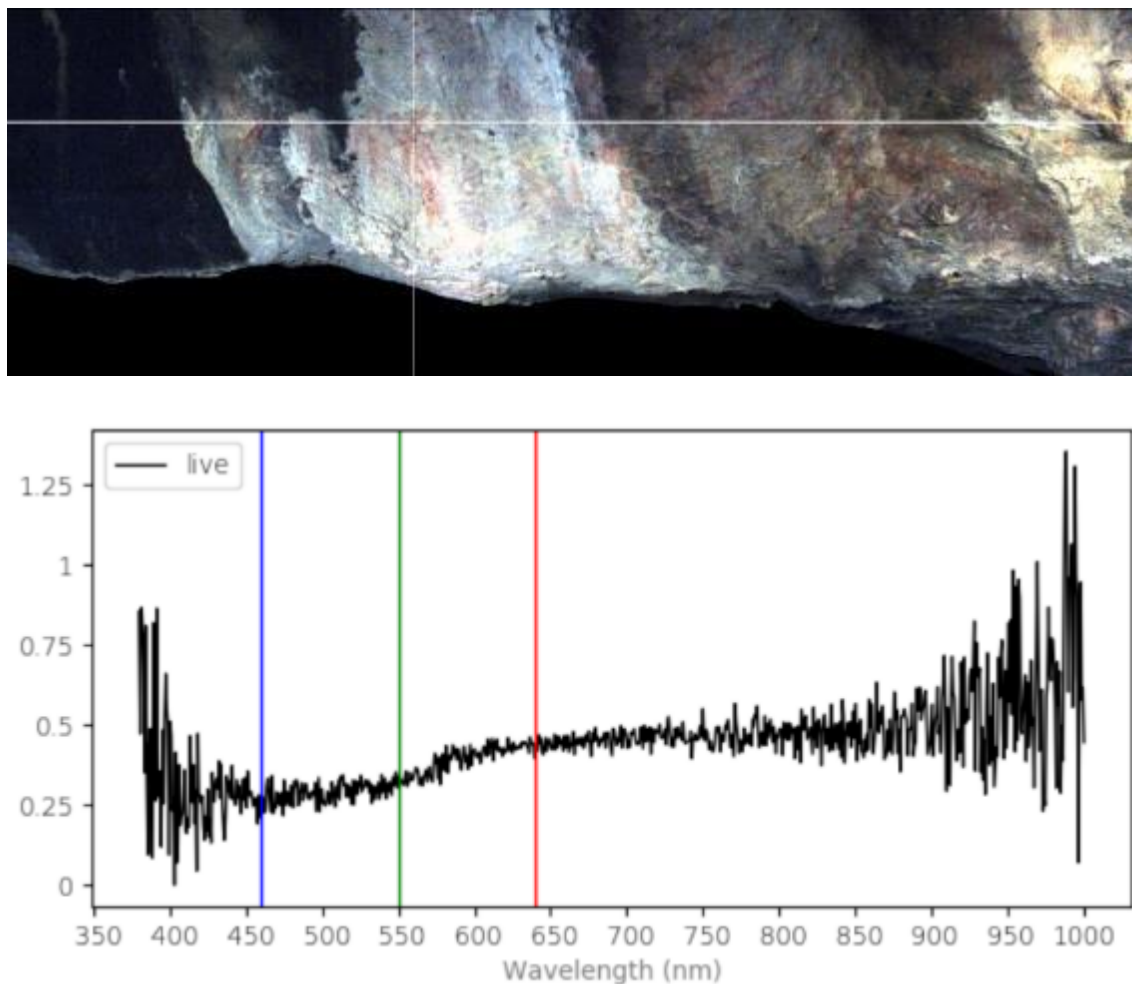
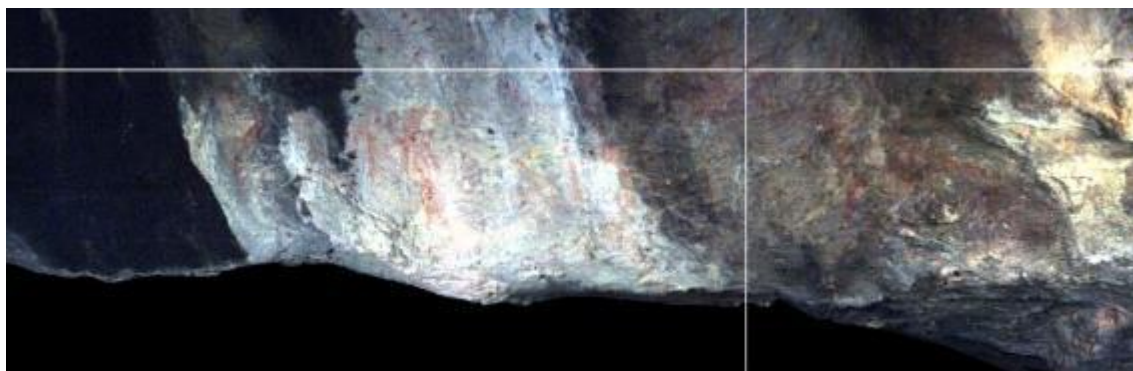


Figura 44.- Registre hiperespectral del pigment en la figura antropomorfa principal del pòrtic observada en l'esquerra de la imatge, mostrada a través de la reflectància (eix Y) per a cada longitud d'ona (eix X). Les longituds d'ona dels extrems amb alt nivell de soroll van ser eliminades abans de les anàlisis, centrant l'estudi entre els 410 i els 910 nm.



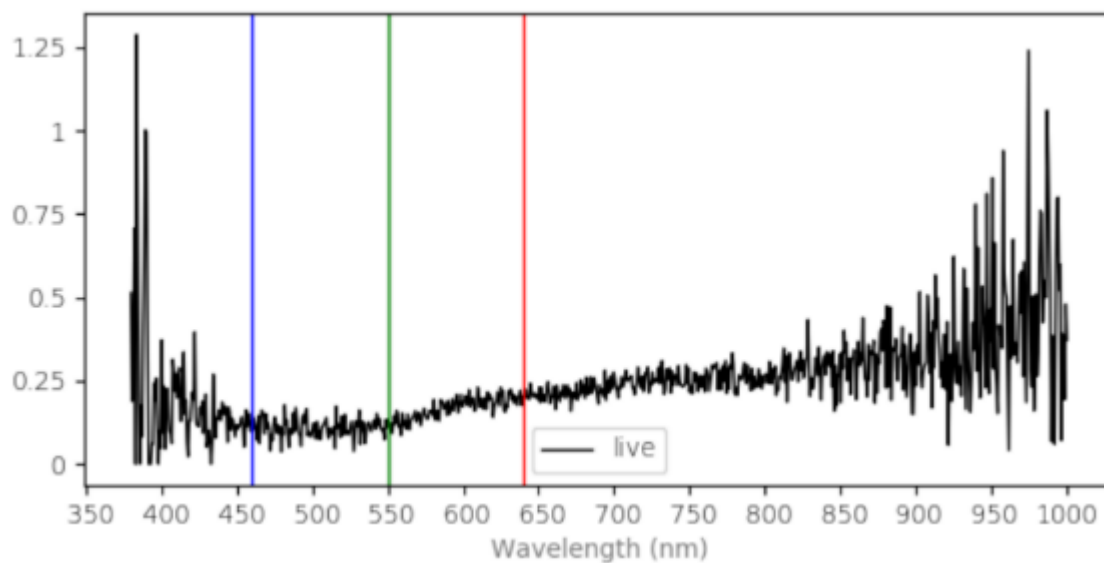
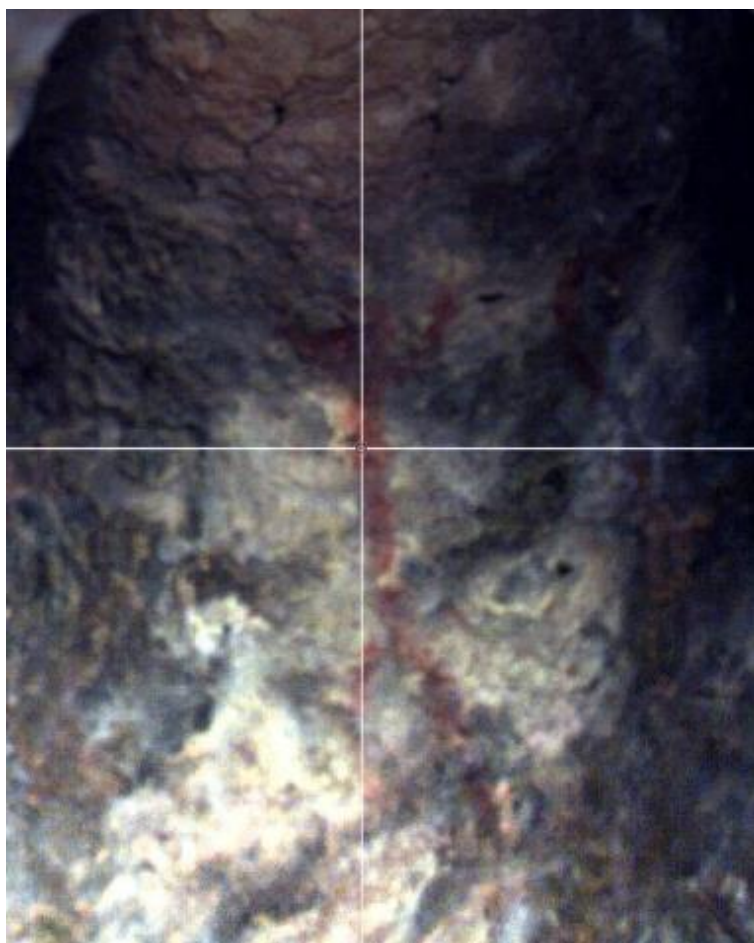


Figura 45.- Registre hiperspectral del pigment en la figura solar del pòrtic observada en la dreta de la imatge, mostrada a través de la reflectància (eix Y) per a cada longitud d'ona (eix X). Les longituds d'ona dels extrems amb alt nivell de soroll van ser eliminades abans de les anàlisis, centrant l'estudi entre els 410 i els 910 nm.



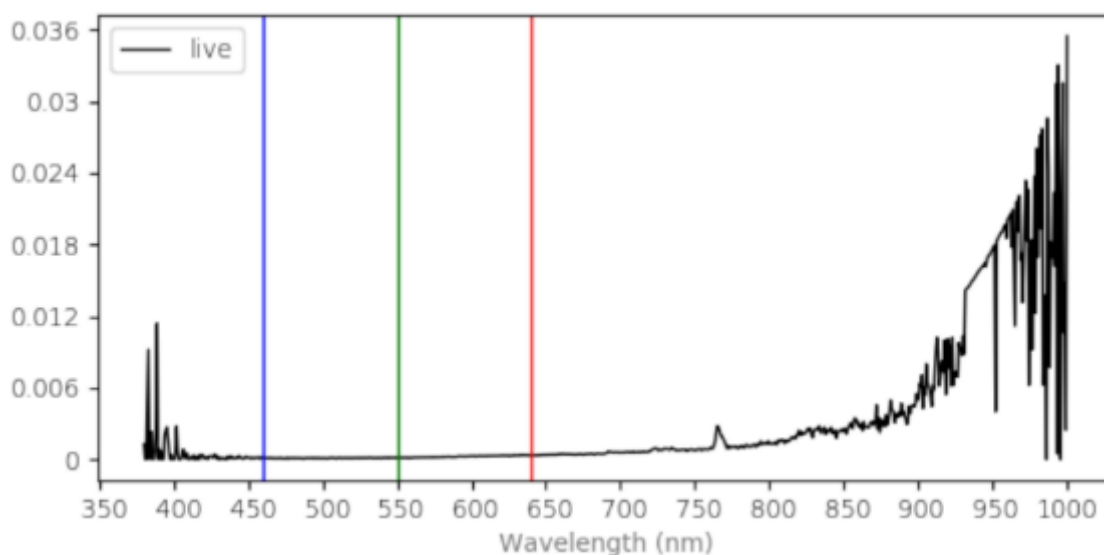


Figura 46.- Registre hiperspectral del pigment de la figura aïllada de la cúpula, mostrada a través de la reflectància (eix Y) per a cada longitud d'ona (eix X). Les longituds d'ona dels extrems amb alt nivell de soroll van ser eliminades abans de les anàlisis, per a centrar l'estudi entre els 410 i els 910 nm.

Seguint els procediments metodològics proposats en la bibliografia (Bayarri et al., 2019, 2021, Schmitt et al 2023) la complexa informació dels cubs hiperspectrals va ser analitzada a través de diferents procediments estadístics per a reduir la dimensionalitat hiperspectral als seus components principals, a fi d'incrementar subsequents classificacions. Els principals procediments metodològics que es proposen són:

- *Principal Components Analysis* (PCA). Dirigít a reduir la dimensionalitat a un conjunt petit de variables ortogonals que conserven la màxima variabilitat a partir de les dades originals.
- *Independent Components Analysis* (ICA). És un procediment matemàtic per a separar una senyal multivariant en components independents y additives que no siguin distribucions gaussianes.
- *Minimum Noise Fraction Transform* (MNF). Genera un número específic de components principals a partir de la decorrelació utilitzant vectors propis.

Els resultats obtinguts mitjançant l'aplicació d'aquestes transformacions als cubs hiperspectrals amb bandes entre els 410 nm i els 910 nm s'exposen en les següents imatges:

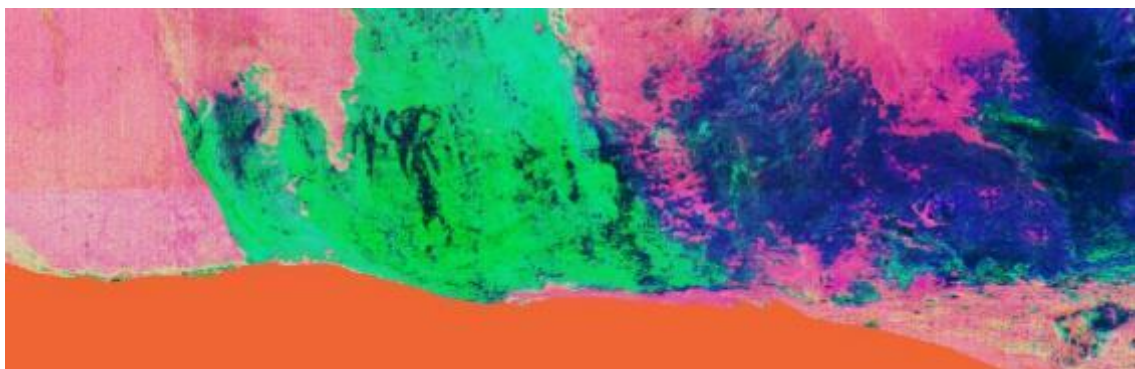
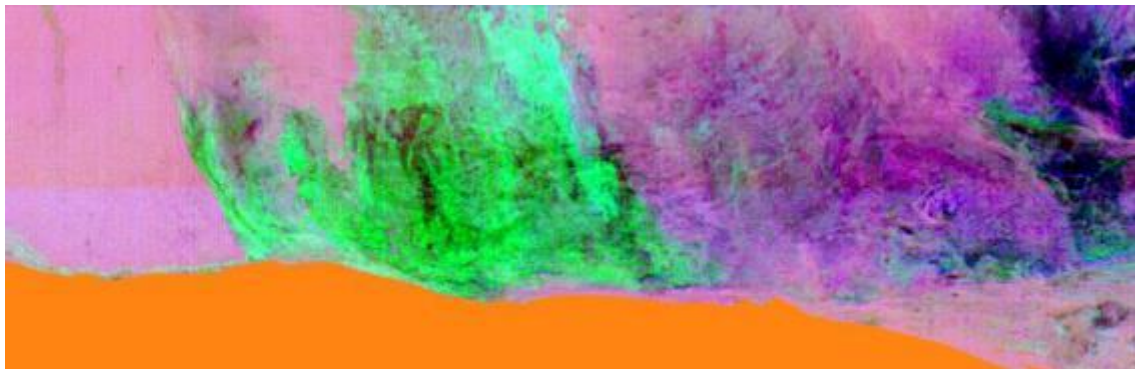
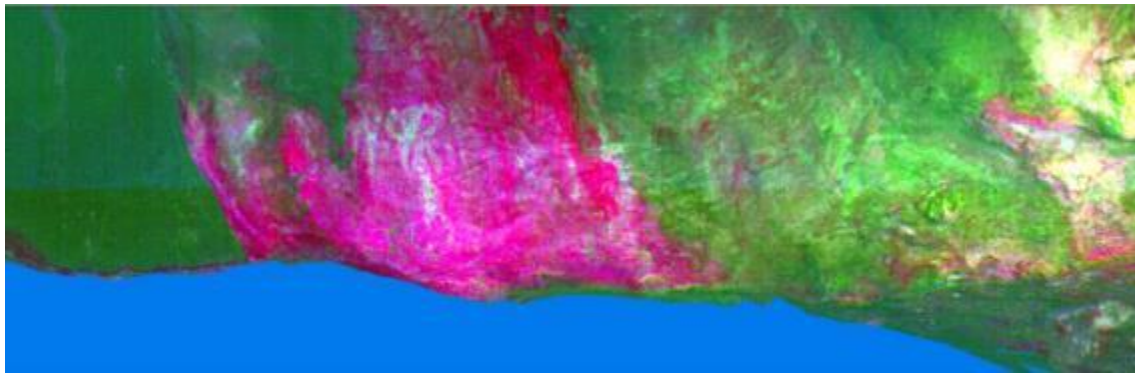


Figura 47.- Reducció de la dimensionalitat del cub hiperespectral del panell principal del pòrtic a través de CPA considerant 30 components, amb visualització R: component 1, G: component 2, B: component 3; con un percentatge lineal de distribució de contrast normal (imatge superior) i invers (imatge del mig), i distribució segons equalització del histograma i contrast invers (imatge inferior).

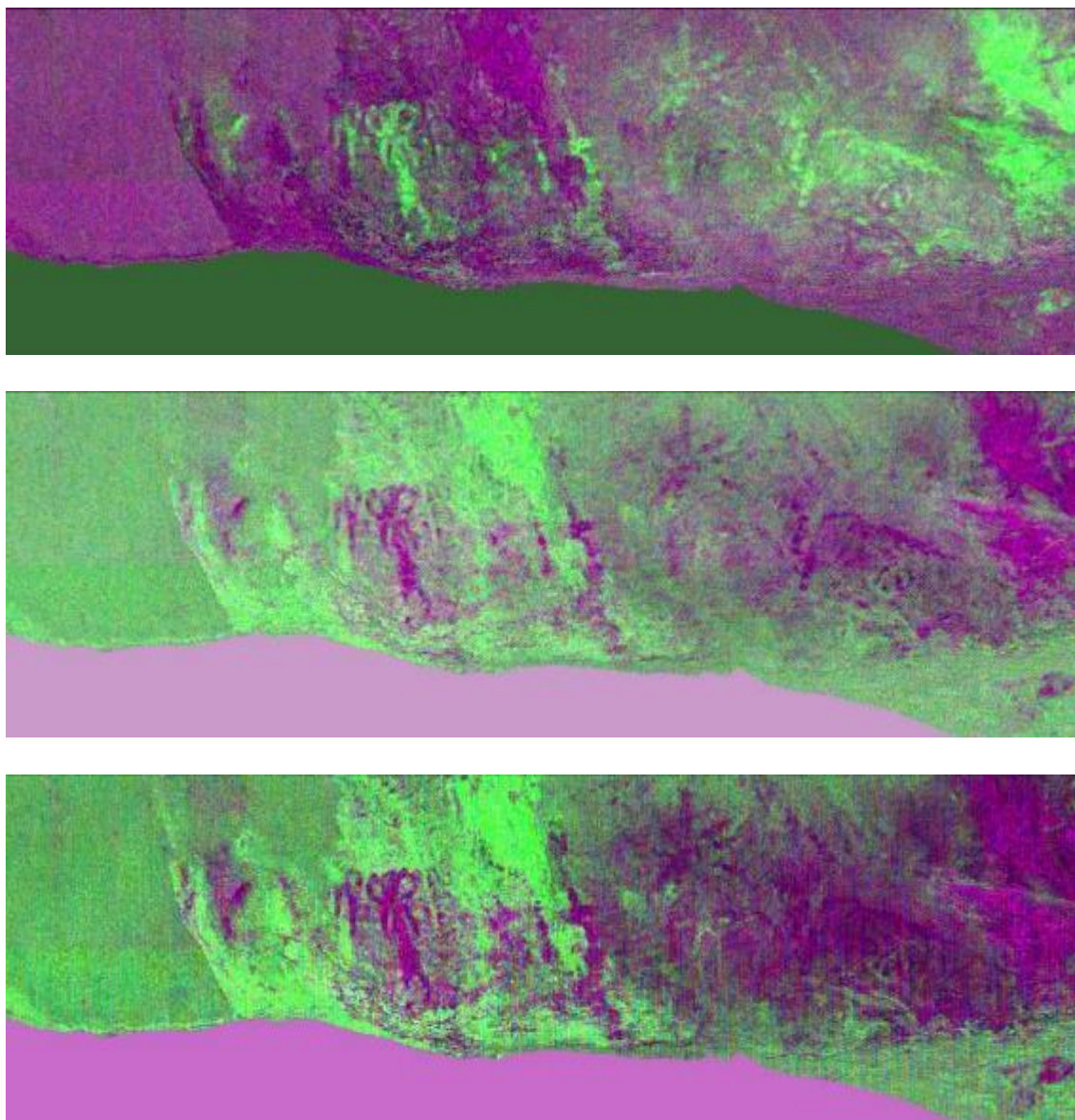


Figura 48.- Reducció de la dimensionalitat del cub hiperspectral del panell principal del pòrtic a través de ICA considerant 10 components, amb visualització R: component 1, G: component 2, B: component 3; amb un percentatge lineal de distribució de contrast normal (imatge superior), invers (imatge intermèdia), i distribució segons equalització de l'histograma i contrast invers (imatge inferior).

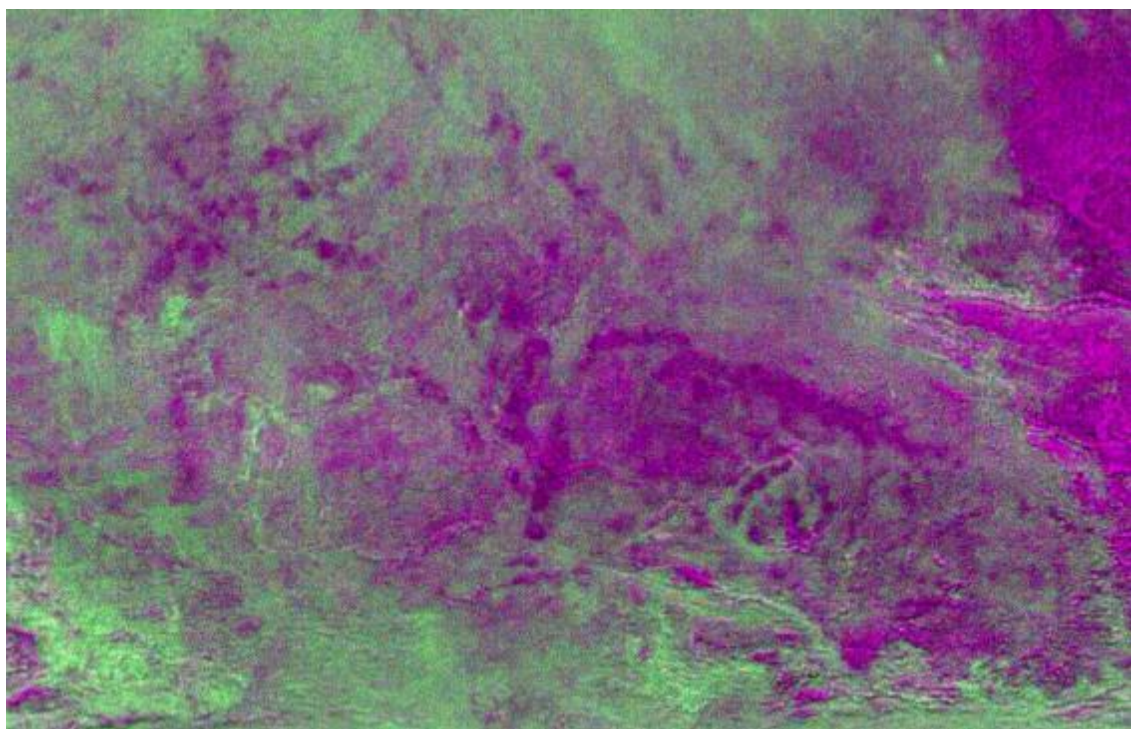
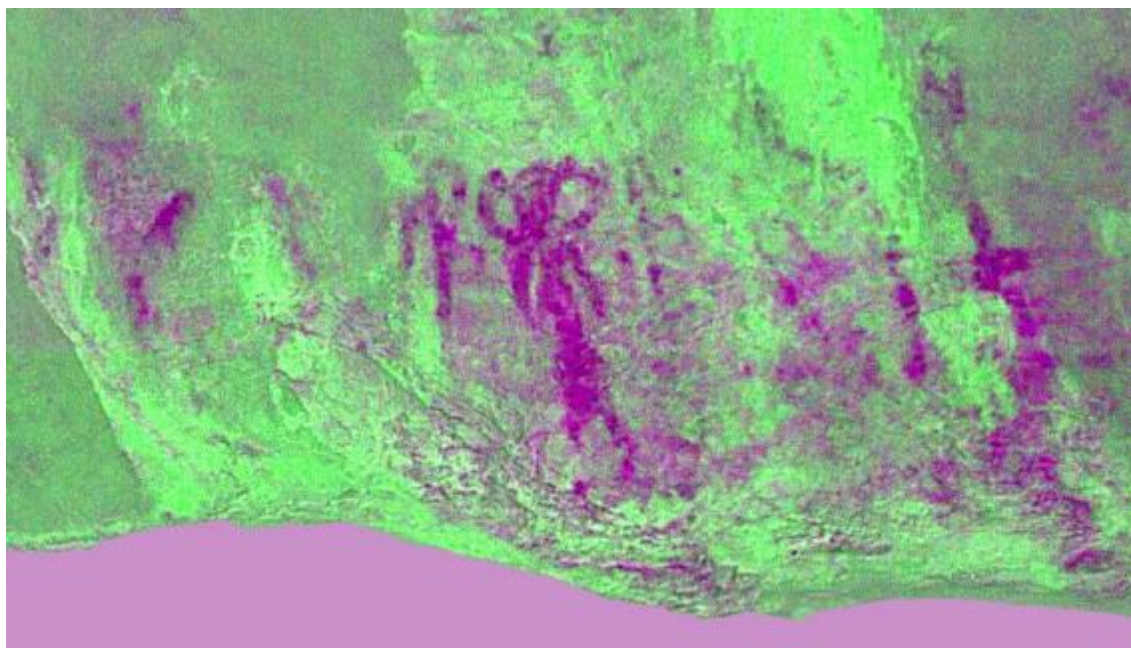


Figura 49.- Ampliació dels resultats de l'anàlisi ICA, considerant 10 components i un percentatge lineal de distribució de contrast normal. Imatge superior: sector esquerre del panell; imatge inferior: sector dret del panell.

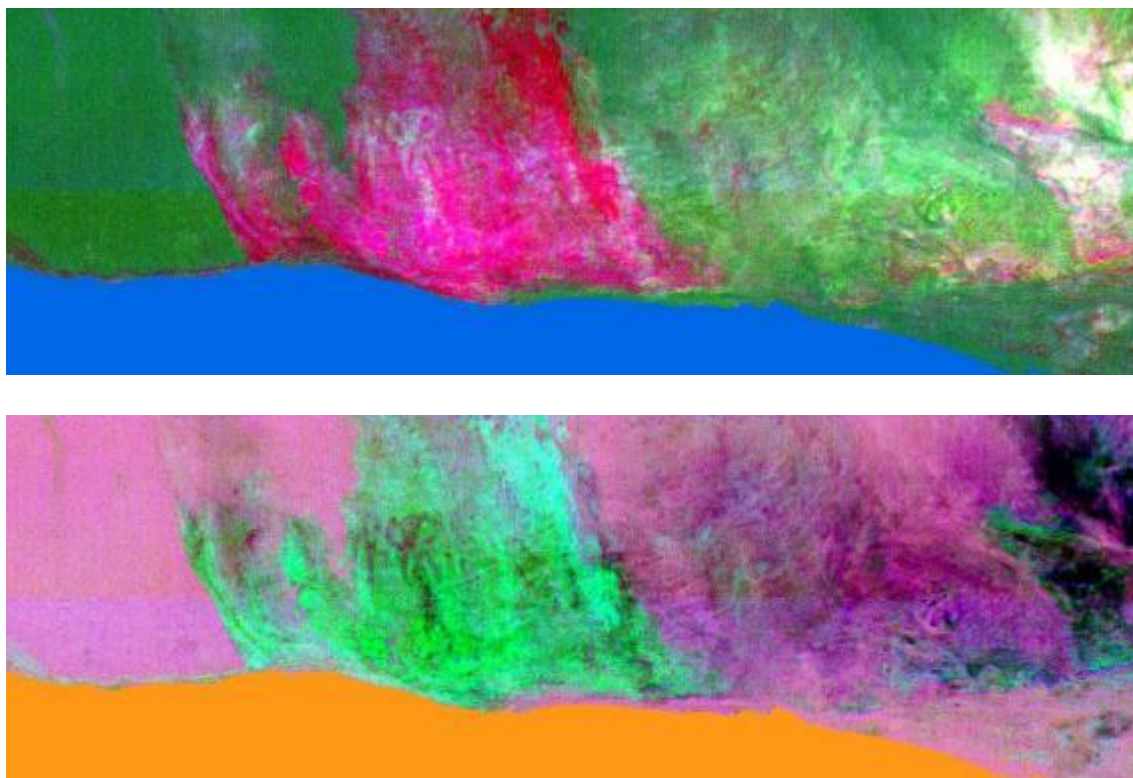
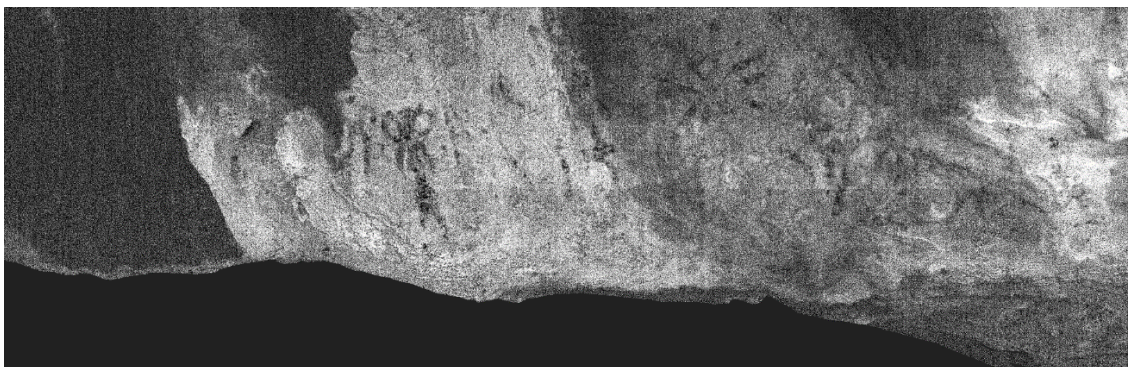
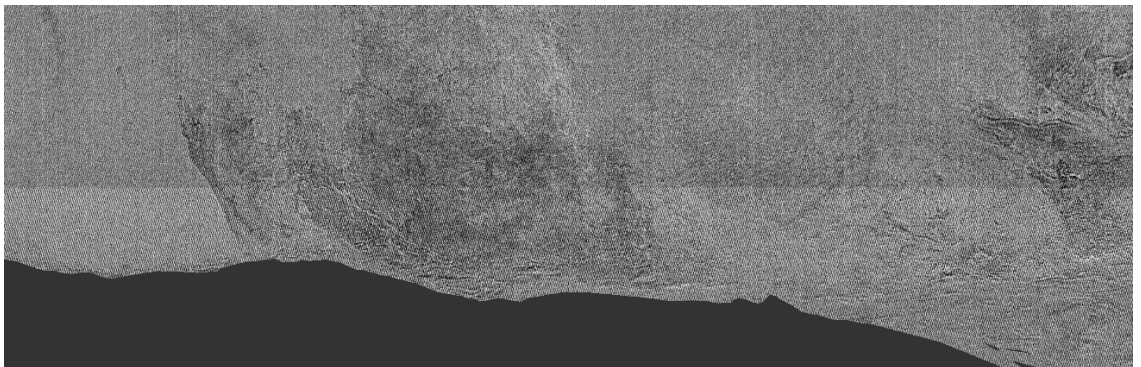
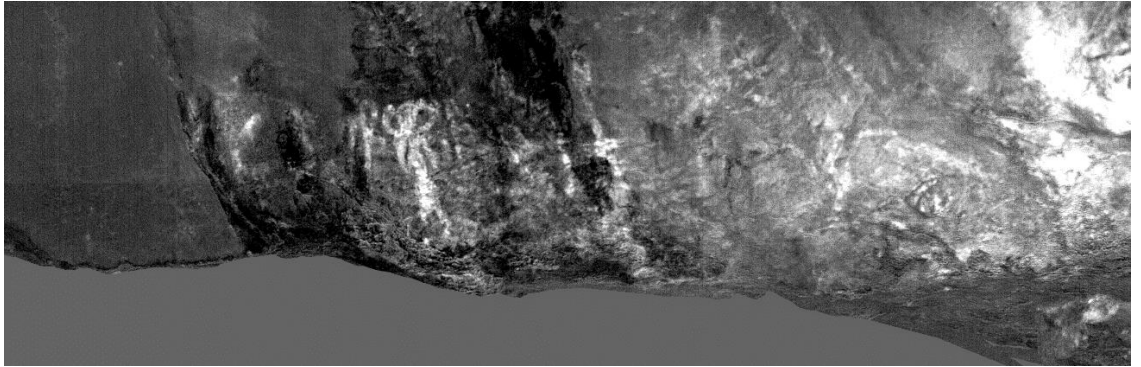
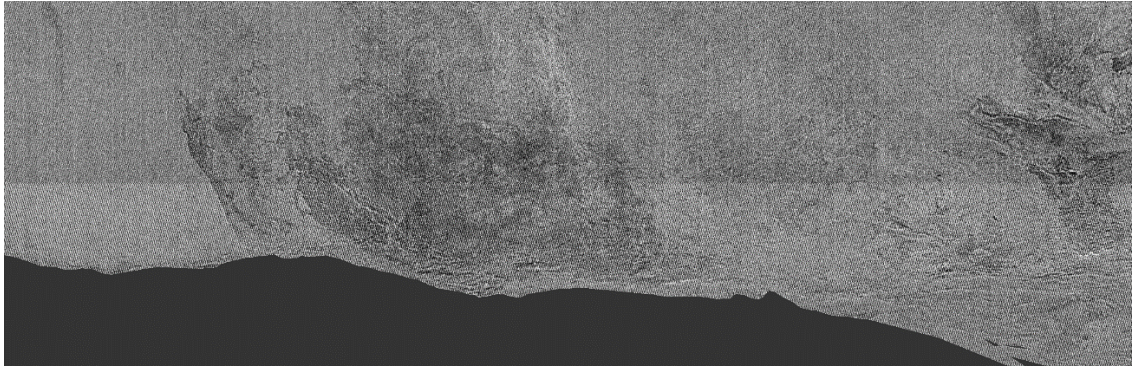
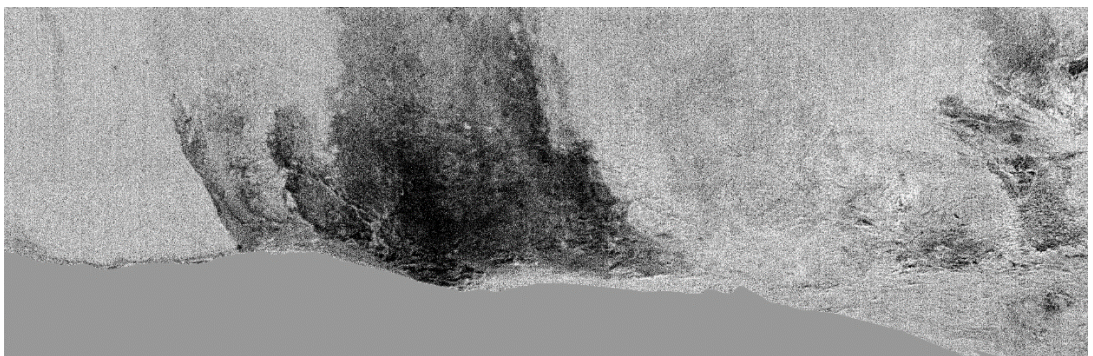
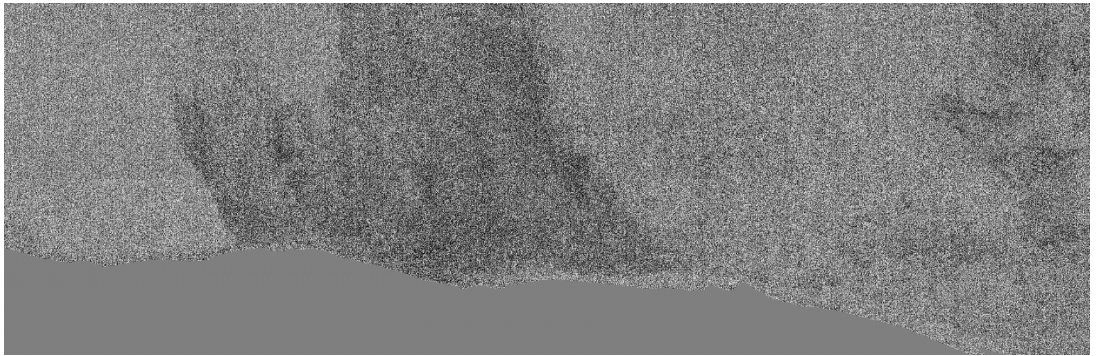
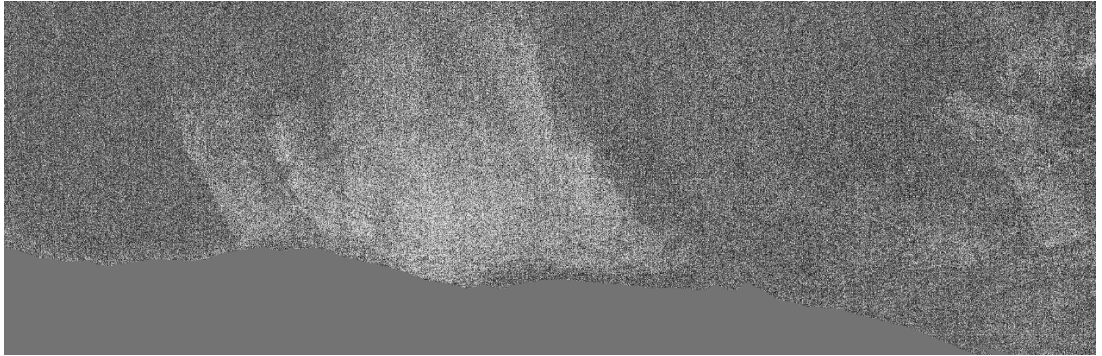
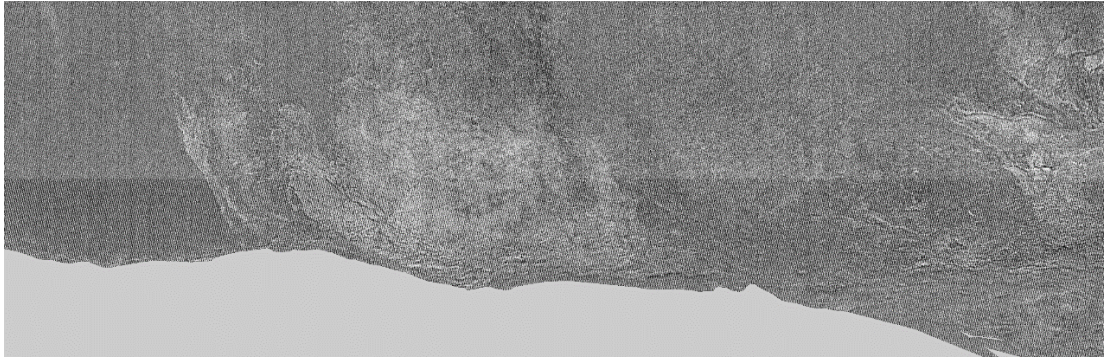


Figura 50.- Reducció de la dimensionalitat del cub hiperespectral del panell principal del pòrtic a través de MNF, considerant 30 components, amb visualització R: component 1, G: component 2, B: component 3; amb un percentatge lineal de distribució de contrast normal (imatge superior) i invers (imatge inferior).

La descomposició en una de les components que integren aquestes imatges es va fer amb els resultats de l'algorisme ICA, que mostren una major diferenciació del pigment de les pintures rupestres considerant el panell complet. En la següent figura s'observa la variació de cadascuna de les components, il·lustrada en to de grisos. En aquesta figura es pot observar com les components 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, i 10 guarden informació sobre el suport rocós, determinat per la litologia, pàtines, rugositat, i soroll de fons, però no guarden informació significativa sobre el pigment. D'altra banda, la distribució de les components 2 i 4 permet diferenciar clarament les pintures, per la qual cosa aquestes dues components integren en gran manera la signatura espectral del pigment.





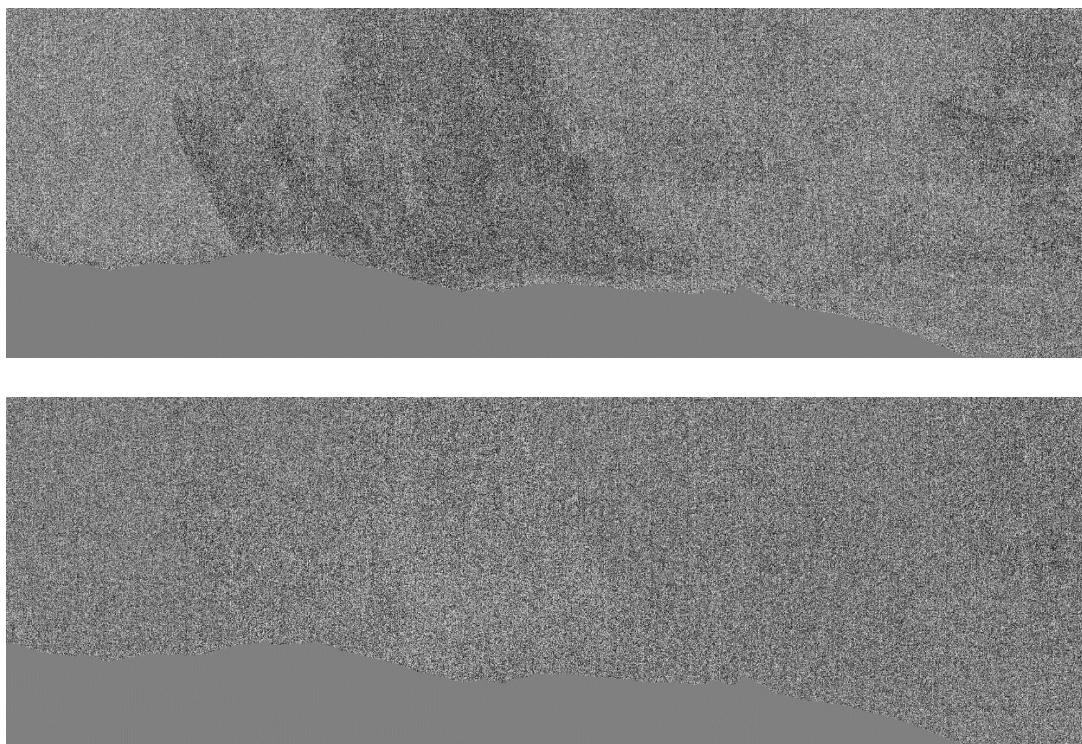


Figura 51.- Components independents en el panell principal obtinguts amb l'algoritme ICA, considerant 10 components. Les components es mostren en tons de grisos, seqüencialment des de la component 1 en la part superior, fins a la component 10 en la part més inferior. Observi's com la distribució de les components 2 i 4 permet diferenciar clarament les pintures respecte al suport, per la qual cosa aquestes dues components integren en gran manera la signatura espectral del pigment.

En conjunt, les anàlisis CPA, ICA i NMF de reducció de la dimensionalitat permeten una visualització molt clara dels pigments i figures situades en el sector esquerre del panell principal del pòrtic, on el color de fons del suport rocós és majorment clar, permetent un major contrast. No obstant això, els pigments del sector dret del panell queden emmascarats a causa del menor contrast amb el color fosc del suport rocós, a causa de pàtines negres i marrons (possiblement lligades a manganesos i/o líquens en zones d'humitat) així com zones amb el suport rocós afectat tèrmicament. En aquest sector fosc del panell, l'algorisme ICA permet una major diferenciació dels traços del pigment. Per a intentar emfatitzar encara més els traços del sector dret del panell, es va procedir a aïllar aquesta zona, retallant i aïllant únicament el sector dret on el suport rocós presenta la pàtina fosca. D'aquesta manera, es tracta d'evitar l'alt contrast amb altres zones de tons més clars, a fi de buscar una diferenciació més eficaç. A aquesta zona retallada se li van

aplicar de nou per separat els algorismes CPA, ICA i MNF. En les següents figures es mostren els resultats més significatius trobats, basats en l'algorisme ICA.

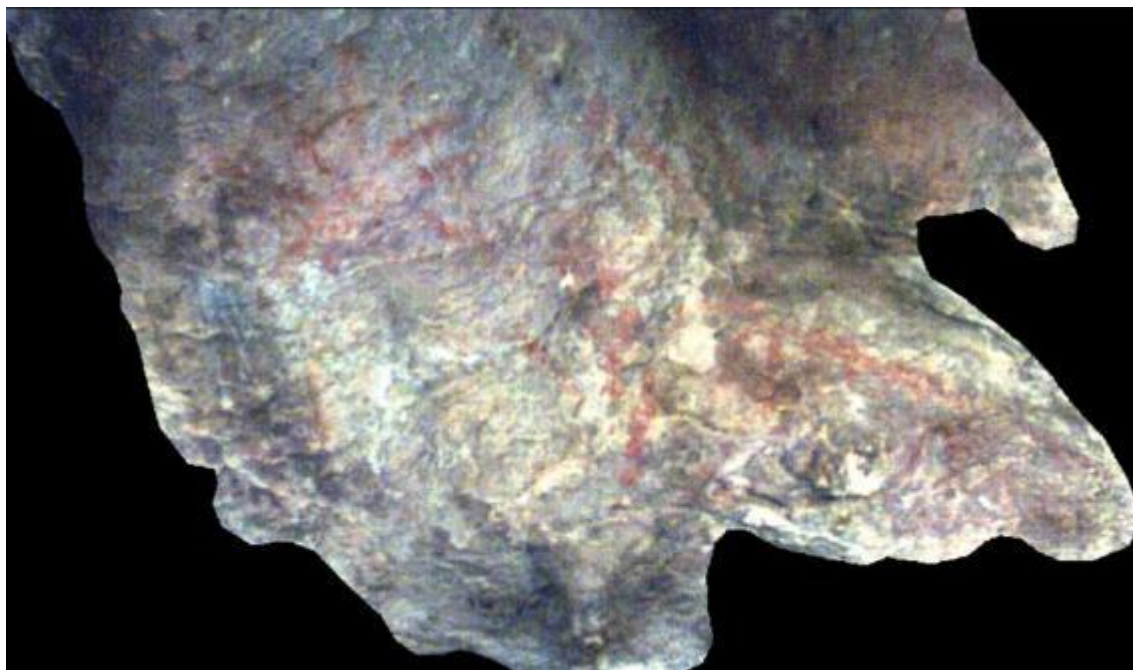


Figura 52.- Zona extreta del panell principal per al seu anàlisi per separat, on es troba la figura solar.

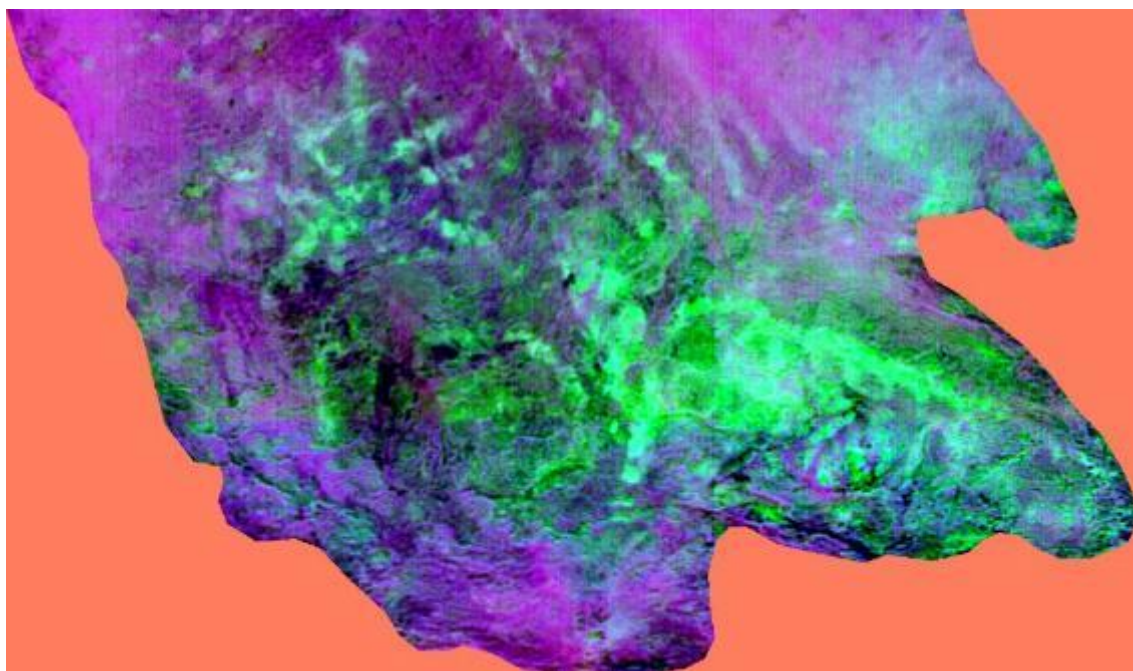
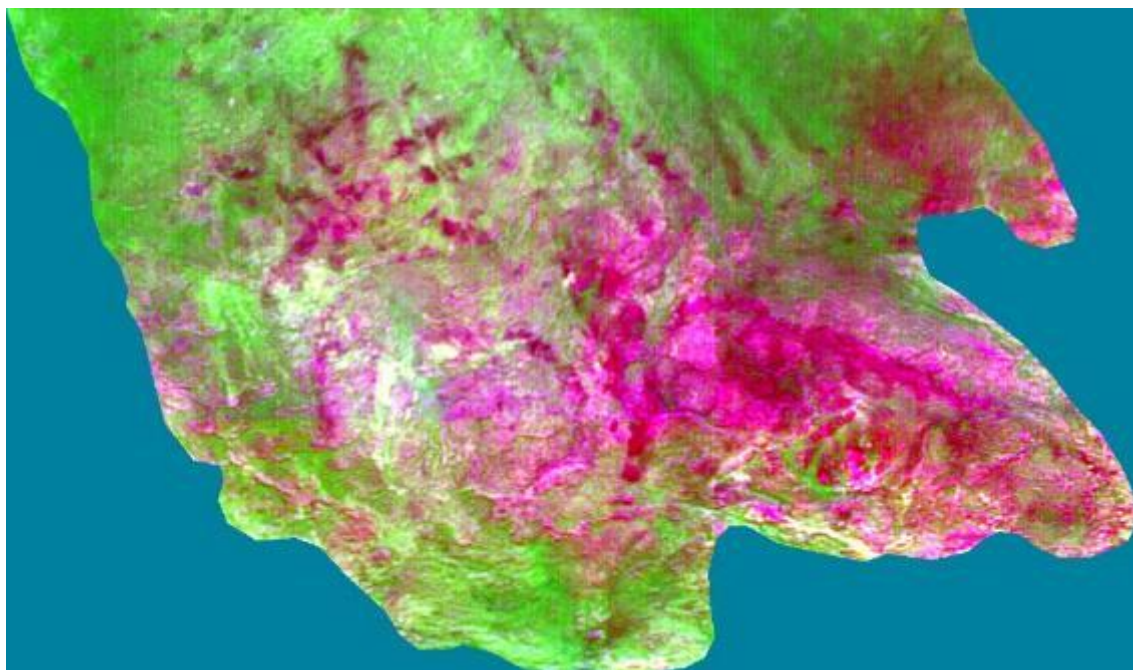


Figura 53.- Anàlisi CPA considerant 10 components. Visualització R: component 1, G: component 2, B: component 3; amb un percentatge lineal de distribució de contrast normal (imatge superior), invers (imatge inferior).

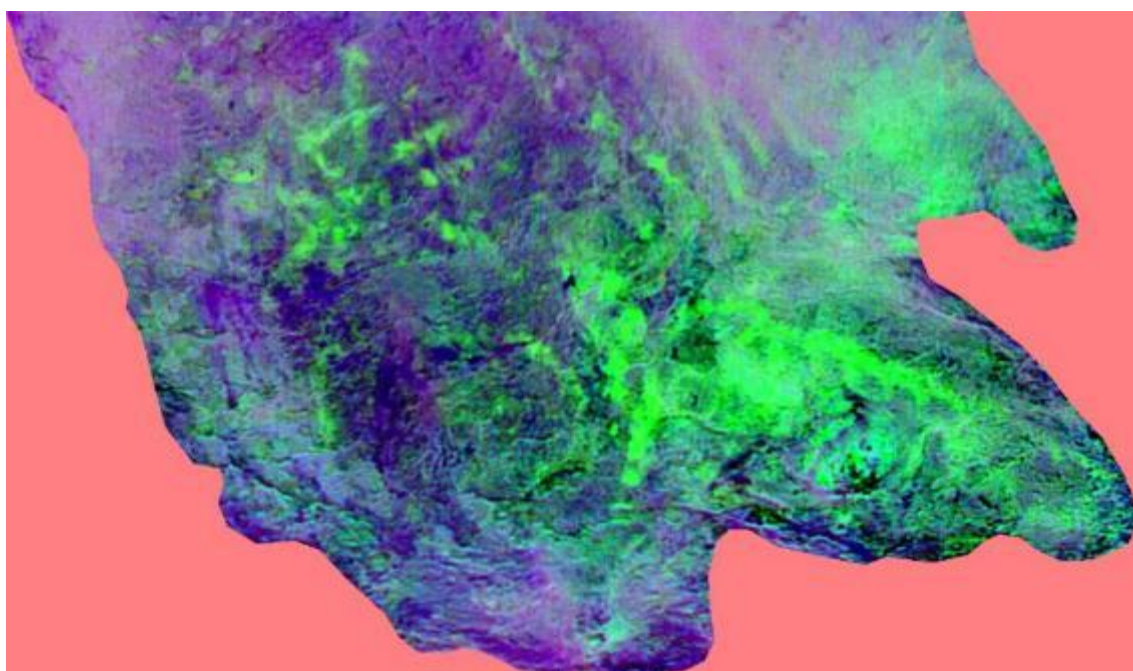
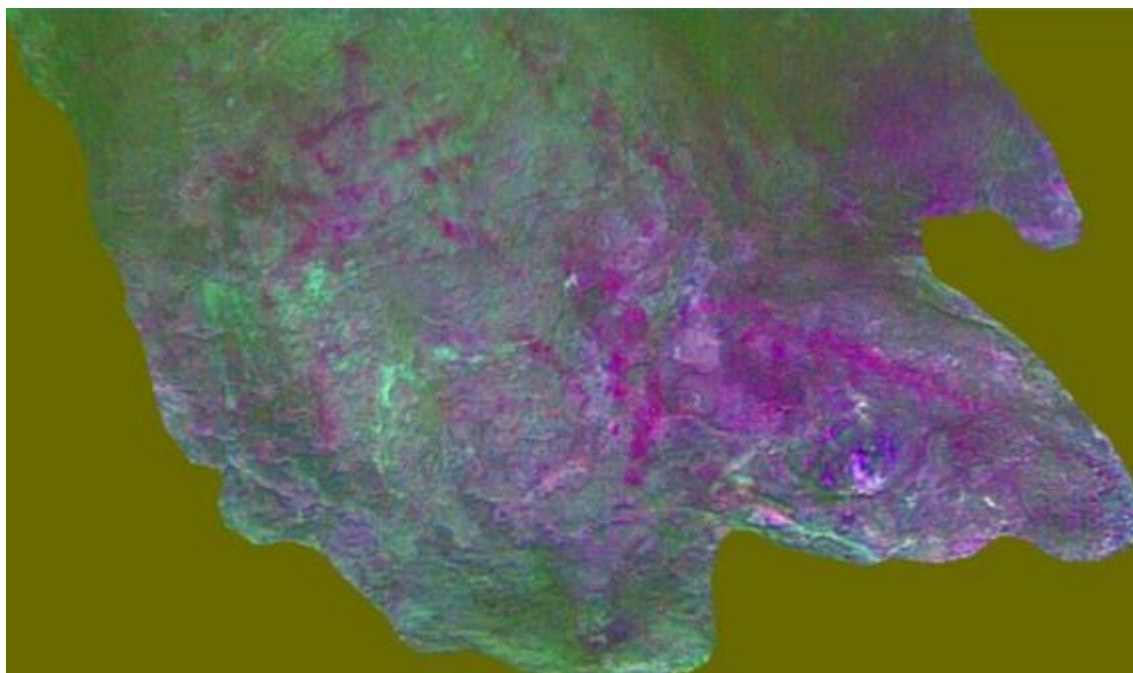


Figura 54.- Anàlisi ICA considerant 10 components. Visualització R: component 1, G: component 2, B: component 3; amb un percentatge lineal de distribució de contrast normal (imatge superior), invers (imatge inferior).

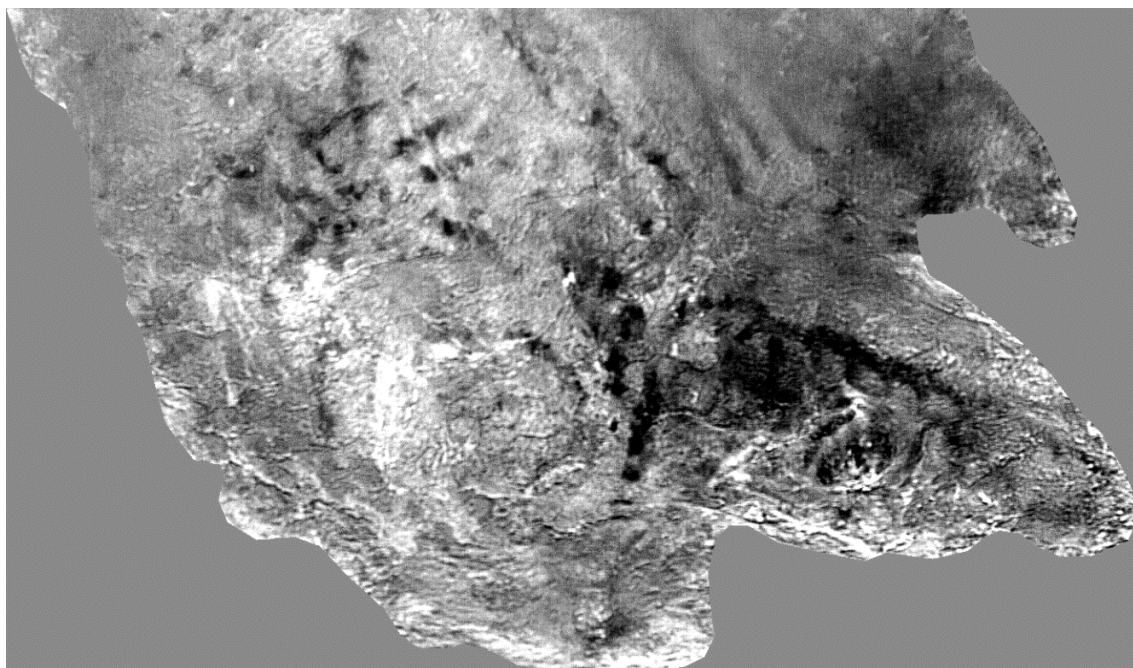


Figura 55.- Distribució de la component 2 de l'anàlisi ICA, considerant 10 components.

A més d'aquests treballs realitzats en el rang 410-910 nm, que cobreix l'espectre visible més l'infraroig pròxim (VNIR), també es van comprovar els possibles rastres existents només en el rang VNIR. Per a això, es van aïllar les bandes entre 620-910 nm, que van ser tractades seguint la mateixa metodologia. No obstant això, aquestes anàlisis no van permetre identificar traços o figures.

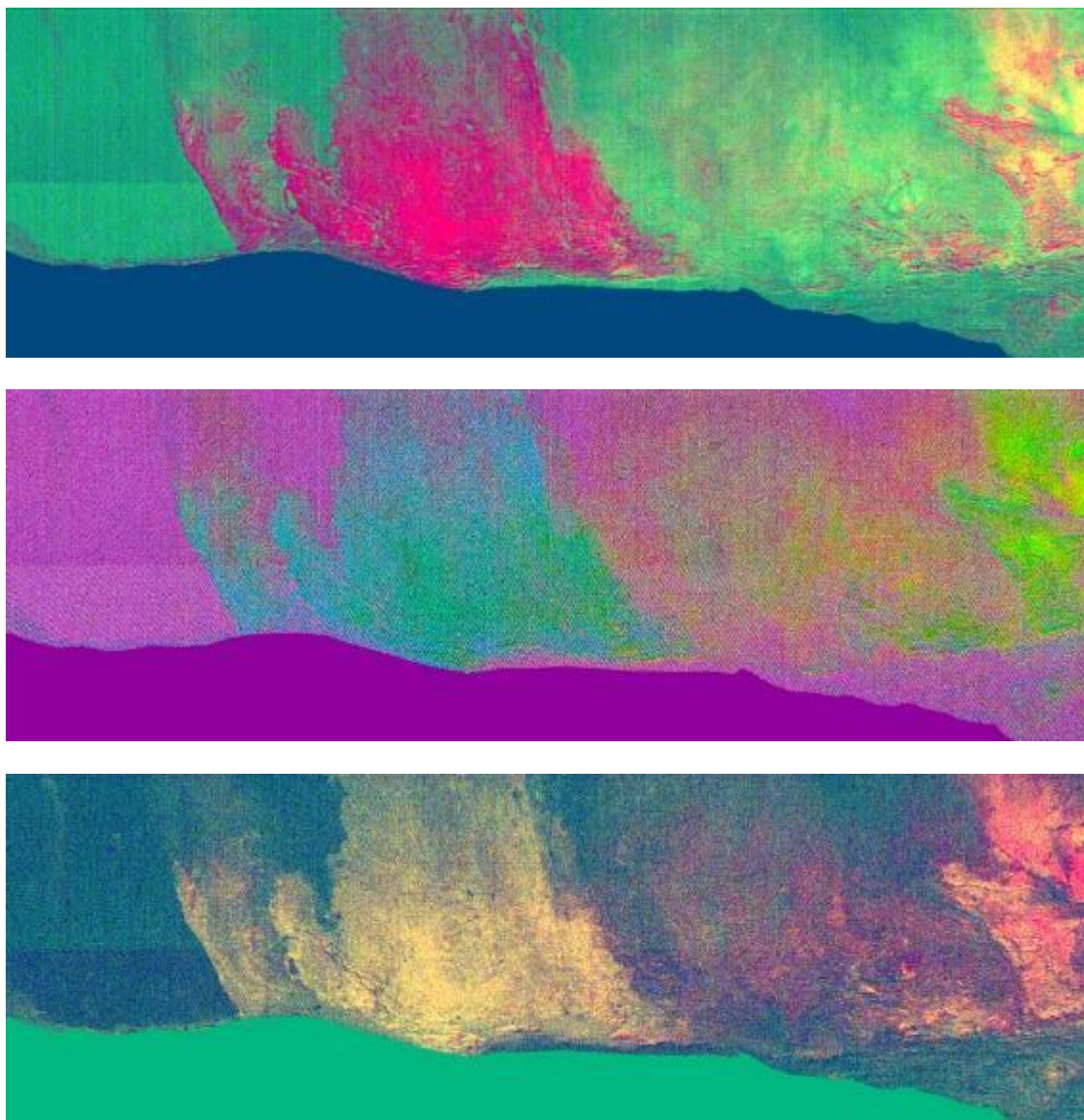


Figura 56.- Resultats de l'anàlisi realitzada al cub hiperespectral centrat en el rang 620-910 nm, que abasta des del vermell fins al VNIR mesurat per la càmera. De dalt a baix, Imatge superior: resultat de l'anàlisi CPA amb 10 components; Imatge intermèdia: resultat de l'anàlisi ICA amb 10 components; Imatge inferior: resultat de l'anàlisi MNF amb 10 components.

Juntament amb els treballs en el panell principal, també es van aplicar els mateixos procediments a la figura aïllada que se situa a l'interior de la cúpula, aplicant CPA, ICA i MNF. Els resultats obtinguts a partir del cub hiperespectral amb rang entre els 410-910 nm (visible + VNIR) es mostren a continuació.

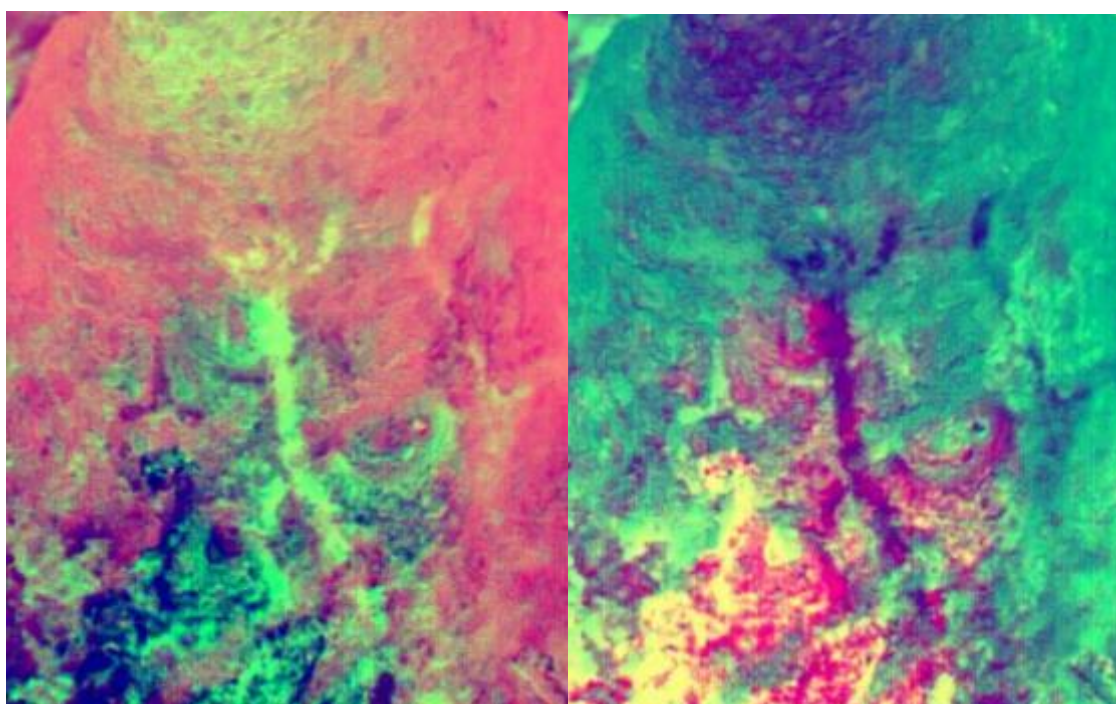


Figura 57.- Reducció de la dimensionalitat del cub hiperspectral de la imatge de la cúpula a través de CPA (10 components), usant un contrast invers (imatge esquerra), i normal (imatge dreta) i visualització R: component 1, G: component 2, B: component 3.

En aquesta imatge de la cúpula es va observar que la component principal que s'obtenia de l'anàlisi CPA i ICA estava determinada per la lluminositat, distribuïda decreixement des de la base o entrada de la cúpula fins a l'interior. Aquesta disminució de la llum cap a l'interior de la cúpula ve determinada per la morfologia de la cúpula i la col·locació dels focus a halògens, que il·luminaven des de l'exterior (major lluminositat) cap a l'interior (menor lluminositat). Així, la component número 1 no proporcionava informació significativa sobre el color del pigment. D'altra banda, la signatura espectral del pigment està gairebé íntegrament integrada en la component número 2, diferenciant-se perfectament la figura rupestre i traços al voltant. La resta de les components mostren una correlació poc significativa amb el pigment.

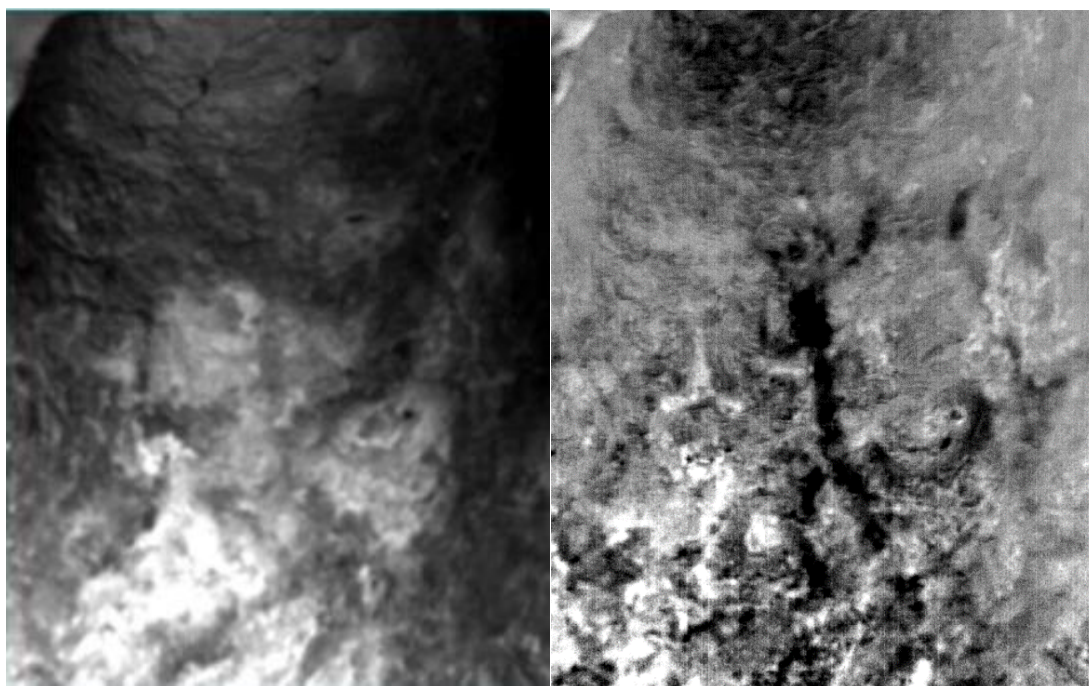


Figura 58.- Distribució de la component 1 (imatge esquerra), i de la component número 2 (imatge dreta) de l'anàlisi ICA. Mentre que la component 1 està determinada per l'entrada de la llum a la cúpula, la component 2 aglutina gairebé íntegrament la informació espectral de la figura rupestre.

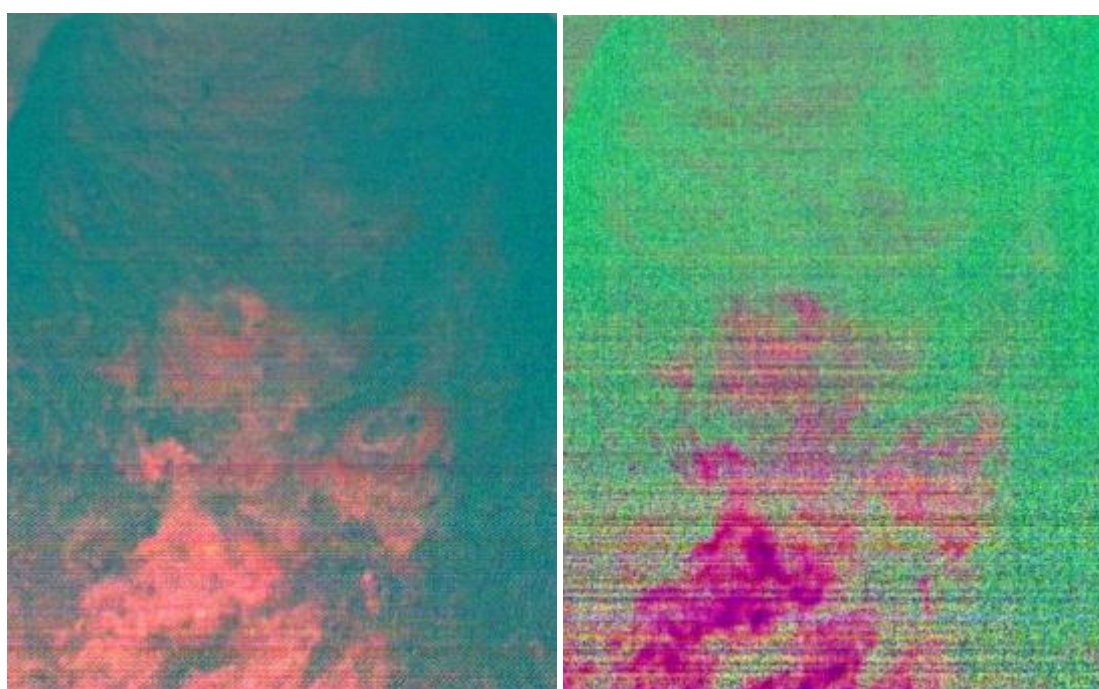


Figura 59.- Reducció de la dimensionalitat del cub hiperespectral 620-910 (VNIR). Imatge esquerra: anàlisi CPA de 10 components; Imatge dreta: anàlisi ICA de 10 components.

En la figura de dalt es mostren les anàlisis realitzades a l'espectre entre els 620-910 nm (VNIR), que no va proporcionar evidències de traços i semblen estar determinats també per la disminució de la intensitat de la llum cap a l'interior de la cúpula, situada en la part superior de la imatge.

A més dels resultats obtinguts mitjançant aquests procediments estadístics per a enaltir les components de les signatures espectrals de les pintures rupestres, també es van assajar classificacions supervisades dels espectres hiperespectrals. La classificació supervisada es va centrar en el panell principal on hi ha una major varietat de figures per a comprovar i posar a prova aquests mètodes. Més enllà de les classificacions no supervisades que no presenten control sobre el nombre de classes o les signatures a identificar, en aquest informe es va procedir a realitzar la classificació supervisada, basada en la signatura espectral concreta extreta de les pintures rupestres conegudes. La classificació supervisada es va realitzar amb l'algoritme *Sample Angle Mapper* (SAM), el qual necessita la definició d'una àrea de mostreig previ de la signatura a classificar. Per a això en els cubs reduïts es van mostrejar les figures més evidents per a la identificació d'àrees semblants en la resta de la imatge. Donat el diferent contrast dels panells en funció de la resposta hiperespectral del suport rocós, per a l'aplicació de la classificació supervisada *Sample Angle Mapper* (SAM) es va procedir a dividir els dos sectors del panell principal: d'una banda el sector esquerre del panell on predomina un suport de tons més clars i d'altra banda el sector dret del panell principal on predominen els tons foscos.

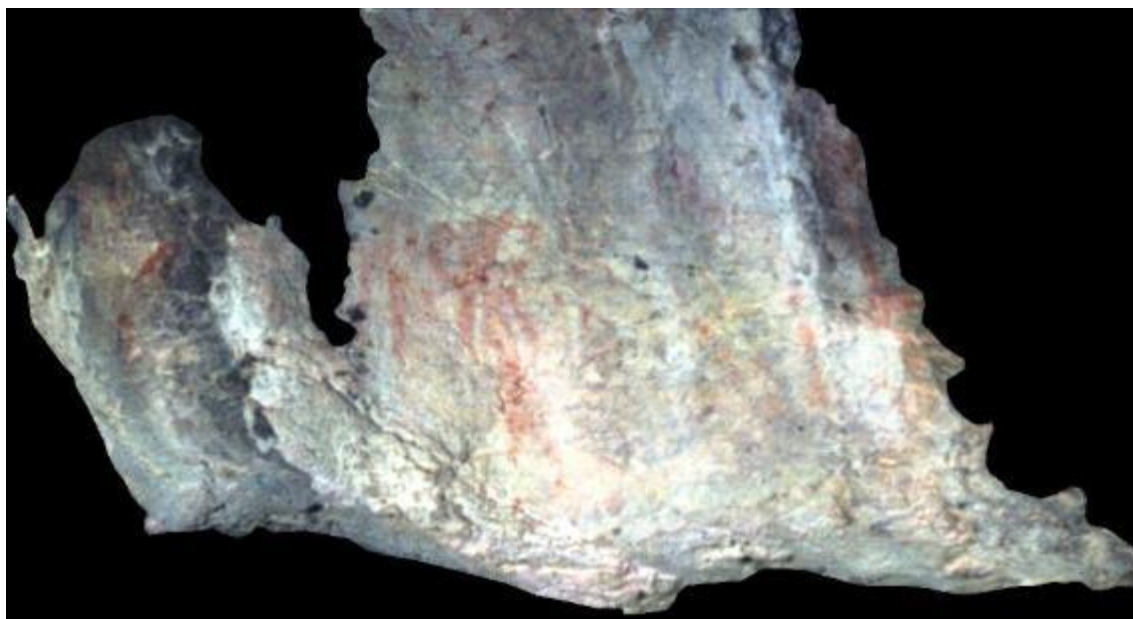


Figura 61.- Sector esquerre del panell principal, on en el suport rocós predominen les tonalitats clares, emmascarant las zones fosques sense restes d'ocre.

Respecte al sector esquerre de fons clar, per a l'aplicació de la classificació supervisada SAM es va procedir a realitzar el mostreig d'ocre, optant per un mostreig senzill que permeti apreciar diferències més significatives. Per a això, en primer lloc, com a mostra de l'ocre es va seleccionar la figura més clara, l'antropomorf, a més de seleccionar també els subtipus de suport bàsics per a obtenir una delimitació entre els ocres i els diferents tipus de suport.

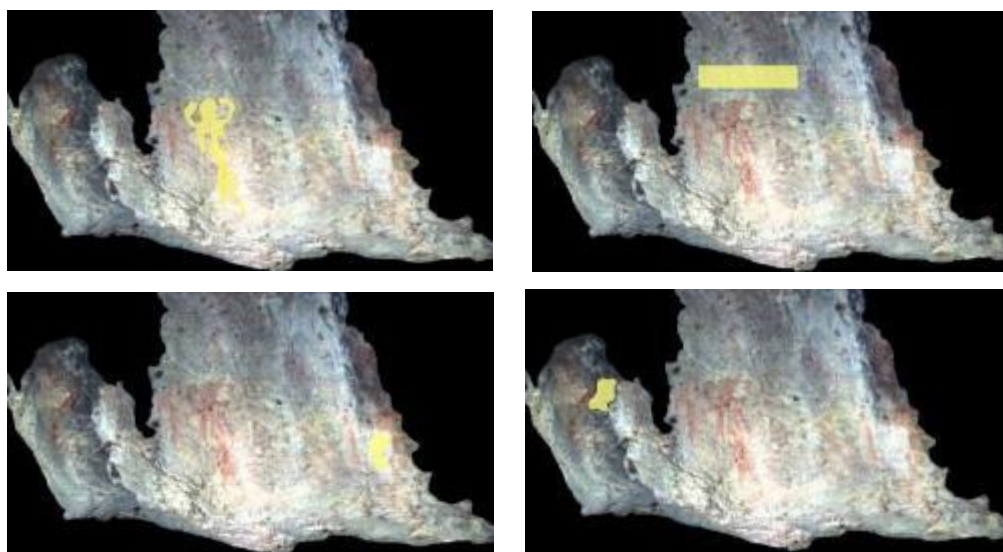


Figura 61.- Zones seleccionades per a realitzar la classificació SAM del sector esquerre clar del panell principal. Imatge superior esquerra: selecció de l'ocre en la figura de l'antropomorf; Imatge superior dreta:

selecció del suport de color gris; Imatge inferior esquerra: selecció del suport de tons més clars; Imatge inferior dreta: selecció del suport amb tons gris fosc.

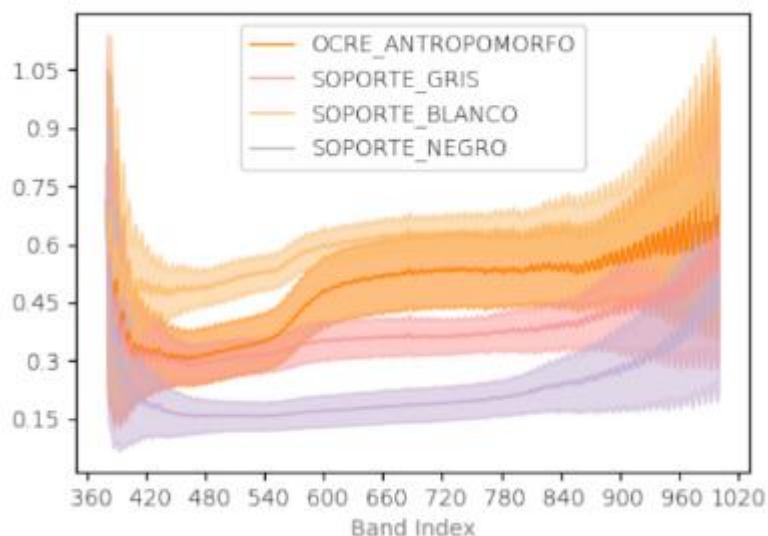


Figura 62.- Espectres hiperespectrals de les zones seleccionades para la classificació SAM.

A partir d'aquests elements seleccionats es va aplicar la classificació *Sample Angle Mapper* (SAM) al cub hiperespectral del sector esquerre del panell principal. Els resultats obtinguts es poden observar en la següent classificació.

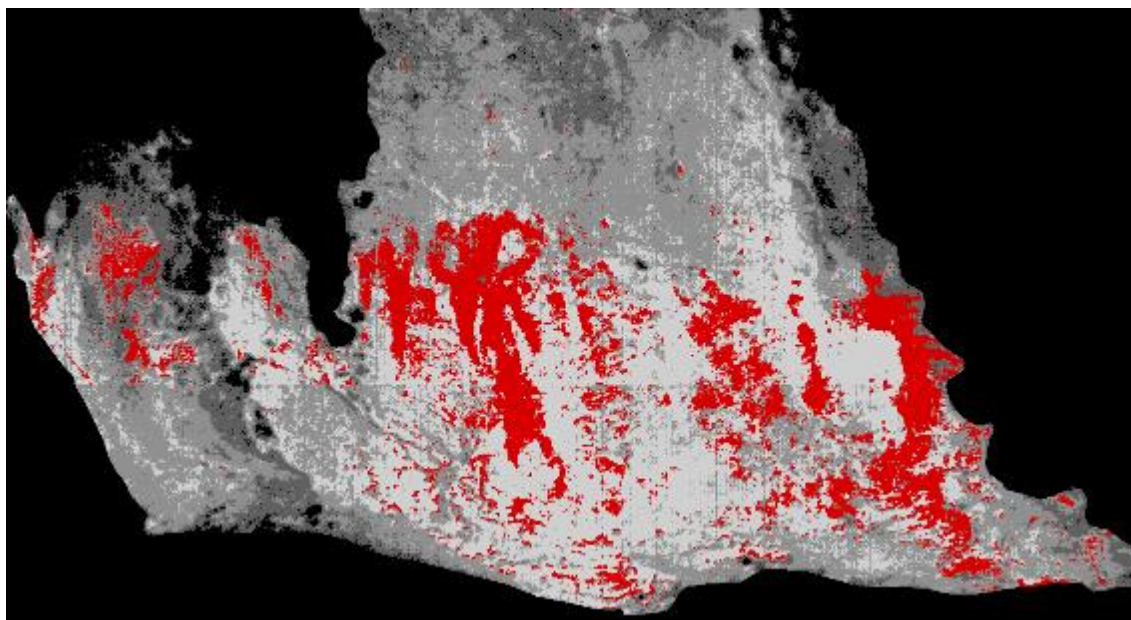


Figura 63.- Classificació SAM segons els espectres seleccionats en el sector esquerre del panell principal, mostrant en vermell les signatures espectrals corresponents al senyal dins del rang de l'ocre de l'antropomorf, i en tons de grisos els tres tons principals del suport rocós. Observi's la presència d'una nova forma a la dreta de la imatge, composta per diversos traços radials.

Referent al sector dret del panell principal, on el suport rocós presenta tons més foscos, es va emmascarar també les zones externes al panell perquè els traços d'ocre tinguessin més contrast respecte al suport. EL cub resultant usat per a l'aplicació de la classificació SAM és el següent.

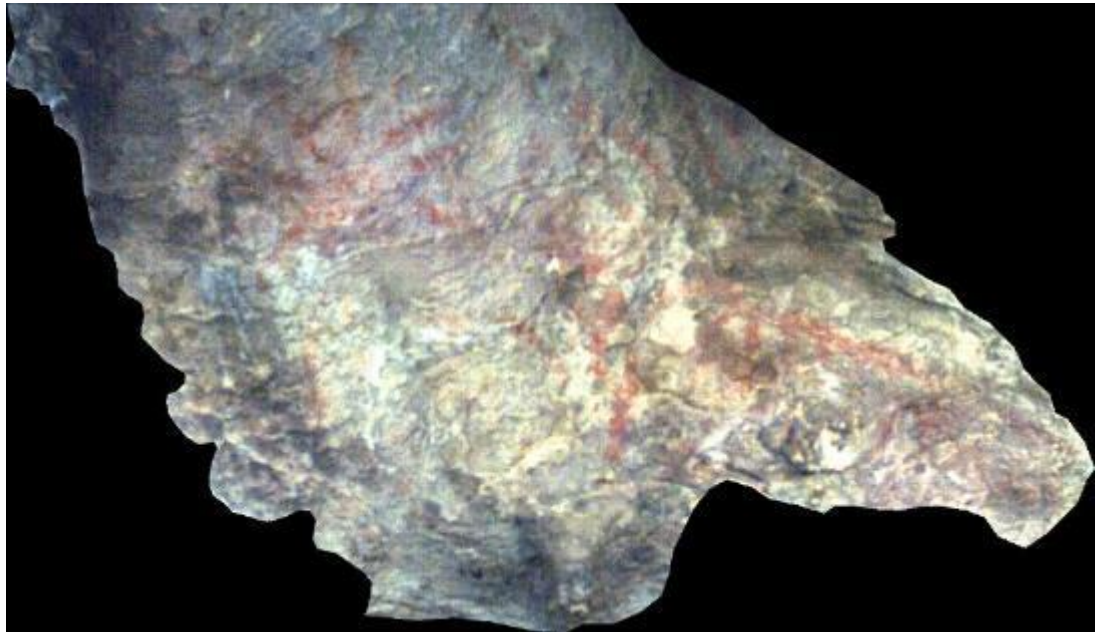


Figura 64.- Sector dret del panell principal, on al suport rocós predominen els colors més foscos.

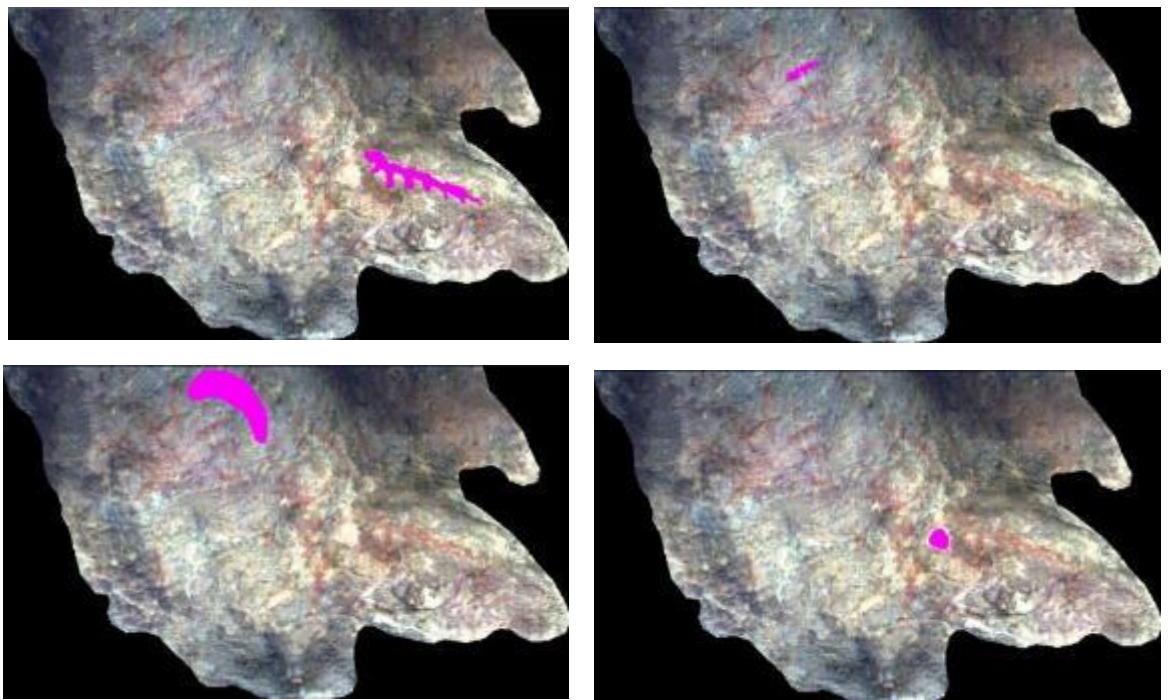


Figura 65.- Zones seleccionades per a realitzar la classificació SAM del sector dret clar del panell principal. Imatge superior esquerra: zona de mostreig en la figura de l'animal; Imatge superior dreta: zona

de mostreig en la figura solar; Imatge inferior esquerra: zona de mostreig del suport grisenc; Imatge inferior dreta: zona de mostreig en les zones clares del suport rocós.

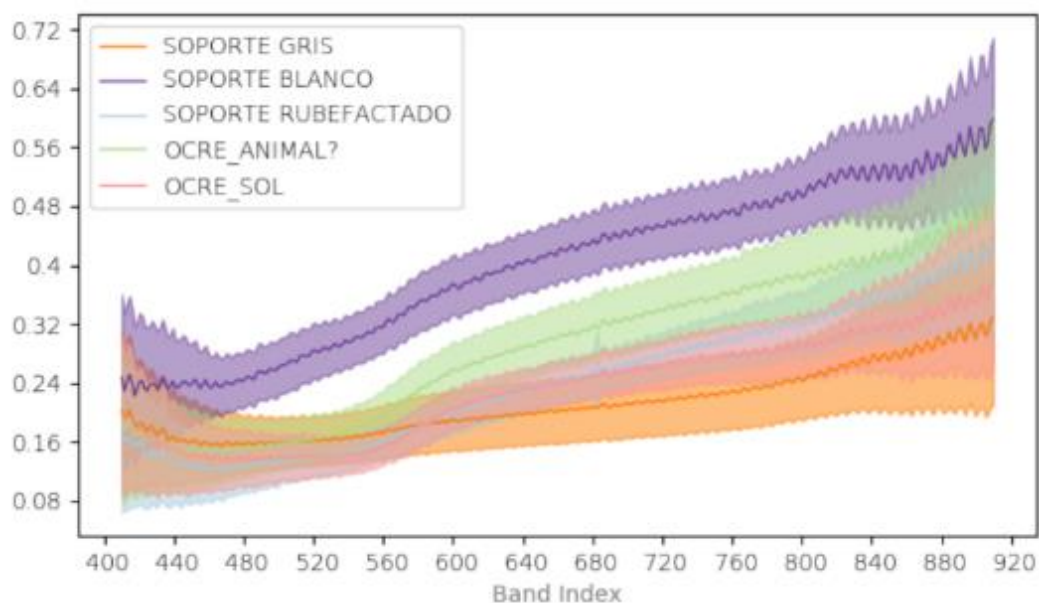


Figura 66.- Espectres hiperespectrals de les zones seleccionades per a la classificació SAM del sector dret del panell principal. Noti's l'alt solapament de les signatures espectrals dels ocre amb algunes signatures del suport, que presenten zones afectades tèrmicament i fosques sense suficient diferenciació amb l'ocre.

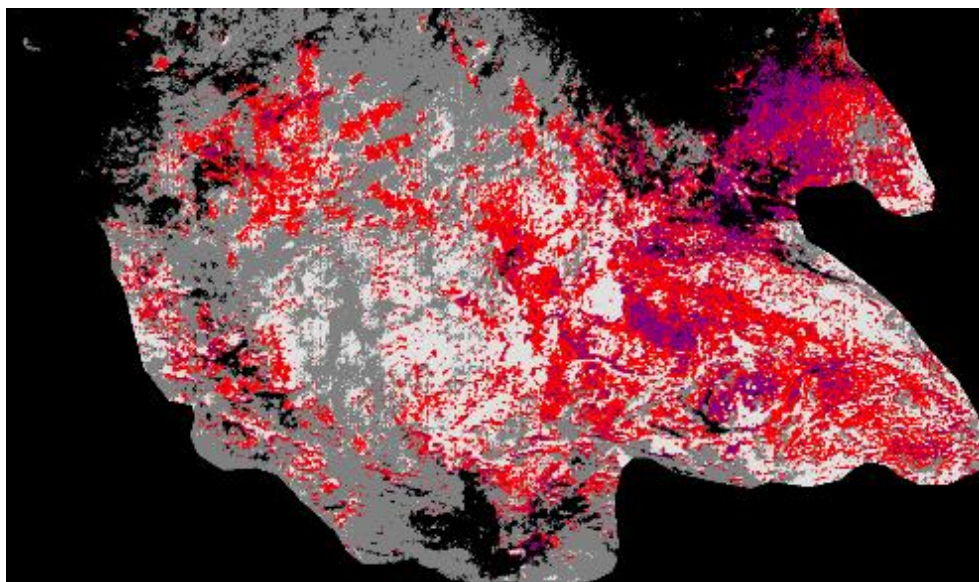
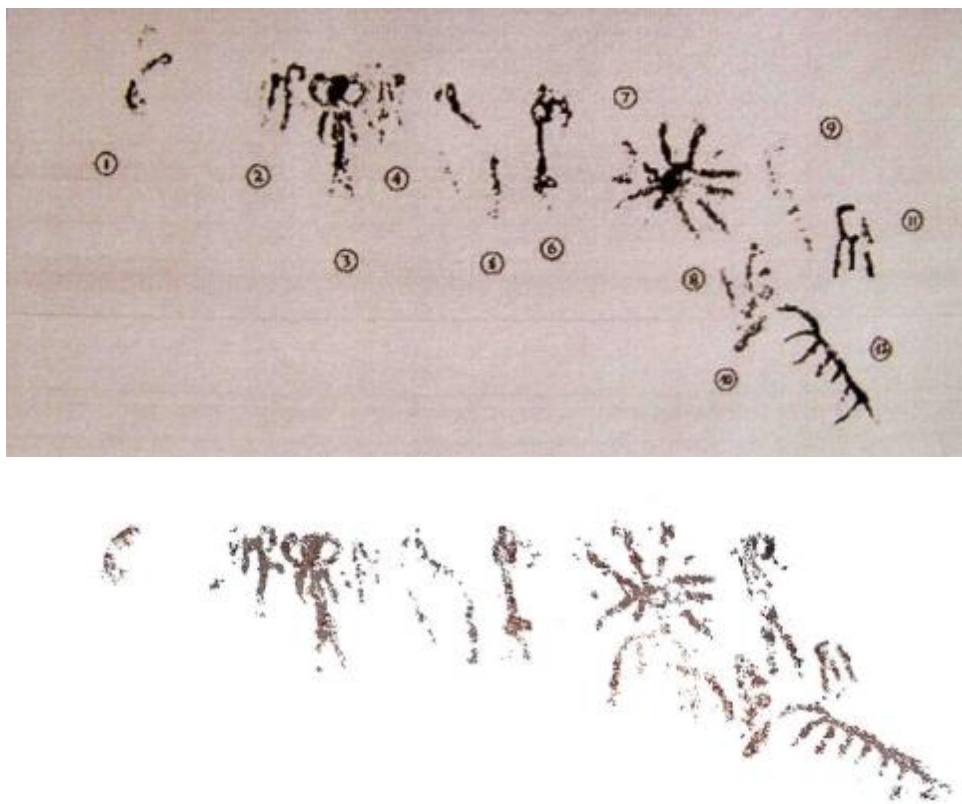


Figura 67.- Classificació SAM preliminar segons els espectres seleccionats en el sector dret del panell principal. Noti's la gran influència de les zones rubefactades del suport que crea una cartografia difusa de les figures rupestres. Vermell: zones identificats per SAM com a ocre. Morat: Zona identificada per SAM com a suport rubefactat. Gris clar: zona identificada per SAM com a suport rocós clar. Gris fosc: zona identificat per SAM com a suport rocós fosc.

Per a l'anàlisi hiperespectral d'aquesta zona fosca del panell principal serien necessàries preses amb major lluminositat a fi d'obtenir una millor diferenciació de les signatures espectrals mitjançant el procediment de classificació supervisada SAM.

9. Conclusions dels treballs realitzats

L'aplicació de captures i mètodes hiperespectrals proporciona una compilació de registres visuals inèdits per a la re-interpretació de les pintures rupestres de la Cova del Tabac. Els procediments estadístics CPA i ICA per a l'enaltit de les components hiperespectrals han proporcionat nova informació rellevant en el sector esquerre del panell rupestre de la Cova del Tabac (**Figura 47-49**), mentre que el tractament MNF sembla proporcionar, a priori, menys informació significativa (**Figura 50**). Els resultats CPA i ICA en aquest sector del panell haurien de ser analitzats i contrastats in situ per especialistes en pintures rupestres ja que en alguns casos modifiquen la forma proposada per a unes certes figures o apareixen nous traços que podrien implicar l'existència de figures i formes noves, proporcionant una base inèdita per a noves interpretacions del panell rupestre. A tall d'exemple, a les **Figures 68 i 69** es mostren dos possibles exemples en aquest sentit.



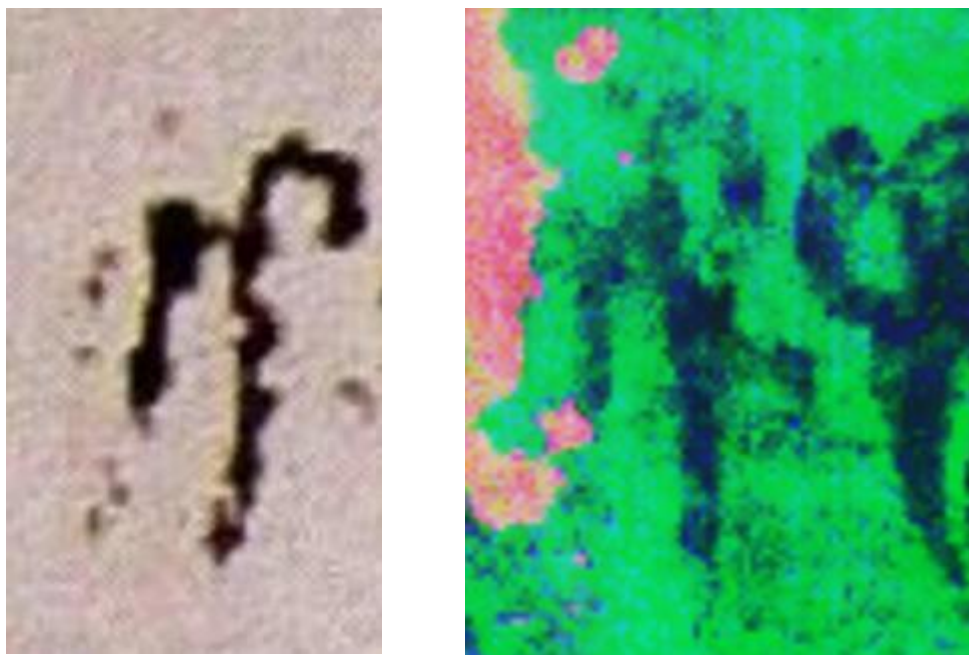
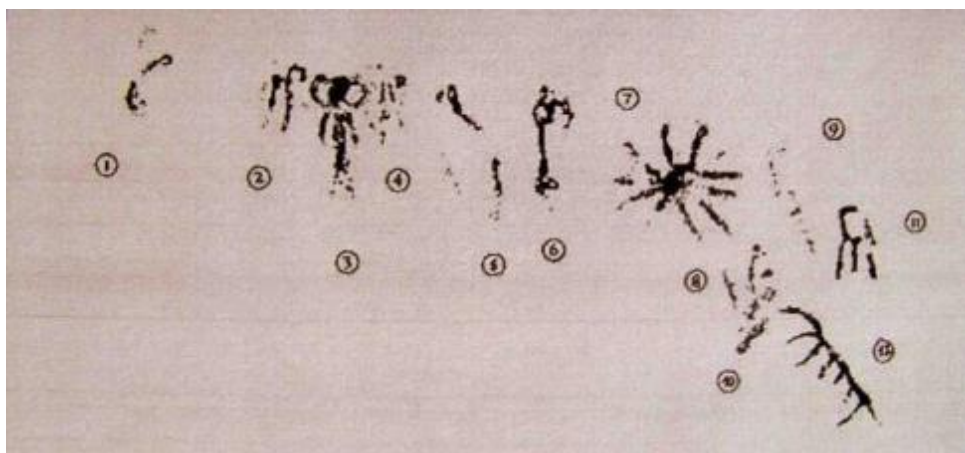


Figura 68.- Comparació de la figura rupestre número 2 del panell principal de la Cova del Tabac. Imatge superior: interpretació clàssica del panell rupestre principal de la Cova del Tabac. Imatge intermèdia: proposta a partir de l'algorisme DStretch (Vega Bolivar et al., 2021). A baix a l'esquerra: ampliació de la forma clàssica proposada per a la figura 2. A baix a la dreta: forma detectada per mètodes hiperspectrales per a la figura 2.



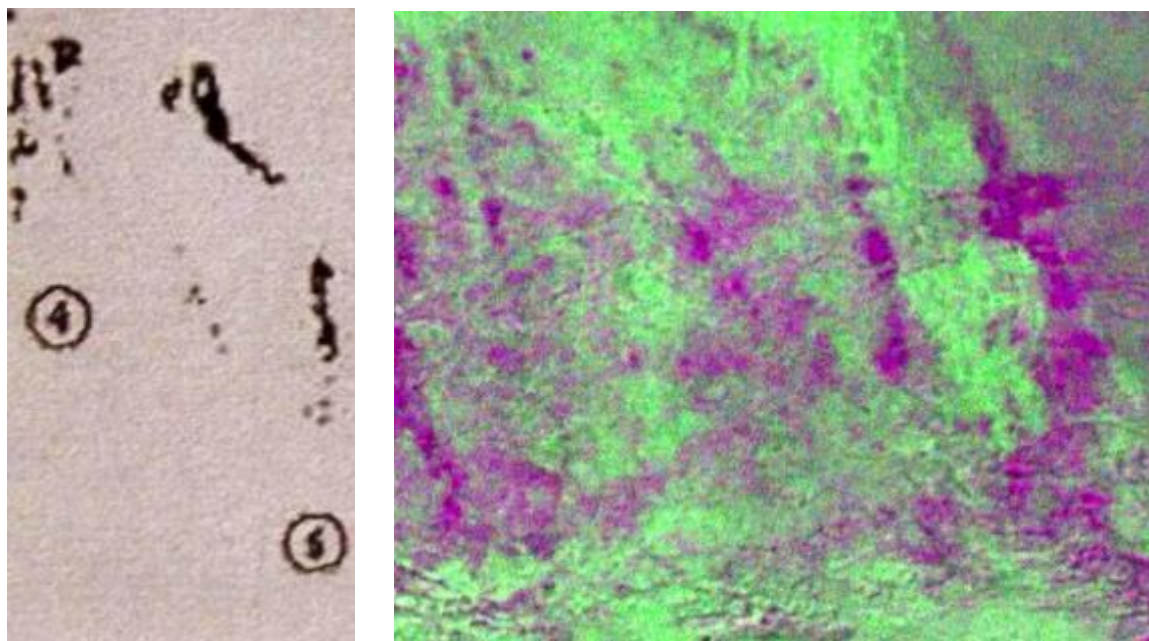


Figura 69.- Exemple de resultats hiperespectrals que suggereixen la presència de noves figures en el panell rupestre principal de la Cova del Tabac. Imatge superior: interpretació clàssica del panell rupestre principal de la Cova del Tabac. Imatge intermèdia: proposta a partir de l'algoritme DStrech (Vega Bolivar et al., 2021). A baix a l'esquerra: puntejat entre la figura 4 i la figura 5, sense forma clara. A baix a la dreta: nova forma detectada per mètodes hiperespectrals entre la figura 4 i la 5, formada per diversos traços radials, similars a un fragment de manera solar o aracniforme.

D'altra banda, en el sector dret del panell rupestre principal de la Cova del Tabac, el color del suport no facilita el mateix nivell de diferenciació (**Figures 52-55**). La component independent més rellevant obtinguda amb l'algoritme ICA permet diferenciar clarament la major part dels traçats (**Figures 55 i 70**), encara que la figura rupestre número 11 de la interpretació clàssica del panell queda parcialment emmascarada en la seva part superior. De la mateixa manera, rubefaccions del suport rocós presents en diferents zones d'aquest sector del panell i, especialment en la base de la figura 12, no permeten la diferenciació clara de les potes d'aquesta figura de forma animal. Les limitacions descrites per al sector fosc del panell rupestre principal es fan més evidents en els resultats obtinguts per a la classificació supervisada SAM obtinguda per a aquesta zona del panell, on la signatura de l'ocre rupestre es barreja amb el fons rubefactat del suport, donant lloc a classificacions amb alt nivell d'incertesa (**Figura 67**). Per a una millor diferenciació en aquest sector del panell probablement seria necessari incrementar el flux lumínic halogen amb la finalitat de proporcionar una major intensitat a la reflectància capturada per la cambra, encara que els resultats de l'algoritme ICA (**Figures 55 i 71**) no semblen presagiar canvis significatius respecte a la interpretació clàssica del

panell rupestre o a les representacions obtingudes aplicant l'algorisme DStretch a fotos RGB convencionals (Vega Bolivar et al., 2021).

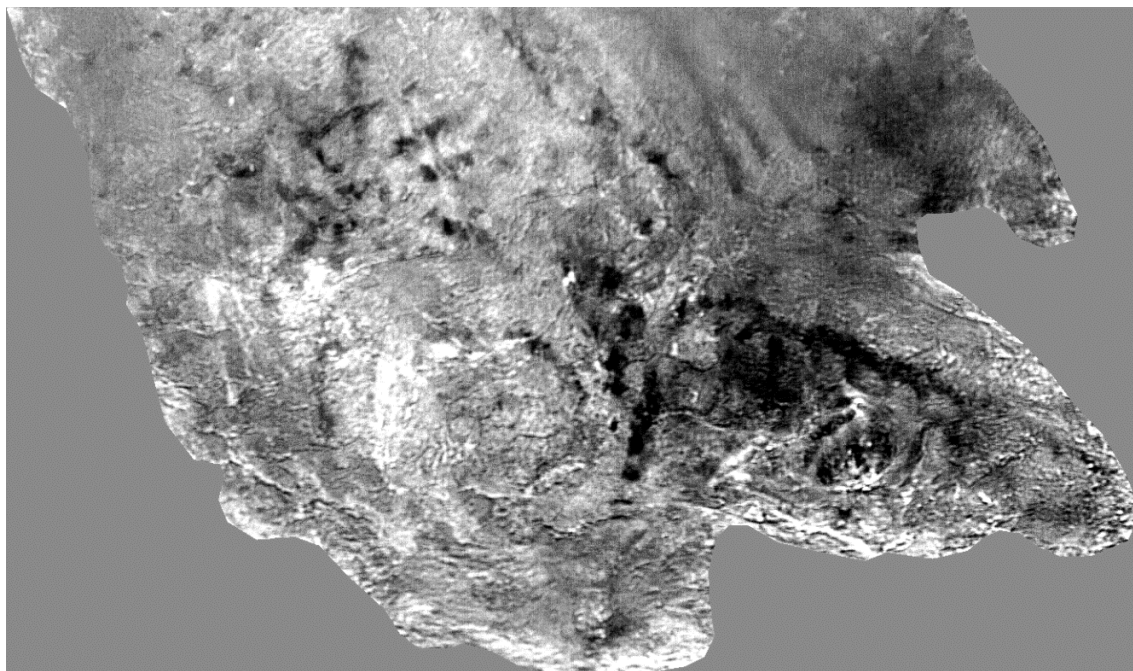


Figura 70.- (vegis també les Figures 52-55). Resultats més rellevants obtinguts en el sector dret fosc del panell rupestre principal de la Cova del Tabac, derivats de la component independent segona obtinguda mitjançant l'anàlisi ICA de 10 components.

L'aplicació dels mètodes ICA i CPA a la figura aïllada localitzada en la cúpula també proporciona nous traços (Figures 57 i 58), que igualment necessitarien ser estudiats i contrastats in situ per especialistes en pintures rupestres. En les anàlisis realitzades a aquesta figura rupestre és de ressaltar que els resultats s'han vist influenciats per la posició de la figura a l'interior d'una cúpula, que no permetia aplicar el flux de llum halògena perpendicularment al suport, si no des de fora cap a dins, causant un degradat de la intensitat del flux lumínic halogen i de la reflectància cap a l'interior de la cúpula, la qual cosa va provocar una modificació gradual de la signatura espectral cap a l'interior de la cúpula.

10. Mesures adoptades per evitar la degradació de les restes

El conjunt de pintures rupestres no es troba protegit directament, hi ha una porta metàl·lica que regula l'accés a la cavitat. Per aquest motiu no s'han pres cap mesura de protecció.

11. Propostes d'anàlisi pluridisciplinàries

L'aplicació de tecnologies avançades de captura del color a la Cova del Tabac ha estat aplicada a fi d'estudiar i posar en valor les seves formacions espeleològiques i el patrimoni cultural del seu conjunt rupestre. D'aquesta manera, els resultats presentats en aquest treball s'han centrat en:

- La generació d'un model 3D amb color del interior de la cavitat, aplicant escàners làser terrestre amb càmera RGB i un sistema d'il·luminació LED.
- La captura hiperespectral del conjunt rupestre de la Cova del Tabac, amb una càmera VNIR amb captura de 854 longituds d'ona entre els 400-1000 nm, recolzada per il·luminació halògena de 1600W.

Aquests treballs han proporcionat models 3D preparats per a plataformes de visualització d'ús lliure que permeten la visita virtual a la cavitat de mode remot i virtual, permetent la inspecció precisa 3D i l'aspecte de les morfologies i formacions espeleològiques de la cavitat, representant un mitjà excepcional per a estudiar i divulgar la formació i evolució d'aquesta cova al llarg del Cenozoic. Referent al registre hiperespectral VNIR del conjunt rupestre de la Cova del Tabac, el tractament de les dades mitjançant mètodes estadístics per a ressaltar la signatura espectral dels ocre rupestres ha proporcionat una bateria d'imatges que poden ajudar als especialistes a re-interpretar i difondre el simbolisme de les pintures rupestres de la Cova del Tabac.

12. Fotografies

Imatge 1_ Vista de l'entorn on s'ubica la Cova del Tabac a la Serra del Montsec, on es visualitza el riu Segre.

Imatge 2_ Vista de la entrada de la Cova del Tabac.

Imatge 3_ Vista de l'interior de la Cova del Tabac amb la disposició dels panells de pintures rupestres conegudes a la cavitat.

Imatge 4_ Vista en detall del panell principal de pintures rupestres documentades.

Imatge 5_ Vista de l'interior de la cavitat en el qual es va fer servir l'escàner 3D per obtenir un model 3D a color de la cavitat.

Imatge 6_ Vista del posicionament de l'escàner 3D per a realitzar la captura de dades.

Imatge 7_ Vista de la il·luminació del panell de pintures rupestres per a la captura de dades mitjançant l'ús de la càmera hiperspectral.

Imatge 8_ Resultat d'uns dels processats amb càmera hiperspectral del panell de principal de les pintures rupestres de la Cova del Tabac.

Imatge 9_ Resultat d'uns dels processats amb càmera hiperspectral del panell de principal de les pintures rupestres de la Cova del Tabac.

Imatge 10_ Resultat d'uns dels processats amb càmera hiperspectral del segon panell de les pintures rupestres de la Cova del Tabac.

13. Inventari

Al no ser una intervenció arqueològica no s'ha generat cap tipus de registre.

14. Bibliografia

- "L'herminette de Pierre de Langda. Fabrication d'une herminette en basalte: "la chaîne opératoire spécialisée"." Policopiado.
- Arceredillo Alonso, D., Benito-Calvo, A., Mora, R., Martínez-Moreno, J. y Vega Bolívar, S. (2020). "New paleontological records of the Cova del Tabac (Camarasa, Lleida). Preliminary data of the new Ursidae fossils." 2nd Palaeontological Virtual Congress
- Baldellou, V. (1987). "Avance al estudio de la Espluga de la Puyascada." Bolskan **4**: 3-41.
- Baldellou, V. y Ramón, N. (1995). "Estudio de los materiales cerámicos neolíticos del conjunto de Olvena." Bolskan **12**: 105-169.
- Benito-Calvo, A., Arcederillo Alonso, D. y Álvarez-Vena, A. (2020). Memòria de la intervenció paleontològica preventiva de la Cova del Tabac (Camarasa, La Noguera, Lleida) 2020: 71.
- Benito-Calvo, A., Martínez-Moreno, J., Jordá Pardo, J. F., de la Torre, I. y Mora Torcal, R. (2009). "Sedimentological and archaeological fabrics in Palaeolithic levels of the South-Eastern Pyrenees: Cova Gran and Roca dels Bous Sites (Lleida, Spain)." Journal of Archaeological Science **36**(11): 2566-2577.
- Bogaard, A., Heaton, T. H. E., Poulton, P. y Merbach, I. (2007). "The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices." Journal of Archaeological Science **34**: 335-343.

- Bosch Gimpera, P. (1923). "Resultats de l'exploració de coves de Catalunya per l' Institut d' Estudis Catalans (1915-1920). Els massissos centrals de Lleyda." Anuari Institut d'Estudis Catalans
- Briansó, S. i. y al., e. (2000). "Mapa geológico de España, escala 1:50.000, Serie MAGNA (IGME), hoja 328, Artesa de Segre."
- Britton, K., Grimes, V., Dau, J. y Richards, M. (2009). "Reconstructing faunal migrations using intra-tooth sampling and strontium and oxygen isotope analyses: a case study of modern caribou (*Rangifer tarandus granti*)." Journal of Archaeological Science **36**: 1163-1172.
- Buckley, M. (2018). Zooarchaeology by mass spectrometry (ZooMS) collagen fingerprinting for the species identification of archaeological bone fragments. Zooarchaeology in Practice, Springer: 227-247.
- Buixó, R. y Pique, R., Eds. (2003). La recogida de muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas, La gestión de los recursos vegetales y la transformación del paleopaisaje en el Mediterráneo occidental. Barcelona, Museu d'Arqueologia de Catalunya.
- Castells, J. (1990). "Corpus de pintures rupestres de Catalunya Vol.1 La Conca del Segre." Dpt. de Cultura. Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Clemente Conte, I., Gassiot Ballbé, E., Rey Lanaspá, J., Mazzucco, N. y Obea Gómez, L. (2014). "Cort o Trasito" - Coro Trasito - o corral de tránsito: una cueva pastoril del Neolítico antiguo en el corazón de Sobrarbe. Sobrarbe antes de Sobrarbe, Centro de Estudios de Sobrarbe /Instituto de Estudios altoaragoneses: 11-29.
- Comas, I., Coscolla, M., Luo, T., Borrell, S., Holt, K. E., Kato-Maeda, M., Parkhill, J., Malla, B., Berg, S., Thwaites, G., Yeboah-Manu, D., Bothamley, G., Mei, J., Wei, L., Bentley, S., Harris, S. R., Niemann, S., Diel, R., Aseffa, A., Gao, Q., Young, D. y Gagneux, S. (2013). "Out-of-Africa migration and Neolithic coexpansion of *Mycobacterium tuberculosis* with modern humans." Nat Genet **45**(10): 1176-1182.
- Copeland, S. R., Cawthra, H. C., Fisher, E. C., Lee-Thorp, J. A., Cowling, R. M., le Roux, P. J., Hodgkins, J. y Marean, C. (2016). "Strontium isotope investigation of ungulate movement patterns on the Pleistocene Paleo-Agulhas Plain of the Greater Cape Floristic Region, South Africa." Quaternary Science Reviews **141**: 65-84.
- Díez-Coronel i Montull, L. (1985). Pinturas rupestres esquemáticas en la Cova del Tabac, en Camarasa (Lleida). XVII Congreso Nacional de Arqueología, Logroño, Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad Autónoma de La Rioja: 161-170.
- Gil y al., e. (1990). "Mapa geológico de España, escala 1:50.000, Serie MAGNA (IGME), hoja 360, Agramunt."
- González Marcén, P. (2010). "Les ocupacions prehistòriques del Forat de Conqueta (Santa Linya, Lleida): cronologia i dinàmica d'ús." Treballs d'Arqueologia **16**: 113-121.
- Hernández Pérez, M. (2009). "Acerca del origen del arte esquemático." Tabona **17** 63-92.
- Laborda, R. (2019). El Neolítico antiguo en el Valle medio del Ebro. Una visión desde la cerámica y las dataciones radiocarbónicas.
- Lee-Thorp, J. A. (2008). "ON ISOTOPES AND OLD BONES*." Archaeometry **50**(6): 925-950.
- Maluquer, J. (1945). "La Provincia de Lérida durante el eneolítico, bronce; primera edad del hierro." Ilerda **IV-V**: 173-245.

- Martín, A. (1992). Estrategia y Culturas del Neolítico Final y Calcolítico en Cataluña. Aragón/Litoral Mediterráneo: Intercambios Culturales durante la Prehistoria, Zaragoza, Instituto Fernando el Católico.
- Martínez-Moreno, J., González Marcén, P. y Moral, R. (2011). "Data matrix (DM) codes: A technological process for the management of the archaeological record." Journal of Cultural Heritage **12**(2): 134-139.
- Mora, R., Benito-Calvo, A., Martínez-Moreno, J., Gonzalez Marcen, P. y De La Torre, I. (2011). "Chrono-stratigraphy of the Upper Pleistocene and Holocene archaeological sequence in Cova Gran (south-eastern Pre-Pyrenees, Iberian Peninsula)." Journal of Quaternary Science **26**(6): 635-644.
- Mora Torcal, R., Martínez Moreno, J., Vega Bolívar, S., González Marcén, P., Benito Calvo, A. y Sánchez Martínez, J. (2019). Memòria d'excavació Cova Gran de Santa Linya (Les Avellanes i Santa Linya, La Noguera), CEPAP/UAB: 51.
- Navarrete, V., Colonese, A. C., Tornero, C., Antolín Tutusaus, F., Von Tersch, M., Subirà, M. E., Comes, P., Rosell-Mélé, A. y Saña i Seguí, M. (2017). "Feeding Management Strategies among the Early Neolithic Pigs in the NE of the Iberian Peninsula." International Journal of Osteoarchaeology **27**: 839-852.
- Oms Arias, F. X. (2008). "Caracterització tècnica, tipològica i cronològica de les ceràmiques del Neolític antic de la Cova Colomera (Prepirineu de Lleida)." Archivo de Prehistoria Levantina **XXVII**: 51-80.
- Oms Arias, F. X. (2014). La Neolitització del Nord-est de la Península Ibèrica a partir de les datacions de les primeres ceràmiques impreses 5600-4900 cal BC, Universitat de Barcelona
- Oms Arias, F. X., Bargalló, A., López-García, J. M., Morales, J. I., Pedro, M. y Solé, A. (2009). "L'arqueologia prehistòrica a la serralada del Montsec, des del segle XIX fins a l'actual projecte de recerca." Revista d'Arqueologia de Ponent **19**: 29-50.
- Oms Arias, F. X., Pedro, M., Bargalló, A., López-García, J. M., Morales, J. I. y Solé, A. (2010). El projecte arqueològic a la serra del Montsec (Pallars Jussà). 2n Col·loqui d'Arqueologia d'Odèn. Solsona, Museu Diocesà i Comarcal de Solsona: 39-46.
- Oms Arias, F. X., Sánchez de la Torre, M., Petit i Mendizàbal, M. A., López-Cachero, F. J. y Mangado, X. (2019). "Nuevos datos del VI y V milenio cal BC en el llano y Prepirineo de Lleida (NE de la Península Ibérica): el Abric del Xicotó y Les Auvelles." Munibe Antropologia y Arqueologia **70**: 93-107.
- Oms, F. X., López García, J. M., Mangado, X., Martín, P., Mendiola, S., Morales, J. I., Pedro, M., Rodríguez, A., Rodríguez-Cintas, A. y Yubero, M. (2013). "Hàbitat en cova i espai pels ramats ca. 6200-6000 BP: dades preliminars de la Cova Colomera (Prepirineu de Lleida) durant el neolític antic." Saguntum **45**: 25-38.
- paisatge, O. d. (2006). "Catàleg de paisatge de les Terres de Lleida. Generalitat de Catalunya." Departament de Política Territorial i Obres Públiques.
- Petit i Mendizàbal, M. A. (2001). Els primers pagesos i ramaders de la Noguera. La Noguera Antiga. Barcelona, MAC: 46-62.
- Petit, M. A. (1996). El procés de neolitització a la Vall del Segre: La Cova del Parco (Alòs de Balaguer, la Noguera). Estudi de les ocupacions humanes del Vè al II mil·lenni a.C. Barcelona, Universitat de Barcelona.
- Petit, M. A., Estrada, A., Berguedà, M. M., Fullola, J. M., Bartolí, R., Gamarra, A., Nadal, J., Albert, R. M., Cummings, L. S. y Farell, D. (1996). "El procés de neolitització a la vall del Segre. La cova del Parco (Alòs de Balaguer, la Noguera). Estudi de les ocupacions humanes del Vè al II mil·lenni a.C." Monografies SERP/Universitat de Barcelona **1**: 5-69.

- Pleyán de Porta, J. y Renyé i Viladot, F. (1880). "Album històric, pintoresch y monumental de Lleyda y sa provincia." Estampa de Joseph Sol Torrens
- Polo Díaz, A., Martínez-Moreno, J., Benito-Calvo, A. y Mora, R. (2014). "Prehistoric herding facilities: site formation processes and archaeological dynamics in Cova Gran de Santa Linya (Southeastern Prepyrenees, Iberia)." Journal of Archaeological Science **41**(0): 784-800.
- Roda Gilabert, X., Samper Carro, S. C., Mora Torcal, R., González Marcén, P. y Martínez-Moreno, J. (2014). "La aplicación de los códigos Data Matrix (DM) en el registro y la catalogación arqueológica." Treballs d'Arqueologia **20**: 95-107.
- Rojó-Guerra, M. A., García-Martínez de Lagrán, Í. y Royo-Guillén, J. I. (2018). "The beginning of the Neolithic in the mid-Ebro valley and in Iberia's Inland (Northern and Southern submeseta), Spain." Quaternary International **470**: 398-438.
- Rojó Guerra, M. A., Peña Chocarro, L., Royo Guillén, J. I., ejedor Rodríguez, C., García Martínez De Lagrán, I., Arcusa Magallón, H., Garrido Pena, R., Moreno-García, M., Mazzuco, N., Gibaja Bao, J. F., Ortega, D., Kromer, B. y Alt, K. W. (2013). "Pastores trashumantes del Neolítico Antiguo en un entorno de alta montaña: secuencia crono-cultural de la Cova de Els Trocs (San Feliú de Verí, Huesca)." BSAA arqueología **LXXIX**: 9-56.
- Ruiz Zapatero, G. (1985). "Los campos de Urnas del NE de la Península Ibérica. Universidad Complutense de Madrid." Universidad Complutense de Madrid.
- Serra i Ràfols, J. C. (1921). La col·leció prehistòrica Lluís M Vidal. Barcelona, Publicacions del seminari de Prehistòria de la Universitat de Barcelona.
- Serra i Ràfols, J. C. (1930). El poblament prehistòric de Catalunya. Geografia general de Catalunya, Valencia i Balears. P. Vila. Barcelona, Barcino: 5 pp.
- Teixel y al., e. (1996). "Mapa geológico de España, escala 1:50.000, Serie MAGNA (IGME), hoja 327, Os de Balaguer."
- Tornero, C., Balasse, M., Balasescu, A., Chataigner, C., Gasparyan, B. y Montoya, C. (2016). "The altitudinal mobility of wild sheep at the Epigravettian site of Kalavan 1 (Lesser Caucasus, Armenia): Evidence from a sequential isotopic analysis in tooth enamel." Journal of Human Evolution **97**: 27-36.
- Utrilla, P. y Laborda Lorente, R. (2018). "La cueva de Chaves (Bastarás, Huesca): 15000 años de ocupación prehistórica." Trabajos de Prehistoria **75 n°2**: 248-269.
- Valenzuela-Lamas, S., Jiménez-Manchón, S., Evans, J., López, D., Jornet, R. y Albarella, U. (2016). "Analysis of seasonal mobility of sheep in Iron Age Catalonia (north-eastern Spain) based on strontium and oxygen isotope analysis from tooth enamel: First results." Journal of Archaeological Science: Reports **6**: 828-836.
- Vega, J. d. l. (1981). Aplec de documents arqueològics de les coves del montsec i llur projecció a les comarques i serres properes. Barcelona, Mediterrània 12 M.
- Vega, S., Laborda Lorente, R., Lanau Hernández, P., Roda Gilabert, X., González Marcén, P., Mora, R. y Martínez-Moreno, J. (2021). "Un enclave singular del Neolítico antiguo en el Prepirineo de Lleida: la Cova del Tabac (Camarasa, Lleida)." MUNIBE Antropologia-Arkeologia **72**.
- Vidal, L. M. (1894). "Les Coves Prehistoriques de la Provincia de Lleida " Butlletí del Centre Excursionista de Lleida **4**(13): 81-108.
- Viñas, R., Ullastre, J., Quereda, J., Camarasa, J. M., Español, F., Filella, S., Miquel, D. y Gusi, F. (1982). La Valltorta. Arte rupestre del Levante español. Barcelona, Castell.