MUNIBE Antropologia-Arkeologia	nº 74	55-72	DONOSTIA	2023	ISSN 1132-2217 • eISSN 2172-4555

Recibido: 2023-03-19
Aceptado: 2023-10-24

Explorando paisajes mineros prehistóricos. Estrategias de prospección para la documentación de las explotaciones de sílex de La Leandra (La Muela, Zaragoza)

Exploring prehistoric mining landscapes. Survey strategies for the documentation of the flint exploitations of La Leandra (La Muela, Zaragoza)

PALABRAS CLAVES: Península Ibérica, Neolítico, minas, nódulos de sílex, prospección arqueológica.
GAKO-HITZAK: Iberiar penintsula, meategiak, silex-noduluak, prospekzio arkeologikoa.
KEY WORDS: Iberian Peninsula, Neolithic, quarry, nodular flint, archaeological survey.

Jesús V. PICAZO MILLÁN[1], Fernando PÉREZ-LAMBÁN[2], Javier FANLO LORAS[3], M. Marta SAMPIETRO-VATTUONE[4], José Luis PEÑA-MONNÉ[5], Óscar PUEYO ANCHUELA[6], Andrés POCOVÍ JUAN[7] y Andoni TARRIÑO VINAGRE[8]

RESUMEN

Presentamos un complejo minero dedicado a la extracción del sílex denominado Botorrita-Monegros, demandado en diferentes momentos de la Prehistoria. Para su documentación se programó una prospección a tres escalas: 1) prospección superficial intensiva para acotar las áreas de interés; 2) ortofotografía y MDE de las zonas de mayor potencial mediante RPAS; 3) prospección magnética y georradar, para determinar la estructura del subsuelo.

El resultado es la identificación de un complejo de unas 30 ha con restos de minería de transferencia a cielo abierto basada en la excavación de pozos y su ampliación en plataformas, generando modelados superficiales con formas circulares y semicirculares.

Las minas reflejan labores sistemáticas, probablemente neolíticas, a cargo de individuos con cierto grado de especialización, que justificarían la dispersión del sílex Botorrita-Monegros por buena parte del valle del Ebro y entorno.

LABURPENA

Historiaurreko hainbat momentutan preziatua izan zen silexa, eta hura erauzten zuten meategien gunea da honako hau: Botorrita-Monegros. Dokumentatzeko, hiru eskalatan egindako prospekzioa antolatu zen: 1) gainazaleko prospekzio intentsiboa, intereseko eremuak mugatzeko; 2) potentzial handiena duten eremuen ortoargazkia eta MDE, RPAS bidez; 3) prospekzio magnetikoa eta georradarra, zorupearen egitura zehazteko.

Horren ondorioz, 30 hektareako gune bat identifikatu da, aire zabaleko transferentzia-meatzaritzako aztarnak dituena. Horretarako, mea-zuloak induskatu eta plataformatan zabaldu dituzte, forma zirkularrak eta erdizirkularrak dituzten azaleko modelatuak sortuz.

Nolabaiteko espezializazio maila zuten banakoek egindako lan sistematikoak islatzen dituzte meategiek, neolitikoak seguruenik. Botorrita-Monegroseko silexa Ebroko bailararen zati handi batean eta inguruan sakabanatu izana justifikatuko luke horrek.

ABSTRACT

In this paper we present a new mining complex in the Iberian Peninsula for the supply of flint (Botorrita-Monegros type). The demarcation of exploitation areas and their characteristics has been tackled in a three strategies program: 1) systematic and intense field walking survey of the main exploitation area, 2) photogrammetric drone flight at low altitude to obtain an orthophotograph and a DEM, and 3) geophysical survey (magnetometer and ground-penetrating radar) to obtain a 3-dimensional insight of the subsoil.

As a result, we have identified the main exploitation spots in a mining complex that spreads over ca. 30 ha. The morphological evidences are compatible with a systematic surface mining based in the excavation of open-pits that are later on enlarged into platforms that cut the calcareous overburden. The resulting circular or semicircular debris dumps reach 20-25 m in diameter and 2-3 m in depth.

These mines reflect systematic carried over time, probably Neolithic, managed by groups of individuals with certain level of specialization. This could explain the broad distribution of flint of the type Botorrita-Monegros in a great part of the Ebro Valley.

[1] Departamento de Ciencias de la Antigüedad y IUCA, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12. 50009 Zaragoza, España. jpicazo@unizar.es. https://orcid.org/0000-0002-4726-819X
[2] Athmos Sostenibilidad SL. https://orcid.org/0000-0001-9459-6949.
[3] Arqueólogo profesional. https://orcid.org/0000-0002-8447-4662.
[4] Universidad Nacional de Tucumán-CONICET, Argentina. https://orcid.org/0000-0002-7681-070X.
[5] Universidad de Zaragoza. https://orcid.org/0000-0003-4067-8222.
[6] Universidad de Zaragoza. https://orcid.org/0000-0002-1460-1590.
[7] Universidad de Zaragoza. https://orcid.org/0000-0003-3197-4177.
[8] Universidad del País Vasco. https://orcid.org/0000-0002-1717-7457.

https://doi.org/10.21630/maa.2023.74.04

(cc) BY-NC-ND

1. INTRODUCCIÓN

La identificación y caracterización de lugares de aprovisionamiento de sílex es una cuestión crítica para la comprensión de los mecanismos de suministro lítico, sistemas de explotación y distribución, y pueden contribuir a un mejor conocimiento de determinados aspectos sociales e ideológicos (Topping, 2021).

En el continente europeo, desde finales del siglo XIX, se han descubierto numerosos complejos mineros dedicados a la extracción de nódulos de sílex, cuya cronología, no sin problemas, se vincula principalmente al Neolítico (Consuegra y Díaz-del-Río, 2018). Sin embargo, en la Península Ibérica, aunque se vienen citando lugares con indicios de explotación, caso de la "formación Milanos" (Morgado *et al.*, 2011) o del conjunto de Montón (Aranda, 1986; Domingo, 2006), son pocos los complejos mineros bien conocidos. Actualmente el extenso campo de pozos de Casa Montero (Consuegra *et al.,* 2018), las explotaciones a cielo abierto de la Sierra de Araico (Tarriño *et al.*, 2022) y, en un estado más incipiente, las canteras de Montvell en Lleida (Terradas *et al.*, 2021), todos con dataciones neolíticas, son los que cuentan con estudios más detallados.

Dentro del ámbito peninsular se ha reconocido una variedad de sílex de gran calidad denominada "Botorrita" (Leorza, 2013) o "Monegros" (García-Simón y Domingo, 2016), propia del centro del valle del Ebro, una región rica en sílex. Se identifica de forma recurrente en contextos prehistóricos, especialmente mesolíticos y neolíticos, del NE de la península, siendo rastreado incluso en el sur de Francia (Vaquer, 2012; Sánchez *et al.*, 2019: 1234). Su denominación y origen se ha vinculado al entorno de los ríos Huerva y Jalón, pero especialmente a la región de Monegros, donde se han estudiado y caracterizado afloramientos en diversas localidades (Sánchez *et al.*, 2019), aunque, hasta la fecha, sin llegar a identificar lugares concretos de explotación. Es por ello que el yacimiento de La Leandra, descubierto en 2016 en el marco de las prospecciones arqueológicas del río Huerva y entorno (Pérez-Lambán *et al.*, 2010), supone un nuevo complejo minero donde se extrajo ese tipo de sílex, ampliando el limitado elenco de lugares con explotaciones sistemáticas en la Península Ibérica.

En este artículo presentamos una primera fase de las investigaciones dirigidas a delimitar y evaluar la entidad del yacimiento, identificar los puntos concretos de explotación y sus características. Se trata de un contexto minero de cierta complejidad pues sobre las labores prehistóricas se superponen importantes canteras de los siglos XVIII y XIX para la producción de piedras de fusil (Picazo *et al.*, 2020) que destruyen, ocultan y generan notable ruido dificultando el reconocimiento de las minas antiguas.

Para su estudio implementamos un sistema integrado bien experimentado que combina prospecciones de superficie (Bostyn *et al.*, 2008) con el análisis de imágenes aéreas y procedimientos de exploración geofísica (Galiberti *et al.*, 2011; Koch *et al.*, 2013…). Es una estrategia multifase en la que las distintas acciones se desarrollan con detalle creciente, hasta obtener una imagen suficientemente precisa de las explotaciones.

2. EL YACIMIENTO Y SU CONTEXTO GEOLÓGICO

La Leandra se encuentra en las estribaciones NO de la plataforma estructural de La Muela, situada en el sector central de la depresión del Ebro. Está formada por calizas y margas del Neógeno, con unos 13 km de ancho (E-O), 16 km de longitud (N-S) y una altitud de 675 m s. n. m. (Fig. 1). Se trata de un relieve preservado de la erosión por la existencia de las capas carbonatadas con disposición tabular subhorizontal y escarpes abruptos que la colocan en posición dominante sobre los valles cercanos. Se eleva sobre el Ebro unos 300 m en su extremo norte y unos 400 m en su parte sur, ya que los estratos buzan hacia el norte algo menos de un grado.

Desde un punto de vista geológico este relieve está constituido por dos unidades carbonatadas: i) la unidad inferior de Montes de Castejón, que aflora en las laderas con un espesor de unos 30–35 m bordeando la plataforma y, ii) la unidad superior de San Caprasio coronando la parte alta con un espesor de unos 90–100 m (Esnaola y Gil, 1998).

Esta última (San Caprasio UTS T7) está formado por capas decimétricas de calizas con sílex con abundante fauna, intensa bioturbación y margas verdes interestratificadas. Se formó bajo condiciones palustres con momentos de emersión y desecación, bioturbación e incluso brechificación en algunos niveles (Pérez *et al.* 1988). Los nódulos de sílex, muy abundantes pero no explotados, presentan morfologías botroidales y tamaños variables, normalmente de orden decimétrico que incluso alcanzan el metro de diámetro (Esnaola y Gil, 1998).

La unidad más baja (Montes de Castejón, UTS T6) puede dividirse en dos tramos. El inferior está constituido por calizas y margas laminadas alternas en secuencias centi a decimétricas que se formaron en sistemas lacustres afectados por corrientes tractivas con acumulación mecánica de sedimentos en mantos de gran extensión. El superior compuesto por una alternancia de estratos con espesores de orden métrico formados bajo condiciones menos energéticas con procesos de decantación de lodos carbonatados durante periodos de calma relativa de las aguas. Las microfacies de las calizas son micritas y biomicritas con abundantes restos de gasterópodos, ostrácodos y caráceas. En este tramo aparecen nódulos de sílex de tamaños centimétricos, más abundantes hacia el techo de la Unidad (Esnaola y Gil, 1998). Son opacos y de colores relativamente diversos (Fig. 2CD), con variaciones desde tonalidades marrones (7.5YR 5/2) hasta los grises marronáceos (10YR 5/2), grises (7.5YR 5/1) y negruzcos (5YR 2/2, 10YR 3/1) (Munsell, 2009).

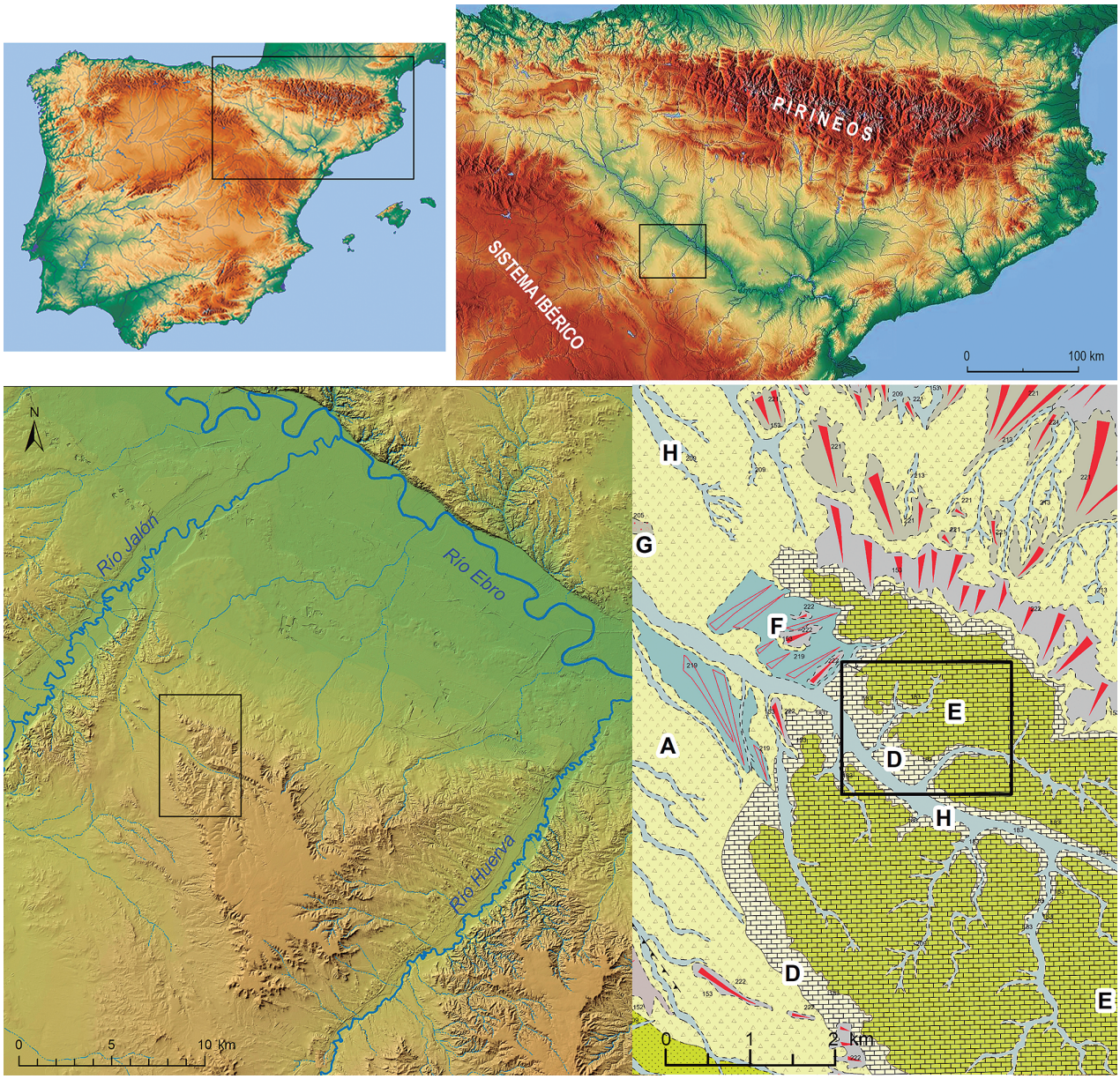


Fig.1. Situación de La Leandra (La Muela, Zaragoza) en el centro de la depresión del Ebro y cartografía geológica del NO de la plataforma estructural de La Muela: A) Yesos nodulares y margas (Mioceno); B) Yeso nodular con lutitas (Mioceno); C) Margas con calizas y areniscas (Mioceno); D) Calizas tractivas, micríticas y detríticas (Mioceno); E) Caliza (Mioceno); F) Glacis y abanico aluvial (Pleistoceno-Holoceno); G) Terrazas fluviales altas (Pleistoceno-Holoceno); H) Aluvial (Holoceno). / Location of La Leandra (La Muela, Zaragoza) in the center of the Ebro depression and geological cartography of the NW structural platform of La Muela: A) Nodular gypsum and marl (Miocene); B) Nodular gypsum with shales (Miocene); C) Marls with limestone and sandstone (Miocene); D) Tractional, micritic and detrital limestones (Miocene); E) Limestone (Miocene); F) Glacis and alluvial fan (Pleistocene-Holocene); G) High fluvial terraces (Pleistocene-Holocene); H) Alluvial (Holocene).

Los tamaños de los nódulos tienen entre 15 y 30 cm, tamaño *cobble* y *boulder* de Krumbein y Sloss (1951). Su córtex es muy fino, como una pátina lisa (Fig. 2A), que provoca que los nódulos no se encuentren adheridos a la "roca encajante". Esto facilita su recolección ya que se liberan fácilmente cuando se encuentran en exposición subaérea o tras las labores mineras. No obstante, también se encuentran núcleos con córtex desarrollado (Fig. 4.11).

Es un sílex de grano muy fino (micro-criptocristalino), prácticamente sin impurezas, homogéneo y de una calidad excepcional para la talla (Fig. 2B), que suele mostrar anillos de *Liesegang* concéntricos (Fig. 2C). Estos rasgos macroscópicos los hace muy característicos, fácilmente reconocibles visualmente en cualquier yacimiento arqueológico. Con todo, también presentan gran similitud en lo que se refiere a su aspecto macroscópico, microfacies y ambiente de formación con otros

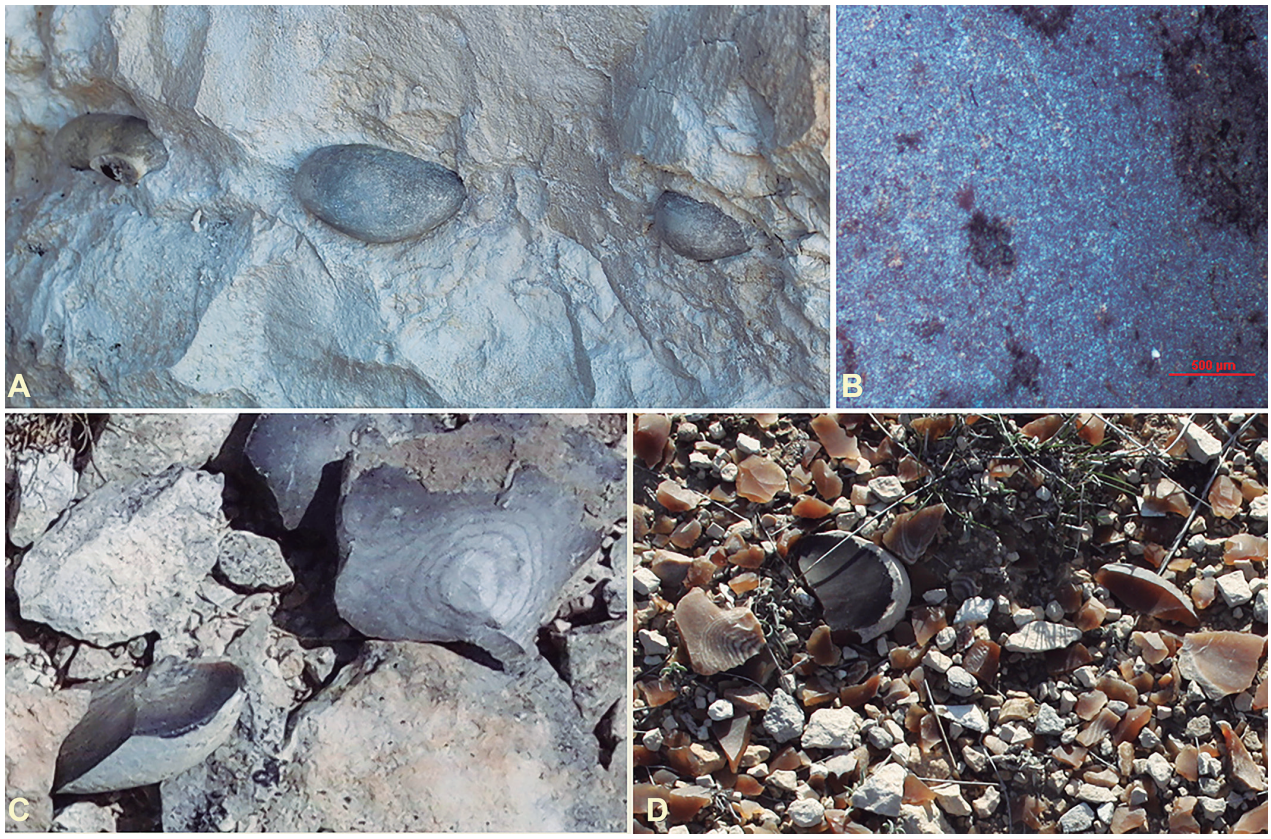


Fig.2. Sílex característico del NO de La Muela donde se encuentra la partida de La Leandra. A) Nódulos en la roca encajante; B) Microfografía a partir de lámina delgada (nicoles cruzados x40xpl); C-D) Diferentes variedades de sílex (Modificado a partir de Picazo *et al.*, 2017: Fig. 7). / Characteristic flint from the NW of La Muela where the La Leandra district is located. A) Nodules in the host rock; B) Micrograph from thin section (crossed nicols x40xpl); C-D) Different varieties of flint (Modified from Picazo *et al.*, 2017: Fig. 7).

sílex del valle del Ebro como los de Treviño, en el alto valle a más de 200 kms, donde actualmente se está excavando la cantera neolítica de Pozarrate (Tarriño *et al.,* 2014).

Ese sílex fue explotado para la producción de piedras de fusil en los siglos XVIII y XIX, según recoge De Salas (1833: 345) cuando cita las "canteras de pedernal negro en el término de La Muela", identificadas recientemente (Bea *et al.,* 2010; Tarriño *et al.,* 2016; Picazo *et al.,* 2020). Precisamente durante su estudio se reconocieron indicios de explotaciones prehistóricas, en gran parte ocultas por las labores mineras modernas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Prospección intensiva

El objetivo fue la identificación de concentraciones de materiales arqueológicos o anomalías en la superficie del terreno indicativas de posibles explotaciones, así como otros rasgos que pudieran revelar la existencia de establecimientos ligados a las mismas.

En exploraciones extensivas previas se habían encontrado indicios discontinuos de explotaciones sobre una superficie de unas 200 ha, aunque las huellas más abundantes de actividad minera se encuadran en un polígono de unas 90 ha delimitado por una serie de barrancos. La prospección superficial se centró en ese polígono, empleando equipos de 4-8 personas distribuidas en el punto de partida a intervalos de 15 m y procurando una distribución alterna según el grado de experiencia. Como medios de posicionamiento y registro de datos se utilizaron GPS o dispositivos móviles cargados con la app Mapas de España del Instituto Geográfico Nacional.

El terreno inspeccionado se controló grabando el recorrido diario de cada miembro del equipo (Fig. 3A). A lo largo de esos recorridos se tomaron coordenadas *x, y, z* (UTM, huso 30, *datum* ETRS89) de los elementos líticos de apariencia antrópica, piezas de sílex con pátina o quemadas y cualquier roca alóctona, especialmente las relacionadas con actividades mineras, solo explicable como aporte humano (cfr. Terradas y Ortega, 2017: 1).

La visibilidad del suelo fue buena, favorecida por un entorno semiárido con escasa cubierta vegetal y un relieve alomado alternando con campos de cereal, lo que facilita las búsquedas directas sobre el terreno. Puntualmente esa visibilidad se vio reducida y/o anulada por cultivos que impedían el acceso a los campos,

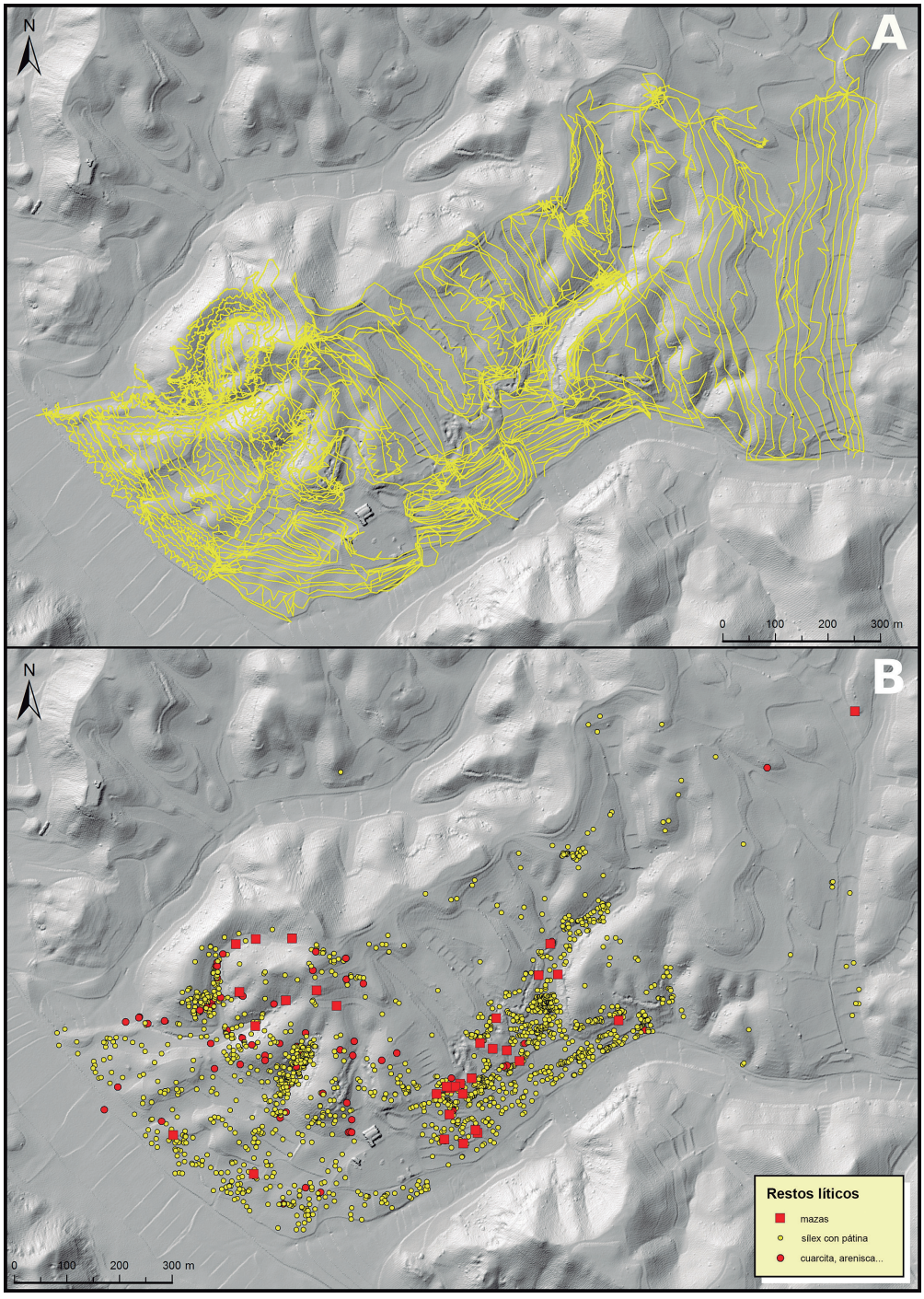


Fig.3. A) Recorridos (track GPS) realizados durante la prospección. B) Distribución de los restos arqueológicos registrados: mazas, sílex con pátina o alteraciones térmicas y rocas alóctonas. / A) Field-walking survey tracks (GPS). B) Distribution of the registered archaeological remains: mallets-hammerstones, flint with patina or thermal alterations and allochthonous rocks.

por rastrojos con restos de cosecha o por las construcciones de una instalación agraria. No obstante, el problema principal deriva de las extensas explotaciones de sílex de los siglos XVIII y XIX: pozos, trincheras y notables escombreras de bloques calizos. Su continuidad ha ocultado y/o destruido las canteras antiguas y las masas de desechos de talla son tan amplias que en algunos sectores tapizan completamente el suelo y, en general, generan un "ruido" constante que dificulta la identificación de los sílex prehistóricos. Para soslayar tal circunstancia optamos por registrar solo restos con pátina o afecciones térmicas, desechando la ingente masa de fragmentos con apariencia "fresca", a no ser que en los recorridos se identificara alguna pieza de interés. El uso de las pátinas es poco consistente como marcador cronológico (cfr. Glauberman y Thorson, 2012), pero ha sido necesario utilizar este criterio como factor discriminante con el que separar los restos de

talla “antiguos”, de los generados en las explotaciones modernas cuyos desechos, en el contexto estudiado, carecen de alteraciones superficiales significativas.

Con este procedimiento se han registrado 2048 elementos (Fig. 3B), fundamentalmente fragmentos de sílex (1698), con pátina (1549) o quemados (142). Entre ellos se han recuperado 16 núcleos con diversas morfologías destinados a la obtención de lascas, aunque también los hay con huellas de extracciones con tendencias laminares (Fig. 4. 9) e incluso con crestas iniciales (Fig. 4. 10 y 11), abundantes desechos de talla y ausencia de piezas tipológicas. Sin embargo, los artefactos más destacados son los relacionados con tareas extractivas como son las mazas de minero. Entre piezas completas, semicompletas y fragmentos se han recuperado 38 de ellas. Se aprovecharon cantos rodados de cuarcita, arenisca, granito o pizarra, procedentes de las terrazas fluviales de los ríos Ebro, Jalón y Huerva (Fig. 4. 1-5). Casi todas ellas presentan escotaduras laterales, en ocasiones asociadas a acanalados repiqueteados, y uno de los extremos puede aparecer tallado, conformando un pico/filo más agudo. En general son de un volumen y peso apreciables, si bien hay varios formatos: las más grandes van desde 6-7 kg hasta 11 kg, un tamaño intermedio de 3-5 kg y un grupo numeroso con pesos alrededor de 1.5-2 kg. También se han recuperado algunos percutores esféricos o bujardas elaborados en cuarcita o sobre núcleos de sílex amortizados (Fig. 4. 6-8) que seguramente se utilizaron para la preparación de las mazas o en el procesado inicial de los nódulos de sílex.

A partir de la distribución de esos restos (Fig. 3B) se han elaborado mapas de densidad para identificar las principales concentraciones (Fig. 5C), ponderando los hallazgos en función de la intensidad de la prospección (Fig. 5D). Las densidades, expresadas en hallazgos por hectárea, se calcularon utilizando la herramienta Density/Spatial Analyst/Toolbox de ArcGIS (ESRI), teniendo en cuenta el número de puntos dentro de un radio de 56,42 m (1 ha). Para determinar la intensidad de la prospección, expresada en metros recorridos por hectárea, se contó el número de segmentos de 1 m en los recorridos dentro de un radio de 56,42 m (1 ha). Más tarde, se calculó la densidad esperada de hallazgos ponderada en función de la intensidad de la prospección con la siguiente ecuación

$$EF = DF * (max\ (DP) / DP)^{-1}$$

donde EF representa la densidad esperada de hallazgos, DF representa la densidad de hallazgos y DP representa la densidad de rutas.

De acuerdo con esas estimaciones, los puntos de las explotaciones que suponemos prehistóricas se ubican en una zona en forma de arco que ocupa una superficie de unas 30 ha, siguiendo el afloramiento de los estratos calcáreos miocenos de la formación Montes de Castejón. En ese espacio se identifican abundan-



Fig.4. Artefactos líticos relacionados con la actividad minera. En la parte superior, mazas con escotaduras centrales sobre cantos rodados de cuarcita (1-3), roca corneana con textura mosqueada (4) y granito (5). Abajo, percutores esféricos de cuarcita (6), arenisca (7) y sílex (8), así como núcleos de sílex (9-11). / Lithic artifacts related to mining activity. On top, mining mallets from quartzite rounded stones (1-3); hornfels with dotted texture (4) and granite (5). Below, spherical hammerstones from quartzite (6), sandstone (7) and flint (8), as well as flint cores (9-11).

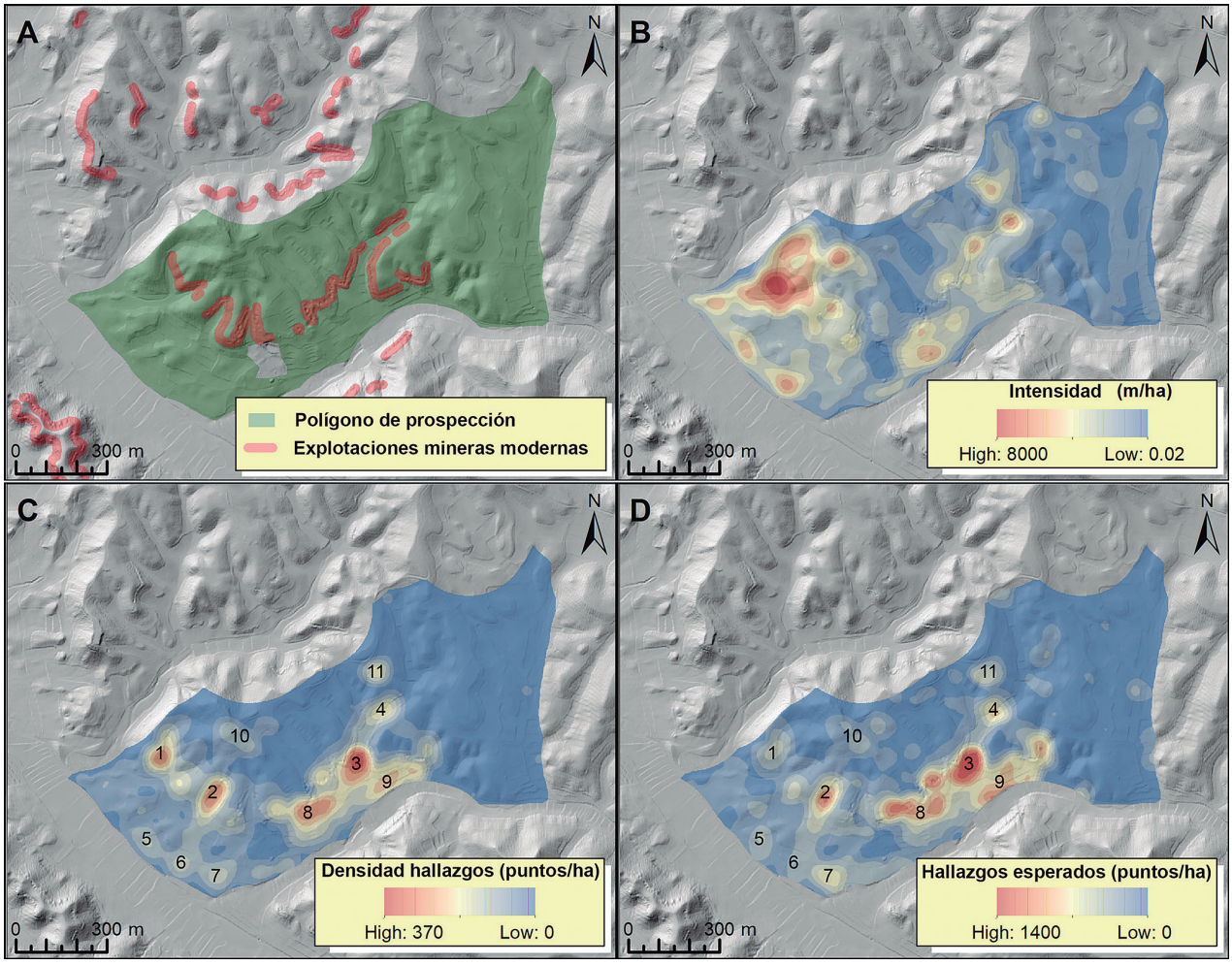


Fig.5. A) Polígono de prospección con las zonas de explotación de sílex modernas. B) Intensidad de la prospección sobre el terreno (metros/ha). C) Densidad de hallazgos (hallazgos/ha). D) Hallazgos esperados (hallazgos/ha). Se han numerado las principales concentraciones de restos en C y D. / A) Fieldwalking area and modern flint exploitation zones. B) Fieldwalking path density (m/ha). C) Find density (finds/ha). D) Expected finds (finds/ha). The main concentrations of remains in C and D have been numbered.

tes restos de talla, artefactos y fragmentos de arenisca/cuarcita, que llegan a forma una serie de agrupaciones en diferentes ámbitos topográficos (Figs. 5CD).

Algunos grupos están situados en los fondos de los pequeños barrancos que circulan entre los estratos calcáreos ricos en sílex (1, 2, 3 y 4) o en sus conos de deyección, actualmente deformados por cultivos (5, 6 y 7). Por tanto, estamos ante elementos movilizados que, en el caso de los primeros, reflejan la proximidad a las zonas de trabajo.

Las principales concentraciones se dan en los puntos 3, 8 y 9, cuya densidad todavía se incrementa al ponderarla respecto a la intensidad de la prospección (Fig. 5D). El conjunto número 3 se ubica en el fondo de una barranquera cuyas laderas inmediatas se encuentran severamente transformadas por explotaciones modernas para piedras de fusil ocultando cualquier otro vestigio. Por su parte, los grupos 8 y 9 se vinculan a suaves laderas en las que se reconocen formas artificiales como rellanos y ligeras depresiones circulares o semicirculares (Fig. 6A), morfologías similares a las documentadas en el complejo minero de la Sierra de Araico (Tarriño *et al.*, 2014: Figs. 7 y 10). En su entorno suelen encontrarse restos de talla con pátina, mazas y otros artefactos relacionados con la extracción y transformación del sílex (Fig 7).

Finalmente, los grupos 10 y 11, están en posiciones topográficas más altas, en los tramos superiores de las laderas o en divisorias de vertiente. Esa posición elevada es un rasgo diferencial, lo que unido a un mayor número de sílex quemados, plantea la posibilidad de pequeños establecimientos efímeros tal vez vinculados a las explotaciones. En cualquier caso, la ausencia de cerámicas prehistóricas y de cualquier tipo de herramienta lítica nos indica que no llegó a haber –no se ha encontrado- una ocupación estable de cierta entidad en las inmediaciones de las minas, en la línea de otros centros de producción europeos como Flins-sur-Seine (Bostyn *et al.*, 2008: 83) o peninsulares, como los referidos de Casa Montero o Pozarrate.

3.2. Prospección aérea

Su objeto fue obtener una documentación tridimensional y una base ortofotográfica detallada del sector 8 donde se da la principal concentración de restos y otras anomalías superficiales.

De acuerdo con experiencias previas (Sampietro y Peña, 2018) el vuelo fotogramétrico se realizó con un dron DJI Phantom 4 dotado de una cámara FC220. Se planificó una malla de 600 x 400 m ajustada a las características del terreno y los rasgos arqueológicos de interés mediante la APP Pix4DCapture en tableta Samsung Galaxy Tab S2. Se obtuvieron 305 imágenes de 12 MP cada una, distribuidas en 15 pasadas con 17 fotogramas en promedio, tomadas a una altura media de 116 m y con superposición del 80%. Las fotografías fueron procesadas con Agisoft Photoscan v.4.01. El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se calculó a partir de la nube de puntos densa y la reconstrucción de la superficie del ortomosaico se realizó a partir del MDE. El resultado final es un ortomosaico y un MDE que cubren una superficie de 0.27 km^2 con resoluciones de 3.39 cm/pixel y de 6.79 cm/pixel, respectivamente (Fig. 6). Ortoimagen y MDE se incorporaron en un SIG para relacionar morfologías superficiales y artefactos (Fig. 7), obtener una serie de secciones topográficas transversales a la pendiente y medir otros rasgos morfológicos (Fig. 8B).

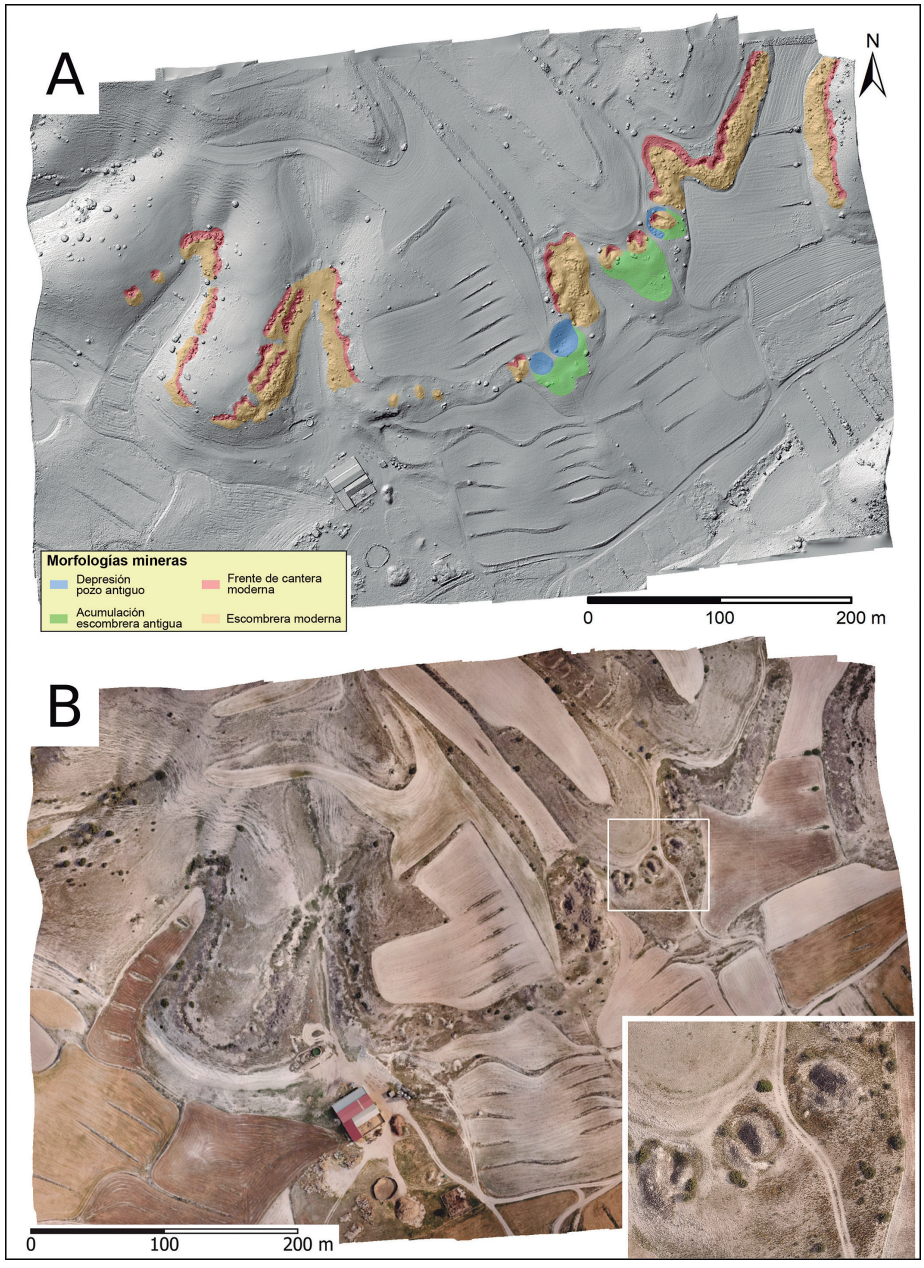


Fig.6. A) MDE de los sectores 3 y 8, con indicación de las explotaciones prehistóricas y modernas. B) Ortoimagen. En el recuadro detalle de los pozos y escombreras modernas enmarcadas por una orla la vegetación indicativa de antiguas depresiones. / A) DEM of sectors 3 and 8, with indication of prehistoric and modern exploitations. B) Ortho-image. In the box, detail of the area with pits and modern dumps framed by a border, the vegetation indicative of old depressions.

De esta forma se documentan una serie de alteraciones en la ladera, una especie de guirnalda punteada siguiendo los frentes de los estratos calcáreos con sílex, producto de los pozos y escombreras de las explotaciones para piedras de fusil (Fig. 6). Uno de los perfiles topográficos (Fig. 8B, sección C-C') presenta un trazado anguloso que refleja un pozo de unos 3.5 m de profundidad y dos escombreras con forma de arco y doble cresta en la cima, resultado de la progresión de los trabajos contra el frente calizo y la acumulación de desechos hacia atrás. Con matices, estos modelados tan evidentes son los dominantes en todo el frente de explotación moderno.

Además, en algunos tramos libres de pozos modernos, se detectan otras morfologías que parecen responder al mismo patrón de explotación, pero mimetizadas en la ladera (Fig. 6A). Son depresiones circulares u ovales con diámetros entre 15 y 20 m y profundidades que llegan a los 2.5 m. Están delimitadas por suaves promontorios anulares formados por material calizo heterogéneo, anguloso, compactado, dentro del cual aparece integrado algún núcleo, así como mazas de minero o porciones de las mismas (Fig. 7 y 8A). Los perfiles transversales trazados sobre el MDE (Fig. 8B, secciones A-A', B-B') muestran claramente esos modelados, similares a los generados por las explotaciones para piedras de fusil, pero con una morfología mucho más suave y atenuada, que, en cualquier caso, termina alterando el perfil natural de la ladera. En el entorno de las depresiones circulares, también se observan rellanos y formas semicirculares, que parecen responder a similares procesos, representando los restos de intervenciones previas en el frente de explotación.

Esas depresiones favorecen la captura de humedad, por lo que concentran más vegetación que sus márgenes o el resto de la ladera. Incluso unos cuantos pozos modernos presentan una orla de vegetación indicativa de una depresión previa (Fig. 6B) delimitada por una sutil prominencia topográfica (Fig. 8B, sección D-D'), una acumulación de derrubios consolidados. Tales rasgos nos hacen entrever que los pozos modernos se instalan sobre las explotaciones prehistóricas (Fig. 8A), destruyéndolas y ocultándolas, aunque los sílex con pátina, mazas y otros artefactos nos ayudan a recocer su presencia.

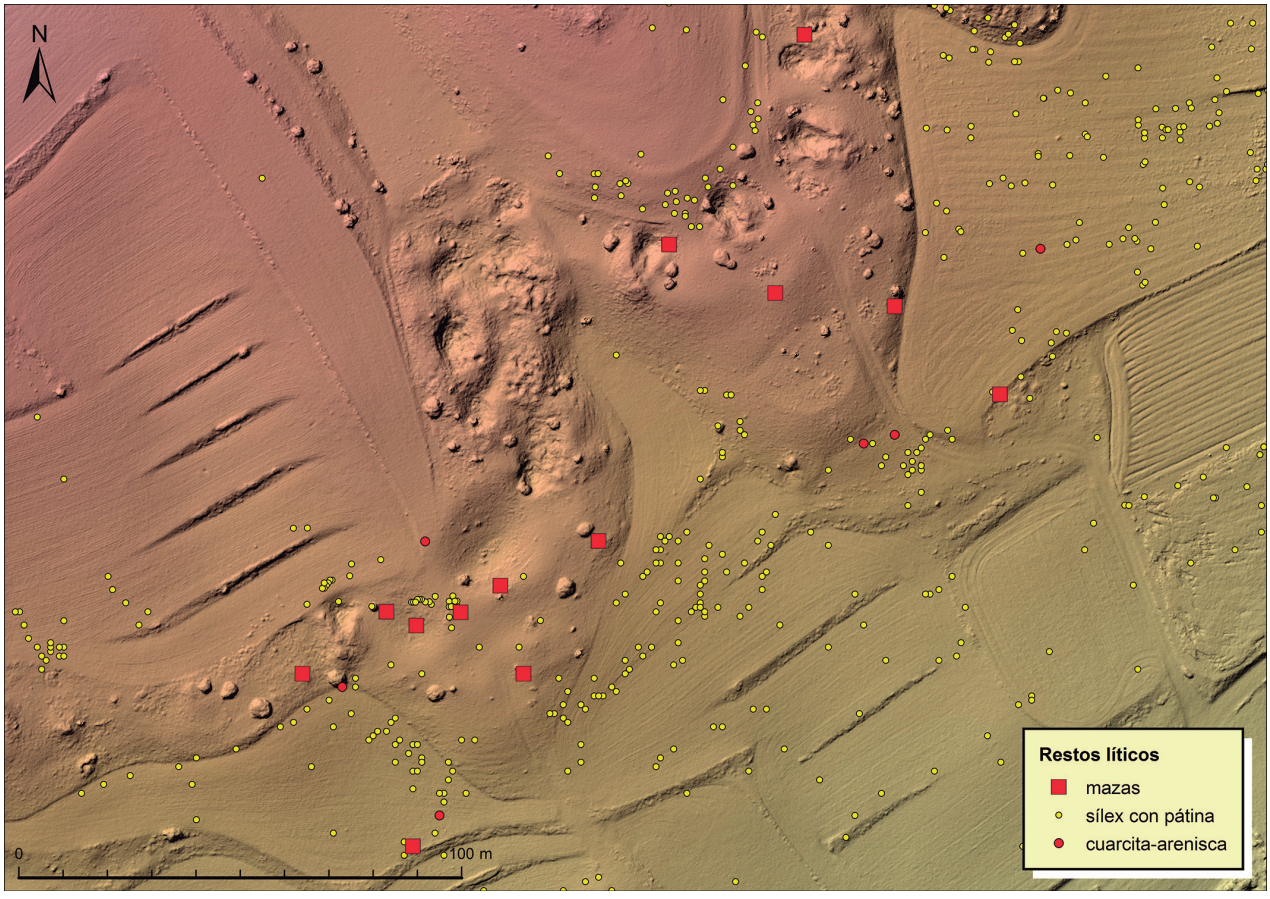


Fig.7. Detalle del sector 8 con los materiales registrados en superficie. Puede observase la concentración de mazas asociadas a morfologías atenuadas en las zonas libres de pozos y escombreras modernas. / Detail of sector 8 with the materials recorded on the surface. The concentration of millets associated with attenuated morphologies can be observed in the areas free of modern pits and dumps.

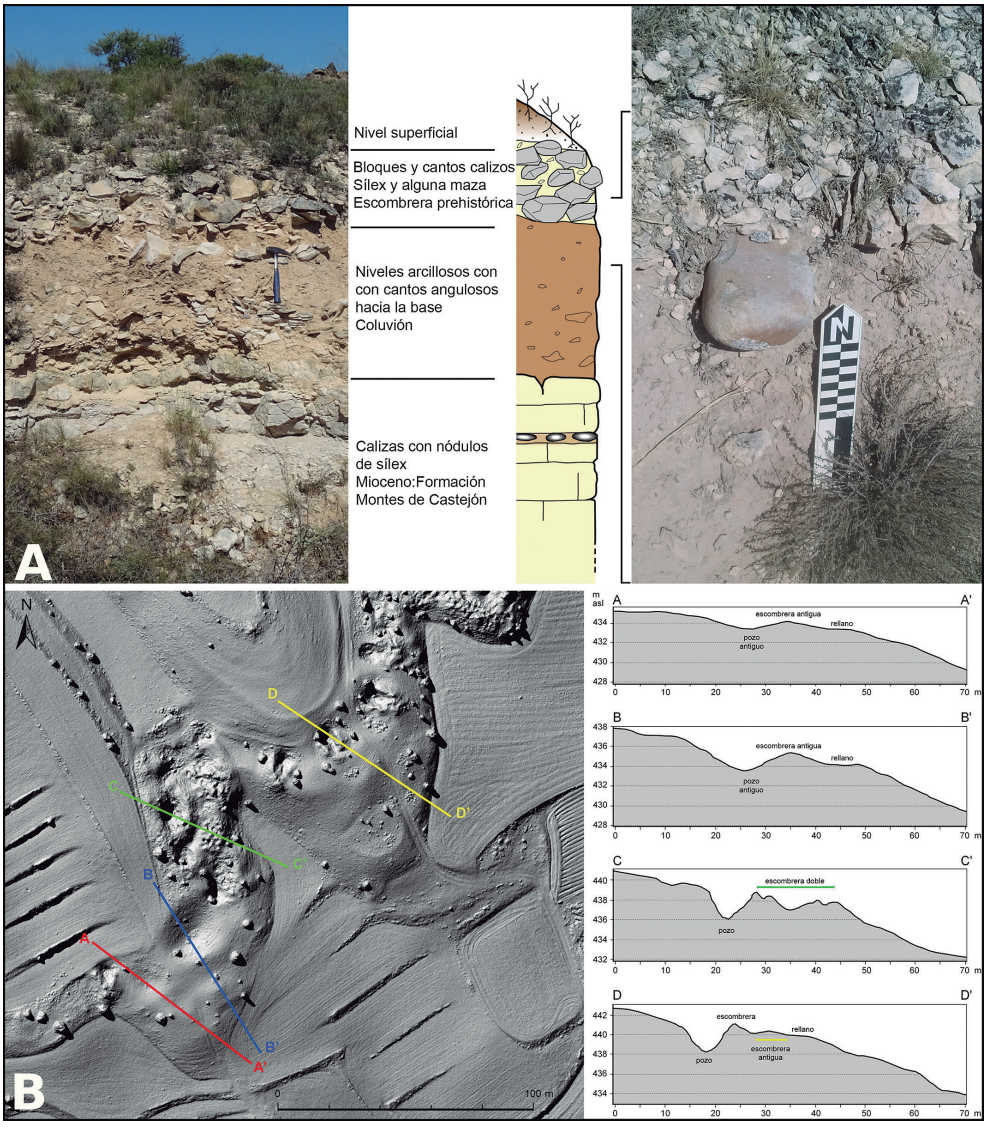


Fig.8. A) Perfil estratigráfico en un pozo moderno generado al perforar una explotación prehistórica. A la derecha, una maza de cuarcita justo debajo de una acumulación de cantos y bloques de una escombrera antigua. B) Secciones topográficas determinadas sobre el MDE. Las secciones A-A' y B-B' cortan morfologías suaves prehistóricas. La sección C-C' corta un pozo y varias escombreras modernas con doble cresta. La sección D-D' corta un pozo y escombrera modernos sobre una depresión anterior. / A) Stratigraphic profile in a modern pit generated by drilling a prehistoric exploitation. On the right, a quartzite mace below the ancient debris dump accumulation. B) Topographic sections determined on the MDE. Sections A-A' and B-B' cut prehistoric smooth morphologies. Section C-C' cuts a pit and several modern double-ridged dumps. Section D-D' cuts a modern pit and dump over a former depression.

3.3. Prospección geofísica

Se desarrolló en la zona mejor conservada del sector 8 (Fig. 5CD), sin afecciones debidas a las explotaciones modernas. Se utilizaron dos procedimientos complementarios, una prospección de tipo magnético y una exploración con georradar. El objetivo fue obtener una cartografía tridimensional de las estructuras del subsuelo en un contexto minero (Welc *et al.*, 2016).

Como primera aproximación se tomaron medidas aleatorias de susceptibilidad magnética con un equipo de campo KT-10 para determinar la eventual presencia de contrastes entre los materiales del substrato, los bloques calizos extraídos y suelos del entorno, detectando sutiles contrastes.

Seguidamente se realizó una prospección magnética superficial con un equipo GSM-19 como dispositivo itinerante y un equipo PMG-1 como base. Se ejecutó sobre una superficie de unos 5.500 m^2, siguiendo un mallado con recorridos adaptados a la topografía en los que se tomaron 7.901 mediciones de intensidad y del gradiente vertical de campo magnético terrestre con sensores separados 0.5 m (Fig. 9A). Dadas las características de la zona y el tiempo invertido en la prospección, se calculó la anomalía residual de campo magnético terrestre eliminando la variación diurna de los datos y las anomalías de alta frecuencia y amplitud debidas a elementos de alto contraste localizados en superficie o próximos a esta.

Aunque se registraron bajos rangos de variación, se identificaron anomalías que definen áreas de comportamiento relativo diferencial vinculadas a sectores topográficos homogéneos o con ligeras depresiones y a acumulaciones consolidadas de bloques en sus márgenes (Fig. 9CD). Algunos de esos bloques calcáreos con superficies rubefactadas y pátinas rojizas,

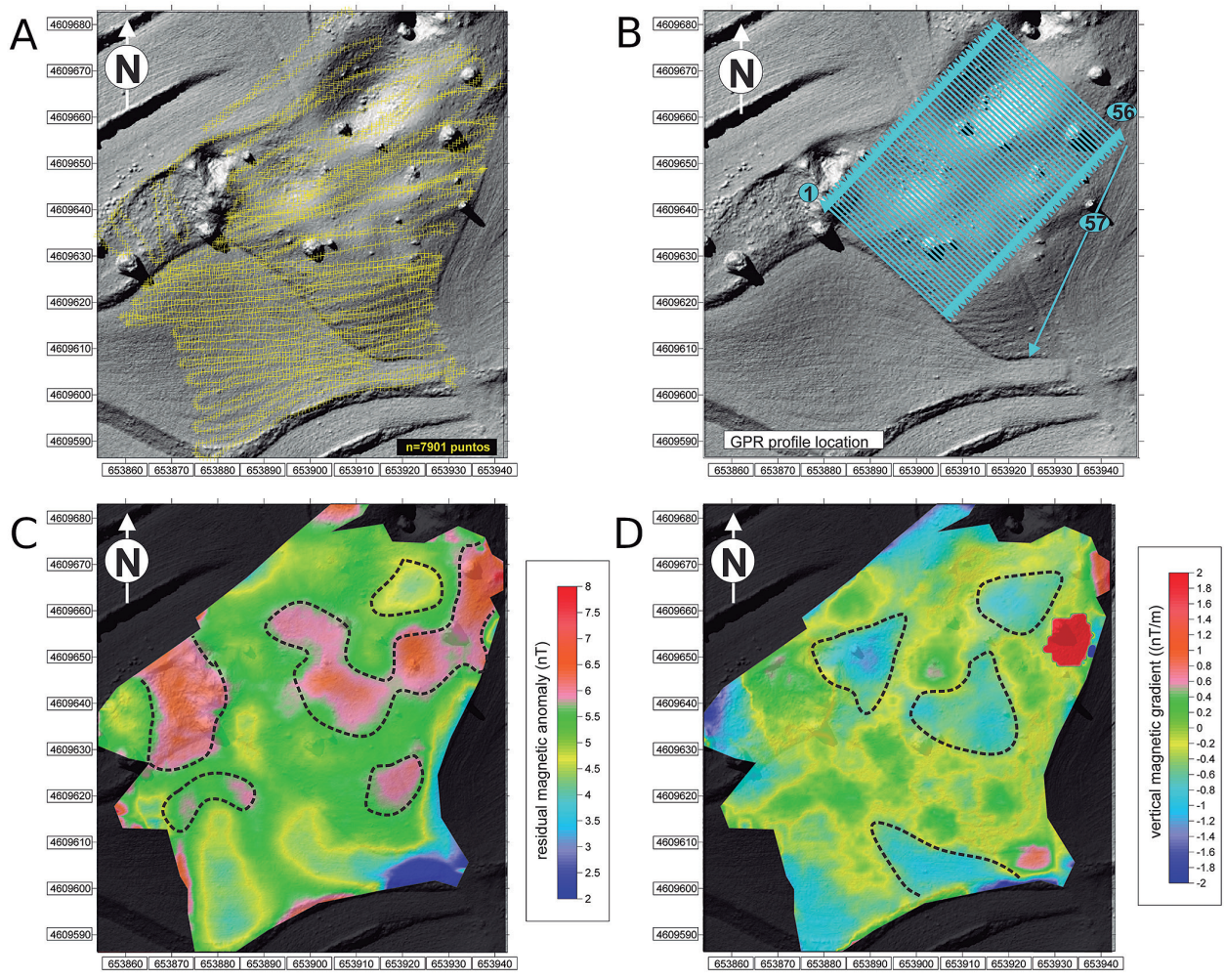


Fig.9. Prospección geofísica. A) Recorridos con los puntos de levantamiento magnético (intensidad y gradiente magnético vertical); B) Ubicación de perfiles GPR; C) Interpolación del campo magnético terrestre residual; D) Campo magnético terrestre vertical. En C y D, los principales cambios identificados de las mediciones magnéticas están marcados con una línea discontinua. / Geophysical survey. A) Tracks with the magnetic survey points (intensity and vertical magnetic gradient); B) Location of GPR profiles; C) Interpolation of the residual terrestrial magnetic field; D) Vertical terrestrial magnetic field. In C and D, the main changes identified from the magnetic measurements are marked with a dashed line.

también presentan mayores valores de susceptibilidad magnética, superiores que el litotipo sin alteración. Por contra, la comparativa entre la susceptibilidad magnética de las calizas del substrato y la de los bloques extraídos en las explotaciones modernas muestran valores bajos, incluso levemente inferiores en los suelos inmediatos.

Estos resultados ayudaron a seleccionar un área adecuada para el desplazamiento de antenas de georradar (GPR). En una primera fase se realizó una exploración con grupos de antenas de 100, 250 y 500 MHz (Ramac, CUI-2) para determinar los equipos más adecuados y estimar la densidad y distribución de los perfiles a estudiar. En la segunda fase se concretó la zona óptima de trabajo, un rectángulo de unos 2.000 m^2 en el que se dispuso una malla con perfiles paralelos equidistantes 1 m. Se registraron datos con una antena de 250 MHz en 57 perfiles, para un recorrido total de 2.438 m lineales (Fig. 9B). Fue necesario despejar la superficie de bloques y cantos para facilitar el desplazamiento homogéneo de los equipos.

Los perfiles obtenidos, tanto en su desarrollo lineal (Fig. 10A, perfil 2) como al compararlos en paralelo (Fig. 10A, perfiles 28, 38 y 55), muestran un medio reflectivo superior, con espesor creciente hacia el NO, sobre una línea base bien definida a partir de un contacto atenuante. En unos casos el cambio de espesor de la unidad reflectiva es progresivo (Fig. 10A, perfil 2), en otros se produce de forma rápida (Fig. 10A, perfil 55) y también se identifican profundizaciones repentinas puntuales (Fig. 10A, perfil 28). Además, la disposición de reflectores muestra una inclinación principal hacia el NO, pero se identifican también disposiciones de doble vertiente, NO y SE (Fig. 10A, perfiles 14, 38 o 48), lo que se corresponde con una geometría acomodada a una topografía previa (contacto atenuante) no uniforme. Es-

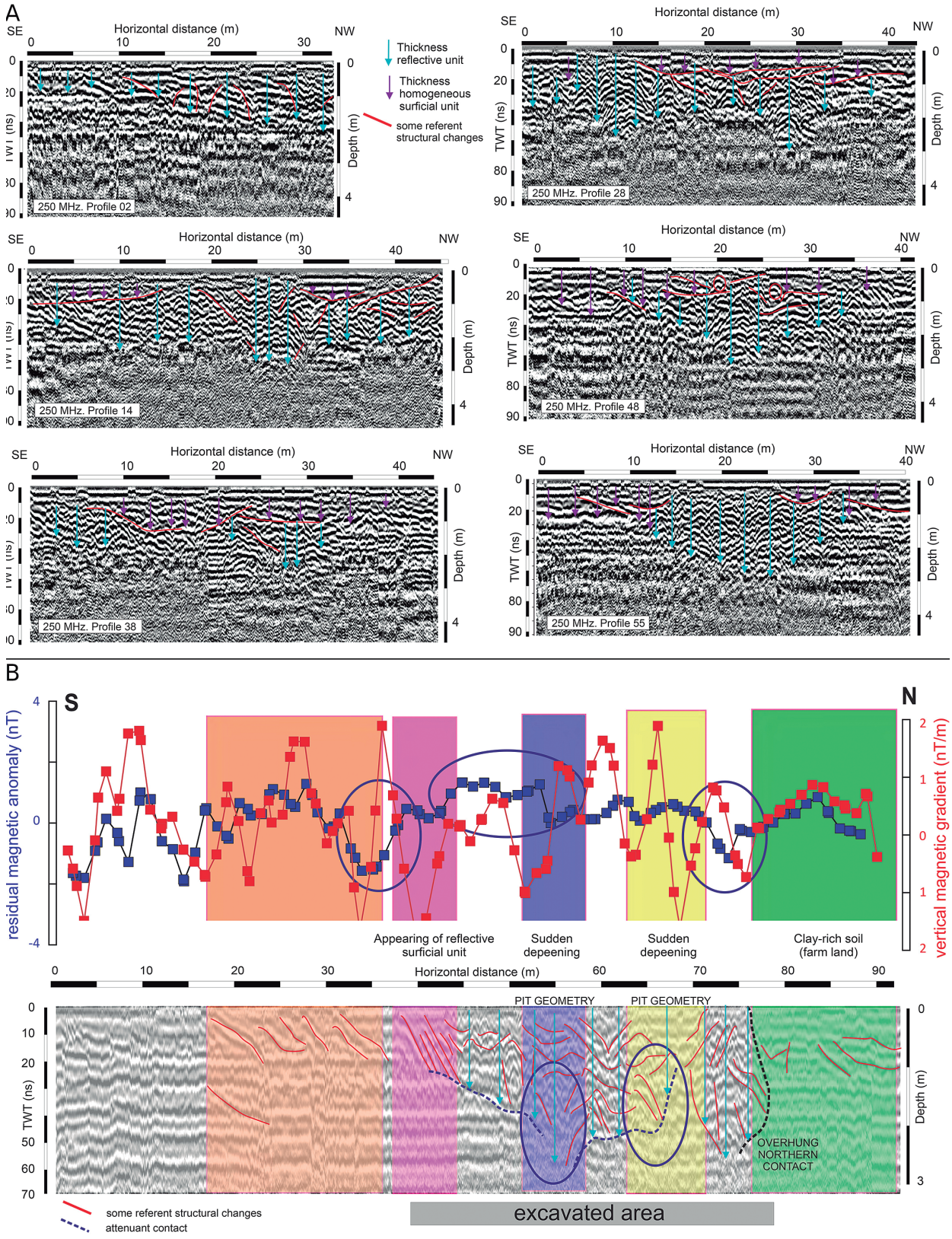


Fig.10. Perfiles de georradar. A) Perfiles GPR representativos resaltando los principales cambios estructurales y de comportamiento. B) Análisis comparado a lo largo de un perfil con orientación S-N entre el comportamiento magnético (anomalía residual y gradiente magnético vertical) y las señales obtenidas mediante GPR. / GPR profiles. A) Representative GPR profiles highlighting the main structural and behavioral changes. B) Comparative analysis along a profile with S-N orientation between the magnetic behavior (residual anomaly and vertical magnetic gradient) and the signals obtained by GPR.

tos rasgos coinciden con los registros magnéticos, que proyectan anomalías relativamente marcadas tanto en los valores residuales como en el gradiente magnético vertical (Fig. 9B), pero no tienen correlación directa con la topografía superficial que muestra un perfil de ladera alterado pero muy simplificado.

Con objeto de determinar la posición altimétrica y morfología del contacto inferior de la unidad reflectiva, es decir, la base de la explotación, y por el hecho de trabajar en una ladera con pequeñas depresiones y elevaciones (Fig. 11A), se transformaron los datos GPR con relación a la topografía real (Fig. 11B), calculando dos modelos: el primero respecto al plano horizontal del levantamiento (Fig. 11CE); un segundo donde ese plano horizontal se ha corregido y adaptado a la topografía superficial determinada en el MDE (Fig. 11DF).

Los modelos obtenidos permiten definir una topografía irregular, diferente a la esperada de acuerdo con el contexto geológico, pudiendo deducir algunos rasgos del subsuelo y su evolución:

1. Un límite neto en el extremo Norte, que corresponde al afloramiento del substrato mioceno. En algunos perfiles tiene disposición subvertical o con ligera inclinación tanto al N como al S, llegando a presentar una disposición extraplomada, con los residuos de explotación penetrando dentro del substrato calcáreo y apuntando la posibilidad de incipientes galerías.
2. La base de la explotación, en la que se identifican dominios homogéneos más o menos horizontales, depresiones cerradas limitadas por contactos de alta pendiente con escasa conti-

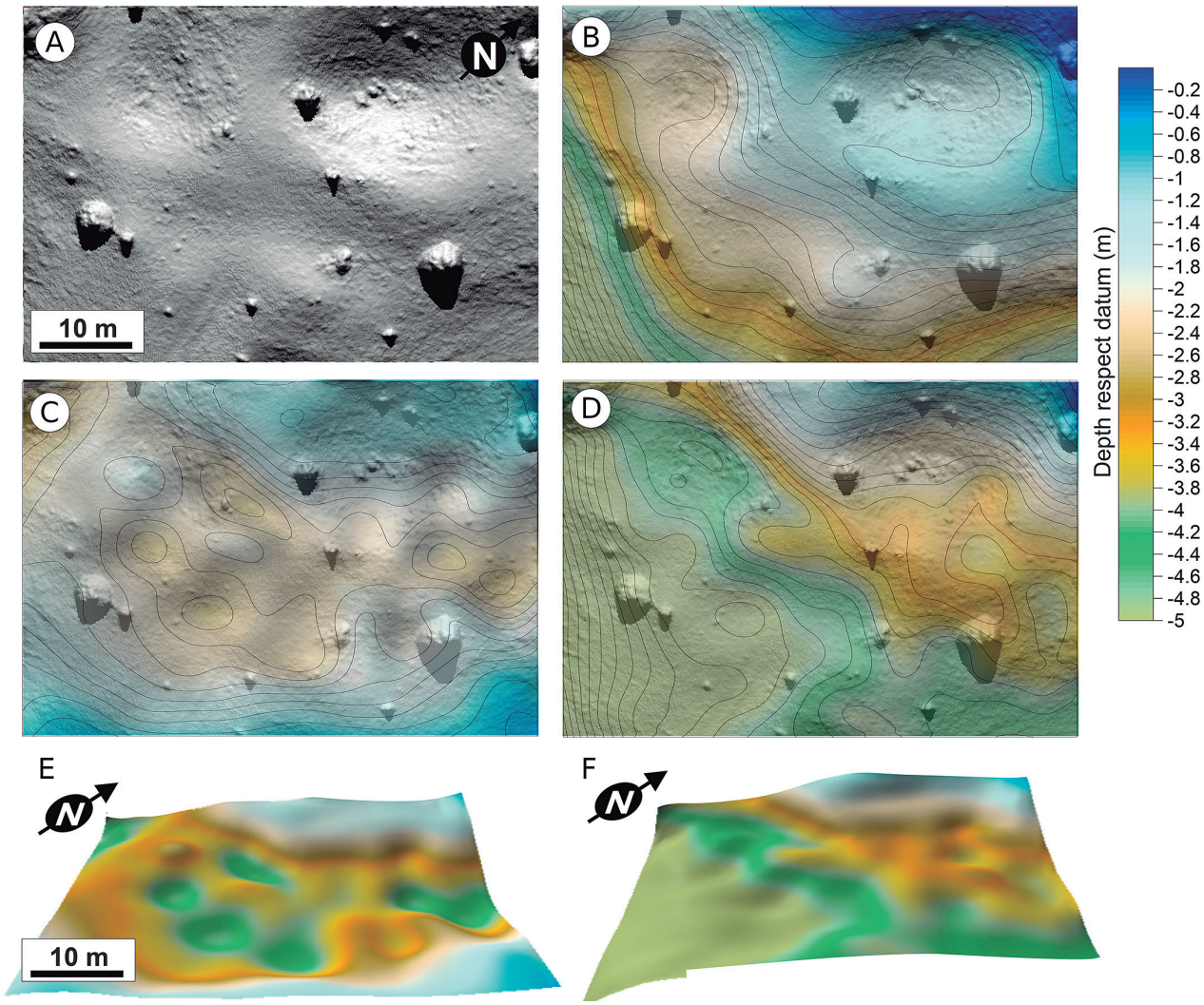


Fig.11. Principales resultados de la evaluación de datos GPR para la zona analizada. A) MDE sombreado; B) Mapa topográfico superficial determinado a partir del MDE; C) Topografía relativa del contacto atenuante identificado en los perfiles GPR respecto a la superficie de exploración; D) Topografía absoluta del contacto atenuante después de la corrección topográfica; E) Falso relieve del modelo en C; F) Falso relieve de datos D con los principales rasgos topográficos identificados. / Main results of the GPR data evaluation for the analyzed area. A) Shaded DEM; B) Superficial topographic map determined from the MDE; C) Relative topography of the attenuating contact identified in the GPR profiles with respect to the exploration surface; D) Absolute topography of the attenuating contact after topographic correction; E) False relief of the model in C; F) False relief of data D with the main topographic features identified.

nuidad lateral, relieves positivos respecto a la topografía circundante y el límite septentrional en el substrato calizo ya referido.

3. Sobre esa superficie se reconoce un relleno antrópico, la unidad reflectiva, que, por la distribución y geometría de los depósitos coincide con las acumulaciones de bloques observados en superficie. Su potencia puede alcanzar los 3 m, sin llegar a colmatar algunas depresiones.
4. Por tanto, el modelo topográfico del subsuelo resulta bastante complejo. Se reconocen sectores homogéneos con escalones netos y umbrales intermedios (Fig. 10EF), profundidad de excavación heterogénea con pequeños pozos verticales, zonas con fondo subhorizontal, pequeños umbrales prominentes, todo ello por debajo de una topografía actual superficial simplificada que no refleja el desarrollo de la excavación subyacente.

A partir de estos resultados se ha elaborado un modelo evolutivo de la explotación (Fig. 12). Sobre la ladera original inicialmente se realizaron pozos de tanteo, ampliación de las áreas de explotación en el caso de hallazgos de interés, nuevos pozos de tanteo, con ensanchamiento en algunos casos y abandono en otros donde no se encuentran nódulos de interés. Según progresaba la excavación desde el S hacia el sector N, los bloques y cantos extraídos se fueron acumulando formando masas de derrubios actualmente compactadas, cuyos espesores alcanzan los 3 m de potencia, ocultando la morfología basal y propiciando la topografía superficial con depresiones y rellanos.

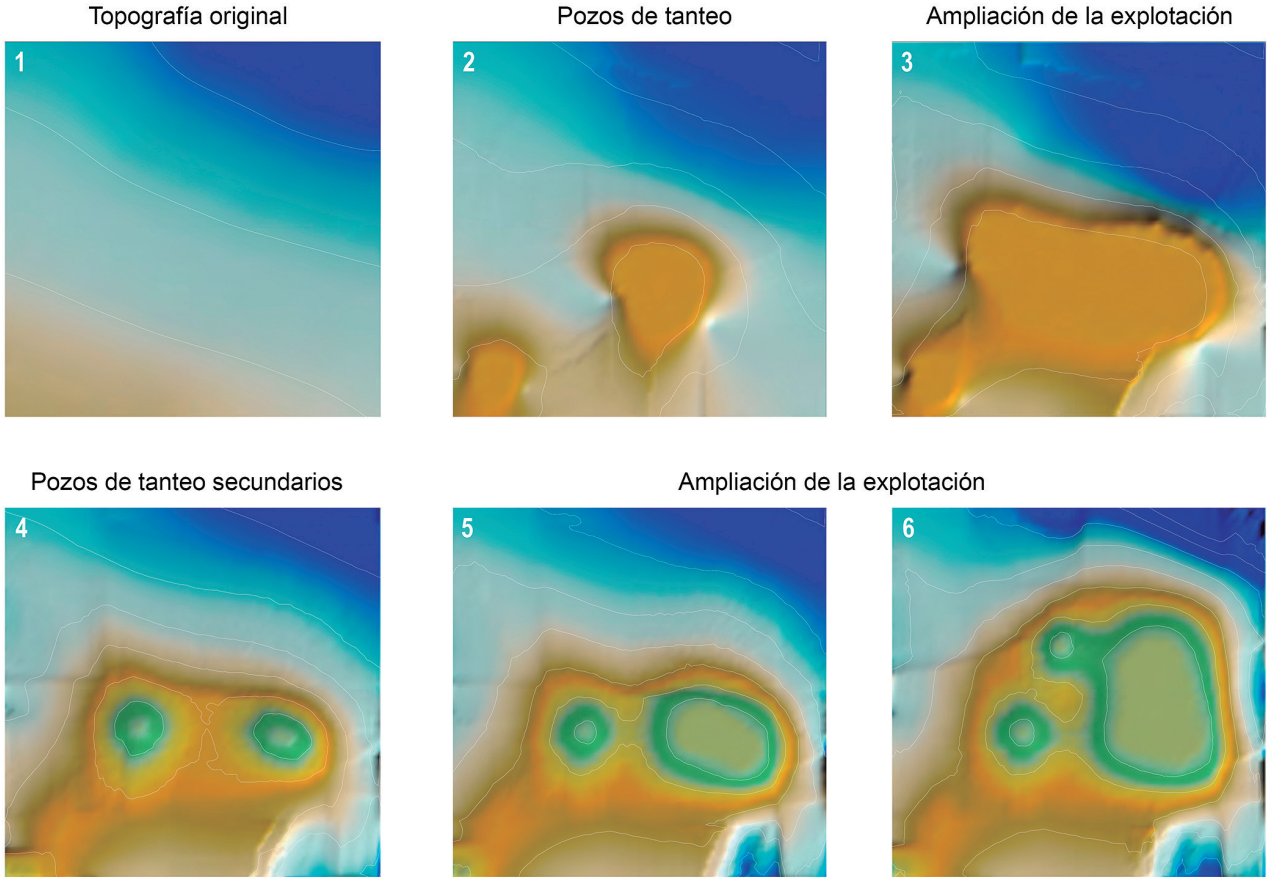


Fig.12. Propuesta de modelo de explotación progresiva: 1) Ladera original no alterada ascendiendo hacia el NE. 2) Primeros pozos en el sector meridional, inicio de los trabajos de tanteo y explotación. 3) El hallazgo de niveles silíceos de interés favoreció la ampliación lateral de alguno de ellos, generando plataformas subhorizontales rodeadas por contactos netos subverticales. 4) Dentro de esas plataformas, en ocasiones, se identifican depresiones intermedias que indican la excavación de nuevos pozos, una estrategia de tanteo buscando nuevos niveles con nódulos de sílex. 5) Algunos pozos no progresaron, pero en otros se avanzó lateralmente para generar una segunda plataforma horizontal a mayor profundidad. 6) La progresión de la explotación ladera arriba se detiene hacia el N, formando un límite neto, en ocasiones, extraplomado. En el modelo propuesto no se contemplan los rellenos de los espacios anteriores. / Proposal for a progressive exploitation model: 1) Original unaltered slope ascending to the NE. 2) First pits in the southern sector, start of testing and exploitation works. 3) The finding of siliceous levels of interest favored the lateral enlargement of some of them, generating subhorizontal platforms surrounded by net subvertical contacts. 4) Within these platforms, intermediate depressions are sometimes identified that indicate the excavation of new pits, a trial and error strategy looking for new levels with flint nodules. 5) Some pits did not progress, but others advanced laterally to generate a second horizontal platform at greater depth. 6) The progression of the exploitation upslope stops towards the N, forming a clear limit, sometimes overhanging. The proposed model does not contemplate the filling of the previous spaces.

4. RESULTADOS

Mediante la prospección de superficie se constata la amplia extensión de las explotaciones, al menos en una superficie de unas 30 ha, adaptada a los afloramientos calcáreos en la zona media-baja de la ladera, especialmente en las pendientes con orientación E-SE.

Siguiendo esos escarpes se reconocen puntos de intervención intensa en los que se observan concentraciones de sílex, mazas de minero y suaves morfologías (depresiones, acumulaciones, rellanos), cuya entidad y características resultan fáciles de identificar a través de la ortofotografía y el MDE al adoptar modelados circulares o convexos.

El estudio geofísico del subsuelo revela una estructura subyacente en las zonas de explotación más compleja de lo reflejado superficialmente. Se reconocen pozos iniciales de tanteo que se extienden formando plataformas, sobre las que a su vez se profundiza buscando nuevos niveles silíceos. Esto supone el desmantelamiento de buena parte del paquete calcáreo, avanzando de S a N, ladera arriba, siguiendo la geometría de la capa rica en sílex y formando un frente de cantera vertical bastante neto. El avance se detiene cuando se necesitan desmontes cada vez más importantes para acceder a los niveles de interés, continuando la explotación lateralmente.

Todo ese trabajo se realizaría utilizando diferentes medios, evidentemente las mazas de cuarcita con escotaduras laterales (Fig. 4.1-5), algunas de las cuales debieron utilizarse suspendidas en algún soporte dado su peso (Fig. 4.1), y también se plantea la posibilidad de la utilización del fuego para resquebrajar la roca de acuerdo con las leves anomalías magnéticas registradas.

La necesidad de desmantelar importantes masas de roca implica la acumulación de una gran cantidad de escombros y derrubios depositados, inicialmente, ladera abajo. Conforme avanza la explotación los nuevos escombros generados irían rellenando los huecos anteriores, desarrollando un modelo de minería de transferencia muy característico. El tipo de relleno está muy bien documentado en las excavaciones de las canteras de Pozarrate, en cuyo nivel 2, con 2-3 m de potencia y datado en el Neolítico Antiguo, pueden observarse masas de cantos y bloques ordenados en sucesivos depósitos (Tarriño *et al.,* 2022: 277, Fig. 4), cuya disposición y morfología es compatible con las señales GPR incluidas dentro de la unidad reflectiva (Fig. 9B).

Con este procedimiento se busca aprovechar los frentes y escarpes calcáreos subhorizontales mediante un ataque frontal y lateral, minimizando los desmontes de las capas y depósitos coluviales que cubren los niveles de interés. Es una estrategia de explotación bastante parecida a la de las canteras neolíticas de Pozarrate y Montvell (Terradas *et al.,* 2021). En este sentido habría que relacionarla con explotaciones a cielo abierto como las de Lousberg (Alemania) (Schyle, 2006), o con el sistema de minería subhorizontal de Gargano en Italia (Tarantini *et al.,* 2010: 162). De hecho, la presencia puntual de concavidades en el frente de la cantera de La Leandra apunta la posible excavación de incipientes galerías como las documentadas en el yacimiento de Defensola A (Tarantini *et al*., 2010), o, al menos, progresiones horizontales muy localizadas y poco profundas siguiendo los niveles silíceos, como se describen en la denominada minería de deriva del complejo minero neolítico de Harrow Hill (Baczkowski, 2019: 21).

Probablemente este tipo de actividad minera iría dirigida a la obtención de nódulos de sílex y su procesamiento parcial en el sitio. Sin embargo, no se encuentra un volumen importante de restos tipológicos, ni siquiera un número significativo de núcleos preparados para su explotación o como resultado de la misma. Probablemente se llevaban a lugares de talla diferentes, tal vez en sus propios establecimientos. Es un fenómeno anotado en otros complejos mineros neolíticos europeos, en los que solo se encuentran desechos del procesado, restos rotos y núcleos fallados (cfr. Brandl, Scmitsberger y Trnka, 2018: 63).

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los rasgos superficiales, así como la estructura del subsuelo, nos revelan la existencia de explotaciones significativas dirigidas a la obtención de nódulos de sílex. Uno de los problemas principales es determinar la cronología de esas explotaciones, máxime en un entorno en el que han existido trabajos intensos de minería histórica, así como la presencia de algunas piezas como puntas o raederas de aire musteriense.

Al tratarse de un estudio de superficie, no disponemos de dataciones absolutas que permitan asignar una edad concreta a las explotaciones, pero sí se pueden establecer analogías en materiales y tipo de explotación con otras canteras peninsulares y extrapeninsulares.

Los artefactos más significativos son las numerosas mazas de minero. Aunque no es un fósil director que permita establecer una cronología concreta, son instrumentos ampliamente documentados en trabajos de minería prehistórica. En concreto los tipos de La Leandra, con escotaduras laterales asociadas en ocasiones a acanaladuras centrales, se describen en las minas neolíticas de Pozarrate (Tarriño *et al.,* 2022: 281), en Vaucluse (De Labriffe *et al.,* 2019) y en otros contextos mineros neolíticos de Europa, coincidiendo incluso en módulos y pesos (cfr. Schmitsberger, 2019: 432).

Entre los restos de sílex, casi todo lascas o porciones de ellas, no hay elementos con valor cronológico, aunque sí algunos datos indirectos. Los núcleos son preferentemente poliédricos con extracciones multidireccionales, sólo un par presentan crestas iniciales (Fig. 4:10-11) y apenas se reconocen restos de láminas. Ese fenómeno contrasta con la cercana y extensa cantera de Montón-Miedes (Zaragoza) (Aranda, 1986; Domingo, 2006), en la que se produjeron de forma masiva

grandes láminas típicas del Neolítico final-Calcolítico (Morgado *et al.,* 2008). La ausencia de esa tecnología laminar en La Leandra podría funcionar como t*erminus ante quem* para estimar la edad de las explotaciones.

Ambas circunstancias, junto con las huellas en el paisaje y el tipo de minería deducido con numerosos referentes europeos, apuntan a una cronología neolítica para las minas de La Leandra como hipótesis más probable, más allá de la existencia de aprovechamientos ocasionales en otros momentos. En este sentido el complejo de Pozarrate (Tarriño *et al*., 2022) es el principal referente, incluso por el tipo de sílex explotado, y su datación en el Neolítico Antiguo, coincidiendo con algunas de las minas de entidad en el continente (Consuegra y Díaz-del-Río, 2018), establece un horizonte a tener en cuenta. Esto es congruente con el hallazgo de un fragmento cerámico con decoración cardial en La Ambrolla (Bea *et al.,* 2015), a poco más de 1 km al S-SO de La Leandra, en el mismo contexto geológico también rico en sílex, que nos muestra la frecuentación de estas formaciones durante ese Neolítico Antiguo.

Estaríamos ante una minería de transferencia a cielo abierto a partir de pequeños pozos iniciales y avance contra el frente calcáreo. Se podría incluir en la clase 1 de Baczkowski (2019: 17), que incluye tajos poco profundos de menos de 1.5 m de profundidad, minas a cielo abierto y minas de deriva. Se trata de un modelo neolítico que transciende en el tiempo y que tiene su principal referencia peninsular en las explotaciones de Pozarrate ya citadas, así como en algún otro conjunto europeo como las minas y canteras neolíticas de Murs y Malaucène (De Labriffe *et al.,* 2019), Jabalines o Petit-Spiennes (Baczkowski, 2019: 17). Resulta llamativo que, a pesar de las diferencias tecnológicas, las explotaciones para piedras de fusil de los siglos XVIII y XIX sigan este mismo patrón. Ello nos habla de una adaptación a los condicionantes geológicos y disposición de las formaciones con los recursos de interés, que, como en la mayoría de las explotaciones, es lo que supedita el trabajo de los mineros neolíticos (Villalba, 2002: 62).

Ese modelo de minería requiere el desmonte del paquete calcáreo para alcanzar los nódulos de sílex de calidad. Ello implica la existencia de un frente de cantera y el trabajo contra él, lo que justificaría la utilización de fuego para resquebrajar la roca y el empleo de las grandes mazas de minero, con pesos de más de 11 kg, cuya manipulación requiere algún sistema de suspensión y balanceo para lanzarlas contra la pared a modo de ariete (cfr. Tarriño *et al.,* 2022: Fig. 6).

La amplitud de las explotaciones, su magnitud y la aparente progresión a lo largo del tiempo, denotan un trabajo continuado, más o menos sistemático y cierta planificación, diferente de lo que pueden ser aprovechamientos oportunistas. Es una estrategia que dista de la simple recolección de materiales en depósitos secundarios o primarios e incluso de laboreos someros que se limitan a arrancar los bloques de sílex superficiales, actividad que no originaría restos mineros importantes que hayan podido pervivir hasta la actualidad (Tarriño *et al.,* 2011: 11). En este sentido son procedimientos que requieren cierta cantidad de mano de obra, así como trabajo en equipo.

Por ello se pude discutir si se trata de una actividad especializada dirigida a la obtención de un recurso concreto (Mangado, 2006: 88; Carrión *et al.* 1998) o, al menos, ante una especialización a tiempo parcial, más acorde entre los grupos agrarios neolíticos. A partir de estudios etnoarqueológicos, se ha propuesto que este tipo de explotaciones pudieran estar controladas por clanes o especialistas técnicos (Topping, 2019: 209), aunque parece prevalecer una “propiedad” de carácter grupal antes que individual (Topping, 2019: 211). En este sentido resulta muy sugerente la posibilidad de grupos de individuos visitando de manera temporal el lugar -de momento no tenemos constancia de establecimientos neolíticos de entidad en este sitio o en sus proximidades- para extraer y distribuir estos productos más allá de los límites de su ámbito de explotación. Por tanto, estaríamos ante mecanismos de aprovisionamiento de carácter extraterritorial que justificarían la amplia dispersión del sílex tipo Botorrita-Monegros extraído en las explotaciones de La Muela.

Tal posibilidad se sustentaría a través de redes de intercambio que se intuyen por la circulación de otros productos, como es el caso del referido cuenco con decoración cardial de La Ambrolla (Bea *et al.,* 2015: 382), encontrado en las inmediaciones de La Leandra, pero seguramente manufacturado decenas de kilómetros más al norte, habida cuenta de la presencia de inclusiones graníticas. Esta circunstancia se ve reforzada por la presencia de mazas elaboradas en cantos rodados de granito y otras rocas metamórficas, propias del dominio pirenaico, presentes en las terrazas de afluentes de la margen izquierda del río Ebro como el río Gállego, a no menos de 25 km al NE-E del yacimiento.

En definitiva, el aprovisionamiento de materias primas, se enriquece con este nuevo complejo minero, La Leandra, en el que se extrajo el sílex tipo Botorrita-Monegros de forma masiva y desde el que se distribuyó ampliamente por buena parte del valle del Ebro e, incluso, más allá de los Pirineos. La investigación realizada permite determinar las características de las antiguas actividades de explotación y propone un modelo de producción compatible con el conjunto de evidencias. Todo esto da pautas sobre los sistemas productivos del Neolítico y crea una base para el estudio del suministro y flujo de las materias primas líticas.

6. AGRADECIMIENTOS

Proyectos HAR2015-65620-P Paisaje y Sociedad: el valle medio del Ebro entre el 6000 y el 500 cal ANE (MINECO/FEDER) y OTRI 2021/0416 Estudio de la minería del sílex en Aragón: Catalogación de las explotaciones prehistóricas en el término de La Muela (Zaragoza), Gobierno de Aragón.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aranda, A., 1986. El poblamiento prerromano en el suroeste de la comarca de Daroca. Centro de Estudios Darocenses-IFC, Zaragoza.

Baczkowski, J.E., 2019. Methodologies of extraction: The mining techniques in the Early Neolithic flint mines of Southern England and their continental origins. Anthropologica et Præhistorica 128/2017, 13-30.

Bea, M., Domingo, R., Pérez-Lambán, F., Reklaityte, I., Uribe, P., 2010. Prospecciones arqueológicas en el término municipal de La Muela (Zaragoza). Salduie 10, 237-258.

Bea, M., Pérez-Lambán, F., Domingo, R., Lapuente, P., Igea, J., Uribe, P., Reklaityte, I., 2015. Poblando el Neolítico Antiguo de la depresión del Ebro: la cerámica de La Ambrolla (La Muela, Zaragoza). En: Gonçalves, V.S., Diniz, M., Sousa, A.C. (eds.), 5º Congresso do Neolítico Peninsular, 378-384. Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Bostyn, F., Giligny, F., Lo Carmine, A., 2008. A New Flint Mine at Flins-sur-Seine/ Aubergenville (Yvelines, France). In: Allard, P., Bostyn, F., Giligny, F., Lech, J. (eds), Flint Mining in Prehistoric Europe: Interpreting the archaeological records, 79-95. BAR International Series 1891, Archaeopress, Oxford.

Brandl, M., Schmitsberger, O., Trnka, G., 2018. News from the Eastern Fringe – The Baunzen Site near Vienna, Austria. In: Werra, D.H., Woźny, M. (eds.), Between History and Archaeology: Papers in honour of Jacek Lech, 59-68. Archaeopress, Oxford.

Carrión, F., Alonso J.M., Castilla, J., Ceprián, B., Martínez, J.L., 1998. Métodos para la identificación y caracterización de las Fuentes de Materias Primas Líticas Prehistóricas. En: Bernabeu, J., Orozco, T., Terradas, X.(eds.), Los recursos abióticos en la Prehistoria. Caracterización, aprovisionamiento e intercambio, 29-38. Collecció Oberta. Universidad de Valencia.

Consuegra, S., Castañeda, N., Capdevila, E., Capote, M., Criado, C., Casase, C., Nieto, A., Díaz-del-Río, P., 2018. The Early Neolithic flint mine of Casa Montero (Madrid, Spain), 5350-5220 cal BC. Trabajos de Prehistoria 75(1), 52-66.

Consuegra, S., Díaz-del-Río, P., 2018. Early Prehistoric Flint Mining in Europe: a Critical Review of the Radiocarbon Evidence. In: Werra, D.H., Woźny, M. (eds.), Between History and Archaeology: Papers in honour of Jacek Lech, 1-8. Archaeopress.

De Labriffe, P.A., Reggio, A., André, A., 2019. Neolithic flint mines and quarries from Vaucluse (France): Assessment and review. Anthropologica et Præhistorica 128/2017, 271-290.

De Salas, R., 1833. Prontuario de artillería para el servicio de campaña. 2ª edición, Oficina de E. Aguado, Madrid.

Domingo, R., 2006. Les productions de grandes lames dans la région de Montón (Zaragoza, Aragón, Espagne). En: Vaquer, J., Briois, F. (eds.), La fin de l' âge de pierre en Europe du Sud. Matériaux et productions lithiques taillées remarquables dans le Néolithique et le Chalcolithique du sud de l'Europe, 247-255. Éditions des Archives d' Écologie Préhistorique, Toulouse.

Esnaola, J.M., Gil, C., 1998. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja 383 Zaragoza. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.

Galiberti, A., Salvini, R., Tarantini, M., Mantovani, F., Bottacchi, M., Callegari, I., Lino, M., Martino, F.M., Rossi, C., Mondet, M., 2011. Mining landscape and mines. Integrating digital aerial photogrammetry and geophysical prospecting in Gargano area (Italy). In: Leusen, M. Van, Pizziolo, G., Sarti, L. (eds), Hidden Landscapes of Mediterranean Europe. Cultural and methodological biases in pre- and protohistoric landscape studies. BAR International Series 2320, Archaeopress, Oxford.

García-Simón, L.M., Domingo, R., 2016. The Monegros-type chert: Petrographic characterization and prehistoric use. Journal of Lithic Studies 3(2), 357-374.

Glauberman, P.J., Thorson, R.M., 2012. Flint Patina as an Aspect of 'Flaked Stone Taphonomy': A Case Study from the Loess Terrain of the Netherlands and Belgium. Journal of Taphonomy 10(1), 21-43.

Koch, J., Fassbinder, J.W.E., Linck, R., Eisele, K., Rind, M.M., 2013. The Neolithic Flint Mine of Arnhofen in Lower Bavaria, Southern Germany: Aerial Archaeology, Magnetometry and Ground-Penetrating Radar Surveys. In: Neubauer, W., Trinks, I., Salisbury, R., Einwögerer, Ch. (eds), Archaeological Prospection. Proceedings of the10th International Conference – Vienna May 29th - June 2nd, Austrian Academy of Sciences Press.

Krumbein, W.C., Sloss, L.L., 1951. Stratigraphy and sedimentation. Ed. W.H. Freeman and Company. San Francisco.

Leorza, R., 2013. Estudio de las materias primas líticas. En: Rodanés. J.M., Picazo, J.V., El campamento mesolítico del Cabezo de la Cruz. La Muela, Zaragoza, 43-74. Monografías arqueológicas 45, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

Mangado, J., 2006. El aprovisionamiento en materias primas líticas: Hacia una caracterización paleocultural de los comportamientos paleoeconómicos. Trabajos de Prehistoria 63(2), 79-91.

Morgado, A., Lozano, J.A., Pelegrin, J., 2011. Las explotaciones prehistóricas del sílex de la formación Milanos (Granada, España). Menga 2, 135-155.

Morgado, A., Pelegrin, J., Martínez, G., Afonso, J.A., 2008. La production de grandes lames dans la Péninsule Ibérique (IVe-IIIe millénaires). En: Dias-Meirinho, M.H., Léa, V., Gernigon, K., Fouéré, P., Briois, F., Bailly, M., (eds), Les industries lithitques taillées des IVe et IIIe millénaires en Europe occidentale, 309-330. BAR International Series 1884, Oxford.

Munsell, 2009. Geological Rock-Color Chart. Produced by Munsell color. Geological Society of America.

Pérez, A., Muñoz, A., Pardo, G., Villena, J., Arenas, C., 1988. Las Unidades tectosedimentarias del Neógeno del borde ibérico de la Depresión del Ebro (sector central). En: Pérez, A., Muñoz, A., Sánchez, J.A. (eds), Sistemas lacustres neógenos del margen ibérico de la Cuenca del Ebro, Guía de Campo III Reunión Grupo Español de Trabajo PICG 219, 7-20.

Pérez-Lambán, F., Fanlo, J., Picazo, J.V., 2010. El poblamiento antiguo en el valle del río Huerva. Resultados de las campañas de prospección de 2007-2009. Salduie 10, 285-315.

Picazo, J.V., Morgado, A., Fanlo, J. y Pérez-Lambán, F., 2020. El aprovechamiento histórico del sílex para piedras de fusil. El caso del río Huerva (Zaragoza). Zephyrus LXXXVI, 191-216.

Sampietro-Vattuone, M.M., Peña-Monné, J.L., 2018. Aplicación de los drones en diversos contextos arqueológicos y en casos de reconstrucción geoarqueológica. Comechingonia, Revista de Arqueología 2(1), 271-293.

Sánchez, M., García, L.M., Le Bourdonnec, F.X y Domingo, R., 2019. Geochemical fingerprinting of Monegros cherts: Redefining the origin of a prehistoric tracer. Archaeometry 61(6), 1233-1245.

Schmitsberger, O., 2019, Erster Nachweis von Rillenschlägeln im neolithischen Hornstein-Bergbau Ostösterreichs in Mauer-Antonshöhe, 23. Wiener Gemeindebezirk, Fundberichte aus Österreich 58, 421-440.

Schyle, D., 2006. Die spätneolithische Beilproduktion auf dem Lousberg in Aachen Eine Hochrechnung von Angebot und Nachfrage und Rückschlüsse auf die spätneolithische Bevölkerungsdichte. Archäologische Informationen 29 (1-2), 35-50.

Tarantini, M., Mazzarocchi, F., Mondet, M., Rossi, C., Salvini, R., Tessaro, C. 2010. Geophysical surveys on Gargano prehistoric flint mines. A first approach. Origini 32, 161-187.

Tarriño, A., Bea, M., García-Simón, L.M., Pérez-Lambán, F., Domingo, R., 2016. Centros de explotación de sílex en la zona centro del Valle del Ebro. La Muela (Zaragoza). Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada 26, 229-243.

Tarriño, A., Elorrieta, I., García-Rojas, M., Orue, I., Sánchez, A. 2014. Neolithic flint mines of Treviño (Basque-Cantabrian Basin, Western Pyrenees, Spain) Journal of Lithic Studies 1(2), 129-147.

Tarriño, A., Lobo, P.J., García-Rojas, M., Elorrieta, I., Orue, I., Benito-Calvo, A., Karampanglidis, T., 2011. Introducción al estudio de las minas neolíticas de sílex de la Sierra de Araico (Condado de Treviño): Campaña de excavación del 2011. Estudios de Arqueología Alavesa 27, 4-81.

Tarriño, A., López-Tascón, C., Hernández, H.H., Elorrieta, I., Herrero-Alonso, D., Aguirre, M., Larreina, D., Castañeda, N., Mujika, J.A., 2022. The Neolithic Flint Quarry of Pozarrate (Treviño, Northern Spain). Open Archaeology 8, 273-286.

Terradas, X., Marín, D., Masclans, A., Ortega, D., Roqué, C., 2021, L'explotació prehistòrica del sílex a la Serra Llarga: les pedreres de Montvell (Castelló de Farfanya, Noguera). Tribuna d´Arqueologia 2018-2019, 122-138.

Terradas, X., Ortega, D., 2017. Flint quarrying in north-eastern Iberia: quarry sites and the initial transformation of raw material. Antiquity 91(359), 1-6.

Topping, P., 2019. The social context of Neolithic flint and stone extraction in Britain and Ireland. Anthropologica et Præhistorica 128/2017, 209-225.

Topping, P., 2021. Neolithic Stone Extraction in Britain and Europe: An Ethnoarchaeological Perspective, Oxbow Books.

Vaquer, J., 2012. Réflexions sur échanges de biens matériels lithiques entre le Midi de la France et le Nord de la Péninsule Ibérique au Néolithique et au Chalcolithique. Rubricatum 5, 565-574.

Villaba, M.J., 2002. Minería neolítica en Europa Occidental: el sílex y la calaíta. En: Mata-Perelló. J.M., González, J.R. (eds), Primer Simposio sobre la Minería y la Metalurgia Antigua en el SW Europeo (Serós 2000). UPC y SEDPGYM. Barcelona, 61-76.

Welc, F., Mieszkowski, R., Conyers, L.B., Budziszewski, J., Jedynak, A., 2016. Reading of ground-penetrating radar (GPR) images of prehistoric flint mine; case study from Krzemionki Opatowskie archaeological site in central Poland. Studia Quaternaria 33(2), 117-130.