

Pardina Morlanes, E., Berdejo Arcéz, A., Lamelas Gracia, M. T. (2024). Evaluación multicriterio para la localización de estructuras megalíticas en la Val de Chistau (Huesca). *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* (Artículos), 33, 157-186. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.833>

EVALUACIÓN MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS MEGALÍTICAS EN LA VAL DE CHISTAU (HUESCA)

^{1a}Ester Pardina Morlanes , ^{1b}Abel Berdejo Arcéz , ^{2,3c}María Teresa Lamelas Gracia  

¹ Investigador/a independiente. Grupo de Investigación "De la Roca al Metal".

² Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza, Academia General Militar, Ctra. de Huesca s/n, 50090 Zaragoza, España

³ GEOFOREST-IUCA, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España

^a esterpardina@gmail.com, ^b berdejoabel@gmail.com, ^c tlamelas@unizar.es

RESUMEN

La localización de diversas estructuras megalíticas en una campaña de investigación realizada en 2019 en el valle de Chistau (Huesca) sugirió la posible existencia de más crómlech en esa región. Como trabajo previo a futuras prospecciones arqueológicas en alta montaña, en este estudio se evalúa la idoneidad del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como apoyo en esta fase. En este contexto, el objetivo principal es identificar áreas con alta probabilidad de albergar estructuras megalíticas en el valle mediante análisis multicriterio (EMC), utilizando una serie de criterios basados en la actual ubicación de los crómlech en una muestra de 30 círculos de piedra. La importancia de los criterios se ponderó utilizando el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP). La cartografía resultante se validó con trabajo de campo en el que se registraron 5 crómlech evidentes, 29 con posibilidad de serlo y se consideró la posible existencia de otras 6 estructuras con potencial de albergar restos megalíticos.

Palabras clave: SIG; Evaluación Multicriterio; EMC; prospección arqueológica; megalitismo; crómlech; Pirineo Central.

MULTICRITERIA EVALUATION FOR THE LOCATION OF MEGALITHIC STRUCTURES IN THE CHISTAU VALLEY (HUESCA)

ABSTRACT

After a research campaign in 2019 on cromlech in the Chistau valley (Huesca), the possibility of finding more megalithic structures in the same region arose. This study focuses on evaluating the effectiveness of the use of Geographic Information Systems (GIS) as support in the archaeological prospecting phase in the high mountains. The main objective is to identify areas with a high probability of hosting megalithic structures in the valley through Multi-Criteria Analysis (MCA), based on the location of the cromlech using a sample of 30 stone circles. The criteria were weighted using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The resulting cartography was validated with field work in

which 5 cromlechs were recorded, 29 structures with a high probability of being cromlech, and the existence of 6 structures with the potential of hosting megalithic remains.

Keywords: GIS; Multicriteria Evaluation; MCE; archaeological prospecting; megalithism; cromlech; Central Pyrenees.

1. Introducción

En muchos territorios, las políticas de desarrollo actuales se centran en proyectos destinados a comprender y preservar el patrimonio local, incluyendo el paisaje cultural. Estos proyectos, impulsados por las administraciones y asociaciones locales, abarcan actividades como la identificación, documentación, investigación, protección y gestión de los paisajes, siempre desde una perspectiva de desarrollo sostenible. Los paisajes culturales son dinámicos, pueden definirse como el resultado de procesos ambientales, sociales y culturales a lo largo del tiempo (Cañizares Ruiz 2014), desempeñan un papel fundamental en la planificación territorial y deben ser valorados en consecuencia. La arqueología de territorio se presenta como un marco metodológico para comprender el paisaje cultural y contribuir al desarrollo sostenible. Esta disciplina se encarga de generar el conocimiento que da sentido a un territorio, considerándolo como la suma de procesos históricos (Currás Refojos *et al.* 2016). Su aplicación enriquece los proyectos de desarrollo territorial al aportar una perspectiva científica y una comprensión más profunda de la línea evolutiva del lugar, entendida como la secuencia temporal de cambios y transformaciones ocurridos en el territorio, tanto desde la perspectiva natural como cultural y de relaciones.

Al integrar métodos de la geografía y técnicas avanzadas de documentación y análisis en la arqueología del territorio, se garantiza una visión integral que permite documentar y mejora la interpretación de las huellas del pasado, además, nos proporciona una herramienta fundamental para la planificación y gestión del territorio en el presente y en el futuro.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas esenciales para representar y analizar las características de un paisaje cultural, permitiendo modelar las relaciones espaciales y temporales de un territorio. Los SIG se han convertido en un implemento fundamental para la arqueología desde la década de 1990 en los Estados Unidos, facilitando la gestión de recursos culturales y la predicción de ubicaciones de asentamientos (Grau Mira 2006). Por ejemplo, Carrero Pazos (2017) utilizó los SIG y metodologías espaciales para caracterizar y comparar las pautas de ocupación megalíticas en Galicia, generando nuevas perspectivas analíticas sobre la distribución de monumentos megalíticos. Arteaga Brieba (2012) empleó los SIG para analizar los factores que influyen en la ubicación de los monumentos megalíticos en los valles pirenaicos de Salazar y Roncal, identificando patrones de localización a partir de variables ambientales. Cabrero González (2018) aplicó análisis de visibilidad para estudiar la organización interna de las necrópolis del Río Gor, demostrando cómo los patrones de distribución reflejan una preferencia por el dominio visual del territorio. Montes *et al.* (2020) investigaron la distribución de monumentos megalíticos en el pirineo occidental, identificando factores como la accesibilidad y la relación con las rutas de pastoreo históricas. Investigaciones similares se realizaron en la comarca de Tierra de Ledesma, revelando cómo la localización de los megalitos está influenciada por factores como zonas con una inclinación moderada, asentamientos sobre granitos cerca de los cursos de agua y en zonas de buena visibilidad (Cerrada Ayllón *et al.*, 2023). En la Depresión del Ebro, Pérez Lambán (2013) utilizó SIG para modelar variables topográficas y geomorfológicas, proporcionando una comprensión detallada de las relaciones entre los yacimientos de la Edad del Bronce y su entorno. Fondevilla *et al.* (2021) implementaron modelos analíticos predictivos mediante SIG para analizar el sistema castramental del concejo de Sevilla en torno a la vía de la plata durante la Baja Edad Media, permitiendo identificar torres y estructuras defensivas satelitales mediante análisis de intervisibilidad. En general, estos autores coinciden en utilizar el análisis geoestadístico para determinar patrones; consideran las particularidades del relieve en los emplazamientos probando análisis de pendiente, orientación, altitud, prominencia topográfica, condiciones de visibilidad, distancia a líneas de tránsito, usos del suelo, distancia a los arroyos, etc. Los modelos muestran diferencias en sus tendencias, lo que indica que diferentes territorios pueden requerir enfoques adaptados para comprender su distribución. Estos estudios demuestran cómo los SIG no solo facilitan la cartografía arqueológica,

sino que también permiten análisis estadísticos y espaciales que generan una mejor comprensión de los patrones de localización y las dinámicas territoriales.

Dentro de las aplicaciones SIG, la generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE) es imprescindible para el análisis espacial en Arqueología de Territorio. Estos modelos representan la altitud en cada punto de manera codificada y permiten una comprensión geofísica más profunda del territorio (Olaya, 2020). La existencia de algoritmos de realce aplicados con softwares específicos como “LiVT” y “RVT” ayudan a destacar los micro relieves de las estructuras arqueológicas (Hesse 2016, Mcfarland y Cortes-Rincon 2019, Poirier *et al.* 2020, Zakšek *et al.* 2011).

En el valle de Chistau (Gistaín), Huesca, se han emprendido estudios para poner en valor el patrimonio del territorio, incluyendo la realización de investigaciones arqueológicas centradas en su paisaje cultural. Desde 2017, integradas en el proyecto Arqueología de territorio en “La Val de Chistau” se han realizado varias campañas de prospección documentando el megalitismo tardío, la arqueología militar de la Guerra Civil y las estructuras inmuebles agropecuarias, contribuyendo así, al conocimiento y la protección del patrimonio cultural del valle (Berdejo Arcéiz *et al.* 2021). En parques nacionales de algunos valles del alto pirineo central, como en Aigüestortes (García-Casas 2018) y Ordesa (Laborda *et al.* 2017), también en otras zonas de montaña como la sierra de Aralar (Mujika Alustiza *et al.* 2023), se están realizando prospecciones arqueológicas y estudios sobre el territorio y el poblamiento. Este tipo de estudios integrales, revelan un potencial arqueológico elevado en estos sectores.

Una de las conclusiones destacadas del proyecto en “La Val de Chistau” es la necesidad de identificar nuevas áreas que alberguen elementos megalíticos, particularmente círculos de piedra. Estos restos se encuentran en ubicaciones estratégicas relacionadas con la comunicación entre valles y depresiones, lo que refleja su importancia en la gestión tradicional del territorio (Berdejo Arcéiz *et al.* 2021). Detectar estas estructuras no solo contribuye a su protección, como establece la Ley 3/1999 de Protección del Patrimonio Cultural Aragonés, sino que también enriquece la comprensión y la valoración de este lugar de interés histórico y cultural.

El estudio de los crómlech en el Valle de Chistau requiere una prospección selectiva debido a la amplitud del área de estudio y las dificultades topográficas derivadas de su carácter montañoso. Para facilitar el trabajo de campo en estas zonas de difícil acceso, es necesario diseñar una prospección superficial extensiva y selectiva, enfocándose en áreas previamente identificadas como susceptibles de contener estos elementos megalíticos. Para determinar estas áreas potenciales, se puede aprovechar la aplicación de técnicas de evaluación multicriterio (EMC), que permiten integrar preferencias de decisión. Estos criterios varían en importancia al estimar la probabilidad o idoneidad de ubicación para encontrar estructuras megalíticas, por este motivo las herramientas de EMC resultan valiosas para esta tarea.

La EMC es una herramienta ampliamente utilizada en la ordenación del territorio, abordando diversos criterios socioeconómicos, de gestión de riesgos y recursos (Belenguer Plomer 2016, Da Silva y Cardozo 2015, Lamelas 2009 y 2012, Olivera *et al.* 2011). Su principal ventaja sobre otros métodos estadísticos radica en su capacidad para integrar tanto variables cualitativas como cuantitativas, así como en la posibilidad de incorporar el conocimiento experto mediante la estandarización de variables y la asignación de pesos a los criterios.

El objetivo principal de este estudio es identificar las áreas con mayor probabilidad de albergar estructuras megalíticas en el Valle de Chistau mediante el uso de técnicas de análisis multicriterio (EMC) integradas en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esto contribuirá a optimizar los esfuerzos en futuras campañas de prospección arqueológica en el valle.

2. Materiales y Métodos

Para realizar el análisis EMC y crear la cartografía de áreas con mayor probabilidad de albergar estructuras megalíticas, se han seguido los pasos que se presentan en la Figura 1. En primer lugar, se ha realizado un análisis espacial de la muestra de círculos identificados en 2019 utilizando los parámetros examinados en los trabajos previos consultados (Cabrero González 2018, Carrero Pazos 2017, Fondevilla *et al.* 2021, García Sanjuán *et al.* 2009, Montes *et al.* 2020). Este análisis busca comprender

cómo se relaciona la muestra con estas variables y determinar si deben incorporarse como criterios en el análisis. Con posterioridad, se han identificado factores limitantes en la presencia de estas estructuras y se han seleccionado los criterios más importantes para proceder a su estandarización. Para continuar el análisis EMC, se han asignado los pesos de decisión utilizando el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP), que es una técnica efectiva para la toma de decisiones espaciales basadas en SIG (Lamelas 2012). Finalmente, se ha generado la cartografía de probabilidad y se ha procedido a su validación mediante trabajo de campo.



Figura 1. Pasos del proceso metodológico para el análisis EMC

Fuente. Elaboración propia.

Los análisis se han llevado a cabo con el software QGIS versión 3.16.9 “Hannover”, un sistema de información geográfica libre y de código abierto. Se ha utilizado complementos especiales o librerías como GDAL, GRASS y SAGA (QGIS Association 2021).

2.1. Área de estudio, selección de la muestra y estado de la cuestión

Este estudio se centra en el valle que conforma la cuenca del río Cinqueta, originado por la confluencia de los barrancos del Cinqueta de la Pez y el Cinqueta de Añes, junto con sus ramales tributarios. El área de estudio abarca 35.643 hectáreas y se extiende por los municipios de Benasque, Bielsa, Chía, Foradada del Toscar, Gistaín, La Fueva, Plan, Sahún, San Juan de Plan, Seira, Tella-Sin, Villanova y una pequeña parte de la frontera francesa de Occitanie, incluyendo una porción en el Parque Natural Posets-Maladeta. Se han incluido en el estudio los collados y sus alrededores que desembocan a otras cuencas.

En esta región, el clima es principalmente de tipo mediterráneo continental, pero también recibe influencias atlánticas por su proximidad y carácter montañoso. A medida que ascendemos en altitud, la temperatura desciende y las precipitaciones aumentan. La orientación de las laderas también desempeña un papel en el clima, con las laderas orientadas al norte siendo más frías y recibiendo más lluvias. Los ríos experimentan variaciones en su caudal a lo largo del año debido al deshielo y las lluvias, con aumentos notables al final de la primavera. El terreno montañoso, con fuertes pendientes y formaciones rocosas, dificulta la circulación de vehículos en la zona. En cuanto a la vegetación, encontramos una variedad desde bosques de pino rojo, robles y boj en altitudes más bajas, hasta bosques de pino negro, abeto, acebo y abedul en las zonas más elevadas, junto con prados subalpinos y alpinos en las áreas más húmedas (Berdejo Arcéz *et al.* 2021). La transformación antrópica más destacada en este valle está relacionada con los aprovechamientos tradicionales del territorio, especialmente en los espacios dedicados a la agricultura y la ganadería, que se disponen en diversos conjuntos diferenciados por su distancia a los núcleos de población, altitud, período e intensidad de uso (Fernández Piñar 2021).

El megalitismo fue una “moda funeraria” muy extensa en el tiempo y se plasmó en diversas tipologías de construcciones: túmulos, dólmenes, *tholos*, círculos de piedra (crómlech) y menhires. Su extensión geográfica y cronocultural es amplia a lo largo de Europa occidental y central. En la península ibérica, los túmulos y los dólmenes albergan las cronologías más antiguas, desde el neolítico (V milenio cal BC) hasta períodos posteriores, y reflejaban hábitos de inhumación. Los círculos se restringen a fases más tardías iniciadas a lo largo de la Edad del Bronce (desde el 1200 cal BC), están vinculados con la incineración, coexisten con otros tipos de enterramientos hasta la llegada de la romanización (finales del siglo III-I a.c.) y muestran sus últimos usos en la Edad media (S. X-XV) (Blot 1998, Peñalver 2005,

Edeso *et al.* 2016, Blot y Raballán 1995, Rey 2014, Montes *et al.* 2016 y 2020, Agirre-García *et al.* 2017, Berdejo *et al.* 2021). Estas estructuras, a menudo pueden confundirse con otros elementos inmuebles asociados a espacios de habitación, elementos propios de las prácticas agropecuarias e incluso con posicionamientos bélicos contemporáneos (Agirre-García *et al.* 2017, Moraza *et al.* 2003, Moraza y Mújica 2005).

Los crómlech o círculos de piedra pirenaicos representan un fenómeno arqueológico propio de la cordillera con una variedad de características constructivas y cronológicas. En el Pirineo tienen una distribución geográfica amplia que se extiende desde el río Leizaran en el oeste hasta Andorra en el este, cubriendo una franja de aproximadamente 250 kilómetros de ancho y abarcando áreas de ambas vertientes de la cordillera (Peñalver, 2005). Su ubicación está estrechamente relacionada con la altitud y se refiere a relieves como collados, lomas (cumbres y cimas), rellanos en ladera, llanos, laderas y hondonadas. Esta distribución mantiene un vínculo a las rutas de comunicación natural, muchas empleadas en la movilidad ganadera de la región (Peñalver 2005, Montes *et al.* 2016 y 2020, Berdejo *et al.* 2021).

La construcción de los círculos se basa en la superposición de anillos concéntricos de piedras hincadas en el suelo. Lajas, ortostatos o piedras/bloque presentan una gran variedad de tamaños y estilos. En su interior, contienen cámaras funerarias muy sencillas destinadas al depósito de cenizas y un pequeño ajuar. Normalmente una acumulación tumular de cantos, piedras y sedimento se deposita sobre la planta creando un pequeño relieve. Los procedimientos de construcción y los materiales utilizados están influenciados por la disponibilidad de recursos locales en el entorno circundante. Su tamaño varía, con diámetros que oscilan entre 3 y 7 metros, e incluso alcanzan los 12 o 20 metros en algunos casos. Existe una tipología para los distintos tipos de enterramiento (Peñalver 2005).

El Valle de Chistau alberga varias agrupaciones de crómlech vistas en la bibliografía (Peñalver, 2005; Rey 2014) o descubiertas recientemente (Berdejo *et al.*, 2021). Este estudio se articula en base a los resultados de la campaña de 2019 del proyecto Arqueología de territorio en “La Val de Chistau” (Berdejo *et al.* 2021). Se llevó a cabo una prospección arqueológica en alta montaña, documentando los hitos arqueológicos con coordenadas UTM y fotografías. Se realizaron planimetrías georreferenciadas con Estación Total y se recogió la información en SIG. Se revisó la bibliografía y la cartografía histórica y actual para contextualizar los hallazgos. Durante esta campaña se examinaron tres zonas diferentes: El collado de Sahún (p.26), Labasar (p.33) y La Poma-Piedra Blanca (p.40). Se documentaron 30 círculos de piedra, véase a modo de ejemplo la Figura 2.

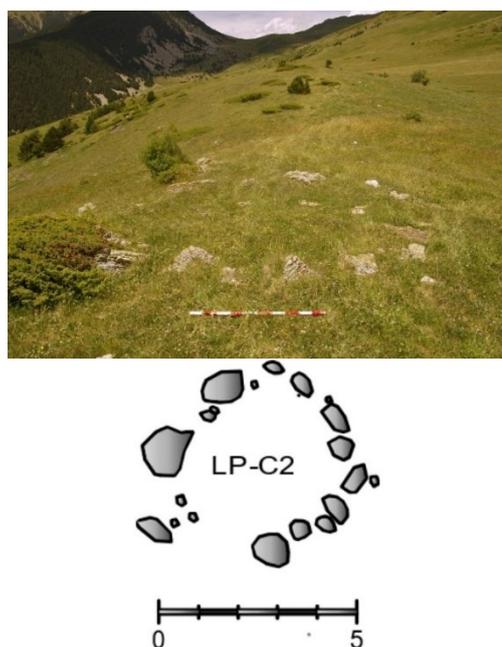


Figura 2. Ejemplo representativo de uno de los círculos de piedra identificados en 2019.

Crómlech LP-C2, Zona de La Poma-Piedra Blanca.

Fuente. Elaboración propia a partir de Berdejo *et al.* (2021)

Estos círculos documentados en 2019, son la muestra de datos de la que parten los análisis de este trabajo, véase su distribución en el territorio en la Figura 3. En términos generales, el área de estudio corresponde al territorio circundante al río Cinqueta. Se pueden consultar los geodatos en la Tabla A1 del Apéndice 1.

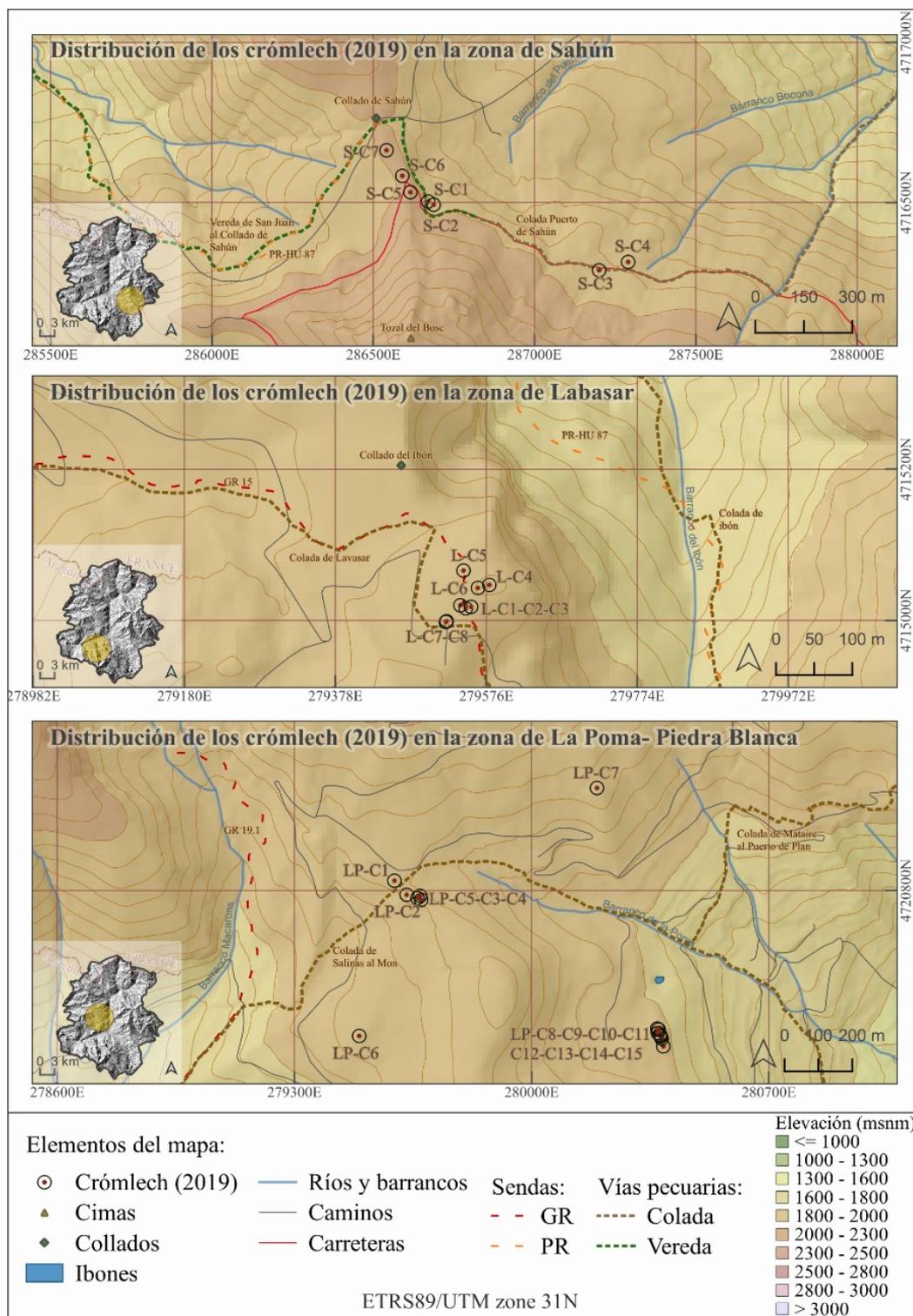


Figura 3. Distribución geográfica de los círculos de piedra identificados en el valle de Chistau en 2019.

Fuente. Elaboración propia a partir de información obtenida de CNIG, IDEARAGON y Berdejo *et al.* 2021

2.2. Selección de criterios y cartografía

Para conformar el área de estudio la información geográfica se ha obtenido a través del servicio de descargas de CNIG, utilizando las capas de la cartografía de la cuenca Hidrográfica del Ebro en formato SHP en escala 1:5.000, que incluyen HI_SUBCUENCA_S (Subcuenca hidrográfica), HI_TRAMOCURSO_L (Curso de agua), GE_SURGENCIA_P (Surgencia) y HI_AGUAESTANCADA_S (Masa de agua estancada). Esta información ha sido procesada seleccionando las subcuencas que confluyen en la cuenca del río Cinqueta, añadiendo las subcuencas adyacentes a las divisorias con el objetivo de buscar áreas que rodean a cabeceras y collados, puntos de especial interés desde el punto de vista de la posible ubicación de crómlech (subcuencas de los ríos Ésera, o Cinca). Con esta selección se ha generado un polígono que delimita la zona de estudio, y sirve para preparar el resto de los datos. Se han incluido unos metros tras los collados, añadiendo 100 m de buffer en cada una de sus orientaciones.

Para los análisis espaciales, se han empleado los Modelos Digitales de Elevación (MDE) de la 1ª Cobertura lidar con una resolución de malla de 5 metros, obtenidos de las hojas PNOA_MDT05_ETRS89_HU31_0212_LID, PNOA_MDT05_ETRS89_HU31_0179_LID y PNOA_MDT05_ETRS89_HU31_0147_LID.

Además de los MDE y la información hidrográfica, se han utilizado otros datos del CNIG, como los términos municipales, límites autonómicos y fronteras que permitirán caracterizar/limitar las zonas de estudio y conocer a qué término municipal pertenecen las zonas con potencial para albergar crómlech. Información de utilidad para pedir permisos para una prospección en el futuro. Se ha extraído la red de ríos y barrancos e ibones o aguas estancadas a los que se aplicará un análisis de las distancias a los mismos por su potencial influencia en la ubicación de los crómlech. También se han incorporado datos de núcleos urbanos, áreas urbanas y refugios de montaña, obtenidos de la Información Geográfica de Referencia de Poblaciones de España “IGR Poblaciones” a escala 1:5.000 que proporcionan la referencia a los lugares de asentamiento actual y que van a formar parte de los factores limitantes, puesto que en estos entornos no es probable que se encuentren restos lo suficientemente conservados como para destinar una campaña de prospección. Se han incorporado los viales, sendas y caminos extraídos de las Redes de Transporte de España en escala 1:25.000 y los Senderos de la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME) a escala 1:5.000 que servirán para realizar el análisis de distancias a estos elementos por su posible proximidad a las estructuras megalíticas y conocer la accesibilidad a las zonas con mayor potencial ubicación. Se han obtenido los datos de la cobertura de ocupación del suelo en España a escala 1:25.000, de 2014 de SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España), con el propósito de localizar algunos tipos de cubierta de suelo.

Por último, se ha recurrido al servicio Web Feature Service (WFS) de la Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón (IDEARAGON, actualmente denominada Infraestructura de Conocimiento Espacial de Aragón ICEARAGON), para obtener información adicional, incluyendo la red de vías pecuarias (VVPP_EJES) para el análisis de distancia a estas vías y los topónimos de la Base de Datos de Topónimos de Aragón de 2013, utilizados para comprobar si existe alguno de interés en las inmediaciones de las áreas con potencial localización de restos arqueológicos.

El proyecto está trabajado en sistema EPSG:25831 y todas las capas se han generado en este sistema de proyección.

El primer análisis realizado aborda la existencia de patrones de autocorrelación espacial y la densidad de los puntos muestrales de los crómlech identificados en 2019. Esto se ha llevado a cabo mediante la herramienta “*Análisis de vecinos más próximos*”, que evalúa si la distribución de los puntos es aleatoria, agrupada o dispersa en el territorio. Este algoritmo realiza un análisis del vecino más próximo en una capa de puntos, analizando las distancias entre todos los puntos. Adicionalmente, se ha generado un mapa de densidades utilizando la herramienta “*Mapa de calor (Estimación de Densidad de Núcleo)*”.

La pendiente en la ubicación de los puntos muestrales, se ha analizado aplicando al MDE de 5 metros la herramienta de GDAL para QGIS, que se basa en el método Horn (Moschytz y Horn 1981). Este método calcula la pendiente considerando los valores de elevación de los 8 vecinos más cercanos

de cada celda, otorgando más peso a los vecinos más próximos. Es importante mencionar que el valor de pendiente se asigna al punto central, el cual no se incluye en el cálculo (Castillejo González *et al.* 2006).

Con el fin de evaluar tendencias altitudinales, se han extraído los valores de altitud de los emplazamientos utilizando la herramienta “*Point sampling tool*” a partir del MDE.

Además, se ha generado una cartografía de orientación del territorio utilizando la herramienta “*Aspect*” de la librería GDAL de QGIS, para determinar si existe alguna tendencia en relación con las vertientes donde se ubican los crómlech. Es importante destacar que todos los análisis se han basado en la situación actual de los emplazamientos, sin tener en cuenta los detalles de la evolución geomorfológica del valle desde su construcción hasta la actualidad. Esta omisión puede tener implicaciones significativas, ya que los cambios en las condiciones geomorfológicas a lo largo del I Milenio cal BC podrían haber afectado el entorno de manera considerable, potencialmente influenciando la distribución y orientación de los crómlech.

Los análisis de visibilidad ofrecen una perspectiva sumamente interesante en la exploración de elementos arqueológicos, por lo que merecen ser examinados. Al abordarlos, es esencial tener en cuenta que son las características topográficas, sus particularidades y la presencia de obstáculos visuales, las que influyen en gran medida en sus resultados y en su interpretación. En el caso particular de los crómlech, al ser relativamente superficiales, sería difícil detectarlos a larga distancia, pero su ubicación podría ser visible por la noche si albergan una luz. Esta posibilidad se respalda tanto por las condiciones ópticas de visibilidad a largas distancias (Martín León y Rodríguez, 2003), como por la actividad cultural y experiencial que la asociación GESTAVI propone en el valle en su “*Noche de las luces*” donde tratan de explorar posibles métodos de comunicación de la antigüedad. Esta consideración, hace que no se puedan descartar los análisis de visibilidad a distancias elevadas. Deberíamos considerar obstáculos como masas forestales, aunque en este caso no se aborden debido a la falta de datos sobre las condiciones de vegetación antigua (Tévar 1996). Los análisis de visibilidad se han realizado utilizando el plugin “*Visibility Analysis*” de QGIS (Čučković 2016). Este plugin permite generar la cuenca visual, la cuenca visual acumulada desde un conjunto de puntos fijos y las redes de intervisibilidad a partir del MDE.

En el caso de la cuenca visual, se han utilizado los 30 puntos como puntos de observación. Luego, se han combinado las cuencas visuales para obtener la cuenca visual acumulada. Este algoritmo proyecta una matriz de líneas de visión desde los puntos de observación hasta el perímetro del área analizada y registra la posición por encima o por debajo de la línea de visibilidad para cada celda a lo largo de la línea. El resultado es una capa ráster con valores múltiples de visibilidad; su interpretación nos dice cuántos yacimientos son visibles desde una celda (punto del territorio).

La red de intervisibilidad busca determinar el potencial de relaciones visuales entre dos puntos, lo que permite conocer qué crómlech son visibles desde cada uno de ellos. Este análisis se ha realizado con el módulo “*Intervisibility network*”. Se asume que el observador se encuentra a una altura de 1,60 metros y que el punto observado es superficial.

Para medir el índice de visibilidad (cuenca visual total o “*Visibility index*”), se ha calculado la exposición visual en cada celda del MDE. Este índice indica en valores de 0 a 1 la proporción de conexiones visuales positivas, donde 1 significa que un punto puede verse desde todos sus vecinos dentro de un radio determinado. Se puede cambiar la dirección, esto implica decidir si el análisis describe la exposición visual de las características del terreno o la cobertura visual de cada una de las ubicaciones en el terreno. La elección entre estas dos posibilidades depende de los objetivos de investigación. En este estudio, se han ejecutado tres combinaciones posibles para cada dirección (para un radio de 1 km con 16 líneas de visión; para un radio de 5 km con 32 líneas de visión; para un radio de 25 km con 16 líneas de visión) y se han extraído los valores de estos índices para cada emplazamiento de los crómlech.

También, se ha analizado la visibilidad de los crómlech desde las líneas de tránsito mediante la generación de una muestra de 2.500 puntos aleatorios cada 70 m sobre las capas que componen las vías de tránsito (tanto para la de vías pecuarias como para la capa de caminos y sendas), utilizando la herramienta “*Puntos aleatorios a lo largo de línea*”. Con cada uno de los puntos aleatorios estandarizados se ha calculado las cuencas visuales con el módulo “*Viewshed*”, resultando dos cartografías que indican la visibilidad acumulada desde las líneas de tránsito para una distancia de

25 km. Se ha calculado la intervisibilidad entre los puntos aleatorios y los yacimientos con la herramienta “*Intervisibility network*”. Se han extraído como datos para cada uno de los crómlech desde cuantas vías de tránsito se pueden observar y el nombre de las vías.

Se ha considerado la distancia a las líneas de tránsito y a la red hidrológica como factores determinantes en la localización de los crómlech. En este sentido, se ha empleado la herramienta “*v.distance*” de la librería GRASS para determinar la distancia en línea recta desde los crómlech hasta las capas que componen las vías de tránsito (vías pecuarias y capa de caminos y sendas clasificadas en GR y PR) y hasta la capa que compone la red hidrológica. A diferencia de calcular las rutas de tránsito potenciales basadas en la geomorfología del territorio, como propuso Carrero Pazos (2017), se ha optado por este enfoque más directo y práctico. Se ha calculado utilizando el mismo procedimiento, su proximidad respecto a las capas que componen los cursos de agua, como barrancos y ríos e ibones.

La prominencia topográfica es un parámetro de consideración en los modelos arqueológicos (Arteaga Brieba 2012, Carrero Pazos 2017, Montes *et al.* 2020). El Índice de Posición Topográfica (TPI) permite analizar aspectos morfológicos del terreno al comparar el valor de elevación de una celda con las celdas circundantes. Este análisis puntual revela características como convexidades, concavidades y áreas planas con pendientes constantes. Es muy importante conocer la escala en la que se aplica, un tamaño de vecindario muy grande puede producir un índice negativo, mientras que, en el mismo punto, un tamaño de vecindario más pequeño podría generar un índice cercano a cero o incluso positivo (Calderón *et al.* 2020, Weiss 2001). En este trabajo, se evalúa si los crómlech se ubican en promontorios, como se observó *in situ* en muchas localizaciones en 2019, utilizando una vecindad pequeña. Se ha aplicado al MDE la herramienta “*Índice de Posición Topográfica (TPI)*” de GDAL, que opera con una vecindad de 8 celdas, ajustándose a los parámetros que se quieren observar, considerando la resolución de las celdas de 5 m.

La preferencia por ubicaciones estratégicas en puertos y en las cuencas también se ha resaltado como un factor condicionante en la localización de las estructuras en la bibliografía consultada (Carrero Pazos, 2017). Por lo tanto, se ha analizado la disposición de los sitios en áreas de paso natural entre montañas, como collados de gran entidad o fondos de valle. Para evaluar esta variable, se han calculado dos índices utilizando SAGA-GIS: el “*Índice de Resolución Múltiple de Planitud en Fondos de Valle*” (MRVBF) y el “*Índice de Resolución Múltiple de Planitud Superior en Cresta*” (MRRTF) (Gallant y Dowling, 2003), aplicado al MDE.

El MRVBF identifica fondos de valle basándose en tres supuestos: (1) los fondos de valle son bajos y planos en comparación con su entorno, (2) ocurren en una variedad de escalas y (3) los fondos de valle más grandes son más planos que los más pequeños. Se ha probado varias combinaciones para seleccionar los parámetros adecuados, incluyendo umbral de pendiente inicial de 32, umbral mínimo de percentil de elevación de 0,35, umbral alto de percentil de elevación de 0,45, parámetro de forma de pendiente de 4 y parámetro de forma de percentil de elevación de 3. Según Gallant y Dowling (2003), el MRVBF se divide en clases que representan diferentes resoluciones y umbrales de pendiente. Valores inferiores a 0,5 no son fondos de valle, valores de 0,5 a 1,5 indican fondos de valle empinados y pequeños, mientras que valores de 1,5 a 2,5, 2,5 a 3,5, etc., representan fondos de valle más planos y grandes.

En este territorio, los núcleos de población principales se concentran muy próximos entre sí en la ribera del río Cinqueta debido a la disposición topográfica entre varios macizos montañosos. En esta zona más baja es donde se concentra la mayor intensidad de uso del suelo. Gran parte del territorio presenta grandes escarpes o pendientes pronunciadas. A pesar de conocer el impacto potencial que esta intensidad de uso tiene en la conservación de los círculos, no se han descartado estas zonas por completo, y se consideran los llanos vinculados a las cuencas de mayor altitud como más relevantes para futuras prospecciones.

El índice MRRTF, por otro lado, detecta áreas planas en altura, como collados de gran entidad. Su cálculo es similar y se ejecuta desde el mismo módulo. Valores de 0,5 a 1,5 indican áreas de mayor pendiente y tamaño más pequeño, mientras que valores de 1,5 a 2,5, 2,5 a 3,5, etc., representan collados más planos y grandes.

2.3. Definición de criterios limitantes

Los criterios limitantes son áreas con restricciones en la localización (Lamelas 2009 y 2012). En el caso que nos ocupa se trata de zonas que se presupone que no son lugares viables para la construcción de las estructuras, o son zonas donde se producen muchos fenómenos erosivos estacionales o donde se han realizado tantas infraestructuras antrópicas que se desestima que puedan quedar restos.

En vista a los resultados obtenidos en el análisis espacial sobre la muestra, se han decidido incorporar al análisis como factores limitantes:

- Pendientes superiores al 58 % ($\approx 30^\circ$), consideradas inadecuadas para la construcción de estructuras megalíticas además de ser susceptibles de procesos de erosión y deslizamientos de laderas, los cuales pueden alterar construcciones existentes.
- Núcleos urbanos, áreas altamente modificadas por actividades humanas, lo que hace improbable la presencia de restos arqueológicos.
- Carreteras, que han experimentado excavaciones de tierra significativas, excluyendo la posibilidad de hallar restos. Las pistas, en cambio, son menos destructivas y se sabe que al menos un crómlech de la muestra se encuentra en su trazado con lo que se han excluido como limitantes.
- Tarteras, áreas de acumulación de piedra suelta en la alta montaña, generadas por procesos erosivos consideradas no idóneas para la prospección debido a su complejidad. Sin embargo, cabe mencionar que se es consciente de que estos espacios pueden albergar un registro arqueológico de interés, tal y como se muestra en otros estudios en áreas de alta montaña (Gassiot Ballbè *et al.* 2016). Estas zonas se identificaron utilizando datos de SIOSE 2014 con alto porcentaje de canchal o suelo erosionado.

En el caso de las capas con la información de partida que tienen un formato ráster como es el caso de la pendiente, se ha empleado la herramienta “Reclasificar por tabla” que asigna nuevos valores de clase basados en rangos especificados en una tabla fija, donde los valores son 1 o 0 (1 indica posibilidad de existencia de estructuras y 0 denota restricción o limitación). En el caso de las variables que en origen son vectoriales, como los núcleos urbanos, ha sido necesaria la conversión del modelo vectorial al formato ráster.

Para completar la definición de los criterios limitantes, se toman todos los criterios y se combinan en una sola capa, ajustando su representación gráfica según los valores, se establece la transparencia en las celdas que tienen un valor de 1.

2.4. Estandarización de criterios seleccionados

La metodología EMC que se ha aplicado requiere que las variables sean estandarizadas para su incorporación como criterios en el proceso. El método de estandarización utilizado puede incluirse en la aproximación de escalas subjetivas (Lamelas 2012, Malczewski 2004) ya que las variables se clasifican de acuerdo a unos rangos subjetivos. Estos rangos se determinan siguiendo, en algunos casos, las indicaciones en las referencias bibliográficas consultadas y en otros casos el criterio experto que proporciona el análisis de la muestra realizado con anterioridad.

En este caso, las variables seleccionadas se han clasificado en 5 categorías atendiendo a la probabilidad de encontrar un monumento megalítico en áreas con esas características: 1 Poco probable, 2 Ligeramente probable, 3 Probable, 4 Muy probable y 5 Extremadamente probable. Para generar las capas de los criterios estandarizados, se han reclasificado las capas de las variables con la herramienta “Reclasificar por tabla”.

2.5. Asignación de pesos mediante la metodología AHP

Las metodologías EMC permiten integrar preferencias de decisión, donde los criterios que definen los emplazamientos de los crómlech no tienen la misma importancia. El método AHP asigna prioridades únicas capturando el predominio en una matriz de comparación por pares de criterios. Se utiliza una escala lineal estándar, como se muestra en la Tabla 1, para asignar valores numéricos que

representan los pesos de los criterios. La consistencia de la matriz se evalúa mediante la ratio de consistencia (CR), (Saaty 1987, Saaty 2003), que debe ser inferior a 0,10.

Tabla 1. Escala de preferencias, AHP

1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen igualmente al objetivo
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente un elemento sobre otro
5	Importancia esencial o fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente un elemento sobre otro
7	Importancia muy fuerte	Un elemento se favorece muy fuertemente sobre otro, su dominio se demuestra en la práctica
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece a un elemento sobre otro es de la orden de afirmación más alto posible
2,4,6,8	Valores intermedios	

Fuente. Elaboración propia

Para asignar los pesos y consensuar las preferencias con el fin de optimizar el diseño de una prospección, se realizó la revisión de la bibliografía considerada como referente para establecer y ensayar los criterios (Cabrero González 2018, Carrero Pazos 2017, Fondevilla *et al.* 2021, García Sanjuán *et al.* 2009, Montes *et al.* 2020), también se revisaron los resultados obtenidos durante la fase de análisis espacial de la muestra y todo esto se combinó con el criterio experiencial del grupo de investigación “*De la Roca al Metal*”, que lleva realizando campañas en el territorio en colaboración con investigadores locales, pobladoras y otros profesionales desde el año 2019. Desde entonces, el proyecto Arqueología de territorio en “La Val de Chistau” ha agrupado los resultados en bloques de información que abarcan megalitismo, estructuras agropecuarias, estructuras militares, caminos, cuevas y abrigos, entre otros; todos ellos recogidos en capas vectoriales para una base de datos geoespacial, para poder ser analizados e integrados en SIG. Hasta el momento, solo se ha publicado los resultados de una primera fase correspondiente a las campañas iniciales destinadas al megalitismo (Berdejo *et al.* 2021), quedando pendiente la publicación de todo lo relacionado con los sistemas de construcción de la Guerra Civil, las instalaciones agropecuarias creadas en las zonas más altas o la red de caminos. Estas prospecciones han permitido al grupo investigador verificar la presencia de registros inmuebles en muchos espacios del territorio, ya que el megalitismo comparte ciertas analogías con algunas ubicaciones de la arquitectura militar (por ejemplo, en collados o bifurcaciones del valle), así como con las técnicas y métodos de la ganadería a la hora de seleccionar el lugar para construir bases de operaciones. Este grupo investigador aborda este mismo enfoque en el estudio de otros valles como los del Prepirineo, en la Guarguera o la Sierra de Guara, mediante visitas a los lugares catalogados y la prospección de nuevas áreas (Obón y Berdejo 2016).

Los pesos se han calculado utilizando una plantilla de Excel llamada “*BPMSG AHP con múltiples entradas*” de Goepel (2013a). Las hojas de la plantilla muestran las prioridades resultantes basadas en las comparaciones por pares utilizando el “*Método de la media geométrica por filas (RGMM)*”. Para el cálculo final de pesos se utiliza el “*Método del autovector principal por la derecha (EVM)*” (Saaty 1990) y los resultados se presentan en una hoja de resumen en la plantilla Excel (Goepel, 2013b).

2. 6. Cartografía de la probabilidad de albergar estructuras megalíticas

El nivel de potencialidad de encontrar restos arqueológicos en una zona se resuelve en base a una suma lineal de los criterios estandarizados ponderados por los pesos asignados. La manera de efectuar este cómputo es aplicando álgebra de mapas haciendo uso de la “*Calculadora ráster*” (Fondevilla *et al.* 2021).

Para aplicar los criterios limitantes al resultado final derivado del análisis EMC se le superpone el mapa resultante de la combinación de todos los criterios limitantes.

2. 7. Validación en campo

Validar si el modelo de probabilidad creado a partir de la evaluación multicriterio es consistente es necesario para poder diseñar una futura prospección en base a la cartografía generada. En este marco de actuación se han diseñado unas jornadas de trabajo de campo de validación.

Para el diseño de las jornadas se han explorado de manera visual, mediante el software QGIS, las áreas de mayor probabilidad utilizando la ortofoto de máxima actualidad del PNOA. En el territorio existe multitud de restos de características similares que pueden ser de origen agropecuario actual o tradicional como cabanas, vivacs o refugios..., también estructuras militares como nidos de ametralladora de la Guerra Civil, restos de la guerra de la independencia o de las escaramuzas carlistas, estructuras de la época visigoda, antiguos mojones... Lo más probable es encontrar cualquier tipo de estructura antrópica no necesariamente estructuras megalíticas. Tras una primera revisión visual, se han seleccionado 3 zonas donde se concentran varios elementos susceptibles. Se han marcado unos puntos de referencia y se han editado los itinerarios posibles para acceder a los puntos elegidos. Se ha exportado en formato de archivo *.gpx para cargar las rutas en una aplicación de navegación GNSS (Global Navigation Satellite System).

Una vez en campo, se ha registrado el itinerario seguido y las coordenadas pertinentes mediante una app instalada en un teléfono con sistema operativo Android. El objetivo es demarcar el trazado de prospección seguido, descartar estructuras que no tienen relación con las estructuras megalíticas en los puntos de referencia visitados e incluir aquellas otras coordenadas de estructuras localizadas durante las rutas de aproximación.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis, selección y estandarización de variables.

En este apartado se sintetizan los resultados obtenidos en la fase de análisis espacial de la muestra, junto con la decisión de incluirlos o no como criterios y su estandarización. Para aligerar la información y aportar detalles adicionales sobre los resultados de los criterios seleccionados, se incluyen las tablas correspondientes en el Apéndice 1. La información más completa de los análisis espaciales que incluyen los criterios no seleccionados y las cartografías correspondientes a todos los parámetros ensayados en la muestra se puede consultar en Pardina Morlanes (2021).

El resultado del “*Análisis de vecinos más próximos*” indica que la muestra no sigue un patrón aleatorio. La distancia media observada (58,5 m) es significativamente menor que la distancia esperada (630 m). El índice de vecinos más próximos es cercano a 0 (0,09), lo que sugiere una alta densidad de puntos en algunas áreas, indicando agrupaciones. El análisis también proporciona un índice Z-Score de -9,5, indicando un patrón clusterizado. Se aplicó la herramienta “*Mapa de calor*” para priorizar zonas de prospección, pero no se incluyó como criterio en el análisis EMC debido a la falta de heterogeneidad en los datos muestrales.

En cuanto a la pendiente en la ubicación de los crómlech, se establecieron 5 rangos diferentes de pendiente ≤ 9 , 9-27, 27-58, 58-100, >100 , expresados en porcentaje. El territorio es mayoritariamente montañoso, con fuertes desniveles, las pendientes se caracterizan por ser considerablemente inclinadas, la media dentro de todo el territorio es del 63,6 %. Los círculos documentados en 2019 quedan situados entre los dos primeros rangos (de 0 a 27 %). Se ha considerado esta variable como criterio en el análisis EMC, y también se han incluido como factor limitante las zonas con pendientes superiores al 58 % ($\approx 30^\circ$). Para generar el mapa que caracteriza a la pendiente como criterio, se ha reclasificado el ráster de pendientes asignando los valores que se muestran en la Tabla 2 tomando en cuenta los resultados del análisis espacial y la bibliografía.

El análisis de orientaciones de los crómlech muestra que se distribuyen en todas las vertientes del territorio. No parece haber una correlación clara entre la ubicación de los crómlech y las laderas seleccionadas para su construcción. Aunque podría parecer que se sitúan cerca de los pasos de montaña que conectan vertientes este-oeste, esta relación no se puede afirmar con certeza, por lo que se ha excluido la orientación como variable en el análisis multicriterio.

Tabla 2. Valores utilizados en la estandarización de la pendiente

Valor original	Valor estandarizado
Pendientes $\leq 10\%$ (0-6°)	5
Pendientes 10-15 % (6°-9°)	4
Pendientes 15-30 % (9-17°)	2
Pendientes $> 30\%$ ($> 17^\circ$)	1

Fuente. Elaboración propia

En relación a los análisis de visibilidad, en el caso de los crómlech de Chistau, se observó durante la campaña de 2020 que estos coinciden en proximidad con las posiciones defensivas de la Guerra Civil, enclaves estratégicos de control de territorio. Además, algunos crómlech están en pasos de altura con vistas panorámicas hacia otras de las zonas identificadas. Por lo tanto, se ha considerado importante incluir el análisis de visibilidad como criterio.

Entre los análisis realizados, el “Índice de visibilidad (cuenca visual total)” se ha destacado como relevante, ya que proporciona información sobre la visibilidad en todo el territorio sin considerar los datos de los puntos muestrales. Se observó que en distancias cortas (alrededor de 1 km del crómlech), el emplazamiento permite un mayor control visual del territorio. Sin embargo, en distancias medias (5 km), la visibilidad se invierte, y en distancias más largas (25 km), depende de varios factores y suele ser baja debido al terreno accidentado.

De los índices analizados, se eligió el que corresponde a la exposición visual de la celda a 5 km de distancia como criterio. Esta decisión se tomó porque los resultados calculados para un radio de 5 km muestran un comportamiento lineal de valores similares. Además, el valor del índice de exposición visual es ligeramente superior al de cobertura visual (10 % en promedio frente al 9,5 % en promedio en el caso del índice basado en la cobertura visual). Para crear el mapa de visibilidad como criterio, se reclasificó el mapa de análisis visual, siguiendo los valores de la Tabla 3.

En cuanto a la proximidad de los crómlech a las rutas de tránsito, los resultados globales en las tres zonas indican cierta cercanía entre los crómlech y las vías pecuarias. Sin embargo, en lo que respecta a los caminos, no parece haber una relación clara con la ubicación de los crómlech. A pesar de esto, no se descarta considerar los caminos como un factor al planificar una prospección, ya que pueden servir como vías de acceso. Por lo tanto, se han generado dos mapas como criterios para el EMC: “Cercanía a las vías pecuarias” y “Cercanía a los senderos”, siguiendo los valores de estandarización propuestos en las Tablas 4 y 5.

Tabla 3. Valores utilizados en la estandarización de la visibilidad (visible en 5 km de territorio)

Valor original	Valor estandarizado
Índice de visibilidad $\leq 5\%$	3
Índice de visibilidad 5 - 15 %	5
Índice de visibilidad $> 15\%$	4

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4. Valores utilizados en la estandarización de la cercanía a las vías pecuarias

Valor original	Valor estandarizado
Distancia ≤ 50 (m)	5
Distancia 50 - 100 (m)	4
Distancia 100 - 500 (m)	3
Distancia > 500 (m)	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 5. Valores utilizados en la estandarización de la cercanía a los senderos

Valor original	Valor estandarizado
Distancia ≤ 50 (m)	3
Distancia 50 - 500 (m)	5
Distancia 500 - 1.500 (m)	4
Distancia > 1.500 (m)	2

Fuente. Elaboración propia

Respecto a la cercanía de los crómlech de la red hidrológica, la mayoría se encuentra a una distancia de entre 200 y 300 metros de los ríos o barrancos, por lo que esta variable se considera relevante como criterio añadiendo otras áreas de influencia contempladas en la bibliografía (Arteaga Brieba 2012, Montes *et al.* 2020). Sin embargo, la ubicación de los crómlech no guarda relación con la proximidad a los ibones, ya que en la mayoría de los casos se encuentran a más de 1.000 metros de distancia de estos cuerpos de agua. A pesar de ello, se ha incluido la cercanía a los ibones como criterio debido al interés del equipo de investigación en verificar estos emplazamientos en otras zonas no estudiadas. Se han generado dos mapas como criterios: “Cercanía a barrancos y ríos” y “Cercanía a ibones”, siguiendo los valores de estandarización propuestos en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6. Valores utilizados en la estandarización de la cercanía a barrancos y ríos

Valor original	Valor estandarizado
Distancia ≤ 50 y 500 - 2.000 (m)	3
Distancia 50 - 200 (m)	4
Distancia 200 - 500 (m)	5
Distancia > 2.000 (m)	1

Fuente. Elaboración propia

Tabla 7. Valores utilizados en la estandarización de la cercanía a ibones

Valor original	Valor estandarizado
Distancia \leq 50 (m)	2
Distancia 50 - 500 (m)	4
Distancia 500 - 1.500 (m)	3
Distancia $>$ 1.500 (m)	1

Fuente. Elaboración propia

Se ha calculado un ráster que representa el índice de posición topográfica (TPI). En este ráster, se observa que prácticamente todos los crómlech identificados en 2019 se encuentran en zonas de prominencia topográfica (convexas), no habiendo ninguno en áreas cóncavas en esta escala. Para crear el mapa que utiliza el TPI como criterio, se ha realizado una reclasificación del ráster del TPI generado con GDAL, asignando los valores que se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores utilizados en la estandarización del índice de posición topográfica (TPI)

Valor original	Valor estandarizado
TPI \leq (- 0,05)	2
TPI (- 0,05) - 0,05	3
TPI $>$ 0,5	5

Fuente. Elaboración propia

Otra variable evaluada en los emplazamientos de los crómlech de la muestra está relacionada con las zonas de paso naturales. Como se mencionó en la metodología, tanto el MRVBF como el MRRTF se dividen en tres clases según los rangos de esos índices. En la muestra analizada, la mayoría de los crómlech se encuentran en zonas de paso en altura, aunque no se ha descartado la posibilidad de encontrar elementos en las áreas del fondo del valle que no se habían investigado previamente. Para crear los mapas que representan estas zonas como criterio, “*Emplazamiento en zonas de fondo de valle (Índice MRVBF)*” y “*Emplazamiento en collados (Índice MRRTF)*”, se realizó una reclasificación de los mapas generados a partir de los índices MRVBF y MRRTF, utilizando los valores que se muestran en las Tablas 9 y 10.

La inclusión de la toponimia en un análisis arqueológico puede ser muy valiosa (Fernández 2011). Para este estudio, se ha obtenido una lista de 11.516 topónimos de la zona a partir de la base de datos de IDEARAGON. Sin embargo, es importante señalar que evaluar la toponimia como criterio para el análisis EMC requeriría la realización de jornadas de trabajo de campo etnográficas con la población local, quienes poseen conocimiento sobre el significado de los topónimos y las leyendas asociadas. Esas jornadas son esenciales para seleccionar o descartar topónimos de interés. Por lo tanto, la creación de una cartografía basada en la proximidad a la toponimia se ha desestimado en este momento, aunque podría considerarse en futuras investigaciones.

Tabla 9. Valores utilizados en la estandarización del emplazamiento en zonas de fondo de valle (índice MRVBF)

Valor original	Valor estandarizado
MRVBF $\leq 0,5$	1
MRVBF 0,5 - 1,5	2
MRVBF 1,5 - 2,5	3
MRVBF 2,5 - 3,5	4
MRVBF 3,5 - 4,5	5

Fuente. Elaboración propia

Tabla 10. Valores utilizados en la estandarización del emplazamiento en zonas de collados (índice MRRTF)

Valor original	Valor estandarizado
MRRTF $\leq 0,5$	1
MRRTF 0,5 - 1,5	2
MRRTF 1,5 - 2,5	3
MRRTF 2,5 - 3,5	4
MRRTF 3,5 - 4,5	5

Fuente. Elaboración propia

4. 2. Asignación de pesos de decisión y resultado del análisis multicriterio

La asignación de pesos se realizó de manera consensuada por el equipo investigador, priorizando la creación de una cartografía que facilite la preparación de una prospección óptima. Se consideraron los resultados de los análisis de emplazamiento en la muestra de crómlech de 2019 y la bibliografía de referencia.

Utilizando la plantilla de Excel “*BPMSG AHP con múltiples entradas*” de Klaus D. Goepel (2013a), versión 12.08.2013, y considerando los 9 criterios propuestos, se han obtenido los resultados para la asignación de pesos que se muestran en la Tabla 13. Estos valores generaron una ratio de consistencia (CR) del 9 %, por debajo del umbral del 10 % establecido. Los resultados se han calculado a partir de la matriz de comparaciones presentada en la Tabla 12, la cual refleja las comparaciones de los criterios entre sí.

Tabla 12. Matriz de comparación de preferencias

	Pendiente en la ubicación	Collados (MRRTF)	Fondos de valle (MRVBF)	Índice de posición topográfica	Índice de visibilidad	Cercanía a las vías pecuarias	Cercanía a los senderos	Cercanía a barrancos y ríos	Cercanía a ibones
Pendiente en la ubicación	1	2	6	5	6	3	9	7	9
Collados (MRRTF)	1/2	1	5	3	4	2	9	6	6
Fondos de valle (MRVBF)	1/6	1/5	1	2	1/5	1/6	7	1	4
Índice de posición topográfica	1/5	1/3	1/2	1	1/2	1/3	8	2	6
Índice de visibilidad	1/6	1/4	5	2	1	1/3	9	5	7
Cercanía a las vías pecuarias	1/3	1/2	6	3	3	1	9	3	8
Cercanía a los senderos	1/9	1/9	1/7	1/8	1/9	1/9	1	1/9	1/4
Cercanía a barrancos y ríos	1/7	1/6	1	1/2	1/5	1/3	9	1	1
Cercanía a ibones	1/9	1/6	1/4	1/6	1/7	1/8	4	1	1

Fuente. Elaboración propia con la asistencia de la plantilla de Excel “*BPMSG AHP con múltiples entradas*” de Klaus D. Goepel (2013a) y las preferencias del equipo de investigación basadas en la Tabla 1.

Tabla 13. Pesos asignados a los criterios mediante el método Analytic Hierarchy Process, (AHP)

Puesto de preferencia	Criterio	Peso
1	Pendiente en la ubicación	0,313
2	Emplazamiento en collados (índice MRRTF)	0,209
3	Cercanía a las vías pecuarias	0,164
4	Índice de visibilidad	0,115
5	Índice de posición topográfica (TPI)	0,065
6	Emplazamiento en zonas de fondo de valle (índice MRVBF)	0,055
7	Cercanía a barrancos y ríos	0,042
8	Cercanía a ibones	0,024
9	Cercanía a los senderos	0,013

Fuente. Elaboración propia con la asistencia de la plantilla de Excel “*BPMSG AHP con múltiples entradas*” de Klaus D. Goepel (2013a) y las preferencias del equipo de investigación basadas en la Tabla 1.

Como resultado, los valores de preferencia más elevados en el cálculo del EMC corresponden a la pendiente en la ubicación, con un peso del 31,3 %, seguido por el emplazamiento en zonas de collados con un 20,9 %. La cercanía a las vías pecuarias obtuvo un peso del 16,4 %, mientras que el Índice de visibilidad representó un 11,5 % en la asignación de pesos. Por último, el criterio de cercanía a los senderos fue el que recibió menos preferencia en el análisis, con un peso del 1,3 %. Estos pesos reflejan la importancia relativa de cada criterio en la identificación de posibles emplazamientos de crómlech en el territorio estudiado.

Para combinar los mapas de criterios ponderados en formato ráster con sus respectivos pesos, se empleó la Ecuación 1, en la cual EMC representa el resultado de probabilidad, (véase la Figura 4 para una representación gráfica de los criterios). Este proceso dio como resultado un mapa que identifica las zonas con mayor potencial para contener restos arqueológicos relacionados con el megalitismo en el territorio estudiado. Para incorporar los factores limitantes, simplemente se superponen ambos mapas.

$$EMC = 0,313A + 0,115B + 0,164C + 0,013D + 0,042E + 0,024F + 0,065G + 0,055H + 0,209I \quad (1)$$

Donde:

EMC representa el resultado de probabilidad.

Los mapas de entrada incluyeron los siguientes criterios:

- A: valores de pendiente en la ubicación.
- B: valores del índice de visibilidad.
- C: valores relacionados con la cercanía a vías pecuarias.
- D: valores de proximidad a senderos.
- E: valores de cercanía a barrancos y ríos.
- F: valores de cercanía a los ibones.
- G: valores del índice de posición topográfica (TPI).
- H: valores de emplazamiento en zonas de fondo de valle (valor del índice MRVBF).
- I: valores de emplazamiento en collados (valor del índice MRRTF).

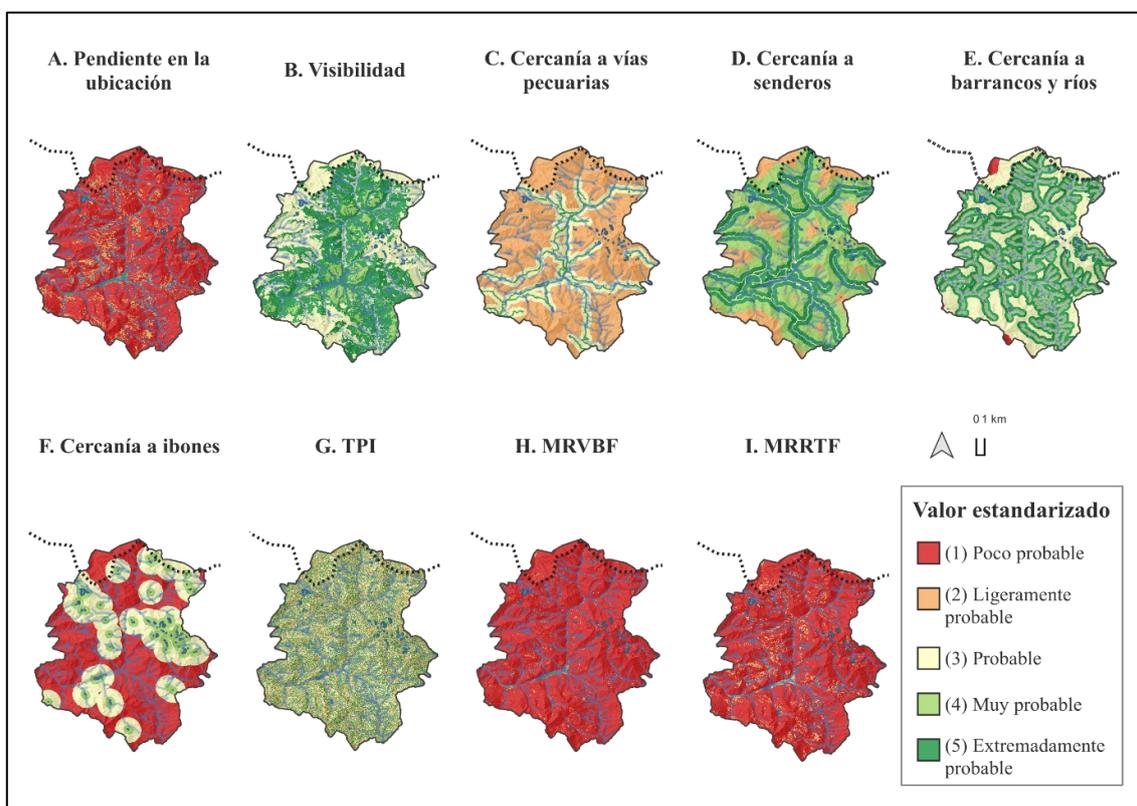


Figura 4. Mapas de los 9 criterios que conforman el análisis EMC

Fuente. Elaboración propia.

En términos de representación visual, se ha optado por utilizar una escala gradual de colores, que va desde el rojo al verde, para mostrar la probabilidad en un rango continuo de 1,6 a 3,4. Para mejorar la visualización, se ha aplicado un estiramiento de contraste utilizando la ecualización de histograma. El resultado se encuentra en la figura 5.

En resumen, este proceso ha reducido la extensión de terreno a prospectar a aproximadamente 4.700 hectáreas, en comparación con las 35.643 hectáreas de territorio inicial. Este punto de partida más específico facilitará la búsqueda de indicios de restos arqueológicos en el contexto del megalitismo en el área de estudio.

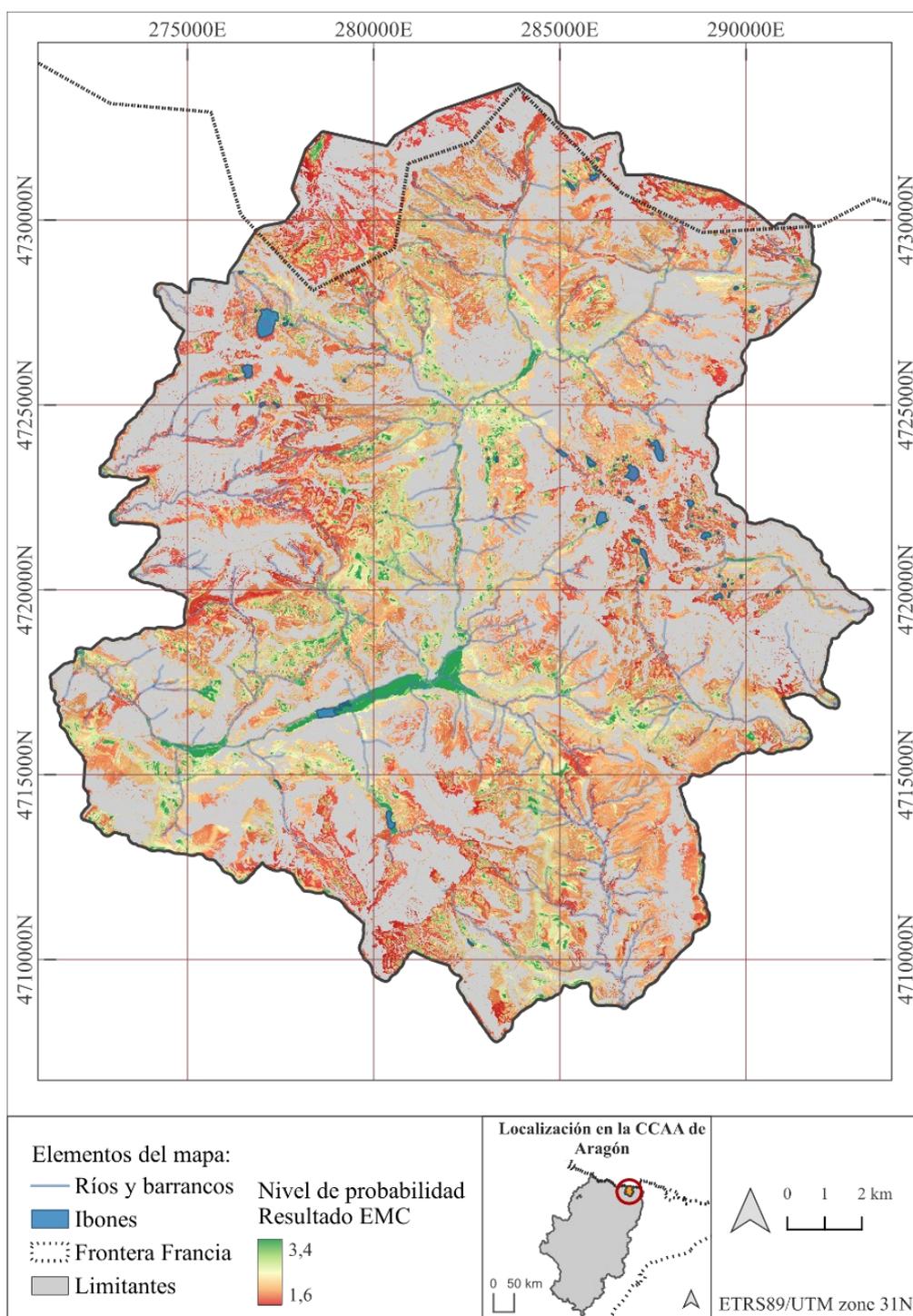


Figura 5. Zonas con mayor probabilidad de contener restos megalíticos (Resultado EMC)
Fuente. Elaboración propia a partir de información obtenida de CNIG, IDEARAGON y *De La Roca al Metal*.

4. 3. Validación

Tras la revisión de los resultados se ha realizado una observación preliminar de las áreas resaltadas en verde sobre la ortofoto más actual del PNOA. En este proceso, se han identificado un total de 105 puntos que presentan la posibilidad de albergar estructuras que requerían una verificación *in situ*.

Entre el 23 y el 25 de octubre de 2021, se ha llevado a cabo una expedición al terreno con el propósito de validar o descartar los puntos previamente detectados en la ortofoto, así como de incluir aquellos encontrados durante la ruta de validación para poder ubicarlos en el mapa de probabilidad correspondiente.

Durante el trabajo de campo se comprobaron varias zonas que presentaban diversas características espaciales, entre las que destacan La Codera-Escubillons, Viadós-Las Espadas-Virgen Blanca, Els Plans, y Esmolins-El Collet. Se identificaron 4 crómlech de un total de 49 elementos registrados con alta posibilidad de origen antrópico y 18 estructuras con indicios de ser restos megalíticos (véase figura 6). El criterio principal que se empleó para describir los elementos visitados fue en base a la existencia de círculos concéntricos, la disposición de la mampostería o bloques tanto de los anillos perimetrales como el central, como en la acumulación de rocas; indicios de túmulo que los recubría, descarte de que sean acumulaciones asociadas a la limpieza de piedras hechas en los campos, etc. Para determinar su origen con certeza, es necesaria la planificación de una fase de limpieza de vegetación, una prospección del subsuelo y/o una excavación arqueológica. En la Tabla A2 de Apéndice 1 pueden revisar los elementos sobre los que se recogió información y las categorías que se les asignó durante el trabajo de validación.

De estos 21 elementos identificados, 16 se encuentran en áreas previamente definidas como de alta probabilidad, mientras que el resto se sitúa en celdas adyacentes. Este trabajo de campo se enfocó en la validación de resultados, pero la confirmación de la presencia de restos arqueológicos se tiene que llevar a cabo mediante una futura intervención.



Figura 6. Identificación de un círculo de piedra en la zona designada como “Las Espadas” durante los trabajos de validación

Fuente. Elaboración propia.

Por otra parte, durante una campaña de prospección dedicada a las estructuras de la Guerra Civil llevada a cabo en noviembre de 2022 en los alrededores del collado de Sahún, pendiente de publicación, se registraron un total de 77 elementos. De estos, 15 podrían corresponder a estructuras megalíticas, de los cuales 11 tienen la posibilidad de ser crómlech, uno parece ser una piedra hincada y dos podrían ser

túmulos. Al cruzar esta información con los resultados de probabilidad de este estudio, se observó que 6 de estos puntos se encontraban en una franja de probabilidad intermedia, 5 estaban ubicados en áreas con baja probabilidad, pero muy cercanos a zonas de alta probabilidad siguiendo el mismo patrón de configuración geomorfológica, 5 se situaban en áreas intermedias de probabilidad y los 5 restantes estaban claramente en zonas de alta probabilidad.

4. Conclusiones

Los resultados del análisis espacial de los crómlech identificados en 2019 revelan patrones significativos en su ubicación y características. En su mayoría, estos círculos megalíticos se encuentran en áreas con pendientes suaves (< 10 %), en zonas elevadas en relación con su entorno. Sus condiciones de visibilidad a escala pequeña aproximadamente 1 kilómetro desde el crómlech, indican que se sitúan en emplazamientos que permiten el control visual del territorio, más que en emplazamientos vistos desde otras partes del territorio. No obstante, a distancias medias de alrededor de 5 kilómetros, la visibilidad se invierte, y en distancias más largas, alrededor de 25 kilómetros, la visibilidad tiende a ser baja debido a la topografía accidentada y otros factores. Además, no se encuentran cerca de los senderos actuales, pero sí muestran proximidad a las vías pecuarias existentes, vías pecuarias que están estrechamente relacionadas con los pasos naturales entre las montañas. No parece haber una relación evidente con la red hidrológica, pero el perfil topográfico convexo es una característica común en todos los emplazamientos.

Estos resultados destacan la importancia del análisis espacial en la selección de criterios para el análisis multicriterio. Recomendamos futuras campañas de prospección para ampliar la muestra, repetir los análisis espaciales con la nueva muestra y obtener una comprensión más precisa de las características espaciales de los círculos megalíticos del valle de Chistau.

Es importante señalar que algunos puntos de la muestra presentan patrones de emplazamiento atípicos, lo que sugiere la necesidad de realizar excavaciones para su comprobación. Es el caso de los círculos S-C5 y S-C6 localizados en la zona del collado de Sahún que presentan pendientes mucho más pronunciadas que los círculos de su entorno. Algunos de estos círculos podrían no corresponder a construcciones megalíticas, sino más bien a estructuras relacionadas con la Guerra Civil, dada su cercanía a la línea de frente republicana y las características estratégicas de su ubicación. Otros dos puntos que presentan unas características diferentes con respecto a los que se encuentran a su alrededor, son los círculos L-C7 y L-C8 localizados en Labasar. Estos círculos en realidad se encuentran sobre una superficie que ha sufrido mucha remoción de tierras por el mantenimiento y uso de la pista y de la zona de aparcamiento. Se propone una valoración más detenida de los resultados.

La selección de los criterios para el análisis se basó en el estudio de las características de los crómlech y en los resultados de variables consultadas en otros trabajos relacionados (Arteaga Briebe 2012, Cabrero González 2018, Carrero Pazos 2017, García Sanjuán *et al.* 2009, Montes *et al.* 2020). Los criterios seleccionados incluyen la pendiente en la ubicación, la visibilidad, la proximidad a las vías pecuarias, la cercanía a los senderos, la cercanía a barrancos y ríos, la cercanía a ibones, el índice de posición topográfica (TPI), la ubicación en zonas de fondo de valle (índice MRVBF) y la ubicación en collados (índice MRRTF). Estos criterios se utilizaron para crear un mapa que muestra las áreas con una mayor probabilidad de albergar estructuras megalíticas mediante técnicas de análisis multicriterio utilizando SIG.

La metodología AHP ha sido fundamental para abordar la subjetividad en la selección de criterios por parte del colectivo “*De la Roca al Metal*”. Gracias a este enfoque, se facilitaron consensos para la asignación de las preferencias, lo que puede permitir preparar una estrategia de prospección más eficiente para futuras campañas.

Además, el modelo de probabilidad desarrollado ha tenido un impacto significativo en la reducción del área de prospección potencial. El mapa de probabilidades resultante facilita enfocarse en áreas de prospección más pequeñas, lo que representa una reducción drástica en el alcance del trabajo de investigación. Comparando el mapa resultante del análisis EMC con la ortofoto más reciente, se identificaron 105 puntos con posibilidades de albergar estructuras antrópicas. De estos, se verificaron seis áreas en el terreno, identificando y registrando un total de 49 elementos con alta probabilidad de ser

de origen humano. De estos elementos, 17 presentaban signos que sugerían ser restos megalíticos, y se identificaron 4 como círculos de piedra. De los 21 elementos detectados, 16 estaban ubicados en áreas de alta probabilidad, mientras que los restantes se encontraban en celdas adyacentes. Posteriormente, en una campaña de prospección enfocada en estructuras de la Guerra Civil en la zona de Sahún, se añadieron 15 elementos que podrían corresponder a estructuras megalíticas, de los cuales 11 tienen la posibilidad de ser crómlech. 5 de ellos estaban claramente situados en áreas de alta probabilidad, mientras que el resto se encontraba en las proximidades.

A medida que se ha ido desarrollando este proyecto, se ha podido comprobar cómo los SIG son herramientas excepcionalmente valiosas para representar, estudiar y analizar las características que definen la arqueología de un territorio. El empleo de SIG en la generación de modelos de probabilidad contribuye a mejorar la eficiencia en la planificación y diseño de futuras prospecciones arqueológicas. Este estudio ha demostrado de manera concluyente que los análisis multicriterio representan una metodología altamente efectiva en el campo de la arqueología, permitiendo una efectiva incorporación de enfoques subjetivos en la verificación de hipótesis.

El mapa resultante del análisis EMC ofrece perspectivas prometedoras para la planificación de futuras investigaciones arqueológicas en la zona. Esto indica que el trabajo de prospección en el valle tiene un potencial significativo para un seguimiento continuo. Asimismo, la aplicación de enfoques similares, como los análisis multicriterio y el método de Proceso Analítico Jerárquico utilizados en este estudio, podría ser beneficiosa en otros campos de la arqueología y territorios. Esta metodología podría mejorar la toma de decisiones y la eficiencia de la investigación de campo, especialmente en situaciones donde los datos disponibles son insuficientes para una correcta modelización del territorio utilizando herramientas de geoestadística.

5. Agradecimientos

En el marco de este proyecto de investigación, deseamos expresar nuestro profundo agradecimiento a Jesús Argudo, investigador autónomo y habitante del valle, cuyo conocimiento y dedicación en la exploración del territorio sirvieron como punto de partida y estímulo para este trabajo, nos brindó un respaldo operativo invaluable. Agradecemos igualmente a Raquel Castro, cuyo apoyo logístico durante la fase de validación fue fundamental.

Extendemos nuestro agradecimiento a Ricardo y Carmen Morlanes, por su respaldo financiero y apoyo en los aspectos de cuidados. Finalmente, agradecemos a la Asociación de Jóvenes Investigadores en Ciencias Sociales, quien ha sufragado los gastos del trabajo de campo.

Referencias bibliográficas

- Arteaga Brieba, A. (2012). El fenómeno megalítico en los valles pirenaicos de Roncal y Salazar (Navarra): aplicación SIG al análisis de patrones de localización. *Cuadernos de Arqueología de La Universidad de Navarra*, 20, 7–151.
- Barea, A. M. y Alustiza, J. M. (2005). Establecimientos de habitación al aire libre. Los fondos de cabaña de morfología tumular: características, proceso de formación y cronología. *Velia*, (22).
- Belenguer Plomer, M. Á. (2016). Detección de problemas en la localización de usos del suelo mediante SIG y AHP: el caso de Riba-Roja de Túria (Valencia). *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 18(1578–5157), 3–24.
- Berdejo Arcéiz, A., Rodríguez Sobrino, A., Pardina Morlanes, E., Ábalos Aguilar, H., y Argudo, J. (2021). Arqueología de territorio en “La Val de Chistau” (Huesca): El megalitismo y su memoria. Campaña 2019-2020. *Revista Del Centro de Estudios de Sobrarbe*, 19, 11–60.
- Blot, J., y Raballand, C. (1995). Contribution à l'étude des cercles de pierres en Pays Basque de France. *Bulletin de La Société Préhistorique Française*, 92(4), 525–548. <https://doi.org/10.3406/bspf.1995.10069>

Blot, J. (1998). Le cercle de pierres Mendizabale 7-Commune de Macaye. PA. *Archéologie des Pyrénées occidentales et des Landes*, 17, 53-64.

Cabrero González, C. (2018). La organización interna de las necrópolis del río Gor a partir de los SIG: estudios de visibilidad aplicados a los conjuntos de Hoyas del Conquín y Las Majadillas. *Arqueología y Territorio*, 15, 19-27.

Calderón, H., Pérez, J. E., Chow, M., y Reyna, J. B. (2020). Índice de Posición Topográfica (TPI) para identificar áreas inundables y zonificación de especies vegetales en un manglar del Pacífico Sur de Nicaragua. *Revista Torreón Universitario*, 9(26), 124-146. <https://doi.org/10.5377/torreon.v9i26.10264>

Cañizares Ruiz, M. del C. (2014). Paisajes culturales, ordenación del territorio y reflexiones desde la geografía en España. *Polígonos. Revista de Geografía*, 26(26), 147. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i26.1703>

Carrero Pazos, M. (2017). *El fenómeno Tumular y Megalítico en Galicia. Aportaciones desde los sistemas de información geográfica y la estadística espacial para el estudio de los patrones de localización*. (Tesis doctoral no publicada). Universidad de Santiago de Compostela.

Castillejo, I.L., Fernández, P., García-Ferrer, A., y Sánchez de la Orden, M. (2006). Estudio comparativo de los distintos métodos de cálculo de pendientes derivados de modelos digitales del terreno. En *XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica: diseño e innovación: actas del congreso: Sitges 31 de mayo 1 y 2 de junio de 2006*. INGEGRAF Universidad Politècnica de Catalunya.

Cerrada Ayllón, A. M., Cocero Matesanz, D., Cerrillo Cuenca, E., & Jordá Pardo, J. F. (2023). Estudio espacial mediante Sistemas de Información Geográfica de los megalitos de la comarca de Tierra de Ledesma (Salamanca, España). *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 32, 5-26. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.826>

Čučković, Z. (2016). Advanced viewshed analysis: a Quantum GIS plug-in for the analysis of visual landscapes. *Journal of Open Source Software*, 1(4), 32.

Currás Refojos, B. X., Orejas Saco del Valle, A., Romero Perona, D., Ruiz del Árbol Moro, M., y Sánchez-Palencia Ramos, F. J. (2016). Los sistemas de teledetección en arqueología como recurso para la divulgación de los paisajes culturales. Ejemplos de patrimonialización desde el noroeste de la península ibérica. In *La revalorización de zonas arqueológicas mediante el empleo de técnicas no destructivas: reunión científica, Mérida (Badajoz, España), 12-13 de junio de 2014* (pp. 211-222). Instituto Español de Arqueología.

Da Silva, C. J., y Cardozo, O. D. (2015). "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)." *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (16), 23-40.

Edeso Fito, J. M., Goikoetxea Zabaleta, I., Lopetegi Galarraga, A., Arévalo Muñoz, E., Orue, Íñigo, Zaldua, L. M., y Mujika Alustiza, J. A. (2016). Contribución al estudio de la distribución geográfica de los círculos funerarios de piedra (baratze, crómlech) en los Pirineos occidentales. *Zephyrus*, 77, 193-205. <https://doi.org/10.14201/zephyrus201677193205>

Fernández Fernández, J. (2011). Toponimia y Sistemas de Información Geográfica. Un ejemplo de su uso combinado en Arqueología del Paisaje. *Lletres Asturianas*, 104, 139-153.

Fernández Piñar, C. (2021). Construcción del paisaje en áreas de montaña. Arquitectura popular y explotación del territorio en el municipio de Gistaín. En I Simposio anual de Patrimonio Natural y Cultural ICOMOS España (pp. 387-395). Editorial Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/icomos2019.2020.11747>

Fondevilla, J. J., Rivera Jiménez, T., y Ampliato Briones, A. L. (2021). Implementación SIG de modelos analíticos predictivos del sistema castramental dispuesto por el concejo de Sevilla en torno a la Vía de la Plata en la Baja Edad Media. *Arqueología de la Arquitectura*, (18), e111. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.003>

- Gallant, J. C., y Dowling, T. I. (2003). A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. *Water Resources Research*, 39(12). <https://doi.org/10.1029/2002WR001426>
- García Casas, D. (2019). Arqueologia d'un territori d'alta muntanya del Prineu Central: persones, ramats i prats al llarg de la història al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Tesis Doctoral. Inédita. Univesridad Autónoma de Barcelona.
- García Sanjuán, L., Wheatley, D. W., Murrieta Flores, P., y Márquez Pérez, J. (2009). Los SIG y el análisis espacial en arqueología. Aplicaciones en la prehistoria reciente del sur de España. *Arqueología náutica mediterránea*, 163–180.
- Gassiot Ballbè, E., Clemente Conte, I., Mazzucco, N., Garcia Casas, D., Obea Gómez, L., y Rodríguez Antón, D. (2016). Surface surveying in high mountain areas, is it possible? Some methodological considerations. *Quaternary International*, 402, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.103>
- Goepel, K. D. (2013a). BPMSG AHP Excel Template with multiple Inputs. *Http://Bpmsg.Com Overview The*, 1–6.
- Goepel, K. D. (2013b). Implementing the analytic hierarchy process as a standard method for multi-criteria decision making in corporate enterprises—a new AHP excel template with multiple inputs. In *Proceedings of the international symposium on the analytic hierarchy process* (Vol. 2, No. 10, pp. 1–10). Kuala Lumpur, Malaysia: Creative Decisions Foundation Kuala Lumpur. <https://doi.org/10.13033/isahp.y2013.047>
- Grau Mira, I. (2006). La aplicacion de los SIG en la arqueología del paisaje. In Publicaciones de la Universidad de Alicante. Serie arqueológica Anejos a la Revista Lucentum; 15 Book.
- Hesse, R. (2016). Visualisierung hochauflösender Digitaler Geländemodelle mit LiVT. *3D-Anwendungen in Der Archäologie. Computeranwendungen Und Quantitative Methoden in Der Archäologie - Workshop Der AG CAA Und Des Exzellenz-Clusters TOPOI 2013*, 34, 109–128.
- Laborda, R., Villalba-Mouco, V., Lanau, P., Gisbert, M., Sebastián, M., Domingo, R., y Montes, L. (2017). El Puerto Bajo de Góriz (Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido). Ocupación y explotación de un paisaje de alta montaña desde la prehistoria hasta el siglo XX. *Bolskan*, 9–30.
- Lamelas, M. T. (2009). Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: Aplicación a la localización de suelo industrial. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 9(1578–5157), 28–66.
- Lamelas, M. T. (2012). Comparación de técnicas de evaluación multicriterio en sistemas de ayuda a la decisión espacial para la localización óptima de uso residencial. *Geographicalia*, 62, 89–114.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65.
- Martín León, F., y Rodríguez, F. J. (2003). ¿A qué distancia podemos llegar a ver las tormentas? Consideraciones sobre la dispersión de la luz en la atmósfera y contrastes (y II). *RAM. Revista Del Aficionado a La Meteorología*, 10.
- Mcfarland, J., y Cortes-Rincon, M. (2019). Mapping Maya Hinterlands: LiDAR Derived Visualization to Identify Small Scale Features in Northwestern Belize. *Humboldt Journal of Social Relations*, 41, 41–46.
- Montes Ramírez, L., Domingo Martínez, R., Sebastián López, M., y Lanau Hernández, P. (2016). Construyendo un paisaje. Megalitos, arte esquemático y cabañeras en el Pirineo central. *Arqueología y Prehistoria del interior peninsular*, 2016-102264).
- Montes, L., Sebastián, M., Domingo, R., Beguería, S., y García-Ruiz, J. M. (2020). Spatial distribution of megalithic monuments in the subalpine belt of the Pyrenees: Interpretation and implications for understanding early landscape transformation. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 33(July), 102489. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102489>
- Moraza Barea, A., Moro Deordal, J. I., y Múgica Alustiza, J. A. (2003). Contribución al estudio de las estructuras tumulares en arqueología: entre la similitud morfológica y la disparidad de funciones.

- Moschytz, G. S., y Horn, P. (1981). *Active filter design handbook*. John Wiley & Sons, Inc.
- Mujika Alustiza, J. A., Moraza Barea, A., Orue Beltrán de Heredia, Í., Zaldua Etxabe, L. M., Lopetegi Galarraga, A., Edeso Fito, J. M., [...] y Agirre García, J. (2023). *Estudio histórico del poblamiento, la evolución del paisaje y los usos en la sierra de Aralar*.
- Obón Zúñiga, A. y A. Berdejo Arcéiz (2016): Perspectivas para el estudio del poblamiento prehistorico en el Valle del Guarga (Huesca). En Actas del I Congreso de Arqueología y patrimonio de Aragón, 2015. Zaragoza (Colegio Oficial de Doctores y Ldos. en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón): 169-177.
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. ISBN: 978-1-71677-766-0. <https://volaya.github.io/libro-sig/>. Consultado el 15 de julio de 2021.
- Olivera, J., Martín, G., García, A., Salgado, E., Lopez, M., Estrada, R., y Campos, M. (2011). El uso de los SIG y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios de peligros de inundaciones en cuencas fluviales: caso de estudio: cuenca Guanabo, ciudad de La Habana. *Geoinfo*, 1–14.
- Pardina Morlanes, E. (2021). Técnicas de evaluación multicriterio y aplicación de filtros a MDT derivados de datos LiDAR para la localización a escala regional y local de estructuras megalíticas en La Val De Chistau (Huesca) (Trabajo de fin de máster, Universidad de Zaragoza). <https://zaguan.unizar.es/record/109151>
- Peñalver, X. (2005). Los crómlech pirenaicos. *Bolskan: Revista de arqueología del Instituto de Estudios Altoaragoneses*, (22), 11-349.
- Pérez Lambán, F. (2013). *Análisis espacial de entornos de yacimientos de La Edad del Bronce en La Huerva y El Jalón (Depresión Del Ebro)*. (Trabajo final de máster). Universidad de Zaragoza.
- Poirier, N., Baleux, F., y Calastrenc, C. (2020). The mapping of forested archaeological sites using UAV LiDaR. A feedback from a south-west France experiment in settlement & landscape archaeology. *Archéologies Numériques*, 4(2), 1–24. <https://doi.org/10.21494/iste.op.2020.0556>
- QGIS Association. (2021). QGIS 3.16. Geographic Information System User Guide. QGIS.Org. https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/index.html
- Rey, J. (2014). El final de la prehistoria en Sobrarbe. *Sobrarbe antes de Sobrarbe Pinceladas de historia de los Pirineos*, 71.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176.
- Saaty, T. L. (1990). An Exposition of the AHP in Reply to the Paper “Remarks on the Analytic Hierarchy Process.” *Management Science*, 36(3), 259–268. <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.3.259>
- Saaty, T. L. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 85–91. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00227-8)
- Tévar, G. (1996). La cuenca visual en el análisis del paisaje. *Serie Geográfica*, 6(1), 99–113.
- Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis. *Poster Presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA, 64*, 227–245.
- Zakšek, K., Oštir, K., y Kokalj, Ž. (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing*, 3(2), 398–415. <https://doi.org/10.3390/rs3020398>

APÉNDICE 1

Tabla A1. Resultados de los análisis espaciales realizados en la muestra. Círculos de piedra identificados en 2019, ETRS89/UTM zone 31NFuente. Elaboración propia a partir de los datos de *De la Roca al Metal*, (Berdejo Arcéiz et al. 2021)

Círculo	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)	Pendiente (%)	Exp. Vis. (5km)	Índice de visibilidad (%)	Cercanía a Vías Pecuarias (m)	Cercanía a Senderos (m)	Cercanía a barrancos y ríos (m)	Cercanía a ibones (m)	Índice TPI	Índice MRVBF	Índice MRRTF
Zona de Sahún													
S-C1	286670	4716503	2.001	6	7,6	7	270	286	1114	0,21	0,05	1,95	
S-C2	286687	4716493	1.999	8	7,1	23	289	275	1095	0,18	0,02	1,95	
S-C3	287200	4716288	1.978	8	6,2	6	807	151	657	0,12	2,24	1,70	
S-C4	287290	4716314	1.974	7	8,5	25	868	64	660	0,25	0,01	2,82	
S-C5	286615	4716532	2.013	12	10,3	38	209	246	1172	0,31	0,02	1,92	
S-C6	286590	4716583	2.007	14	11,1	34	168	210	1227	0,21	0,03	1,90	
S-C7	286541	4716663	2.005	7	9,7	56	82	166	1319	0,09	0,04	2,94	
		promedio	1.997	9	8,64	27	384	200	1035	0,20	0,34	2,17	
		mínimo	1.974	6	6,20	6	82	64	657	0,09	0,01	1,70	
		máximo	2.013	14	11,10	56	868	286	1319	0,31	2,24	2,94	
		mediana	2.001	8	8,50	25	270	210	1114	0,21	0,03	1,95	
Zona de Labasar													
L-C1	279542	4715020	1.922	8	5,8	27	5	308	1299	0,03	0,28	2,62	
L-C2	279549	4715016	1.923	7	5,6	23	1	301	1292	0,10	0,04	2,80	
L-C3	279556	4715018	1.923	9	5,1	26	8	294	1289	0,07	0,06	2,28	
L-C4	279580	4715047	1.926	5	12	59	34	264	1297	0,18	0,00	2,99	
L-C5	279546	4715066	1.923	10	9,7	55	2	295	1333	0,18	0,22	1,86	
L-C6	279565	4715043	1.925	9	9,6	51	19	280	1303	0,17	0,02	2,94	
L-C7	279523	4714998	1.920	10	5,2	6	30	325	1294	-0,04	1,52	1,02	
L-C8	279524	4714999	1.920	10	5,2	7	29	324	1294	-0,04	1,52	1,02	
		promedio	1.923	8	7,275	32	16	299	1300	0,08	0,46	2,19	
		mínimo	1.920	5	5,1	6	1	264	1289	-0,04	0,00	1,02	
		máximo	1.926	10	12	59	34	325	1333	0,18	1,52	2,99	
		mediana	1.923	9	5,7	26	14	298	1296	0,08	0,14	2,45	
Zona de La Poma- Piedra Blanca													
LP-C1	279595	4720829	1.909	5	9,9	22	398	249	825	0,40	0,00	2,91	
LP-C2	279631	4720787	1.903	18	8,3	34	445	222	777	0,30	0,03	1,05	
LP-C3	279663	4720777	1.905	6	10,3	62	479	196	743	0,20	0,00	2,94	
LP-C4	279674	4720772	1.905	14	10,1	74	491	188	731	0,34	0,02	1,88	

Evaluación multicriterio para la localización de estructuras megalíticas en la Val de Chistau (Huesca)

LP-C5	279671	4720784	1.905	17	10,2	63	484	186	738	0,32	0,04	1,76
LP-C6	279491	4720367	1.866	13	10,3	194	359	347	891	0,34	0,03	1,91
LP-C7	280193	4721105	1.918	7	12,6	328	987	253	590	0,34	0,00	1,98
LP-C8	280389	4720336	1.809	12	14	303	1228	293	188	0,30	0,04	1,80
LP-C9	280384	4720359	1.810	8	14,2	283	1219	273	165	0,28	0,01	1,98
LP-C10	280382	4720365	1.810	3	14,2	278	1215	269	159	0,08	0,01	2,03
LP-C11	280380	4720367	1.810	3	14,3	277	1213	268	157	0,08	0,01	2,03
LP-C12	280379	4720371	1.810	4	13,6	273	1211	265	153	0,08	0,04	1,97
LP-C13	280373	4720376	1.810	4	12,9	270	1204	263	148	0,05	0,21	2,80
LP-C14	280375	4720386	1.809	5	14	260	1205	253	138	0,07	0,05	2,48
LP-C15	280371	4720389	1.809	7	13,2	259	1200	252	135	0,04	0,19	2,80
		promedio	1.852	8	12,14	199	889	252	436	0,21	0,05	2,15
		mínimo	1.809	3	8,3	22	359	186	135	0,04	0,00	1,05
		máximo	1.918	18	14,3	328	1228	347	891	0,40	0,21	2,94
		mediana	1.810	7	12,9	260	1200	253	188	0,28	0,03	1,98
	promedio en el territorio		1.905	8	10	114	539	252	806	0,17	0,23	2,17
	mínimo en el territorio		1.809	3	5	6	1	64	135	-0,04	0,00	1,02
	máximo en el territorio		2.013	18	14	328	1228	347	1333	0,40	2,24	2,99
	mediana en el territorio		1.919	8	10	56	421	265	801	0,18	0,03	1,98

Tabla A2. Identificación de elementos durante la fase de verificación (Trabajo de campo 23-25 de octubre de 2021). ETRS89/UTM zone 31N

Fuente. Elaboración propia

Interpretación	Zona	Ø círculo (m)	Comentario	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)	Valor de probabilidad EMC
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Necesaria excavación	279507	4721415	2.037	3,61
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Necesaria excavación	279501	4721427	2.037	3,21
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Necesaria excavación	279514	4721422	2.038	3,61
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons	6,8	Necesaria excavación	279531	4721617	2.081	2,14
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons	6,3	Necesaria excavación	279179	4721639	2.065	2,88
Estructura antrópica	La Codera-Escubillons		Indeterminado	279042	4721839	2.086	3,15

Interpretación	Zona	Ø círculo (m)	Comentario	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)	Valor de probabilidad EMC
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Posibles crómlech enlazados (parecido a las saleras), o restos de estructuras agropecuarias	279045	4721824	2.086	3,46
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Posibles crómlech enlazados (parecido a las saleras), o restos de estructuras agropecuarias	279040	4721812	2.085	3,46
Estructura antrópica	La Codera-Escubillons		Indeterminado	279047	4721792	2.083	3,00
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Necesaria excavación	279036	4721804	2.084	3,59
Mojón	La Codera-Escubillons		Mojón desmontado	278463	4721960	2.122	3,00
Estructuras negativas	La Codera-Escubillons		Posibles impactos de artillería de la Guerra Civil	278451	4721959	2.119	1,95
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Necesaria excavación	278725	4722423	2.222	2,51
Estructura antrópica	La Codera-Escubillons		Interpretación compleja por geomorfología. Piedras hincadas en círculo en pendiente muy pronunciada	278743	4722417	2.219	2,09
Círculo de piedra	La Codera-Escubillons	3,9	Diámetro 3,90 interior, parece que tiene círculo exterior	278968	4722572	2.287	3,18
Círculo de piedra	La Codera-Escubillons	2,92	Adyacente al anterior	278965	4722571	2287	2,43
Estructura antrópica	La Codera-Escubillons		Estructura militar	278568	4723089	2.416	3,70
Estructura antrópica	La Codera-Escubillons		Indeterminado	279194	4722581	2.363	2,43
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Necesaria excavación	279210	4722583	2.364	3,73
Estructura antrópica	La Codera-Escubillons		Estructura militar. Posible puesto de tiro Guerra Civil	279204	4722559	2.361	2,37
Estructura antrópica	La Codera-Escubillons		Estructura militar. Posible puesto de tiro Guerra Civil	279448	4722557	2.338	3,20
Mojón	La Codera-Escubillons		Mojón de muy grandes dimensiones	279540	4722112	2.272	2,58
Estructura antrópica	La Codera-Escubillons		Cabaña derruida	279661	4722122	2.255	2,06
Posible círculo de piedra	La Codera-Escubillons		Necesaria excavación	279788	4721909	2.159	2,58
Estructura antrópica	Viadós-Las Espadas		Ruina, Indeterminado	285700	4726382	1.713	3,76

Evaluación multicriterio para la localización de estructuras megalíticas en la Val de Chistau (Huesca)

Interpretación	Zona	Ø círculo (m)	Comentario	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)	Valor de probabilidad EMC
Estructura antrópica	Viadós-Las Espadas		Indeterminado	285669	4726333	1.700	3,90
Estructura antrópica	Viadós-Las Espadas		Indeterminado	285399	4726177	1.711	3,01
Posible círculo de piedra	Viadós-Las Espadas		Necesaria excavación, tiene árboles en su interior	285408	4726172	1.712	3,84
Posible dolmen	Viadós-Las Espadas		Necesaria excavación	285402	4726143	1.712	4,15
Posible túmulo	Viadós-Las Espadas		Otra construcción encima, necesaria excavación	285454	4725984	1.758	3,05
Estructura antrópica	Viadós-Las Espadas		Indeterminado	285580	4725868	1.809	2,63
Estructura antrópica	Viadós-Las Espadas		Caseta derruida	285611	4725805	1.811	3,51
Estructura antrópica	Viadós-Las Espadas		Caseta derruida	285499	4725705	1.835	3,34
Posible círculo de piedra	Virgen Blanca		Necesaria excavación	284464	4726420	1.567	3,89
Posible círculo de piedra	Virgen Blanca		Necesaria excavación	284469	4726419	1.567	3,89
Posible círculo de piedra	Virgen Blanca		Necesaria excavación	284294	4726390	1.556	4,03
Círculo de piedra	Virgen Blanca	6,3	Le falta la mitad del anillo	284260	4726302	1.552	4,07
Posible círculo de piedra	Virgen Blanca		Necesaria excavación	284275	4726307	1.553	3,93
Posible círculo de piedra	Virgen Blanca		Es un montículo que bordea árboles, necesaria excavación	284195	4726248	1.550	3,97
Posible círculo de piedra	Els Plans		Necesaria excavación	284124	4726000	1.541	4,04
Círculo de piedra	Els Plans	8,1		283996	4725922	1.537	4,13
Estructura antrópica	Las Corcillas		Indeterminado	282295	4721065	1.261	3,72
Posible Menhir	Esmolins		Necesaria excavación	277000	4717232	1.089	3,21
Estructura antrópica	Esmolins		Indeterminado	277015	4717200	1.087	3,23
Estructura antrópica	Esmolins		Indeterminado, rocas cubiertas de manto vegetal	276993	4717212	1.087	3,71
Bloque de roca	Esmolins		Tiene hueco debajo parece natural	277016	4717166	1.090	3,08
Estructura antrópica	Esmolins		Viejo camino o linde de campo	277044	4717200	1.094	1,87

Interpretación	Zona	Ø círculo (m)	Comentario	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)	Valor de probabilidad EMC
Estructura antrópica	Esmolins		Refugio	277077	4717235	1.102	1,92
Cueva	El Collet			278048	4716974	1.443	2,18