

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

## ANÁLISIS ESPACIAL DE ENTORNOS DE YACIMIENTOS DE LA EDAD DEL BRONCE EN LA HUERVA Y EL JALÓN (DEPRESIÓN DEL EBRO)

*Autor: Fernando Pérez Lambán*

*Director: Enrique Ruiz Budría*

Máster Universitario en  
Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección

Noviembre de 2013



Departamento de Geografía  
y Ordenación del Territorio



## Resumen

*En este trabajo se presenta un estudio de las relaciones entre yacimientos de la Edad del Bronce y sus entornos. Los casos analizados pertenecen a los cursos bajos de los ríos Huerva y Jalón, en el sector central de la Depresión del Ebro (NE de España). La primera parte del trabajo muestra los procedimientos de modelización de las variables seleccionadas para el estudio. Esta modelización se realiza en un Sistema de Información Geográfica generado y gestionado en ArcGIS y se basa fundamentalmente en la topografía y la geomorfología, pero con una interpretación en clave paleoambiental para algunas variables. Una vez modelizadas las variables y tomados sus valores, en la segunda parte éstos se analizan mediante estadística multivariante por medio de análisis de componentes principales y agrupación (cluster). En este análisis estadístico, las variables modelizadas se dividen en grupos: topográficas, geomorfológicas, de suelos y riesgos, de control y defensa. Finalmente, se ofrece una valoración de la metodología empleada y de los resultados obtenidos.*

**Palabras Clave:** *Sistemas de Información Geográfica, Arqueología Espacial, Análisis de Componentes Principales, Edad del Bronce, Depresión del Ebro.*

## Abstract

*This study presents the analysis of the relations between archaeological sites from the Bronze Age and their environments. The cases studied here belong to the lower courses of the rivers Huerva and Jalon, in the central sector of the Ebro Basin (NE Spain ). The first part of the study presents the modelling procedures of the variables selected for the analysis. This modelling is done in a Geographic Information System generated and managed in ArcGIS and is mainly based on the topography and geomorphology, but with a paleoenvironmental interpretation in some variables. In the second part of the study the values taken from the modelled variables are analyzed by means of multivariate statistics using principal components analysis and grouping (cluster). In these statistical analyses, the modelled variables are divided into groups: topographical, geomorphological, soil and risks, control and defence. Finally, it provides a review of the methodology used and the results obtained.*

**Key Words:** *Geographic Information Systems, Spatial Archaeology, Principal Component Analysis, Bronze Age, Ebro Basin.*

## Índice

1.	Introducción .....	pág. 1
1.1.	Planteamiento.....	pág. 1
1.2.	Objetivos .....	pág. 4
1.3.	Marco temporal y espacial .....	pág. 5
1.4.	Metodología general.....	pág. 9
1.4.1.	Fases de trabajo .....	pág. 9
1.4.2.	El <i>entorno</i> como unidad de análisis .....	pág. 10
2.	Fuentes utilizadas y su tratamiento .....	pág. 11
2.1.	Los yacimientos.....	pág. 11
2.2.	La topografía: el MDT (Modelo Digital del Terreno) .....	pág. 16
2.3.	La geomorfología.....	pág. 19
2.4.	La hidrografía .....	pág. 22
3.	Rasgos topográficos .....	pág. 24
3.1.	La altitud absoluta .....	pág. 24
3.2.	El rango y la desviación altitudinal y el desnivel .....	pág. 25
3.3.	La prominencia del yacimiento en el entorno .....	pág. 25
3.3.1.	La altitud relativa .....	pág. 25
3.3.2.	La superficie dominada .....	pág. 27
3.3.3.	La prominencia efectiva.....	pág. 28
3.3.4.	Correlación entre variables de la prominencia.....	pág. 29
3.4.	La rugosidad .....	pág. 31
4.	Rasgos temáticos.....	pág. 38
4.1.	La distancia a la red hidrográfica .....	pág. 38
4.2.	Clases geomorfológicas .....	pág. 38
4.3.	Tipos de suelos y riesgos por actividad agropecuaria .....	pág. 39
5.	La movilidad .....	pág. 43
5.1.	La modelización de la movilidad.....	pág. 43
5.1.1.	La vegetación .....	pág. 44
5.1.2.	La topografía .....	pág. 45
5.2.	El cálculo y el análisis de la movilidad focal .....	pág. 52
5.2.1.	La superficie de costes o de fricción .....	pág. 53
5.2.2.	La superficie de costes de movimiento acumulados .....	pág. 53
5.2.3.	La isocrona tipo de 45 minutos y su análisis.....	pág. 57
5.2.4.	La superficie de Costes Acumulados Relativos (CAR) y su análisis .....	pág. 61
5.2.5.	Correlación entre variables de la movilidad focal.....	pág. 63
6.	La visibilidad .....	pág. 65
6.1.	Las cuencas visuales .....	pág. 68
7.	La defensa.....	pág. 70
8.	Determinación de patrones de asentamiento .....	pág. 77
8.1.	Metodología: Análisis multivariante .....	pág. 77
8.2.	La relación con el entorno.....	pág. 85
8.2.1.	Caracterización geomorfológica del entorno .....	pág. 85
8.2.2.	Caracterización de suelos y riesgos .....	pág. 93
8.2.3.	Caracterización del control sobre el entorno .....	pág. 102
8.3.	Las condiciones defensivas .....	pág. 111
8.3.1.	La zona de ataque/defensa: condiciones defensivas próximas.....	pág. 112

---

8.3.2.La zona de acceso: condiciones defensivas lejanas.....	pág. 115
8.3.3.Clasificación combinada de las condiciones defensivas .....	pág. 119
8.3.4.Valoración cronológica .....	pág. 120
9. Discusión y conclusiones.....	pág. 124
9.1. Discusión sobre la pertinencia de las variables y los métodos utilizados.....	pág. 124
9.1.1.Las variables .....	pág. 124
9.1.2.Los métodos.....	pág. 126
9.2. Visión diacrónica de los patrones de asentamiento .....	pág. 127
9.2.1.Calcolítico Final .....	pág. 127
9.2.2.Bronce Antiguo .....	pág. 128
9.2.3.Bronce Medio .....	pág. 128
9.2.4.Bronce Tardío .....	pág. 129
9.2.5.Bronce Final y Hierro I .....	pág. 129
9.3. Consecuencias de las transformaciones del paisaje para la in- terpretación y visibilidad del registro arqueológico.....	pág. 129
9.4. Conclusiones finales.....	pág. 132
10. Bibliografía .....	pág. 134

---



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento

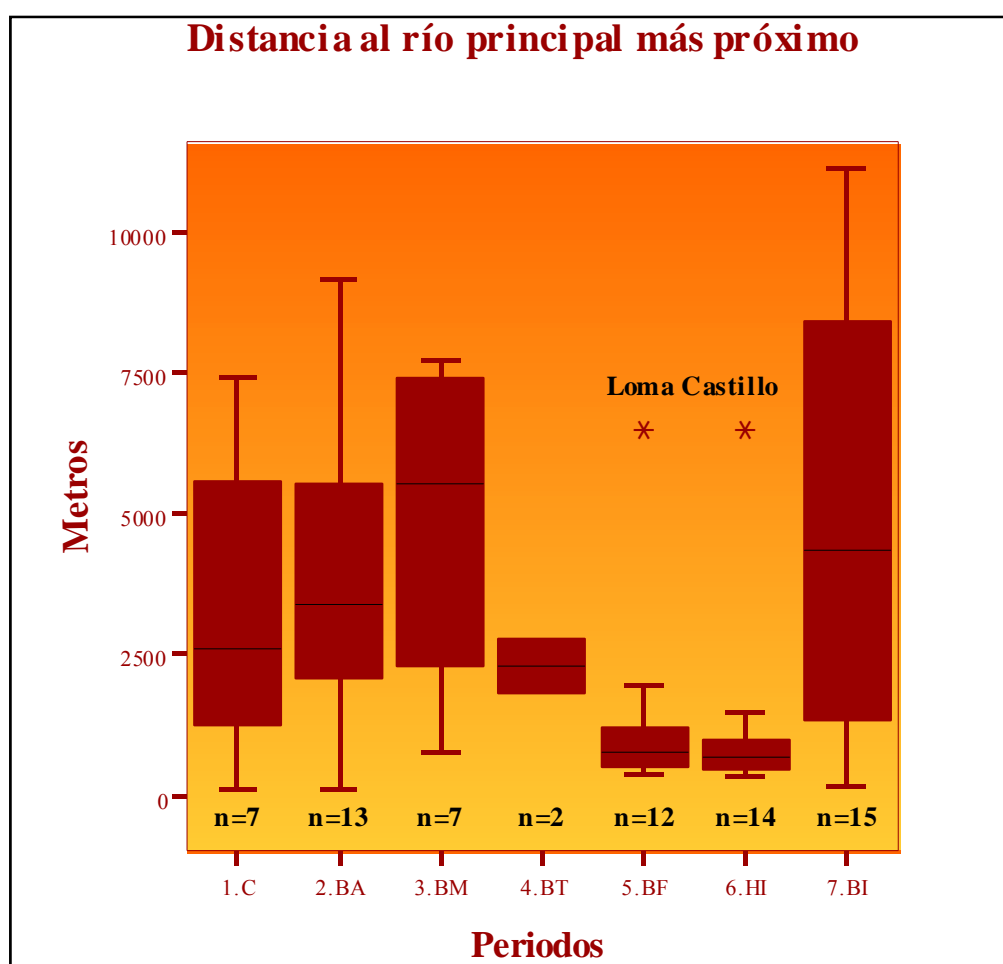
Este trabajo presenta un ensayo de análisis espacial de la relación entre yacimientos de la Edad del Bronce y sus entornos en los cursos bajos de la Huerva y el Jalón. La necesidad de este estudio se originó durante la prospección arqueológica del territorio de los citados valles, iniciada en 2007 (Pérez-Lambán *et al.* 2011) y que permitió la elaboración de mi tesis doctoral (Pérez-Lambán 2013). Fruto de esta exploración del territorio, de la bibliografía y de numerosos informes técnicos de prospecciones de gestión (construcción de infraestructuras y planificación urbana) se ha incrementado notablemente el número de yacimientos de la Edad del Bronce conocidos en la zona, lo cual obliga a replantear la dinámica diacrónica del poblamiento de la prehistoria reciente en la zona.

El modelo anteriormente vigente para explicar este poblamiento fue formulado por Francisco Burillo (1980, 1981), quien básicamente observó que en el valle de la Huerva, los yacimientos de la Edad del Bronce (sin periodización interna) ocupaban posiciones elevadas, y por tanto generalmente asociadas a las planas y cerros formados por las calizas miocenas, mientras que los yacimientos de la Edad del Hierro se ubicaban preferiblemente en posiciones cercanas a la llanura aluvial. Este cambio además se ponía en relación con presuntas migraciones de poblaciones centroeuropeas “hallstatticas” que suponían un aporte poblacional con diferentes estrategias de explotación del territorio y que configurarían la denominada “Cultura de los Campos de Urnas”. La explicación del fenómeno ha quedado claramente superada por visiones más modernas y complejas del proceso histórico, pero el hecho en sí del cambio de ubicación de los asentamientos es fácilmente comprobable representando en un diagrama de cajas por periodos la distancia de los yacimientos a los ríos principales (*figura 1*). Exceptuando el valor extremo de la Loma del Castillo (Longares), los valores mayores para el Bronce Final y Hierro I están por debajo de la mediana de todos los periodos anteriores. Y su rango intercuartil queda por debajo del primer cuartil de los periodos anteriores. Sin embargo hay casos entre el Calcolítico Final y el Bronce Tardío (por debajo de su primer cuartil) situados tan cerca del río como los del Bronce Final y Hierro I, por lo que no es una variable completamente discriminante. Dentro de los yacimientos del Calcolítico Final y del Bronce se intuye un progresivo alejamiento de los ríos, tendencia que cambia en el Bronce Tardío (aunque en este periodo lo exiguo de la muestra obliga a extremar la prudencia) y sobre todo en el Bronce Final. No obstante la amplitud de las cajas de los tres primeros periodos indica que hay una gran variabilidad dentro de ellos, y además todos tienen valores extremos similares. Por ello en el caso de los yacimientos del Calcolítico Final al Bronce Medio o Tardío esta variable no es tan significativa como para los periodos siguientes. Pese a todo se puede establecer la siguiente conclusión: la distancia al río marca un patrón para los yacimientos del Bronce Final y Hierro I (cerca del 75 % están a menos de 1 km) y también, aunque con mayor indefinición, para los anteriores (más del 75 % están a más de 1 km).

Como ya se ha indicado, las investigaciones posteriores, especialmente la prospección iniciada en 2007 por Jesús Picazo, Javier Fanlo y Fernando Pérez Lambán, pusieron de relieve que el modelo era más complejo, especialmente para los distintos periodos de la Edad del Bronce (Pérez-Lambán 2011), pues junto a los típicos yacimientos en posiciones elevadas, hay otros emplazamientos en laderas y en las llanuras. Así pues la relación de los patrones de asentamiento con la topografía y la geomorfología es más compleja y debe ser correctamente descrita e interpretada. Además la reconstrucción paleoambiental de la zona de estudio (Pérez-Lambán 2013; Pérez-Lambán *et al.* en prensa) implica una serie de cambios importantes en el clima, la vegetación y la disponibilidad de suelos fértiles que han de ser

tenidos en cuenta a la hora de valorar estos patrones de asentamiento. En definitiva, al modelo inicial se suman otras hipótesis que van a ser exploradas:

- Las ubicaciones de los asentamientos de la Edad del Bronce presentan una variabilidad mayor que la inicialmente propuesta, y esta variabilidad posiblemente guarda relación con cambios diacrónicos en las estrategias de implantación sobre el territorio.
- Desde el punto de vista paleoambiental, esta variabilidad a lo largo de la Edad del Bronce y luego en la Edad del Hierro implica una relación de los yacimientos con diferentes tipos de terreno (topografía, suelo...) que exigen diferentes formas de explotación del mismo. Se propone que los asentamientos en alto de la Edad del Bronce están asumiendo unos riesgos erosivos que no sufren los yacimientos en posiciones más llanas. Luego, los poblados de la Edad del Hierro asumen nuevos riesgos, ahora derivados del dinamismo fluvial.
- La variabilidad de los patrones de asentamiento en cada momento también implica diferencias en la relación que se establece entre cada yacimiento y su entorno en términos de defensa y control (accesibilidad, visibilidad y prominencia – hacerse presente en el paisaje). Cuando defensa y control son factores importantes en la definición del patrón de asentamientos, éste es el resultado de una dialéctica entre estas necesidades y la búsqueda de la proximidad a los terrenos adecuados para la cultura de explotación del territorio.



**Figura 1.** Diagrama de cajas que muestra la distancia a los ríos principales de los yacimientos por periodos a través de la distribución de los cuartiles. C- Calcolítico Final; BA- Bronce Antiguo; BM- B. Medio; BT- Bronce Tardío; BF- Bronce Final; HI- Primera Edad del Hierro; BI- B. Indeterminado.

Para estudiar estas cuestiones en este trabajo, en consonancia con las propuestas metodológicas de la Arqueología Espacial, se propone caracterizar geográficamente los entornos de los yacimientos para buscar las afinidades y diferencias de sus características en cada periodo y a través del tiempo. Es de-

cir, se pretende establecer los rasgos territoriales fundamentales de cada yacimiento para agrupar los casos similares y poder diferenciar así patrones y los cambios diacrónicos de los mismos. Esta propuesta parte de la noción más amplia de patrón locacional. Éste es el comportamiento recurrente en el emplazamiento de un fenómeno en relación a distintos factores geográficos<sup>1</sup> (Sebastián López 2011, 63). El fenómeno investigado en este caso son los asentamientos de la Edad del Bronce. Lo que queda por definir es qué relación guardan con qué factores geográficos.

Nótese que lo que se busca en el fondo es una clasificación (patrón) de los yacimientos en función de las características de su entorno (factores geográficos) y no por su morfología (tamaño, forma, estructuras...). Ambas aproximaciones son complementarias pero no deben confundirse pues exploran cuestiones ligeramente diferentes y están sujetas a distintas limitaciones. Un patrón morfológico responde a cómo debe ser un lugar de asentamiento; un patrón locacional responde a dónde debe estar un lugar de asentamiento, cómo debe ser la zona y cuáles deben ser las relaciones topológicas entre ésta y el lugar elegido. Un patrón de asentamiento óptimo atenderá a ambas cuestiones, resultará del cruce de un patrón morfológico y un patrón locacional. Sin embargo, en el sector central de la Depresión del Ebro los yacimientos prehistóricos han sufrido tales procesos erosivos que resulta imposible encontrar una muestra suficiente de yacimientos convenientemente conservados para el estudio morfológico. Es por ello que se echará en falta en este trabajo alguno de los índices propuestos en otros anteriores que con similares premisas han establecido patrones de asentamiento (Burillo Mozota y López Romero 2005-2006; Nocete Calvo 1994). Lógicamente en los últimos 4000 años el paisaje de la zona también ha cambiado notablemente, por lo que los entornos de los yacimientos han sido profundamente transformados dificultando, que no imposibilitando, el estudio del patrón locacional.

La Arqueología Espacial se interesa tanto por el asentamiento (fenómeno pasado resultado de un comportamiento social) como por el yacimiento (fenómeno presente resultado la acción de procesos de transformación sobre un asentamiento u otro lugar de actividad humana). La misma distinción e interés rige para el contexto ambiental presente y pasado. Por tanto, el estudio del yacimiento en relación al paisaje actual y sus procesos generatrices es interesante para conocer el proceso de formación y transformación del yacimiento. Por otro lado, el estudio evolutivo del paisaje permite esbozar una reconstrucción paleoambiental del entorno de los yacimientos y así realizar una aproximación a la relación asentamiento-paleopaisaje (Peña-Monné *et al.* 2005a; Pérez-Lambán 2013; Pérez-Lambán *et al.*

---

<sup>1</sup> Evidentemente, un patrón de comportamiento humano y social depende de más factores además de los geográficos. Estos otros factores generalmente se agrupan bajo el término “culturales” – como si la relación entre el humano y el medio no fuera también cultural – y engloban cuestiones tan difíciles de conocer en prehistoria como la tradición, la religión, el hábito, la coerción... El registro arqueológico de la Edad del Bronce en la Depresión del Ebro es particularmente parco en informaciones sobre estos aspectos. Ciertamente existe la posibilidad de extrapolar información sobre estos factores inmateriales desde otras regiones mejor conocidas durante la Edad del Bronce, como el Bronce Egeo, como se hace frecuentemente en las síntesis de alcance europeo (por ejemplo, Harding 2003). Otra opción es la extrapolación temporal, desde grupos humanos que viven periodos mejor conocidos que la Edad del Bronce pero que despliegan una cultura material que nos hace considerar que guardan cierta afinidad con la sociedad que estudiamos. Este es el caso de la comparación etnográfica. Como normalmente este grupo humano de referencia, además de pertenecer a otro periodo, pertenece a otro espacio geográfico, la extrapolación es tanto espacial como temporal en el caso de la comparación etnográfica. Sin pretender negar la utilidad de estas extrapolaciones, considero que hay que ser muy prudente con ellas. El estudio de sociedades lejanas en el tiempo y/o en el espacio amplía nuestro repertorio mental de fenómenos sociales y sus relaciones, pero éstos no pueden aplicarse como claves directas para interpretar una sociedad ajena a ellos. Pero volvamos al patrón de asentamiento. Si éste se explica por factores geográficos y “culturales”, y sólo los primeros son en parte observables, ¿cómo puede acometerse su estudio? La respuesta es doble: el estudio ha de hacerse de manera parcial y puede beneficiarse de un enfoque sistémico. Entendiendo el patrón de asentamientos como un sistema, los distintos factores geográficos y “culturales” quedan interrelacionados más o menos directamente. Así, por un lado, es perfectamente legítimo plantearse el estudio de una parte de un sistema, si ésta se define con coherencia (subsistema). En este caso es el medio físico con el que se relaciona el yacimiento y el modo en que se produce esta relación. Por otro lado, dado que las diferentes partes de un sistema y los subsistemas que lo componen están interrelacionados, es posible que un estudio parcial incremente el conocimiento o las posibilidades de conocimiento de las partes para las que no se tiene suficiente información. Por tanto, dadas las observaciones sobre los yacimientos de la Edad del Bronce y el conocimiento que se tiene del medio físico y su evolución holocena, además de plantear qué relaciones y con qué factores, hay que preguntar qué nos dice todo esto de otros factores.

en prensa). Es por ello que, pese a la degradación del paisaje en la Depresión del Ebro, siga siendo no sólo lícito sino necesario abordar el estudio de los patrones locacionales de la prehistoria reciente.

Además de la oportunidad y posibilidad de analizar el patrón locacional, hay una razón cardinal para hacerlo. El entorno de los yacimientos no puede ser desatendido porque en él las comunidades que los poblaron efectuaron muchas de sus actividades subsistenciales y sociales (Burillo Mozota *et al.* 1993) y porque él constituye una buena parte del universo mental individual y colectivo (Chapman 1997). Si la importancia del medio era fundamental para la comunidad es evidente que determinará en buena medida la elección del lugar donde vivir. Por ello el análisis del medio, limitado aquí por el concepto entorno (radio de 3 km), siempre que sea posible no debería faltar en ningún intento de establecimiento de un patrón de asentamiento.

En el desarrollo del planteamiento expuesto hasta aquí, han sido fundamentales tanto el Sistema de Información Geográfica como la estadística multivariante. El primero ha constituido la herramienta imprescindible, por un lado, para integrar la información arqueológica y la geográfica y, por otro lado, para modelizar las variables introducidas en la estrategia analítica. La estadística multivariante ha sido empleada para analizar conjuntamente el volumen de datos generados en este estudio, identificando las variables más preponderantes y estableciendo agrupaciones de yacimientos con entornos similares. Todo ello se describe detalladamente en los capítulos que siguen estas líneas. Cada uno de ellos presenta una serie de problemas y las soluciones adoptadas.

En primer lugar (*capítulo 2*) expongo los datos de partida y su origen. Esto es necesario pues están en la base de todos los análisis posteriores y por tanto marcan el máximo de calidad alcanzable.

Luego planteo los factores geográficos o rasgos del paisaje que son tenidos en cuenta para la confección del patrón de asentamiento, agrupados en 4 capítulos (3 a 7): rasgos topográficos, temáticos, movilidad, visibilidad y condiciones defensivas. Para cada uno de los rasgos ofrezco una justificación de su inclusión, una explicación del problema que plantea y las soluciones adoptadas para representarlos en un modelo y extraer de él los valores o índices que los describan (descriptores cuantitativos).

En el capítulo octavo analizo los valores e índices obtenidos en los capítulos anteriores para conocer cuáles son los patrones de asentamiento y qué rasgos los definen. Estos valores e índices conforman un conjunto de variables bastante grande, pero su análisis se realiza por grupos de variables que se relacionan con aspectos concretos de los yacimientos y su entorno: la geomorfología, los suelos y sus riesgos, las relaciones yacimiento/entorno en términos de control y las condiciones naturales de defensa de los yacimientos. El tratamiento estadístico multivariante de estos subconjuntos busca explorar la existencia de tendencias y estructuras subyacentes en los datos, para lo que se recurre a la combinación de técnicas de análisis factorial y de conglomerados jerárquicos.

Por último en el capítulo noveno ofrezco una valoración de los patrones y una interpretación del significado de los rasgos que más intervienen en su definición.

## 1.2. Objetivos

En consonancia con el planteamiento expuesto, este trabajo se fija los siguientes objetivos:

- Buscar los medios para modelizar y analizar las variables que se consideran pertinentes al problema fundamental de este trabajo: representar la relación entre los yacimientos/asentamientos y el paisaje dentro de un estudio geoarqueológico.
- Establecer cuáles son los factores geográficos que determinan los fenómenos del asentamiento y del yacimiento.
- Definir las recurrencias o patrones que se dan entre los asentamientos y los factores geográficos de su entorno.
- Construir una visión diacrónica de la evolución de estos patrones.
- Valorar las consecuencias de las transformaciones del paisaje para el registro arqueológico.

### 1.3. Marco temporal y espacial

El estudio realizado en este trabajo con los objetivos antedichos abarca desde el Calcolítico Final hasta la Primera Edad del Hierro, esto es, aproximadamente desde el 2500 cal BC al 500 cal BC<sup>2</sup>. Como ya se ha dicho, uno de los objetivos del trabajo ha sido fijar una periodización para ese lapso temporal y otorgar una cronología lo más precisa posible a los yacimientos. Para ello se ha partido de la hipótesis de que la zona de estudio, ubicada en el sector central de la Depresión del Ebro, tendría una dinámica similar a la de otras zonas del interior del noreste peninsular. Más concretamente, en función de las similitudes inicialmente observadas entre los materiales arqueológicos de la zona de estudio y los del Sistema Ibérico turolense y por disponer de una buena seriación cronológica y tipológica para esa zona, en este trabajo se asumió inicialmente la periodización y criterios cronológicos allí establecidos (Burillo Mozota y Picazo Millán 1991-1992, 1994-1996, 1997; Picazo Millán 1993, 1999-2000). Esta hipótesis se vio confirmada en lo fundamental, aunque los límites precisos entre periodos pudieron ser matizados gracias a los estudios de materiales y una serie de 35 dataciones radiocarbónicas provenientes tanto de trabajos previos (Picazo Millán y Rodanés Vicente 2009) como del desarrollo de la tesis doctoral en que se inscribe este trabajo (Pérez-Lambán 2013). En dicha tesis hay una discusión y justificación más extensa de la periodización utilizada en este trabajo. Baste aquí exponer sucintamente los periodos que se han manejado para mayor comodidad de la lectura de las páginas que siguen:

- Calcolítico Final: 2500-2100 cal BC
- Bronce Antiguo: 2100-1900 cal BC
- Bronce Medio: 1900-1500/1400 cal BC
- Bronce Tardío: 1500/1400-1000 cal BC
- Bronce Final y Hierro I: 1000-500 cal BC

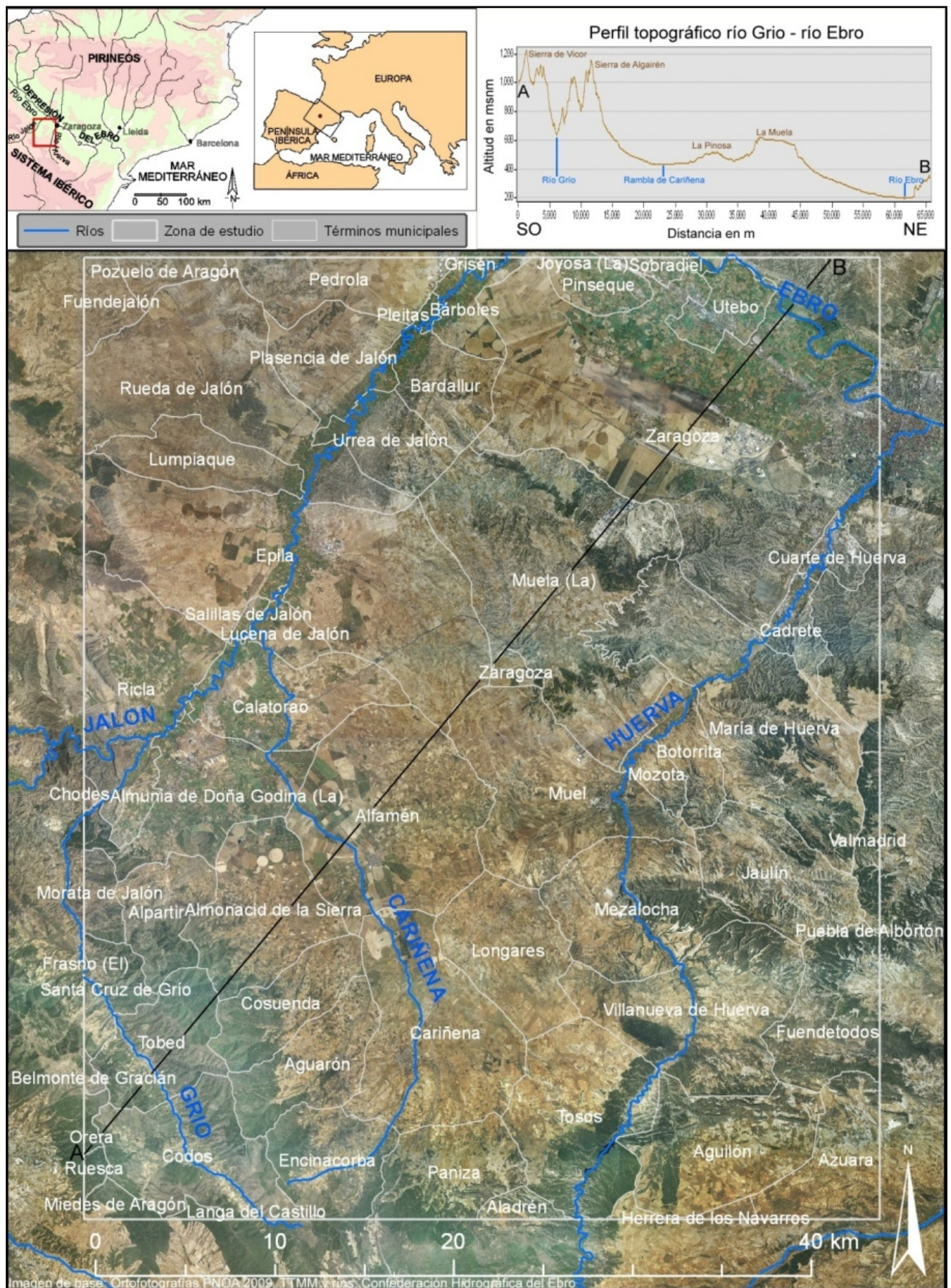
Como ya se ha mencionado, en este trabajo se estudia los cursos bajos de los ríos Huerva y Jalón, por lo que la zona de estudio se ubica en la margen derecha del sector central de la Depresión del Ebro. A partir de ahí la delimitación precisa de la zona de estudio se podría haber realizado fácilmente con un criterio meramente geográfico: las partes de las cuencas de dichos ríos que coincide con el relieve terciario de la depresión. Sin embargo, esta definición crea una zona de estudio irregular y no aporta ninguna ventaja al presente trabajo, cuya unidad de análisis es el entorno del yacimiento (como se define más adelante en 1.3.2) y no la cuenca hidrográfica. Por ello se ha optado por una delimitación convencional de la zona de estudio mediante un rectángulo definido por las coordenadas UTM<sup>3</sup> X: 630636 a 675086 e Y: 4568959 a 4622855. Para determinar las dimensiones de este rectángulo se ha tenido en cuenta que la superficie encerrada recogiese toda la variabilidad paisajística de la zona, todos los yacimientos analizados incluidos sus entornos y una zona marginal para evitar posibles efectos borde en los análisis. En definitiva, se trata de un rectángulo de unos 44,5 km de base por unos 54 km de altura y una superficie aproximada de 2400 km<sup>2</sup> que se extiende entre las estribaciones de las sierras del Sistema Ibérico en la zona suroeste hasta la propia llanura aluvial del Ebro en la esquina noreste. Esta zona afecta total o parcialmente a 62 términos municipales (*figura 2*).

---

<sup>2</sup> Todas las fechas en este trabajo se dan en cronología calendárica y están basadas principalmente en dataciones de 14C calibradas. Por ello, tanto cuando se ofrezca un valor concreto como cuando se trate uno orientativo, la fecha se acompañará de la indicación "cal BC" que significa *calibrated* o *calendaric years Before Christ*.

<sup>3</sup> Todas las coordenadas ofrecidas en este trabajo se expresan en el sistema UTM según el *European Datum* 1950, zona 30 Norte.





**Figura 2.** Zona de estudio. Arriba a la izquierda, situación en Europa y en el noreste de la Península Ibérica. Arriba a la derecha, perfil topográfico SO-NE sobre MDE de píxel de 10 m a partir de curvas de nivel 1:25000 de la BCN. Imagen principal, fotografía aérea de la zona de estudio con indicación de los ríos principales y las partes de los términos municipales comprendidos en ella.



La elección de esta zona de estudio se justifica por varios motivos. En primer lugar porque, pese a los trabajos académicos de F. Burillo (Burillo Mozota 1978) y de J. A. Pérez Casas (Pérez Casas 1987), este es un ámbito geográfico y cronológico para el que existía un “vacío de información”, o falta de síntesis y articulación de la misma. situado entre ámbitos mejor conocidos como la Huecha (Aguilera Aragón 1995; Wilkinson *et al.* 2005), el Jalón medio (en estudio para la inminente presentación de su tesis doctoral en la Universidad de Zaragoza por parte de R. López), las Bardenas Reales (Sesma Sesma y García García 1994) y el Sistema Ibérico (Burillo Mozota y Picazo Millán 1991-1992, 1994-1996; Picazo Millán 1993; Picazo Millán *et al.* 1997).

Otra consideración importante para la elección de este marco espacial es que se trata de una zona de frontera, o mejor, de transición en varios periodos, tanto desde un punto de vista geográfico (Sistema Ibérico-Depresión del Ebro; zona de paso desde el sector central del Ebro hacia las dos mesetas y el Levante peninsular) como cultural (tránsito y convivencia de estilos campaniformes “occidentales” y “orientales”; afinidades materiales en la Edad del Bronce con Bardenas y el Sistema Ibérico junto a diferencias con la zona oscense-leridana; inclusión en el “Grupo del Alto y Medio Ebro” de la Primera Edad del Hierro; frontera entre ámbito ibérico y celtibérico...). Por ello su estudio puede contribuir a entender mejor como se relacionan entre sí las diferentes sociedades y culturas del valle del Ebro con una perspectiva diacrónica.

La Depresión del Ebro está formada por el relleno mioceno (conglomerados, areniscas, arcillas, marcas, yesos y calizas) de la cuenca de antepaís enmarcada por cordilleras formadas por materiales paleozoicos y mesozoicos (cuarcitas, pizarras, calizas) elevados durante la orogenia alpina. Una descripción detallada del origen geológico y de la evolución geomorfológica de la Depresión del Ebro se encuentra en los *capítulos 2.2 a 2.5*; baste aquí comentar que el dispositivo sedimentario de esta cuenca condiciona notablemente el paisaje del área estudiada. De Suroeste a Noreste (*figura 1*, perfil topográfico), esta zona comprende parcialmente las sierras más exteriores del Sistema Ibérico (Sierras de Vicor y Algairén), el somontano ibérico formado por un amplio glacis (llanos de Cariñena y Épila), los relieves tabulares (mesas y cerros testigo) del dispositivo sedimentario Mioceno (La Muela, La Plana de María, La Plana de Jaulín) y los glacis, las terrazas y la llanura aluvial del Ebro, cuyo margen izquierdo está modelado en este sector en forma de escarpe abrupto. Además por este sector de la depresión del Ebro, discurren los ríos Huerva y Jalón, que salen de las sierras exteriores del Sistema Ibérico y cortan las unidades del relieve antes mencionadas en dirección SO-NE hasta desembocar en el Ebro, creando a su paso dos corredores de llanura aluvial más o menos paralelos. En las sierras de Vicor y Algairén se alcanzan altitudes de 1200 msnm, pero en la cuenca terciaria las altitudes varían desde los 190 msnm del Ebro en Zaragoza a los 700 msnm de los puntos más altos de las planas. La media de altitud, prescindiendo de las sierras, ronda los 400 msnm.

**Tabla 1.** Valores medios mensuales de temperatura (T °C) y precipitación (P mm) en los observatorios de Zaragoza y Cariñena (Cuadrat Prat *et al.* 2007; Cuadrat Prat y Lardiés Bosque 2010).

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Zaragoza Aeropuerto</b>	<b>T °C</b>	6,4	8,4	10,9	13,0	17,2	21,3	24,5	24,4	20,7	15,5	10,0	7,1
	<b>P mm</b>	23,1	22,4	20,4	35,6	49,5	37,7	21,1	20,2	30,0	32,3	28,2	24,5
<b>Cariñena</b>	<b>T °C</b>	6	7,8	9,9	11,9	16	20,5	24,1	23,5	20,2	14,6	9,6	6,8
	<b>P mm</b>	28,1	27,5	30,7	49,9	61,6	51,3	22,7	26,7	34,4	38,5	36,3	34,4

El clima es de tipo mediterráneo-continental (*tabla 1*) y sus características más notables son su aridez, la irregularidad de las precipitaciones, los contrastes térmicos entre un invierno frío y un invierno muy cálido y la intensidad y frecuencia del Cierzo, un viento frío y seco del NO (Cuadrat Prat y Lardiés Bosque 2010, 23). Las diferencias altitudinales antes comentadas afectan ligeramente a las temperaturas, pero no a las tendencias generales del clima. También en ocasiones determinan una dife-

rencia en cuanto a la incidencia de determinados fenómenos meteorológicos, como las nieblas persistentes que acompañan a las inversiones térmicas invernales en las zonas bajas de los valles pero dejan las cimas de las planas completamente soleadas con temperaturas diurnas más suaves. Las precipitaciones en las zonas bajas de la zona de estudio apenas llegan a los 400 mm anuales, mientras que en las sierras del sector suroeste se alcanzan los 600 mm (Cuadrat Prat y Lardiés Bosque 2010, 24).

La relativa uniformidad climática de la zona de estudio (exceptuando las zonas de sierra) hace que sean las unidades de relieve las que determinan la relativa variedad de paisajes y usos de suelo. En la zona del somontano ibérico entre los valles de la Huerva y del Jalón, la vid es el cultivo principal, complementado con cereal, olivar y algunos frutales. En las zonas próximas a los ríos hay una agricultura de regadío mediante acequias y sobre los glaciares a ambos lados del Jalón se ha expandido el regadío a base de pozos. En el resto de la zona, la agricultura es eminentemente cerealista. La cabaña ganadera en la actualidad está muy reducida y formada por rebaños de ovejas y granjas de cerdos.

La vegetación actual es esquelética y el bosque escaso como resultado de la persistente e intensa explotación forestal. Los bosques o rodales de encina (*Quercus ilex*) se dan a partir de los 700 msnm, en la zona de la Sierra de Algairén y los montes de Aguilón, mientras que las carrasca (*Quercus cocci-fera*) aparece en zonas más septentrionales como el afloramiento mesozoico de Mezalocha. El pino rodeno (*Pinus pinaster*) crece en un piso superior al encinar, mientras que el pino carrasco (*Pinus halepensis*) crece a menor altitud, en laderas de fuerte pendiente, suelos pobres y orientación meridional. En su mayor parte las masas de pino actuales son resultado de las reforestaciones del siglo XX. En algunos puntos de la ribera de la Huerva y del Jalón, donde el urbanismo y el regadío los han respetado, crecen bosques lineales o en galería con olmos, chopos, álamos, fresnos, sauces y matorral de ribera (espino albar, zarzamora...), especialmente en las zonas más húmedas y montañas. En los barrancos de la zona central y septentrional que discurren sobre yesos, es frecuente que la mayor humedad que ahí se concentra permita el crecimiento de bosquetes de tamarices (*Tamarix*).

No obstante estas masas forestales son residuales en la actualidad, pues la mayor parte de la superficie está dedicada al cultivo o ha sido muy deforestada por la explotación forestal y la ganadería. En el llano y fuera del ámbito de ribera la vid aprovecha los terrenos de glaciares del somontano ibérico, con cantos bien trabados en una matriz arcillosa fina. Mientras que los suelos pobres desarrollados sobre glaciares de las plataformas miocenas o directamente sobre las litologías arcillosas, calizas o yesosas soportan cultivos de cereal. Las zonas yermas entre los cultivos, normalmente las de más pendiente y por tanto no aptas para el cultivo, alojan herbáceas y matorral heliófilo y xerófilo (y halófilo sobre los yesos) propios de la estepa mediterránea-continental: enebro (*Juniperus*), aliaga (*Genista scorpius*), tomillo (*Thymus*), romero (*Rosmarinus officinalis*), albardín (*Lygeum spartum*), lavanda (*Lavandula*), artemisia (*Artemisia herba-alba*), salsola (*Salsola vermiculata*), asfodelo (*Asphodelus sp.*), *Brachypodium retusum* y *Limonium* (Calderón Franco 2010; Longares Aladrén 2004, 51).

La degradación de los suelos y la merma forestal implican una reducción drástica del hábitat de muchas especies animales. No obstante, la zona de estudio aloja una fauna variada y adaptada a los cambios que ha sufrido el ecosistema, a pesar de las características climáticas y vegetales de la zona y la mantenida presión antrópica. Entre los mamíferos destaca el jabalí, pero también está presente el corzo y la cabra salvaje (Calderón Franco 2010, 47). Evidentemente, estas especies habitan preferentemente las zonas montañosas, donde se conservan más superficies boscosas. Sin embargo, los jabalíes y las cabras montesas son relativamente frecuentes en zonas más bajas, al menos hasta la latitud de Jaulín y Muel. Por supuesto tampoco faltan mamíferos de menor tamaño como tejones, garduñas y liebres, conejos y otros de menor tamaño. Las aves presentan una gran diversidad de especies (Calderón Franco 2010, 48). En las sierras ibéricas y en los cortados de los ríos Huerva y Jalón, y en menor medida en las planas, se pueden encontrar buitres leonados, alimoches comunes, águilas reales y otras rapaces de menor tamaño como el milano negro, el halcón peregrino o el cernícalo. También hay especies nocturnas como el búho real, el mochuelo, el autillo o la lechuza común. Sin embargo por número y distribución las aves más habituales en la zona son las perdices, las codornices y las palomas torcaes.



Este es, de manera muy resumida, un retrato del paisaje actual. Sin embargo, la intensidad del poblamiento en esta zona, la debilidad de las litologías y las características climáticas áridas han resultado en importantes transformaciones de toda esta zona a lo largo del Cuaternario, pero también en los últimos 4000 años que separan la actualidad del periodo estudiado en este trabajo. Por ello es necesario abordar los procesos genéticos y transformadores de este paisaje para poder valorar el poblamiento prehistórico, e incluso el histórico (Pérez-Lambán 2013).

#### 1.4. Metodología general

Este trabajo, con sus planteamientos, objetivos y métodos, es deudor de la trayectoria académica iniciada por F. Burillo Mozota en Teruel con los coloquios de *Arqueología Espacial*, en el año 1984. Estos coloquios marcan el inicio de la que el propio Burillo, en el prólogo a la *Introducción al Reconocimiento y Análisis Arqueológico del Territorio* de García Sanjuán (2005), nombró primera generación de investigadores en Arqueología Espacial. A caballo entre el final de la década de los 80 y el principio de la de los 90, la segunda generación, una vez más según Burillo, se caracteriza por la reflexión teórica (en el contexto del debate post-procesual) y, a la vez, la utilización decidida de técnicas de análisis cuantitativas. En esta generación Burillo sitúa a J. Vicent García y a J.V. Picazo Millán. Finalmente, el final de la última centuria estaría marcado por la tercera generación que incorpora las Tecnologías de la Información Geográfica al análisis espacial.

##### 1.4.1. Fases de trabajo

Los objetivos planteados para este trabajo se abordan desde las premisas de la Arqueología Espacial, que es esencialmente analítica y cuantitativa. Los métodos y herramientas empleados en los análisis que se describen a continuación están encaminados en primer lugar a construir representaciones de diferentes aspectos de la superficie terrestre que nos ayudan a comprender la relación del hombre prehistórico con el medio, en segundo lugar, a obtener descriptores de estas características en entornos prefijados y por último a analizar conjuntamente estos descriptores.

Las dos primeras fases de esta metodología, esto es la representación de los fenómenos analizados y la descripción de estos fenómenos en cada entorno de los yacimientos, se desarrollan en un Sistema de Información Geográfica construido y gestionado en ArcGIS 9.3 de ESRI. Un SIG se define como un conjunto de datos (geográficos y temáticos), instrumentos (de medida y toma, almacenamiento y procesamiento de datos) y métodos que conjuntamente permiten recoger, almacenar, gestionar, analizar y presentar eficientemente información geográfica, es decir, con un triple componente espacial, temático y temporal. Los SIG son pues un conjunto tecnológico y conceptual de herramientas integradoras muy adecuadas para el trabajo conjunto con información proveniente de diversas fuentes y disciplinas, siempre y cuando tenga una dimensión espacial claramente establecida. Por tanto los SIG son el medio idóneo para la realización de los objetivos de esta sección, que lidian con problemas espaciales a través de aportaciones interdisciplinarias: Arqueología, Geografía, Geomorfología...

La tercera fase de esta metodología agrupa los análisis de los datos extraídos y derivados en SIG. El análisis de componentes principales (ACP) resulta adecuado pues es capaz de simplificar y sintetizar un conjunto amplio de variables iniciales y además puede mostrar algún tipo de tendencia en la estructuración de los casos (Picazo Millán 1991, 1993; Shennan 1992). En determinados casos óptimos esta estructuración podrá conformar grupos de casos, en cuyo caso para ayudar a mostrar las agrupaciones se puede acudir a un análisis de conglomerados jerárquicos (*cluster*) sobre las puntuaciones de los componentes principales más significativos. Estas tendencias y agrupaciones evidenciadas por el ACP pueden ser evaluadas y puestas en relación con otra agrupación previa de los casos, la cronología. Idealmente la interpretación de los resultados de estos análisis deberían permitir formular una explicación diacrónica (de las tendencias observadas) y sincrónica (de los grupos formados).

Estos análisis se llevan a cabo en el programa estadístico SPSS 15.0 para Windows. La perspectiva analítica es doble y complementaria. En ocasiones se ha dicho, y no sin razón, que los arqueólogos prefieren interpretar estructuras emergidas de métodos analíticos exploratorios en lugar de aventurarse a formular y comprobar hipótesis (Shennan 1992, 245). Esto puede obedecer a cierto celo anti-subjetivista mal interpretado o simplemente a una inercia inductiva derivada de la propia práctica de la arqueología “del campo al papel”. Sea como sea, las aproximaciones exploratorias son útiles y necesarias, pero no es deseable que el arqueólogo se conforme con ellas y renuncie a la elaboración de hipótesis.

#### 1.4.2. El *entorno* como unidad de análisis

Una parte fundamental de la metodología analítica de este trabajo es el sistema de descripción cuantificada de los entornos y su relación con los yacimientos basados en las variables, expresadas a través de cincuenta y seis índices o valores (*tablas 13, 14, 26 y 27*) de cincuenta yacimientos (*tabla 2*), que han de dar las claves para diferenciar los distintos patrones.

Antes de considerar en capítulos siguientes cuales son las variables que se utilizan para la descripción de los entornos conviene definir y justificar su extensión. El entorno es en este trabajo una herramienta analítica. Por ello he huido de términos como *territorio* del yacimiento que implican un control y una identificación por parte de la comunidad con un área económicamente y políticamente construida. Como herramienta analítica el entorno se define según razones de índole metodológico que surgen de la adecuación de los objetivos y los análisis para los que ha de servir.

El entorno de un yacimiento en este trabajo es una superficie arbitraria definida por un círculo de 3 km de radio con centro en el propio yacimiento. Su construcción mediante un radio fijo y no mediante otros procedimientos (tiempos de desplazamiento, polígonos de Voronoi-Thiesen, superficie en proporción a la categoría del núcleo...) obedece a que así se consigue un ámbito de estudio igual y por tanto comparable para todos los casos. Además la generación de unidades de análisis variables debe ser debidamente justificada, lo que en ocasiones es muy difícil dado el registro arqueológico conservado y conocido. La dimensión del entorno, esto es, el radio de 3 km, ha sido decidida por dos motivos. El primero es que es un área (28,27 km<sup>2</sup>) bastante extensa y suficiente para contener una buena muestra de las características de la superficie terrestre alrededor del yacimiento. Una superficie mayor hubiera dado lugar a que todos los entornos estudiados abarcaran gran parte o todos los fenómenos registrados en la zona de estudio ya que la Depresión del Ebro tiene paisaje relativamente homogéneo. En otras palabras, dado que uno de los objetivos es discriminar yacimientos por su tipo de entorno, hay que asegurarse que éste no sea demasiado grande para evitar una homogeneización de los resultados del análisis.

El segundo motivo por el que resulta conveniente el radio fijo de 3 km tiene que ver con el objetivo de estudiar la relación entre el yacimiento y el entorno. Si la distancia máxima contenida en éste desde el yacimiento son 3 km se puede considerar que toda la superficie es abarcable desde el yacimiento. Desde el punto de vista de la movilidad, el entorno resultante es accesible sin grandes dificultades. Desde el punto de vista de la visibilidad, dentro de este entorno habrá zonas visibles y no visibles, pero más allá de él incluso las zonas visibles tendrían una calidad de observación deficiente por diversos motivos (situación atmosférica, curvatura de la Tierra, tamaño relativo de los objetos observados...). Estos temas de la movilidad y la visibilidad se discuten con más detalle a lo largo de este trabajo.

## 2. FUENTES UTILIZADAS Y SU TRATAMIENTO

Las cuestiones que se analizan en esta parte del trabajo están directa o indirectamente relacionadas con la topografía, la hidrografía y con la geomorfología. De ellas se derivan el resto de datos que serán analizados. Por tanto, junto con los propios yacimientos de los que nos interesa su localización y cronología, los tres conjuntos de datos fundamentales son una adecuada altimetría, red hidrográfica y un mapa geomorfológico. Cómo obtenerlos y cómo tratarlos es la base de todos los análisis que van a comentarse a continuación.

Datos de partida en formato \*.shp:

- Yacimientos analizados
- BTN 1:25000 (curvas de nivel, puntos acotados, hidrografía...) correspondientes a las hojas 382, 383, 410 y 411 del Mapa Topográfico Nacional 1:50000, con sistema de coordenadas ETRS 1989 UTM-30N ([www.ign.es](http://www.ign.es)).
- Hidrología, inundación, aluvión 1:50000 ([www.chebro.es](http://www.chebro.es))
- Mapa Geomorfológico de Zaragoza 1:200000 (Peña-Monné *et al.* 2002).
- Mapa Geomorfológico de Aragón 1:200000 ([www.sitar.aragon.es](http://www.sitar.aragon.es)).
- Mapa Geológico de Aragón 1:200000 ([www.sitar.aragon.es](http://www.sitar.aragon.es)).
- Mapa Geológico Nacional 1:50000, hojas 382, 382, 410 y 411 ([www.ign.es](http://www.ign.es)).

### 2.1. Los yacimientos

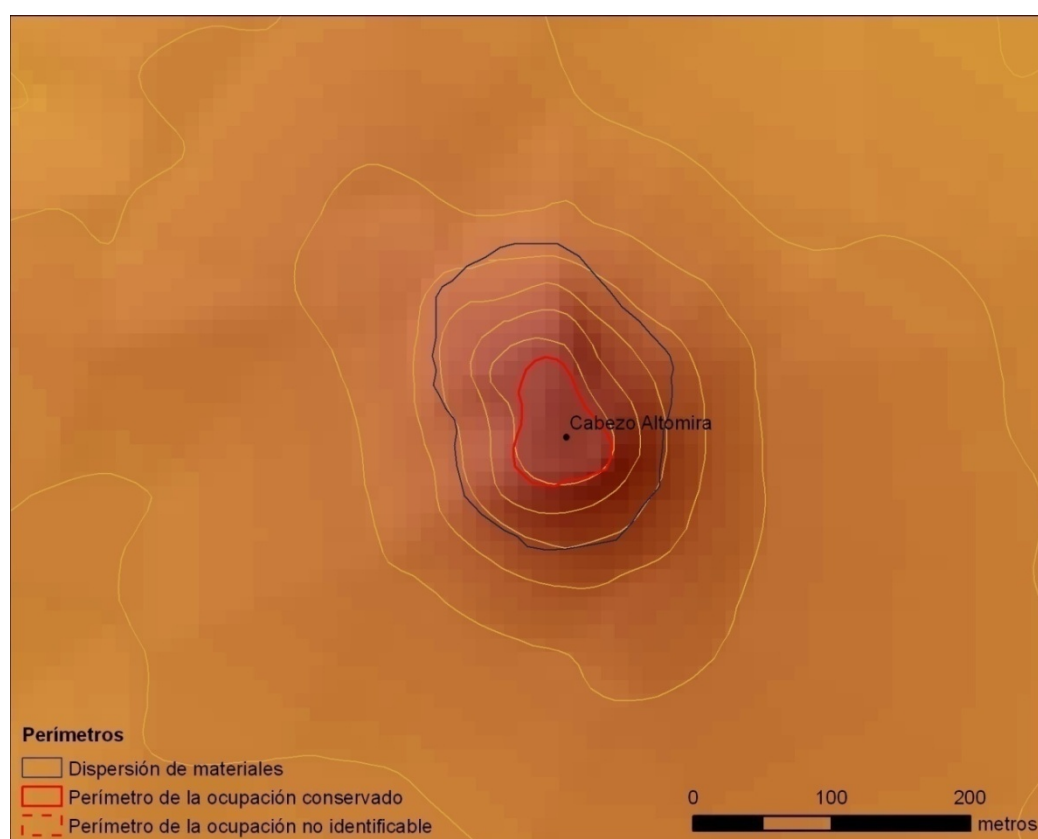
Evidentemente el primer conjunto de datos lo constituyen las localizaciones y cronología de los yacimientos que van a ser analizados (*tabla 2, figura 4*). Estos son una selección de 50 yacimientos de las más de 150 ubicaciones consideradas yacimiento de la Edad del Bronce en la zona de estudio. Estos presuntos yacimientos provienen tanto de prospecciones sistemáticas (Bea Martínez *et al.* 2011; Burillo Mozota 1978; Pérez-Lambán *et al.* 2011; Pérez Casas 1987) como de actuaciones de gestión muy heterogéneas, de manera que la calidad de los datos recabados es muy desigual. Por ello se procedió a realizar la selección de casos que aquí se analiza. El criterio de selección fue que cumplieran las siguientes condiciones:

- La entidad de los restos permite considerarlo yacimiento y no un hallazgo aislado.
- La cronología del yacimiento tiene que poder ser fijada con fiabilidad: tiene que ser un yacimiento con al menos una fase perteneciente a la edad estudiada y a ser posible con posibilidad de concretar el periodo concreto.
- El yacimiento debe tener una localización precisa comprobada en el campo (las localizaciones de los yacimientos se comprobaron y midieron con un GPS en el sistema de coordenadas UTM según el *European Datum* 1950, zona 30 Norte).
- El yacimiento debe conservar parte del contexto primario o al menos ser este deducible con seguridad a través de los restos en contexto secundario.

**Tabla 2.** Yacimientos cuyos entornos son analizados. X e Y: coordenadas en UTM (ED 1950) medidas en campo mediante GPS. X e Y (celda): coordenadas en UTM (ED 1950) de los centros de la celda considerada más representativa del yacimiento. Cronología: C (Calcolítico), BA (Bronce Antiguo), BM (Bronce Medio), BT (Bronce Tardío), BF (Bronce Final), HI (Edad del Hierro I), BI (Bronce Indeterminado).

ID	NOMBRE	X	Y	X (celda)	Y (celda)	C	BA	BM	BT	BF	HI	BI
1	Bardallur 1	649404	4616966	649390	4616884						X	
2	Barranco de Campoviejo	646154	4613417	646170	4613424					X	X	
3	Cabezo Altomira	651040	4592022	651040	4592024		X					
4	Cabezo Blanco	640825	4609625	640830	4609634			X				
5	Cabezo Chinchón	636622	4596418	636620	4596424					X	X	
6	Cabezo de la Cruz	661216	4595492	661190	4595544					X	X	
7	Cabezo de la Torre I	654850	4594520	654870	4594524		X	X				
8	Cabezo de la Torre II	654490	4594615	654500	4594614							X
9	Cabezo de los Paños	643409	4607679	643410	4607684					X	X	
10	Cabezo del Azud	643273	4609292	643270	4609284							X
11	Cabezo del Buitre	664271	4592840	664280	4592834		X					
12	Cabezo Gorra de la Visera	666563	4596545	666570	4596544							X
13	Cabezo Sillón	668098	4598139	668100	4598144		X					
14	Campablo 1	648625	4615981	648600	4615904							X
15	Campablo 2	648599	4615679	648600	4615684					X	X	X
16	Caseta Felusia	653233	4595141	653230	4595144			X				
17	Cerro de la Tijera	645621	4612535	645610	4612534						X	
18	Cerro de San Pablo	662529	4581572	662530	4581574		X		X			
19	Collado de la Abeja	652530	4594112	652530	4594104			X				
20	El Cabezuelo	643096	4605747	643100	4605754					X	X	
21	El Calvario	638668	4598845	638620	4598834					X	X	
22	El Cortijo	653388	4602104	653390	4602104							X
23	El Salobral	652520	4602943	652520	4602944							X
24	La Carrascosa	660581	4587212	660580	4587214							X
25	La Dehesa de Boalar	658129	4611251	658150	4611294							X
26	Las Hermanitas	643843	4610235	643780	4610214	X						
27	Las Llanas	658088	4589221	658090	4589224	X						
28	Las Pintillas	650410	4607159	650410	4607164		X	X				
29	Loma de la Balsa	636663	4607224	636660	4607234							X
30	Loma del Castillo	654408	4586117	654410	4586124	X				X	X	
31	Lomas del Molino	639115	4602399	639120	4602404			X				
32	Los Collados	666089	4591578	666090	4591574		X					
33	Los Hermanillos	658301	4588616	658300	4588614		X					
34	Lugar Viejo	667859	4599644	667870	4599644						X	
35	Lugar Viejo I	668057	4599938	668060	4599934					X		
36	Lugar Viejo III	667291	4599459	667300	4599474	X	X					
37	Montoque	662810	4602274	662810	4602274							X
38	Peña Amarilla	647689	4611060	647680	4611054		X	X	X			
39	Peña del Águila	655230	4597584	655230	4597584							X
40	Peña Enroque	655522	4593364	655520	4593364		X					
41	Peña Enroque ladera NO	655504	4593458	655500	4593464	X						
42	Peña Foradada	663445	4574586	663600	4574994	X				X		
43	Peñarroya I	668654	4591285	668650	4591294		X					
44	Peñarroya II	668654	4591137	668650	4591144	X						
45	San Borombón	662946	4592301	662950	4592304		X					
46	San Sebastián	646961	4613850	646940	4613854					X	X	X
47	Urrea I	647699	4615028	647700	4615024					X	X	
48	Valdejota II	653122	4602385	653080	4602324							X
49	Valdemoracho	669120	4602940	669120	4602944						X	
50	Viña de los Fanlo	655798	4593115	655800	4593124							X

Cabe hacer una advertencia respecto a las localizaciones y los análisis espaciales que se desarrollan a continuación. Muchos de ellos están basados en estructuras de datos *raster*, donde la superficie terrestre se representa mediante una matriz de celdas regulares. Estas celdas representan una porción de la superficie terrestre (el cuadrado de su lado) pero como son el elemento básico de las hojas o superficies *raster* también representan un número discreto de localizaciones posibles. Así los puntos vectoriales definidos por las coordenadas de los yacimientos, medidas en campo mediante GPS, superpuestos a una superficie *raster* caen dentro de una de sus celdas; esto es, en la práctica esa celda, con toda su superficie representa la localización del yacimiento. Como el punto del yacimiento y el centro de la celda no tienen por qué coincidir, algunas medidas dependientes de la distancia que se tomen variarán en función de si se mide a partir del punto o de la celda, y esta variación será diferente en cada caso, dependiendo de la posición relativa del punto con respecto al centro de la celda. Por ello, antes de comenzar a analizar conviene trasladar los puntos de los yacimientos al centro de la celda de la superficie *raster* que sirva de base a los análisis, en este caso un MDT con resolución de 10 m. A continuación se presenta la tabla de los yacimientos con los datos que ahora nos interesan de ellos: su cronología y las coordenadas ajustadas a las celdas del MDT que se consideran más representativas de los yacimientos.



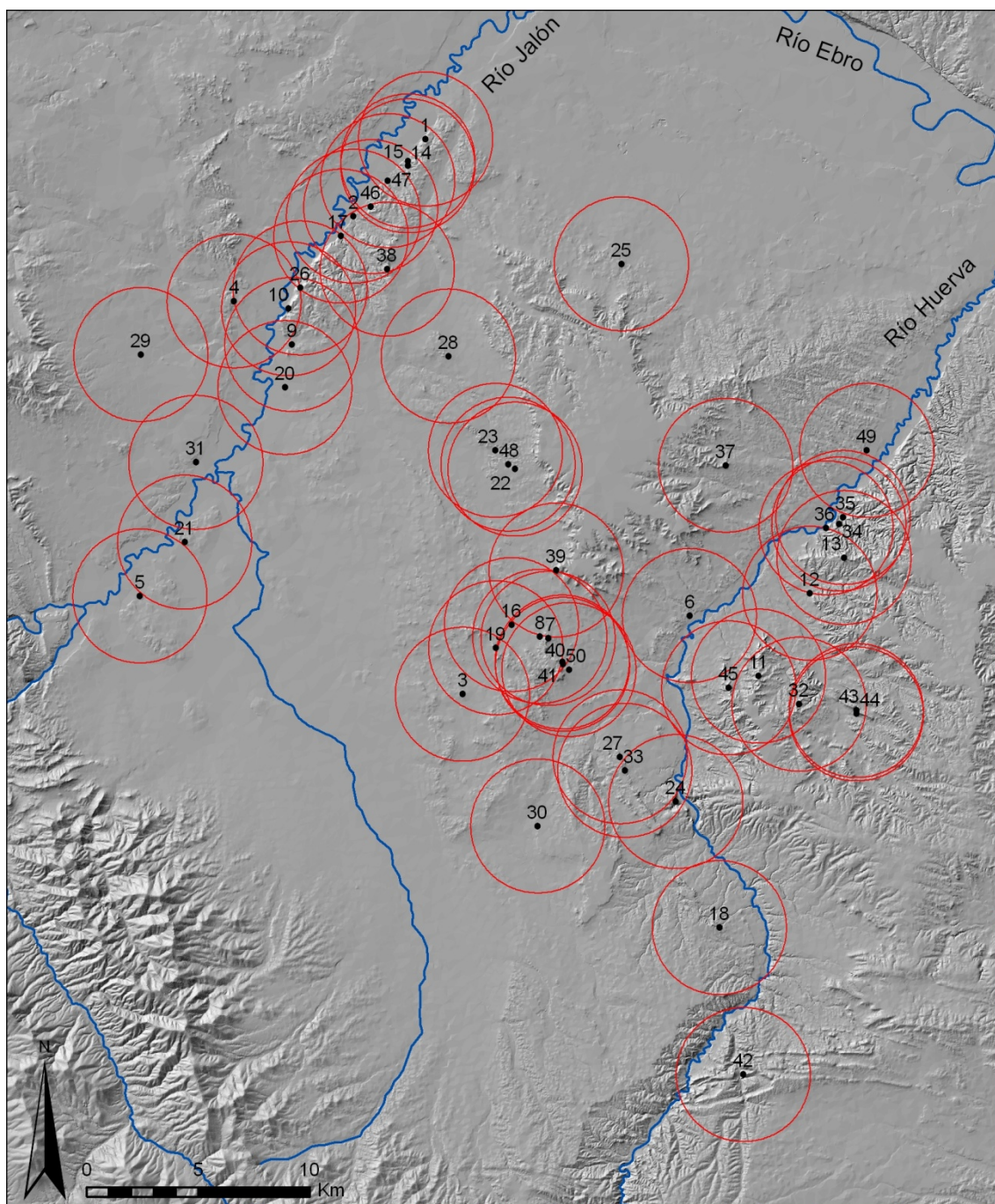
**Figura 3.** Cabezo Altomira, con representación de su perímetro de ocupación conservado y el de la dispersión actualmente observable de materiales desplazados.

Evidentemente, para escalas de trabajo detalladas, un punto en el espacio representa deficientemente a una entidad como un yacimiento. Por ello, los yacimientos también se representan mediante polígonos vectoriales. Ahora bien, en este caso hay que tener en cuenta una distinción fundamental entre el yacimiento propiamente dicho (espacio tridimensional en el que actualmente se encuentran los restos materiales de una ocupación pasada) y la ocupación original, que pueden o no coincidir. En otras palabras, es importante distinguir “el tipo de evidencia y conservación del contexto arqueológico” (Burillo Mozota *et al.* 1993, 1999, 8), esto es, entre contextos primarios (originales), secundarios

(lugares de concentración de material desplazado pero con contexto primario reconocible) y terciarios (lugares de aparición de materiales sin contexto primario identificable); las categorías restantes (hallazgo aislado, enclave totalmente destruido y enclave con información insuficiente) no se tienen en cuenta por la incertidumbre que introducen. En la muestra de yacimientos estudiados se cuenta con ejemplos de contextos primarios y secundarios (se ha eliminado los contextos terciarios por su escaso valor para el análisis locacional). De hecho normalmente el grado de alteración de los yacimientos hace que los contextos primarios sean muy parciales. Por ello cada yacimiento se representa mediante dos polígonos (*figura 3*); uno plasma la superficie en la que hoy se observa la dispersión de materiales y el otro se ajusta a la zona conservada de la ocupación original. El perímetro de este segundo polígono no es necesariamente el límite original de la ocupación, pues esta se ha visto normalmente reducida por la erosión. De hecho, frecuentemente el contexto primario reconstruido a partir de la dispersión de materiales y la morfología del terreno no tiene un límite actual distinguible, sino que es poco más que una localización puntual. En estos casos el perímetro de la ocupación se ha representado gráficamente mediante un círculo con radio de 30 m (coherente con las longitudes y superficies observadas en muchos yacimientos de la zona).

Por otro lado, además de las localizaciones y geometrías de los yacimientos es necesario tener preparados los entornos de análisis (*figura 4*): *buffers* de 3 km alrededor de cada yacimiento (*Analysis Tools > Proximity > Buffer*). Estos *buffers* delimitan la superficie de cálculo en los análisis zonales. Como en ArcGIS estos análisis no admiten zonas solapadas es conveniente dividir los *buffers* en varios archivos sin solapes.





Yacimientos: 1- Bardallur 1; 2- Barranco de Campoviejo; 3- Cabezo Altomira; 4- Cabezo Blanco; 5- Cabezo Chinchón; 6- Cabezo de la Cruz; 7- Cabezo de la Torre I; 8- Cabezo de la Torre II; 9- Cabezo de los Paños; 10- Cabezo del Azud; 11- Cabezo del Buitre; 12- Cabezo Gorra de la Visera; 13- Cabezo Sillón; 14- Campablo 1; 15- Campablo 2; 16- Caseta Felusia; 17- Cerro de la Tijera; 18- Cerro de San Pablo; 19- Collado de la Abeja; 20- El Cabezuelo; 21- El Calvario; 22- El Cortijo; 23- El Salobral; 24- La Carrascosa; 25- La Dehesa de Boalar; 26- Las Hermanitas; 27- Las Llanas; 28- Las Pintillas; 29- Loma de la Balsa; 30- Loma del Castillo; 31- Lomas del Molino; 32- Los Collados; 33- Los Hermanillos; 34- Lugar Viejo (Hierro); 35- Lugar Viejo I (B. Final); 36- Lugar Viejo III (calcolítico-B. Antiguo); 37- Montoque; 38- Peña Amarilla; 39- Peña del Águila; 40- Peña Enroque; 41- Peña Enroque ladera NO; 42- Peña Foradada; 43- Peñarroya I; 44- Peñarroya II; 45- San Borombón; 46- San Sebastián; 47- Urrea 1; 48- Valdejota II; 49- Valdemoracho; 50- Viña de los Fanlo.

**Figura 4.** Localización de los yacimientos y sus entornos de 3 km de radio.

## 2.2. La topografía: el MDT (Modelo Digital del Terreno)

Antes de continuar, hay que aclarar cierta confusión existente en la bibliografía con los términos MDT (modelo digital del terreno) y MDE (modelo digital de elevaciones). Un modelo es “una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades” (Joly 1988, 111 cit. en Felicísimo Pérez, 1994,3), precisamente aquellas que interesan a los fines de quien construye el modelo. Más concretamente, los modelos a los que se hace referencia aquí son modelos simbólicos, pues por abstracción el objeto real queda representado por una simbolización matemática (Turner 1970, 364 cit. en Felicísimo Pérez, 1994, 4). Como la realidad que nos interesa es de naturaleza espacial, en los modelos que nos conciernen, esta simbolización matemática se concreta en “un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio” (Doyle 1978, 1481 cit. en Felicísimo Pérez, 1994,4). Por último se debe establecer las condiciones de que dicho conjunto de datos esté estructurado y represente una variable cuantitativa y continua (Felicísimo Pérez 1994, 5). A este primer concepto general vamos a denominarlo de momento MD (modelo digital), que puede representar cualquier variable cuantitativa y continua que tenga dimensión espacial. Cual sea la variable representada y como deba denominarse entonces al modelo es la clave de la controversia.

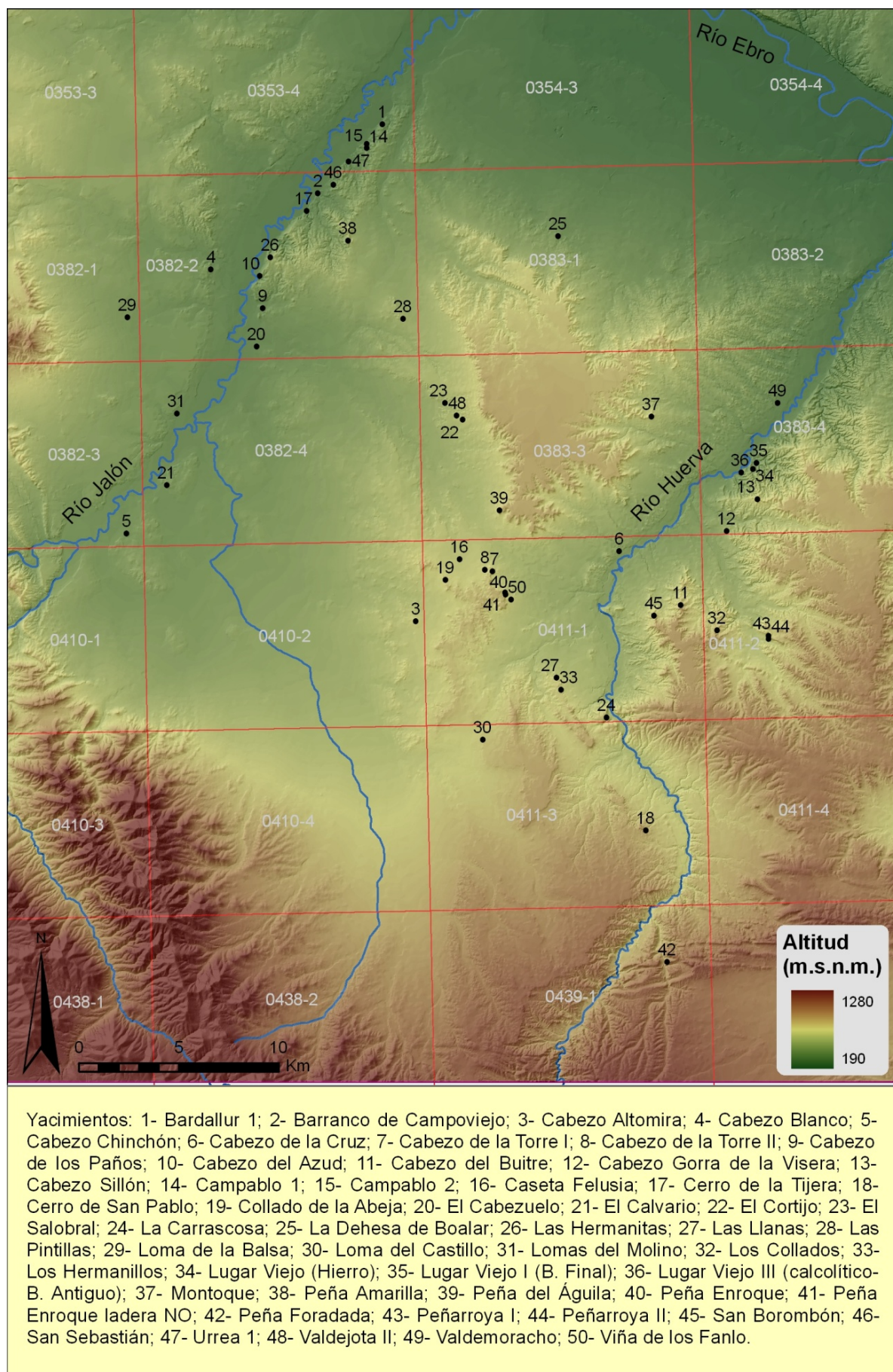
Para Felicísimo Pérez (Felicísimo Pérez 1994, 5) y Olaya (2011, 330-331) este concepto genérico es lo que debe denominarse MDT, pues la variable representada es normalmente una característica del terreno. Si esa característica es concretamente la altitud, entonces estos autores defienden la utilización del concepto MDE. Sin embargo Wheatley y Gillings (2002, 107-108) son de la opinión contraria. Argumentan que las siglas *DEM* (*Digital Elevation Model*) se usan frecuentemente para modelos que representan variables diferentes de la topografía o la forma del relieve. Esto es así en virtud de la consideración metafórica de cualquier valor numérico como una elevación para ser representado en una superficie donde los picos son los valores altos y los valles los bajos. Por ello proponen *DTM* (*Digital Terrain Model*) para el modelo concreto que representa la superficie terrestre.

Ahora bien, hay otra forma de ver la cuestión que surge de la diferenciación de dos variables topográficas diferentes expresadas como elevación. La primera es la elevación de la superficie superior de la litosfera, el contacto entre ésta y la atmósfera, desprovista de elementos de la biosfera (vegetación por ejemplo) o artificiales (edificios por ejemplo). La segunda es la elevación de la superficie terrestre incluyendo estos elementos, pues son en sí mismos parte de la tierra. No es más válido un concepto que otro; su pertinencia dependerá de los objetivos para los que se construye. Lo que aquí nos interesa es cómo deben ser denominados. Según Olaya (2011, 331) es frecuente el uso MDE para la representación de la elevación de la superficie desprovista de elementos vegetales o artificiales mientras que MDT se usa para las elevaciones máximas incluyendo dichos elementos. Sin embargo me consta que tampoco es inhabitual la designación opuesta de estos términos a estos conceptos.

Para evitar confusiones propongo que se utilice MD (Modelo Digital) o MDS (Modelo Digital de Superficie) como término genérico para toda estructura matricial de datos que represente la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua que se manifiesta en la superficie terrestre. El término MDT (Modelo Digital del Terreno) o MDR (Modelo Digital del Relieve) para un MD que represente la superficie superior de la litosfera en contacto con la atmósfera. MDE (Modelo Digital de Elevaciones) puede quedar limitado a las representaciones de elevaciones absolutas incluyendo todos los objetos existentes sobre la superficie terrestre que interese representar en el modelo. Por último quedaría contemplar el MDD (Modelo Digital Derivado), producido a partir de un MD previo cuyos valores son utilizados en un análisis matemático para producir una nueva estructura de datos que represente otra variable. Así de un MDT se pueden derivar varios MDD, como el MDO (Modelo Digital de Orientaciones) o el MDP (Modelo Digital de Pendientes).

La topografía de la superficie de la litosfera en la zona de estudio está codificada en un MDT *raster*, una matriz de celdas regulares (generalmente cuadradas) en la que cada una contiene el valor de altitud del terreno que representa (*figura 5*).





**Figura 5.** MDT de la zona de estudio, con indicación de las hojas de la BCN 1:25.000 utilizadas para su construcción y los yacimientos analizados. Sombreado añadido para dar sensación de relieve.

Para la construcción de este MDT he partido de los datos altimétricos contenidos en las curvas de nivel y puntos acotados de la Base Topográfica Nacional de España (BTN25). Estos datos están contenidos en archivos vectoriales a partir de los cuales hay que realizar una interpolación para conocer el valor del fenómeno (altitud) en las localizaciones para las que no se tiene información (entre las curvas de nivel y entre las cotas).

Hay diversos métodos de interpolación. Los más habituales son (todos ellos disponibles en *Spatial Analyst Tools > Interpolation* de ArcGIS):

- Ponderación inversa a la distancia, también conocida por las siglas inglesas IDW (*Inverse Distance Weighted*). Como su nombre indica, el valor de la localización problema se calcula como una media de las localizaciones vecinas, pero ponderando su participación en función inversa a su distancia. “Este método tiene a su favor la sencillez y rapidez de cálculo pero, al tratarse esencialmente de una media ponderada, el resultado se encuentra siempre incluido dentro del rango de variación de los datos. Por este motivo, el correcto tratamiento de las formas cóncavas y convexas depende estrechamente de la distribución de los puntos originales” (Felicísimo Pérez 1994, 27). Una cuestión a tener en cuenta es que si los datos de entrada para una localización problema puede hacerse mediante un radio fijo o mediante un número mínimo de puntos. Si estamos trabajando con curvas de nivel y dentro del conjunto de datos entran exclusivamente, o casi, datos de una sola curva no habrá variación de datos y el resultado será coincidente con los valores de entrada. Así el MDT resultante se adaptará a las curvas de nivel escalonándose erróneamente.
- Superficies de tendencia. El cálculo se realiza por ajuste de mínimos cuadrados mediante una ecuación polinómica (Felicísimo Pérez 1994, 27). Es una opción más adecuada para calcular formas que no están explícitamente recogidas en los datos de entrada, esto es, concavidades o convexidades que exceden el rango de variación de los datos. El problema que de esto se deriva es que dependiendo de la calidad y distribución de los datos pueden producirse resultados aberrantes, excesivamente alejados del rango de variación de los datos (pozos o picos falsos). Esto es especialmente notable en las zonas marginales del análisis donde en lugar de una interpolación se fuerza una extrapolación (la localización problema no está rodeada de datos de partida, sino en situación lateral). Además si los datos no representan un área similar, es decir, si están agrupados como sucede en las curvas de nivel, la superficie de tendencia resultante se adaptará a ese patrón inicial.
- Kriging (en honor al geólogo y estadístico que propuso el método: D.G. Krige). Como el IDW, estima el valor de la localización problema como una media ponderada por la distancia. “La originalidad del método reside, sobre todo, en el criterio utilizado para asignar los valores de ponderación a cada dato y en que permite asignar un valor de error para cada punto problema. Asimismo, la definición del área adecuada del entorno puede hacerse con criterios estadísticos lo que aumenta la robustez del método. De hecho, si se cumplen ciertas propiedades en la distribución de los valores de la variable, este método de interpolación es óptimo, es decir, es insesgado y la suma de cuadrados de las desviaciones es mínima” (Felicísimo Pérez 1994, 28). El problema que puede achacarse al Kriging es la complejidad y cantidad de cálculos numéricos que exige, aunque las herramientas que incorporan programas como ArcGIS son de gran ayuda. Por otro lado también en el Kriging puede ser sensible a la agrupación de datos en curvas de nivel. Aunque debería ponderar correctamente el peso de cada dato, si hay una gran agrupación en las curvas de nivel y en el conjunto de datos de entrada no hay suficiente variación el resultado puede ser erróneo. Por tanto hay que tener cuidado con la definición del radio de búsqueda de los datos de entrada. También se ha dicho que el Kriging genera superficies excesivamente suaves que no reflejan con precisión las configuraciones del relieve y que es demasiado sensible a los valores estadísticamente extremos que producen elementos morfológicamente erróneos, todo lo cual repercutirá en posteriores análisis basados en el MDT resultante (Olaya 2011, 332).

Siendo que ningún método de interpolación directa a *raster* es perfecto y que todos pueden dar problemas cuando se trabaja con datos provenientes de curvas de nivel, como es el caso de este trabajo, cabe recurrir a un método indirecto que genera un MDT vectorial posteriormente transformado en un MDT *raster*.

Se trata de emplear una triangulación simple de los datos: los tres puntos que rodean a una localización problema definen un triángulo que es un plano inclinado; el valor de la localización problema será la altitud de dicho triángulo en ese punto. La selección de los puntos que han de formar el plano inclinado se efectúa según el criterio de Delaunay (en honor del matemático ruso Boris Nikolaevich Delone), que establece que la circunferencia definida por los vértices de cada triángulo no debe contener ningún vértice de otro triángulo.

Los problemas de la triangulación son esencialmente dos. El primero es que reduce la superficie naturalmente ondulada a una serie de planos inclinados; la superficie de cada triángulo es plana pero representa una porción del terreno que es cóncava o convexa. El segundo problema atañe a los modelos que se basan en curvas de nivel: los triángulos deben formarse con puntos de dos curvas de nivel o de una curva y un punto de cota; si por el contrario un triángulo se forma con puntos de una sola curva de nivel se forman triángulos horizontales que dan lugar a falsos escalones. Esto se evita en buena medida con criterio de Delaunay, pero sigue afectando en los recodos muy pronunciados de las curvas. Allí donde una hace un giro muy pronunciado sus puntos quedan enfrentados y próximos entre sí, generando pequeños falsos aterrazamientos que suponen una pérdida de altitud en las formas de espolón (curvas convexas) o un relleno de las barranqueras (curvas cóncavas).

El MDT vectorial generado por triangulación también puede llamarse TIN (*Triangulated Irregular Network*) precisamente por ser una red irregular de triángulos. El TIN se genera a partir de los datos altimétricos vectoriales: cotas, curvas de nivel y la red hidrográfica (si incorpora información de altitud en sus nodos). Para ello ArcGIS cuenta con las herramientas *3D Analyst Tools > TIN Creation > Create TIN* y *Edit TIN* o más sencillamente en la barra de tareas de *3D Analyst > Create/Edit TIN > Create TIN From Features*. A continuación, para convertir el TIN en un MDT raster se emplea la herramienta correspondiente de la misma barra de herramientas: *3D Analyst > Convert > TIN To Raster*. Al hacerlo hay que especificar el ancho de celda, esto es la resolución del MDT *raster*; en este caso es de 10 m.

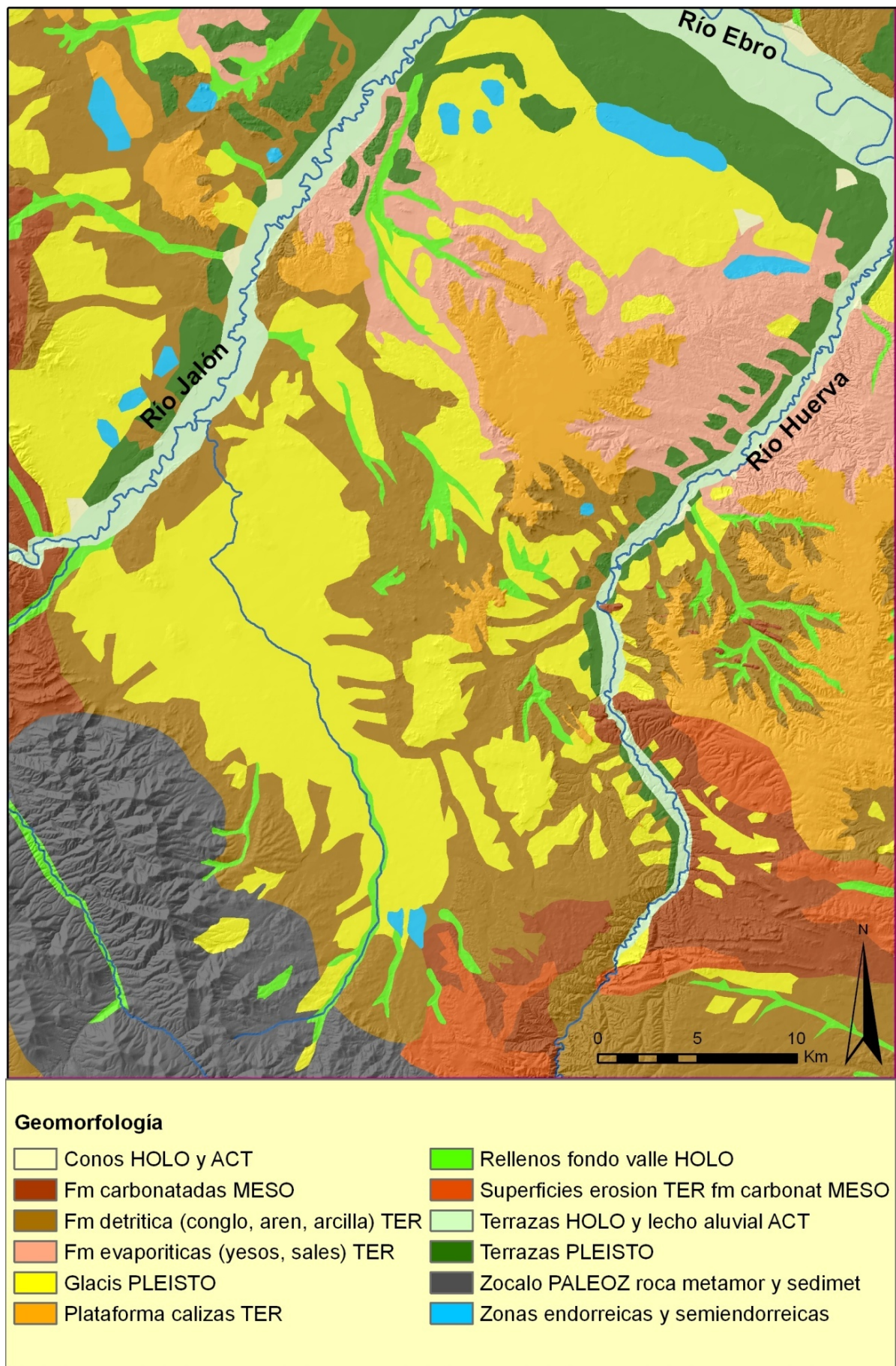
El paso del TIN al MDT *raster* supone una pérdida de detalle o un aumento excesivo del tamaño del archivo. En las zonas con gran variación en la altitud el TIN está formado por triángulos pequeños, mientras que estos son grandes en las zonas homogéneas. Sin embargo las celdas del MDT *raster* tienen 10 m de lado en todas las localizaciones. Si queremos que todo el detalle del TIN, hasta sus triángulos más pequeños, esté recogido en el MDT *raster* la celda de éste deberá ser muy pequeña, incrementando así el tamaño del fichero lo que repercute en la capacidad de cálculo para análisis posteriores. Si por el contrario la celda es demasiado grande, la pérdida de detalle es excesiva. Por ello he optado por un tamaño de celda de 10 m de lado pues, aunque supone una pérdida de detalle en las zonas más verticales, refleja bastante bien la morfología general y resulta un tamaño de archivo manejable. En todo caso esta transformación es necesaria porque algunos de los análisis de este trabajo operan con álgebra de mapas en una estructura de datos *raster*.

Por último, de cara a algunos análisis conviene tener preparados MDT individuales del entorno de cada yacimiento, lo que se obtiene mediante la herramienta *Analysis Tools > Extract > Clip* utilizando para la delimitación de las zonas de corte los *buffers* de los yacimientos.

### 2.3. La geomorfología

La cartografía geomorfológica está en la base de los análisis que se plantean en este trabajo, pues el conocimiento de los procesos de cambio del medio es la clave de interpretación de los entornos de los yacimientos. Sin embargo es difícil encontrar una buena cartografía geomorfológica, realizada con una escala adecuada y disponible en un formato integrable en un SIG en entorno informático.





**Figura 6.** Mapa geomorfológico de la zona de estudio con leyenda simplificada. En minúscula las categorías geomorfológicas. En mayúsculas la edad de las formas. Sombreado añadido para dar sensación de relieve.

Hay trabajos cartográficos (Mensua y Ibáñez 1977; Peña Monné *et al.* 2002; Yetano Ruiz 1978) previos que cubren total o parcialmente (tanto espacialmente como temáticamente) la zona de estudio. De ellos los más interesantes de cara a su inclusión en el SIG son los mapas geomorfológicos de Aragón de Peña *et al.* (2002) y del SITAR (<http://sitar.aragon.es/>), aunque ambos tienen ventajas e inconvenientes.

**Tabla 3.** Tabla que muestra las ventajas e inconvenientes de las dos principales cartografías geomorfológicas disponibles para la provincia de Zaragoza.

	Peña <i>et al.</i> (2002)	SITAR
Metodología y criterios	Adecuados	Dudosos
Escala. Detalle y exactitud espacial	1:200.000 (realización) 1:325.000 (impresión) Escala poco detallada	1:200.000 Escala poco detallada y exactitud espacial irregular
Información temática	Detallada	Simplista No ajustada a la realidad
Formato	Impreso *.fh9 de Macromedia (facilitado por J.L. Peña)	*.shp de ESRI
Georreferenciación	No	Si (ED 1950 UTM 30 N)

A partir de estos dos mapas y de la experiencia propia en la realización de las cartografías de detalle (1:30.000) de los entornos de siete yacimientos de referencia, he generado una nueva cartografía de la zona de estudio a escala 1:200.000 (*figura 6*). Básicamente es una digitalización y simplificación de Peña *et al.* (2002). Sin embargo en ese proceso la comparación de este mapa con el del SITAR y con topografía de la BCN25 ha sido constante. Así he podido integrar alguna información interesante presente en el SITAR (por ejemplo algunas zonas endorreicas no recogidas) y corregir la geometría de algunas superficies (por ejemplo ajustar la trayectoria de los fondos de valle al curso de los barrancos y los ríos de la BCN25).

La escala del mapa resultante es poco detallada para algunos usos. Lo ideal sería disponer de una cartografía geomorfológica con una escala igual a la base topográfica que se está empleando (en este caso 1:25.000). Así se podría intentar hacer análisis más detallados que los que aquí se presentan o incluso utilizar esa información para obtener una paleotopografía. No obstante el mapa geomorfológico obtenido a escala 1:200.000 sí es suficiente para hacer una caracterización general de la zona y de los entornos de los yacimientos.

La simplificación en cuanto a la información temática ha consistido fundamentalmente en agrupar en una categoría elementos análogos. Por ejemplo, las terrazas pleistocenas en Peña *et al.* (2002) aparecen divididas en 3 niveles, pero para los objetivos de este trabajo nos basta con saber que son anteriores a la Edad del Bronce y que ya estaban presentes entonces. Por ello las he agrupado en una sola categoría. Lo mismo sucede con los varios niveles de glaciares. En el caso de los fondos de valle holocenos por un lado y las terrazas holocenas y el lecho de inundación actual por otro, no se ha realizado la agrupación. Si bien la mayor parte de los rellenos en los fondos de valle corresponde a momentos posteriores al estudiado, no ocurre necesariamente lo mismo con las terrazas y llanuras aluviales del Jalón y de la Huerva. Aún admitiendo que muchas de las terrazas holocenas de estos ríos serán posteriores a la Edad del Bronce, no es menos cierto que en aquella época el Jalón y el Huerva tuvieron que discurrir sobre llanuras aluviales y estarían formando o destruyendo terrazas recientes. En otras palabras, aunque las terrazas holocenas y llanura de inundación actual no sean las mismas que las de la Edad del Bronce, el espacio que abarcan estaría entonces *grossa modo* ocupado por formaciones que podemos considerar análogas.

Finalmente las clases geomorfológicas representadas, o en otras palabras el contenido de la leyenda del mapa, son las que se recogen en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Categorías geomorfológicas incluidas en el mapa geomorfológico.

Clases	Descripción
1	Conos holocenos y actuales
2	Terrazas holocenas y lecho aluvial actual
3	Rellenos de fondo de valle holocenos
4	Terrazas pleistocenas
5	Glacis pleistocenos
6	Plataforma calizas terciarias
7	Fm evaporíticas (yesos, sales) terciarias
8	Fm detrítica (conglomerados, areniscas, arcillas) terciarias
9	Superficies de erosión terciarias sobre Fm carbonatada mesozoica
10	Fm carbonatadas mesozoicas
11	Zócalo paleozoico de rocas metamórficas y sedimentarias
12	Zonas endorreicas y semiendorreicas

## 2.4. La hidrografía

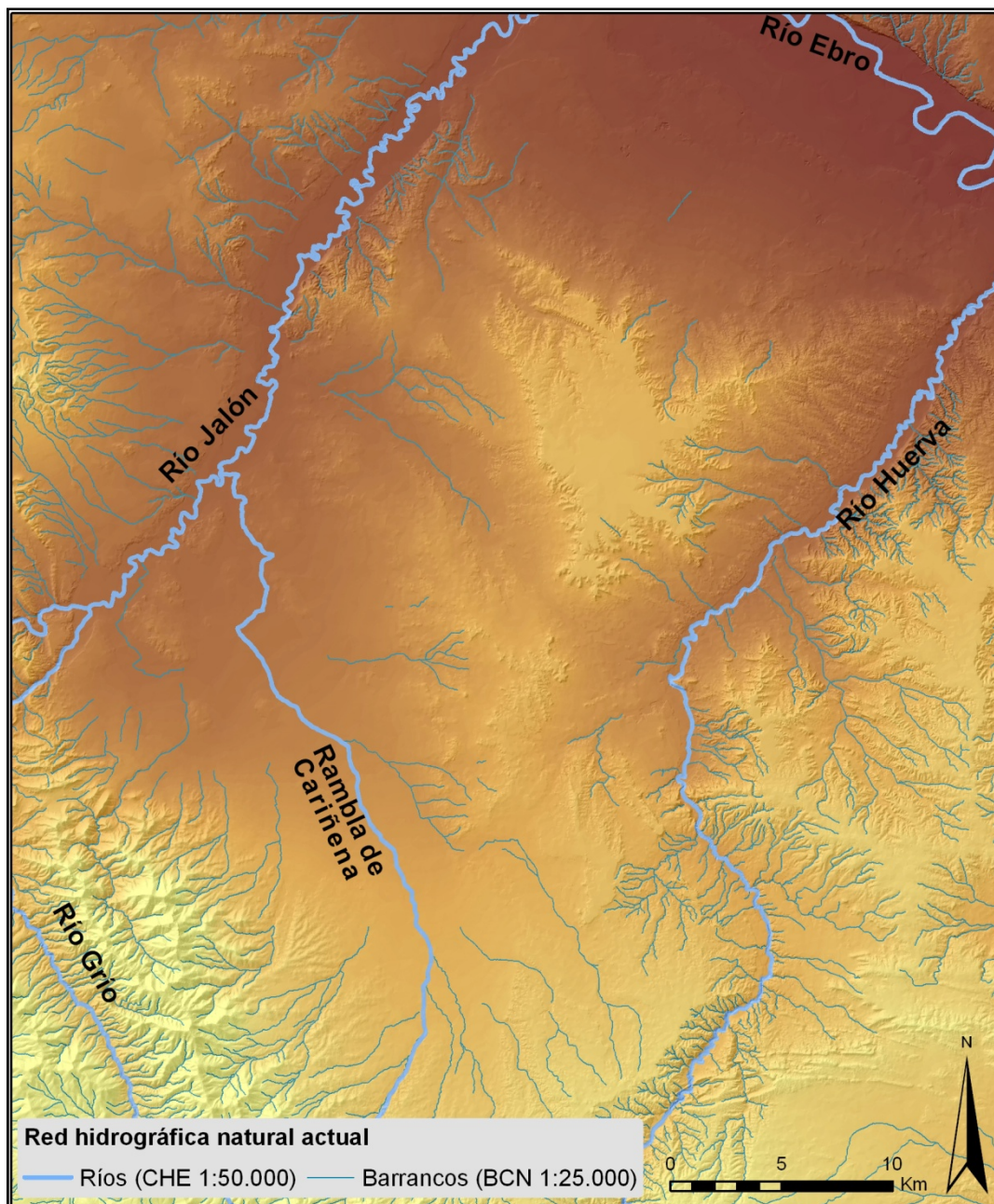
La red hidrológica<sup>4</sup> no ha variado sustancialmente en su geometría, aunque sí lo ha hecho en su estado. Es decir, se puede considerar que los cauces trazados en la BTN 1:25000 se corresponden relativamente bien con la red drenaje durante la Edad del Bronce, ahora bien, la consideración de estos cauces ha de ser necesariamente diferente en lo referente a su caudal y estacionalidad. En la zona de estudio hay dos ríos a los que he dado una categoría principal por caudal y perennidad: el Jalón y la Huerva. El resto de cauces, actualmente considerados ramblas y barrancos de cauce estacional o activos únicamente cuando encauzan agua de lluvias. En las condiciones de mejor conservación de suelo y de mayores precipitaciones que al parecer se dieron durante la Edad del Bronce (Espinar y Voltas 2009; Pérez-Lambán *et al.* en prensa), estos barrancos debieron de tener un caudal mayor y más constante (aunque probablemente no perenne) que el que hoy vemos en ellos. Por ello los considero también como recursos hídricos importantes. Esto es una cuestión a tener en cuenta de cara a valorar la relación entre los asentamientos y la disponibilidad de agua.

Así la red de drenaje actual no es modificada en su dimensión espacial sino en su categorización, reducida a dos categorías (*figura 7*): cauces principales (el Jalón y la Huerva) y cauces secundarios (el resto de cauces).

---

<sup>4</sup> La distancia a fuentes y manantiales no se contempla en este trabajo por no conocer la representatividad de las que aparecen en la cartografía. En la BCN a escala 1:25000 aparecen 105 surgencias en la zona de estudio, de las cuales 79 son pozos, por lo que quedan excluidos de este análisis. Por otro lado, las fuentes (24) y manantiales (2) están muy mal distribuidos en el terreno, de forma que 19 de ellos se sitúan en el margen meridional de la zona de estudio, esto es, en las estribaciones ibéricas. Por último, considero que aunque la Depresión del Ebro no es favorable a la existencia de surgencias, en la Edad del Bronce habría más, pero actualmente no están cartografiadas por estar secas. Esto sería especialmente importante en las zonas donde los afloramientos de calizas mesozoicas pudieron por un lado albergar sistemas cársticos activos y por otro lado funcionar como diques para las aguas subterráneas retenidas por los niveles impermeables de arcillas miocenas que dieran lugar a surgencias en el contacto entre el Mesozoico y el Mioceno. La Fuente de la Ermita de la Virgen bajo la Presa Romana de Muel es probablemente un ejemplo de estas surgencias en el contacto lateral entre el Mioceno y el Jurásico. Las cuevas de La Hiedra (Botorríta), La Galocha (Mozota) o las oquedades de Peñarroya (Jaulín) pudieron ser ejemplos de sistemas cársticos activos en la Edad del Bronce. Sin embargo no podemos extrapolar estas nociones a toda la zona de estudio ni mucho menos dar localizaciones precisas a estas hipotéticas surgencias pasadas. Por todo ello considero que contemplar la distancia a las surgencias de agua introduce demasiada incertidumbre en este análisis.





**Figura 7.** Actual red hidrográfica natural, a partir de la red de la Confederación Hidrográfica del Ebro (1:50.000) y la de la BCN (1:25.000).

### 3. RASGOS TOPOGRÁFICOS

La topografía del emplazamiento y de su entorno pueden ser descritas cuantitativamente mediante cálculos realizados sobre el MDT (modelo digital del terreno) y varios MDD.

“Puesto que las actividades humanas se asientan en su práctica totalidad sobre la superficie terrestre, estudiar cualquier fenómeno asociado a ellas sin tener en cuenta ésta implica estar dejando fuera una gran cantidad de información sumamente valiosa” (Olaya 2011, 329). Por tanto el MDT y su análisis cobran una importancia fundamental. Estos modelos contienen información en dos niveles (Felicísimo Pérez 1994, 41): uno explícito (los datos altitudinales georreferenciados del modelo) y otro implícito (derivado de las relaciones topológicas entre dichos datos). Conjuntamente permiten caracterizar el relieve e incluso obtener una signatura de las clases de relieve (Felicísimo Pérez 1994, 58-62).

Por tanto, hay que obtener descriptores tanto de la información explícita del MDT (altura absoluta y rango altitudinal) como de derivadas del mismo (índices de prominencia y rugosidad). Las derivadas más comunes de un MDT son los MDD de pendientes y orientación. Sin embargo no son estas las que se van a emplear. En la medida de lo posible se busca que los rasgos de este trabajo sean significativos en sí mismos dado el objeto de estudio: el patrón de asentamiento. Las ocupaciones normalmente comprenden varias orientaciones, aunque haya una predominante, pero incluso ésta resulta irrelevante si la superficie es poco pendiente o si se trata de yacimientos situados en cimas o en llano; sólo sería relevante para casos de ladera escarpada o abrigos, que son minoritarios y pueden ser valorados individualmente. La orientación predominante de entorno podría ser considerada, pero dada las características de la zona de estudio, polarizadas entre zonas llanas y zonas abruptas, más que la dirección interesa la variabilidad, y ésta ya está recogida en el rasgo de rugosidad. En cuanto a la pendiente, si referida a la de la propia ocupación, carece de fundamento dadas las transformaciones que los relieves han sufrido desde la Edad del Bronce, y si se refiere a la pendiente general del entorno, es un rasgo que está contenido dentro de otros rasgos más significativos que se analizan más adelante, como de nuevo la rugosidad, pero también los riesgos agropecuarios o la movilidad.

#### 3.1. La altitud absoluta

La altitud absoluta de los yacimientos en sí misma es un dato poco significativo en un área de estudio en la que la diversidad de la altitud está muy relacionada con la disposición litológica miocena y su modelado posterior, cuestiones ya contempladas por otras variables (geomorfología). No obstante, en principio se contempló que este dato pudiera servir de punto de comparación directa e inmediata entre yacimientos, lo cual no resultó de utilidad desde el momento que se está trabajando principalmente con sus entornos. En todo caso la altitud absoluta ha sido necesaria para muchos de los cálculos posteriores.

Se trata de una magnitud escalar, expresada como es natural en metros sobre el nivel del mar, que ofrece un dato primario que no requiere ningún tratamiento. Simplemente hay que obtener el dato mediante una medición sobre el MDT, leyendo el valor de éste en la localización de cada yacimiento. Esto puede realizarse utilizando las herramientas *Spatial Analyst Tools > Extract Values to Points* o *Sample* que genera un nuevo *shape* o una nueva tabla con los valores de un *raster* para cada punto especificado.



### 3.2. El rango y la desviación altitudinal y el desnivel

El rango altitudinal o desnivel máximo de una zona ofrece una medida de la variación topográfica de una zona. Se entiende como una variable complementaria a la rugosidad (véase más adelante en este capítulo), ya que ésta en sí misma no tiene porqué implicar un gran desnivel absoluto y sin embargo es posible pensar en la existencia de zonas poco rugosas pero con elevado desnivel (relieve monoclinal de fuerte pendiente).

El rango es el intervalo de valores que contiene todos los datos de un conjunto. Es una medida de dispersión que se calcula restando el valor mínimo (localización más baja) al valor máximo (localización más alta). El rango evidentemente comparte unidades con los datos originales, por lo que se expresa en metros.

Entre los descriptores estadísticos básicos presentes en las propiedades de los MDT individuales de los entornos puede leerse el valor de máximo y mínimo. Por no tener que leer y tabular dato a dato las altitudes mínima y máxima de cada yacimiento, cabe la posibilidad de efectuar un análisis de estadística zonal (*Spatial Analyst Tools > Zonal > Zonal Statistics as Table*) del que nos interesa el valor de rango. Para ello se emplean los *buffers* de los entornos de los yacimientos como polígonos definidores de las zonas (evitando solapes) y el MDT como *raster* de valores.

Por el mismo procedimiento se obtuvo la desviación típica de la altitud en el entorno de cada yacimiento y el mínimo (en este caso en un radio de 200 m) para calcular el desnivel restando este valor a la altitud absoluta del yacimiento.

### 3.3. La prominencia del yacimiento en el entorno

La prominencia hace referencia a la elevación de algo respecto a lo que está cerca o alrededor, esto es del yacimiento sobre su entorno. Es una noción básica recogida en cualquier diccionario ([www.rae.es](http://www.rae.es)). Este rasgo no queda reflejado en la altitud absoluta, que no establece ninguna comparación entre el dato altitudinal referido a la ocupación y los datos del resto de localizaciones. Por ello, es necesario contemplar otras formas de representar la prominencia topográfica. Ésta tiene un significado práctico relacionado con el control desde el asentamiento y otro significado simbólico que se crea por la percepción desde el entorno hacia la ocupación. Este control y percepción están relacionados con la visibilidad, pero no deben confundirse; un asentamiento puede tener un gran control visual y ser él mismo muy visible desde el entorno pero no necesariamente por ello ser un relieve prominente.

En este trabajo se ha ensayado con tres parámetros que expresan la prominencia de una localización respecto a su entorno: la altitud relativa, la superficie dominada y la prominencia efectiva. Sus procedimientos de cálculo se detallan a continuación.

#### 3.3.1. La altitud relativa

La prominencia de un punto respecto de su entorno en principio y sin más consideraciones debería medirse en metros sobre ese entorno. La cuestión es que dicho entorno no tiene un valor altitudinal único. Por lo tanto hay que buscar un valor de altitud de referencia que de alguna manera represente a todo el entorno. La prominencia así considerada es denominada habitualmente altitud relativa: un valor de altitud en relación a otro de referencia (García Sanjuán 2005, 220). En ocasiones con esta intención se ha recurrido al valor máximo o al valor mínimo del entorno (Nocete Calvo 1994, 158), pero si este valor debe representar a todo el entorno, la media parece un valor más indicado (Burillo Mozota y López Romero 2005-2006, 75-76; Fábrega Álvarez 2004, 23). Evidentemente el valor de referencia que se tome ha de ser específico de cada entorno considerado; si se tomase una altitud de referencia general para todos los casos se estaría sustituyendo la referencia del nivel del mar por otro valor, por lo tanto sería otra forma de expresar una altura absoluta.

Una vez establecido el valor de referencia la siguiente cuestión es cómo se establece la comparación entre éste y la altitud absoluta del yacimiento. Por lo dicho hasta ahora, esta relación debe ser una resta, es decir, la razón aritmética entre ambos valores:

$$AR = A - \mu$$

Donde  $AR$  es la altitud relativa,  $A$  es la altitud absoluta del yacimiento y  $\mu$  es la altitud media del entorno (si este ha sido el valor de referencia elegido).

Sin embargo como bien señala Fábrega (2004, 23) esta solución tan simple no basta para la comparación entre diferentes yacimientos con diferentes entornos, pues la altitud relativa así calculada no refleja la proporción entre la absoluta y la media. Es decir, casos en los que la altitud absoluta y la media guarden proporciones similares pueden arrojar valores muy dispares de altitud relativa. Por tanto hay que buscar la manera de solucionar esta cuestión y lograr una medida proporcional y comparable entre casos. Una forma de lograrlo es dividiendo  $AR$  entre  $\mu$  de forma que se calcula en qué proporción  $AR$  es mayor o menor respecto a la media del entorno (Fábrega Álvarez 2004, 23):

$$AR_m = \frac{A_{abs} - \mu}{\mu}$$

Sin embargo, es preferible dividir por la desviación estándar ( $\sigma$ ), esto es, utilizar como altitud relativa la unidad tipificada ( $z$ ), que se utiliza en estadística para comparar datos de diferentes muestras o poblaciones. Fábrega considera una deficiencia el hecho de que la media no refleja la variabilidad altitudinal, y que por tanto ésta no está presente en el cálculo de la altitud relativa. Por tanto plantea incluirla dividiendo  $AR$  entre la desviación estándar de los valores altitudinales del entorno:

$$AR_t = z = \frac{A - \mu}{\sigma}$$

Fábrega (2004, 24) opta por esta solución para permitir el cálculo de altitudes relativas comparables entre sí. Burillo y López (2005-2006, 76) además indican como una ventaja que el resultado es un número comprendido entre 1 y -1, de modo que los valores positivos corresponden a las posiciones dominantes y los negativos a las dominadas por el entorno. Estos límites, sin embargo, no son siempre ciertos. Imaginemos una serie de altitudes (comprendidas entre el rango de la Depresión del Ebro) como la siguiente: 400; 200; 300; 200; 100, siendo el primero (400) la altitud de la localización de la que se quiere conocer su altura relativa. La media de estos valores es 240 y la desviación estándar es 114,0175425. Entonces,

$$AR_t = \frac{400 - 240}{114,0175425} = 1,403292831 > 1$$

Si realmente queremos que la altitud relativa de cada caso de una muestra se ajuste al rango -1 a 1, entonces se puede proceder del siguiente modo:

$$AR_i = \frac{AR_t - \overline{AR_t}}{AR_{max} - \overline{AR_t}}$$

siendo  $AR_i$  el valor de altitud relativa forzado al rango -1 a 1,  $AR_t$  el valor original,  $AR_{max}$  el valor máximo de altitud relativa original entre los casos estudiados y  $\overline{AR_t}$  la media de las altitudes relativas originales de los casos estudiados.

En todo caso la solución original, sin forzar el rango, es satisfactoria y su cálculo en sí es sencillo. Se trata de aplicar la fórmula de la altitud relativa tipificada ya sea en ArcGIS en el *Field Calculator* o en una hoja de cálculo de Excel. La altura absoluta ( $A$ ) de la ocupación es conocida (véase más arriba en este capítulo) y la altitud media ( $\mu$ ) de cada entorno se calcula mediante la herramienta *Spatial Analyst Tool > Zonal > Zonal Statistics as Table* aplicada al MDT de la zona de estudio usando como zonas los *buffers* de los entornos (evitando solapes) o simplemente mirando los descriptores estadísticos básicos en las propiedades de cada MDT de entornos individuales.

### 3.3.2. La superficie dominada

No obstante cabe plantear otras aproximaciones para expresar la prominencia y que resultan en cierta medida complementarias a la altitud relativa.

La primera es una propuesta de Llobera (2001, 1007), que denomina prominencia topográfica (*PT*) y que queda expresada en términos de porcentaje de superficie del entorno que está por debajo del punto a considerar. Esto es,

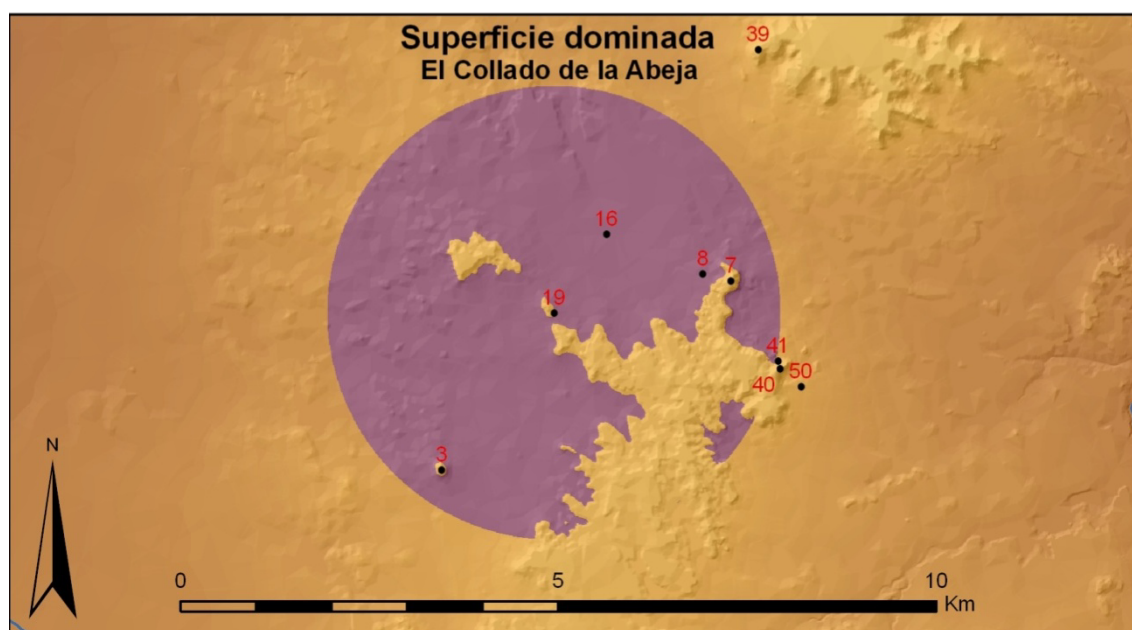
$$PT = 100 \frac{S_{z < h}}{S}$$

donde  $S_{z < h}$  es la superficie ocupada por todas las localizaciones que tienen una altitud ( $z$ ) por debajo de la del punto estudiado ( $h$ ) y  $S$  es la superficie total del entorno.

Es decir, da una idea de sobre qué superficie el punto es prominente, pero no de cuán prominente es. Por ello yo lo denomino, creo que con acierto, índice de superficie dominada (*SD*). Si se prefiere expresar esta variable como un índice es preferible que los valores en lugar de cómo porcentaje se expresen entre 0 y 1. Así basta con dividir  $S_{z < h}$  entre  $S$ :

$$SD = \frac{S_{z < h}}{S}$$

No obstante en este estudio, como todos los entornos tienen la misma superficie (282677 celdas contenidas en un círculo de 3 km de radio),  $S$  es una constante para todos los casos. Por tanto basta con expresar esta variable directamente como una superficie.



**Figura 8.** Superficie dominada por el Collado de la Abeja (19). La superficie dominada es aquella que queda por debajo del yacimiento. En la figura aparecen también los yacimiento Cabezo Altomira (3), Cabezo La Torre I (7) y II (8), Caseta Felusia (16), Peña del Águila (39), Peña Enroque (40), Peña Enroque ladera NO (41) y Viña de los Fanlo (51).

El procedimiento de cálculo ha de partir de los MDT individuales para cada entorno de yacimiento. Éstos serán reclasificados (*Spatial Analyst Tool > Reclass > Reclassify*) en dos categorías: 0 para celdas con valor inferior a la altitud absoluta del yacimiento y 1 aquellas con un valor mayor (figura

8). La tabla de atributos de cada MDT individual reclasificado contiene el recuento de celdas en cada categoría y por tanto su superficie (dada el área constante de toda celda: 100 m<sup>2</sup>).

### 3.3.3. La prominencia efectiva

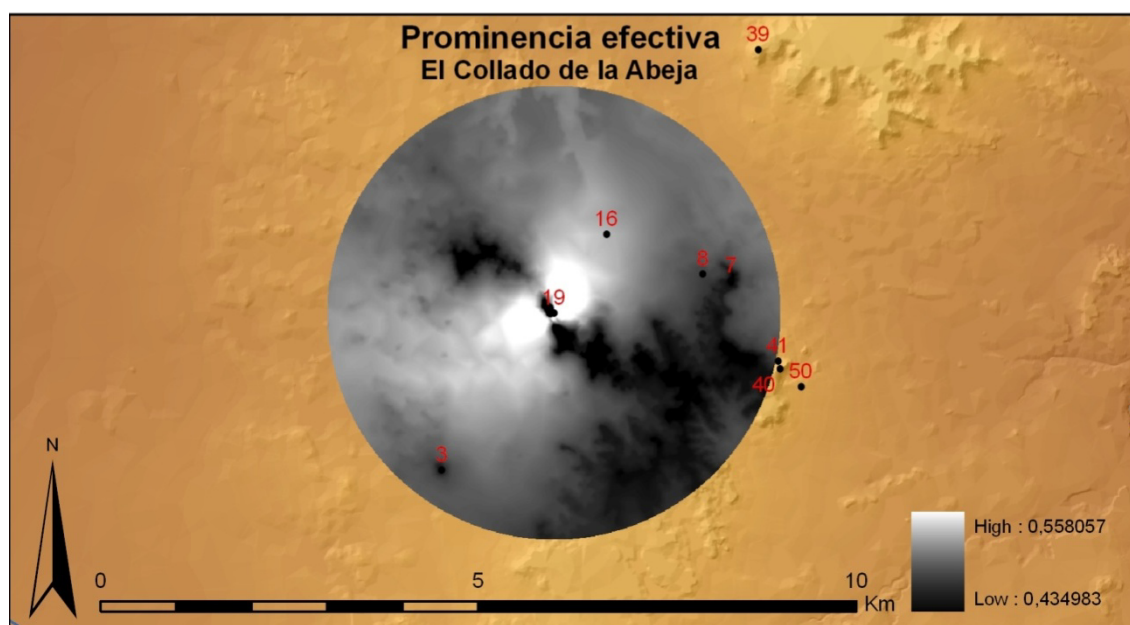
La segunda es una propuesta propia que introduce un matiz de subjetividad en la noción de prominencia y la expresa como un índice entre 1 y -1 (si se suma 1 y se divide entre dos queda un índice entre 1 y 0). La llamo prominencia efectiva: la subjetividad se introduce al considerar la percepción de la prominencia de un objeto, o el dominio de una posición sobre las más bajas, entendiendo que esta percepción o este dominio decrecen con la distancia. Mirar una torre desde muy cerca supone echar la cabeza hacia atrás y levantar la vista hacia el cielo, porque la torre está dominando la zona. Si miramos esa misma torre desde una distancia considerable apenas tendremos que levantar la vista del horizonte; el dominio de la torre sobre nuestra posición es mucho menor. Así que puede resultar conveniente introducir la distancia como un factor que relativiza la prominencia.

Desde este planteamiento la prominencia de A sobre B resulta una función tanto del desnivel como de la distancia entre las dos posiciones. El desnivel ( $h$ ) y la distancia planimétrica ( $l$ ) constituyen los catetos de un triángulo rectángulo, siendo la hipotenusa ( $d$ ) la línea recta trazada entre A y B. El ángulo ( $\alpha$ ) formado por  $d$  y  $l$ , por sus relaciones de proporcionalidad con los lados del triángulo sirve para expresar lo que aquí estamos llamando prominencia: cuanto mayor sea el desnivel entre A y B mayor será el ángulo y por tanto la prominencia, y cuanto mayor sea la distancia entre ambas posiciones menor resultarán el ángulo y la prominencia.

Si se prefiriese expresar la prominencia efectiva como índice se podría dividir el ángulo entre 90. Así la prominencia efectiva queda expresada por un valor que va desde 1 (prominencia total de A sobre B con un ángulo de 90°) a -1 (A es dominado por B con un ángulo de -90°) pasando por 0 (A y B están a la misma altura y ninguno domina sobre el otro). Si se prefiere que el rango del índice esté comprendido entre 0 y 1 bastará con sumarle 1 y dividir por 2 (*figura 9*). Así tenemos que:

$$PE_{-1,1} = \frac{\alpha}{90}$$

$$PE_{0,1} = \frac{\frac{\alpha}{90} + 1}{2} = \frac{\alpha + 90}{180}$$



**Figura 9.** Prominencia efectiva del Collado de la Abeja (19) expresada como índice de 0 a 1. En la figura aparecen también los yacimiento Cabezo Altomira (3), Cabezo La Torre I (7) y II (8), Caseta Felusia (16), Peña del Águila (39), Peña Enroque (40), Peña Enroque ladera NO (41) y Viña de los Fanlo (51).

Así se obtiene la prominencia efectiva o percibida de un punto sobre otro, pero para expresar la prominencia de un punto sobre un conjunto de puntos (el entorno) habrá que recurrir a la media de todas las prominencias individuales.

El procedimiento de cálculo parte de nuevo de los MDT de entornos individuales. A partir de ellos hay que conseguir MDD en el que cada celda contenga el valor del ángulo ( $\alpha$ ) formado por la horizontal y la línea recta entre dicha celda y la localización central. Este ángulo puede conocerse por las proporciones entre dos lados del triángulo rectángulo, siendo los más sencillos de obtener los dos catetos  $h$  y  $l$ :

$$\alpha = \text{arcotan} \left( \frac{h}{l} \right)$$

Por tanto, las variables que hay que conocer para cada celda son  $h$  y  $l$ . Un MDD del desnivel ( $h$ ) entre cada celda y el yacimiento se obtiene en *Raster Calculator* de la resta de la altitud absoluta de la ocupación menos el valor de la celda del MDT individual. La distancia planimétrica de cada celda al yacimiento ( $l$ ) se calcula con la herramienta *Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean Distance* estableciendo como punto de inicio de las distancias la localización del yacimiento.

Si se prefiere el índice, una vez conocidas y codificadas en sendos MDD las variables pertinentes, en *Raster Calculator* se puede o bien calcular  $\alpha$  ( $\text{Atan}([\text{MDD}_h] / [\text{MDD}_l])$ ) o bien directamente calcular el índice sustituyendo  $\alpha$  en la fórmula:

$$PE_{0,1} = \frac{\text{arcotan} \left( \frac{h}{l} \right) + 90}{180}$$

Por último es conveniente recordar que otra forma de introducir la subjetividad en la noción de prominencia de una ocupación es considerar sólo aquellas localizaciones con las que tiene relación de visibilidad. Así cabría plantear tanto una superficie dominada visible como una prominencia efectiva y percibida. Sin embargo, estos índices no serían estrictamente unas alternativas mejoradas, sino que estarían expresando algo ligeramente distinto. Por tanto no pueden sustituir a los índices originales. Además del mismo modo que se establece la visibilidad como factor de subjetividad podrían establecerse otros como la movilidad (superficie dominada y alcanzable en 10 minutos de marcha y prominencia efectiva a 10 minutos de marcha) o incluso combinaciones de factores (superficie dominada visible y alcanzable en 10 minutos y prominencia efectiva percibida a 10 minutos de marcha). En definitiva, considero que todas estas variaciones complican innecesariamente el análisis de este rasgo e introducen índices hasta cierto punto redundantes.

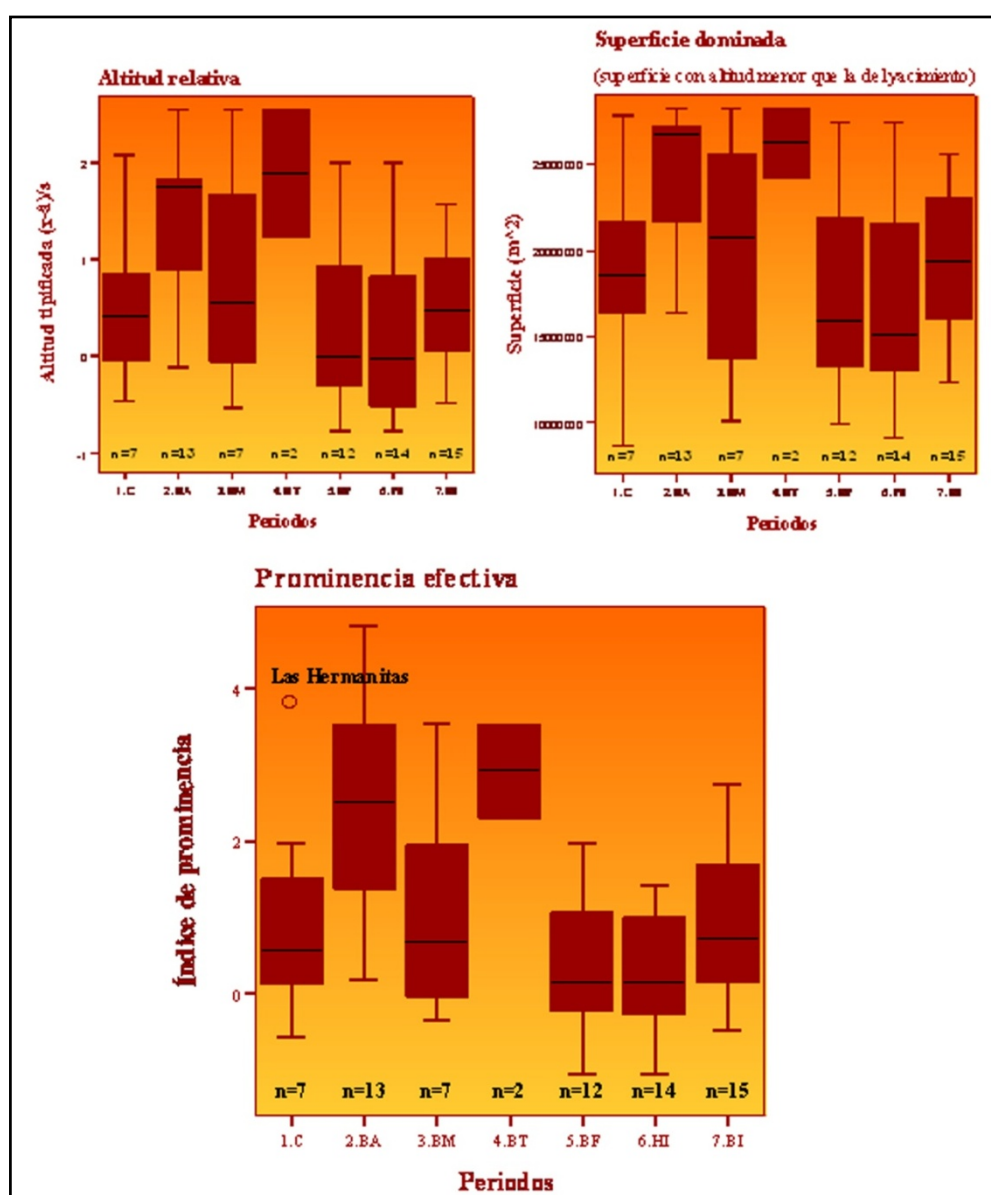
### 3.3.4. Correlación entre las variables que expresan la prominencia

La altitud relativa, la superficie dominada y la prominencia efectiva son tres formas de expresar cuantitativamente la noción de prominencia y, aunque cada una contiene matices propios del proceso de cálculo propio, lo cierto es que resultan altamente redundantes, como puede apreciarse por la alta correlación entre las tres variables (*tabla 5*).

**Tabla 5.** Correlaciones bivariadas de las variables que expresan la prominencia de los yacimientos: Altitud relativa, Superficie dominada y Prominencia efectiva.

Correlaciones		A.F.A. Alt. Relativa	A.F.B. Sup. Dominada	A.F.C. Prom. Efectiva
A.F.A. Alt. Relativa	Correlación de Pearson	1	,970**	,901**
	Sig. (unilateral)		,000	,000
	N	50	50	50
A.F.B. Sup. Dominada	Correlación de Pearson	,970**	1	,876**
	Sig. (unilateral)	,000		,000
	N	50	50	50
A.F.C. Prom. Efectiva	Correlación de Pearson	,901**	,876**	1
	Sig. (unilateral)	,000	,000	
	N	50	50	50

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).



**Figura 10.** Diagramas de cajas que muestra la prominencia de los yacimientos por periodos a través de la distribución de los cuartiles de tres variables (de izquierda a derecha y de arriba abajo): altitud relativa, superficie dominada y prominencia efectiva.

Como las tres variables representan el mismo rasgo y están altamente correlacionadas, la signatura dibujada por sus medianas es prácticamente la misma (*figura 10*). Sin embargo la variabilidad de los valores extremos entre periodos y rango intercuartílico son algo menores en el caso de la prominencia efectiva y mayores en la superficie dominada. Por ello considero que la inclinación media (prominencia efectiva) es la variable más significativa de las tres propuestas; es la que mejor permite discriminar entre periodos y la que muestra tendencias más claras.

Ante correlaciones tan altas, en los análisis posteriores se prescinde de la altitud relativa y de la superficie dominada, pues, como se verá a continuación, la prominencia efectiva recoge un matiz relacionado con la percepción que resulta interesante en el estudio de yacimientos arqueológicos.

### 3.4. La rugosidad

Por último queda la rugosidad, que es un descriptor topográfico fundamental de una zona determinada, aunque no exento de ciertos problemas que hay que considerar y solucionar para poder incorporar este rasgo al análisis. La rugosidad recoge la variabilidad topográfica del terreno en el que se haya el yacimiento. Esta variabilidad puede tener su origen en uno o varios de los siguientes factores: las variaciones de altitud, de pendiente y de orientación. La rugosidad condiciona cualquier aspecto territorial de una comunidad (accesibilidad y movimiento, visibilidad y control, insolación y posibilidad de determinados cultivos...), lo que la hace un rasgo fundamental del análisis y que puede considerarse que condiciona buena parte de los rasgos siguientes.

Para incluirla en los análisis debemos contar con un MDD *raster* en el que cada celda exprese un valor de rugosidad. Los problemas son, evidentemente, cómo expresar esta magnitud y cómo calcularla. Como se ha dicho la rugosidad se relaciona con la variabilidad en altitud, pendiente y orientación, y los estadísticos que de forma más sencilla representan el grado de variabilidad de una magnitud son el rango (la amplitud del conjunto de valores) y la desviación estándar (la dispersión del conjunto de valores con respecto a la media). Sin embargo tratar la variabilidad de tres variables de forma independiente supondría crear después algún índice que las sintetizase. Esto resulta difícil pues habría que decidir el peso otorgado a cada una de ellas en dicho índice y porque terrenos cuya rugosidad estuviera determinada principalmente por una sola variable arrojarían un valor rebajado por las otras dos. Por tanto es mejor buscar otra aproximación. La propuesta de (Franklin 1987), recogida por Felicísimo Pérez (1994, 56), resulta completamente satisfactoria: analiza la dispersión y suma vectorial de los vectores normales (perpendiculares) a la superficie, que en sí mismos sintetizan la orientación y pendiente. Se calcula el vector unitario perpendicular a la superficie en un punto dado y en las localizaciones vecinas. La suma vectorial de estos vectores será inversamente proporcional a la rugosidad, mientras que la dispersión será directamente proporcional a la rugosidad. Así pues, se puede utilizar el módulo del vector suma como expresión de la rugosidad del terreno, dada la relación de proporcionalidad inversa existente.

Su cálculo es complejo. Dadas una pendiente ( $\gamma$ ) y una orientación ( $\varphi$ ) conocidas para cada punto del terreno (celdas de los respectivos MDD), las coordenadas rectangulares de un vector unitario perpendicular a la superficie de la localización  $i$  se obtienen de (Felicísimo Pérez 1994, 57):

$$x_i = \sin \gamma_i \cdot \cos \varphi_i$$

$$y_i = \sin \gamma_i \cdot \sin \varphi_i$$

$$z_i = \cos \gamma_i$$

Obtenidas estas coordenadas para cada vector perpendicular a la superficie, el módulo del vector suma se calcula para un conjunto de  $n$  vecinos de la localización  $i$  (los 8 vecinos inmediatos por ejem-

plo o los vecinos a menos de un radio prefijado de distancia). La expresión que permite calcular el módulo del vector suma es (Felicísimo Pérez 1994, 57):

$$R = \sqrt{\left(\sum_{i-n}^n x_{i-n}\right)^2 + \left(\sum_{i-n}^n y_{i-n}\right)^2 + \left(\sum_{i-n}^n z_{i-n}\right)^2}$$

Opcionalmente se puede estandarizar este valor dividiéndolo entre el tamaño muestral ( $n$ ):

$$\bar{R} = \frac{\sqrt{(\sum_{i-n}^n x_{i-n})^2 + (\sum_{i-n}^n y_{i-n})^2 + (\sum_{i-n}^n z_{i-n})^2}}{n}$$

Como el módulo de los vectores normales a cada celda es 1, al normalizar por el tamaño muestral, la rugosidad quedará expresada por un número entre 0 y 1. Como ya se ha dicho, el módulo del vector suma es inversamente proporcional a la rugosidad. Si queremos expresar la rugosidad de forma que el valor incremente proporcionalmente a esta y siga quedando comprendido entre 0 y 1, hay que restar  $\bar{R}$  a 1 (el inverso, esto es  $\bar{R}^{-1}$  no es adecuado pues el resultado quedaría comprendido entre 1 e  $\infty$ ). Así:

$$\text{Índice de rugosidad} = 1 - \bar{R}$$

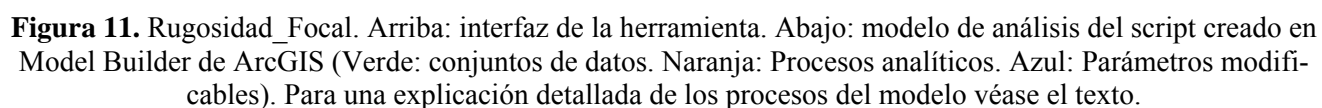
Para utilizar estas expresiones en ArcGIS hay que utilizar varias herramientas y realizar una serie de pasos. Para facilitar su realización he creado con el *Model Builder* de ArcGIS una nueva herramienta (*script*), *Rugosidad\_Focal* (Figura 8), que calcula el módulo del vector suma de los vectores normales a la superficie para cada celda y sus vecinas en un radio definido por el usuario (en este caso 3 km). En otras palabras, a partir de un MDT devuelve un mapa en el que cada celda adopta el valor de rugosidad de su vecindad, siendo esta un parámetro manipulable.

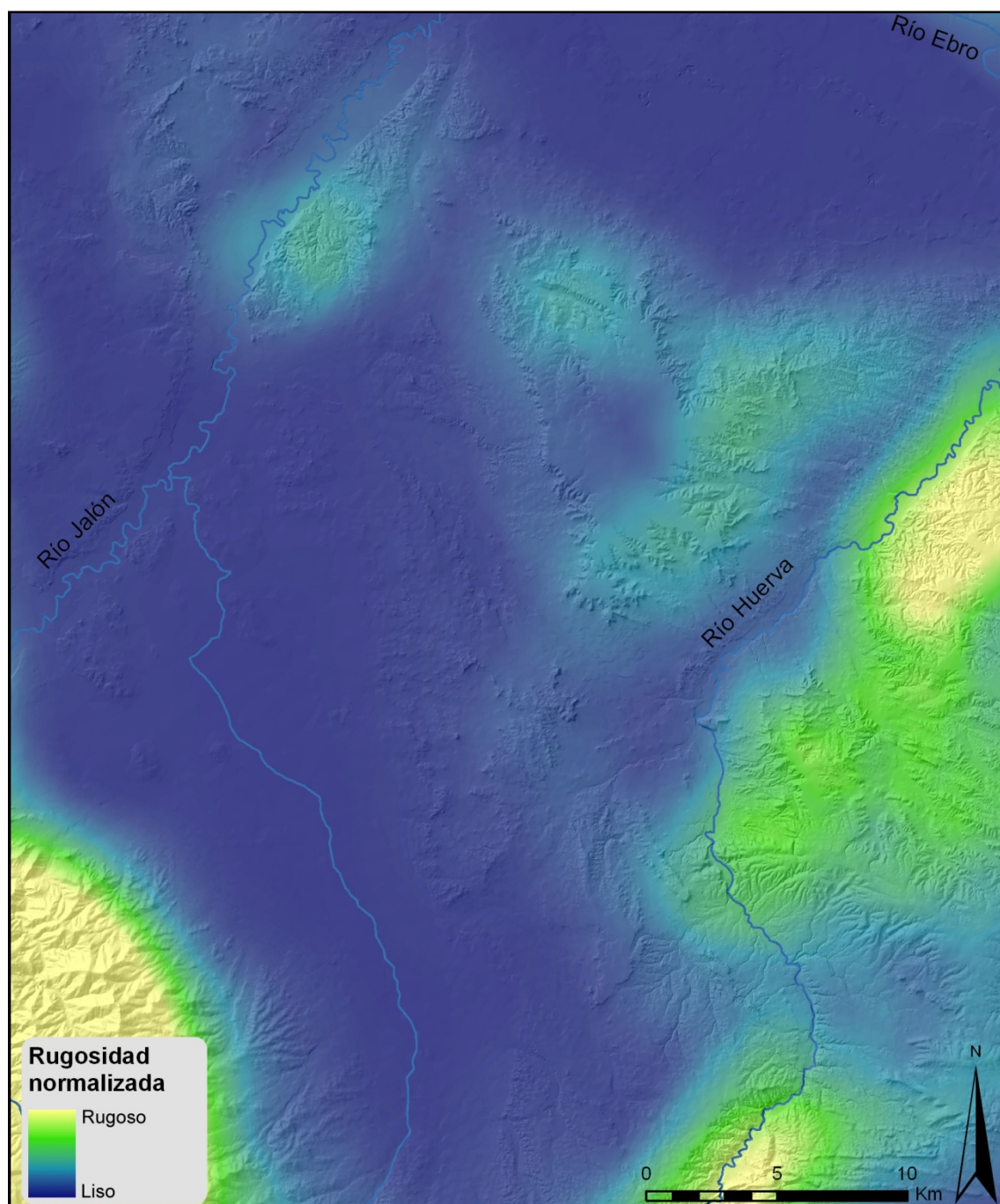
La cadena de las 16 operaciones que realiza la nueva herramienta *Rugosidad\_Focal* es la siguiente (figura 11):

- A. A partir del MDT, generación de un MDD de pendientes en grados (*Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*).
- B. A partir del MDT, generación de un MDD de orientaciones en grados (*Spatial Analyst Tools > Surface > Aspect*).
- C. Reclasificación del MDD de orientaciones para evitar los valores -1 que representan las zonas llanas sin orientación (*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*). Los valores originales -1 pasan a tener valor 0; los valores originales 0 pasan a tener valor 360. Esto supone que aun con diferente valor, ambos representan una orientación N. Las zonas llanas (ahora con valor 0) no deberían tener orientación y sin embargo así han quedado orientadas al N. Esto no supone un problema en este procedimiento analítico pues la orientación será utilizada conjuntamente a la pendiente y en las zonas llanas el valor de pendiente 0 anulará el valor de orientación (ver más abajo). En realidad lo fundamental de este paso es por tanto eliminar los valores negativos de las zonas llanas que afectarían a los cálculos trigonométricos posteriores. Esto se puede hacer de diversos modos, siendo el más sencillo utilizar *Spatial Analyst Tools > Math > Abs* que devuelve un raster con el valor absoluto de cada valor del raster original. Así los valores -1 pasarían a tener valor 1, pero en todo caso serían anulados al analizarse con las pendientes 0. Sin embargo he preferido realizar esta reclasificación para mantener valores únicos para las zonas llanas y el resto de las orientaciones.
- D. Conversión del MDD de pendientes de grados a radianes aplicando la siguiente expresión de *Map Algebra*: [MDD pendientes] \* 3.14159265358979323846 / 180 (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*). Las funciones trigonométricas de ArcGIS requieren ángulos expresados en radianes, por lo que este paso es necesario.
- E. Conversión del MDD de orientaciones de grados a radianes aplicando la siguiente expresión de *Map Algebra*: [MDD pendientes] \* 3.14159265358979323846 / 180 (*Spatial Analyst Tools > Map*



- Algebra > Single Output Map Algebra*). Las funciones trigonométricas de *ArcGIS* requieren ángulos expresados en radianes, por lo que este paso es necesario.
- F. A partir del MDD de pendientes, obtención de un MDD del seno de la pendiente (*Spatial Analyst Tools > Math > Trigonometric > Sin*).
  - G. A partir del MDD de pendientes, obtención de un MDD del coseno de la pendiente (*Spatial Analyst Tools > Math > Trigonometric > Cos*).
  - H. A partir del MDD de orientaciones, obtención de un MDD del seno de la orientación (*Spatial Analyst Tools > Math > Trigonometric > Sin*).
  - I. A partir del MDD de orientaciones, obtención de un MDD del coseno de la orientación (*Spatial Analyst Tools > Math > Trigonometric > Cos*).
  - J. A partir de los MDD de seno de la pendiente y coseno de la orientación, obtención de un MDD de la coordenada cartesiana X del vector normal a la superficie de cada celda aplicando la siguiente expresión de *Map Algebra*: [Seno de la pendiente] \* [Coseno de la orientación] (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*).
  - K. A partir de los MDD de seno de la pendiente y seno de la orientación, obtención de un MDD de la coordenada cartesiana Y del vector normal a la superficie de cada celda aplicando la siguiente expresión de *Map Algebra*: [Seno de la pendiente] \* [Seno de la orientación] (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*).
  - L. A partir del MDD de coseno, obtención de un MDD de la coordenada cartesiana Z del vector normal a la superficie de cada celda aplicando la siguiente expresión de *Map Algebra*: [Coseno de la pendiente] \* 1 (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*).
  - M. A partir del MDD de la coordenada cartesiana X del vector normal a la superficie de cada celda, obtención de un MDD de la suma de los valores de dicha coordenada en una vecindad especificada, en este caso definida por un círculo con un radio de 3 km (*Spatial Analyst Tools > Neighborhood > Focal Statistics*).
  - N. A partir del MDD de la coordenada cartesiana Y del vector normal a la superficie de cada celda, obtención de un MDD de la suma de los valores de dicha coordenada en una vecindad especificada, en este caso definida por un círculo con un radio de 3 km (*Spatial Analyst Tools > Neighborhood > Focal Statistics*).
  - O. A partir del MDD de la coordenada cartesiana Z del vector normal a la superficie de cada celda, obtención de un MDD de la suma de los valores de dicha coordenada en una vecindad especificada para cada celda, en este caso definida por un círculo con un radio de 3 km (*Spatial Analyst Tools > Neighborhood > Focal Statistics*).
  - P. A partir de los MDD de las sumas focales de las coordenadas cartesianas X, Y y Z de los vectores normales a la superficie de cada celda, obtención un MDD del módulo del vector suma aplicando la siguiente expresión de *Map Algebra*:  $\text{Sqrt}(\text{Sqr}([\text{SUM\_Y}]) + \text{Sqr}([\text{SUM\_X}]) + \text{Sqr}([\text{SUM\_Z}]))$  (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*). Este MDD del módulo del vector suma, o preferiblemente su valor normalizado por el tamaño muestral, es en esencia un MDD de rugosidad (*figura 12*), como ya se ha argumentado.





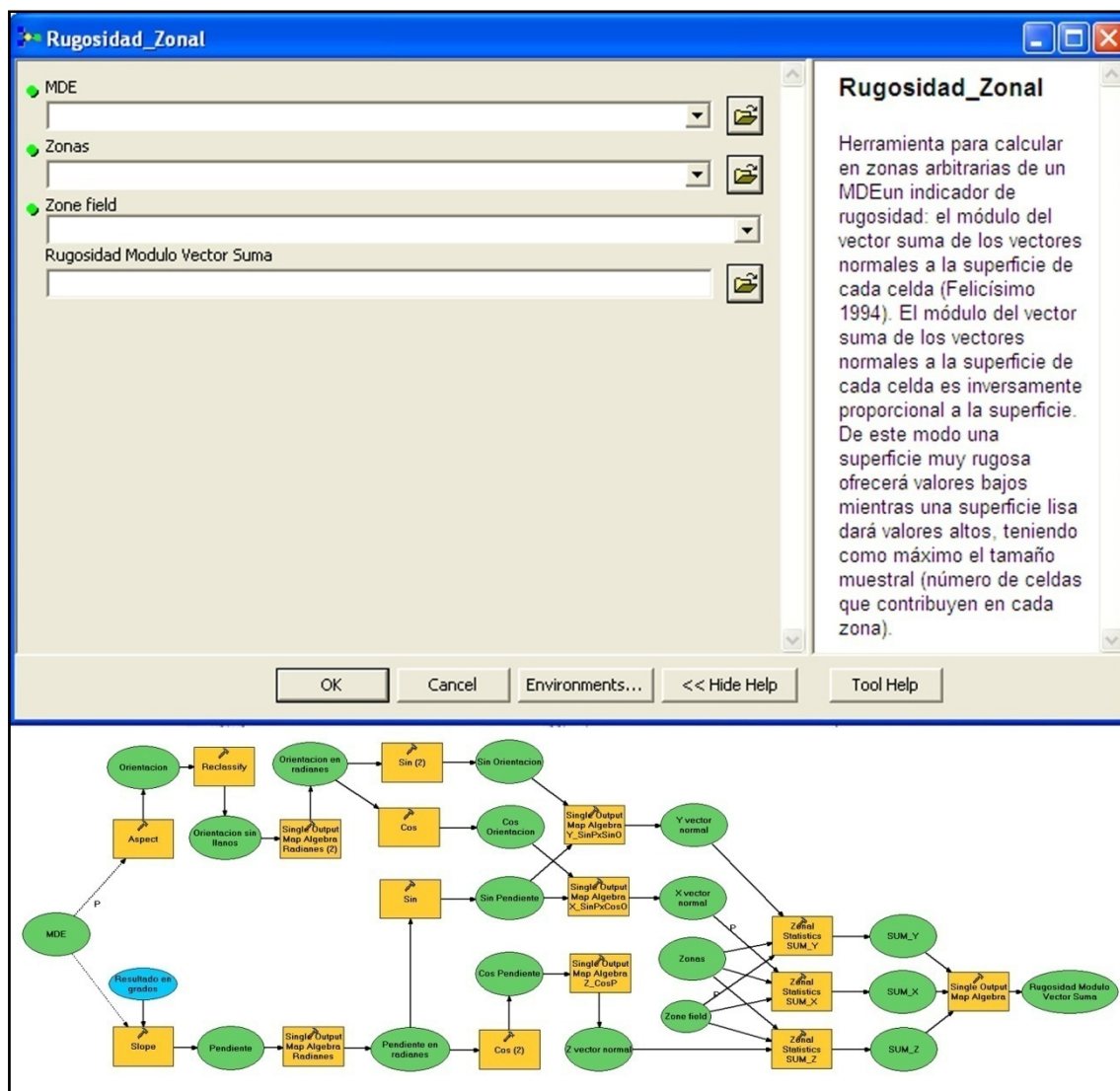
**Figura 12.** Mapa de rugosidad. Ríos y sombreado añadidos para facilitar la interpretación del mapa. Cada celda contiene el valor del módulo del vector resultante de la suma de los vectores normales de todas las celdas contenidas en un radio de 3 km. Así los valores bajos indican mayor rugosidad. Nótese que hay zonas llanas que tienen valores altos de rugosidad. Esto se debe al tamaño de la vecindad definida, que hace que cada celda exprese un valor medio para una zona amplia que puede contener situaciones contrastadas. Es el caso de la llanura de inundación de los ríos en presencia del escarpe, por ejemplo.

Conviene tener en cuenta que la ejecución de *Focal Statistics* sobre superficies *raster* de grandes dimensiones y con vecindades amplias puede dar lugar a cálculos demasiado exigentes para las capacidades del ordenador. En este caso no podrá ejecutarse la herramienta *Rugosidad\_Focal*. Como alternativa he creado la herramienta *Rugosidad\_Zonal* (figura 13) que circunscribe el cálculo específicamente a las zonas que interese, en este caso los entornos de los yacimientos definidos por un radio de 3 km. En otras palabras, a partir de un MDT y una capa que defina las zonas de estudio devuelve un mapa en el que cada zona adopta el valor de rugosidad conforme se ha explicado arriba. Así se limita notablemente el número de iteraciones que ha de desempeñar al análisis. Los inconvenientes de esta

alternativa son: 1- No devuelve un mapa de rugosidad, sino valores de rugosidad para entornos concretos. 2- No admite el uso de zonas solapadas (si las zonas se solapan hay que repetir el análisis por grupos de zonas no solapadas y posteriormente unir los resultados). Los pasos que ejecuta la herramienta *Rugosidad\_Zonal* son los siguientes (A a L igual que *Rugosidad\_Focal*):

- M. A partir de la capa de zonas y del MDD de las coordenadas cartesianas X de los vectores normales a la superficie de cada celda, obtención de un MDD de la suma de las coordenadas cartesianas X contenidas dentro de las zonas especificadas en la capa correspondiente (*Spatial Analyst > Zonal > Zonal Statistics*).
- N. A partir de la capa de zonas y del MDD de las coordenadas cartesianas Y de los vectores normales a la superficie de cada celda, obtención de un MDD de la suma de las coordenadas cartesianas Y contenidas dentro de las zonas especificadas en la capa correspondiente (*Spatial Analyst > Zonal > Zonal Statistics*).
- O. A partir de la capa de zonas y del MDD de las coordenadas cartesianas Z de los vectores normales a la superficie de cada celda, obtención de un MDD de la suma de las coordenadas cartesianas Z contenidas dentro de las zonas especificadas en la capa correspondiente (*Spatial Analyst > Zonal > Zonal Statistics*).
- P. A partir de los MDD de la suma de las coordenadas de los vectores normales dentro de cada zona, obtención de un MDD del módulo del vector suma de todos los vectores contenidos en cada zona aplicando la siguiente expresión de *Map Algebra*:  $\text{Sqrt}(\text{Sqr}([\text{SUM\_Y}]) + \text{Sqr}([\text{SUM\_X}]) + \text{Sqr}([\text{SUM\_Z}]))$  (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*). El MDD resultante en este caso es un raster que contiene n zonas y dentro de cada una de ellas todas las celdas tienen el valor del módulo del vector suma de todos los vectores normales a la superficie contenidos en la correspondiente zona. Es decir, es un MDD de rugosidad por zonas.

Una vez creado el MDD de rugosidad (*figura 12*) hay que extraer de él los valores correspondientes a las localizaciones de los yacimientos del mismo modo que se ha hecho con la altitud absoluta: *Spatial Analyst Tools > Extract Values to Points* o *Sample*. Una vez hecho eso hay que estandarizar la muestra dividiendo el valor de rugosidad por el tamaño muestral, que dadas las dimensiones de los entornos y la resolución a la que se trabaja, es de 282677 celdas. Y finalmente, como ya se ha dicho, se resta el resultado a 1, para obtener un índice comprendido entre 0 y 1 directamente proporcional a la rugosidad. Estas operaciones se pueden hacer en ArcGIS con *Field Calculator* o en una hoja de cálculo de Excel.



**Figura 13.** Rugosidad\_Zonal. Arriba: interfaz de la herramienta. Abajo: modelo de análisis del *script* creado en *Model Builder* de ArcGIS (Verde: conjuntos de datos. Naranja: Procesos analíticos. Azul: Parámetros modificables). Para una explicación detallada de los procesos del modelo véase el texto.



## 4. RASGOS TEMÁTICOS

Los descriptores temáticos dan una visión de las características cualitativas del entorno de los yacimientos. Estas características, una vez clasificadas, se expresan cuantitativamente como distancia o superficie ocupada por cada clase<sup>5</sup>. Las cualidades que he introducido en el análisis se relacionan con la disponibilidad hídrica, la geomorfología y los riesgos que entraña la actividad agropecuaria.

### 4.1. La distancia a la red hidrográfica

La distancia al agua es una cuestión fundamental en la estrategia de cualquier comunidad humana con bases económicas agropecuarias. Como ya se ha comentado, para este rasgo se tienen en cuenta sólo las aguas encauzadas superficiales, ignorándose las fuentes y pozos por la incertidumbre que crean.

La relación entre los yacimientos y la red hidrográfica se expresa mediante la distancia euclídea medida en metros desde el yacimiento hasta el punto más próximo de la red. Como la red ha sido dividida en dos categorías, para cada yacimiento hay que medir dos distancias: primero la distancia a los cauces principales para ver si vertebran de algún modo el poblamiento y la distancia a los barrancos que también servirían para el abastecimiento de agua. Estas distancias son fácilmente calculables utilizando la herramienta *Analysis Tools > Proximity > Near*, que determina la distancia desde cada una de las entidades de un *shape* (yacimientos) hasta la entidad más cercana de otro (ríos).

### 4.2. Clases geomorfológicas

Otro aspecto temático contemplado en este trabajo son las clases geomorfológicas presentes en el entorno de los yacimientos. De hecho la relación entre los sistemas de poblamiento y las unidades geomorfológicas de la zona de estudio es la piedra angular de este trabajo. La interpretación geomorfológica del entorno de los yacimientos es lo que me permite ponerlos en relación con una aproximación discursiva a su paisaje original. Correctamente interpretadas, las unidades geomorfológicas constituyen auténticos testigos del estado pasado del paisaje y registros de las vicisitudes ambientales (Peña-Monné 1996; Peña-Monné *et al.* 1998; Peña-Monné *et al.* 2005a; Peña-Monné *et al.* 2005b; Peña-Monné *et al.* 2011; Pérez-Lambán 2013; Pérez-Lambán *et al.* en prensa). Por otro lado, hay unidades que han sufrido unas transformaciones menores que otras, de modo que en esos casos la relación actual yacimiento-unidad geomorfológica resulta similar a la relación pasada ocupación-unidad geomorfológica. Por todo ello, es fundamental conocer esta relación presente, a partir de la cual se puede hacer una lectura de la relación entre las comunidades humanas de la Edad del Bronce y el paisaje en el que vivieron. Y, en todo caso, siempre es interesante conocer la relación entre el yacimiento, como fenómeno actual, y los procesos geomorfológicos participantes en su deterioro o preservación; la existencia y distribución de yacimientos debe considerarse no sólo un reflejo del sistema de asentamientos antiguo, sino también el resultado de una serie de procesos de cambio en el paisaje por factores naturales y antrópicos.

---

<sup>5</sup> Como en el caso de la superficie dominada, estas superficies pueden expresarse también como índice, dividiendo la superficie de clase entre la superficie de entorno:  $\text{Índice de ocupación}_{\text{clase}} = \frac{S_{\text{clase}}}{S_{\text{entorno}}}$ . Esto puede convenir a determinados análisis o en el caso de que se esté trabajando con entornos variables. Como en este trabajo los análisis planteados pueden trabajar con datos brutos de superficie y los entornos son iguales en todos los casos (282677 celdas de 100 m<sup>2</sup> en un círculo de 3 km de radio), la ocupación de una clase se expresará como superficie.

Cuantitativamente esto se expresa en términos de superficie ocupada dentro del entorno de los yacimientos por cada clase del mapa geomorfológico ya construido (*figura 6*). El procedimiento para obtener las superficies de ocupación para cada clase se realiza mediante un análisis de estadística zonal (sin solapes), como en el caso del rango altitudinal, con la herramienta *Spatial Analyst Tools > Zonal > Zonal Statistics as Table*. Del resultado nos interesa el valor *area* de las clases del mapa (si prefiriésemos usar la celda como unidad de superficie, tomaríamos el valor *count*).

### 4.3. Tipos de suelos y riesgos por actividad agropecuaria

El último aspecto temático analizado es la presencia y distribución de suelos y el riesgo que entraña el desarrollo de actividades agropecuarias en el entorno del yacimiento, según las consideraciones paleoambientales de la zona de estudio (Espinar y Voltas 2009; Peña-Monné *et al.* 2004; Peña-Monné *et al.* 2011; Pérez-Lambán 2013; Pérez-Lambán *et al.* en prensa). Las bases económicas de las comunidades del Bronce implican el desarrollo de unas actividades que pueden desencadenar cambios sustanciales en el paisaje y pueden comprometer la sostenibilidad del sistema socioeconómico. Los riesgos que se consideran y se clasifican aquí son derivados de tres agentes: la posible distribución de suelos, la pendiente (como factor principal de la erosión) y la humedad.

La erosión hay que considerarla bajo unas condiciones de alteración antrópica del suelo. La Edad del Bronce geomorfológicamente se considera una etapa de fitoestabilización y regularización de laderas, fenómenos, hasta cierto punto, contrarios y excluyentes a la erosión. Sin embargo allí donde se desarrolla una actividad agrícola o ganadera la cubierta vegetal desaparece, se debilita o destruye el sistema radicular del suelo, se disgrega su estructura y se apelmaza dificultando la humectación y favoreciendo la escorrentía (Butzer 2007, 161-171). En estas condiciones de alteración del suelo, con una pendiente suficiente y una pluviosidad mayor a la actual, la erosión puede ser un problema por lavado de finos o por deslizamientos de tierra, y en todo caso por pérdida de superficie utilizable. Por tanto podemos considerar que existe un umbral de pendiente que o bien excluye algunas superficies para el cultivo o bien, si fueron cultivadas, entrañó un enorme riesgo de erosión catastrófica a medio plazo. A partir de dicha pendiente sería necesario acometer obras de aterrazamiento para posibilitar la agricultura y es dudosa la existencia de estas infraestructuras con fines agrícolas en la Edad del Bronce del nordeste peninsular (Pérez-Lambán 2013).

El otro factor considerado es la humedad del suelo. El nivel de humedad en principio no debería suponer un problema para la actividad agropecuaria de las comunidades del Bronce. En la actualidad tanto la agricultura de secano como la ganadería extensiva son dos realidades muy desarrolladas en este territorio. Es más, dadas las condiciones paleoambientales de mayor abundancia y retención de las precipitaciones la disponibilidad de agua para los cultivos y el ganado no sería difícil de garantizar. Esta mayor humedad probablemente no incrementaría los rendimientos, pero sí los aseguraría. Ahora bien, la humedad también puede tener consecuencias negativas por exceso, por ello conviene hacer una valoración de los riesgos que puede aportar (inundación, erosión, encharcamiento, salinización...).

Las zonas próximas a los cauces, riberas y terrenos aluviales, son complicadas (vegetación de ribera con la que hay que competir, inundaciones, cursos cambiantes). Las zonas potencialmente semiendorreicas pueden representar a la vez una ventaja y una desventaja: con su mal drenaje favorecen la concentración de humedad lo que es positivo tanto para el pasto y para el cultivo, aunque si se produce encharcamiento impedirá el cultivo pero puede suponer un abrevadero aunque sea temporal. Por otro lado si el encharcamiento es estacional y su sustrato es de yesos puede dar lugar a aguas salobres y costras de sal que son perjudiciales para cualquier tipo de actividad agropecuaria. Por último hay zonas sin condiciones de humedad especiales, no soportan ningún riesgo por exceso de humedad ni tampoco por defecto en las condiciones ambientales de la Edad del Bronce.

La humedad es una variable dependiente de múltiples factores. La forma de incluirla en el modelo de riesgos es a través de dos de estos factores: la pendiente y la geomorfología (lamentablemente no hay posibilidad de calcular tasas de evapotranspiración potencial para los diferentes periodos de la Edad del Bronce). El tipo de suelo se asocia a unas condiciones de humedad, así las llanuras aluviales

son consideradas suelos más húmedos que las superficies en depósitos terciarios, pero dentro de éstas, las formaciones detríticas arcillosas más impermeables tienen un comportamiento hidrológico diferente al de las formaciones de yesos. Por tanto la humedad está representada por una reclasificación de la geomorfología, matizada por la pendiente.

Con estos agentes (geomorfología: suelo-humedad y pendiente: erosión) se construye un mapa de clases de riesgos combinados. Como en el caso anterior se trata de crear un mapa cualitativo, ahora con zonas clasificadas por riesgos desencadenados por la actividad agropecuaria: cultivo cerealista en régimen de secano y ganadería extensiva (Harrison *et al.* 1994; Harrison *et al.* 1998; Picazo Millán *et al.* 1997). De ningún modo se pretende darle un valor cuantitativo como sería un mapa de rendimiento agrícola potencial. Una vez más hay que recordar que carecemos de la información cuantitativa necesaria para hacer este tipo de cálculo.

Para introducir la pendiente hay que proceder a su reclasificación. Partiendo de un MDT se deriva un MDD de pendientes en porcentaje (*Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*) y luego se reclasifican sus valores (*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*) en las siguientes categorías:

**Tabla 6.** Tabla para la reclasificación de los valores de pendiente en cuatro clases de riesgo de erosión.

Clase	Descripción
1	Pendiente < <b>5%</b> . Límite del semiendorreísmo en litologías adecuadas.
2	Pendiente < <b>10%</b> . Límite de la explotación agrícola sin riesgo de erosión.
3	Pendiente < <b>25%</b> . Límite de la explotación pecuaria sin riesgo de erosión.
4	Pendiente > <b>25%</b> . Cualquier uso del suelo entraña riesgo de erosión.

He fijado el límite superior del semi-endorreísmo en pendientes del 5% (2,86°) sobre litologías de base que sean poco permeable (arcillas o glaciares arcillosos compactos, también hay casos sobre los yesos por subsidencia pero evidentemente concentran menos humedad). La pendiente general de las zonas donde se observa endorreísmo es aproximadamente del 3% (1,72°) (Pérez-Lambán 2013), pero al superponer tanto el mapa geomorfológico como el mapa de endorreísmo de la Depresión del Ebro (Ibáñez Marcellán 1975; Mensua Fernández y Ibáñez Marcellán 1975) al MDD de pendientes es fácil comprobar que este fenómeno se da en pendientes que en el modelo varían entre 0 y 10 %. El extremo superior de este rango es excesivo, pero en cualquier caso esta comprobación avisa sobre la necesidad de flexibilizar el límite de pendiente en el modelo. Por ello he optado por un 5%, valor que me parece poco arriesgado pero un poco menos limitante que el 3%.

Para fijar los umbrales de pendiente para la erosión entre una y otra categoría he utilizado como referencias las recomendaciones y experiencias de García Nájera (1954, 1955, 1956) y del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (I.F.I.E. 2008), contrastadas con las explicaciones de evolución del suelo en Butzer (2007, 88-89 y 167-168) y umbrales de pendiente recogidos en García Sanjuán (2005, 220). Estas experiencias y recomendaciones tienen en cuenta la pendiente, la resistencia del terreno y la desprotección del mismo que implica la destrucción de la vegetación y su sistema radicular. Como los terrenos de la zona de estudio son lábiles se ha optado por los umbrales de pendiente más bajos dentro de los rangos que ofrecen los citados trabajos. Así se considera que la pendiente máxima para el cultivo del cereal en secano sin obras de aterrazamiento es de 10% (5,71°), mientras que el pastizal no debería superar los 25% (14,04°).

Hay que tener en cuenta dos cuestiones. La primera es que esto no significa que no puedan superarse estos umbrales, sino que el riesgo de erosión a corto y medio plazo se incrementa muchísimo. Es más es muy probable que en determinados momentos posteriores a la Edad del Bronce, con clima más seco y mayor presión demográfica, un abuso de la ganadería extensiva haya contribuido a la denudación de los suelos de toda la zona. En segundo lugar hay que tener en cuenta que este análisis se aplica sobre una topografía actual; el trabajo geomorfológico de realizado en la zona de estudio permite hacer

una valoración de la evolución de las unidades geomorfológicas, pero no una cuantificación de la misma y por tanto no se puede llegar todavía a una reconstrucción cartográfica de la paleotopografía.

Para introducir la geomorfología en el modelo igualmente partimos de la reclasificación del mapa correspondiente (*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*). En este caso las 12 categorías del mapa geomorfológico han quedado reducidas a las siguientes:

**Tabla 7.** Tabla para la reclasificación de las clases geomorfológicas en cinco clases para el análisis de suelos y riesgos.

Clases	Descripción
1	Llanura de inundación actual de los ríos principales y terrazas holocenas baja. Fluvisoles.
2	Rellenos de fondos de valle de los cauces secundarios. Se ha añadido a esta categoría las riberas de los cauces secundarios (celdas correspondientes a un <i>buffer</i> de 10 m a cada lado de los cauces secundarios). Rendzic Phaeozem (siltic), Haplic Calcisol, Endosalic Gypsisol (skeletal), marginalmente Fluvisol.
3	Glacis pleistocenos y formaciones detríticas terciarias arcillosas. Haplic Calcisol, Gypsic Calcisol, quizás Kastanozems o Luvisoles
4	Zonas endorreicas. Calcisol, Gypsisol, Calcic Luvisol, Solonchacks
5	Resto de categorías geomorfológicas. En las Planas: Calcisoles. En laderas: Regosoles, Leptosoles, quizás Phaeozems o Umbrisoles. En Afloramientos jurásicos: Leptosoles.

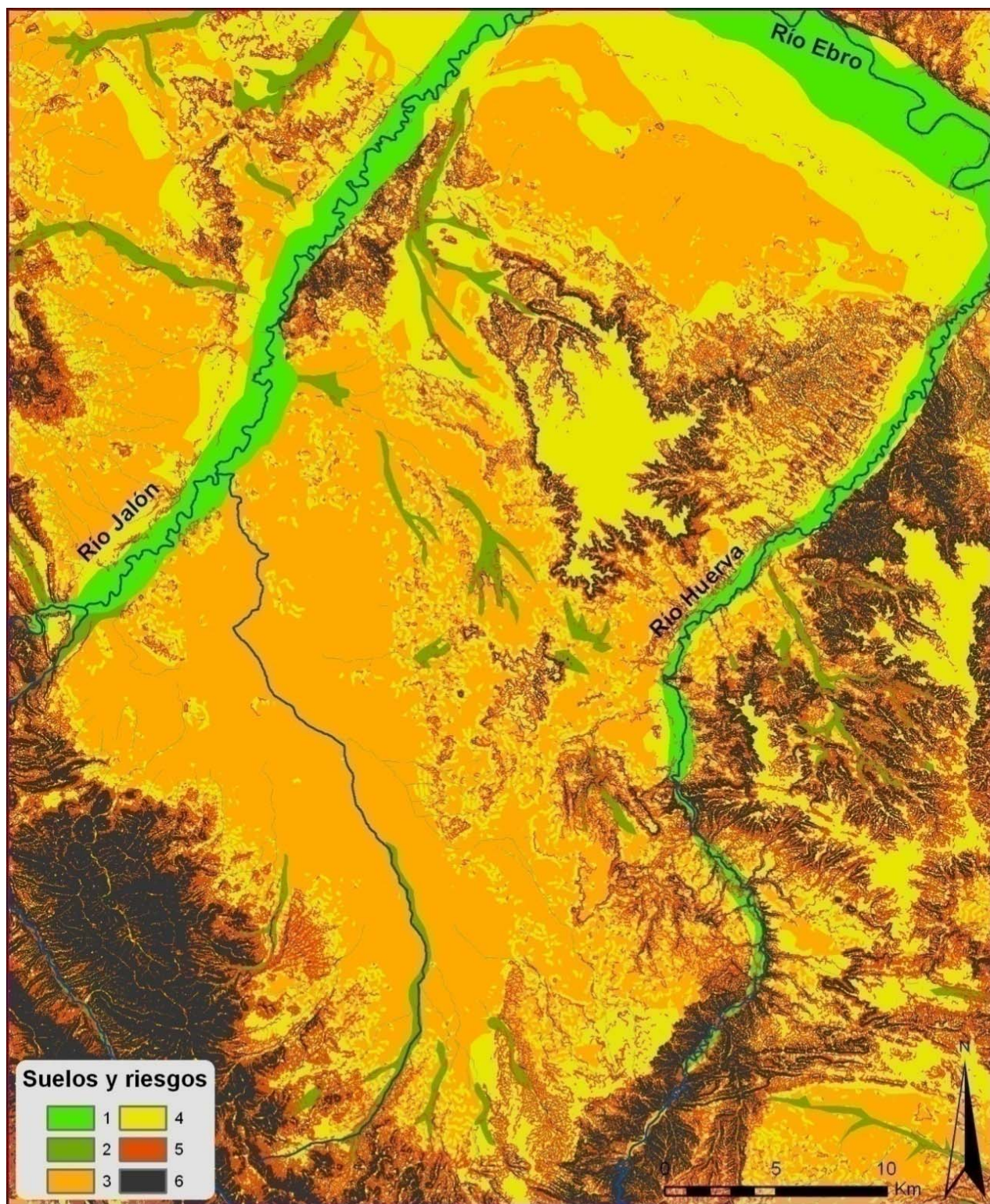
Por último queda combinar el mapa de riesgos por pendiente (erosión) y por geomorfología (suelos-humedad). Ello puede hacerse con la herramienta *Spatial Analyst Tools > Local > Combine* o con la *Raster Calculator*. En cualquier caso ambas tablas se combinan y reducen de la siguiente manera:

**Tabla 8.** Tabla de combinación de las clases de las tablas 4.5 y 4.7. El resultado son 6 clases combinadas que asocian suelos y riesgos.

		Pendiente			
		1	2	3	4
Geomorfología	1	1 Aluvial y riberas principales: Fluvisoles constantemente rejuvenecidos. Riesgo de inundación, erosión fluvial y vegetación competitiva.		5 Pasto: Regosoles, Leptosoles. Riesgo de erosión por cultivo, no por pasto.	6 Regosoles, Leptosoles. Riesgo de erosión elevado por cultivo o pasto.
	2	2 Fondos de val y riberas secundarias: Calcisoles y Gypsisoles, marginalmente Phaeozem y Fluvisoles. Riesgo de inundación menor y vegetación menos competitiva. Riesgo por acumulación de carbonatos secundarios y sales solubles.			
	3	3	4		
	4	Secano semi-endorreico: Calcisoles, Gypsisoles, Luvisoles, Regosoles, Leptosoles, Solonchacks. Cultivo y pasto sin riesgo de erosión, buena humectación del suelo pero riesgo de encharcamiento. Riesgo de aparición de horizontes carbonatados o acumulaciones de sales. Riesgo de subsidencia en yesos.	Secano normal: Calcisoles, Gypsisoles, Regosoles, Leptosoles. Sin riesgo de erosión por cultivo o pasto. Riesgo de aparición de horizontes carbonatados o acumulaciones de sales más solubles.		
	5	4			



Una vez obtenido el mapa de riesgos y suelos (*figura 14*) queda expresar la relación entre éstas y los yacimientos. Como en el caso anterior esto se obtiene con un análisis de estadística zonal (sin solapes) con la herramienta *Spatial Analyst Tools > Zonal > Zonal Statistics as Table*. Del resultado nos interesa el valor *area* de las clases del mapa.



**Figura 14.** Mapa de suelos y riesgos.



## 5. LA MOVILIDAD

“This principle can be extended so that any combination of factors can be used to define costs, and any combination of criteria can be used to derive a cumulative cost surface from those costs. Exactly how all this should be implemented is a question that seems to have been answered differently by each individual author. In the published research there is a wide variety in the parameters used to calculate cost/energy surfaces and in the algorithms used to perform cost accumulation - a sign of the immaturity of the field”<sup>6</sup>.

Van Leusen (2002, cap. 6 pág. 5)

### 5.1. La modelización de la movilidad

La posibilidad de desplazarse por el terreno es fundamental para la subsistencia de cualquier grupo humano, aunque este esté sedentarizado. Todas las actividades económicas, incluida la agricultura, requieren un desplazamiento. Igualmente todas las relaciones sociales exogámicas -y muchas endogámicas- también lo exigen. No es necesario aquí desarrollar el porqué de estas necesidades; lo que nos importa es que los grupos humanos que vivieron en y del valle medio del Ebro durante la Edad del Bronce tuvieron que desplazarse.

La movilidad no es una característica del terreno pero está muy condicionada por él. En este trabajo se va a considerar una “movilidad focal” a corta distancia que da acceso al entorno desde los yacimientos, independientemente de su integración o no en una estructura de movilidad superior.

No se contempla realizar análisis de rutas óptimas, que son otro aspecto de la movilidad muy frecuente en los análisis espaciales arqueológicos. Por un lado el cálculo de rutas óptimas implica la existencia de un origen y destino contemporáneos (no sólo coetáneos, que es la máxima resolución temporal que alcanzo) y la voluntad de desplazamiento entre ellos. Por otro lado las rutas óptimas no son apropiadas para los objetivos de este trabajo. Se pretende describir y clasificar cuantitativamente el entorno de los yacimientos y la relación que establecen con dicho entorno. Las rutas óptimas no informan sobre estos aspectos, sino sobre la relación entre puntos (yacimientos, por ejemplo). Además dos puntos cualesquiera pueden ser conectados por una ruta, lo que no significa que esa ruta en sí misma sea significativa. Significativa será una zona por la que tienden a concentrarse varias rutas calculadas, o significativa será la relación entre una ruta que una dos puntos capitales (por ejemplo dos ciudades) y una serie de localizaciones de otra categoría (núcleos e instalaciones rurales). Pero la ruta óptima en sí misma carece de significación excepto por su valor predictivo o como ayuda a la toma de decisiones en el caso de que nuestro objetivo sea precisamente determinar una ruta.

En todo caso, sean cuales sean los análisis efectuados han de partir de la modelización del movimiento, que es un fenómeno complejo.

---

<sup>6</sup> Este principio puede extenderse de modo que cualquier combinación de factores pueda usarse para definir los costes, y cualquier combinación de criterios puede usarse para derivar a partir de esos costes una superficie acumulativa de costes. Cómo debe implementarse eso exactamente es una cuestión que parece haber sido respondida de manera diferente por cada autor. En la investigación publicada hay una gran variedad de parámetros empleados en el cálculo de superficies de costes/energía y en los algoritmos usados para obtener la acumulación de costes – un signo de la inmadurez de este campo.

Un primer problema que encontramos a la hora de plantear un análisis de la movilidad es que el movimiento depende de numerosas variables. Descontadas las biológicas y asumiendo una velocidad de desplazamiento en llano fuera de caminos de unos 4 km/h, quedan todas las variables físicas y culturales. Descontadas también las culturales (polos de atracción/repulsión, costumbres condicionantes de los tiempos de desplazamiento...) por ser completamente desconocidas, sólo nos quedan las físicas. No obstante el problema sigue siendo complejo pues el número de variables físicas puede ser tremendo y de difícil modelización matemática sin una sólida base empírica para cada territorio y circunstancias (llegando al extremo se podrían considerar variables como la altitud extrema con disminución de oxígeno o nieblas que restan visibilidad pero que son excesivamente concretos y de poca aplicabilidad).

Digo circunstancias porque éstas varían en el tiempo, y he aquí el otro gran problema de los análisis de movilidad en Arqueología. La morfología del territorio cambia a resultas de los procesos de erosión y sedimentación, la cubierta vegetal se modifica por acción climática y antrópica, el régimen fluvial, la humedad de suelo y la pluviosidad y/o cobertura nival no sólo cambian a lo largo de la Historia sino que siguen ciclos anuales que condicionan de manera diferente el movimiento según las estaciones. Así pues, no sólo se trata de una modelización multivariante sino que debiera requerir también una consideración temporal a diferentes escalas, tanto lineales como cíclicas. Pese a poder articular un discurso verbal sobre la reconstrucción ambiental (vegetación, relieve y clima) de la Edad del Bronce (Pérez-Lambán 2013), no alcanzo un nivel de detalle en el conocimiento cuantitativo de estas cuestiones que me permita modelizarlas espacialmente con suficiente precisión para ser correctamente incluidas en el análisis en el SIG.

Ante la imposibilidad de realizar una modelización paleoambiental cuantificada suficiente -hoy por hoy imposible según el estado actual de las investigaciones- y sin una labor empírica con recreación de las condiciones dadas por la antedicha reconstrucción, es necesario prescindir de las variables menos determinantes y considerar unas condiciones ambientales estables a lo largo del año y a lo largo de los más de 1000 años que abarca el periodo estudiado. Estas limitaciones son más que suficientes para descartar la validez del modelo en cuanto a resultados cálculos de casos individuales, pero en mi opinión sigue siendo una herramienta útil en el estudio comparativo de poblaciones numerosas.

Las dos variables que serán tenidas en cuenta para la modelización del movimiento son la topografía y las zonas húmedas con vegetación de ribera, ambas ligeramente corregidas para aproximarse a una situación estática presupuesta para la Edad del Bronce.

#### 5.1.1. La vegetación

La variable de la vegetación, una vez que se ha renunciado a realizarse una cartografía precisa y sobre todo a contemplar su variabilidad temporal, es relativamente sencilla de manejar: se trata de identificar las zonas donde debieron de existir comunidades vegetales más impermeables al tránsito. La única que cabe contemplar en la zona de estudio es la vegetación de ribera, que por su frondosidad y por su orla espinosa tuvo que dificultar el tránsito (en ausencia de caminos abiertos y cuidados). Estas zonas pueden ser establecidas indirectamente en función de otras variables, como la proximidad a los cauces.

Para ello se ha elaborado un mapa que recoge aquellas superficies que tienen unas especiales condiciones de humedad/vegetación que pueden afectar al movimiento, y a cada una de ellas se le ha otorgado un factor de corrección del tiempo de desplazamiento.

La determinación de estas superficies parte de la combinación de su naturaleza geomorfológica, su pendiente (*Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*) y la proximidad a los ríos principales y secundarios (*Analysis Tools > Proximity > Buffer*). Estos factores han sido reclasificados (*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*) y combinados (*Raster Calculator*) según los criterios recogidos en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Tabla con los factores de corrección de los tiempos de desplazamiento por vegetación-humedad en función de tres factores: geomorfología, pendiente y proximidad a los cauces principales y secundarios.

Factor de corrección* del tiempo de desplazamientos	Pendiente	Geomorfología	Distancia a cauce
2 Riberas de los cauces principales. Vegetación de ribera, cauce cambiante, inundación.	< 5%	Aluvial	< 50 m de cauce principal
2 Riberas de los cauces secundarios. Vegetación de ribera.	< 5%	-	< 10 m de cauce secundario
1,5 Terrenos aluviales (y actuales terrazas bajas recientes). Vegetación de ribera más espaciada. Inundaciones más ocasionales.	< 5%	Aluvial	-
1,5 Zonas potencialmente semi-endorreicas. Mayor concentración de humedad y desarrollo vegetal. Posibilidad de encharcamiento puntual.	< 5%	Arcillas y glaciares compactos	
1 Zonas sin condiciones de humedad especiales	-	-	-
* <i>Reclassify</i> sólo devuelve <i>rasters</i> de valores enteros. Para obtener los valores de esta tabla hay que re-clasificar al doble de los mismos (2, 3 y 4), convertir el resultado de un <i>raster</i> de valores enteros a uno de valores racionales mediante <i>Spatial Analyst Tools &gt; Math &gt; Float</i> y dividir entre 2 en el <i>Raster Calculator</i> , o directamente en <i>Raster Calculator</i> : $\text{Float}(\text{Factores})/2$			

### 5.1.2. La topografía

La topografía por su parte plantea más dificultades, pero junto con la distancia es generalmente la variable fundamental de la modelización del movimiento. Habitualmente se incluye mediante la pendiente derivada de un MDT. La variable de la pendiente en los análisis de movilidad pretende reflejar la incidencia que la topografía tiene en los desplazamientos. Esto en sí supone ya una simplificación: no es lo mismo la pendiente del terreno que la pendiente de la trayectoria de un desplazamiento sobre dicho terreno. Por ello se suele hablar de análisis isotrópicos (iguales para toda dirección del movimiento por lo que no tienen en cuenta esta cuestión) y análisis anisotrópicos (sí que contemplan la variación en la orientación). Los segundos son por tanto más correctos y complejos, pero no necesariamente los más adecuados a los fines de una investigación. En este caso aplico un tratamiento anisotrópico para la movilidad focal.

La pendiente, como expresión de la morfología del terreno, no puede ser considerada en términos atemporales. No se puede pasar por alto los cambios que el relieve de la Depresión del Ebro ha sufrido en los últimos 4000 años. Los cambios más importantes han sido los retrocesos de los escarpes y los rellenos de los valles, lo que resulta en una reducción notable de la pendiente en los fondos de valle y menos acusada en las vertientes. La forma de modelar una paleo-topografía es complicada pero no imposible<sup>7</sup>. No obstante escapa a las posibilidades de este trabajo, por lo que aquí voy a recurrir a una

<sup>7</sup> Por ejemplo dos posibilidades son:

A partir de una cartografía geomorfológica lo suficientemente detallada de la zona de estudio y de un minucioso e intensivo trabajo de campo, establecer la superficie y los espesores de los rellenos de los fondos de valle y las cotas de los remanentes de laderas (*talus flati-rons*) de la época que nos interesa. A partir de estos datos habría que estimar mediante correlaciones una tasa de retroceso de escarpes y otra de relleno de valles en función de las variables pertinentes (desnivel, pendiente de las laderas, pendiente del cauce, superficie de captación en cabecera...). Con estas tasas y con las cotas de los relictos de laderas se pueden trazar los perfiles de las laderas antiguas. De nuevo habría que buscar en una localización dada la correlación entre las variables pertinentes (desnivel, pendiente de las laderas, pendiente del cauce, superficie de captación en cabecera...) y la diferencia de cota entre el perfil antiguo y el nuevo. El conocimiento de esta correlación permitiría estimar la diferencia entre la cota actual y la pasada para todas las localizaciones del mapa correspondientes a laderas.

El segundo procedimiento es más sencillo, pues sólo corrige los rellenos de valle. Igualmente requiere disponer de un mapa geomorfológico detallado para identificar los rellenos de valle con precisión y eliminar sus datos altitudinales de una altimetría o de un MDE actual-

solución más sencilla: incrementar arbitrariamente el valor de la pendiente en las zonas de fondos de valle multiplicándolo por un corrector dependiente de la distancia al cauce. Este procedimiento conocido como *stream burning* (grabado de ríos; literalmente “quemado” de ríos) fue ideado inicialmente para análisis hidrológicos y busca acentuar la incisión de los cauces en un MDT para forzar que los flujos calculados discurran por ellos (Saunders 1999) pero, con variaciones, también han sido utilizados para incrementar la pendiente de las riberas y con ello aumentar los costes de desplazamiento por las mismas. Tal es el uso que de esta idea hacen Fábrega-Álvarez *et al.* (2011, 255), quienes sobre un MDD de pendientes sustituyen el valor de pendiente de las celdas contiguas a los cauces por un valor elevado arbitrario (25° grados para los cauces principales y 15° para los secundarios). Una forma más sofisticada de hacer algo similar es actuar sobre el MDT y hacerlo en función de la altitud inicial de cada celda y de su distancia al cauce. Las celdas coincidentes con el propio cauce verán su altitud disminuida en un valor arbitrario de 10 m, a las contiguas (distantes del cauce 10 m) se les resta 5 m, a las siguientes (distantes 20 m del cauce) 2 m, y aquellas cuya localización sea aún más lejanas conservarán intacto su valor altitudinal (resta de 0m). Esto se logra efectuando un cálculo de distancias respecto a la capa de cauces (*Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean distance*) y reclasificando el resultado según los intervalos antedichos (*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*). Después con el *Raster Calculator* se resta el *raster* resultante al MDT. Así obtenemos un MDT con los “ríos grabados” (*burned DEM*) que servirá para el cálculo de pendientes (*Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*) y de costes de movimiento.

### *Ecuación de coste de desplazamiento*

Otra cuestión es cómo establecer la relación entre la variable independiente (pendiente) y la dependiente (coste de desplazamiento), y qué magnitud y qué unidades deben expresar esta segunda. Normalmente se emplea como magnitud la energía (expresada en vatios, julios o mejor en calorías; esto permite hacer estudios de la rentabilidad del desplazamiento para la obtención de un recurso alimenticio o traducible en alimento), la velocidad a la que puede atravesarse una celda (expresada en m/s o km/h) o el tiempo que cuesta atravesar una unidad de mapa (expresado en segundos, en minutos o en horas). Lo más habitual y lo más conveniente es emplear como medida del coste de desplazamiento el tiempo: en si mismo expresa la velocidad (puesto que la unidad de mapa es una constante) y es la magnitud más útil para analizar las sociedades humanas (excepto para los estudios biológicos de coste-resultado en el acceso a recursos alimenticios). Así pues hay que encontrar la forma de relacionar la pendiente y el tiempo que cuesta atravesarla. Hay numerosas ecuaciones surgidas de necesidades militares y deportivas que resuelven esta relación. Quizás la más famosa sea la Regla de Naismith<sup>8</sup> que en su formulación inicial establece una velocidad normal de marcha de 5 km/h en terreno llano, a lo que hay que añadir 1 hora de tiempo cada 600 m de ascensión (Fritz y Carver 1998). Posteriormente

---

les. Posteriormente habría que prolongar los perfiles de las laderas sobre las zonas eliminadas. Esta prolongación es una extrapolación que a partir de los valores de un número suficiente de localizaciones calcula el valor de una localización situada fuera del espacio definido por las anteriores (en este caso fuera de la ladera actual). Por tanto no sirven los métodos de interpolación que habitualmente se emplean para calcular los MDE. Seguramente habrá procedimientos matemáticos que permitan establecer la tendencia general de una ladera (análogos a las interpolaciones por superficie de tendencias o *splines*) y prolongarla. Como yo los desconozco propongo un simple análisis focal para realizar esta extrapolación en un MDE del que se han eliminado los fondos de valle. Considérese una ventana de análisis de 5 x 5 celdas; llamaremos a la celda central  $X$ , las 8 celdas adyacentes serán  $A_{1-8}$  y las 16 celdas exteriores serán  $B_{1-16}$ . La celda procesada es  $X$ , y ha de ser siempre una de las celdas cuyo valor ha sido eliminado por corresponder a un fondo de valle. Es análisis es iterativo y empieza por las celdas sin valor (fondo de valle) adyacentes a celdas con valor (ladera). En la primera iteración  $X$  se calcula según  $X = \bar{A}_{1-8} - |\bar{B}_{1-16} - \bar{A}_{1-8}|$ , de modo que la celda procesada toma un valor inferior a sus adyacentes en la misma medida en que éstas son inferiores a sus adyacentes. En el caso en el que por una irregularidad en el perfil de la ladera  $\bar{B}_{1-16} < \bar{A}_{1-8}$ , se seguiría manteniendo que  $X < \bar{A}_{1-8}$  (concretamente  $X = \bar{B}_{1-16}$ ) gracias a que se considera siempre el valor absoluto de  $\bar{B}_{1-16} - \bar{A}_{1-8}$ . En la segunda iteración se aplica el mismo cálculo a las celdas adyacentes a las calculadas en la primera iteración y así sucesivamente hasta que no quedan celdas sin valor. El problema de este procedimiento es que da lugar a cauces muy incididos allí donde las laderas del valle tienen más pendiente, mientras que en las zonas más llanas el descenso de cota del fondo de valle puede ser menor. Esto puede llevar a que en las zonas en las que el valle sale del monte al llano se produzca un sumidero (zona sin drenaje al exterior) por lo que habrá que corregir el MDE resultante para rellenar estos sumideros hasta el nivel en el que drenen al exterior (el cauce en la zona llana).

<sup>8</sup> No debe confundirse, como habitualmente sucede, a este Naismith con su coetáneo de igual apellido inventor del baloncesto. William Wilson Naismith (1856 - 1935) fue un montañero escocés, uno de los fundadores del *Scottish Mountaineering Club* y su primer tesorero, y en 1892 creó la regla de desplazamiento que lleva su nombre. Por otra parte James Naismith (1861 - 1939) fue un entrenador deportivo canadiense afincado en los EEUU que en 1891 inventó el baloncesto.

fue matizada para desplazamientos por terreno natural (Aitken 1977) y para tener en cuenta el efecto del descenso, que ayuda al movimiento hasta determinada pendiente (Langmuir 1984). Con posterioridad han surgido muchas otras ecuaciones que han tenido repercusión en los análisis de movilidad en SIG y en arqueología. Algunas de ellas se recogen en la *tabla 10*.

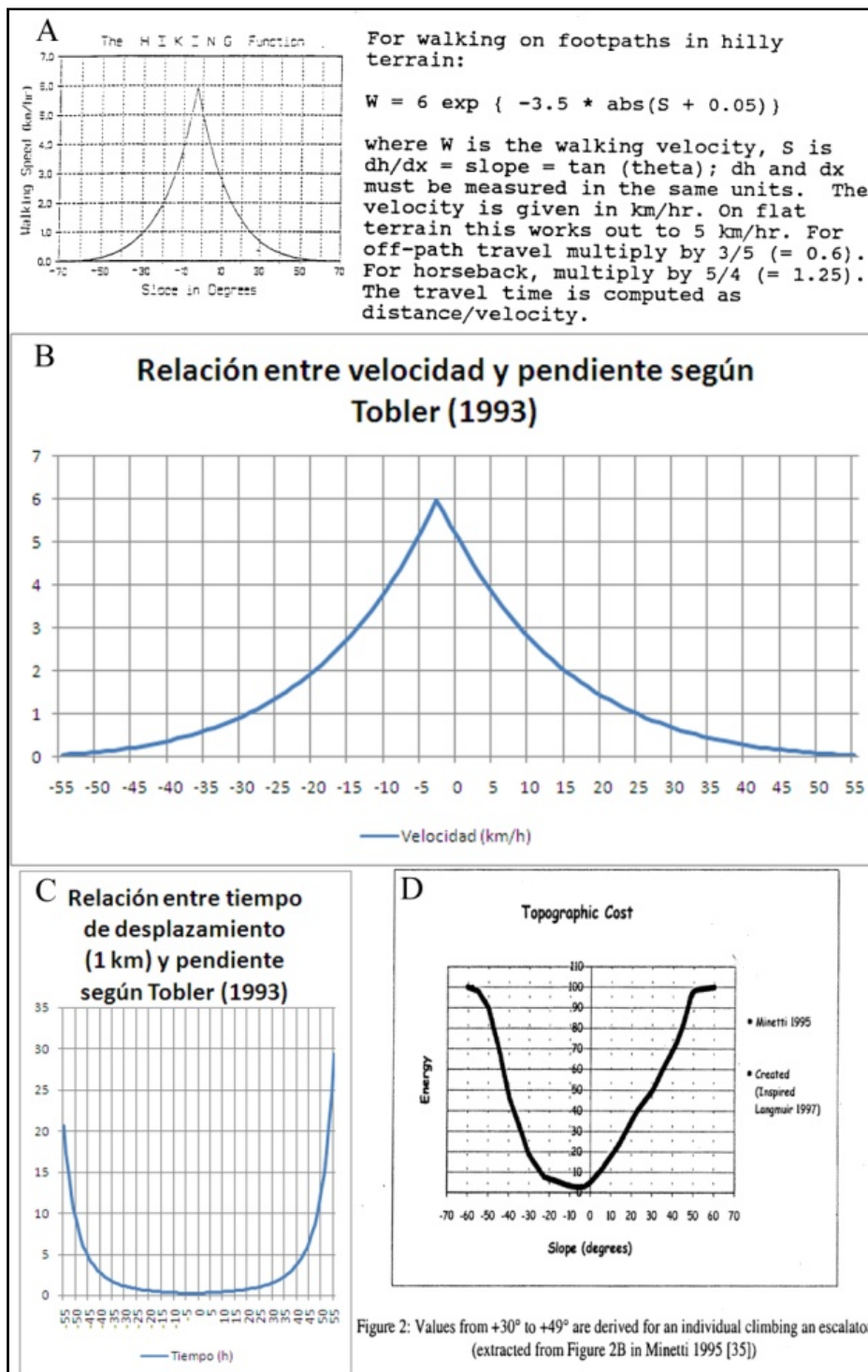
**Tabla 10.** Tabla que recoge algunas de las ecuaciones que utilizadas habitualmente en la bibliografía para calcular los costes de desplazamiento.

Ecuación	
Variables	Comentarios
<b>Regla de Naismith</b> $t = d \, 0,2 + \Delta h \, 1,67$ (Fritz y Carver 1998)	
$t$ : tiempo. $d$ : distancia horizontal. $\Delta h$ : desnivel ascendente.	5 km/h en llano más 1 hora cada 600 m de ascensión
<b>Regla de Naismith – Aitken</b> $t = d \, 0,25 + \Delta h \, 1,67$ (Aitken 1977)	
$t$ : tiempo. $d$ : distancia horizontal. $\Delta h$ : desnivel ascendente.	Variación de la anterior: 4 km/h en terreno natural.
<b>Regla de Naismith – Aitken – Langmuir</b> $t = 0,2d + 1,67\Delta h + 0,56\sqrt{h}_{5 < p < 12} + 0,56\sqrt{h}_{p > 12}$ (Langmuir 1984)	
$t$ : tiempo. $\Delta h$ : desnivel ascendente. $\nabla h$ : desnivel descendente $p$ : pendiente.	Variación de la anterior: el desnivel descendente supone reducir el tiempo de marcha 10 minutos cada 300 m de desnivel en pendientes de 5° a 12° y aumentarlo 10 minutos extra cada 300 m de desnivel en pendientes mayores de 12°
<b>Pandolf et al. (1977)</b> $M = 1,5w + 2,0(w + l) (l/w)^2 + n(w + l)(1,5v^2 + 0,35vg)$	
$M$ : energía empleada expresada en vatios $w$ : peso del individuo ( <i>weight</i> ) $l$ : carga transportada ( <i>load</i> ) $n$ : factor del terreno, facilidad de tránsito $v$ : velocidad $g$ : pendiente en porcentaje	Wheatley y Gillings (2002, 155) citan esta ecuación como de Marble (1996). Ha tenido cierta aceptación en arqueología por su carácter multicriterio (Grau Mira 2006), pero en realidad no resulta muy conveniente. Es una ecuación para individuos, de manera que en estudios generales todas las variables excepto la pendiente has de ser sustituidas por constantes (valores medios). Así pierde su carácter multicriterio. Además expresa el coste en vatios y de modo no muy realista (van Leusen 2002, cap. 6 pág. 7).
<b>Pandolf et al. (1977) – van Leusen (2002)</b> $M = 1,5w + 2,0(w + l) (l/w)^2 + n(w + l)(1,5v^2 + 0,35v g + 6 )$	
$M$ : energía empleada expresada en vatios $w$ : peso del individuo ( <i>weight</i> ) $l$ : carga transportada ( <i>load</i> ) $n$ : factor del terreno, facilidad de tránsito $v$ : velocidad $g$ : pendiente en porcentaje	Variación de la anterior: considera la pendiente descendente como retardante del movimiento a partir de los 6° (10%). Por ello la pendiente se contempla en valores absolutos y se le suma 6 (considero que como esta fórmula requiere la pendiente en porcentaje, habría que sumar 10 y no 6).
<b>Ericson y Goldstein (1980)</b> $E = H + 3,168D^{up} + 1,2D^{down}$	
$E$ : Esfuerzo $H$ : distancia horizontal. $D^{up}$ : desnivel de subida. $D^{down}$ : desnivel de bajada.	No ofrece un resultado en tiempo. Excesiva diferencia entre coste de subida y de bajada.
<b>Gilman y Thornes (1985)</b> $t = 0,0277rp + 0,6115r$	



$t$ : tiempo en segundos $r$ : distancia en metros (o píxeles) $p$ : pendiente en porcentaje	<p>Similar a la Regla de Naismith pero adaptada al uso de pendientes y no de desniveles.</p> <p>Fairén <i>et al.</i> (2006, 64) y Sebastián (2011, 173) la citan como ecuación de Uriarte González (2005, 613). En estos trabajos, <math>r</math> se asimila a la resolución del píxel. Según el algoritmo en el que se vaya a utilizar la ecuación esta asimilación no es correcta. Por ejemplo el de <i>Cost Accumulation</i> de ArcGIS requiere que los costes se calculen por unidad de mapa, que luego el propio algoritmo multiplica por la resolución (o por la resolución por raíz de 2 para las diagonales).</p>
<p><b>Tobler (1993)</b>  <math>v = 6e^{-3,5  s+0,05 }</math></p>	
$v$ : velocidad en km/h $s$ : razón geométrica del desnivel sobre la distancia	<p>Basada en datos empíricos aportados por Imhof (1950, pp 217-220). Ecuación logarítmica que se ajusta bien a la realidad del movimiento. Tiene en consideración la ventaja de un suave descenso y la desventaja de un descenso fuerte.</p> <p>Para más detalles véase el texto.</p>
<p><b>Bell y Lock (2000, 88-89)</b>  <math>c = \tan \alpha / \tan 1</math></p>	
$c$ : coste. $\alpha$ : pendiente.	<p>Coste en unidades desconocidas.</p> <p>El coste será 1 para pendientes de 1° (1,75%), menor que 1 para pendientes entre 0° y 1° y mayor que 1 para pendientes superiores a 1°, con una tasa de incremento que se vuelve significativa a partir de 25°-35°.</p> <p>Hay que tener en cuenta que la tangente de la pendiente equivale a decir la ratio entre el desnivel y la distancia, o lo que es lo mismo, la pendiente en porcentaje dividida por 100.</p>
<p><b>Hayden – Agustín Díaz</b>  <math>E = p/10</math></p>	
$E$ : Esfuerzo $p$ : pendiente en porcentaje.	<p>Van Leusen (2002, cap.6 pág. 6) la atribuye a Hayden (sin referencia) y Parcero y Fábrega (2006, 76) a Agustín Díaz (sin referencia). En realidad no es más que una forma de expresar la pendiente de 0 a 10 cuando antes hacía de 0 a 100.</p>

La ecuación que relaciona el tiempo de desplazamiento por unidad de distancia y la pendiente ha de ser coherente con la realidad del movimiento. Si bien el principio fundamental de esta relación es que el tiempo se incrementa conforme lo hace la pendiente, no puede establecerse una relación lineal sino más bien exponencial. Por otro lado podría pensarse que al reducir la pendiente por debajo de 0, esto es, en los descensos, el efecto sería el contrario, es decir, que la bajada ayudase al movimiento reduciendo los tiempos de desplazamiento. Esto no es así, o más bien, no es siempre así. En un ligero desnivel descendente la gravedad supone una ayuda al desplazamiento pero, a partir de determinado umbral de pendiente, luchar contra ella para controlar la velocidad y dirección del descenso supone un esfuerzo análogo al que implica vencerla en la subida. Así, conforme mayor es la pendiente en la bajada mayor será el esfuerzo que requiera el desplazamiento. Tanto es así que los datos empíricos de costes de desplazamiento en diferentes pendientes, tanto en ascenso como en descenso, dibujan una gráfica tendente a una parábola simétrica, con el punto de inflexión ligeramente desplazado del centro hacia los valores negativos de la variable independiente (*figura 15*).



**Figura 15.** Curvas de costes de desplazamiento en función de la pendiente (en grados). A: formulación de la ecuación de Tobler (1993). B: Gráfica de la velocidad de desplazamiento calculada con la ecuación del Tobler. Nótese que la velocidad máxima no se alcanza en pendiente = 0°, sino en -3°; por encima y por debajo de este valor la velocidad decrece. C: Gráfica de tiempos de desplazamiento; los tiempos se incrementan logarítmicamente con el ascenso y el descenso. D: Gráfica de costes de desplazamiento basada en datos empíricos (2000, 71, fig. 2). Nótese que al igual que la ecuación de Tobler, describe una parábola y que el coste mínimo no coincide con la pendiente 0° sino con -5° (aprox.).

Por tanto la ecuación que relacione tiempo y pendiente ha de ser exponencial para reflejar el verdadero efecto de la pendiente, ha de trabajar con los valores absolutos de pendiente para que sea simé-

trica y los descensos incrementen el coste de desplazamiento<sup>9</sup> y ha de tener su punto de inflexión ligeramente desplazado hacia la izquierda. La ecuación de Tobler (1993)<sup>10</sup> reúne estas características pues está formulada a partir de una serie de datos empíricos (Imhof 1950) y la curva que describe es muy similar a la ofrecida por Llobera (2000, 71, fig. 2) en base a los datos de Minetti (1995), lo que le otorga mayor confianza. Su expresión es la siguiente:

$$v = 6e^{-3,5 |s+0,05|}$$

donde  $v$  es la velocidad, es decir distancia dividida por tiempo, y  $s$  es la pendiente expresada como la razón geométrica del desnivel y la distancia<sup>11</sup>. La velocidad máxima es de 6 km/h, que puede alcanzarse cuando  $s = -0,05$  (pendiente de  $-2,86^\circ$ ). En horizontal (pendiente  $0^\circ$ ;  $s = 0$ ) la velocidad calculada es de 5,04 km/h.

Es decir, la forma de esta ecuación es:

$$v = cv_{max} * f(p)$$

donde  $cv_{max}$  es el coeficiente de velocidad máxima prevista y  $f(p)$  es una función de la pendiente ( $\exp(-3,5 |s+0,05|)$ ).

Ahora bien, como ya se ha dicho, nos interesa el cálculo del coste expresado en unidades de tiempo, así que:

$$v = cv_{max} * f(p); \frac{d}{t} = cv_{max} * f(p); t = \frac{d}{cv_{max} * f(p)}$$

$$t = \frac{d}{6e^{-3,5 |s+0,05|}}$$

donde  $t$  es el tiempo transcurrido en horas y  $d$  es la distancia recorrida en kilómetros.

Pero generalmente en los SIG se usa el metro como unidad de distancia, y consecuentemente m/s para la velocidad y el segundo para el tiempo. Por ello la distancia expresada en metros habrá que dividirla entre 1000 para convertirla en kilómetros y el tiempo calculado para tenerlo en segundos habrá que multiplicarlo por 3600. Por otra parte Tobler advierte que de esta fórmula resulta una velocidad en llano de 5 km/h, pero que para recorrido fuera de caminos habría que aplicar un corrector de  $\times 3/5$  (0,6), esto es, una velocidad en llano fuera de camino de 3 km/h. Aunque esta velocidad en llano quizás es demasiado lenta, al menos en un terreno relativamente firme como el de la zona de estudio con una vegetación que, excepto en las zonas de ribera, no debió de dificultar demasiado el movimiento. Por ello en este trabajo utilizo una velocidad en llano de 4 km/h y el corrector por tanto ha de ser de  $\times 4/5$  (0,8). Así, utilizando como unidades de tiempo y distancia el segundo y el metro, y aplicando el corrector de velocidad:

$$v = \frac{1000}{3600} * \frac{4}{5} * 6 * e^{-3,5 |s+0,05|}; t = \frac{3d}{4 e^{-3,5 |s+0,05|}}$$

Otra advertencia que hay que hacer es que cuando se introduce una ecuación de este tipo en un análisis de base *raster* el valor asignado a la distancia ( $d$ ) dependerá de qué queremos que represente la superficie de costes que estamos construyendo. Si queremos que refleje el tiempo que cuesta atravesar una celda  $d$  deberá ser igual a la resolución. Pero si lo que buscamos es que la superficie creada muestre el tiempo que se tarda en atravesar una unidad de mapa,  $d$  habrá de ser dicha unidad, típicamente el

<sup>9</sup> Esta condición es menos relevante en los análisis isotrópicos. En ellos las pendientes siempre son positivas, por lo que no se calculan los costes de descenso. Se asume que éstos son análogos a los del ascenso en virtud de la pseudo-simetría de las curvas de movimiento.

<sup>10</sup> Gorenflo y Gale (1990) presentaron, como "comentario personal" de Tobler, esta ecuación que expresaba la velocidad de marcha de los soldados en función de la pendiente. Poco después el mismo Tobler (1993) publicó esa ecuación como "función del excursionismo estimada a partir de los datos empíricos aportados por Imhof (1950, 217-220)".

<sup>11</sup> Por tanto, si tenemos una pendiente ( $p$ ) en porcentaje,  $s = p/100$ ; si tenemos la pendiente en grados,  $s = \tan(p)$ . Wheatley y Gillings (2002, 155) equivocadamente escriben que en esta ecuación la pendiente se expresa en porcentaje, esto es, 100 s.

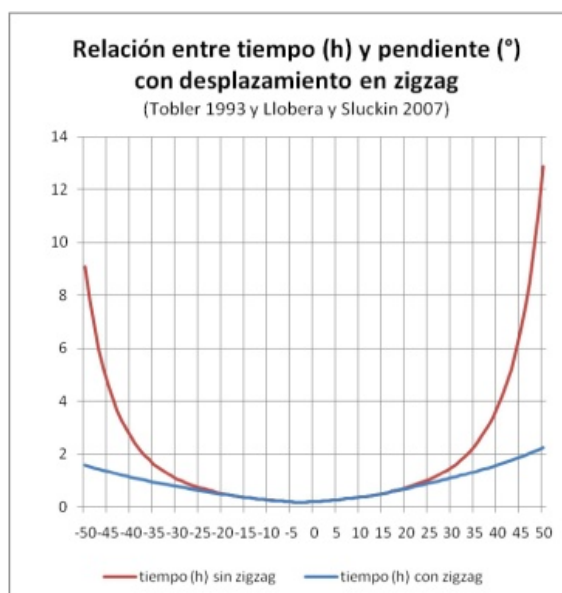
metro. Esta segunda opción es la adoptada en este trabajo pues es necesaria dada la lógica de los algoritmo que emplea ArcGIS.

En definitiva, la ecuación de Tobler pone el tiempo en relación a la distancia ( $d$ ), al coeficiente que es el tiempo mínimo en que se puede atravesar una unidad de distancia ( $ct = \frac{3}{4} = 0,75$  s, en la adaptación hecha de la ecuación; es el inverso del coeficiente de velocidad máxima) y al inverso de la función de la pendiente ( $f(p) = \exp(-3,5 |s+0,05|)$ ). Esto es:

$$t = ct * d * \frac{1}{f(p)}$$

### *Un poco más complicado: el zigzag*

Llegados a este punto aún queda una cuestión por tratar, y esta es la forma en la que nos desplazamos por una pendiente. La estrategia de desplazamiento del ser humano por una pendiente varía en función de la misma, de modo que a grandes rasgos podemos considerar 3 formas de afrontar un ascenso o un descenso. Hasta determinado nivel de pendiente caminar en línea recta es lo más eficiente, de modo que la pendiente no condiciona la forma de desplazamiento: se camina hacia donde convenga. Pero si la ladera tiene una inclinación mayor acaba siendo más rentable dar rodeos o zigzaguear aumentando la distancia y manteniendo baja la pendiente en lugar de encarar ésta directamente. Por último, si la pendiente es excesiva resulta difícil o imposible caminar y en tal caso nos vemos obligados a trepar o escalar. Llobera y Sluckin (2007, 211-213) han identificado el umbral a partir del cual afrontar la pendiente deja de ser rentable y se comienza a trazar zigzags alargando la distancia recorrida pero manteniendo baja la pendiente. Este umbral queda fijado en  $16^\circ$  (28,67 %) en la subida y  $12,4^\circ$  (21,99 %) en la bajada. En cuanto al nivel de pendiente a partir del cual caminar no es posible y hay que echar las manos al suelo, es algo muy dependiente del tipo de terreno y su rugosidad, pero en términos generales podemos tomar un valor entre  $45^\circ$  y  $60^\circ$ . En este trabajo el umbral de escalada quedará fijado en 120% ( $50,19^\circ$ ). En la *figura 16* se puede apreciar como el desplazamiento en zigzag afecta al cálculo de movilidad.



**Figura 16.** Gráfica de comparación de curvas de tiempo-pendiente. En rojo la curva derivada de la ecuación de Tobler (1993). En azul, la derivada de la ecuación de Tobler (1993) y las matizaciones del movimiento en zigzag extraídas de Llobera y Sluckin (2007). Se ha representado hasta pendientes de  $50^\circ$ , a partir de las cuales es necesario trepar o escalar, por lo que los tiempos de desplazamiento se vuelven muy elevados. Nótese que la introducción del zigzag hasta este límite de  $50^\circ$  minimiza el peso del factor topográfico en el cálculo del movimiento.

## 5.2. El cálculo y el análisis de la movilidad focal

La movilidad focal tiene un origen prefijado (el yacimiento) y localizaciones de destino (cada una de las celdas contenidas en el entorno del yacimiento). Por tanto, es posible definir trayectorias y plantear un análisis anisotrópico del movimiento con el que describir de algún modo el grado, variabilidad y forma de la accesibilidad del entorno desde el yacimiento. Para ello se parte del tiempo que cuesta alcanzar cada localización del entorno de un yacimiento y de la isócrona tipo, esto es, el límite alcanzado en todas las direcciones en un tiempo de desplazamiento que en circunstancias ideales permitiría abarcar toda la superficie del entorno del yacimiento. A raíz de estos tiempos e isocronas se calculan una serie de índices que caracterizan la accesibilidad.

La movilidad focal se refiere al modelo de desplazamiento desde localizaciones prefijadas, en este caso los yacimientos. Como los yacimientos son entidades diferentes (y no una entidad única formada por varias localizaciones) hay que construir estos modelos focales para cada localización.

Como se ha dicho, este análisis puede ser anisotrópico. Pero hay que matizar que el movimiento depende de varios factores, algunos de los cuales son anisotrópicos (el desnivel o la pendiente) y otros son isotrópicos (como la vegetación). Por tanto, el tratamiento de unos factores y otros cuando se decide optar por un modelo anisotrópico debe ser cuidadoso. Tan erróneo sería tratar la vegetación anisotrópicamente como persistir en un modelado isotrópico del desnivel o la pendiente. Cómo debe introducirse cada factor en el modelo depende básicamente del funcionamiento del algoritmo de cálculo de movimiento que se esté utilizando. Por ello es importante conocer el funcionamiento interno de las herramientas que vienen en los programas de SIG. Éstas resuelven el problema de muy diversas maneras, pero hay dos conceptos básicos para la mayoría de ellas: la superficie de costes (o de fricción) y la superficie de costes *acumulados*. Ambas son MD, pero hay que tener cuidado con su construcción para que sean coherentes con la herramienta utilizada.

La superficie de costes o de fricción es una hoja *raster* en que el valor de cada celda representa la dificultad que el terreno ofrece al movimiento. Este valor para una celda es único y, por tanto, independiente de la dirección con que se atravesase esa porción de terreno (isotrópico). Esta resistencia al paso o fricción puede deberse a múltiples factores y hay que tratar por separado los de naturaleza isotrópica y los anisotrópicos. Los primeros han de modelizarse siempre en una superficie de costes. Los segundos deberán o no codificarse en una superficie de costes (diferente a la anterior) en función del tipo de herramienta que se vaya a utilizar.

La anisotropía se introduce en el momento de crear la superficie de costes *acumulados*, en la que cada celda representa el coste de desplazamiento hasta ella desde una o más localizaciones de origen. Hay básicamente dos formas hacer esto. El peso de los factores anisotrópicos (la pendiente, el viento...) depende de la dirección en la que actúa el factor (orientación) y la dirección del movimiento. La primera forma de introducir la orientación y dirección es matizar una superficie de costes *a posteriori*, en el momento en que se construye la superficie de costes *acumulados*. Por tanto en estos casos habrá que construir dos superficies de costes: una para los factores anisotrópicos y otra para los isotrópicos. Tal es el caso del algoritmo implementado en *VARCOST* del programa IDRISI que matiza el coste derivado de un factor (pendiente máxima, por ejemplo) en función del coseno de la diferencia angular entre su dirección y la dirección del movimiento (Eastman 2003, 257, 2006, 258; Wheatley y Gillings 2002, 152-154).

La segunda forma de introducir la anisotropía es prescindir de la superficie de costes de los factores anisotrópicos (no de la de los isotrópicos) y calcular el valor de dichos factores *ad hoc* para cada movimiento, teniendo en cuenta su dirección, durante la construcción de la superficie de costes *acumulados*. Por tanto, si se opta por esta solución sólo se necesita una superficie de costes, y ésta debe



contener sólo los factores isotrópicos, pues los anisotrópicos se introducen después. Esta es la solución de la herramienta *Path Distance*<sup>12</sup> de ArcGIS, que utilizo en este trabajo.

Por tanto, dado que utilizo *Path Distance*, los factores isotrópicos van a ser codificados en una superficie de costes, mientras que los anisotrópicos serán introducidos *ad hoc* al construir la superficie de costes *acumulados*.

### 5.2.1. La superficie de costes o de fricción

En este trabajo la resistencia al movimiento del terreno, con independencia de la pendiente, depende en primer lugar del tiempo mínimo que cuesta atravesar una unidad de distancia. Como hemos visto esto es el coeficiente de tiempo en la adaptación de la ecuación de Tobler ( $ct = 3/4 = 0,75$  s).

En segundo lugar, la fricción depende de la vegetación. El factor de corrección de los tiempos de desplazamiento en función de la vegetación ya ha sido codificado en una hoja raster (Tabla 8).

Dado que ambos factores son multiplicativos, para construir la superficie de costes o de fricción basta con multiplicar en *Raster Calculator* la hoja raster del factor de vegetación por 0,75 (3/4).

### 5.2.2. La superficie de costes de movimiento acumulados

La primera forma de representar la movilidad focal de los yacimientos es la construcción de una superficie de costes *acumulados*. Esta superficie está en la base de cualquier análisis de la movilidad (isocronas, rutas óptimas...) por lo que es conveniente conocer cómo funcionan los algoritmos que la calculan.

Los puntos de origen son las localizaciones de cada yacimiento. Los de destino son cada celda del entorno de cada yacimiento, encadenadas por vecindad y orden de costes acumulados. En este análisis anisotrópico, el coste específico de cada celda se calculará *ad hoc* para cada trayectoria. Por tanto las dos cuestiones que hay que comprender son cómo se establece la concatenación de celdas vecinas por menor coste de desplazamiento y cómo se calcula el coste para cada trayectoria entre celdas (contando con su pendiente y distancia reales). Estos dos puntos fundamentales están resueltos en la herramienta *Spatial Analyst Tools > Distance > Path Distance* de ArcGIS, aunque resulta un poco compleja y su correcta aplicación requiere un conocimiento profundo de su funcionamiento para poder adecuarla al planteamiento de un trabajo concreto.

Las ventajas que ofrece son que considera la pendiente real de una trayectoria y no la pendiente máxima de una celda; que considera la distancia real (en el plano inclinado) y no la planimétrica, y que permite introducir también un factor anisotrópico horizontal (como por ejemplo el viento). En este caso no se va a introducir ningún factor anisotrópico horizontal (el ejemplo del viento podría ser interesante pero no para un cálculo general, sino para uno específico en días de Cierzo). Pero las otras dos ventajas sí serán de utilidad.

#### *Concatenación de celdas: el algoritmo de Dijkstra*

La primera cuestión a resolver es cómo se acumula el coste; cómo se establece la concatenación de celdas vecinas en función del menor tiempo de desplazamiento. El valor de coste de cada nueva celda es la suma de los costes de todas las celdas que hay que atravesar para llegar hasta ella desde el origen más próximo (en términos de coste, no de distancia euclídea). La determinación de las celdas

---

<sup>12</sup> No debe confundirse *Path Distance* con *Cost Distance*, que es una herramienta anterior de ArcGIS que no permitía introducir la anisotropía. En esta herramienta, así como otras herramientas isotrópicas, el procedimiento normal era incluir la pendiente en la superficie de fricción. De ahí que en muchos manuales se insista en que la pendiente es el factor principal, a veces único, de la superficie de fricción (Wheatley y Gillings 2002, 154). Sin embargo hay que insistir, la pendiente sólo deberá ser incluida en una superficie de fricción si así lo requiere la herramienta que se esté utilizando.

que hay que atravesar no se hace por el camino más directo, sino por la ruta que implique un menor coste acumulado una vez sumados los costes de todas las celdas que atraviesa. Esto se consigue mediante una suma iterativa determinada por el algoritmo de Dijkstra (1959)<sup>13</sup>.

El algoritmo de Dijkstra (1959)<sup>14</sup> se usa para calcular el camino más corto dada una nube de nodos conectados por vectores. Aquí al operar en una estructura *raster*, los nodos serán los centros de las celdas y la longitud de los vectores será el coste calculado entre celda y celda<sup>15</sup>. En la 1ª iteración desde la celda de partida (A) se calcula el coste hasta sus 8 vecinas (B). En la 2ª iteración la celda A queda excluida y desde la celda del grupo B con menor valor ( $B_{\min}$ ) se calcula el coste hasta sus vecinas (C). 3ª iteración: la celda  $B_{\min}$  queda también excluida y desde la celda del grupo BC con menor valor ( $BC_{\min}$ ) se calcula el coste hasta sus vecinas (D) y así sucesivamente hasta completar la matriz de celdas o hasta alcanzar un coste máximo definido previamente.

El cálculo de costes de desplazamiento acumulado de una celda a sus vecinas es sencillo. La localización o las localizaciones de partida tienen un valor de coste 0, pues no se requiere desplazamiento alguno hasta ellas. Para el resto de celdas el coste acumulado se calcula según:

$$T_i = T_{i-1} + t_{i,i-1}$$

donde  $T_i$  es el coste acumulado hasta la celda problema ( $i$ ),  $T_{i-1}$  es el coste acumulado hasta la celda adyacente anterior ( $i-1$ ) y  $t_{i,i-1}$  es el coste de desplazamiento desde la celda  $i-1$  a la celda  $i$ , esto es, el módulo del vector que las une en la lógica de Dijkstra calculado con la fórmula de *Path Distance*.

#### *El cálculo del coste entre celdas*

Llegados a este punto lo que queda por resolver es cómo se calcula  $t_{i,i-1}$ , es decir, la segunda cuestión antes planteada: la obtención del coste para cada trayectoria entre celdas (contando con su pendiente y distancia reales). Dado el planteamiento de la movilidad de este trabajo, hay que introducir la ecuación de la movilidad de Tobler y las matizaciones de zigzag en *Path Distance*. El coste de moverse de una celda a otra con esta herramienta se calcula del siguiente modo<sup>16</sup>:

$$t_{i,i-1} = C_s * D_s * \frac{F_a * HF_a + F_b * HF_b}{2} * VF$$

Donde:

$t_{i,i-1}$  = “Cost\_distance”: es coste de moverse de una celda ( $i-1$ ) otra ( $i$ ), en el caso de este trabajo, en unidades de tiempo.

$C_s$  = “Cost\_surface”: es el coste base que implícito en atravesar una unidad de distancia, independientemente de los demás factores (pendiente...). En este trabajo, como se ha visto, es el resultado de multiplicar en *Raster Calculator* el “factor de vegetación” por 0,75.

<sup>13</sup> Aunque en la ayuda del *Spatial Analyst Toolbox* de ArcGIS no se menciona de forma explícita, la descripción del procedimiento para resolver el problema de la trayectoria más corta coincide con el algoritmo de Dijkstra, que si se cita sin embargo en la ayuda del *Network Analyst* de ArcGIS. La herramienta equivalente en GRASS (*r.walk*) utiliza también esta solución clásica y efectiva.

<sup>14</sup> En realidad este algoritmo ha sido formulado de forma independiente por Vojtech Jarník en 1930, por Robert C. Prim en 1957 y por Dijkstra en 1959.

<sup>15</sup> Otra consecuencia de trabajar en una estructura raster es que los nodos y vectores que conceptualmente se utilizan están condicionados por la forma de las celdas, generalmente cuadradas. Esto hace que cada localización tenga exclusivamente 8 localizaciones vecinas inmediatas, de forma que el movimiento sólo puede ser modelado siguiendo 8 direcciones básicas (esto se conoce como movimiento del Rey o de la Reina por analogía con el ajedrez). Tal es el caso de las herramientas de movilidad de ArcGIS (tanto *Cost Distance* como la más sofisticada *Path Distance*). Otras herramientas como *r.walk* de GRASS han intentado minimizar esta limitación mediante la incorporación del movimiento del Caballo, que combinado con el del Rey da acceso a 16 localizaciones. Sin embargo esta solución incorpora algunos nuevos problemas. En primer lugar la diferencia angular entre las 16 direcciones no es constante, lo que introduce una deformación del modelado del movimiento. En segundo lugar la pendiente considerada en el caso del movimiento del Caballo tiene en cuenta la altitud de las celdas de origen y destino, pero obvia que en cada movimiento del Caballo la trayectoria atraviesa otras dos celdas intermedias con su propio valor de altitud que no tiene por qué situarse en el *continuum* definido por las dos distales.

<sup>16</sup> Adaptado de ArcGIS Desktop Help 10: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How the path distance tools work/009z00000027000000/>

$D_s$ = “Surface\_distance”: es la distancia real (no planimétrica) entre la celda de destino y la de llegada. Se calcula por el Teorema de Pitágoras siendo la distancia real la hipotenusa y los catetos la distancia planimétrica (la resolución del *raster* o ésta multiplicada por raíz de 2 en el caso de las diagonales) y el desnivel entre celdas (calculada mediante una simple resta).

$F_a * HF_a$  y  $F_b * HF_b$  = “Friction(a o b) \* Horizontal\_factor (a o b)”: son un coste añadido por algún factor anisotrópico (como el viento) que se calcula para la celda de origen (a) y la de destino (b), de las cuales se saca luego la media. Este coste añadido en cada celda es el resultado de multiplicar la fricción ( $F$ ) en esa localización por un factor horizontal ( $HF$ ) que es una función del ángulo formado entre la dirección del movimiento y la dirección del factor anisotrópico (como el viento). En este trabajo no se incorpora ningún factor de este tipo.

$VF$ = “Vertical\_factor”: es el coste derivado de la pendiente considerada como un factor anisotrópico. Esto es, teniendo en cuenta la pendiente implícita en el desnivel y la distancia entre la celda de origen y la celda de destino, y no sus pendientes absolutas. El ángulo de esta pendiente real se calcula mediante el arcotangente de la división del desnivel entre la distancia horizontal. A su vez el desnivel se obtiene de la resta de la altitud de las dos celdas y la distancia horizontal es igual a la resolución de la celda (multiplicada por la raíz de dos en el caso de las diagonales). El ángulo así obtenido se correlaciona con el  $VF$  mediante una de las gráficas propuestas por la herramienta *Path Distance* o por una gráfica propia construida mediante un archivo ASCII<sup>17</sup>. En mi opinión ninguna de las gráficas que incorpora la herramienta obedece a una función válida para calcular el coste derivado de la pendiente, por lo que recomiendo crear una propia utilizando, en este caso, la ecuación de Tobler.

Si eliminamos de la fórmula de *Path Distance* el factor horizontal (que no nos interesa) resulta que tiene prácticamente la misma estructura que la ecuación de Tobler.

$$Path\ Distance\ simplificado: t_{i,i-1} = C_s * D_s * VF$$

$$Tobler\ modificado : t = \frac{3d}{4e^{-3,5|s+0,05|}} = 0,75 * d * \frac{1}{e^{-3,5|s+0,05|}} = ct * d * \frac{1}{f(p)} \approx C_s * D_s * VF$$

Por lo tanto siendo que  $C_s$  y  $D_s$  ya están resueltas sólo queda construir la tabla para la correlación del  $VF$  a partir del inverso del logaritmo empleado por Tobler ( $e^{-3,5|s+0,05|}$ ).

El archivo ASCII se puede construir en Excel y guardarlo con extensión \*.txt. La tabla de este archivo tendrá dos columnas por fila; la primera contendrá el ángulo de la pendiente y la segunda el valor de  $VF$  asociado a dicho ángulo, esto es,

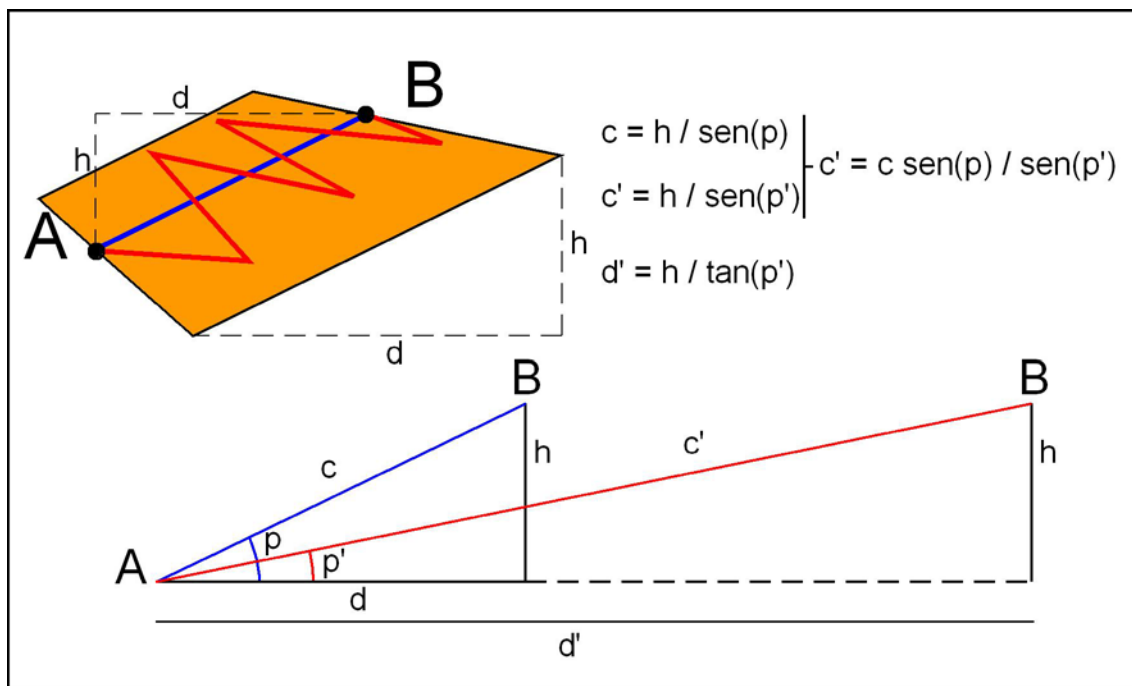
$$VF = \frac{1}{e^{-3,5|s+0,05|}}$$

Ahora bien, este es el momento para introducir el matiz del zigzageo. Cuando la pendiente ( $p$ ) sea mayor que  $16^\circ$  o menor que  $-12,5^\circ$  se utiliza una variación del  $VF$  para mantener  $p$  constante en dichos umbrales a la par que se introduce un coste añadido por la distancia real del zigzag. La modificación de la distancia se hace introduciendo la razón geométrica de la distancia del zigzag y la distancia real como factor que será multiplicado por  $D_s$ . Este factor multiplicativo puede ser calculado como el seno(pendiente)/seno(umbral), como se muestra en la *figura 17*. De este modo, el  $VF$  para el zigzag se calcula según las expresiones siguientes:

$$VF_{p>16^\circ} = \frac{\sin p / \sin 16}{e^{-3,5|\tan(16)+0,05|}}, \quad y \quad VF_{p<-12,5^\circ} = \frac{\sin p / \sin -12,5}{e^{-3,5|\tan(-12,5)+0,05|}}$$

---

<sup>17</sup> Cuando se utiliza la herramienta *Path Distance* con una curva definida por el usuario mediante una tabla ASCII los requerimientos de cálculo para el ordenador se multiplican y la herramienta puede devolver resultados erróneos si no se cuenta con suficiente memoria RAM. En este trabajo se intentó el cálculo en varios equipos con RAM entre 3 y 4 GB sin éxito. Sólo funcionó correctamente en un PC con 16 GB de RAM cuya utilización debo agradecer a Luis Alberto Longares, profesor de Geografía de la Universidad de Zaragoza.

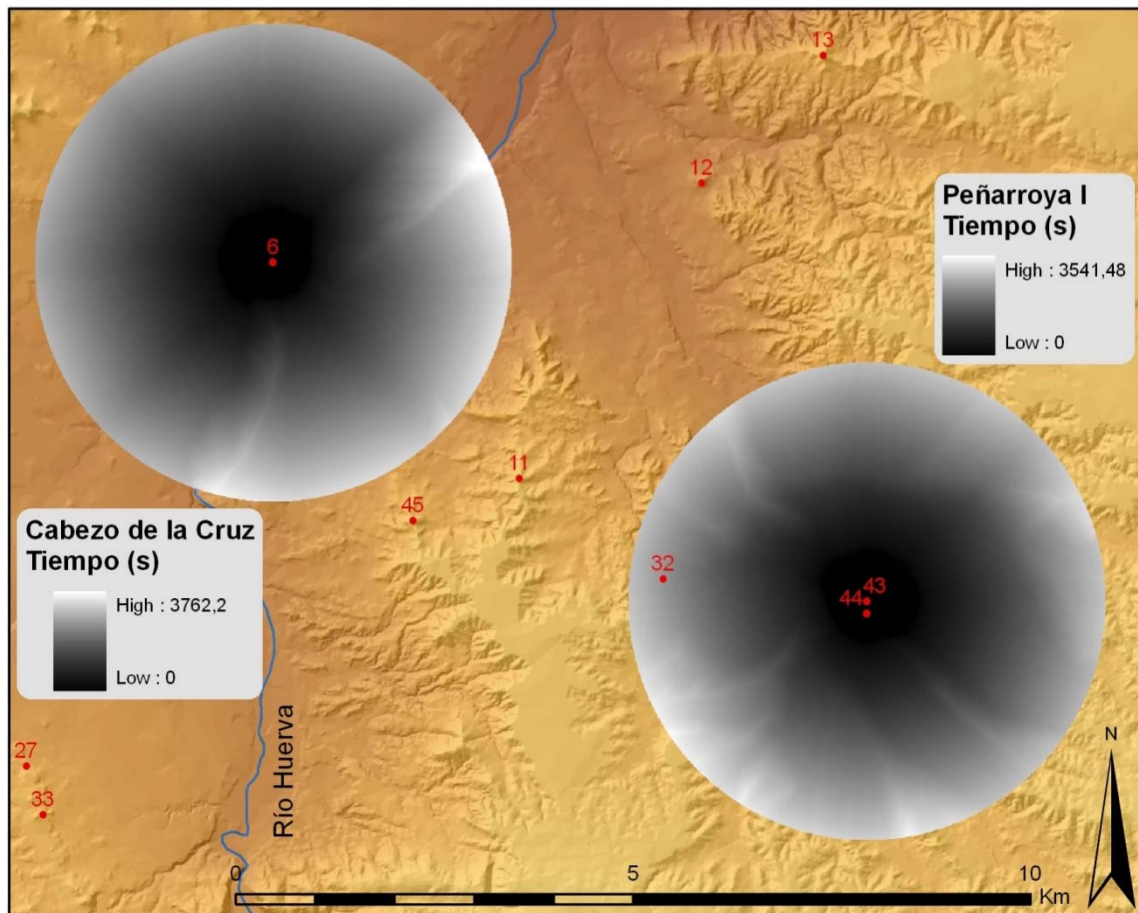


**Figura 17.** Elongación del camino entre A y B por el trazo de zigzags para no superar un umbral de pendiente ( $p'$ ). Se han añadido las principales relaciones trigonométricas que permiten conocer la longitud del camino en zigzag. El desnivel ( $h$ ) es conocido y es el mismo en los dos caminos.  $C$  también es conocido ( $c = D_s$ ). La pendiente  $p$  es calculada *ad hoc* por *Path Distance* como  $\arctan(h/d)$ . La distancia  $d$  es conocida por la resolución (o su relación con la diagonal).

Por último, queda excluir las pendientes mayores que  $50^\circ$  o menores que  $-50^\circ$ , pues en ellas se considera que ya no se camina, sino que fácilmente hay que trepar o escalar. La exclusión puede hacerse o bien no incluyendo dichas pendientes en la tabla ASCII o bien estableciendo el límite de pendiente como está previsto en la propia herramienta *Path Distance*.

Recapitulando, de este modo *Path Distance* calculará el coste acumulado de desplazamiento hasta cada celda del mapa desde su localización de origen más próxima en términos de coste temporal (*figura 18*). Y lo hará teniendo en cuenta una velocidad normal de 4,03 km/h (corregida según un factor de vegetación), la distancia real (no planimétrica), la pendiente real de la trayectoria (no la absoluta de la celda), el coste añadido en función de dicha pendiente junto a la corrección de zigzag y el factor de vegetación. Y todo ello sobre un MDT modificado para aproximarse a la realidad topográfica de hace cuatro mil años.

Esta superficie de costes acumulados es la forma básica de representar un movimiento focal, pero en si no es muy informativa. Una idea más clara de la accesibilidad del entorno desde un yacimiento la podemos obtener de dos productos derivados a partir de la superficie de costes acumulados: las isocronas y una propuesta que he denominado CAR (Coste Acumulado Relativo).

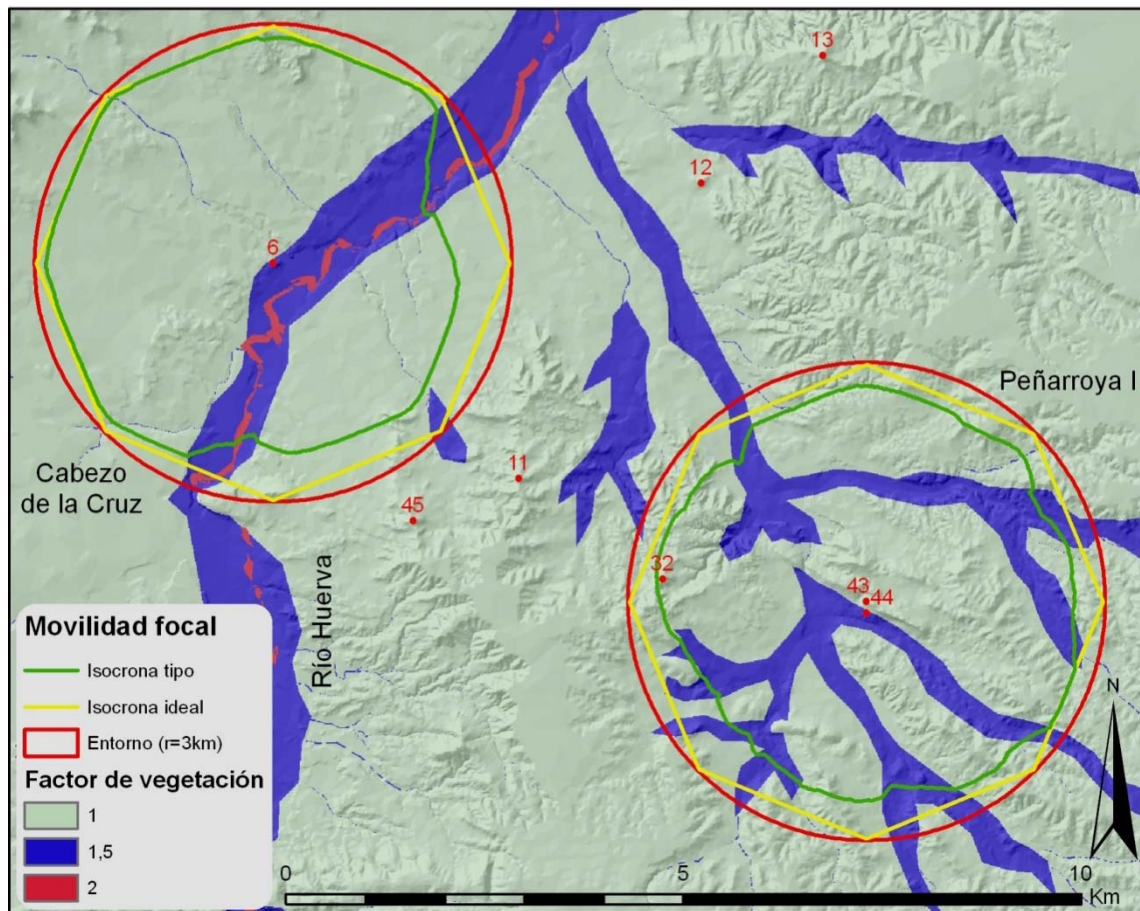


**Figura 18.** Mapas de costes temporales (segundos) acumulados para los yacimientos del Cabezo la Cruz (6) y Peñarroya I (43). En la imagen también aparecen los yacimientos de Cabezo del Buitre (11), Cabezo de la Gorra de la Visera (12), Cabezo Sillón (13), Las Llanas (27), Los Collados (32), Los Hermanillos (33), Peñarroya II (44) y San Borombón (45).

### 5.2.3. La isocrona tipo de 45 minutos y su análisis

Las isocronas son isopletas que unen celdas con un mismo valor de tiempo en una superficie de costes acumulados (*figura 19*). Representan niveles de acceso al territorio circundante marcando la distancia máxima a la que se puede llegar desde una localización en un tiempo determinado dados los costes que implica el desplazamiento por cada celda. Para su creación en ArcGIS se utiliza la herramienta *Spatial Analyst Tools > Surface > Contour*, que sirve para calcular isopletas de cualquier superficie. El valor de la isócrona de cada yacimiento que utilizo para representar la accesibilidad dentro del radio de 3 km es 2680,3 s (44 min 40,2 s), esto es, el tiempo que dada la ecuación de movimiento utilizada costaría recorrer 3 km sin penalización por pendiente o vegetación. Así más adelante será posible comparar dicha isócrona con la circunferencia del entorno de 3 km de radio para cada yacimiento.





**Figura 19.** Se representan las isocronas del Cabezo de la Cruz (6) y de Peñarroya I (43) sobre el mapa de factor de vegetación con sombreado para crear sensación de relieve. La isocrona tipo (verde) muestra el espacio abarcable en 45 minutos teniendo en cuenta los factores del relieve y la vegetación. La isocrona ideal (amarillo) representa el espacio alcanzable en 45 minutos en ausencia de la acción de dichos factores. La movilidad, según los parámetros utilizados, está muy condicionada por la vegetación. En la imagen puede apreciarse también la diferencia entre el entorno circular (rojo) y la isocrona ideal octogonal (amarillo) resultante de los algoritmos de movilidad que sólo contemplan 8 direcciones de movimiento. También aparecen los yacimientos de Cabezo del Buitre (11), Cabezo de la Gorra de la Visera (12), Cabezo Sillón (13), Las Llanas (27), Los Collados (32), Los Hermanillos (33), Peñarroya II (44) y San Borombón (45).

### *Índice de accesibilidad teórica*

El primer índice derivado de la movilidad focal es el de accesibilidad teórica, que partiendo de la isocrona tipo compara la superficie accesible “real” (calculada contemplando los factores limitantes del movimiento) y la superficie accesible “ideal” (aquella que sería abarcable en ausencia de limitaciones a la movilidad) en un tiempo dado (el que permitiría llegar a una distancia de 3 km).

Análisis de accesibilidad teórica o de extensión de las isocronas: Consiste en dividir la superficie abarcada por una isócrona entre la superficie que se abarcaría en caso de que no hubiera una impedancia derivada de la pendiente o de la erosión. Para ello hay que tomar las isocronas calculadas para cada yacimiento transformarlas en polígonos (*Data Management Tools > Features > Features to Polygons*), añadir en su tabla de atributos un nuevo campo y calcular en él es área (*Calculate Geometry*). Luego en otro nuevo campo se calcula (*Field Calculator*) el acceso teórico mediante:  $\text{área de la isócrona} / 25453786,8166$ . Este divisor es el área en  $\text{m}^2$  que tiene la superficie definida por la isócrona ideal de 2680,3 segundos en condiciones de desplazamiento ideales.

### *Índice de alargamiento de la isocrona tipo*



Este índice, junto con el siguiente, describe las formas de las isocronas tipo para ver si reflejan una accesibilidad del entorno homogénea o condicionada. Esto puede hacerse mediante una valoración visual. Pero si se quiere apoyar en algún método de clasificación cuantitativo más objetivo, las isocronas pueden describirse mediante índices que relacionan su forma con una forma ideal. Esta es la lógica que los índices de compacidad más corrientes, en los que se compara la forma de un polígono (una cuenca hidrográfica, un área urbana...) con un círculo, que es la superficie más compacta posible. Ahora bien, de cómo se establezca la relación entre ambas figuras dependerá lo que represente el índice. Por tanto, hay que tener muy en cuenta qué se quiere expresar mediante la compacidad a la hora de elegir un índice u otro. En concreto nos interesa saber si la isócrona de cada yacimiento se extiende desde su centro de forma homogénea o no. Por tanto necesitamos expresar su alargamiento y la sinuosidad de su perímetro. Esto se logra con los índices de compacidad adaptados a las necesidades concretas de este trabajo: en este apartado se emplea el de Haggett (1976) para el alargamiento y la sinuosidad se calcula en el siguiente apartado con el de Gravelius (1914).

El alargamiento de una figura puede ser expresado mediante el índice de compacidad de Haggett ( $H_c$ ) (Burillo Mozota y López Romero 2005-2006; Haggett 1976) que relaciona el área del polígono ( $A_p$ ) con el área del círculo ( $A_c$ ) de diámetro igual a la longitud máxima del polígono ( $L_p$ ).

$$H_c = \frac{A_p}{A_c} = \frac{A_p}{\pi(L_p/2)^2} = \frac{A_p}{\pi L_p^2/4} = \frac{4A_p}{\pi L_p^2}$$

Así, en última instancia se relaciona el área del polígono con su longitud máxima. En el caso de una compacidad total (polígono = círculo;  $L_p$  = diámetro) el  $H_c = 1$ . Conforme se incrementa el alargamiento del polígono, esto es, se alargue su longitud sin incrementar su área, el  $H_c < 1$ . En el caso de un polígono cuya longitud fuera 4 veces su anchura, el  $H_c = 0,5$ . Así el índice de Haggett representa la compacidad como una medida del mayor o menor alargamiento de la figura, pues relaciona su superficie y su longitud máxima.

Al emplear este índice para el análisis de isocronas hay que tener en cuenta cómo es el proceso de construcción de las mismas en ArcGIS. Este índice compara polígonos con el círculo, que es considerado la superficie ideal en tanto que es la más compacta, la que requiere el menor perímetro para encerrar un área dada y la que es homogénea en todos sus lados. Sin embargo resulta erróneo comparar las isocronas con circunferencias, o la superficie que delimitan con círculos, pues la isócrona ideal calculada por las herramientas apropiadas de ArcGIS adquiere la forma de un octógono regular en virtud de las 8 direcciones de movimiento que computa desde una celda a sus vecinas ortogonales y diagonales con el movimiento del Rey del ajedrez. Por tanto hay que adaptar el índice de compacidad de Haggett para que la comparación se establezca entre el polígono analizado y el octógono regular correspondiente en función de las especificaciones de área o de perímetro.

El área ( $A_o$ ) de un octógono regular, conociendo únicamente el radio ( $r$ ) de la mínima circunferencia que lo circunscribe y el ángulo formado por el radio y la apotema ( $\alpha = 22,5^\circ = 0,3927$  radianes), se calcula del siguiente modo:

$$A_o = 8 \sin \alpha \cos \alpha r^2 \approx 2,8284 \cdot r^2$$

Así, el índice de Haggett *octogonal* ( $H_o$ ) hay que reformularlo del siguiente modo:

$$H_o = \frac{A_p}{A_o} = \frac{A_p}{8 \sin \alpha \cos \alpha (L_p/2)^2} = \frac{A_p}{\frac{8 \sin \alpha \cos \alpha L_p^2}{4}} = \frac{4A_p}{8 \sin \alpha \cos \alpha L_p^2} = \frac{A_p}{2 \sin \alpha \cos \alpha L_p^2}$$

El cálculo de este índice en ArcGIS puede hacerse mediante la *Field Calculator* en nuevos campos creados a tal efecto en la tabla de atributos de un *shape* que contenga los polígonos definidos por las isocronas. Para poder acometer el cálculo habrá que conocer el área que encierran las isocronas

( $A_p$ ) y la longitud máxima del polígono que definen ( $L_p$ ).  $A_p$  puede ser computada en un nuevo campo mediante *Calculate Geometry*.  $L_p$  sin embargo deberá ser obtenido de uno de los campos de la tabla de atributos del resultado de aplicar a los polígonos de las isocronas la herramienta *Data Management Toolbox > Features > Minimum Bounding Geometry* (Sólo disponible a partir de ArcGIS 10) con la opción *CONVEX\_HULL* o *CIRCLE*.

### *Índice de sinuosidad de la isócrona tipo*

La complejidad de la forma de la figura se expresa mediante el índice de compacidad de Gravelius ( $G_c$ ) que relaciona el perímetro ( $P_p$ ) de un polígono con la circunferencia ( $C_c$ ) de un círculo cuya área sea igual a la del polígono ( $A_p$ ) (Gravelius 1914; Ibisate González de Matauco 2004):

$$G_c = \frac{P_p}{C_c} = \frac{P_p}{2\pi r} = \frac{P_p}{2\pi \sqrt{\frac{A_p}{\pi}}} = \frac{P_p}{2\sqrt{\frac{\pi^2 A_p}{\pi}}} = \frac{P_p}{2\sqrt{\pi A_p}} = 0,282 \frac{P_p}{\sqrt{A_p}}$$

Así se pone en relación el perímetro del polígono con el perímetro mínimo de una figura de igual área (un círculo). En el caso de una compacidad total (polígono = círculo;  $P_p = C_c$ ), el  $G_c = 1$ . Conforme aumenta la sinuosidad del perímetro sin incrementar su área  $G_c > 1$ . Es decir, en realidad este índice guarda una proporción directa con la complejidad de la forma pero inversa con la compacidad:  $\Delta G_c = \Delta \text{ complejidad} = \nabla \text{ compacidad}$ . Por ello resulta conveniente utilizar en realidad el inverso de  $G_c$  para expresar la sinuosidad ( $G_c^{-1}$ ) de la forma entre 0 (complejidad total) y 1 (compacidad total):

$$G_c^{-1} = \frac{1}{G_c} = 3,5449 \frac{\sqrt{A_p}}{P_p}$$

Podría parecer que este índice expresa más o menos lo mismo que el de Haggett. Sin embargo no es así; por ejemplo en el caso de una figura con una forma general circular pero con un perímetro muy largo debido a la complejidad de su trazado dará como resultado poca compacidad según Gravelius ( $G_c > 1$  o  $G_s < 1$ ), mientras que al no ser una forma alargada tendrá un alto índice de compacidad de Haggett ( $H_c \approx 1$ ).

Igual que en el caso de Haggett, es necesario adaptar el inverso del índice de compacidad de Gravelius para que establezca la comparación con la figura del octógono regular.

El área ( $A_o$ ) y el perímetro ( $P_o$ ) de un octógono regular, conociendo únicamente el radio ( $r$ ) de la mínima circunferencia que lo circunscribe y el ángulo formado por el radio y la apotema ( $\alpha = 22,5^\circ = 0,3927$  radianes), se calculan del siguiente modo:

$$A_o = 8 \sin \alpha \cos \alpha r^2 \approx 2,8284 \cdot r^2$$

$$P_o = 16 \sin \alpha r \approx 6,1229 \cdot r$$

El índice de Gravelius *octogonal* ( $G_o$ ) e invertido ( $G_c^{-1}$ ) queda como sigue:

$$G_o = \frac{P_p}{P_o} = \frac{P_p}{16 \sin \alpha r}$$

Pero  $r$  es ahora un valor desconocido; el octógono viene dado en este caso por su área ( $A_o$ ) que es igual a la del polígono analizado ( $A_p$ ). Por tanto hay que resolver el siguiente sistema:

$$\begin{cases} P_o = 16 \sin \alpha r \\ A_o = A_p = 8 \sin \alpha \cos \alpha r^2 \end{cases}$$

De tal modo que:

$$P_o = 16 \sin \alpha \sqrt{\frac{A_p}{8 \sin \alpha \cos \alpha}} = \sqrt{\frac{256 A_p \sin \alpha^2}{8 \sin \alpha \cos \alpha}} = \sqrt{\frac{32 A_p \sin \alpha}{\cos \alpha}} = \sqrt{32 A_p \tan \alpha}$$

Y por tanto:

$$G_o = \frac{P_p}{P_o} = \frac{P_p}{\sqrt{32 A_p \tan \alpha}}$$

E invertido:

$$G_c^{-1} = \frac{\sqrt{32 A_p \tan \alpha}}{P_p}$$

El cálculo del inverso del índice de Gravelius adaptado al octógono en ArcGIS puede hacerse, como en el caso de Haggett, mediante la *Field Calculator* en un nuevo campo creado a tal efecto en la tabla de atributos de un *shape* que contenga los polígonos definidos por las isocronas. En este caso habrá que conocer el perímetro de las isocronas ( $P_p$ ) y el área que encierran ( $A_p$ ), que pueden ser computados en nuevos campos mediante *Calculate Geometry*.

#### 5.2.4. La superficie de Costes Acumulados Relativos (CAR) y su análisis

La superficie de Costes Acumulados Relativos representa el grado en que cada localización tiene un acceso más o menos sencillo desde la localización de origen (*figura 20*). Esto se realiza ponderando el coste acumulado que tendría cada localización en condiciones ideales dada la velocidad normal de 4,03 km/h por el coste acumulado calculado para cada localización. Este análisis es muy sencillo; basta con dividir un mapa de costes euclídeos entre un mapa de costes acumulados.

$$CAR = \frac{\text{mapa de costes euclídeos}}{\text{mapa de costes acumulados}}$$

Así un resultado de 1 indicaría que el coste real de acceder a una localización es igual al coste ideal. Un resultado menor que 1 indica que hay un coste añadido y por tanto la accesibilidad es menor; este será el caso de la mayor parte de las localizaciones y cuanto menor sea al valor resultante mayor será el coste añadido. Por último, aunque infrecuentes, también es posible que haya resultados mayores que 1, pues las pendientes entre 0° y -3° aceleran el movimiento, reduciendo el coste temporal de desplazamiento.

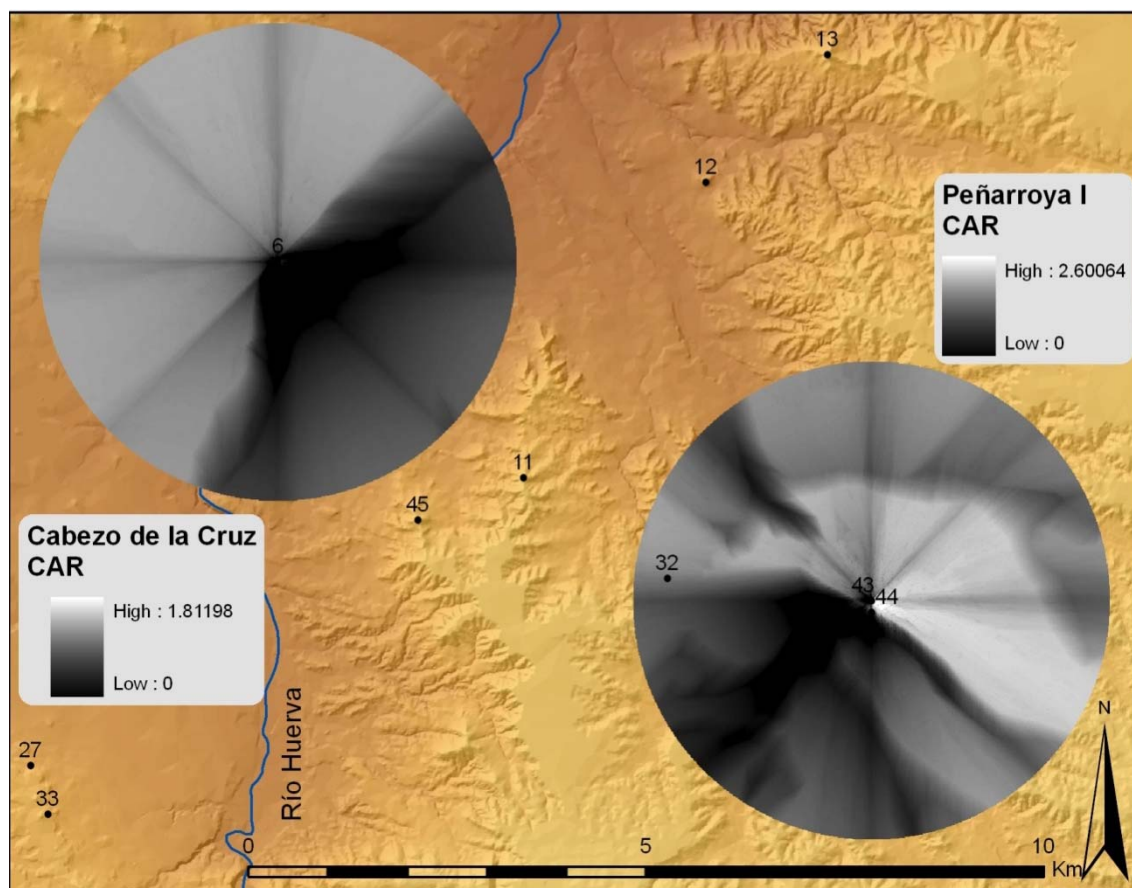
La cuestión es cómo calcular el mapa de costes euclídeos (pues el de costes acumulados ya se ha descrito anteriormente). Se puede hacer de dos modos. El primero y más sencillo consiste en aplicar la siguiente fórmula en *Raster Calculator*:

$$t_{\text{euclídeo } i,o} = \frac{d_{\text{euclídea } i,o}}{v_{\text{normal}}}$$

donde  $t_{\text{euclídeo } i,o}$  es el coste de desplazamiento desde la localización de origen (0) hasta la celda problema (i),  $d_{\text{euclídea } i,o}$  es la distancia en línea recta entre ambas localizaciones (fácil de conocer con *Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean Distance*) y  $v_{\text{normal}}$  es la velocidad de caminata estándar, esto es la velocidad que devuelve la ecuación de movimiento en ausencia de pendiente y de fricciones. En este trabajo la velocidad normal es de 4,03 km/h (1,12 m/s).

Sin embargo el resultado de un mapa de coste euclídeo así construido no será comparable con el mapa de coste acumulado calculado con *Path Distance*, pues el primero contemplará todas las direcciones de movimiento entre la celda de origen y todas las restantes del mapa, mientras que el segundo sólo computa 8 direcciones (las ortogonales y las diagonales). Por ello, aunque sea más costoso, hay

crear un mapa ideal de costes acumulados. En este caso no es necesario utilizar *Path Distance* pues se consideran condiciones ideales de desplazamiento en llano y sin vegetación. Por ello basta con usar la herramienta isotrópica y veterana *Spatial Analyst Tools > Distance > Cost Distance* introduciendo como superficie de coste una que tenga como valor para todas las celdas 0,893435 s (tiempo que cuesta atravesar un metro a una velocidad de 1,12 m/s). *Cost Distance*, como *Path Distance*, computa 8 direcciones de movimiento entre celdas vecinas. Por tanto los resultados de ambas herramientas sí serán comparables.



**Figura 20.** Superficies de Costes Acumulados Relativos (CAR) de los yacimientos del Cabezo (6) de la Cruz y Peñarroya I (43). También aparecen los yacimientos de Cabezo del Buitre (11), Cabezo de la Gorra de la Visera (12), Cabezo Sillón (13), Las Llanas (27), Los Collados (32), Los Hermanillos (33), Peñarroya II (44) y San Borombón (45).

### *Índice de facilidad media de acceso*

Éste índice y el siguiente ofrecen una cuantificación de la facilidad de acceso y su variabilidad a través de los tiempos de desplazamiento a cada celda. Estos tiempos se comparan con los tiempos ideales (en ausencia de factores limitantes del movimiento) para calcular los costes acumulados relativos (CAR) de acceso a cada celda del entorno de un yacimiento. Para expresar de forma unitaria los valores de los CAR para cada caso es necesario recurrir a los descriptores estadísticos básicos de la media en el presente índice (el nivel de accesibilidad general de dicho entorno) y la desviación típica en el siguiente (la variabilidad de la accesibilidad). En cierto sentido estos índices derivados de los CAR pueden ser redundantes con los derivados de las isocronas. Se mantiene el uso de los dos a modo de exploración metodológica; si la correlación entre unos y otros fuera elevada no serían índices complementarios sino alternativas a las que se podría recurrir en función de las circunstancias y conveniencia de futuros trabajos.

El valor medio de las celdas de cada CAR expresa la facilidad general de acceso que tiene el entorno de cada yacimiento. Medias cercanas a 1 indican una facilidad de acceso elevada; medias próximas a cero son propias de entornos poco accesibles. La media de cada CAR no necesita ser calculada pues forma parte de los descriptores estadísticos básicos que aparecen en las propiedades de todo *raster*.

#### *Índice de variabilidad de la facilidad de acceso*

La desviación típica de las celdas de cada CAR expresa la variabilidad de la facilidad de acceso que tiene el entorno de cada yacimiento. Las desviaciones más bajas indicarán entornos con una facilidad (o dificultad) de acceso homogénea. Como la media, la desviación típica de cada CAR no necesita ser calculada pues forma parte de los descriptores estadísticos básicos que aparecen en las propiedades de todo *raster*.

#### 5.2.5. Correlación entre las variables que expresan la movilidad focal

Hasta aquí se han visto 5 variables que intentan expresar diferentes aspectos de la movilidad focal a partir de los datos de una superficie de costes acumulados: índice de facilidad de acceso, índice de alargamiento de la isocrona tipo, índice de sinuosidad de la isocrona tipo, media de los costes acumulados relativos y desviación estándar de los costes acumulados relativos. El índice de facilidad de acceso y la media de los costes acumulados relativos pretenden dar un dato unitario de la accesibilidad al entorno desde una localización. Los índices de alargamiento y sinuosidad de la isocrona tipo, así como la desviación estándar de los costes acumulados relativos, buscan ofrecer una medida de la irregularidad de dicha accesibilidad al entorno. Son por tanto medidas redundantes (*tablas 11 y 12*), por lo que para los análisis posteriores se ha elegido las basadas en los costes acumulados relativos. Las ventajas de éstos frente a los basados en la isocrona son fundamentalmente que, en primer lugar, prescinde del artefacto que supone la isocrona misma (reduce el entorno de análisis y produce una unidad de análisis ideal octogonal complicando los cálculos), y en segundo lugar simplifica el tratamiento de la superficie de costes acumulados pues tan sólo exige la utilización de dos descriptores estadísticos básicos. Como puede apreciarse en las *tablas 11 y 12*, la fuerte correlación entre los diferentes cálculos ensayados permite afirmar que en realidad el uso de unos y otros es válido, y por tanto la elección fácilmente puede recaer en cuestiones prácticas como las expuestas.

**Tabla 11.** Correlaciones de las dos variables que expresan la accesibilidad del entorno desde el yacimiento: Índice de accesibilidad teórica y Media de los costes acumulados relativos.

Correlaciones			
		C.B.A. Ind. acces.	C.B.D. Ind. CAR med.
C.B.A. Ind. acces.	Correlación de Pearson	1	,988**
	Sig. (unilateral)		,000
	N	50	50
C.B.D. Ind. CAR med.	Correlación de Pearson	,988**	1
	Sig. (unilateral)	,000	
	N	50	50

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

**Tabla 12.** Correlaciones de las tres variables que expresan la irregularidad de la accesibilidad del entorno desde el yacimiento: Índices de alargamiento y sinuosidad de la isocrona tipo y Desviación estándar de los costes acumulados relativos.

Correlaciones				
		C.B.B. Ind. alarg.	C.B.C. Ind. sinuos.	C.B.E. Ind. CAR des.
C.B.B. Ind. alarg.	Correlación de Pearson	1	,650**	-,920**
	Sig. (unilateral)		,000	,000
	N	50	50	50
C.B.C. Ind. sinuos.	Correlación de Pearson	,650**	1	-,649**
	Sig. (unilateral)	,000		,000
	N	50	50	50
C.B.E. Ind. CAR des.	Correlación de Pearson	-,920**	-,649**	1
	Sig. (unilateral)	,000	,000	
	N	50	50	50

\*\* · La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).



## 6. LA VISIBILIDAD

“Las sociedades generan distintos tipos de paisajes y estrategias visuales dependiendo de sus pautas de asentamiento y de su relación ecológica, económica y social con el entorno (natural y humano). Para las primeras sociedades campesinas jerarquizadas, la visibilidad es un elemento de gran importancia (...) el control visual puede servir para fijar la seguridad de una comunidad y sus recursos frente a posibles vecinos hostiles, o para reforzar su jerarquización/estratificación interna. Durante la prehistoria reciente de la península Ibérica, numerosas comunidades escogen la ubicación de sus lugares de asentamiento a partir del grado de inaccesibilidad (física) y control (visual) del entorno que puedan obtener, lo cual está en relación con la existencia de crecientes tensiones territoriales derivadas de la saturación demográfica, la competición por los recursos naturales, el comercio o la desigualdad social y política (...) la visibilidad es a menudo *prestigio*”.

(García Sanjuán *et al.* 2006, 181-182)

La visibilidad, junto con la movilidad, es la forma fundamental de relacionarse con el entorno. Este rasgo se relaciona con el control del entorno desde el yacimiento y con la percepción del yacimiento desde el entorno. Se trata de una relación recíproca, siempre y cuando no se consideren factores que la rompan como establecimiento de alturas añadidas al punto de observación.

El control visual se entiende en términos de vigilancia, no de dominio efectivo. “La expresión ‘control visual’ se refiere tan sólo a la obtención de información mediante el sentido de la vista acerca de lo que está ocurriendo en un territorio; no implica que además haya un control político o de cualquier otro tipo” (Zamora Merchán 2011, 312)

La percepción del yacimiento tiene un significado más abstracto (Chapman 1997; García Sanjuán *et al.* 2006, 182) relacionado con la identidad de sus habitantes (el poblado como punto de referencia en el paisaje) y el prestigio frente a los vecinos e incluso su coerción (el poblado elevado y siempre presente frente a otros poblados menos visibles y menos presentes).

Otros aspectos de la visibilidad, como son las intervisibilidades o las visibilidades acumuladas entre varios yacimientos, no se tienen en cuenta en esta parte del trabajo por motivos similares a los aducidos para las rutas óptimas.

Como se verá, es un cálculo sencillo y con un resultado fácil de interpretar. Ahora bien, hay una serie de consideraciones previas que han de tenerse en cuenta antes de efectuar un análisis de visibilidad (para una visión más completa de estas cuestiones cfr. García Sanjuán *et al.* 2006; Llobera 2001, 2003; Wheatley y Gillings 2002). Estas cuestiones, como en el caso de la movilidad, afectan a los cambios ambientales sufridos por el paisaje. Pero también hay otras específicas de la visibilidad que, en realidad son más determinantes que las primeras.

Los cambios en el relieve y en la vegetación pueden ser perfectamente obviados a efectos prácticos. Los primeros, a no ser que sean de unas dimensiones colosales tan apenas van a marcar una diferencia. Los segundos son mucho más importantes, pero no es posible conocer la ubicación y límites

precisos de las plantas en un momento remoto, y además habría que añadir como nueva variable el estado fenológico de la vegetación. Por otro lado, en cierto sentido es incorrecto considerar que la vegetación *oculta* el terreno, o más bien, habría que matizar *cómo* se efectúa esa *ocultación*. Pongamos por ejemplo una colina que tapa la visión de una porción de terreno; si poblamos esa colina de una vegetación arbórea densa y alta aumentamos así las dimensiones reales del objeto opaco (colina más vegetación) y por tanto de la zona oculta. Sin embargo si contemplamos un llano desde un cerro, y en ese llano incluimos un bosque, ¿sería correcto decir que las celdas ocupadas por el bosque han quedado ocultas por éste? ¿o más bien lo que sucede es que dichas porciones de terreno resultan visibles y en ellas se ve de hecho *lo que está pasando*: el desarrollo de un bosque? En estos casos ya no se trata simplemente de si hay visibilidad o no, sino de qué es o no es visible. Si lo que pretendemos analizar es si una persona o un grupo reducido de personas sería visible en esas celdas, evidentemente habrá que excluirlas del análisis; esas personas quedarán ocultas en la fronda (y llevando las cosas al extremo se podría decir que ocultas no es sinónimo de no visible, sino de difícilmente visible; un ojo experto quizás podría ver signos en ese bosque que delatase la presencia de personas). Sin embargo si lo que nos interesa es saber si cada celda es visible o no en términos absolutos, no podremos descartar ninguna zona por el hecho de estar poblada de bosque. En cualquier caso, como se ha dicho, las limitaciones de las reconstrucciones paleoambientales impiden que la vegetación sea incluida en el análisis visual, por lo que hay que entender siempre los resultados como *cuencas visuales teóricas o potenciales* (García Sanjuán *et al.* 2006, 184).

Las líneas anteriores han introducido un tema importante: la calidad de la visión. Ésta se deriva por un lado de las capacidades del observador pero, como en el caso de la movilidad, consideramos no casos individuales sino al tipo general. Por otro lado depende de factores diversos como la ya comentada vegetación, la situación atmosférica, la hora del día o de la noche, la posición del sol respecto a la dirección de observación, la altura del observador más la altura de la estructura de observación si la hubiere, las características de la zona donde se ubica el punto de observación, el tamaño del objeto observado...

De estos factores, aquellos que son cronodependientes (atmósfera, posición del sol...) son por un lado demasiado complejos y por otro demasiado específicos para ser contemplados en un análisis de condiciones generales como el que se plantea aquí. Su inclusión en el problema implicaría no sólo conocer la situación y evolución de estas variables en el pasado, sino además repetir los análisis un número determinado de veces estableciendo umbrales para estas variables y combinándolas entre sí, para después intentar una síntesis de los resultados en la que cada celda contendría un valor que expresase no sólo la posibilidad de visión sino su calidad.

Los otros factores, que podemos llamar estructurales, son más fáciles de modelar y además su inclusión está más justificada. El tamaño del objeto observado, por ejemplo, sería de utilidad si se intenta analizar el impacto visual de determinados objetos en el paisaje, por ejemplo las fortificaciones de un poblado o un campo de aerogeneradores. En tales casos interesaría no sólo conocer las celdas visibles sino el tamaño relativo de los objetos situados en ellas. Según (Olaya 2011, 317) el tamaño relativo de un objeto de dimensión  $h$  con una distancia  $d_{ab}$  entre dicho objeto y el observador se calcula mediante:

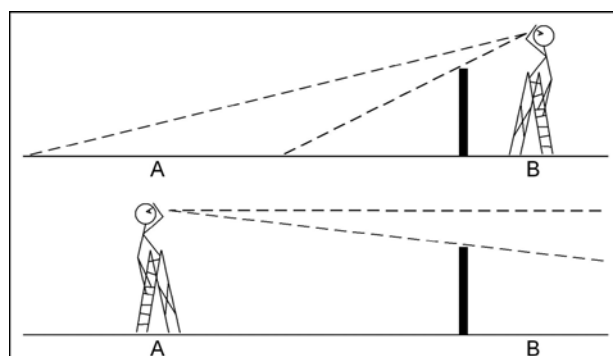
$$\text{tamaño relativo} = \text{arccot} \left( \frac{h}{d_{ab}} \right)$$

Esta es una noción interesante que serviría para caracterizar los yacimientos vistos desde el entorno o vistos desde otros yacimientos si conociéramos sus dimensiones originales, pero no resulta tan útil para el estudio de los entornos propiamente dichos. Sin embargo también es de utilidad para evaluar la calidad de la visión en el entorno que arbitrariamente he definido ( $r = 3\text{km}$ ). Así el tamaño relativo de una persona de 1,70 m de altura en el extremo de dicho entorno sería percibido con un tamaño relativo de 0,032. En realidad esta fórmula devuelve el ángulo formado por las líneas de visión desde el punto de observación hasta los extremos del objeto observado. Para que se comprenda mejor, considero que podría decirse que dado este ángulo, el tamaño relativo de una persona de 1,70 m de altura situada a 3 km de distancia sería como ver un objeto de 6 mm a una distancia de 10 m. En otras pala-

bras, realmente para la escala humana una distancia de observación mayor que 3 km resulta demasiado optimista, a no ser que se cuente con la observación de fenómenos desencadenados por el humano observado de dimensiones mayores que él (una nube de polvo, el humo de una hoguera, un artefacto que haya generado como un carromato o una vivienda).

Otro factor que incide en esta restricción de la visibilidad es la curvatura de la Tierra, por la cual, en zonas llanas con un ángulo de visión pequeño, una figura humana es difícilmente perceptible, incluso con ayuda de lentes, a 4 km, e imposible a más de 6 km de distancia (Burillo Mozota *et al.* 1993, 34; Zamora Merchán 2011, 312-313). También la situación atmosférica limita la distancia hasta la que considerar la visibilidad del entorno. Burillo y López (2005-2006, 79) proponen precisamente el límite de 3 km para lo que llaman visibilidad media: “se puede visualizar un grupo armado, de mercados o el polvo de un camino levantado por un grupo numeroso de personas, así como los terrenos de cultivo extensivos (cereal)”. En realidad fuera de las urbes donde reina mayor silencio no es infrecuente detectar la presencia de personas antes por sus voces que por su visión, incluso en campo abierto.

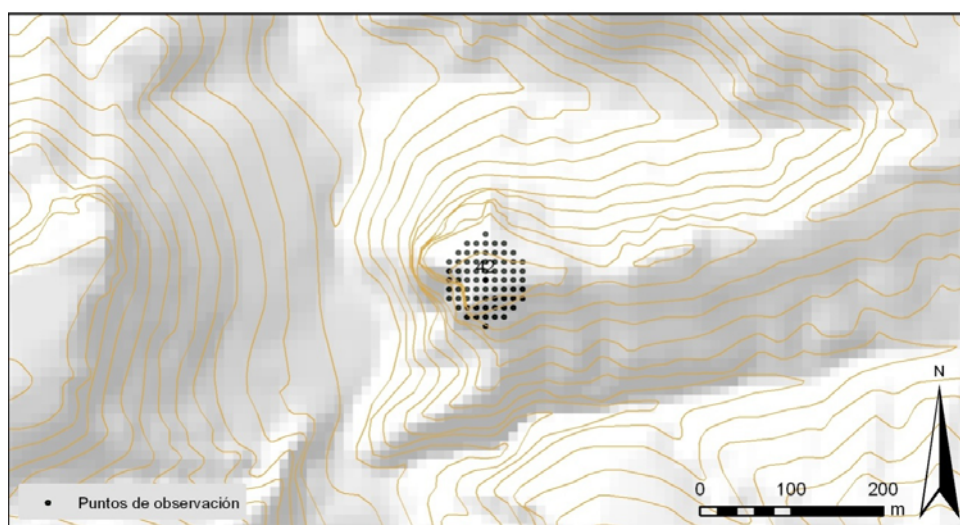
La cuestión de la altura del observador y de su observatorio es obvia y sencilla de implementar: basta con sumar a la altitud de la localización de observación la altura del observador, y en su caso puesto de observación. Ahora bien, requiere conocer la altura del observador (para lo que se puede recurrir a una media) y la existencia y dimensiones de una estructura desde la que observar. Esto segundo en arqueología es mucho más difícil; aún en el caso de conservarse evidencias de la misma, difícilmente su altura podrá ser establecida con rigurosidad y habrá que recurrir a una estimación plausible: una muralla de 2-4 m de alto con torres de 3-5 m por ejemplo. Además debe tenerse en cuenta que si no se especifica altura para el observador, el análisis de visibilidad será recíproco, es decir, desde A se verá B y desde B se verá A. Sin embargo, al añadirse la altura del observador esta reciprocidad en algunos casos puede romperse (Wheatley y Gillings 2002, 210-211). Supongamos un terreno totalmente llano con una elevación que impide la visión de un lado al otro de la misma. Construimos dos torres que permiten la visión por encima de la elevación, la primera a su derecha y muy pegada a la misma. La segunda al otro lado y más separada. De este modo desde la primera se verá gran parte del lado izquierdo, incluida la torre izquierda desde su base hasta su cima. Sin embargo la torre izquierda, más alejada del obstáculo, alcanzará a ver la parte superior de la torre derecha, pero no su base. No hay reciprocidad en la visibilidad pues desde la torre derecha se ve el suelo donde se ubica la torre izquierda pero no al revés (*figura 21*).



**Figura 21.** La modificación de la altura de observación rompe la reciprocidad entre la visibilidad de las localizaciones A y B.

Por último merece la pena considerar la cuestión de las características de la zona de observación. Pocas veces la observación interesa únicamente a un punto. En los ejemplos típicos de análisis de visibilidad en SIG se estudia por ejemplo el impacto visual que pueden tener las explotaciones forestales desde las carreteras, por donde la gente pasa más y desde donde más mira al monte. O se persigue la definición del itinerario turístico con mejores vistas. O se busca la zona más escondida para un basurreo, que no debe ser vista desde las poblaciones ni las carreteras cercanas. En todos estos casos la ob-

servación se realiza desde múltiples puntos. Lo mismo cabe decir de un poblado o yacimiento. La observación, a no ser que cuente con una torre dedicada a ello, no tiene por que realizarse desde un único punto. En muchos casos esto puede parecer una cuestión menor. Pero no lo es en otros. Por ejemplo en yacimientos situados en cerros de cima amplia y relieve muy irregular es fácil que el propio cerro oculte buena parte del paisaje más próximo si sólo se tiene en cuenta un punto de observación central. Por lo tanto lo más conveniente sería realizar el análisis de visibilidad desde una serie de puntos situados en lugares representativos si pueden establecerse (posición de torres, a lo largo de una muralla o del perímetro, en los extremos del yacimiento...) o con una distribución regular dentro del yacimiento. Sin embargo frecuentemente en prehistoria no contamos con restos de torres, murallas, ni siquiera conocemos el perímetro original de la ocupación. Por ello en este trabajo propongo realizar el análisis de visibilidad desde las 71 celdas contenidas en un radio de 50 m alrededor de la localización dada al yacimiento (*figura 22*). Es desde luego una solución arbitraria, pero idéntica para todos los casos estudiados, y que por tanto no dificulta la comparación.



**Figura 22.** Peña Foradada con los 71 puntos de observación utilizados para calcular su cuenca visual.

### 6.1. Las cuencas visuales

La forma más sencilla de representar la visibilidad desde un punto es lo que se conoce como cuenca visual. Esta visibilidad se cifra en la porción de un terreno predefinido que es visible desde un punto, el yacimiento. Por tanto el resultado de un análisis de cuenca visual simple es un mapa binario, en que cada celda puede asumir dos valores: visible o no visible. Esto es suficiente para el objetivo de describir los entornos de los yacimientos individualmente. Otra cuestión sería intentar definir zonas de un territorio que están más o menos controladas por una red de yacimientos, para lo cual habría que recurrir a mapas de cuencas visuales acumuladas, en los que cada celda asume un valor entero entre 0 y  $n$ , siendo  $n$  el número de puntos desde los que se ve dicha celda. Pero como se ha dicho, esto escapa al objetivo del presente análisis.

La cuenca visual también puede definirse como la suma de todas las intervisibilidades entre el punto de observación y el resto de localizaciones (celdas) de un entorno. La intervisibilidad entre dos puntos A y B (celdas) será efectiva si la línea recta entre ellos (AB) no es interrumpida por ninguna otra celda, es decir, que la altitud de todas las localizaciones entre A y B sea menor que la altura de AB sobre cada localización.

Así pues la forma inmediata de calcular la intervisibilidad entre dos puntos (y por tanto la base para las cuencas visuales) sería por comparación de alturas de tal modo. La altitud de cada localización intermedia se lee del MDT sobre el que se hace el análisis. Sin embargo este método implicaría calcular la altura de la línea AB sobre cada localización entre A y B, lo que no es difícil dado la proporcio-

nalidad de los lados de un triángulo rectángulo, pero resultaría costoso por el número de iteraciones en mapas grandes o de mucha resolución.

Por ello muchos programas informáticos que calculan las intervisibilidades lo hacen por el método de la comparación de ángulos (Olaya 2011, 370). El ángulo formado por AB respecto a la línea horizontal ( $\alpha$ ) es comparado con el los ángulos formados por AC<sub>i-n</sub> respecto a la horizontal ( $\omega_{i-n}$ ), siendo C<sub>i-n</sub> cada una de las localizaciones entre A y B. Así si:

$$\alpha < \omega \rightarrow \text{Visibilidad efectiva}$$

$$\alpha \geq \omega \rightarrow \text{Visibilidad bloqueada}$$

El ángulo ( $\alpha$ ) de la línea que une el punto de observación (A) con cualquier otra celda del mapa (B) se calcula del siguiente modo:

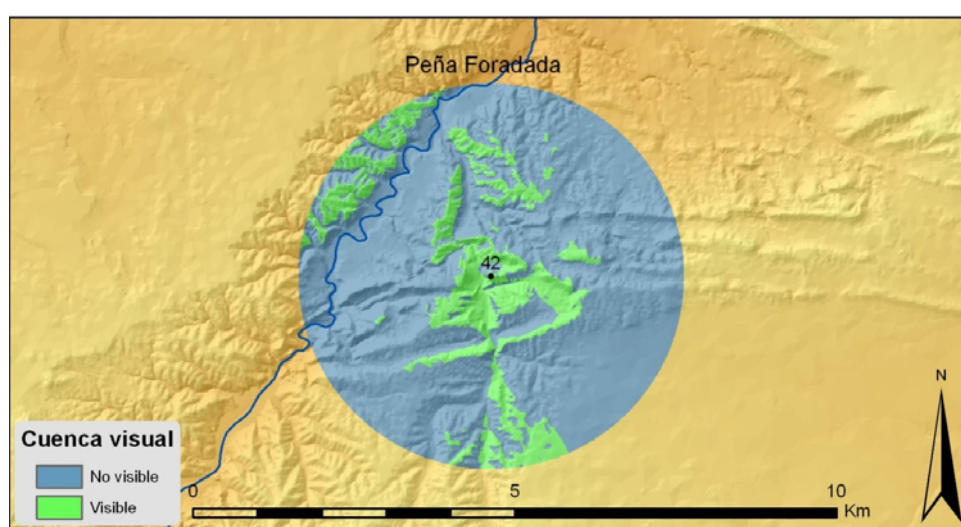
$$\alpha = \arccot\left(\frac{z_A - z_B}{d_{AB}}\right)$$

siendo  $z_A$  y  $z_B$  la altitud en las localizaciones A y B, y  $d_{AB}$  la distancia entre ambas.

Así bastará con calcular para cada celda su ángulo con el punto de observación y después compararlo con los valores de las celdas situadas entre la celda problema y el punto de observación.

Así recapitulando y teniendo en cuenta los planteamientos metodológicos ya expuestos para esta variable, he calculado las cuencas visuales de cada yacimiento individualmente en un radio de 3 km utilizando la herramienta *Spatial Analyst Tools > Surface > Viewshed*, sin tener en cuenta ningún factor coyuntural y sin atribuir ninguna altura al observador para asegurar la reciprocidad (en realidad por defecto *Viewshed* otorga al observador una altura de una unidad de mapa, esto es, 1 m, lo que tan apenas modifica los resultados). La única consideración tenida en cuenta ha sido la de utilizar para cada yacimiento 71 puntos de observación repartidos regularmente cada 10 m formando un círculo de 50 m de radio en torno a la localización dada para el yacimiento. El resultado es una serie de mapas (figura 23) en los que cada celda contiene valores enteros entre 0 (no visible por ningún punto) y 71 (visible por los 71 puntos de observación). Es por tanto una cuenca de visibilidad acumulada a partir de 71 puntos de observación, pero como éstos pertenecen todos a un mismo yacimiento y no tienen por si mismos ninguna significación o consideración especial, conviene reclasificar para obtener cuencas binarias (0 = 0; 1 a 71 = 1).

La superficie ocupada por cada clase (visible y no visible) puede extraerse, como en casos anteriores, mediante un análisis zonal (*Spatial Analyst Tools > Zonal > Zonal Statistics as Table*).



**Figura 23.** Cuenca visual de Peña Foradada calculada a partir de 71 puntos de observación.

## 7. LA DEFENSA

Un último aspecto que he tenido en cuenta a la hora de valorar la relación de los yacimientos con el entorno ha sido las posibilidades defensivas que el segundo ofrece a los primeros.

Las condiciones de defensa de los yacimientos dependen de la topografía del relieve elegido para el emplazamiento del poblado y de las posteriores obras poliorcéticas que se lleven a cabo. Estas últimas sólo pueden ser conocidas mediante la observación arqueológica en casos en los que existieran, se hayan conservado y se hayan localizado, como es el caso de El Cabezo de la Cruz y de Los Collados. En otras ocasiones hay evidencias indirectas conocidas a través de metodologías complementarias, como son el posible foso de Peña Enroque, detectado por el estudio geomorfológico de la zona, o la muralla de Cabezo La Torre I, revelada por la cuidadosa observación en campo y refrendada por el estudio geofísico. Pero en la mayor parte de los casos el estado de conservación y/o el nivel de estudio de los yacimientos no permiten establecer si tuvieron o no algún tipo de defensa artificial. En todo caso, teniendo en cuenta que en aquellos yacimientos suficientemente conservados y detalladamente observados la presencia de elementos defensivos es constatable, hay que pensar que estas infraestructuras estaban bastante generalizadas.

Por otro lado las condiciones de defensa natural de los yacimientos pueden ser analizadas en todos los casos. Además, la necesidad o no de implementar defensas complementarias artificiales se deriva en buena medida de las características del terreno, junto a las circunstancias sociales del momento. En todo caso, hay que tener en cuenta la incertidumbre que introducen los cambios en la topografía ocurridos por la erosión durante los últimos 4000 años. Pese a ello la valoración de este rasgo sigue siendo posible en líneas generales. También hay que tener presente la imposibilidad de conocer con precisión el perímetro real de la línea de defensa de los yacimientos, si es que la tuvieron delimitada. Por ello se parte de los perímetros conservados o si ni siquiera esto es posible, de un perímetro arbitrario constituido por una circunferencia con 30 m de radio, que es consecuente con las longitudes o diámetros observados en muchos yacimientos de la muestra.

Las condiciones de defensa natural dependen fundamentalmente de la topografía del relieve ocupado. También podría considerarse la litología, el tipo de suelo y la vegetación, que pueden dificultar el avance a pie y a caballo. No obstante estas variables tienen una incidencia menor y son imposibles de modelar en la dimensión temporal en la que se está trabajando. La topografía es pues la variable principal, y a efectos prácticos única, de este análisis. Más concretamente lo que interesa es la pendiente en dirección al yacimiento y alrededor del mismo. De este modo se suele considerar que hay yacimientos naturalmente defendidos en cerros aislados con fuertes pendientes ascendentes en todo su perímetro, o yacimientos con un único flanco accesible en relieves del tipo de un espolón, o casos con una mitad de su perímetro accesible y la otra mitad inaccesible por encontrarse junto a un escarpe... y así hasta completar una casuística que puede complicarse notablemente según sean las características de la zona y de los yacimientos estudiados. En parte con el objetivo de simplificar y sistematizar estas clasificaciones y en parte por afán de diseñar un procedimiento semiautomático aplicable a muchos yacimientos y adaptable a diferentes circunstancias, planteo una aproximación cuantitativa que trabaja directamente sobre los datos altitudinales de un MDT. Por ello he creado en el *Model Builder* de Arc-GIS una herramienta (*script*) específica (Defensa) que se describe a continuación (*figura 24*).

La idea general es calcular la pendiente media en un número arbitrario de direcciones (8 en este trabajo) hacia el yacimiento, que se corresponden con los sectores de su perímetro. Posteriormente estas pendientes medias se reclasifican en grados de potencial defensivo. Así para cada yacimiento se obtienen tantas medidas de condición de defensa como sectores se han tenido en cuenta. En un yacimiento en cerro aislado todas las medidas tendrán valores altos, mientras que uno en espolón tendrá la mayor parte de ellas con valores altos, excepto una o dos (en este caso contiguas) que tendrán valores



bajos. A través de la síntesis de estas medidas por cada yacimiento se puede establecer una clasificación que parte de los propios casos estudiados con una metodología aplicable a cualquier conjunto de yacimientos.

La herramienta realiza las siguientes tareas:

- Establecer los sectores de análisis.
- Establecer los valores de pendiente hacia el yacimiento.
- Calcular la media de las pendientes hacia el yacimiento en cada sector.
- Reclasificar estas pendientes medias.
- Combinar los valores de estos grados de condiciones defensivas con los sectores a los que pertenecen.

Esto se resuelve por medio de 15 procesos analíticos (*figura 24*) que parten de una capa vectorial ([perímetros]) que contenga los perímetros de los yacimientos (con un identificador numérico de dos dígitos) y un MDT ([mdt]):

- A. *Buffer (Analysis Tools > Proximity > Buffer)* para establecer la zona de ataque/defensa respecto al perímetro de defensa ([perímetro]). La zona contenida entre la línea exterior del *buffer* y la línea del perímetro de defensa será la zona donde previsiblemente se da la confrontación (siempre y cuando los defensores no efectúen una salida al encuentro de los atacantes) y por tanto limita la superficie cuyas características nos interesan. La distancia del *buffer* es un parámetro abierto que puede definir el usuario de la herramienta dependiendo del tipo de ataque y defensa propio del periodo estudiado.
- B. Convertir el *buffer* (vectorial) de la zona de ataque/defensa a *raster* para que puede ser introducido en los procesos siguientes que se basan en dicha estructura de datos (*Conversion Tools > To Raster > Feature to Raster*). Al convertir a *raster* hay que especificar qué atributo del elemento vectorial va a ser utilizado para dar valor a cada celda. Para ello hay otro parámetro abierto en el que se debe especificar el ID numérico de dos dígitos que los *buffer* han heredado de la capa [perímetros].
- C. Cálculo de los centroides (*Data Management Tools > Features > Feature to Point*) de los perímetros de defensa, necesarios para calcular posteriormente los sectores de defensa.
- D. Cálculo de las direcciones de cada celda hacia el centroide del perímetro de defensa (*Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean Direction*). Se contempla la posibilidad de especificar una distancia máxima para este cálculo para evitar que se calculen direcciones mucho más allá de la zona de ataque/defensa que nos interesa. Por tanto hay un parámetro abierto en la herramienta donde especificar una distancia arbitraria que debe ser mayor que la suma del radio del perímetro del yacimiento mayor y la distancia especificada en el *buffer* (punto A).
- E. Reclasificación (*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*) de los valores de dirección del punto D en clases que definirán *n* sectores de ataque/defensa. Los rangos angulares y la denominación de sectores (ha de ser un código numérico de dos cifras como máximo) son parámetros de la reclasificación que pueden ser definidos por el usuario en la propia herramienta. Dependiendo de las necesidades de cada investigación se podrá optar por un número mayor de sectores más estrechos o todo lo contrario. O incluso un conjunto de sectores heterogéneos, con unos más anchos que otros.
- F. Combinación de la zona de ataque/defensa y los sectores de ataque/defensa mediante álgebra de mapas (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*). Las zonas y los sectores están representados en hojas *raster* y en ellas las celdas contienen un código de dos dígitos que identifica el yacimiento (zonas de ataque/defensa) y el sector (sector de ataque/defensa). Mediante álgebra de mapas se combinan con la expresión:  $\text{sectores de yacimiento} = 0.5 + (([\text{sectores}] * 100) + [\text{zona}])$ . Con ello se obtiene para cada sector un código de 4 cifras: las dos primeras identifican el sector de ataque/defensa, las dos últimas identifican el yacimiento. El 0,5 que se suma obedece a una razón técnica exigida por procesos siguientes (punto G).
- G. Conversión a valores enteros (*Spatial Analyst Tools > Math > Int*). El *raster* resultante del proceso anterior de álgebra de mapas contiene valores racionales. Sin embargo algunos procesos posteriores exigen valores enteros. Esta conversión se hace por truncamiento de la parte decimal de los

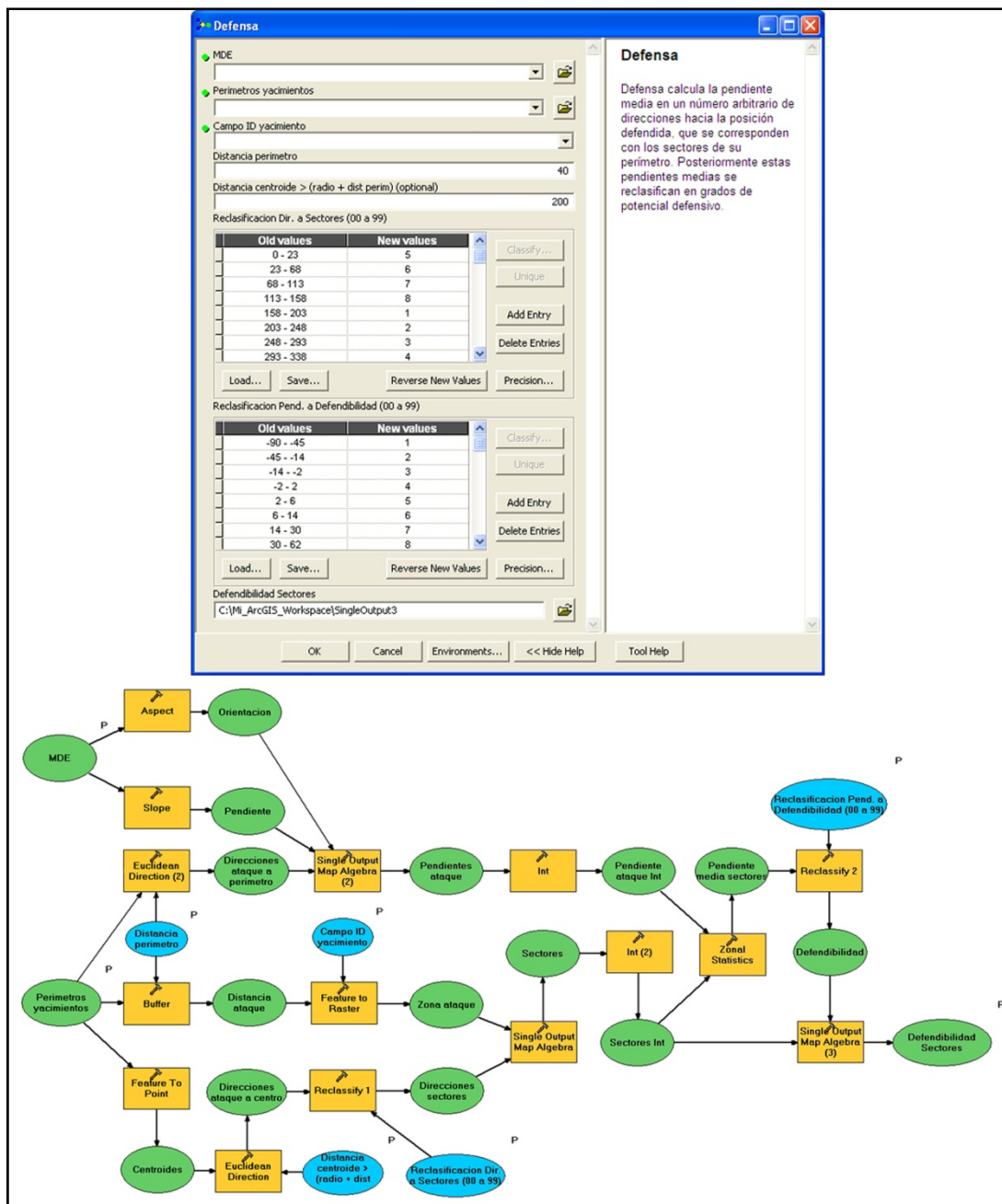
- valores. Pero ello en el proceso anterior se ha sumado 0,5 para que el número entero final sea el resultado correcto de la aproximación del racional original.
- H. Generación de un MDD de pendientes a partir del [mdt] (*Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*).
  - I. Generación de un MDD de orientaciones a partir del [mdt] (*Spatial Analyst Tools > Surface > Aspect*).
  - J. Establecimiento de direcciones de ataque/defensa hacia el perímetro de defensa ([perímetro]) (*Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean Direction*). Estas direcciones se calculan hacia el perímetro en sí y no hacia su centroide, pues es esta línea de defensa la que es atacada.
  - K. Cálculo de la pendiente real del ataque (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*). Para el análisis de las condiciones de defensa natural de un yacimiento nos interesa la pendiente que tiene que superar el atacante en dirección al defensor, y no la pendiente absoluta de cada celda. Esta pendiente real depende de la pendiente absoluta (punto H), de su orientación (punto I) y de la dirección del ataque (punto J), y se calcula mediante álgebra de mapas según la siguiente expresión:  

$$\text{Pendiente ataque} = 0.5 + ([\text{Pendiente}] * \cos(((180 + [\text{Orientacion}]) - [\text{Direccion}]) * 0.0175))$$

La multiplicación por 0,0175 ( $\pi/180$ ) transforma grados a radianes, pues las funciones trigonométricas en ArcGIS requieren el uso de radianes. La suma de 0,5 obedece a la misma circunstancia que en el punto F.
  - L. Conversión a valores enteros (*Spatial Analyst Tools > Math > Int*). El *raster* resultante del proceso anterior de álgebra de mapas contiene valores racionales. Sin embargo algunos procesos posteriores exigen valores enteros. Esta conversión se hace por truncamiento de la parte decimal de los valores. Pero ello en el proceso anterior se ha sumado 0,5 para que el número entero final sea el resultado correcto de la aproximación del racional original.
  - M. Cálculo de la pendiente de ataque media de cada sector (*Spatial Analyst Tools > Zonal > Zonal Statistics*). Para ello se recurre a la herramienta de análisis zonal en la que los valores de entrada son los resultantes del proceso L (pendientes de ataque) y las zonas están definidas por el resultado del proceso G (sectores de yacimiento).
  - N. Reclasificación (*Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*) de las pendientes medias de los sectores de cada yacimiento. Los parámetros de reclasificación pueden ser definidos por el usuario de la herramienta pero deben ser justificados y quedar codificados en números de dos cifras como máximo.
  - O. Combinación de los sectores de yacimiento (punto G) y las pendientes medias reclasificadas (punto N) por medio de una suma en álgebra de mapas (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Single Output Map Algebra*) según la expresión:  

$$\text{Defensa de sectores de yacimiento} = \text{sectores de yacimiento} + ([\text{pendientes medias reclasificadas}] * 10000)$$

Se recordará que en los puntos F y G se obtenía un código de 4 cifras para cada sector de cada yacimiento: la dos primeras cifras identificaban el sector, las dos siguientes el yacimiento. Sumando a este código las dos cifras de las pendientes de ataque reclasificadas multiplicadas por 10000 se completa la tercera parte del código (el grado de defensa) que queda expresado en 6 cifras (dos de defensa, dos de sector, dos de yacimiento). El resultado de este último proceso es una hoja *raster* cuya tabla de atributos contiene los códigos antedichos en número igual al producto del número de yacimientos analizados por el número de sectores contemplados en cada uno. Esta tabla de atributos puede ser exportada y analizada en cualquier programa de cálculo, como por ejemplo Excel.



**Figura 24.** Defensa. Arriba: interfaz de la herramienta. Abajo: modelo de análisis del *script* creado en *Model Builder* de ArcGIS (Verde: conjuntos de datos. Naranja: Procesos analíticos. Azul: Parámetros modificables). Para una explicación detallada de los procesos del modelo véase el texto.

Estos 15 procesos son internos. El usuario sólo debe establecer al comienzo los siguientes parámetros en la interfaz de la herramienta (*figura 24*):

- MDE: Modelo Digital del Terreno (*raster*) que se va a utilizar para el cálculo de las pendientes ([*mdt*]).
- Perímetros yacimientos: Perímetros de defensa ([*perimetros*]) de los yacimientos (*feature*) que contengan al menos un atributo con un identificador numérico de cómo máximo dos dígitos.
- Campo ID yacimiento: Especificar qué atributo de [*perimetros*] contiene el identificador numérico de dos dígitos como máximo.
- Distancia perímetro: Especificar la amplitud de la zona de ataque/defensa que quedará definida por la distancia del *buffer* a partir de la línea de defensa ([*perimetro*]).
- En este trabajo, por un lado he considerado la defensa de la plaza en sentido estricto, del espacio de habitación, edificado y en algunos casos fortificado. Para la Edad del Bronce he conside-

rado que el ataque sería realizado por grupos pequeños a pie con armamento cuerpo a cuerpo. El uso del caballo no está claro; en algunos yacimientos, como Moncín y Majaladares (Borja), se han encontrado restos óseos de avanzada edad (Harrison *et al.* 1994; Harrison 2007), pero en otros esta especie está ausente como en los yacimientos turolenses de las Costeras y la Hoya Quemada (Burillo Mozota y Picazo Millán 1983, 1986; Picazo Millán *et al.* 1997). En todo caso, aunque los équidos ya fueran empleados para el trabajo y el transporte, eso no significa que se hubiera desarrollado una técnica de combate montado. Y por otro lado, en la acometida contra una posición fuerte, el caballo no presenta grandes ventajas. Por otro lado es perfectamente posible el uso de algún arma arrojadiza, de las cuales la que mayor alcance y precisión tendría sería el arco. Su uso desde épocas anteriores a la Edad del Bronce está de sobras demostrado<sup>18</sup>. Por todo ello he establecido una amplitud de la zona de ataque/defensa de 40 m, estimando que una carga a pie con mayor recorrido contra una posición fuerte sería poco práctica y que los arcos, si bien pudieron llegar o incluso superar este alcance, a mayor distancia perderían mucha precisión y efectividad.

- Por otro lado hay que tener en cuenta el contexto de la plaza también en términos de defensa. No es lo mismo una posición fuerte en mitad del llano que en la cima de una montaña. Por ello en este trabajo he realizado un segundo análisis de las condiciones defensivas con los mismos parámetros excepto los de distancia. En esta segunda ocasión el perímetro de defensa coincide con el límite de la zona de ataque/defensa de 40 m anterior. Y la amplitud de la nueva zona de análisis ha sido de 100 m. Es decir, se caracteriza la condición defensiva de los 100 m previos que ha de recorrer la partida atacante antes de llegar a la zona de confrontación bajo los muros del yacimiento defendido. Desde la perspectiva del atacante esta franja de terreno es importante pues es por la que ha de acceder a la batalla, y la velocidad y el esfuerzo que implique esta aproximación puede ser vital. Desde el punto de vista del defensor, contar con tiempo antes de la llegada del enemigo es fundamental para proteger a todos los miembros de la comunidad, bienes y ganados en el interior del poblado y preparar la defensa, pudiendo plantear incluso salir al encuentro de los atacantes si el terreno es adecuado.
- Distancia centroide: Especificar una distancia máxima para el cálculo de los sectores. Ha de ser como mínimo igual a la suma de la distancia al perímetro más el máximo radio del mismo.
- Reclasificación Dir. A Sectores: Establecer los criterios de reclasificación para definir el número y amplitud de los sectores de ataque/defensa.
- Por defecto la herramienta contempla 8 sectores de 45 grados, correspondientes a los puntos cardinales y sus bisectrices. Los sectores están numerados de 1 al 8. En este trabajo se ha empleado esta reclasificación.
- Reclasificación Pend. A Grados de Defensa: Establecer los criterios de reclasificación de las pendientes a grados de defensa.
  - La reclasificación que he implementado por defecto en la herramienta y que uso en este trabajo presupone rangos variables para los intervalos de pendiente. Un aumento de la pendiente de 3° por ejemplo, supone la diferencia entre el llano y una cuesta considerable. Sin embargo la diferencia entre una pendiente de 80° y otra de 83° es insignificante a efectos de este análisis: ambas son casi verticales para el humano. Por ello la reclasificación contempla rangos de intervalo estrechos para las clases de pendientes próximas a 0 y rangos progresivamente más anchos conforme los valores se alejan de 0. Esta progresión de la amplitud de los rangos queda definida por una progresión exponencial en base 2, de modo que el primer intervalo tiene una amplitud de los rangos es de 2, 4, 8, 16, 32... Esta solución es coherente con los presupuestos aquí expuestos y con el umbral de zigzag (Llobera y Sluckin 2007). Para los valores negativos esta progresión se ha simplificado, quedando la clasificación de la siguiente manera:
    - $01 = -90^\circ < p > -45^\circ$ : pendiente de ataque descendente prácticamente infranqueable para el desplazamiento de contingentes pero que puede favorecer determinadas estrategias de ata-

---

<sup>18</sup> Harding (2003, 280-281) considera que a principios de la Edad del Bronce el arco sería el arma más generalizada. De ello hay evidencias indirectas como las puntas de sílex generalizadas en el Neolítico, o las metálicas desde el Calcolítico. Además hay hallazgos de arcos de madera en contextos favorables a la conservación de este material, por ejemplo el arco del hombre de Ötzi en los Alpes o el arco recientemente encontrado en 2012 en la Draga (Banyoles, Girona). Por último, las representaciones iconográficas de arcos y arqueros son bastante frecuentes, como la de la estela de Torrejón del Rubio, Cáceres (Harding 2003, 283)

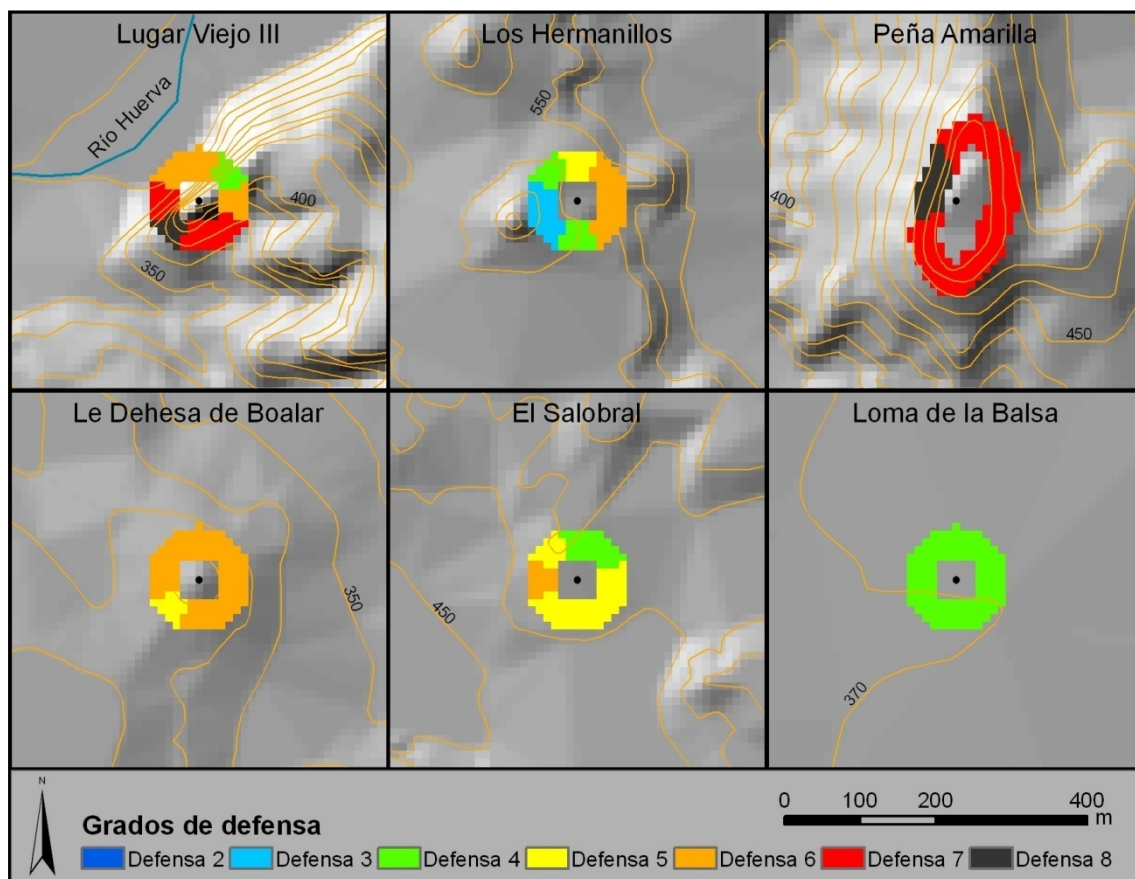
que a distancia (con armas arrojadas por ejemplo). Es una categoría que en la práctica de la muestra analizada no se da.

- $02 = -45^\circ < p > -14^\circ$ : pendiente descendente que dificulta el avance hacia la posición defendida pero que otorga una ventaja al atacante respecto al defensor en el uso de armas arrojadas y en el momento del cuerpo a cuerpo. El límite superior de esta clase se sitúa dentro de los valores del umbral de zigzag.
- $03 = -14^\circ < p < -2^\circ$ : pendiente descendente que prácticamente no dificulta el avance del atacante (incluso lo puede favorecer) y que le da una ventaja sobre el defensor.
- $04 = -2^\circ < p < 2^\circ$ : pendiente prácticamente llana. No ofrece ninguna ventaja defensiva ni ofensiva.
- $05 = 2^\circ < p < 6^\circ$ : pendiente ascendente para el atacante que supone una ventaja para el defensor.
- $06 = 6^\circ < p < 14^\circ$ : pendiente ascendente para el atacante que supone una gran ventaja para el defensor. El límite superior de esta clase se sitúa dentro de los valores del umbral de zigzag.
- $07 = 14^\circ < p < 30^\circ$ : pendiente fuertemente ascendente (por encima del umbral de zigzag) que compromete el avance directo del atacante.
- $08 = 30^\circ < p < 62^\circ$ : pendiente ascendente para el atacante de muy difícil ascenso, con requerimiento de trepada o incluso escalada. Prácticamente excluye toda posibilidad de ataque.
- $09 = 62^\circ < p < 90^\circ$ : pendiente prácticamente vertical infranqueable sin escalada. Prácticamente excluye toda posibilidad de ataque. En la muestra analizada no se da.
- Grados de defensa por sectores: Definir nombre de archivo y ruta para el *raster* resultante.

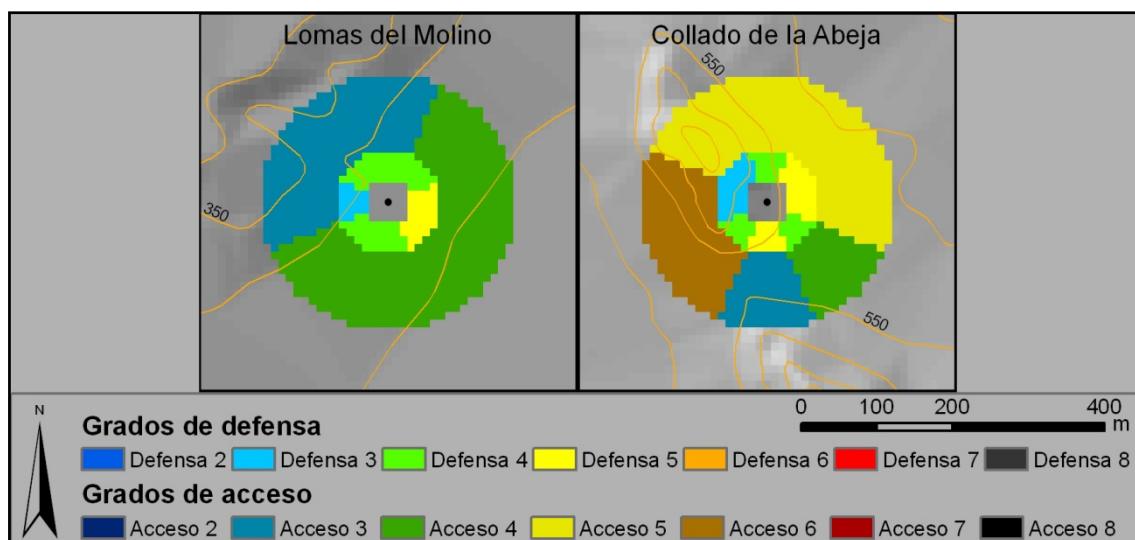
Con esta herramienta he analizado las condiciones defensivas de los yacimientos con los parámetros especificados arriba. Por tanto se han obtenido dos alcances de defensa: uno próximo identificado con la zona de ataque/defensa y otro más lejano, que se relaciona con las condiciones en las que un atacante realiza el acceso hasta la zona de ataque/defensa.

Los diferentes grados de defensa de los sectores de la zona de ataque/defensa permiten considerar las condiciones defensivas y morfológicas de los relieves donde se asientan los yacimientos (*figura 25*).

Sin embargo, yacimientos que en la corta distancia de la zona de ataque/defensa ofrecen resultados similares, tienen diferentes grados de acceso, pudiéndose así matizar las consideraciones defensivas (*figura 26*).



**Figura 25.** Seis yacimientos con los grados de defensa por sectores. Representan los principales grupos que se alcanzan con la clasificación en función de los resultados del análisis de la defensa (*capítulo 8*): de izquierda a derecha y de arriba abajo, en espolón (Lugar Viejo III), en ladera (Los Hermanillos), defensa óptima (Peña Amarilla), defensa media (La Dehesa de Boalar), defensa baja (El Salobral) y en llano (Loma de la Balsa).



**Figura 26.** Lomas del Molino y Collado de la Abeja con sus grados de defensa y acceso por sectores. Son dos yacimientos similares por sus condiciones defensivas en la zona de ataque/defensa, por las que se los considera yacimientos en ladera. Sin embargo, la forma de acceso hasta la zona de ataque y defensa es muy diferente. En el primer caso se accede por terreno llano o descendente, mientras en el segundo predomina el acceso ascendente (suave), con sólo dos sectores llanos o descendentes.



## 8. DETERMINACIÓN DE PATRONES DE ASENTAMIENTO

### 8.1. Metodología: Análisis multivariante

Los cálculos y análisis anteriores resultan en un número importante de datos que se exponen a continuación en forma de tablas (*tablas 13 y 14*). Como se ha visto en el capítulo anterior y se refleja en la *tabla 13*, la naturaleza de estos datos es relativamente heterogénea: hay distancias (expresadas en metros), superficies (en m<sup>2</sup>), altitudes (en m.s.n.m.) e índices que expresan la proporción entre superficies, o ángulos, o perímetros, o diámetros... El volumen y heterogeneidad de los datos cuyo análisis presento a continuación exige que se tomen ciertas precauciones. En primer lugar, las distintas variables deben ser tratadas en conjuntos temáticos, o dicho de otro modo, si se pretende analizar determinado rasgo de la realidad habrá que seleccionar las variables pertinentes al mismo. Los aspectos temáticos trabajados son los siguientes:

- Caracterización geomorfológica del entorno
- Caracterización de suelos y de riesgos del entorno
- Control o relación del yacimiento con el entorno
- Condiciones de defensa de los yacimientos (en el siguiente apartado: Análisis exploratorio multivariante (II))

Las variables incluidas en cada uno de estos grupos temáticos han sido analizadas utilizando ACP (Análisis de Componentes Principales), cuyos resultados han servido para efectuar clasificaciones de yacimientos por *clusters* (conglomerados). El ACP ha sido la principal técnica estadística en estos análisis porque ofrece unas ventajas evidentes para trabajar con un cuerpo de datos como el que se ha generado (Shennan 1992, 243): es una técnica de reducción de datos, que permite combinar variables de naturaleza y amplitudes de rango diferentes y que genera nuevas variables que son completamente independientes entre sí. Esto último es importante para la posterior utilización de conglomerados jerárquicos, que requieren preferiblemente variables independientes (Shennan 1992, 202-204).

El ACP es uno de los métodos de ordenación de los datos, cuyo objetivo es sintetizar la información contenida en múltiples variables en un número menor de nuevas variables (Shennan 1992, 243). El nuevo conjunto de variables, idealmente dos o tres, al ser más reducido, es más fácil de representar y analizar, sin que por ello se haya perdido información; la información de las variables originales está contenida de forma sintética en las nuevas variables. Además, estas variables sintéticas, conocidas como componentes principales o factores, son independientes entre sí, lo que permite su representación en forma de ejes ortogonales en un diagrama de dispersión. La representación del diagrama de dispersión en un espacio bidimensional o tridimensional construido por los factores del ACP permite una visualización espacial de los casos distribuidos a lo largo de dos o tres ejes (los factores) pero debiendo su posición a todas las variables originales. Esto, entre otras cosas, permite observar tendencias y agrupaciones sin que haya una estructuración determinada por la propia técnica de análisis (Shennan 1992, 244). El modo en el que el ACP crea las nuevas variables es complicado y su comprensión requiere un conocimiento matemático fuera de mi alcance y de los límites de este trabajo. Shennan (1992, 247) para una explicación detallada del tema remite a Morrison (Morrison 1967). Baste decir aquí que en el ACP si un conjunto de variables originales covarían se deduce que tienen un factor subyacente común que las sintetiza. Por tanto el punto de partida del ACP es la covarianza (covariación media): la suma de las distancias entre casos dividida por el tamaño muestral (Shennan 1992, 247). Por último, cuando se realiza un ACP existe la posibilidad de *rotar* los ejes de los componentes principales para ajustar los a la dispersión de puntos en el espacio factorial y que estos se distribuyan mejor (Shennan 1992, 271-272). Pero hay que tener en cuenta que algunas rotaciones no son ortogonales, es decir, comprometen la independencia de los ejes. Como éste es un punto importante, cuando ha sido

necesaria la rotación de los factores para facilitar su interpretación, he optado por el método Varimax que es un método ortogonal disponible en SPSS 15.0.

Utilizando los factores creados por el ACP como variables he realizado para cada uno de estos aspectos temáticos agrupaciones por el procedimiento de conglomerados jerárquicos (*cluster*) para ayudar a comprender los resultados y para comparar los grupos *temáticos* con los cronológicos.

Los conglomerados (*cluster*) jerárquicos son un método de clasificación numérica. Los métodos de clasificación persiguen identificar grupos de casos similares dentro de la muestra o de la población estudiada. Estos grupos deben mostrar cohesión interna y aislamiento externo (Shennan 1992, 200). Dentro de los conglomerados jerárquicos, los hay divisivos (parten de un único grupo con todos los casos y va estableciendo divisiones del mismo en función de las diferencias que detecta hasta llegar a los casos aislados) y aglomerativos (parten de los casos aislados y va estableciendo grupos en función de las afinidades hasta llegar a un único grupo). En ambos casos, la clasificación suele representarse en forma de dendrograma, con un tronco (el grupo único que engloba todos los casos) que se ramifica en diferentes niveles de agrupaciones hasta las ramas distales, que son los casos aislados. Shennan (1992, 201-202) advierte que los métodos divisivos tienden a imponer una estructuración propia a los datos. En este trabajo se ha empleado un análisis de conglomerados jerárquicos aglomerativos para evitar este problema. La cuestión clave es, no obstante, cómo se mide la distancia y la similaridad entre los casos en función de las variables que los describen. Para ello hay numerosas medidas (Shennan 1992, 215-223). La que yo he utilizado es la distancia euclídea al cuadrado, que se calcula por la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores de los casos en cada variable, aplicada a las medias de grupo (vinculación inter-grupo en SPSS 15.0). Es una de las posibilidades que ofrece SPSS 15.0 que me pareció que ofrecía buenos resultados tras hacer varias comprobaciones. De hecho, esto introduce una cuestión importante. Evidentemente el método de clasificación empleado y la medida de similaridad elegida condicionan los grupos formados por el análisis. Por ello hay que interpretar críticamente los resultados. Además Shennan (1992, 229-234) propone una serie de estrategias de evaluación de resultados, entre las que se incluyen su representación en diagramas de dispersión y el uso de componentes principales en lugar de variables originales para asegurar su independencia.

**Tabla 13.** Tabla con la organización, denominación y descripción de las variables extraídas en los análisis espaciales e introducidas en los análisis estadísticos. Las variables marcadas con un \* junto a la letra que las denomina no fueron finalmente incluidas en los análisis estadísticos por evitar ciertas redundancias (A.F.A., C.B.B o C.B.C. por ejemplo) o por no ser pertinentes (A.A. o C.A.). No se incluyen las variables que caracterizan las condiciones defensivas de los yacimientos, que reciben un tratamiento aparte y figuran en las *tablas 24 y 25*.

<b>Datos de yacimiento</b>	<b>ID</b>	Id. Alfabético	Número de identificación por orden alfabético
	<b>NOM</b>	Nombre	Nombre del yacimiento
	<b>X</b>	Coordenada UTM X	Coordenada x (UTM ED 1950 30N) del yacimiento
	<b>Y</b>	Coordenada UTM Y	Coordenada y (UTM ED 1950 30N) del yacimiento
	<b>cel. X</b>	Coordenada celda UTM X	Coordenada x (UTM ED 1950 30N) en el centro de celda más representativa
	<b>cel. Y</b>	Coordenada celda UTM Y	Coordenada y (UTM ED 1950 30N) en el centro de celda más representativa
	<b>Cronología</b>	<b>C</b>	Calcolítico
		<b>BA</b>	Bronce Antiguo
		<b>BM</b>	Bronce Medio
		<b>BT</b>	Bronce Tardío
		<b>BF</b>	Bronce Final
		<b>HI</b>	Hierro I
		<b>BI</b>	Bronce Indefinido
<b>A. Topografía</b>	<b>A*</b>	Alt. Absoluta	Altitud en m sobre el nivel del mar
	<b>B</b>	Alt. Media	Media altitudinal en el entorno de 3 km en m
	<b>C</b>	Alt. Desviación típica	Desviación estándar altitudinal en el entorno de 3 km en m
	<b>D</b>	Rango altitudinal	Rango altitudinal en el entorno de 3 km en m = altitud máxima - altitud mínima
	<b>E</b>	Desnivel	Desnivel en m del relieve; desnivel entre el yacimiento la altitud mínima en 200 m
	<b>F</b>	<b>A*</b>	Alt. Relativa
		<b>B*</b>	Sup. Dominada
		<b>C</b>	Prominencia efectiva
	<b>G</b>	Rugosidad (inv)	Ángulo medio de los ángulos entre cada localización en 3 km y el yacimiento Módulo normalizado del vector suma de los vector. normales a la superficie en 3 km
<b>B. Temáticos</b>	<b>A</b>	<b>A*</b>	Río principal
		<b>B</b>	Dist. Río Principal
		<b>C*</b>	Dist. Cauce
	<b>B</b>	<b>A*</b>	Sup. Conos
		<b>B</b>	Sup. Terr. Holo. y aluvial
		<b>C</b>	Sup. Rell. val.
		<b>D</b>	Sup. Terr. Pleisto.
		<b>E</b>	Sup. Glacis
		<b>F</b>	Sup. Cal. Ter.
		<b>G</b>	Sup. Fm. eva. Ter.
		<b>H</b>	Sup. Fm. det. Ter.
		<b>I</b>	Sup. eros. Ter. Fm. Meso.
		<b>J</b>	Sup. Fm. car. Meso.
		<b>K*</b>	Sup. Pleoz.
		<b>L*</b>	Sup. Endorr.
	<b>C</b>	<b>A</b>	Sup. Riesgo 1
		<b>B</b>	Sup. Riesgo 2
		<b>C</b>	Sup. Riesgo 3
		<b>D</b>	Sup. Riesgo 4
		<b>E</b>	Sup. Riesgo 5
		<b>F</b>	Sup. Riesgo 6
<b>C. Movilidad</b>	<b>A*</b>	Dist. Zonas de fácil tráns.	Distancia medida en m a zonas de fácil tránsito, reclasificadas de sup. fricción
	<b>B</b>	<b>A*</b>	Ind. Accesibilidad
		<b>B*</b>	Ind. Alargamiento
		<b>C*</b>	Ind. Sinuosidad
		<b>D</b>	Ind. CAR media
		<b>E</b>	Ind. CAR desviación
<b>D.</b>	<b>A</b>	Sup. Visible	Superficie visible desde el yacimiento hasta una distancia de 3 km

**Tabla 14.** Tabla de datos para los análisis estadísticos.

Datos de yacimiento	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	NOM	Bardallur I	Bco. Campo-viejo	Cab. Altomira	Cab. Blanco	Cab. Chinchón	Cab. Cruz	Cab. Torre I	Cab. Torre II	Cab. Paños	Cab. Azud	
	X	649404	646154	651040	640825	636622	661216	654850	654490	643409	643273	
	Y	4616966	4613417	4592022	4609625	4596418	4595492	4594520	4594615	4607679	4609292	
	cel. X	649390,4	646170,4	651040,4	640830,4	636620,4	661190,4	654870,4	654500,4	643410,4	643270,4	
	cel. Y	4616884,0	4613424,0	4592024,0	4609634,0	4596424,0	4595544,0	4594524,0	4594614,0	4607684,0	4609284,0	
	Cronología	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		BA	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
		BM	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
		BT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		BF	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
		HI	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
BI		0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
A. Topografía		A	330,0	290,0	572,2	342,1	380,7	427,4	601,6	570,0	330,0	359,6
	B	302,5	327,9	515,8	336,6	364,0	428,4	515,9	518,7	340,8	342,7	
	C	33,2	49,2	32,2	28,2	15,5	30,4	36,3	33,6	36,2	46,4	
	D	141,2	232,3	144,1	161,5	80,2	202,8	172,8	162,8	171,2	186,1	
	E	60,1	7,3	50,5	15,7	24,6	40,1	75,0	42,1	11,8	66,7	
	F	A	0,8286	-0,7712	1,7538	0,1936	1,0752	-0,0315	2,3640	1,5272	-0,2975	0,3646
		B	21561600	10202000	26998700	15216300	24523200	13692800	28159400	25625100	13880800	19819100
		C	1,0649	-1,0469	2,0976	0,2256	0,6467	0,2556	3,0331	1,7624	-0,2590	0,7301
	G	0,9933	0,9859	0,9961	0,9938	0,9984	0,9935	0,9932	0,9933	0,9929	0,9882	
	B. Temáticos	A	A	Jalón	Jalón	Huerva	Jalón	Jalón	Huerva	Huerva	Huerva	Jalón
B			1152,2	452,0	9158,7	1829,2	980,4	362,8	5550,6	5930,6	924,1	152,1
C			307,6	72,1	440,1	643,7	435,9	362,8	3816,0	3479,6	243,4	74,3
B		A	0	750600	0	874700	756100	0	0	0	538200	874700
		B	9296200	9510500	0	5838900	8171400	4428000	0	0	9456500	8894700
		C	2700400	827900	1029100	1526800	1118000	106800	3397200	3461900	1233000	406800
		D	8609200	3765000	0	4493900	1924800	4060600	0	0	2810700	3168300
		E	3023600	35000	6067900	1239200	8465300	7319900	8131000	7517500	3700700	2601500
		F	0	2238500	2294000	1080700	0	151800	3979100	3990500	2393500	4002100
		G	4524400	8682000	0	0	0	0	0	0	0	103800
		H	57400	2132900	18887900	13224700	7843300	11557900	12771600	13309000	8146300	8227000
		I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		J	0	0	0	0	0	292400	0	0	0	0
		K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		L	67700	336500	0	0	0	361500	0	0	0	0
C		A	8655500	9216800	0	5358200	7956100	3468200	0	0	8880200	8225800
		B	2685400	716800	1015200	1489600	1124500	204900	2996600	3034600	1330400	422800
		C	1848500	837500	13857000	8433000	11654800	9273100	12020800	11808500	6964200	4962500
		D	8162300	7267600	8644800	8263000	5889900	8630400	7699000	7858500	6148500	6989000
		E	5294400	6007700	4075900	3426300	1524500	5339700	3921400	3965500	3354700	4646800
		F	1632800	4232500	686000	1308800	129100	1362600	1641100	1611800	1600900	3032000
C. Movilidad	A	1418,2	1767,4	149,3	156,8	109,1	538,9	293,2	0,0	327,3	1167,2	
	B	A	0,7282	0,7334	0,9647	0,8484	0,7879	0,8343	0,9278	0,9399	0,7358	0,7279
		B	0,8235	0,8174	1,0303	0,9194	0,8344	0,9280	1,0146	1,0244	0,9135	0,9225
		C	0,9222	0,9308	0,9559	0,9394	0,9344	0,9352	0,9364	0,9235	0,9310	0,9371
		D	0,8595	0,8535	0,9839	0,9307	0,8853	0,8901	0,9616	0,9732	0,8713	0,8454
		E	0,1094	0,1425	0,0212	0,0674	0,1357	0,0983	0,0415	0,0363	0,1173	0,1305
D.	A	13461200	13938800	20985100	9530800	15105500	18761600	20817900	13252600	8282700	12402800	

**Tabla 14 (Continuación).** Tabla de datos para los análisis estadísticos.

Datos de yacimiento	ID	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	NOM	Cab. Buitre	Cab. Gorra Visera	Cab. Sillón	Campablo 1	Campablo 2	Caseta Felusia	Cer. Tijera	Cer. San Pablo	Collado Abeja	El Cabe-zuelo	
	X	664271	666563	668098	648625	648599	653233	645621	662529	652530	643096	
	Y	4592840	4596545	4598139	4615981	4615679	4595141	4612535	4581572	4594112	4605747	
	cel. X	664280,4	666570,4	668100,4	648600,4	648600,4	653230,4	645610,4	662530,4	652530,4	643100,4	
	cel. Y	4592834,0	4596544,0	4598144,0	4615904,0	4615684,0	4595144,0	4612534,0	4581574,0	4594104,0	4605754,0	
	Cronología	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		BA	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
		BM	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
		BT	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
		BF	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
HI		0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	
BI		0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	
A. Topografía	A	640,5	486,2	600,2	314,4	353,3	510,0	307,5	651,9	552,8	322,9	
	B	508,3	444,5	459,8	311,9	314,5	518,8	339,0	587,4	526,0	332,4	
	C	71,8	64,7	80,8	36,7	37,7	27,5	57,2	52,4	27,3	18,3	
	D	268,7	297,7	304,9	169,4	167,4	140,7	230,5	236,8	138,2	117,8	
	E	90,5	58,5	119,4	35,7	63,4	0,0	23,7	71,8	15,3	4,5	
	F	A	1,8408	0,6444	1,7381	0,0673	1,0293	-0,3189	-0,5501	1,2312	0,9793	-0,5242
		B	26874500	20657800	27434500	15394600	22590800	12124800	13091100	24175100	23134000	9933000
		C	4,3050	1,6389	4,8327	0,1410	1,4310	-0,3345	-0,7953	2,3096	0,8699	-0,2080
	G	0,9732	0,9729	0,9574	0,9915	0,9914	0,9945	0,9827	0,9856	0,9942	0,9980	
B. Temáticos	A	A	Huerva	Huerva	Huerva	Jalón	Jalón	Huerva	Jalón	Huerva	Huerva	Jalón
		B	3408,1	2479,6	1657,2	1250,9	1454,2	7301,9	341,9	1800,1	7734,2	608,5
		C	1230,5	514,1	174,8	101,5	115,5	2269,7	87,6	70,7	1445,8	608,5
	B	A	0	454500	391700	0	0	0	750600	0	0	0
		B	0	2839300	3353100	9560800	9371500	0	9212200	4626600	0	10602000
		C	2869200	3434200	1827900	2767200	2926400	3448200	145500	0	1996200	1588100
		D	234300	958300	626800	8327900	8055700	0	2532000	2755500	0	2697600
		E	4194000	4215400	2181100	722600	693600	4591700	489600	6379300	1222300	5037900
		F	7311800	4292400	6447600	0	0	2964300	4756000	25200	4288200	0
		G	0	4031600	9546100	6627300	7089000	0	7497500	0	0	0
		H	13402900	8053200	3904600	273100	142700	17274700	2805700	12255400	20772200	8353300
		I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		J	266700	0	0	0	0	0	0	2236900	0	0
		K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		L	0	0	0	0	0	0	89800	0	0	0
	C	A	0	2483800	2896800	8973500	8852000	0	8821600	2469800	0	10353600
		B	1875700	2332500	749600	2498400	2639900	2835500	237200	182700	1730600	1622300
		C	5158900	3528400	1021700	285300	257200	12766000	1242600	5295200	12658300	9984900
		D	6735200	5792000	4790800	8146300	8025700	7598900	6674500	6991300	8208100	4689400
		E	7060700	6365700	6471000	6093200	6172700	3876700	6031100	9201300	4335100	1344600
		F	7448400	7776500	12349000	2282200	2331400	1201800	5271900	4138600	1346800	284100
C. Movilidad	A	1330,3	1924,9	2973,2	2656,1	2728,4	0,0	1465,9	2355,0	76,9	408,4	
	B	A	0,9096	0,8486	0,8463	0,7183	0,7321	0,9423	0,7587	0,8796	0,9661	0,5943
		B	0,9915	1,0189	0,9691	0,7995	0,8180	1,0212	0,8493	0,9910	1,0135	0,9273
		C	0,9565	0,9348	0,9365	0,9153	0,9208	0,9484	0,9340	0,9540	0,9474	0,9248
		D	0,9483	0,9218	0,9261	0,8475	0,8595	0,9732	0,8687	0,9531	0,9854	0,7552
		E	0,0435	0,0458	0,0426	0,1211	0,1120	0,0325	0,1303	0,0474	0,0202	0,0997
D.	A	10912500	13699400	14138500	11274900	13703300	6731400	12984800	15380300	10675900	17435600	

**Tabla 14 (Continuación).** Tabla de datos para los análisis estadísticos.

Datos de yacimiento	ID	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	NOM	El Calvario	El Cortijo	El Salobral	La Carras-cosa	La Dehesa Boalar	Las Herma-nitas	Las Llanas	Las Pintillas	Loma Balsa	Loma Castillo	
	X	638668	653388	652520	660581	658129	643843	658088	650410	636663	654408	
	Y	4598845	4602104	4602943	4587212	4611251	4610235	4589221	4607159	4607224	4586117	
	cel. X	638620,4	653390,4	652520,4	660580,4	658150,4	643780,4	658090,4	650410,4	636660,4	654410,4	
	cel. Y	4598834,0	4602104,0	4602944,0	4587214,0	4611294,0	4610214,0	4589224,0	4607164,0	4607234,0	4586124,0	
	Cronología	C	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
		BA	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
		BM	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
		BT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BF		1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
HI		1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
BI		0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	
A. Topografía	A	380,0	505,8	466,5	580,0	387,3	451,7	522,3	459,2	370,0	562,4	
	B	353,1	505,3	484,3	529,9	375,5	344,2	504,7	440,5	384,3	561,9	
	C	13,4	63,1	58,6	50,5	68,4	51,7	43,1	34,0	29,6	26,1	
	D	69,3	214,3	229,4	250,2	271,3	189,1	214,7	196,1	152,7	130,8	
	E	30,0	15,8	16,5	100,0	39,6	143,5	21,7	13,2	3,6	6,8	
	F	A	2,0018	0,0081	-0,3034	0,9918	0,1723	2,0792	0,4073	0,5495	-0,4851	0,0215
		B	27428300	16662100	12282900	24229800	17782700	27810600	18535500	20764800	12870400	16385400
		C	1,0001	0,1299	-0,4740	1,8684	0,6111	3,8108	0,5619	0,6768	-0,3601	0,0296
G	0,9983	0,9939	0,9950	0,9795	0,9935	0,9859	0,9915	0,9961	0,9991	0,9963		
B. Temáticos	A	A	Jalón	Huerva	Jalón	Huerva	Jalón	Jalón	Huerva	Jalón	Jalón	Huerva
		B	523,3	10459,4	10438,7	367,5	11161,3	515,0	2610,0	7500,4	5139,5	6502,5
		C	523,3	2352,3	1248,5	136,8	2146,6	218,1	938,0	874,0	473,8	1202,6
	B	A	0	0	0	0	0	971000	0	0	0	0
		B	9047100	0	0	4429100	0	8664300	1794400	0	0	0
		C	0	1064900	747600	938000	0	247400	2384900	1571300	0	561300
		D	3264600	0	0	1771700	0	2458900	2440100	0	398400	0
		E	4041400	12168300	12510000	6655600	15891700	2390200	7650800	11904800	16265200	14183300
		F	0	5840600	3680100	617200	2296000	5315000	247700	1541000	0	0
		G	0	4425300	3959300	0	10091200	1551100	0	9473000	0	0
		H	11925800	4779800	7381900	7188800	0	6681000	13311600	3788800	11106800	13534300
		I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		J	0	0	0	6678500	0	0	449400	0	0	0
		K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		L	0	0	0	0	0	0	0	0	508500	0
	C	A	8526800	0	0	2779300	0	7981300	1406000	0	0	0
		B	128500	1025200	801200	1085200	33000	278000	1230600	1740700	512800	377100
		C	12347700	10683700	12437100	4475000	12914400	3447900	9670500	10021700	23931500	17192000
		D	5384400	11324200	10289700	6456300	9361000	7532700	7206400	12648900	3344900	6459500
		E	1774200	3522800	3436600	8013700	4052200	5287700	6539600	3042800	478000	3589400
		F	117300	1723000	1314300	5469400	1918300	3751300	2225800	824800	11700	660900
C. Movilidad	A	157,8	6,2	225,6	1013,0	268,3	1418,7	259,8	120,8	0,0	0,0	
	B	A	0,7837	0,9690	0,9718	0,8280	0,9797	0,7257	0,9176	0,9475	0,9758	0,9730
		B	0,8269	1,0195	1,0255	0,9571	1,0288	0,8796	0,9786	0,9929	1,0403	1,0281
		C	0,9311	0,9646	0,9690	0,9252	0,9666	0,9316	0,9467	0,9549	0,9641	0,9704
		D	0,8866	0,9876	0,9892	0,8976	0,9891	0,8468	0,9627	0,9652	0,9862	0,9882
		E	0,1263	0,0177	0,0164	0,0891	0,0140	0,1393	0,0487	0,0357	0,0154	0,0165
D.	A	19701100	11991700	6517300	7684800	19350400	16665700	9378500	15213300	20035500	11746000	



**Tabla 14 (Continuación).** Tabla de datos para los análisis estadísticos.

Datos de yacimiento	ID	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	NOM	Lomas Molino	Los Collados	Los Hermanillos	Lugar Viejo	Lugar Viejo I	Lugar Viejo III	Montoque	P. Amarilla	P. Águila	P. Enroque	
	X	639115	666089	658301	667859	668057	667291	662810	647689	655230	655522	
	Y	4602399	4591578	4588616	4599644	4599938	4599459	4602274	4611060	4597584	4593364	
	cel. X	639120,4	666090,4	658300,4	667870,4	668060,4	667300,4	662810,4	647680,4	655230,4	655520,4	
	cel. Y	4602404,0	4591574,0	4588614,0	4599644,0	4599934,0	4599474,0	4602274,0	4611054,0	4597584,0	4593364,0	
	Cronología	C	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		BA	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1
		BM	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
		BT	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
		BF	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		HI	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		BI	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
A. Topografía	A	337,1	641,4	557,1	417,3	402,0	400,0	557,5	497,6	600,0	584,5	
	B	347,4	548,4	515,9	417,5	416,3	407,5	484,0	394,4	525,9	508,2	
	C	19,2	59,4	47,1	76,9	79,1	65,2	61,0	40,6	47,5	41,8	
	D	88,5	239,0	210,8	312,0	312,9	301,4	239,0	218,3	173,3	175,9	
	E	8,3	71,4	32,3	69,6	71,7	71,2	63,5	95,2	73,2	68,9	
	F	A	-0,5343	1,5668	0,8751	-0,0019	-0,1813	-0,1156	1,2045	2,5437	1,5611	1,8260
		B	10111300	26661200	21647800	16328300	15387400	16369100	23570000	28257900	24115500	27216300
		C	-0,2866	3,1388	1,3818	0,4097	0,0254	0,1983	2,7429	3,5329	2,5686	2,5026
	G	0,9986	0,9712	0,9889	0,9617	0,9613	0,9658	0,9838	0,9859	0,9894	0,9941	
B. Temáticos	A	A	Jalón	Huerva	Huerva	Huerva	Huerva	Huerva	Huerva	Jalón	Huerva	Huerva
		B	749,8	4946,7	2265,7	327,8	353,5	109,9	3955,0	2798,9	6394,2	4670,1
		C	415,9	283,8	649,3	87,3	130,1	109,9	673,7	331,6	2833,9	3103,7
	B	A	0	0	0	391700	391700	391700	0	0	0	0
		B	10217100	0	2206300	5023900	5073700	5289400	0	519900	0	0
		C	0	5488200	2776800	1017700	483500	1048300	0	3314100	3168700	2780800
		D	5253200	0	2054200	2901200	3115400	3456000	1157500	846000	0	0
		E	3078600	0	6444500	656600	590000	1524400	0	2207500	9711900	10232100
		F	0	8977500	538000	3563700	3621600	2523200	7960600	9161400	4510900	5022300
		G	0	0	0	14403300	14991300	13495400	18893100	10743800	961300	0
		H	7626000	12574200	13133100	320800	11700	550500	267700	1486200	9926100	10243700
		I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		J	0	1239000	1126000	0	0	0	0	0	0	0
		K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		L	2104000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	A	9853400	0	1662800	4365400	4466800	4446500	0	497200	0	0
		B	244600	3420900	1557600	424800	223500	430800	265300	2964400	2742200	2454100
		C	10438900	2405500	8066300	97100	49100	457800	125200	2635600	9591900	12299300
		D	6170900	6152000	6714400	6725900	6936500	7459200	13594800	11551000	8774100	8114900
		E	1502800	8033300	7363300	6190300	6033300	6290900	9182400	6432500	4110900	4011000
		F	68300	8267200	2914500	10475400	10569700	9193700	5111200	4198200	3059800	1399600
C. Movilidad	A	229,1	1339,5	243,8	3264,2	3111,9	3554,9	2063,3	403,0	260,5	407,2	
	B	A	0,7368	0,8777	0,8940	0,7909	0,7903	0,7787	0,9672	0,8987	0,9402	0,8928
		B	0,8291	0,9790	0,9613	0,9090	0,9076	0,8812	1,0362	0,9959	1,0094	0,9687
		C	0,9404	0,9147	0,9464	0,9287	0,9275	0,9086	0,9645	0,9507	0,9474	0,9467
		D	0,8499	0,9411	0,9537	0,8868	0,8815	0,8737	0,9809	0,9542	0,9711	0,9311
		E	0,1473	0,0382	0,0522	0,0858	0,0893	0,1008	0,0163	0,0393	0,0297	0,0744
D.	A	12483800	10393000	11238000	10456300	10147500	11716700	16935500	16331800	18005600	15774200	

**Tabla 14 (Continuación).** Tabla de datos para los análisis estadísticos.

Datos de yacimiento	ID	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
	NOM	P. Enro- que lad. NO	P. For- dada	Peñarroya I	Peñarroya II	San Borom- bón	San Sebas- tían	Urrea I	Valdejota II	Valde- moracho	Viña Fanlo	
	X	655504	663445	668654	668654	662946	646961	647699	653122	669120	655798	
	Y	4593458	4574586	4591285	4591137	4592301	4613850	4615028	4602385	4602940	4593115	
	cel. X	655500,4	663600,4	668650,4	668650,4	662950,4	646940,4	647700,4	653080,4	669120,4	655800,4	
	cel. Y	4593464,0	4574994,0	4591294,0	4591144,0	4592304,0	4613854,0	4615024,0	4602324,0	4602944,0	4593124,0	
	Cronología	C	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
		BA	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
		BM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		BT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BF		0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
HI		0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	
BI		0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
A. Topografía	A	545,2	751,9	578,5	534,7	625,6	354,8	304,1	486,1	329,7	524,1	
	B	508,3	698,4	555,4	557,4	497,4	326,8	316,1	497,1	359,9	503,9	
	C	41,5	65,3	48,3	48,3	71,8	46,4	38,8	61,7	50,8	43,3	
	D	175,9	306,3	237,9	240,1	267,2	237,7	199,0	220,0	298,8	182,4	
	E	29,5	124,7	68,5	36,2	104,9	54,8	24,7	16,0	15,1	15,0	
	F	A	0,8893	0,8183	0,4799	-0,4689	1,7851	0,6046	-0,3093	-0,1789	-0,5956	0,4665
		B	22027900	21333000	19673800	8601200	25861100	19446400	12969000	14616300	9094500	19281100
		C	1,0610	1,9704	1,1258	-0,5690	4,2867	1,1600	-0,2742	-0,2805	-0,6765	0,5566
	G	0,9941	0,9623	0,9701	0,9702	0,9756	0,9880	0,9908	0,9942	0,9723	0,9942	
	B. Temáticos	A	A	Huerva	Huerva	Huerva	Huerva	Huerva	Jalón	Jalón	Huerva	Huerva
B			4702,1	1965,1	7314,0	7427,7	2074,4	724,3	846,8	10836,9	551,7	4370,3
C			3193,4	119,9	251,8	108,8	885,6	559,3	148,5	2016,7	551,7	2740,3
B		A	0	0	0	0	0	376000	0	0	464100	0
		B	0	2006700	0	0	3786700	9388100	10132800	0	4987600	0
		C	2812100	303400	7217000	7302700	1108200	2269100	2678000	987700	0	2677700
		D	0	0	0	0	1128600	4299100	7110700	0	5859100	0
		E	10223700	2022700	0	0	4167300	135000	19600	12040500	0	10733300
		F	4906700	0	5715000	5697100	5764700	1172300	0	4916200	0	4867200
		G	0	0	0	0	0	9544400	7573200	4425000	16968100	0
		H	10336400	8953200	14034000	13966200	11705300	1058100	764600	5909500	0	10000700
		I	0	7724600	0	0	0	0	0	0	0	0
		J	0	7268300	1312900	1312900	618100	0	0	0	0	0
		K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		L	0	0	0	0	0	36800	0	0	0	0
C		A	0	808300	0	0	3274200	9045900	9687900	0	4703800	0
		B	2485400	470500	3689800	3698500	620300	2032600	2412500	968500	97700	2394900
		C	12394700	2086800	2350000	2330100	4000200	445100	204000	11173300	0	12235700
		D	8020000	3900300	3784400	3761300	6326700	7189600	7637200	11046100	8938400	8304900
		E	3985800	9050000	9580900	9643600	7028900	6007500	5698800	3536800	7219500	3991600
		F	1393000	11963000	8873800	8845400	7028600	3558200	2638500	1554200	7319500	1351800
C. Movilidad	A	490,6	2016,6	3473,6	3569,6	719,8	1980,9	2633,6	71,8	1509,9	38,9	
	B	A	0,8699	0,8862	0,8032	0,7928	0,9040	0,7431	0,7040	0,9679	0,8112	0,8949
		B	0,9818	0,9881	0,9635	0,9874	0,9959	0,8254	0,7779	1,0194	0,8833	0,9624
		C	0,9487	0,9506	0,9206	0,9113	0,9427	0,9291	0,9139	0,9609	0,9306	0,9584
		D	0,9133	0,9402	0,8963	0,8862	0,9586	0,8730	0,8472	0,9881	0,8907	0,9329
		E	0,0748	0,0409	0,0679	0,0677	0,0347	0,1180	0,1271	0,0181	0,1082	0,0810
D.	A	8497400	4832700	8695700	5385100	13765700	14496700	13665200	4279600	9254400	11810400	

## 8.2. La relación con el entorno

### 8.2.1. Caracterización geomorfológica del entorno

El grupo de variables analizado en este apartado es el que describe la geomorfología de los entornos de los yacimientos. Por tanto, por un lado se ha incluido en el análisis 9 categorías de clases geomorfológicas (tras los primeros ensayos, hubo que prescindir de una de ellas, el Paleozoico, por no tener representación en ningún caso, y de otras dos, los conos y las zonas endorreicas, por estar distorsionadas en la escala utilizada) y por otro 5 variables morfo-topográficas:

- La altitud media, que da una indicación de la altitud general del entorno.
- La desviación típica de la altitud, que informa sobre los contrastes altitudinales en el entorno.
- El rango altitudinal, que da la amplitud de la variable en cada entorno.
- La rugosidad (inversa), que como su nombre indica da una indicación de la rugosidad del entorno.
- La distancia al cauce principal.

Como es previsible, estas cinco variables presentan fuertes correlaciones pero esto no es un problema sino que simplemente significa que contribuirán conjuntamente en los mismos componentes principales. Igualmente algunas clases geomorfológicas están necesariamente correlacionadas con todas o algunas de estas variables morfo-topográficas, como por ejemplo la distancia al río y las superficies aluviales, así que también contribuirán conjuntamente. Precisamente una ventaja de un análisis factorial es que las nuevas variables creadas por él son independientes entre sí, por lo que no sólo se reduce el número de variables sino que además se logra su independencia.

En este caso se ha optado por una solución rotada de los factores resultantes para optimizar el espacio n-dimensional creado y así observar mejor qué variables están siendo decisivas en cada factor. Además hay que hacer notar que no se ha logrado un porcentaje aceptable de varianza explicada (75%) hasta el cuarto factor, por lo que la clasificación siguiente se ha realizado sobre cuatro factores. En los gráficos que se ofrecen las representaciones son necesariamente tridimensionales (sólo representan 3 factores), por lo que algunos grupos no aparecen bien distinguidos. Esto se debe a que el o los factores que los distinguen no están entre los tres representados. Por ello para este análisis he creado dos gráficos, uno con los tres primeros factores y otro sustituyendo el tercer factor por el cuarto. Los grupos que no se distinguen bien en un gráfico se distinguen bien en el siguiente, y viceversa.

**Tabla 15.** Varianza total explicada por los factores del ACP geomorfológico del entorno de los yacimientos.

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,354	31,102	31,102	4,354	31,102	31,102	3,410	24,354	24,354
2	3,778	26,987	58,089	3,778	26,987	58,089	3,114	22,242	46,597
3	2,128	15,198	73,288	2,128	15,198	73,288	2,086	14,903	61,500
4	1,515	10,819	84,106	1,515	10,819	84,106	1,936	13,830	75,330
5	,619	4,421	88,527	,619	4,421	88,527	1,252	8,941	84,271
6	,475	3,396	91,923	,475	3,396	91,923	1,071	7,652	91,923
7	,353	2,523	94,446						
8	,259	1,852	96,299						
9	,212	1,516	97,814						
10	,140	1,003	98,818						
11	,088	,632	99,449						
12	,059	,420	99,869						
13	,018	,126	99,995						
14	,001	,005	100,000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

**Tabla 16.** Participación de las variables en los factores del ACP geomorfológico de los entornos de los yacimientos.

Matriz de componentes rotados <sup>a</sup>						
	Componente					
	1	2	3	4	5	6
A.B. ALT. MEDIA	,611	,294	,476	,430	,171	,084
A.C. ALT. DESV.	,148	,906	-,212	,051	-,081	,168
A.D. RANGO ALT.	,060	,933	-,243	,153	,023	,021
A.G. RUGOSIDAD (inv)	,206	-,868	,056	-,247	-,195	-,184
B.A.B. Dist. principal	,908	-,151	-,015	-,060	,174	,095
B.B.B. Terr. Holo. y aluvial	-,884	-,189	-,192	-,058	-,175	-,175
B.B.C. Rell. val.	,127	,043	,186	-,077	,943	,116
B.B.D. Terr. Pleisto.	-,761	-,154	-,382	-,100	,064	-,389
B.B.E. Glacis	,762	-,241	,127	-,142	-,374	-,325
B.B.F. Cal. Ter.	,305	,375	,032	-,199	,216	,779
B.B.G. Fm. eva. Ter.	-,114	,393	-,838	-,124	-,090	,097
B.B.H. Fm. det. Ter.	,284	-,243	,863	,058	,145	,111
B.B.I. Sup. eros. Ter. Fm. Meso.	,016	,068	-,023	,958	-,090	,046
B.B.J. Fm. car. Meso.	-,010	,288	,262	,803	,018	-,249

Método de extracción: Análisis de componentes principales.  
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 7 iteraciones.

### Factor 1

El primer factor representa la altitud general del entorno y la vinculación del entorno a los ríos principales. A él contribuyen positivamente la distancia al río principal y la altitud media, que evidentemente están correlacionadas, y los glacis. Negativamente pesan la presencia en el entorno de terrenos aluviales y de terrazas. Así pues los entornos bajos con mayor participación de los ámbitos fluviales tendrán unas puntuaciones bajas, mientras que las puntuaciones altas serán las de aquellos entornos altos y alejados de los ríos. Sin embargo conviene observar que en menor grado hay otras variables contribuyendo por su correlación con la altitud media y la distancia a los ríos. Así la Fm. evaporítica terciaria contribuye negativamente, aunque muy poco, pues ocupa el centro –y por tanto la parte baja– del dispositivo sedimentario de la Depresión del Ebro. Por otro lado, el resto de las unidades geomorfológicas, al no pertenecer al ámbito fluvial, contribuyen ligeramente en positivo. La Fm carbonatada mesozoica tan apenas tiene contribución en este factor, por lo que su signo negativo es irrelevante, pero, en cualquier caso puede explicarse porque los afloramientos de este material se producen allí donde los ríos los han desnudado (ámbito fluvial) y en la zona media del área de estudio en torno a Muel (altitud media).

### Factor 2

El segundo factor representa lo escabroso y abrupto que es un terreno, con relativa independencia de la altitud media del entorno que tiene una contribución baja. Por ello la rugosidad<sup>19</sup> contribuye muy negativamente mientras que la desviación y rango de altitud son muy positivos. Así los entornos llanos tendrán puntuaciones más bajas que los entornos abruptos. Por otro lado es interesante ver cómo también aquí la Fm evaporítica y detrítica tienen diferente comportamiento; los yesos fuertemente incididos originan paisajes escarpados por lo que contribuyen positivamente a este factor, mientras que las

<sup>19</sup> Recuerdese que el módulo del vector suma de los vectores normales de las celdas expresa la rugosidad a la inversa: si los valores son altos es porque estos vectores normales han contribuido de forma conjunta a la suma porque tienen una orientación similar, es decir, es un terreno llano. Por el contrario, en los terrenos rugosos, los vectores normales de cada celda apuntan en direcciones muy diferentes, y por tanto el módulo del vector suma es pequeño.

arcillas y conglomerados, junto con los glaciares, conforman las llanuras interfluviales. Las plataformas de caliza terciaria son llanas en su cima, pero al tener bordes abruptos y estar fuertemente incididas por barrancos contribuyen también a acentuar la rugosidad del entorno.

### *Factor 3*

El tercer factor distingue meridianamente los ambientes terciarios evaporíticos (en negativo) y detríticos (en positivo), y por la posición de ambos dentro del dispositivo sedimentario de la Depresión del Ebro, también se relaciona con la altitud media. El resto de variables contribuye poco al factor y en consonancia con las variables principales. Los contrastes altitudinales, representados por el rango y la desviación, tienden ligeramente a reforzar las puntuaciones negativas, y por tanto se relacionan con el ambiente evaporítico. No sucede lo mismo sin embargo con la rugosidad, que casi no tiene relevancia en este factor, lo que hasta cierto punto es una muestra de que es una variable que expresa algo diferente a la desviación estándar de la altitud. También es negativa la contribución de las terrazas y terrenos aluviales pues aunque su desarrollo es transversal al dispositivo sedimentario de la Depresión, alcanzan mayor anchura en la parte baja, que es la evaporítica. Positivamente las contribuciones vienen de la Fm carbonatada mesozoica, de los glaciares y los rellenos de val. Los afloramientos mesozoicos que emergen entre el terciario lo hacen lógicamente en el ámbito marginal de la depresión y por tanto entre materiales detríticos. La fuerte erosión e incisión en los yesos hace que los glaciares sobre ellos estén más compartimentados y que los rellenos de vales sean más estrechos (e infra-representados en la escala de la cartografía) que lo que les sucede sobre el detrítico terciario. Por ello no es de extrañar que glaciares y rellenos de val refuercen positivamente al detrítico; piénsese en la llanada de Cariñena, los llanos entre Ricla y Épila, el corredor Botorrita-Fuendetodos, o el corredor Muel-Épila.

### *Factor 4*

El cuarto factor representa la presencia del Mesozoico en el entorno de los yacimientos (calizas mesozoicas y superficies de erosión sobre materiales de esta edad). Evidentemente hay una correlación notable con la altitud media, pues estos materiales afloran como resultado del plegamiento alpino formando las elevaciones exteriores del Sistema Ibérico.

### *Factores 5 y 6*

Estos dos factores representan claramente los rellenos de val y las plataformas de caliza miocena, respectivamente. Pero por la escasa participación que tienen en la explicación de la varianza no van a ser tenidos en cuenta en el análisis.

### *Clasificación*

He utilizado los cuatro primeros factores para hacer una clasificación de conglomerados jerárquicos de los casos (*cluster*) y posteriormente he representado la nube de puntos en el espacio tridimensional creado por tríos de factores (Factores 1, 2, 3 y 1, 2, 4) incorporando además la información del grupo de pertenencia (símbolo) y de cronología (color). En el dendrograma (*figura 27*) resultante del *cluster* se ve como los yacimientos estudiados pueden ser agrupados en siete clases, mientras que los gráficos de dispersión factorial muestran la relación de estos grupos con los factores que se han usado para su clasificación (*figuras 28 y 29*).

### *Grupo 1*

Estos yacimientos (Bardallur 1, Bco. Campoviejo, Campablo 1, Campablo 2, Cer. Tijera, Montoque, P. Amarilla, San Sebastián, Urrea 1) se caracterizan por tener puntuaciones bajas en el F1, a excepción de Peña Amarilla y Montoque, que aún perteneciendo a este grupo geomorfológico difieren

del resto por su cronología del Bronce. Estas bajas puntuaciones en el primer factor indican que son yacimientos con entornos de baja altitud media, y vinculados al río y/o a los yesos terciarios. No extraña pues que se trate (a excepción precisamente de Peña Amarilla y Montoque) de yacimientos situados sobre el escarpe de yesos del Jalón. Aunque menos decididamente que en el F1, las puntuaciones también son bajas en los factores segundo y tercero. Las puntuaciones en el F2 están rebajadas por la forma llana de la llanura aluvial del Jalón, que contrasta con la morfología abrupta y rugosa sobre el escarpe de yesos. Son entornos con dos ambientes muy contrastados por encima y por debajo del escarpe, y en este factor ha pesado más la zona llana. Por último las puntuaciones bajas del F3 no hacen sino reforzar la vinculación de estos entornos al ambiente evaporítico terciario y unidades relacionadas (aluvial y terrazas).

## Grupo 2

Este grupo (Cab. Azud, Cab. Blanco, Cab. Chinchón, Cab. Cruz, Cab. Paños, El Cabezuelo, El Calvario, Las Hermanitas, Lomas Molino) tiene características similares al anterior, pues son yacimientos y entornos vinculados también al río (ya sea el Jalón o la Huerva). Sus puntuaciones son un poco más bajas en el F2, es decir, son entornos ligeramente más llanos, a lo que contribuye la llanura aluvial y que no están tan metidos en el ámbito de los yesos terciarios. Precisamente donde más se diferencian es en el F3, donde este grupo tiene puntuaciones altas que lo vinculan al ámbito detrítico terciario y en menor medida con los glaciares y rellenos de val.

## Grupo 3

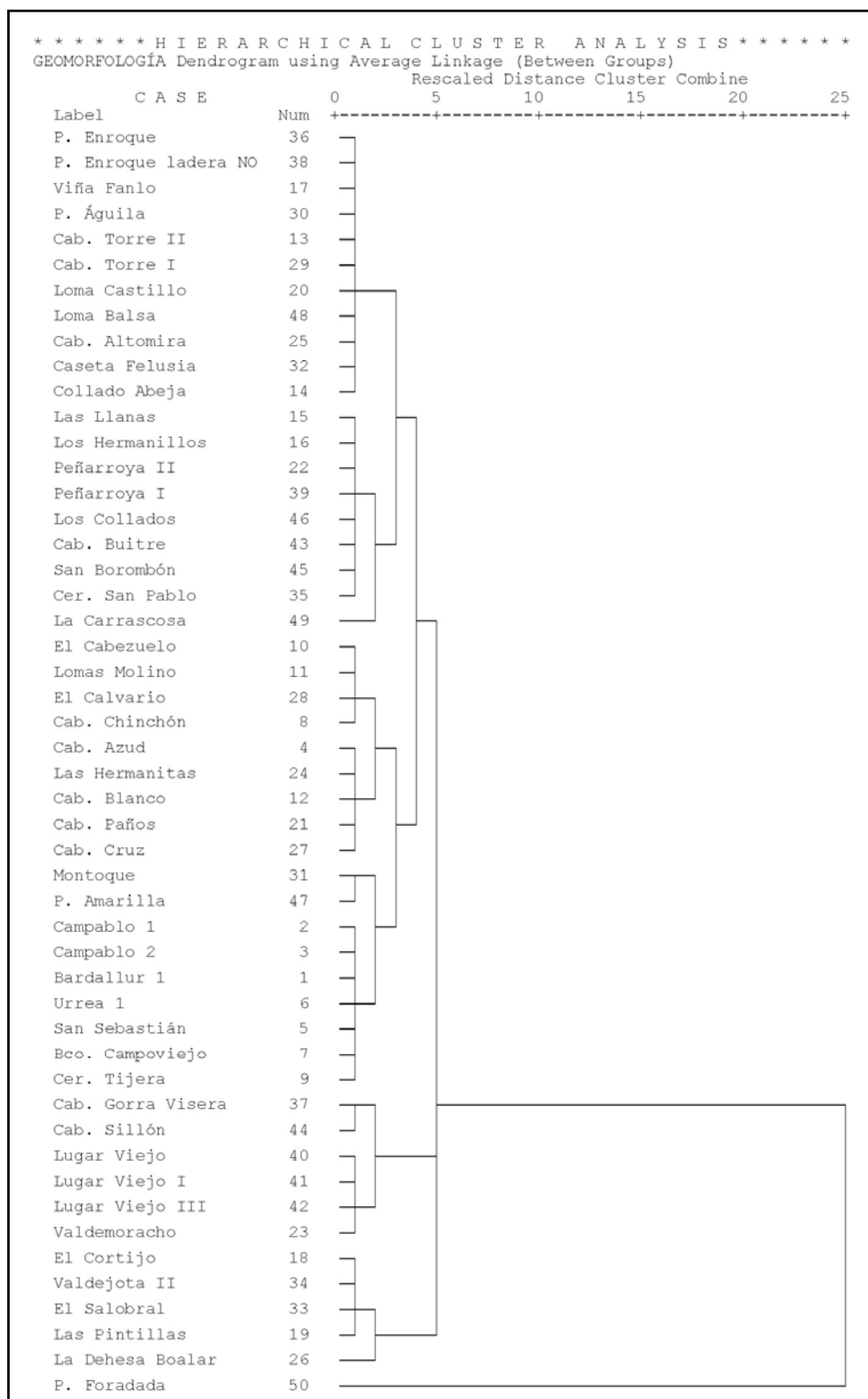
Este es el grupo del interfluvio Jalón-Huerva en ámbito detrítico (Cab. Altomira, Cab. Torre I, Cab. Torre II, Caseta Felusia, Collado Abeja, Loma Balsa, Loma Castillo, P. Águila, P. Enroque, P. Enroque ladera NO, Viña Fanlo). Se caracteriza por puntuaciones positivas en los factores 1 y 3 y negativas en el 2. Es decir, su altitud media es más alta que la de los grupos precedentes y se desvinculan del entorno fluvial. Son entornos llanos vinculados decididamente al ámbito detrítico terciario y los glaciares que lo cubren. El único caso que no se corresponde al interfluvio Jalón-Huerva es la Loma de la Balsa, que se sitúa en el monoclinal de la margen derecha del Jalón cuyas características (detrítico terciario y glaciares) son muy similares al del interfluvio. (Nota: no debe sorprender la pertenencia a este grupo de casos llanos como Caseta Felusia junto a cerros como Cabezo Altomira pues se ha clasificado en función de las características generales del entorno y no de la morfología del relieve del yacimiento; este aspecto es el que se ha analizado en los apartados de control/relación con el entorno y de defensa del yacimiento).

## Grupo 4

Este grupo de entornos de yacimientos, pertenecientes todos al valle de la Huerva, pero alejados del río (Cab. Buitre, Cer. San Pablo, La Carrascosa, Las Llanas, Los Collados, Los Hermanillos, Peñarroya I, Peñarroya II, San Borombón). Está formado por cerros testigo más o menos aislados de las plataformas de calizas miocenas y por localizaciones similares pero que en lugar de cerros testigo aprovechan los afloramientos de caliza jurásica. Sus puntuaciones en los factores son bastante características y ocupan un espacio bastante concreto y agrupado. Son entornos muy rugosos y con fuertes contrastes altitudinales (puntuaciones altas en F2) y vinculados al detrítico terciario y a los glaciares (puntuaciones altas en F3); los afloramientos jurásicos y las plataformas de calizas miocenas están en este ambiente, a excepción de la plataforma de Montoque (mitad septentrional de La Muela), Peña Amarilla (Macizo de Montalar) y Cabezo Sillón (Plana de María de Huerva) que están sobre yesos y precisamente son yacimientos que no aparecen en este grupo. Las puntuaciones en el F1 no son altas, aunque las altitudes medias de algunos de estos entornos sí son elevadas. Esto se debe a que en algunos casos la escasa distancia al río y presencia de terrenos aluvial y terrazas está rebajando la puntuación en este factor (como en el caso de La Carrascosa, por ejemplo). Hay que hacer notar que en el F4 un caso se despega de los demás, y de hecho de todo el conjunto de yacimientos: se trata de La Carrasco-



sa que se distingue por la gran superficie que el mesozoico ocupa en su entorno (aunque no tanto como en el caso de Peña Foradada, como veremos).



**Figura 27.** Dendrograma del *cluster* realizado sobre las puntuaciones factoriales de los yacimientos en los factores del ACP geomorfológico.

### Grupo 5

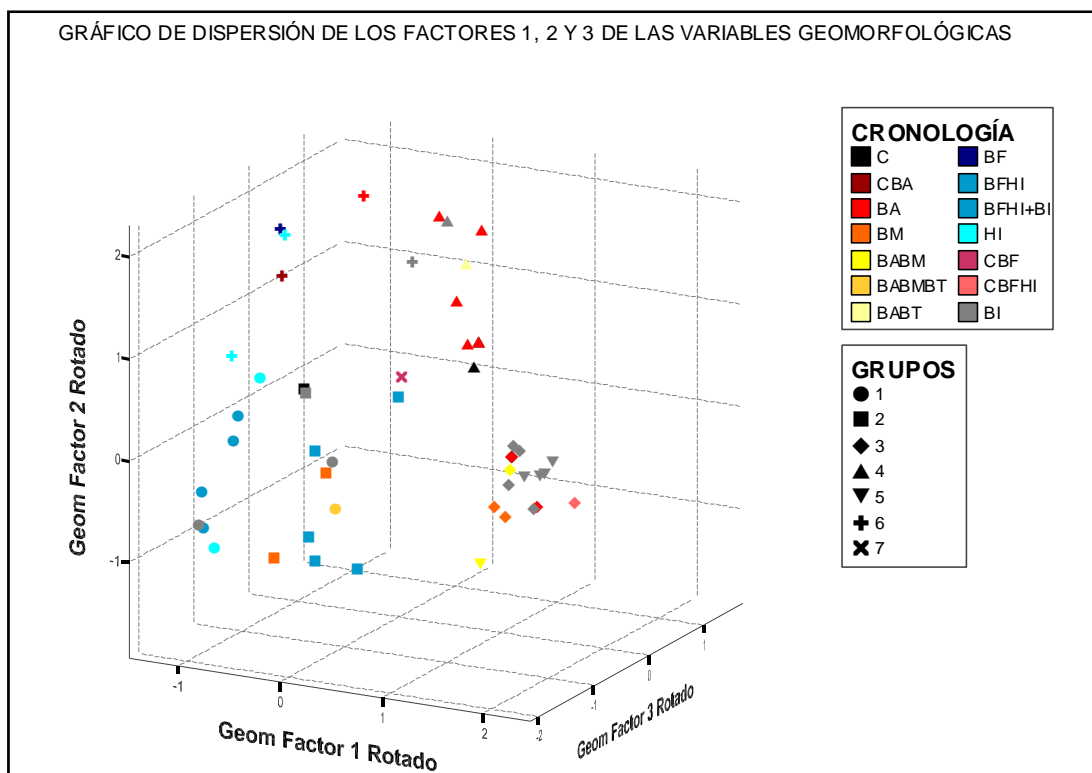
Los yacimientos (El Cortijo, El Salobral, La Dehesa Boalar, Las Pintillas, Valdejota II) este grupo ocupan el interfluvio Jalón-Huerva pero, a diferencia del grupo 3, lo hace en ámbito evaporítico. Son yacimientos situados en los monoclinales que enlazan La Muela con el corredor Muel-Épila (excepto La Dehesa de Boalar, que está hacia el Ebro). Dicho de otro modo, son los yacimientos del piedemonte de La Muela. Sus puntuaciones en el F1 son muy altas, no tanto porque sus altitudes medias lo sean como porque su distancia al río principal es grande. Las puntuaciones en el F2 son medias; es un ámbito de tendencia general llana, pero la presencia de yesos y sus incisiones rebajan la puntuación en este factor. Por último las puntuaciones bajas en el F3 ratifican su pertenencia al ámbito evaporítico.

### Grupo 6

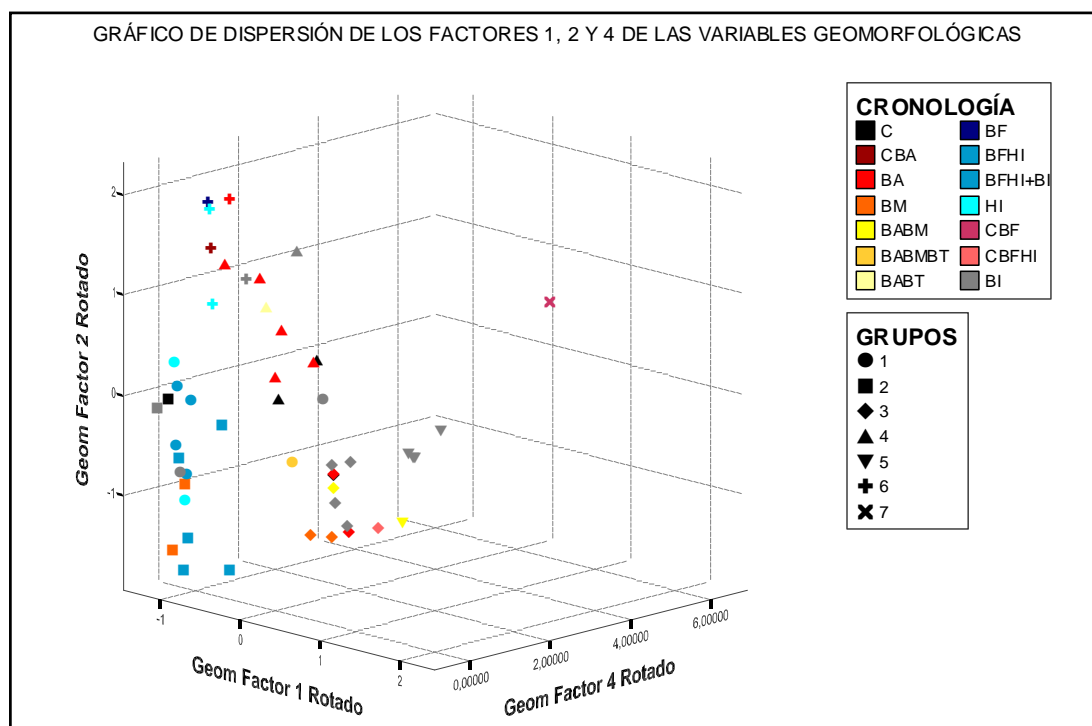
Este es un grupo aparentemente extraño (Cab. Gorra Visera, Cab. Sillón, Lugar Viejo, Lugar Viejo I, Lugar Viejo III, Valdemoracho). Son yacimientos del ámbito evaporítico de la Huerva, pero los Lugares Viejos están en la abrupta margen derecha, mientras que Valdemoracho en la izquierda que es más suave. Y Cabezo Sillón y Cabezo de la Gorra de la Visera son yacimientos alejados del río. Por ello conforman el grupo menos compacto de esta clasificación. Se caracterizan por unas puntuaciones bajas en el F1 (baja altitud y vinculación al río, en lo que destacan lógicamente los Lugares Viejos y Valdemoracho) y alta en el F2 (entornos muy rugosos, sobre todo en los casos de los Lugares Viejos y Cabezo Sillón). En el F3 es donde menos homogeneidad muestran, como consecuencia de su latitud: Valdemoracho, el más septentrional, pertenece completamente al ámbito de yesos terciarios, mientras que Cabezo Sillón y Cabezo de la Gorra de la Visera, los más meridionales, están influenciados por el ámbito detrítico. En cierto sentido se puede decir que los yacimientos de este grupo equivalen a los grupos 1 y 2 pero en el valle de la Huerva.

### Grupo 7

Se trata de un caso aislado, el de Peña Foradada, lo que no sorprende pues en sentido estricto este yacimiento y su entorno no pertenecen a la Depresión del Ebro, sino que se sitúan ya en las sierras exteriores de la Ibérica. En el espacio creado por los tres primeros factores ocupa una posición central sin pertenencia clara a ningún grupo; alejada y más o menos equidistante a todos. Sus puntuaciones en los factores 1 (vinculación al río y altitud media) y 2 (rugosidad del entorno) lo asemejan al grupo 4. Pero el factor 3 deja a este yacimiento en una posición indefinida, pues claramente no puede pertenecer al ámbito evaporítico terciario, pero tampoco pertenece decididamente al detrítico. La respuesta se halla en el F4: Peña Foradada se distingue por la presencia excepcional dentro del conjunto de yacimientos de materiales mesozoicos.



**Figura 28.** Gráfico de dispersión de los yacimientos según sus puntuaciones en los tres primeros factores del ACP geomorfológico.



**Figura 29.** Gráfico de dispersión de los yacimientos según sus puntuaciones en los factores 1, 2 y 4 del ACP geomorfológico.

En un vistazo general, atendiendo a exclusivamente a la cronología y no a los grupos, vemos en los espacios tridimensionales generados por los factores que los yacimientos se posicionan en regiones diferentes según sean yacimientos del Bronce Final y Hierro I o yacimientos anteriores (Calcolítico Final a Bronce Tardío).

Los yacimientos del Bronce Final y Hierro I en el F1 se agrupan en la región negativa con valores muy bajos lo que señala su vinculación a los terrenos aluviales y a las terrazas de los ríos. En el F2 aparecen más distribuidos. Predominan también los valores negativos, pero algunos yacimientos (los Lugares Viejos) tienen puntuaciones altas que los asocian a entornos rugosos. El Bronce Final y Hierro I ocupan el extremo izquierdo (y con tendencia a la mitad inferior) de la dispersión en los factores 1 y 2.

Los periodos desde el Calcolítico Final al Bronce Tardío, así como la mayoría de los de cronología indefinida, ocupan una región diagonal que resulta de una mayor distribución en ambos ejes (entre -1 y 1 en el F1 y entre -1 y 2 en el F2) y de una cierta correlación inversa entre ellos. Así un extremo de la nube de esta cronología se sitúa en las puntuaciones bajas en el F1 y altas en el F2 (entornos abruptos cercanos al ámbito fluvial), mientras que el otro extremo se localiza en puntuaciones más altas para el primer factor y más bajas para el segundo (entornos altos, distantes del río y llanos). Dentro de este grupo cronológico se puede ver una subdivisión con dos subgrupos, cada uno en torno a un extremo de la nube. En la zona superior-izquierda de la dispersión definida por los Factores 1 y 2 predominan los yacimientos del Bronce Antiguo, mientras que en el otro extremo se ubican los yacimientos del Bronce Medio y Tardío. Por su parte el Calcolítico Final tiende a ocupar la zona central-alta de la nube.

Las excepciones más notables al esquema hasta aquí propuesto son los yacimientos de Las Hermanitas, Cabezo Blanco y Lomas del Molino. Estos yacimientos en el F2 tienen puntuaciones similares a las del resto de casos de su cronología. Es en el F1 donde tienen un comportamiento extraño que les lleva a agruparse con los yacimientos del Bronce Final y Hierro I por su fuerte vinculación al río.

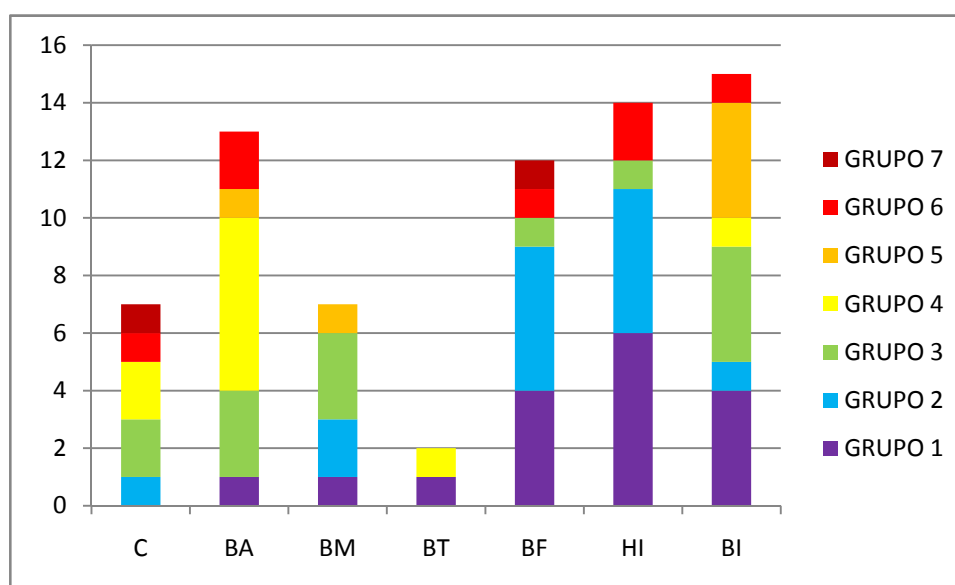
Hay dos yacimientos que tienen una cronología del Calcolítico Final y del Bronce Final y Hierro I sin aparente ocupación intermedia. Estos yacimientos suponen la otra anomalía en el esquema propuesto. El caso de Peña Foradada como ya se ha visto es excepcional en la muestra de yacimientos, por lo que no sorprende que no se ajuste bien al esquema. En el caso de la Loma del Castillo, en realidad ocupa una posición que no se corresponde a ninguna de las cronologías que se le asignan. Quizás esto pueda deberse a que no es un yacimiento cuya localización se elige fundamentalmente por su entorno sino por estar en el paso entre los dos ríos, es decir, que prima un componente de control de una vía de comunicación.

La buena definición general de esta distribución cronológica en los dos primeros factores augura una relación significativa entre los grupos propuestos y los periodos temporales. Una tabla (*tabla 17*) y su correspondiente gráfica (*figura 30*) de barras representando la distribución de grupos por periodo muestran claramente esta relación.

Es evidente que los grupos 1 y 2 se vinculan más con el Bronce Final y Hierro I, aunque tengan presencia anterior. Por su parte los grupos 3 y 4 están claramente relacionados con las cronologías más antiguas. El grupo 5 es casi completamente indeterminado; las dos únicas asignaciones cronológicas que presenta pertenecen a un solo yacimiento (Las Pintillas). El grupo 6, aunque con escasa representación cronológica, parece polarizado en las cronologías más antiguas y las más recientes. Por último, el grupo 7 lo forma exclusivamente Peña Foradada con dos fases muy separadas en el tiempo; su carácter excepcional dentro de la muestra aconseja ciertas cautelas a la hora de valorarlo.

**Tabla 17.** Muestra la incidencia de los periodos por grupos geomorfológicos (los yacimientos con más de una cronología aparecen más de una vez en la tabla, por lo que el número total es mayor que el de la muestra).

	C	BA	BM	BT	BF	HI	BI	Total
<b>GRUPO 1</b>	0	1	1	1	4	6	4	17
<b>GRUPO 2</b>	1	0	2	0	5	5	1	14
<b>GRUPO 3</b>	2	3	3	0	1	1	4	14
<b>GRUPO 4</b>	2	6	0	1	0	0	1	10
<b>GRUPO 5</b>	0	1	1	0	0	0	4	6
<b>GRUPO 6</b>	1	2	0	0	1	2	1	7
<b>GRUPO 7</b>	1	0	0	0	1	0	0	2
<b>Total</b>	7	13	7	2	12	14	15	70



**Figura 30.** Gráfico de columnas apiladas que representa los datos de la tabla 17.

### 8.2.2. Caracterización de suelos y riesgos

El siguiente grupo de variables analizadas es el que se relaciona con los suelos y sus riesgos. Hay que tener en cuenta que el mapa de suelos y riesgos se ha construido a partir de sendas reclasificaciones del mapa geomorfológico y del de pendientes. Así pues cada variable de riesgos combina o sintetiza las variables de los dos mapas previos. En cierto modo es como si los riesgos fueran por si mismos una especie de “componentes principales” de la geomorfología y las pendientes, pero enriquecidos pues, en el momento de reclasificar y combinar las variables originales, se han tenido en cuenta consideraciones derivadas de la reconstrucción paleoambiental. Cabe esperar unos resultados similares a los del análisis anterior, pero quizás más sencillos por la reducción de las variables y por el efecto homogeneizador de la presunta presencia de paleosuelos que desdibuja la diferencia entre el contexto evaporítico y el detrítico del terciario.

Las variables de este análisis son:

- Riesgo 1: Aluvial y riberas principales. Fluvisoles constantemente rejuvenecidos. Riesgo de inundación, erosión fluvial y vegetación competitiva.
- Riesgo 2: Fondos de val y riberas secundarias. Calcisoles y Gypsisoles, marginalmente Phaeozem y Fluvisoles. Riesgo de inundación menor y vegetación menos competitiva. Riesgo por acumulación de carbonatos secundarios y sales solubles.

- Riesgo 3: Secano semi-endorreico. Calcisoles, Gypsisoles, Luvisoles, Regosoles, Leptosoles, Solonchacks. Cultivo y pasto sin riesgo de erosión, buena humectación del suelo pero riesgo de encharcamiento. Riesgo de aparición de horizontes carbonatados o acumulaciones de sales. Riesgo de subsidencia en yesos.
- Riesgo 4: Secano normal. Calcisoles, Gypsisoles, Regosoles, Leptosoles. Sin riesgo de erosión por cultivo o pasto. Riesgo de aparición de horizontes carbonatados o acumulaciones de sales más solubles.
- Riesgo 5: Pasto. Regosoles, Leptosoles. Riesgo de erosión por cultivo, no por pasto.
- Riesgo 6: Regosoles, Leptosoles. Riesgo de erosión elevado por cultivo o pasto.

Como en el caso se ha optado por utilizar los factores rotados mejorando la utilización del espacio n-dimensional. Alrededor del 80% de la varianza queda explicada por los tres primeros factores, por lo que la clasificación siguiente se ha realizado sobre ellos.

**Tabla 18.** Varianza total explicada por los factores del ACP de suelos y riesgos del entorno de los yacimientos.

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,505	41,756	41,756	2,505	41,756	41,756	2,407	40,108	40,108
2	1,390	23,175	64,931	1,390	23,175	64,931	1,243	20,719	60,828
3	1,023	17,048	81,978	1,023	17,048	81,978	1,085	18,082	78,910
4	,878	14,634	96,612	,878	14,634	96,612	1,024	17,070	95,979
5	,203	3,388	100,000	,203	3,388	100,000	,241	4,021	100,000
6	1,03E-017	1,72E-016	100,000	1,03E-017	1,72E-016	100,000	2,09E-017	3,48E-016	100,000

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

**Tabla 19.** Participación de las variables en los factores del ACP de suelos y riesgos de los entornos de los yacimientos.

Matriz de componentes rotados <sup>a</sup>						
	Componente					
	1	2	3	4	5	6
B.C.A. Riesgo 1	-,017	,983	-,131	-,127	,013	-7,9E-011
B.C.B. Riesgo 2	,038	-,108	-,027	,993	,015	-1,3E-011
B.C.C. Riesgo 3	-,871	-,459	-,098	-,073	,128	3,85E-009
B.C.D. Riesgo 4	-,073	-,116	,990	-,030	,026	-1,0E-010
B.C.E. Riesgo 5	,953	-,150	-,041	,084	,246	2,47E-009
B.C.F. Riesgo 6	,856	-,137	-,276	-,094	-,404	1,66E-011

Método de extracción: Análisis de componentes principales.  
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 7 iteraciones.

### Factor 1

Este primer factor contrapone las zonas con fuertes riesgos (riegos 5 y 6) erosivos, en positivo, a aquellas óptimas para la actividad agropecuaria, en negativo, sin riesgos y buena humectación (riesgo 3). El resto de variables no tiene prácticamente incidencia en este primer factor.



### *Factor 2*

El segundo factor se corresponde exclusivamente a los riesgos propios del ámbito fluvial (riesgo 1), que contribuyen positivamente. El resto de variables contribuye negativamente y muy poco; sólo el secano óptimo (riesgo 3) tiene un poco más de peso.

### *Factor 3*

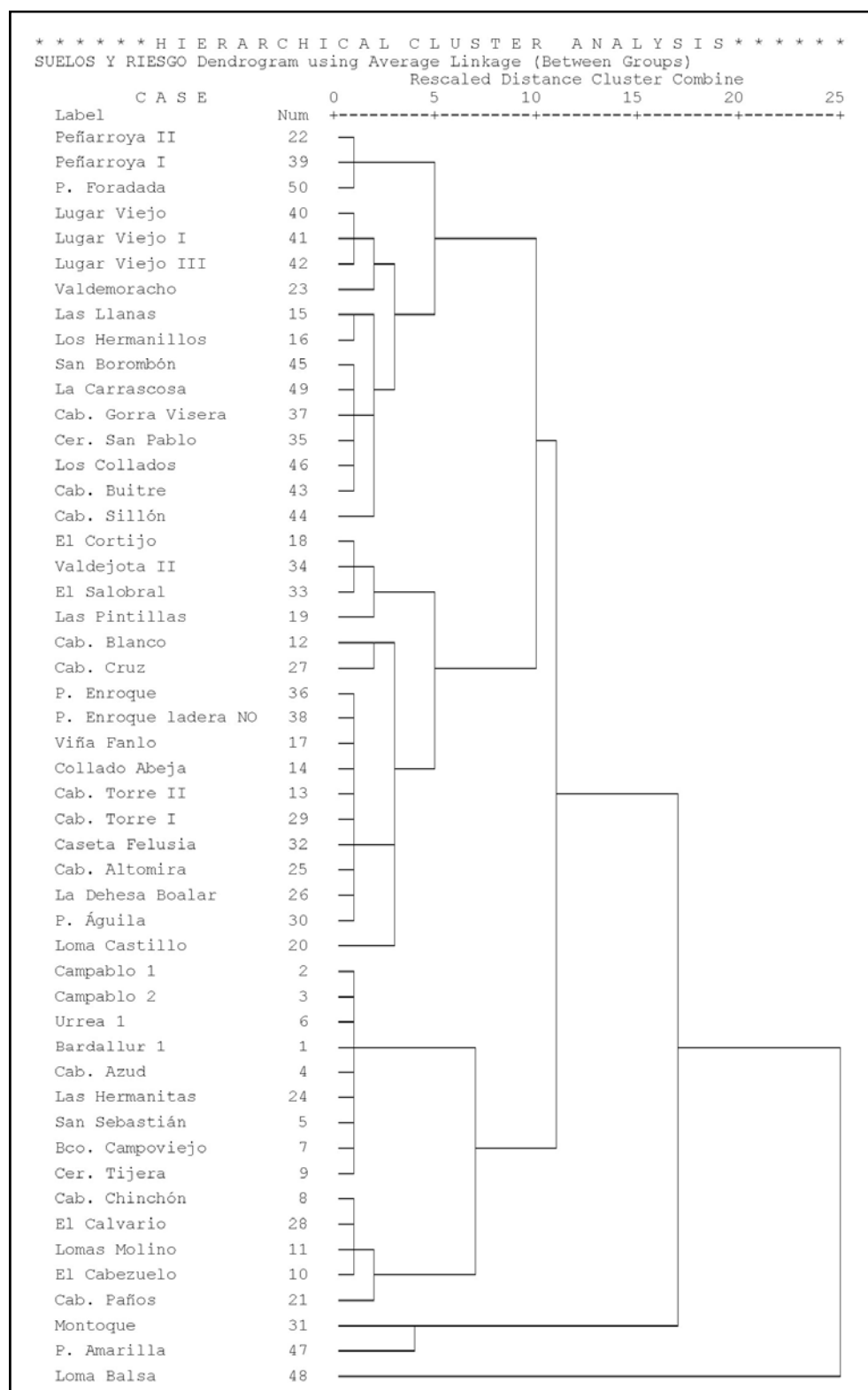
El factor 3 es el del secano normal (riesgo 4) en positivo, siendo las demás contribuciones muy ligeras. Sólo destaca un poco los riesgos erosivos más fuertes (riesgo 6) y lo hace en sentido contrario.

### *Factor 4*

En este factor el peso lo lleva casi exclusivamente el riesgo 2, esto es las zonas de ribera y avenida de los cauces secundarios. Aunque este cuarto factor explica por sí solo más de un 15% de la varianza y junto con los otros tres alcanzan el 96%, no lo voy a incluir en el proceso de clasificación ni en las representaciones, pues multiplicaría la cantidad de grupos sin aportar nada demasiado fiable. El riesgo de las riberas y avenidas en cauces secundarios se ha derivado de la presencia y proximidad de barrancos y rellenos de val. Los primeros son barrancos actuales, a los que se ha otorgado mayor importancia en virtud de los criterios paleoambientales. Pero del mismo modo que los barrancos actuales tienen que ser ascendidos, hay que contar con barrancos menores que no están representados en la cartografía actual. Éstos últimos no han sido tenidos en cuenta. Por su parte, los rellenos de val tienen problemas de representación en la escala utilizada para el mapa geomorfológico, como ya se ha comentado. Por todo ello el riesgo 2 y por tanto el factor 4 puede ser problemático por lo que resulta aconsejable prescindir de él.

### *Factores 5 y 6*

En estos dos factores ninguna variable parece ser muy determinante y sobre todo no tienen una contribución a la explicación de la varianza que justifique su empleo.



**Figura 31.** Dendrograma del *cluster* realizado sobre las puntuaciones factoriales de los yacimientos en los factores del ACP de suelos y riesgos.

## Clasificación

El dendrograma resultante (*figura 31*) de la clasificación por conglomerados jerárquicos (cluster) es más abierto que el anterior, por lo que he considerado inicialmente 10 grupos. Sin embargo, esto no implica necesariamente que la clasificación sea menos clara y significativa que la de la geomorfología. En realidad el esquema general de esta clasificación es más simple, con tres grupos grandes y otros tres medianos. Lo que pasa es que hay 5 yacimientos que no se ajustan bien a estos grupos principales y que generan grupos muy pequeños (de uno o dos casos) incrementando el número de grupos.

### Grupo 1

Son los yacimientos de la escarpada margen derecha del Jalón aguas debajo de Ricla, en zona de yesos (Bardallur 1, Bco. Campoviejo, Cab. Azud, Campablo 1, Campablo 2, Cer. Tijera, Las Hermanitas, San Sebastián, Urrea 1). Su proximidad al río y su contexto evaporítico (que hace que su secano sea normal y no óptimo) otorgan a estos entornos de yacimientos puntuaciones altas en el F2. El resto de sus puntuaciones son más bien medias. Lo que diferencia a este grupo del más cercano (Grupo 2) es que éste último tiene puntuaciones bajas en el F1. Las puntuaciones altas del Grupo 1 en relación con el 2 en el F1 se deben a los mayores riesgos de erosión por pendiente y al tipo de secano que condiciona el sustrato evaporítico. Estos entornos entrañan bastante riesgo de erosión y riesgos de ribera.

### Grupo 2

Este grupo reúne a los yacimientos próximos al Jalón pero aguas arriba de Épila, en un contexto terciario detrítico y de glaciés que hacen que su secano semi-endorreico tenga más presencia que el del grupo anterior y menores los riesgos de erosión por pendiente (Cab. Chinchón, Cab. Paños, El Cabezu, El Calvario, Lomas Molino). Por ello las puntuaciones en el F1 son menores que en caso anterior, pero similares en F2. Así pues estos entornos son buenos para el cultivo de secano y para el de ribera, si se controlan sus riesgos.

### Grupo 3

Se trata de dos de los cinco yacimientos que encajan mal en la clasificación. Son yacimientos cercanos a los ríos Jalón (Cabezo Blanco) y Huerva (Cabezo de la Cruz), sitios en la zona de contacto entre los monoclinales de las márgenes derechas de ambos cauces y la zona aluvial. Por tanto cabe esperar que no tengan mucho riesgo por pendiente y luego una participación tanto del secano como del regadío. En este sentido podría esperarse un comportamiento factorial como el del Grupo 2. Sin embargo no es así; estos dos yacimientos tienen su entorno en la parte central de la dispersión de puntos, sin que puedan ser adscritos inequívocamente a ninguno de los demás grupos. Esta posición central la deben a sus puntuaciones en F2; si sólo nos fijamos en F1 y F3 estos yacimientos caen entre los grupos 1 y 4. Al faltar el F2 estos grupos quedan muy próximos, con lo que los dos yacimientos del Grupo 3 siguen sin tener una adscripción clara, pero no aislados. No obstante no se puede prescindir del F2; sin él la clasificación carece de sentido. ¿En qué se diferencian estos yacimientos al resto de yacimientos de ribera (grupos 1 y 2)? ¿En qué se parecen a los de interior (grupos 4 y 5)? Cabezo Blanco tiene unas puntuaciones similares a las del Grupo 2; en realidad se diferencia poco de ese grupo y la diferencia radica fundamentalmente en que está un poco más alejado del río (puntuación más baja en F2) y que su secano es predominantemente normal (puntuación más alta en F1), mientras que en el grupo 2 prima el secano semi-endorreico. En el caso del Cabezo de la Cruz la clave reside en la diferencia de tamaño entre el Jalón y la Huerva. El radio del entorno de cada uno de estos yacimientos es suficiente para abarcar toda la ribera, si el centro se haya junto a ella, como es el caso. Pero la ribera del Jalón es mucho mayor que la de la Huerva, por lo que la variable de riesgos de ribera, y por tanto el F2, es mucho más importante en los yacimientos del Jalón. Así pues parece que el Cabezo de la Cruz es el elemento extraño que al vincularse con el Cabezo Blanco separa a este de su grupo. Entonces podemos considerar que en realidad Cabezo Blanco debería pertenecer al Grupo 2, pero ¿qué hacer con el Cabe-

zo de la Cruz? Pues quizás falten casos en la muestra de yacimientos de ribera en la Huerva y por ello no llega a formar grupo propio y tiene que “secuestrar” el Cabezo Blanco. No obstante están los Lugares Viejos y Valdemoracho que en principio están en posiciones próximas a la ribera pero no parecen relacionados con el Cabezo de la Cruz en cuestión de riesgos, ¿por qué? En primer lugar, los Lugares Viejos y Valdemoracho conforman un subgrupo algo diferenciado en F2 y F3 del Grupo 5, al que pertenecen. Esto es así porque tienen una mayor vinculación con la ribera y porque su secano es normal (del ámbito evaporítico). Estas cuestiones que los diferencian de su grupo los acercarían a su vez al caso aislado del Cabezo de la Cruz si no fuera por el abismo que abre el F1; el Cabezo de la Cruz está en un entorno con un riesgo de erosión mucho menor. Así como en el río Jalón hay dos grupos de yacimientos de ribera, también debería haberlos en el Huerva; uno de ellos serían los Lugares viejos y Valdemoracho (equivalente al Grupo 1 en el Jalón) y el otro sería el Cabezo de la Cruz y algún otro yacimiento desconocido (equivalente al Grupo 2 en el Jalón).

#### Grupo 4

Los yacimientos de este grupo (Cab. Altomira, Cab. Torre I, Cab. Torre II, Caseta Felusia, Collado Abeja, La Dehesa Boalar, Loma Castillo, P. Águila, P. Enroque, P. Enroque ladera NO, Viña Fando) se vinculan al secano llano semi-endorreico, lo que se refleja en sus puntuaciones bajas tanto en F1 como en F2. Tiene cierta dispersión en el F3, aunque siempre dentro de valores moderados, por la mayor o menor proporción del secano semi-endorreico y el normal. Cuando esta proporción es muy favorable al normal, F3 adquiere valores altos y se desgaja el Grupo 6.

#### Grupo 5

Este es el grupo de los entornos con participación significativa del secano y de los riesgos de erosión, de ahí los valores altos en F1 y bajos en F2 (Cab. Buitre, Cab. Gorra Visera, Cab. Sillón, Cer. San Pablo, La Carrascosa, Las Llanas, Los Collados, Los Hermanillos, Lugar Viejo, Lugar Viejo I, Lugar Viejo III, San Borombón, Valdemoracho). Sin embargo, como hemos visto, cuatro de los casos que lo conforman deberían ser considerados como un subgrupo o grupo aparte (Lugar Viejo, L. Viejo I, L. Viejo III y Valdemoracho). El F3 además muestra como los únicos yacimientos del Grupo 5 que caen en la zona del secano normal son los de este subgrupo.

#### Grupo 6

Como ya hemos visto, este pequeño grupo (El Cortijo, El Salobral, Las Pintillas, Valdejota II) comparte características con el Grupo 4, aunque con un secano normal (puntuaciones mayores en F3) por el sustrato de yesos.

#### Grupo 7

Es el grupo de los yacimientos con afloramientos de calizas mesozoicas importantes en su entorno (P. Foradada, Peñarroya I, Peñarroya II). Su comportamiento factorial consiste en llevar al extremo las tendencias del Grupo 5: puntuaciones muy altas en F1 y muy bajas en F2 y F3. Esto supone un entorno con fuertes riesgos de erosión y bastante desligado de los riesgos de ribera. La Carrascosa podría formar parte de este grupo, pero su proximidad a la Huerva hace que cambien sus puntuaciones factoriales, quedando perfectamente englobada en el Grupo 5.

#### Grupo 8

Montoque, el único yacimiento que conforma este grupo, es un caso aislado que debería encontrarse entre los grupos 5 y 7 pero que queda separado de ellos por su puntuación positiva y extrema en F3. Se trata de un yacimiento que ocupa un cerro testigo en una de las crestas de La Muela, así que su

ubicación es muy similar a las de los yacimientos del Grupo 5. Su posición muy septentrional, hacia la zona central de la Depresión del Ebro, lo sitúa en ambiente marcadamente evaporítico. Así en este entorno predominan el secano sobre sustrato terciario ya sea de caliza o de yeso; en cualquier caso un secano normal que da unas puntuaciones tan altas en F3.

### Grupo 9

Peña Amarilla es otro caso aislado para el que valen los comentarios del Grupo anterior. Es un caso muy similar. De hecho podrían conformar un solo grupo, aunque su distancia en F1 y F3 debida a que Peña Amarilla sí tiene algo de secano semi-endorreico.

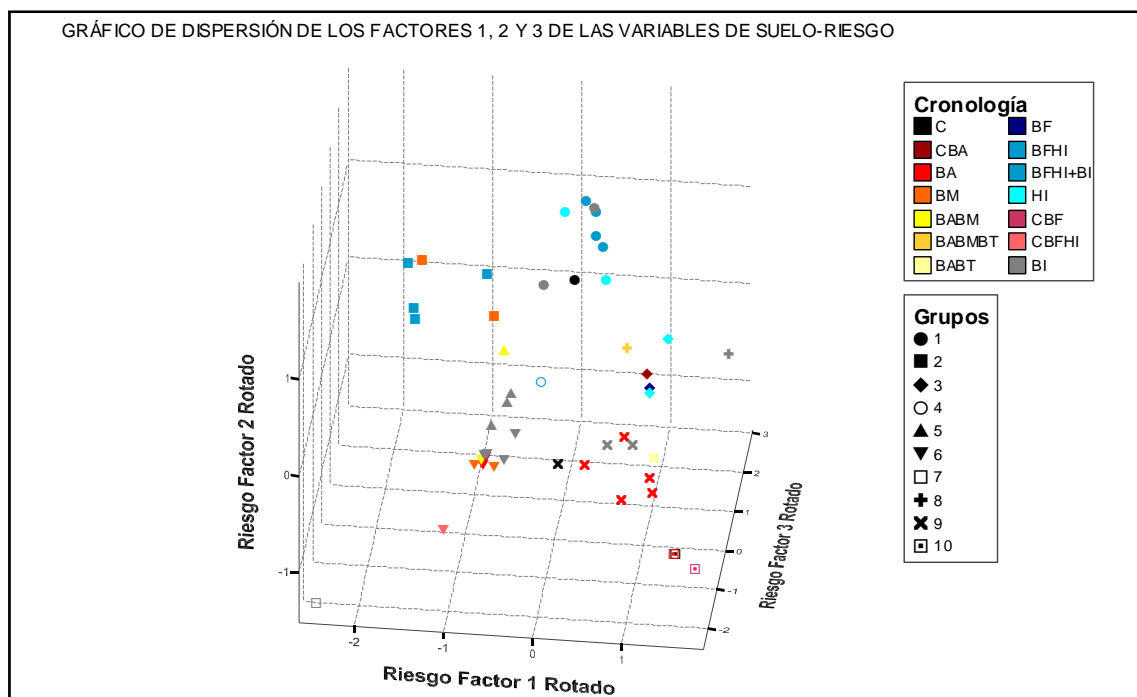
### Grupo 10

La Loma de la Balsa también es un caso aislado y extremo. Sus puntuaciones son muy bajas en todos los factores: casi completa ausencia de riesgos erosivos y casi única presencia de suelos de secano semiendorreicos. A diferencia de los casos anteriores, éste no puede unirse a otros grupos.

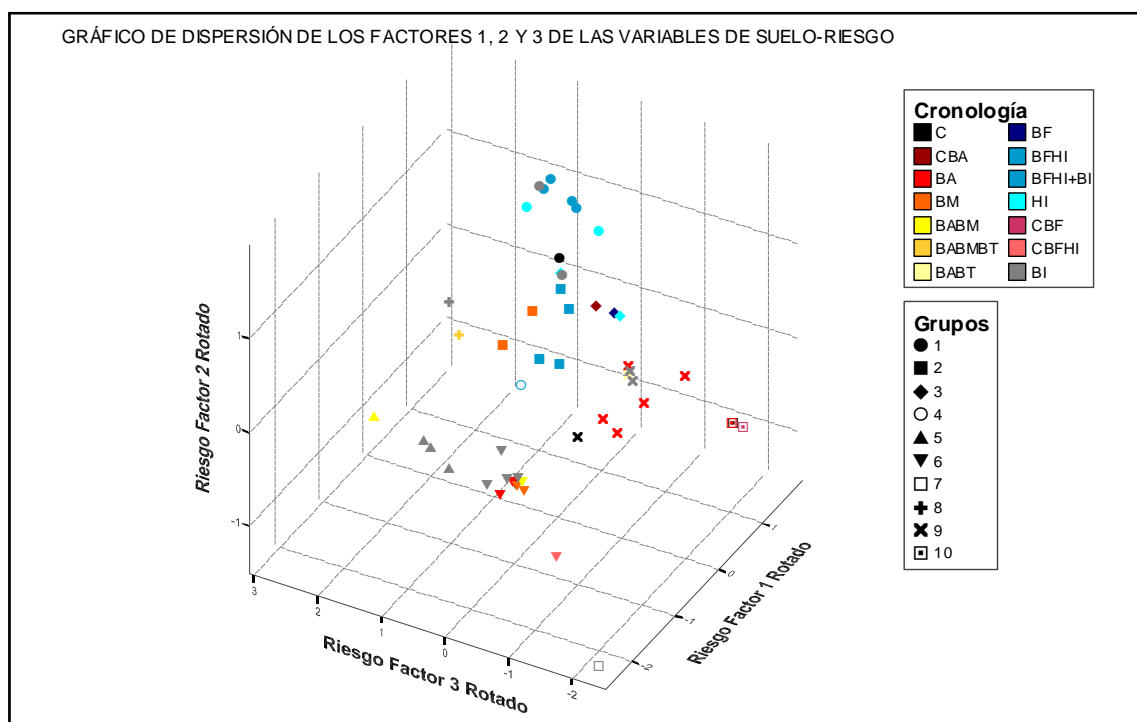
Esta clasificación, hechas las correcciones comentadas al hilo de la descripción de los grupos, resulta muy consistente y coherente con la realidad de la zona de estudio. En cierto sentido, estos grupos reflejan la relación la variabilidad de los suelos y riesgos con la variación del terreno en los dos valles, tanto a lo largo de su curso como en perpendicular a él. Así, tenemos grupos de ribera tanto para el Jalón como para el Huerva, y dentro de estos dos valles se puede distinguir entre la parte del curso que discurre por el ámbito evaporítico del que lo hace por el detrítico. Estos dos ámbitos terciarios también subdividen los grupos vinculados a los llanos interfluviales o a los cerros en torno a las plataformas calizas. Y por último quedan los entornos condicionados por la posición del yacimiento en un espolón de caliza jurásica de fuertes pendientes, y el caso de la Loma de la Balsa. De forma esquemática, estos grupos pueden reordenarse como se muestra en la siguiente tabla (*tabla 20*) y en los gráficos de dispersión (*figuras 32 y 33*):

**Tabla 20.** Tabla de reasignación de grupos tras la valoración de los resultados del *cluster* de los yacimientos según sus puntuaciones factoriales en el ACP de suelos y riesgos. Se muestra la relación de yacimientos en cada grupo y su relación con el ámbito geomorfológico principal del entorno.

Ámbito			Nº	Cluster	Yacimientos
Ribera	Jalón	Evaporítico	1	1	Bardallur 1, Bco. Campoviejo, Cab. Azud, Campablo 1, Campablo 2, Cer. Tijera, Las Hermanitas, San Sebastián, Urrea 1
		Detrítico	2	2 y 3	Cab. Blanco, Cab. Chinchón, Cab. Paños, El Cabezuelo, El Calvario, Lomas Molino
	Huerva	Evaporítico	3	5	Lugar Viejo, L. Viejo I, L. Viejo III y Valdemoracho
		Detrítico	4	3	Cab. Cruzo
Llano inter-fluvial		Evaporítico	5	6	El Cortijo, El Salobral, Las Pintillas, Valdejota II
		Detrítico	6	4	Cab. Altomira, Cab. Torre I, Cab. Torre II, Caseta Felusia, Collado Abeja, La Dehesa Boalar, Loma Castillo, P. Águila, P. Enroque, P. Enroque ladera NO, Viña Fanlo
Llano extremo		Detrítico	7	9	Loma Balsa
Cerros entorno a plataformas calizas	Evaporítico		8	8 y 9	Montoque, P. Amarilla
	Detrítico		9	5	Cab. Buitre, Cab. Gorra Visera, Cab. Sillón, Cer. San Pablo, La Carrascosa, Las Llanas, Los Collados, Los Hermanillos, San Borombón
Espolones abruptos caliza jurásica			10	7	P. Foradada, Peñarroya I, Peñarroya II



**Figura 32.** Gráfico de dispersión de los yacimientos según sus puntuaciones en los tres primeros factores del ACP de suelos y riesgos.



**Figura 33.** Gráfico de dispersión de los yacimientos según sus puntuaciones en los tres primeros factores del ACP de suelos y riesgos. Esta segunda vista permite una mejor distinción visual de los grupos 5 y 6, así como de los grupos 3 y 8.

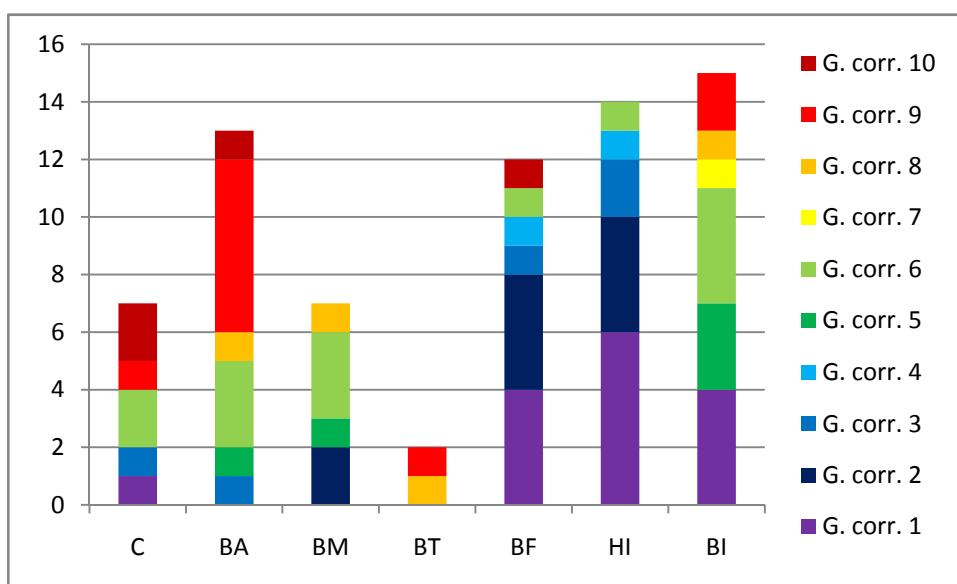
### Valoración cronológica

La relación entre los grupos definidos y la cronología es muy fuerte, y complementa la cuarta afirmación del apartado anterior: que el cambio del patrón de asentamientos a lo largo de la Edad del

Bronce, y sobre todo en el paso al Bronce Final y Hierro I, conlleva un cambio en las ventajas y riesgos que asume la comunidad.

**Tabla 21.** Muestra la incidencia de los periodos por grupos geomorfológicos (los yacimientos con más de una cronología aparecen más de una vez en la tabla, por lo que el número total es mayor que el de la muestra).

	C	BA	BM	BT	BF	HI	BI	total
<b>G. corr. 1</b>	1	0	0	0	4	6	4	<b>15</b>
<b>G. corr. 2</b>	0	0	2	0	4	4	0	<b>10</b>
<b>G. corr. 3</b>	1	1	0	0	1	2	0	<b>5</b>
<b>G. corr. 4</b>	0	0	0	0	1	1	0	<b>2</b>
<b>G. corr. 5</b>	0	1	1	0	0	0	3	<b>5</b>
<b>G. corr. 6</b>	2	3	3	0	1	1	4	<b>14</b>
<b>G. corr. 7</b>	0	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
<b>G. corr. 8</b>	0	1	1	1	0	0	1	<b>4</b>
<b>G. corr. 9</b>	1	6	0	1	0	0	2	<b>10</b>
<b>G. corr. 10</b>	2	1	0	0	1	0	0	<b>4</b>
<b>total</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>70</b>



**Figura 34.** Gráfico de columnas apiladas que representa los datos de la tabla 21.

A la vista de la tabla 21 y de la figura 34 resulta evidente que los grupos 1 a 4, esto es, los de aquellos yacimientos más vinculados a los ríos, pertenecen casi exclusivamente al Bronce Final y Hierro I. Es más, estos periodos casi no muestran casos de otros grupos. Y esto es así tanto para el Jalón como para la Huerva en todo el tramo estudiado. Los únicos yacimientos de estos grupos que no pertenecen a estas cronologías son Las Hermanitas, Cabezo Blanco, Lomas de Molino y Lugar Viejo II y III. Por otro lado, los únicos yacimientos del Bronce Final y Hierro I que no pertenecen a los grupos 1 a 4 son la Loma del Castillo y Peña Foradada.

Salvo las excepciones que acabamos de comentar, el resto de los grupos, tanto los que se asocian al llano como los que se ubican en cerros vinculados a las planas, pertenecen al los periodos del Calcolítico al Bronce Tardío. Los yacimientos vinculados al llano (aunque sea sobre relieves destacados, como cerros testigo) están bastante repartidos entre estas cronologías. Sin embargo los yacimientos



que ocupan los entornos escarpados alrededor de las planas y otros relieves residuales (grupos 8 y 9) pertenecen casi exclusivamente al Bronce Antiguo.

Hay por tanto dos momentos principales dentro de la evolución del patrón de asentamiento en relación a los suelos y riesgos de los entornos. El Bronce Final es el periodo que marca el cambio; el Bronce Tardío puede representar el final del modelo precedente. Entre el Calcolítico Final y el Bronce Medio hay una preferencia por los entornos con abundancia de suelos de secano en entornos más o menos llanos con escasos riesgos geomorfológicos. Sin embargo en el Bronce Antiguo a esta tendencia se suma un importante número de yacimientos que asumen mucho más riesgo de erosión en su entorno al ubicarse en terreno escarpado alrededor de las planas.

En el siguiente momento que se abre a partir del Bronce Final, en términos generales los yacimientos no están asumiendo en su entorno riesgos de erosión por la pendiente del terreno. Sin renunciar a una buena proporción de terreno apto para el secano, incorporan a su entorno terreno aluvial asumiendo los riesgos que implica, pero también sus ventajas de fertilidad y humedad.

### 8.2.3. Caracterización del control sobre el entorno

En este apartado se analizan las variables que de algún modo refleja, aunque sea de manera parcial, la relación que entabla el yacimiento con el entorno desde una perspectiva antropocéntrica. He agrupado estas variables bajo el término “control” porque se relacionan con la comprobación, la inspección y la intervención en el entorno circundante desde el yacimiento. Pero también al revés, expresan la percepción que del yacimiento se tiene desde el entorno, lo que puede relacionarse tanto con la coerción como con el sentido de seguridad a través de la presencia.

De las variables calculadas, aquellas que mejor expresan estas ideas son:

- Superficie Visible: Como los parámetros empleados en los cálculos de visibilidad permiten su consideración recíproca, esta variable está expresando de forma cuantificada tanto el control visual que el yacimiento tiene de su entorno como cuán visible es desde dicho entorno, entendiendo que “hacerse presente” también es una forma de control. Es la diferencia entre yacimientos visibles desde casi todas las localizaciones del entorno (“omnipresentes”) o desde muy pocas (“escondidos”).
- Prominencia Efectiva: Esta variable complementa a la anterior. Sería la “forma” de “hacerse presente”. Dos yacimientos visibles desde un número similar de localizaciones tienen diferente impacto sobre el observador en función de su prominencia; las posiciones elevadas son más imponentes. Por otro lado también permiten un mejor control visual. Dos yacimientos que ven un número similar de localizaciones tienen diferente calidad de observación en función de su prominencia; las posiciones bajas ofrecen una visión menos clara por la compresión de la perspectiva.
- Índice CAR (media): Es un valor medio de la accesibilidad del entorno desde el yacimiento (en este caso los parámetros de la modelización del movimiento eliminan la posibilidad de considerar la reciprocidad). Entiendo que todo el entorno de un yacimiento es accesible; si en el rincón más escabroso y recóndito del entorno hay algo que interese a la comunidad que vive en el yacimiento, ésta encontrará la forma de abrirse paso hasta ahí. Hay acceso a todas las localizaciones, pero este acceso puede ser más o menos fácil. CAR (media) ofrece un valor único para expresar la facilidad de acceso a toda una zona desde un punto. Y la accesibilidad da posibilidad de control efectivo y físico.
- Índice CAR (desviación): Evidentemente como la variable anterior ofrece un valor medio para un número elevado de casos (todas las localizaciones del entorno de un yacimiento) es conveniente considerar también la dispersión de esos casos. Esto se hace a través de la desviación estándar de los datos.
- Desnivel: Por último el desnivel del relieve elegido para la ocupación se ha entendido también en un sentido de control. En este caso no se tiene en cuenta todo el entorno prefijado con radio de 3 km, sino el entorno inmediato del yacimiento para ver el desnivel máximo del relieve en el que éste se halla. Considero que este desnivel tiene un papel importante en el control del entorno y en la forma en que la comunidad que lo habitó se relaciona con él, pues los desniveles fuertes supo-

nen una barrera física y mental que crean una división del espacio, tanto a nivel práctico como perceptual.

Una vez calculados los factores o componentes principales que sintetizan las variables originales, vemos que los tres primeros explican prácticamente toda la varianza de los datos (95, 619 %).

**Tabla 22.** Varianza total explicada por los factores del ACP de control del entorno de los yacimientos.

Varianza total explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,187	43,739	43,739	2,187	43,739	43,739
2	1,659	33,185	76,924	1,659	33,185	76,924
3	,935	18,695	95,619	,935	18,695	95,619
4	,120	2,410	98,029			
5	,099	1,971	100,000			

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

**Tabla 23.** Participación de las variables en los factores del ACP de control de los entornos de los yacimientos.

Matriz de componentes <sup>a</sup>			
	Componente		
	1	2	3
A.E. DESNIVEL	,567	,712	-,349
A.F.C. Prom. Efectiva	,805	,532	-,079
C.B.D. Ind. CAR med.	,747	-,622	,063
C.B.E. Ind. CAR des.	-,777	,584	-,009
D.A. Sup. vis.	,232	,374	,896

Método de extracción: Análisis de componentes principales.  
a. 3 componentes extraídos

### Factor 1

En el primer factor, las variables que más contribuyen positivamente son la accesibilidad (CAR media) y la prominencia, aunque también el desnivel que se correlaciona con ésta última. En sentido negativo contribuye la desviación de la accesibilidad. Por tanto a un lado del eje se irán los yacimientos prominentes y destacados con buena accesibilidad sobre su entorno y al otro los yacimientos con una accesibilidad irregular, con zonas contrastadas por sus características de movilidad.

### Factor 2

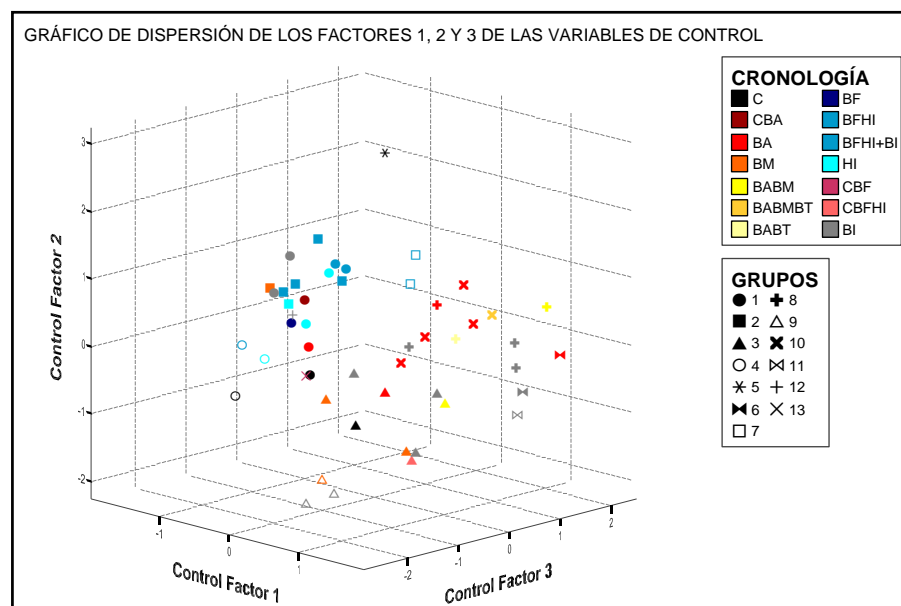
En el segundo factor la accesibilidad se destaca contribuyendo negativamente. El resto de variables contribuyen significativamente en sentido positivo, sobre todo el desnivel. Sin embargo al contribuir todas juntas no permite discriminar entre ellas. Por tanto el factor dos indicará por sus puntuaciones bajas los yacimientos con buena accesibilidad a su entorno.

### Factor 3

Por último el factor 3 es bastante claro. Sólo hay dos contribuciones significativas, una positiva (la superficie visible) y otra negativa (el desnivel). Así este factor tenderá a distribuir los yacimientos a lo largo del eje según sus valores en estas variables.

### Clasificación y tendencias

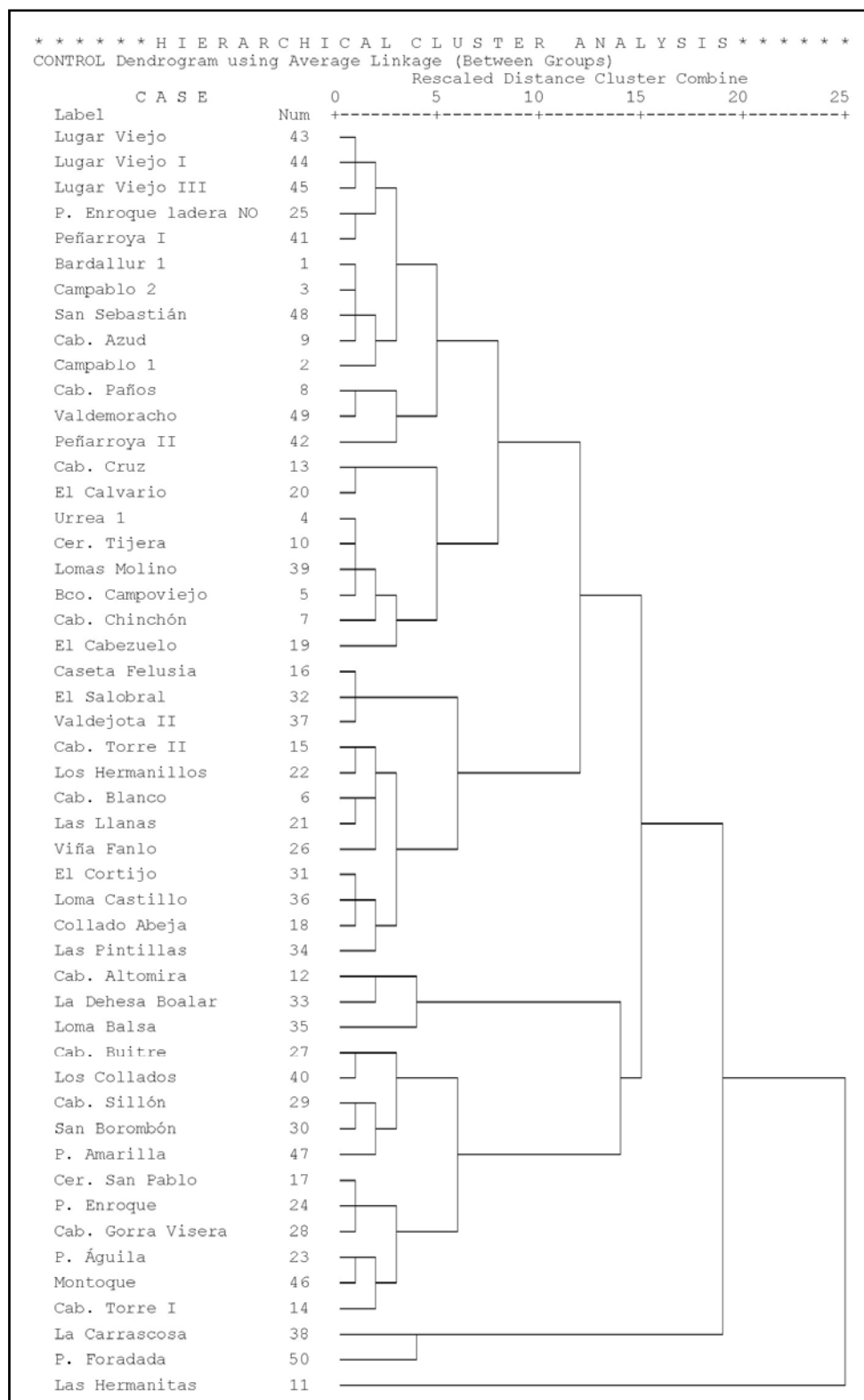
La nube de puntos que forman los casos al representarlos en un espacio definido por los tres factores comentados es bastante homogénea, con los yacimientos bien distribuidos (figura 35). Esto dificulta la clasificación y de hecho el dendrograma resultante del *cluster* sobre dichos factores da idea de la atomización del conjunto de casos en múltiples grupos poco numerosos (figura 36). La consecuencia de esto es que la clasificación es poco operativa, por contener demasiadas clases y por haber muchos casos dudosos que podrían corresponder a una u otra clase.



**Figura 35.** Gráfico de dispersión de los yacimientos según sus puntuaciones en los tres primeros factores del ACP de control.

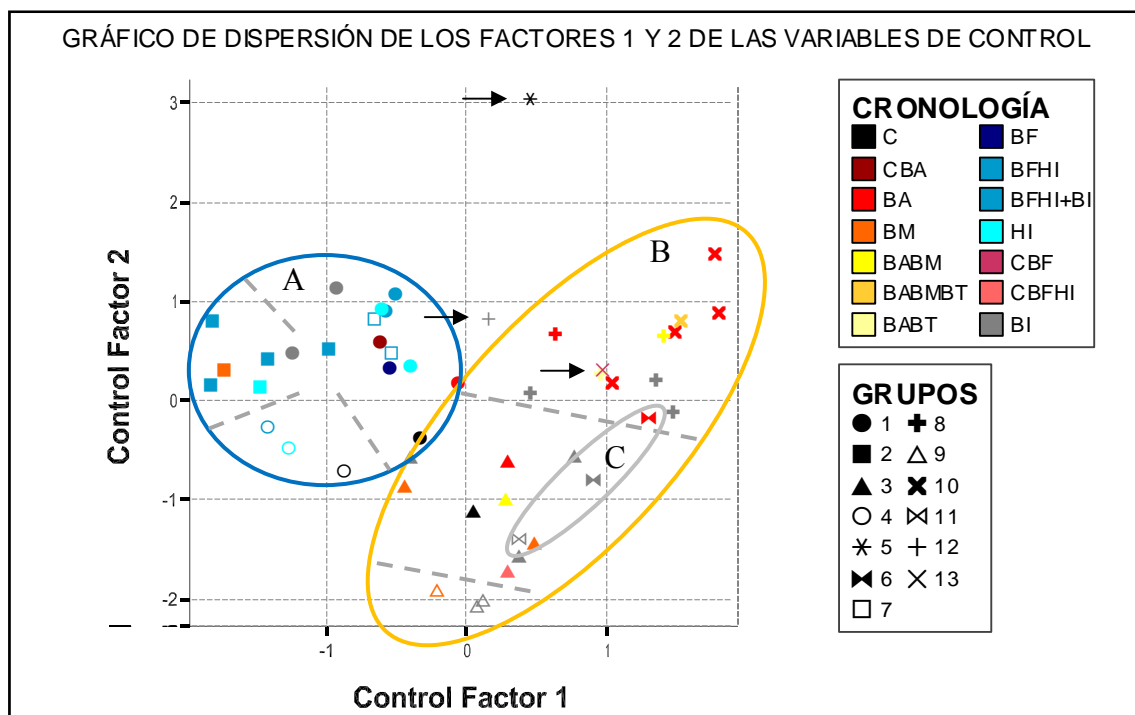
Los yacimientos quedan agrupados por los conglomerados jerárquicos en trece clases de la siguiente manera:

- Grupo 1: Bardallur 1, Cab. Azud, Campablo 1, Campablo 2, Lugar Viejo, Lugar Viejo I, Lugar Viejo III, P. Enroque ladera NO, Peñarroya I, San Sebastián.
- Grupo 2: Bco. Campoviejo, Cab. Chinchón, Cer. Tijera, El Cabezuelo, Lomas Molino, Urrea 1
- Grupo 3: Cab. Blanco, Cab. Torre II, Collado Abeja, El Cortijo, Las Llanas, Las Pintillas, Loma Castillo, Los Hermanillos, Viña Fanlo.
- Grupo 4: Cab. Paños, Peñarroya II, Valdemoracho.
- Grupo 5: Las Hermanitas.
- Grupo 6: Cab. Altomira, La Dehesa Boalar.
- Grupo 7: Cab. Cruz, El Calvario.
- Grupo 8: Cab. Torre I, Cab. Gorra Visera, Cer. San Pablo, Montoque, P. Águila, P. Enroque.
- Grupo 9: Caseta Felusia, El Salobral, Valdejota II.
- Grupo 10: Cab. Buitre, Cab. Sillón, Los Collados, P. Amarilla, San Borombón.
- Grupo 11: Loma Balsa.
- Grupo 12: La Carrascosa.
- Grupo 13: P. Foradada.



**Figura 36.** Dendrograma del *cluster* realizado sobre las puntuaciones factoriales de los yacimientos en los factores del ACP de control.

Sin embargo, un vistazo más detallado al gráfico de dispersión muestra que sí hay algunas tendencias en la organización espacial de los puntos. Para facilitar su lectura he utilizado una clasificación de los mismos en trece clases y muestro la distribución en espacios bidimensionales definidos por los pares de factores 1-2, 1-3 y 2-3 (Figuras 4.38, 4.39 y 4.40).



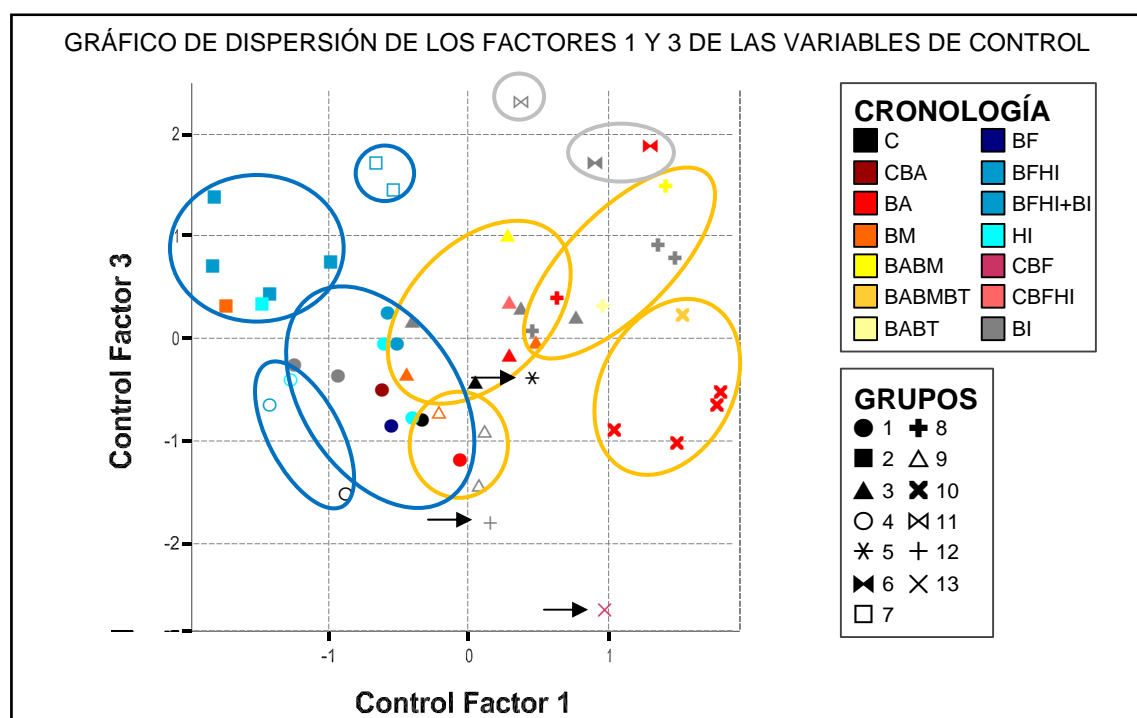
**Figura 37.** Gráfico de dispersión de los yacimientos según sus puntuaciones en los dos primeros factores del ACP de control.

En el gráfico de los factores 1 y 2 (*figura 37*), que son los que mayor parte de la varianza explican (77%), se observa fácilmente la existencia de dos grandes conjuntos. El primer conjunto (A) ocupa la región negativa del F1 mientras que en el F2 aproximadamente se agrupa entre los valores -1 y 1. El segundo conjunto (B) ocupa una región alargada que va desde los valores negativos del F2 y entorno a 0 en F1 hasta los valores positivos en ambos factores. Además se observa que en A predominan los colores azules que identifican los yacimientos con fases del Bronce Final y Hierro I. Por el contrario, en B predominan los colores cálidos de los yacimientos de periodos anteriores. Por tanto, se puede decir que los yacimientos del Bronce Final y Hierro I, con puntuaciones negativas en F1 no están muy destacados respecto al territorio inmediato y su entorno es accesible de forma irregular. Los casos de periodos anteriores pasan por situaciones más variadas, desde los que destacan por la buena accesibilidad a su entorno (puntuaciones muy bajas en F2) hasta los que destacan por su prominencia sin demasiado detrimento de la accesibilidad (puntuaciones altas en F1 y F2).

Una observación más detallada de los grandes conjuntos A y B permite ver que se pueden hacer subdivisiones internas marcadas por los 13 grupos del *cluster*. En A el grupo 4 y en menor medida el 2 quedan bien definidos, no así los grupos 1 y 7. En B se ve una distinción muy neta de los grupos 3 y 9, y de estos respecto de 8 y 10, que aparecen mezclados entre sí. Además, dentro de B se esconde con la misma alineación el conjunto C (grupos 6 y 11). De los casos aislados sólo el llamado grupo 5 es claramente diferenciable, mientras que 12 ocupa una posición intermedia entre A y B, y 13 se diluye en B.

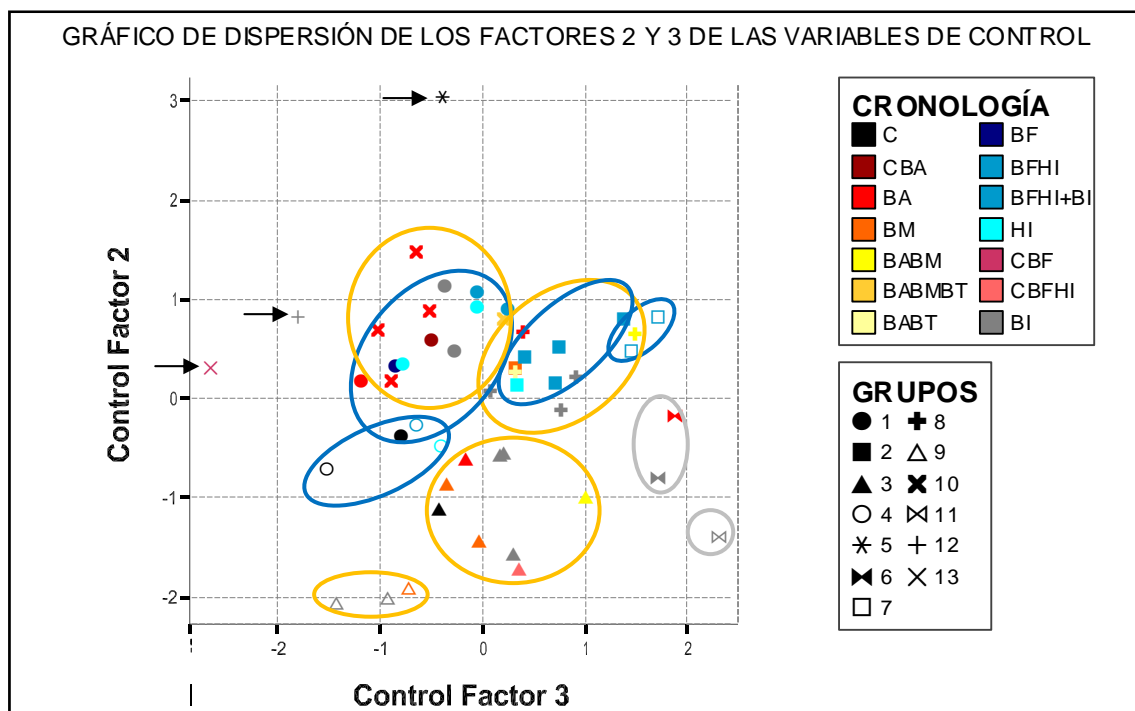
Las partes más confusas de la distribución en los factores 1 y 2 se aclaran al introducir el F3, que explica la parte de varianza no resuelta en el gráfico anterior (*figura 37*). Así en la *figura 38*, que representa los factores 1 y 3, el conjunto A se distribuye a lo largo de F3 distinguiéndose mejor los grupos que lo forman. Este factor distingue entre yacimientos con buena visibilidad (región positiva) de los que tienen peor visibilidad pero aún así tienen desniveles significativos (región negativa). En el conjunto B, los grupos 3 y 9 que antes se distinguían bien ahora aparecen mezclados con varios grupos en el centro de la gráfica, pero se logra la distinción de los grupos 8 y 10 que antes no era apreciable. Así, dentro del conjunto B, los yacimientos más prominentes según F1 se dividen a lo largo de F3 en

un grupo con mayor visibilidad (grupo 8) y otro algo menos visible (grupo 10). Por último, F3 distingue conjunto C del B, cosa que en el gráfico anterior no se lograba.



**Figura 38.** Gráfico de dispersión de los yacimientos según sus puntuaciones en los factores 1 y 3 del ACP de control.

Llama la atención que los extremos inferiores de los conjuntos A y B coinciden en la misma región del espacio factorial, esto es, la que corresponde a yacimientos que tienen mala visibilidad (bajas puntuaciones en F2) y no son demasiado prominentes (puntuaciones en torno a 0 en F1). Desde esta zona del gráfico, los dos conjuntos se extienden progresivamente hacia regiones de mejor visibilidad (puntuaciones altas en F3), pero mientras que el B lo hace ganando paralelamente prominencia (puntuaciones altas en F1), el A alcanza buenas visibilidades (tanto como B) pero desde posiciones menos prominentes y con movilidad condicionada por los ríos (puntuaciones bajas en F1). Esta tendencia divergente de los conjuntos A y B es verdaderamente significativa si recordamos que en el primero predominan los yacimientos del Bronce Final y Hierro I, mientras que en el segundo se encuentran sobre todo los casos de los periodos anteriores.



**Figura 39.** Gráfico de dispersión de los yacimientos según sus puntuaciones en los factores 3 y 2 del ACP de control.

Finalmente si observamos el gráfico de los factores 2 y 3 (*figura 39*) vemos que los conjuntos A y B aparecen muy confundidos en el centro del espacio factorial. Esto es así porque se ha prescindido de F1, que es el que más porcentaje de la varianza explica. Sin embargo, por un lado es interesante porque de nuevo los grupos 3 y 9 se destacan por su accesibilidad (puntuaciones bajas en F2). Por otro, sólo la combinación de los factores 2 y 3 logra explicar los casos aislados (grupos 5, 12 y 13).

#### *Valoración cronológica*

Hemos visto que aunque la nube de puntos no muestra agrupaciones bien espaciadas y por tanto los grupos de *cluster* no son completamente consistentes, sí hay cierta estructuración y tendencias de los datos. Y que además esto se relaciona *grosso modo* con la cronología.

Como los 13 grupos son demasiados y sobre todo presentan zonas de contacto de asignación dudosa, en la valoración cronológica del control sobre los entornos voy a emplear los conjuntos A, B y C (con matices internos) y los casos aislados, como se ve en la siguiente *tabla 24*.

**Tabla 24.** Tabla de reasignación de grupos tras la valoración de los resultados del *cluster* de los yacimientos según sus puntuaciones factoriales en el ACP de control.

Conjunto	Subconjunto	Grupos <i>cluster</i>
A	1	1 y 4
	2	2 y 7
B	1	3 y 9
	2	8 y 10
C	1	6
	2	11
X		5
Y		12
Z		13



La *tabla 25* y la gráfica de la *figura 40* muestran claramente la separación cronológica de los dos conjuntos principales, A y B, a pesar de que estos conjuntos se han creado sobre una clasificación con posibles casos ambiguos.

El conjunto A es casi exclusivo del Bronce Final y Hierro I, especialmente el subconjunto A2, que no sólo está prácticamente ausente en otros periodos sino que además no tiene ningún caso de cronología indeterminada. Se podría decir por tanto que A2 es el modelo para estos periodos, mientras que A1 es un subconjunto ligeramente más heterogéneo en su distribución cronológica. Por tanto, durante el Bronce Final y el Hierro I los yacimientos tienen una relación con su entorno que se caracteriza por lo siguiente:

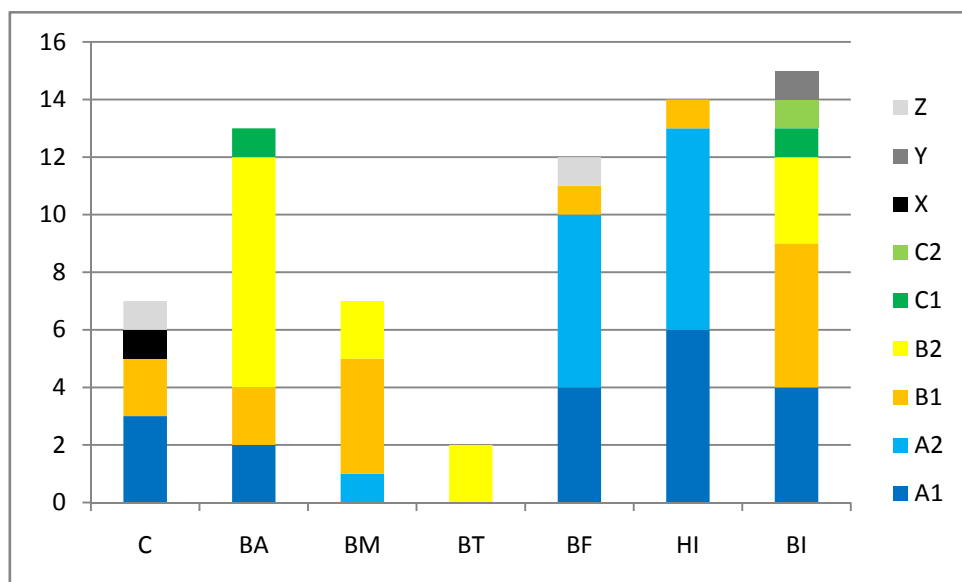
- Accesibilidad relativamente mala e irregular, probablemente por su proximidad a los ríos (puntuaciones negativas en F1 y en torno a 0 o positivas en F2).
- Una buena visibilidad pese a una baja prominencia (puntuaciones negativas en F1 y altas en F3).

Estas características son más acusadas en los yacimientos de A1 que en los de A2, que llegan a confundirse con algunos del conjunto B.

El conjunto B, prescindiendo de los caso de cronología indefinida, está principalmente formado por yacimientos pertenecientes al Bronce Antiguo y Medio, y en menos medida a los periodos anterior y posterior. Además se observa una tendencia interna dentro de B por la distinción de los subgrupos B1 y B2. Durante el Calcolítico la situación está poco clara, habiendo casos de los dos conjuntos principales y aislados, pero dentro de los de B, sólo está presente el primer subconjunto. Sin embargo en el Bronce Antiguo eclosiona el B2 que es claramente predominante. En el periodo siguiente se mantienen los dos subconjuntos, pero ahora es el B1 el que predomina. Finalmente en el Bronce Tardío sólo está presente el B2.

**Tabla 25.** Muestra la incidencia de los periodos por conjuntos de control (los yacimientos con más de una cronología aparecen más de una vez en la tabla, por lo que el número total es mayor que el de la muestra).

	C	BA	BM	BT	BF	HI	BI	Total
<b>A1</b>	3	2	0	0	4	6	4	<b>19</b>
<b>A2</b>	0	0	1	0	6	7	0	<b>14</b>
<b>B1</b>	2	2	4	0	1	1	5	<b>15</b>
<b>B2</b>	0	8	2	2	0	0	3	<b>15</b>
<b>C1</b>	0	1	0	0	0	0	1	<b>2</b>
<b>C2</b>	0	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
<b>X</b>	1	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<b>Y</b>	0	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
<b>Z</b>	1	0	0	0	1	0	0	<b>2</b>
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>70</b>



**Figura 40.** Gráfico de columnas apiladas que representa los datos de la tabla 25.

Parece por tanto que en el Bronce el modelo es el conjunto B aunque hay que hacer la distinción entre sus dos subconjuntos. B1 se caracteriza por la óptima accesibilidad del entorno desde el yacimiento. Sus características son:

- Buena accesibilidad (Puntuaciones negativas en F2).
- No son muy prominentes respecto a su entorno (Puntuaciones entorno a 0 en F1).
- Tampoco destacan dentro de la muestra de yacimientos por su visibilidad (puntuaciones bajas en F3).
- Las características que definen la relación de los yacimientos de B2 con sus entornos son:
- Peor accesibilidad que B1 (puntuaciones más altas, generalmente positivas, en F2).
- Gran prominencia efectiva sobre el entorno (Puntuaciones altas en F1).
- Un control visual del entorno – y una presencia visual en el entorno – que puede ser muy elevado (puntuaciones altas F3 en el grupo 8) o media-baja (puntuaciones en torno a 0 o negativas en F3 en el grupo 10).

Así pues, en el Bronce Antiguo hay una tendencia a buscar posiciones predominantes y en muchos casos con buen control visual, aunque esto se haga renunciando a una buena accesibilidad al entorno. Se diría que hay una necesidad de ver y ser visto. Sin embargo en el Bronce Medio, mientras algunos yacimientos mantienen esta exigencia, otros prescinden de la prominencia y visibilidad para ganar un mejor acceso a su territorio circundante. El Bronce Tardío, si hemos de hacer caso a los pocos datos disponibles, sería un periodo en el que de nuevo hay una preferencia por habitar posiciones prominentes y visuales en detrimento de la accesibilidad del territorio.

El conjunto C es demasiado pequeño (tres casos) y cronológicamente indeterminado (sólo hay una asignación cronológica clara) para intentar derivar de él algún tipo de conclusión en relación a la periodización. Son casos de yacimientos situados en cerros testigo o lomas rodeados de terreno llano, por lo que tienen una visibilidad muy buena y una accesibilidad y prominencia también bastante buenas.

Igualmente los tres casos aislados son cronológicamente poco informativos, aunque resulta significativo que los dos que tienen cronología asociada pertenecen al Calcolítico, el periodo más heterogéneo.

### 8.3. Las condiciones defensivas

Hasta ahora los análisis se han realizado sobre un conjunto de variables que expresaban alguna propiedad del entorno de los yacimientos definido por un radio de 3 km, salvo algunos datos topográficos (altitud absoluta, distancia al río principal...). Sin embargo, a la hora de evaluar las condiciones defensivas de los asentamientos conviene utilizar entornos más restringidos, pues no se estudia la relación con el entorno, sino con un vecino belicoso. Como ya se ha argumentado (*capítulo 7*) se han utilizado dos distancias en este análisis: 40 m para la zona de ataque/defensa inmediata del asentamiento y los 100 m siguientes como zona de acceso. Además, como veremos a continuación, la estrategia de análisis ha de ser diferente, por lo que prescindo de usar el Análisis de Componentes Principales.

Los datos analizados han sido obtenidos mediante la herramienta descrita en el *capítulo 7*. La tabla de atributos de la hoja *raster* resultante contiene, una vez ordenada en una hoja de cálculo, 8 variables para cada yacimiento (*tablas 26 y 27*). Cada variable es el grado de defensa en un sector, comenzando por el N y continuando en sentido dextrógiro. Estos datos contienen potencialmente mucha información, pero dependerá de los propósitos de cada estudio cómo tratarlos y qué derivar de ellos.

El objetivo aquí es lograr una clasificación basada en la forma y grado de las condiciones defensivas de los yacimientos. Por ejemplo, interesa conocer si un yacimiento se halla en un espolón con un único lado accesible, independientemente de la orientación del mismo. Por tanto, nos interesan los grados de defensa de los sectores, independientemente de la orientación en la que estén. Pero no podemos renunciar a la posición relativa de esos sectores, pues es lo que conforma la morfología defensiva del yacimiento.

La solución adoptada ha sido contemplar los grados de defensa y la forma del siguiente modo (*tablas 26 y 27*):

- El número de sectores de cada grado de defensa (de 2 a 8) que tiene cada yacimiento. Por tanto aquí se consideran 7 variables.
- La morfología defensiva, expresada por el número y amplitud de los flancos mal defendidos. Se ha entendido como flanco mal defendido el sector o conjunto de sectores yuxtapuestos con grado de defensa igual o inferior a 4. Por amplitud de flanco se entiende el número de sectores que lo conforman. En la muestra analizada los yacimientos tienen entre ninguno y 2 flancos. Esta información se ha recogido en dos variables: amplitud del primer flanco (el más amplio y/o de menor grado) y amplitud del segundo flanco. Así aquellos yacimientos sin flancos mal defendidos tendrán una puntuación 0 en ambas variables. Aquellos completamente mal defendidos tendrán una puntuación de 8 (todos los sectores) en el primer flanco y 0 en el segundo. Cualquier situación intermedia vendrá expresada por una pareja de números siendo mayor el primero y cuya suma no exceda de 6.
- Descriptores estadísticos básicos. Se ha introducido tres variables que resumen el conjunto de sectores: el mínimo, el máximo y la media. En cierto modo son redundantes, pues la información que expresan está contenida en las siete variables del punto 1. Sin embargo resultan útiles para clarificar la clasificación: el mínimo y el máximo polarizan el conjunto de yacimientos de la muestra, mientras que la media la ordena en función de una calidad defensiva general.

Estas variables derivadas de los datos obtenidos de la tabla de atributos de la hoja *raster* de sectores de defensa de los yacimientos han servido para hacer una clasificación de los yacimientos según sus condiciones naturales de defensa. He realizado esta clasificación por conglomerados jerárquicos por el método de vinculación inter-grupos utilizando como medida de asociación la distancia euclídea al cuadrado. Una vez obtenidos los grupos para las dos zonas analizadas para cada yacimiento, se pueden cruzar las dos clasificaciones llegando a un ordenamiento más refinado. Los resultados se exponen a continuación.

### 8.3.1. La zona de ataque/defensa: clasificación de las condiciones defensivas próximas

La clasificación de los yacimientos según sus condiciones defensivas próximas, en una zona definida por una distancia de 40 m desde su perímetro, ha sido realizada mediante un *cluster* de las variables 12 variables que aparecen en la *tabla 26*. A continuación se muestra el dendrograma resultante (*figura 41*) y se comentan los grupos.

#### *Grupo 1: Espolón*

Este grupo se caracteriza por que los yacimientos que lo componen tienen buenas condiciones generales de defensa (medias por encima de 6, excepto Peñarroya I con 4,5) pero un flanco estrecho (de 1 sector de amplitud, excepto Bardallur con 2) mal defendido (mínimos entre 3 y 4). En otras palabras, son yacimientos en espolón con un acceso natural (Bardallur 1, Cab. Azud, Cer. San Pablo, Lugar Viejo III, P. Águila, P. Enroque, Peñarroya I).

#### *Grupo 2: Ladera*

En este grupo se reúnen los yacimientos que tienen sus condiciones de defensa condicionadas por su posición en una ladera o monoclinal suave (Bco. Campoviejo, Cab. Blanco, Collado Abeja, Las Llanas, Las Pintillas, Lomas Molino, P. Enroque ladera NO, Valdemoracho, Viña Fanlo). Por tanto presentan unas condiciones defensivas contrastadas, con aproximadamente la mitad de sus sectores con grados de defensa por debajo de 4 (flanco accesible con amplitudes entre 3 y 6 sectores) y los restantes ligeramente por encima (medias entre 3,5 y 4,5). En cualquier caso, en general ningún sector suele tener valores elevados (máximas de 5, excepto Bco. Campoviejo y Las Llanas con 6). Tres de ellos (Las Pintillas, El collado de la Abeja y Valdemoracho) presentan la particularidad de presentar un segundo flanco accesible de 1 sector de amplitud.

Además se contempla una variante de este grupo que reúne las mismas características, pero que tiene mejores condiciones de defensa generales. Esta variante está formada por casos inicialmente clasificados en otros grupos (Los Hermanillos y Peñarroya II).

#### *Grupo 3: Relieve de defensa óptima*

Los yacimientos aquí agrupados son aquellos que presentan mejores condiciones de defensa (Cab. Altomira, Cab. Torre I, Cab. Torre II, Cab. Paños, Cab. Buitre, Cab. Gorra Visera, Cab. Sillón, Campablo 2, Las Hermanitas, Los Collados, Lugar Viejo, Lugar Viejo I, Montoque, P. Amarilla, P. Foradada, San Borombón, San Sebastián). Ninguno de sus sectores tiene un grado inferior a 5, y los máximos pueden llegar a 8. Consecuentemente la media es alta (por encima del 6,5 en todos los casos).

Dos de los yacimientos de este grupo (P. Amarilla y P. Foradada) junto con uno exterior a él (La Carrascosa), pueden conformar una variante que extrema las condiciones de defensa (medias por encima de 7,3).

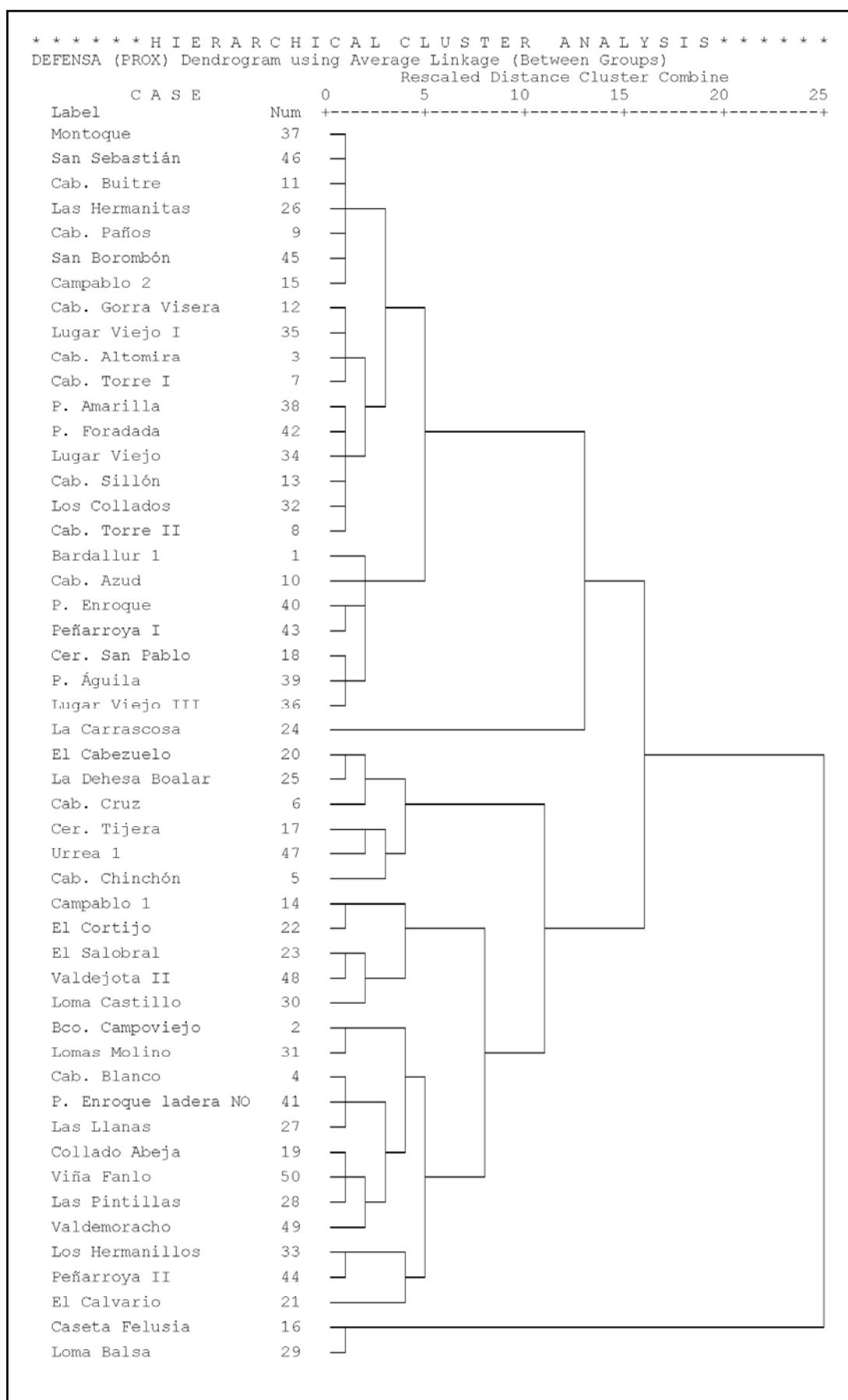
#### *Grupo 4: Relieve de defensa media*

Es un grupo de pequeños cerros con características similares al anterior pero valores más bajos, de modo que algunos de los mínimos sí llegan a 4 y las medias se sitúan entre 5 y 6. Tres de ellos tienen flancos débiles estrechos (con amplitud de 1 a 2 sectores). Son yacimientos que en comparación con los anteriores (si los consideramos “óptimos”) tienen unas condiciones de defensa “medias” (Cab. Chinchón, Cab. Cruz, Cer. Tijera, El Cabezuelo, La Dehesa Boalar, Urrea 1).

El Calvario se introduce como variante más abierta de este grupo, con flanco débil de 4 sectores de amplitud.

**Tabla 26.** Datos crudos de defensa por sectores en la zona de ataque/defensa (distancia < 40 m) y variables derivadas para su análisis.

ID Alfa	Nombre abreviado	Datos iniciales (tabla de atributos de hoja <i>raster</i> )								Variables derivadas para análisis											
		Prox (<40) Sector 1	Prox (<40) Sector 2	Prox (<40) Sector 3	Prox (<40) Sector 4	Prox (<40) Sector 5	Prox (<40) Sector 6	Prox (<40) Sector 7	Prox (<40) Sector 8	Prox (<40) MIN	Prox (<40) MED	Prox (<40) MAX	Prox (<40) Def 2	Prox (<40) Def 3	Prox (<40) Def 4	Prox (<40) Def 5	Prox (<40) Def 6	Prox (<40) Def 7	Prox (<40) Def 8	Prox (<40) Principal	Prox (<40) Secundario
1	Bardallur 1	7	7	6	3	4	7	7	7	3	6,0	7	0	1	1	0	1	5	0	2	0
2	Bco. Campoviejo	5	4	4	4	4	4	5	6	4	4,5	6	0	0	5	2	1	0	0	5	0
3	Cab. Altomira	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,0	7	0	0	0	0	0	8	0	0	0
4	Cab. Blanco	3	5	5	5	4	3	2	2	2	3,6	5	2	2	1	3	0	0	0	5	0
5	Cab. Chinchón	6	7	6	5	5	6	6	7	5	6,0	7	0	0	0	2	4	2	0	0	0
6	Cab. Cruz	6	6	6	6	6	5	4	6	4	5,6	6	0	0	1	1	6	0	0	1	0
7	Cab. Torre I	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,0	7	0	0	0	0	0	8	0	0	0
8	Cab. Torre II	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7,1	8	0	0	0	0	0	7	1	0	0
9	Cab. Paños	6	7	7	7	7	7	6	7	6	6,8	7	0	0	0	0	2	6	0	0	0
10	Cab. Azud	7	4	7	7	7	7	8	7	4	6,8	8	0	0	1	0	0	6	1	1	0
11	Cab. Buitre	7	7	6	7	6	7	8	7	6	6,9	8	0	0	0	0	2	5	1	0	0
12	Cab. Gorra Visera	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,0	7	0	0	0	0	0	8	0	0	0
13	Cab. Sillón	7	7	7	7	7	7	7	8	7	7,1	8	0	0	0	0	0	7	1	0	0
14	Campablo 1	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5,1	6	0	0	0	7	1	0	0	0	0
15	Campablo 2	7	7	5	6	7	7	7	7	5	6,6	7	0	0	0	1	1	6	0	0	0
16	Caseta Felusia	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,0	4	0	0	8	0	0	0	0	8	0
17	Cer. Tijera	6	5	6	5	4	4	6	6	4	5,3	6	0	0	2	2	4	0	0	2	0
18	Cer. San Pablo	7	7	7	8	7	6	5	4	4	6,4	8	0	0	1	1	1	4	1	1	0
19	Collado Abeja	4	5	5	4	5	4	3	3	3	4,1	5	0	2	3	3	0	0	0	4	1
20	El Cabezuelo	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6,0	6	0	0	0	0	8	0	0	0	0
21	El Calvario	4	4	4	4	6	7	7	6	4	5,3	7	0	0	4	0	2	2	0	4	0
22	El Cortijo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,0	5	0	0	0	8	0	0	0	0	0
23	El Salobral	4	4	5	5	5	5	6	5	4	4,9	6	0	0	2	5	1	0	0	2	0
24	La Carrascosa	8	8	8	8	8	8	5	6	5	7,4	8	0	0	0	1	1	0	6	0	0
25	La Dehesa Boalar	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5,9	6	0	0	0	1	7	0	0	0	0
26	Las Hermanitas	7	6	6	7	7	7	8	7	6	6,9	8	0	0	0	0	2	5	1	0	0
27	Las Llanas	5	6	5	3	2	3	4	4	2	4,0	6	1	2	2	2	1	0	0	5	0
28	Las Pintillas	4	5	5	4	5	5	3	3	3	4,3	5	0	2	2	4	0	0	0	3	1
29	Loma Balsa	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,0	4	0	0	8	0	0	0	0	8	0
30	Loma Castillo	4	4	5	5	5	6	6	5	4	5,0	6	0	0	2	4	2	0	0	4	0
31	Lomas Molino	4	4	5	5	4	4	3	4	3	4,1	5	0	1	5	2	0	0	0	6	0
32	Los Collados	7	7	7	7	7	7	8	7	7	7,1	8	0	0	0	0	0	7	1	0	0
33	Los Hermanillos	5	6	6	6	4	3	3	4	3	4,6	6	0	2	2	1	3	0	0	4	0
34	Lugar Viejo	7	7	7	8	8	7	7	7	7	7,3	8	0	0	0	0	0	6	2	0	0
35	Lugar Viejo I	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,0	7	0	0	0	0	0	8	0	0	0
36	Lugar Viejo III	6	4	6	7	7	8	7	6	4	6,4	8	0	0	1	0	3	3	1	1	0
37	Montoque	6	7	7	7	7	6	7	6	6	6,6	7	0	0	0	0	3	5	0	0	0
38	P. Amarilla	7	7	7	7	7	7	8	8	7	7,3	8	0	0	0	0	0	6	2	0	0
39	P. Aguila	7	4	5	6	6	7	7	7	4	6,1	7	0	0	1	1	2	4	0	1	0
40	P. Enroque	8	7	7	7	8	3	5	7	3	6,5	8	0	1	0	1	0	4	2	1	0
41	P. Enroque ladera NO	5	5	4	2	2	3	4	5	2	3,8	5	2	1	2	3	0	0	0	5	0
42	P. Foradada	7	7	7	7	7	8	8	7	7	7,3	8	0	0	0	0	0	6	2	0	0
43	Peñarroya I	7	6	3	5	7	7	8	7	3	6,3	8	0	1	0	1	1	4	1	1	0
44	Peñarroya II	3	3	3	5	7	6	6	4	3	4,6	7	0	3	1	1	2	1	0	4	0
45	San Borombón	6	7	7	7	7	7	7	7	6	6,9	7	0	0	0	0	1	7	0	0	0
46	San Sebastián	6	6	6	7	7	7	7	7	6	6,6	7	0	0	0	0	3	5	0	0	0
47	Urrea I	6	6	5	5	5	4	5	6	4	5,3	6	0	0	1	4	3	0	0	1	0
48	Valdejota II	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4,8	5	0	0	2	6	0	0	0	2	0
49	Valdemoracho	4	5	5	4	5	5	4	4	4	4,5	5	0	0	4	4	0	0	0	3	1
50	Viña Fanlo	4	5	5	5	4	4	3	3	3	4,1	5	0	2	3	3	0	0	0	5	0



**Figura 41.** Dendrograma del *cluster* realizado sobre las variables de las condiciones defensivas de la zona de ataque/defensa (distancia < 40 m).

### *Grupo 5: Relieve de defensa baja*

Los yacimientos del grupo 5 son aquellos destacados en un relieve poco destacado, de modo que sus condiciones medias de defensa son un poco más bajas que en el grupo anterior (medias en torno a 5). Consecuentemente los mínimos de algunos de estos yacimientos entran dentro de los grados considerados de mala defensa natural (mínimos de 4 en el 60% de los casos) y por tanto presentan flancos accesibles con amplitud entre 2 y 4 sectores. Así son yacimientos en relieves con condiciones de defensa “bajas” (Campablo 1, El Cortijo, El Salobral, Loma Castillo, Valdejota II).

### *Grupo 6: En llano (defensa nula)*

Los dos yacimientos que se agrupan aquí son dos casos extremos de yacimientos *completamente* en llano. Sus 8 sectores tienen un grado de defensa de 4 (Caseta Felusia y Loma Balsa)

### *Grupo 7 (extinguido)*

El grupo 7 es sin duda el menos consistente, pues reúne tres yacimientos bastante distintos entre sí. Sus medias están en torno a 5, con máximos de 6 o 7 y mínimos de 3 o 4. Los tres tienen un flanco débil de 4 sectores. Quedan aquí agrupados por no coincidir bien con las otras categorías, pero en realidad podrían considerarse variantes de otros grupos. Los Hermanillos y Peñarroya II pueden ser una variante del grupo 2 con mejores condiciones de defensa (máximo y media superiores a las del grupo 2). El Calvario representaría una variante o bien del grupo 4 con su lado débil anormalmente amplio y consecuentemente media más baja que la del grupo, o bien del grupo 5 pero con un máximo y una media altos para ese conjunto.

### *Grupo 8 (extinguido)*

La Carrascosa es un caso único dentro de la muestra analizada, pues la verticalidad de las pareces del espolón que ocupa hacen que 6 de los 8 sectores tengan un grado de defensa de 8. Los otros dos tienen 5 y 6. La media es 7,4, la mayor de todos los yacimientos analizados. Es un yacimiento en espolón, pero ninguno de los dos sectores de su flanco menos defendido puede ser considerado débil. Por un lado, su excelente condición defensiva y ausencia de sectores débiles aconsejan asimilar La Carrascosa al grupo 3, del que sería una variante por su forma en espolón en la que también podría entrar Peña Foradada y Peña Amarilla. Por otra parte se puede considerar que haya que sacar a La Carrascosa del grupo 8, y a Peña Foradada y Peña Amarilla del grupo 3, para formar con estos yacimientos una variante del grupo 1: yacimientos en espolón con condiciones de defensa excepcionalmente elevadas (en los casos de Peña Foradada y Peña Amarilla sus medias son también muy altas, de 7,3, las mayores por debajo de La Carrascosa).

## 8.3.2. La zona de acceso: clasificación de las condiciones defensivas lejanas

Los 100 m más allá de la zona de defensa/ataque se consideran como zona de acceso. Para la clasificación de esta zona se utilizan las variables de la *tabla 27*. Pero ahora interesa una clasificación de las condiciones generales, sólo se utilizan 5 variables: mínimo, máximo, media y amplitud del primer y del segundo flancos accesibles. El dendrograma resultante del *cluster* sobre estas variables se muestra en la *figura 42*. A continuación se comenta la clasificación.

### *Grupo 1: Acceso difícil*

Los yacimientos que aparecen bajo este grupo son aquellos ubicados en posiciones más elevadas o contextos más abruptos, por lo que sus condiciones de defensa se mantienen con alto grado a pesar



de que se aumente la distancia del análisis. Los casos típicos de este grupo son yacimientos muy elevados y en terreno accidentado (Cabezo del Buitre, San Borombón, La Carrascosa). Pero también hay yacimientos que mantienen buenas condiciones de defensa sólo por su elevación respecto a un entorno relativamente llano (Cabezo de Altomira, San Pablo). Por último hay yacimientos que mantienen un buen nivel de defensa distante por la rugosidad o pendiente mantenida del terreno, aunque la altitud del yacimiento no sea muy elevada (Las Pintillas, Los Hermanitos).

Forman parte de este grupo los siguientes yacimientos: Cab. Altomira, Cab. Chinchón, Cab. Torre I, Cab. Buitre, Cab. Gorra Visera, Cab. Sillón, Campablo 2, Cer. San Pablo, El Calvario, La Carrascosa, La Dehesa Boalar, Las Hermanitas, Las Pintillas, Los Collados, Los Hermanillos, Lugar Viejo I, Montoque, P. Amarilla, P. Águila, P. Enroque, P. Foradada, San Borombón.

### *Grupo 2: Acceso medio*

En este grupo se reúnen aquellos yacimientos que, independientemente de sus condiciones defensivas próximas, están en contextos permeables. De forma que la llegada de un atacante hasta el perímetro de defensa del propio poblado no se vería muy dificultada por el terreno. Son yacimientos en pequeños relieves o laderas vinculadas al llano, pero no estrictamente en él de modo que la facilidad de acceder al yacimiento no es simétrica. Este grupo no discrimina entre yacimientos según sus condiciones de defensa inmediatas, así no extraña ver reunidos casos situados en pendientes más o menos suaves (Viña de los Fanlo) y yacimientos situados en cerros más protegidos (Cabezo de la Cruz, Cabezo de los Paños). Sin embargo este grupo sí es útil para discriminar entre cerros bien protegidos en un contexto llano (Cabezo de la Torre II) de otros yacimientos en cerros en contextos más abruptos, que aparecen en el grupo 2 (Cabezo de la Torre II, Cabezo Sillón).

En este grupo aparecen los siguientes yacimientos: Bardallur 1, Cab. Blanco, Cab. Cruz, Cab. Torre II, Cab. Paños, Cab. Azud, Campablo 1, Cer. Tijera, Collado Abeja, El Cortijo, El Salobral, Las Llanas, Lugar Viejo, Lugar Viejo III, P. Enroque ladera NO, Peñarroya I, Peñarroya II, San Sebastián, Urrea 1, Valdemoracho, Viña Fanlo.

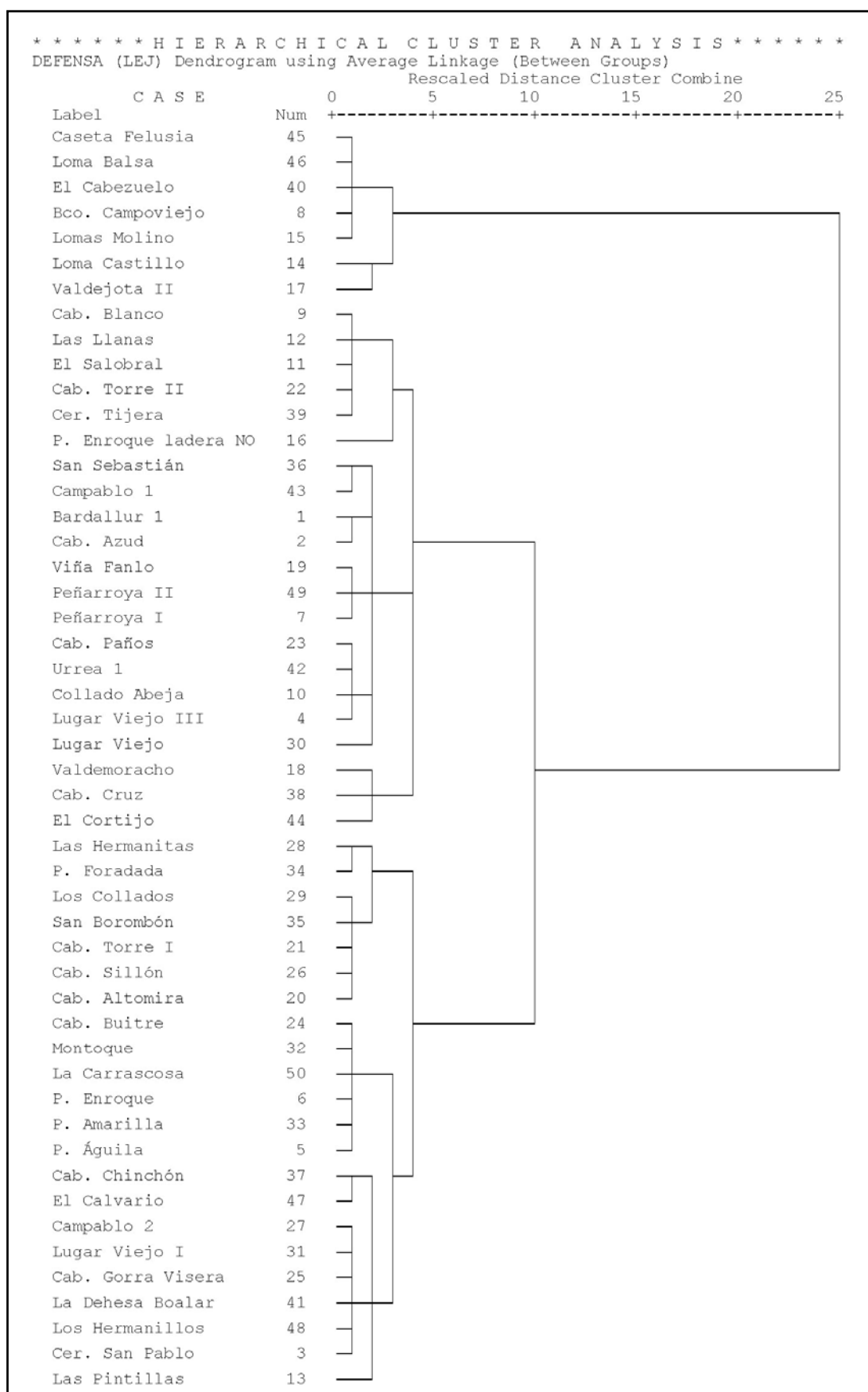
### *Grupo 3: Acceso fácil*

El último grupo recoge los casos que se ubican totalmente en llano. Su nivel de defensa distante es bajo por la mayoría de sus lados, independientemente de que después el yacimiento pueda estar o no en una posición más o menos defendible. Así la Loma del Castillo o El Cabezuelo resultan fáciles de alcanzar, pero tienen unas condiciones relativamente buenas para la defensa próxima. El caso contrario es el de la Caseta Felusia o la Loma de la Balsa que tienen una mala defensa a cualquier distancia.

En este grupo tenemos el Bco. Campoviejo, Caseta Felusia, El Cabezuelo, Loma Balsa, Loma Castillo, Lomas Molino y Valdejota II.

**Tabla 27.** Datos crudos de defensa por sectores en la zona de acceso (40 m < distancia < 100 m) y variables derivadas para su análisis.

ID Alfa	Nombre abreviado	Datos iniciales (tabla de atributos de hoja <i>raster</i> )								Variables derivadas para análisis											
		Lej (>40) Sector 1	Lej (>40) Sector 2	Lej (>40) Sector 3	Lej (>40) Sector 4	Lej (>40) Sector 5	Lej (>40) Sector 6	Lej (>40) Sector 7	Lej (>40) Sector 8	Lej (>40) MIN	Lej (>40) MED	Lej (>40) MAX	Lej (>40) Def 2	Lej (>40) Def 3	Lej (>40) Def 4	Lej (>40) Def 5	Lej (>40) Def 6	Lej (>40) Def 7	Lej (>40) Def 8	Lej (>40) Principal	Lej (>40) Secundario
1	Bardallur 1	7	5	5	4	4	4	6	6	4	5,1	7	0	0	3	2	2	1	0	3	0
2	Bco. Campoviejo	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3,6	4	0	3	5	0	0	0	0	8	0
3	Cab. Altomira	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6,1	7	0	0	0	0	7	1	0	0	0
4	Cab. Blanco	5	5	5	5	4	3	3	4	3	4,3	5	0	2	2	4	0	0	0	4	0
5	Cab. Chinchón	5	5	6	5	6	5	5	5	5	5,3	6	0	0	0	6	2	0	0	0	0
6	Cab. Cruz	3	3	4	5	5	5	3	5	3	4,1	5	0	3	1	4	0	0	0	3	1
7	Cab. Torre I	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6,6	7	0	0	0	0	3	5	0	0	0
8	Cab. Torre II	5	5	4	3	4	4	4	5	3	4,3	5	0	1	4	3	0	0	0	5	0
9	Cab. Paños	6	6	4	3	5	5	6	6	3	5,1	6	0	1	1	2	4	0	0	2	0
10	Cab. Azud	6	3	3	3	6	7	6	6	3	5,0	7	0	3	0	0	4	1	0	3	0
11	Cab. Buitre	7	7	6	5	3	6	7	7	3	6,0	7	0	1	0	1	2	4	0	1	0
12	Cab. Gorra Visera	6	6	5	4	5	6	6	6	4	5,5	6	0	0	1	2	5	0	0	1	0
13	Cab. Sillón	7	7	7	6	6	7	6	7	6	6,6	7	0	0	0	0	3	5	0	0	0
14	Campablo 1	7	5	3	3	3	3	6	6	3	4,5	7	0	4	0	1	2	1	0	4	0
15	Campablo 2	6	6	4	5	5	6	6	6	4	5,5	6	0	0	1	2	5	0	0	1	0
16	Caseta Felusia	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,0	4	0	0	8	0	0	0	0	8	0
17	Cer. Tijera	6	3	4	4	4	3	5	5	3	4,3	6	0	2	3	2	1	0	0	5	0
18	Cer. San Pablo	5	6	6	6	4	5	5	4	4	5,1	6	0	0	2	3	3	0	0	1	1
19	Collado Abeja	5	5	5	4	3	6	6	5	3	4,9	6	0	1	1	4	2	0	0	2	0
20	El Cabezuelo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,0	4	0	0	8	0	0	0	0	8	0
21	El Calvario	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5,4	6	0	0	0	5	3	0	0	0	0
22	El Cortijo	5	4	4	4	5	5	5	5	4	4,6	5	0	0	3	5	0	0	0	3	0
23	El Salobral	3	4	3	4	4	5	5	5	3	4,1	5	0	2	3	3	0	0	0	5	0
24	La Carrascosa	6	7	7	7	6	6	3	3	3	5,6	7	0	2	0	0	3	3	0	2	0
25	La Dehesa Boalar	6	6	6	6	5	4	5	5	4	5,4	6	0	0	1	3	4	0	0	1	0
26	Las Hermanitas	7	7	5	5	6	6	8	7	5	6,4	8	0	0	0	2	2	3	1	0	0
27	Las Llanas	5	5	5	3	3	3	3	5	3	4,0	5	0	4	0	4	0	0	0	4	0
28	Las Pintillas	5	5	5	4	5	5	5	4	4	4,8	5	0	0	2	6	0	0	0	1	1
29	Loma Balsa	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,0	4	0	0	8	0	0	0	0	8	0
30	Loma Castillo	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4,3	5	0	0	6	2	0	0	0	6	0
31	Lomas Molino	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3,6	4	0	3	5	0	0	0	0	8	0
32	Los Collados	6	7	7	7	6	5	7	7	5	6,5	7	0	0	0	1	2	5	0	0	0
33	Los Hermanillos	5	6	6	5	5	5	6	4	4	5,3	6	0	0	1	4	3	0	0	1	0
34	Lugar Viejo	7	7	6	2	3	4	7	7	2	5,4	7	1	1	1	0	1	4	0	3	0
35	Lugar Viejo I	6	6	6	4	5	5	6	6	4	5,5	6	0	0	1	2	5	0	0	1	0
36	Lugar Viejo III	6	6	3	3	5	6	5	4	3	4,8	6	0	2	1	2	3	0	0	2	1
37	Montoque	6	6	7	7	7	6	3	6	3	6,0	7	0	1	0	0	4	3	0	1	0
38	P. Amarilla	7	7	4	6	7	7	7	7	4	6,5	7	0	0	1	0	1	6	0	1	0
39	P. Águila	7	4	4	7	7	7	7	7	4	6,3	7	0	0	2	0	0	6	0	2	0
40	P. Enroque	6	7	7	6	5	4	5	6	4	5,8	7	0	0	1	2	3	2	0	1	0
41	P. Enroque ladera NO	4	6	6	7	4	2	3	4	2	4,5	7	1	1	3	0	2	1	0	5	0
42	P. Foradada	7	7	5	7	7	7	7	8	5	6,9	8	0	0	0	1	0	6	1	0	0
43	Peñarroya I	3	3	6	6	6	6	5	2	2	4,6	6	1	2	0	1	4	0	0	3	0
44	Peñarroya II	4	3	3	6	5	6	6	6	3	4,9	6	0	2	1	1	4	0	0	3	0
45	San Borombón	6	7	7	5	6	7	7	7	5	6,5	7	0	0	0	1	2	5	0	0	0
46	San Sebastián	6	3	3	3	4	6	5	6	3	4,5	6	0	3	1	1	3	0	0	4	0
47	Urrea I	6	5	6	5	3	4	6	6	3	5,1	6	0	1	1	2	4	0	0	2	0
48	Valdejota II	4	3	4	4	4	4	4	5	3	4,0	5	0	1	6	1	0	0	0	7	0
49	Valdemoracho	4	5	4	4	4	5	5	4	4	4,4	5	0	0	5	3	0	0	0	3	2
50	Viña Fanlo	6	5	5	5	4	3	3	5	3	4,5	6	0	2	1	4	1	0	0	3	0



**Figura 42.** Dendrograma del *cluster* realizado sobre las variables de las condiciones defensivas de la zona de acceso (40 m < distancia < 100 m).

### 8.3.3. Clasificación combinada de las condiciones defensivas

El cruce de las categorías de las dos clasificaciones anteriores da lugar a la ordenación definitiva de los yacimientos según las condiciones de defensa natural de la posición que ocupan. Potencialmente puede haber 18 clases (6 x 3), pero como algunas de ellas no se dan, en la práctica hay 13 grupos combinados (*tabla 28*).

**Tabla 28.** Clasificaciones inicial y combinada de las condiciones defensivas y de acceso de los yacimientos.

Nombre abreviado	Clasificación por zona de ataque/defensa	Clasificación por zona de acceso	Clasificación combinada
P. Enroque	1	1	1-1
Cer. San Pablo			
P. Águila			
Peñarroya I		2	1-2
Cab. Azud			
Lugar Viejo III			
Bardallur I	2	1	2-1
Los Hermanillos			
Las Pintillas			
Viña Fanlo		2	2-2
Cab. Blanco			
Collado Abeja			
Las Llanas			
P. Enroque ladera NO		3	2-3
Peñarroya II			
Valdemoracho			
Bco. Campoviejo	3	1	3-1
Lomas Molino			
Cab. Altomira			
Cab. Buitre			
Cab. Sillón			
Los Collados			
San Borombón			
Cab. Torre I			
P. Amarilla			
Lugar Viejo I			
Campablo 2		2	3-2
Cab. Gorra Visera			
Montoque			
La Carrascosa			
Las Hermanitas			
P. Foradada			
Cab. Paños			
San Sebastián			
Cab. Torre II	4	1	4-1
Lugar Viejo			
Cab. Chinchón			
El Calvario		2	4-2
La Dehesa Boalar			
Cab. Cruz			
Urrea I	5	3	4-3
Cer. Tijera			
El Cabezuelo			
Campablo 1		2	5-2
El Cortijo			
El Salobral			
Valdejota II	6	3	5-3
Loma Castillo			
Loma Balsa			
Caseta Felusia	6	3	6-3

### 8.3.4. Valoración cronológica

Veamos ahora cómo se distribuyen los grupos, iniciales y combinados, a lo largo del periodo estudiado.

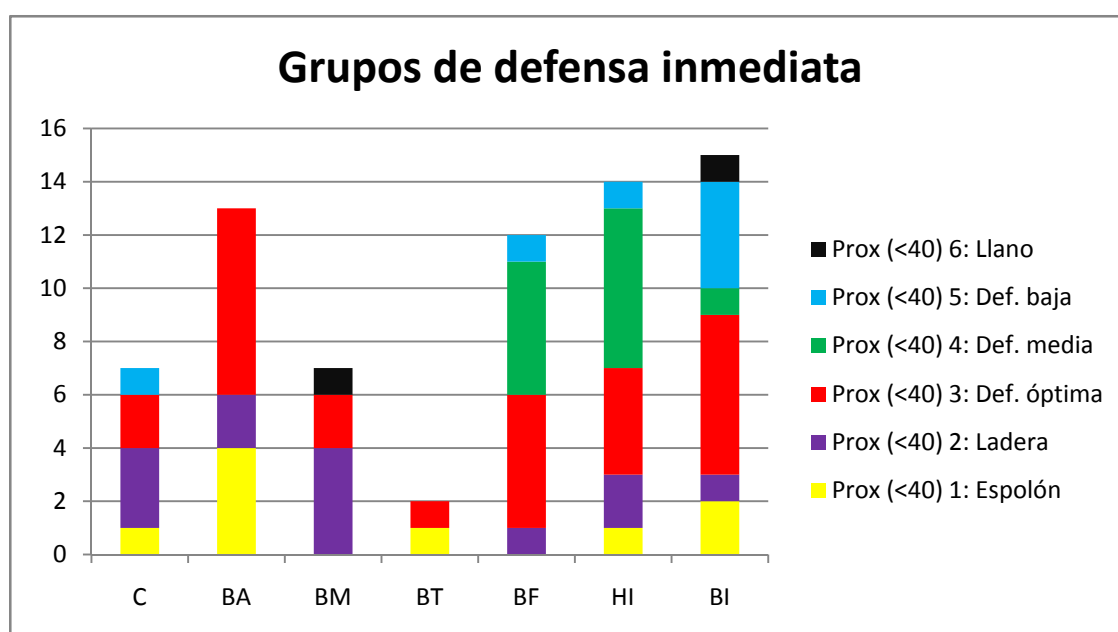
#### Condiciones defensivas de la zona de ataque/defensa

La tabla (*tabla 29*) y el gráfico (*figura 43*) que representan la clasificación por las condiciones naturales para la defensa inmediata en relación con los periodos estudiados muestran tendencias interesantes, con un patrón diferentes para los casos del Bronce Antiguo y Medio, y también entre estos y el Bronce Final y Hierro I. Sin embargo también hay un contraste marcado entre hay que destacar la presencia de yacimientos de defensa óptima en todos los periodos estudiados.

En el Calcolítico hay equilibrio entre yacimientos bien defendidos (grupos 1 y 3) y yacimientos más débiles (grupos 2 y 5). Dentro de cada lado de esta división destacan los yacimientos en posiciones muy elevadas entre los yacimientos bien defendidos y los de ladera entre los débiles. De hecho, tras el Bronce Medio, este es el periodo donde los yacimientos de ladera son proporcionalmente más importantes.

**Tabla 29.** Muestra la incidencia de los periodos por grupos de defensa próxima (los yacimientos con más de una cronología aparecen más de una vez en la tabla, por lo que el número total es mayor que el de la muestra).

	C	BA	BM	BT	BF	HI	BI	Total
<b>1: Espolón</b>	1	4	0	1	0	1	2	<b>9</b>
<b>2: Ladera</b>	3	2	4	0	1	2	1	<b>13</b>
<b>3: Def. óptima</b>	2	7	2	1	5	4	6	<b>27</b>
<b>4: Def. media</b>	0	0	0	0	5	6	1	<b>12</b>
<b>5: Def. baja</b>	1	0	0	0	1	1	4	<b>7</b>
<b>6: Llano</b>	0	0	1	0	0	0	1	<b>2</b>
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>70</b>



**Figura 43.** Gráfico de columnas apiladas que representa los datos de la *tabla 29*.

El Bronce Antiguo está dominado por yacimientos fuertemente defendidos, especialmente por los que ocupan posiciones elevadas inexpugnables (grupo 3) pero con una presencia no desdeñable de posiciones en espolón con un acceso natural (grupo 1). Hay dos casos de yacimientos clasificados como yacimientos en ladera, lo que es una posición cuya debilidad no encaja dentro de la tónica general del conjunto. No obstante deben tenerse en cuenta las particularidades de estos dos casos: la posición de Los Hermanillos está condicionada por su función minero-metalúrgica y Las Pintillas es un yacimiento cuya datación recae en la transición del Bronce Antiguo al Medio, y quizás podría estar señalando el inicio del cambio de patrón.

El Bronce Medio, en claro contraste con el periodo anterior, es el periodo de los yacimientos en ladera (grupo 2), a los que hay que añadir un yacimiento en llano (grupo 6), único representante de esta clase con cronología bien definida. Sin embargo hay dos yacimientos del Bronce Medio que pertenecen al tipo de defensa óptima (grupo 3): Peña Amarilla y Cabezo de la Torre I. Significativamente ambos tienen también fase del periodo anterior.

En el Bronce Tardío los dos yacimientos conocidos vuelven a formar parte de los tipos bien defendidos, pero este reducido número de casos aconseja mucha prudencia a la hora de generalizar esta observación.

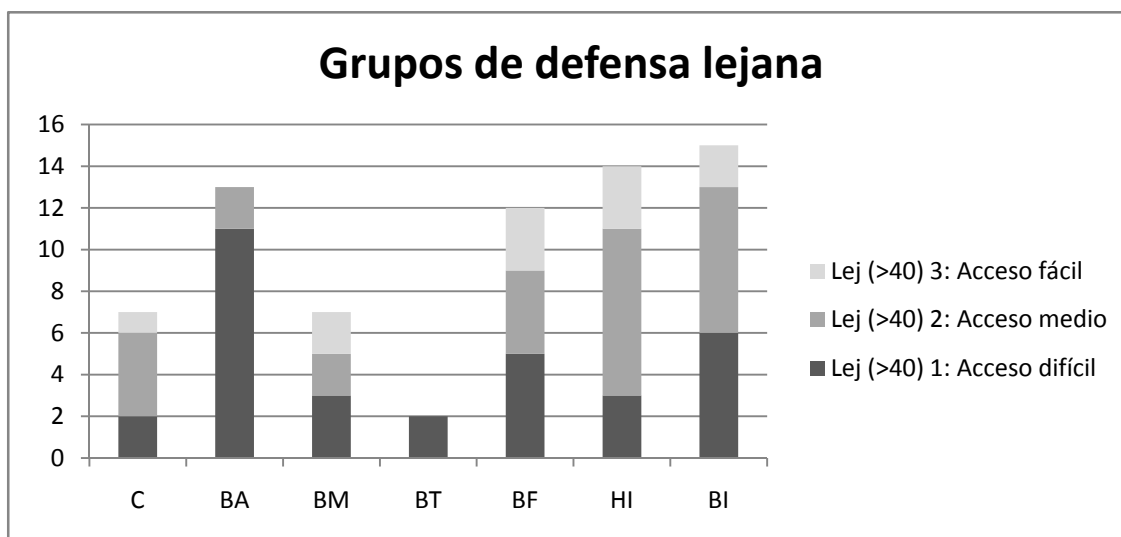
En el Bronce Final-Hierro I se produce otro cambio notable con la aparición de nuevos tipos que destacan por sus condiciones defensivas medias y bajas pese a ocupar relieves ligeramente destacados (grupos 4 y 5). Sin embargo esto no significa que a partir del Bronce Final desaparezcan los yacimientos naturalmente bien defendidos (grupos 1 y 3). En el Bronce Final hay cierto equilibrio entre estas nuevas clases y los yacimientos bien defendidos, pero en el Hierro I la balanza se inclina visiblemente hacia los primeros, sobre todo si junto a ellos contamos los yacimientos de ladera.

#### Condiciones defensivas de la zona de acceso

Las condiciones de defensa lejana (*tabla 30 y figura 44*), que reflejan la dificultad de acceso hasta la zona de confrontación frente al yacimiento, muestran un contraste muy neto entre el Bronce Antiguo, dominado por el acceso más difícil y sólo 2 casos de 13 del medio, y el resto de periodos en los que predomina el acceso de dificultad media-fácil, con mayor o menor participación de la difícil. Los dos casos del Bronce Tardío son también de acceso difícil, con las reservas que exige su escasa muestra.

**Tabla 30.** mostrando la incidencia de los periodos por grupos de defensa lejana (los yacimientos con más de una cronología aparecen más de una vez en la tabla, por lo que el número total es mayor que el de la muestra).

	C	BA	BM	BT	BF	HI	BI	TOTAL
<b>1: Acceso difícil</b>	2	11	3	2	5	3	6	<b>32</b>
<b>2: Acceso medio</b>	4	2	2	0	4	8	7	<b>27</b>
<b>3: Acceso fácil</b>	1	0	2	0	3	3	2	<b>11</b>
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>70</b>



**Figura 44.** Gráfico de columnas apiladas que representa los datos de la *tabla 30*.

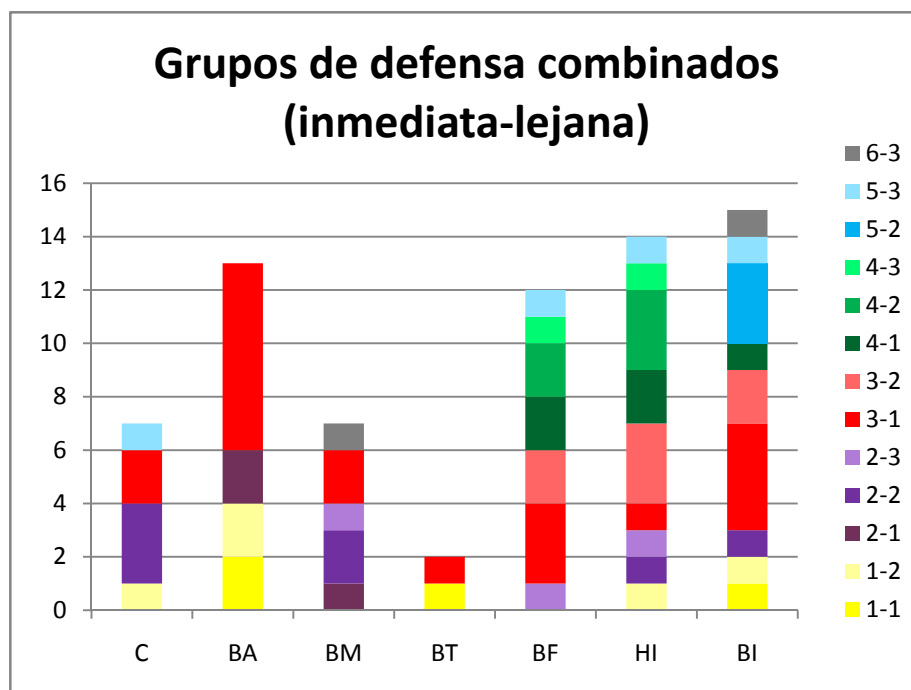
### Condiciones defensivas combinadas

Al combinar las dos clasificaciones anteriores el panorama se complica, pero gana en matices interesantes (*tabla 31* y *figura 45*). Por ejemplo, en el caso del Bronce Antiguo, los dos yacimientos de ladera tienen el acceso difícil, lo que resulta consecuente con la obsesión defensiva que caracteriza el periodo. Por el contrario sólo uno de los casos de ladera del Bronce Medio tiene este acceso difícil. Sin embargo para lo que resulta más útil esta clasificación cruzada es para establecer distinciones dentro de los grupos más amplios. Así, dentro de los yacimientos con unas condiciones naturales de defensa inmediata óptimas, resulta interesante diferenciar entre los que están situados en lugares difíciles de alcanzar y aquellos más accesibles. No sorprende que estos últimos sólo estén presentes en el Bronce Final-Hierro I. Así, se ve que el aparente equilibrio que se mantenía en estos dos periodos entre los yacimientos más fuertes y los más débiles se inclina realmente hacia los segundos.

**Tabla 31.** Muestra la incidencia de los periodos por grupos de defensa combinada (los yacimientos con más de una cronología aparecen más de una vez en la tabla, por lo que el número total es mayor que el de la muestra).

	C	BA	BM	BT	BF	HI	BI	TOTAL
1-1	0	2	0	1	0	0	1	4
1-2	1	2	0	0	0	1	1	5
2-1	0	2	1	0	0	0	0	3
2-2	3	0	2	0	0	1	1	7
2-3	0	0	1	0	1	1	0	3
3-1	2	7	2	1	3	1	4	20
3-2	0	0	0	0	2	3	2	7
4-1	0	0	0	0	2	2	1	5
4-2	0	0	0	0	2	3	0	5
4-3	0	0	0	0	1	1	0	2
5-2	0	0	0	0	0	0	3	3
5-3	1	0	0	0	1	1	1	4
6-3	0	0	1	0	0	0	1	2
TOTAL	7	13	7	2	12	14	15	70





**Figura 45.** Gráfico de columnas apiladas que representa los datos de la *tabla 31*.

## 9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este último capítulo está articulado en torno a tres ejes: la discusión sobre los métodos y variables empleados en el análisis de los entornos de los yacimientos; la visión diacrónica de los patrones de asentamiento; una valoración de las consecuencias de las transformaciones del paisaje para la visibilidad e interpretación del registro arqueológico. Finalmente se presenta esquemáticamente las principales conclusiones de este trabajo.

### 9.1. Discusión sobre la pertinencia de las variables y los métodos utilizados

#### 9.1.1. Las variables

En el trabajo presentado se han analizado muchos rasgos del entorno geográfico de los yacimientos a través de muchas variables. Pero esto no debe llevar a engaño. En realidad no se han analizado muchas dimensiones de la realidad, sino unas muy concretas desde varios enfoques. Esto es así porque en la base de todos los análisis están los mismos conjuntos de datos fundamentales: los yacimientos, el relieve y la geomorfología. Así, la movilidad, los tipos de suelo y sus riesgos asociados, la prominencia o la visibilidad son diferentes formas de estudiar estos datos. Por tanto, necesariamente debe haber cierto grado de correlación entre los resultados de los análisis efectuados bajo diferentes enfoques. No obstante, tampoco faltan contrastes entre ellos, que son muy significativos. Todo esto no invalida ni resta utilidad a los análisis efectuados, sino que es una advertencia para que se interpreten correctamente. Además la multiplicidad de enfoques aporta muchos matices interesantes y ayuda a interpretar los conjuntos de datos originales. Evidentemente los suelos y sus riesgos están muy relacionados por la geomorfología, de los que derivan. Pero no es menos cierto que su análisis aporta *información añadida fruto de una interpretación* de la geomorfología y el relieve.

La selección de variables tiene siempre un componente subjetivo, en cuanto depende del criterio del investigador –y de la comunidad científica y/o escuela académica de la que forma parte– decidir qué partes de la realidad son pertinentes al problema estudiado y cuáles no. Pero además a esta selección se suman las limitaciones de la capacidad de modelización cuantitativa de las variables que se pretende introducir en el análisis. Aquí es responsabilidad del investigador buscar en la bibliografía disponible experiencias previas que puedan ayudarle o, si no las encuentra o no le satisfacen, tratar de adaptar o incluso crear sus propios procedimientos de modelización de las variables. Tal sería el caso, en este trabajo del tratamiento que se ha hecho de la prominencia, la rugosidad, la movilidad o las condiciones defensivas. Pero aún así, habrá ocasiones en las que algunas variables no puedan ser incluidas al no haberse encontrado la forma correcta de modelizarlas. Por ejemplo, en este trabajo me hubiera gustado incorporar la relación de los yacimientos con una red estructural de movilidad calculada de forma independiente de los mismos, lo que no resultaba fácil y en cualquier caso algunos procedimientos que se han propuesto (Fábrega-Álvarez 2006, 2007) son teórica y metodológicamente discutibles.

Así, hay que tener en cuenta que el conjunto de variables seleccionadas, modelizadas y analizadas es subjetivo y técnicamente limitado, aunque el trabajo realizado haya tratado de vencer estas limitaciones. Por tanto resulta conveniente hacer una pequeña evaluación de las variables utilizadas.

Las variables agrupadas bajo la denominación de “topográficas” (altitud media, desviación de la altitud, rango altitudinal, desnivel, prominencia y rugosidad, a las que habría que añadir la distancia al río principal) son en general sencillas de medir y modelizar. Sólo en los casos de la prominencia y la rugosidad ha sido necesario buscar y probar diferentes procedimientos. Como ya se ha argumentado, para el caso de la prominencia considero que lo que he llamado prominencia efectiva (índice derivado del ángulo formado entre cada localización y la localización problema) resulta más adecuado que otras

aproximaciones como la altitud relativa o la superficie dominada. Sin embargo, es cierto que las altas correlaciones entre ellas permitirían la sustitución de unas por otras sin demasiados problemas. En el caso de la rugosidad, la solución aportada por Franklin y bien explicada por Felicísimo (1994) es la que conceptualmente resulta más adecuada, aunque también es de las más complicadas de modelizar. Ello ha requerido la creación de un modelo de análisis con el *Model Builder* de ArcGIS que permite, para futuras aplicaciones, eliminar la dificultad de cálculo de esta variable, pues la herramienta requiere básicamente un MDT y una serie de sencillos parámetros. De este grupo de variables, la distancia al río principal ha sido determinante en el primer factor del ACP de variables geomorfológicas, en clara y obvia oposición a las unidades geomorfológicas ligadas a los ríos. Por otra parte, la rugosidad, opuesta al rango altitudinal y a la desviación típica de la altitud, ha definido el segundo factor. La prominencia efectiva y el desnivel han sido incluidos en el ACP de control, destacándose su peso en los dos primeros factores.

De las 9 variables geomorfológicas finalmente utilizadas sólo 5 han tenido un peso significativo en el correspondiente ACP. En el primer factor los glaciares se contraponen a las unidades vinculadas a los cauces principales (llanura aluvial y terrazas holocenas y pleistocenas). El tercer factor representa el contraste entre los yacimientos situados en el ámbito evaporítico (dominado por yesos) más próximo al Ebro y los casos del ámbito detrítico (arcilas y areniscas). La incidencia del resto de unidades geomorfológicas ha sido menor.

Las variables de suelos y riesgos para la actividad agropecuaria, como ya se ha dicho, son una interpretación de la geomorfología y las pendientes. Las categorías que más peso han demostrado ponen de relieve una serie de contraposiciones interesantes. En primer lugar las zonas de mayor riesgo erosivo, incluso para el pasto, con dificultad para el desarrollo edáfico (riesgos 5 y 6) se contraponen a las zonas más llanas, donde bajo las condiciones ambientales de la Edad del Bronce debió haber un desarrollo edáfico más rápido y profundo que en la actualidad y donde los riesgos no se derivan de la pendiente sino de la posibilidad de encharcamiento y aparición de horizontes carbonatados o salinos (riesgo 3). En los factores 2 y 3, aún con un porcentaje significativo de la explicación de la varianza, aparecen las categorías de riesgo 1 y 4, esto es, respectivamente el ámbito aluvial con sus riesgos fluviales y la zona llana, similar a la categoría de riesgo 3, pero con una pendiente algo mayor que facilita el drenaje. En resumen, parece haber tres polos. En primer lugar las zonas escarpadas, menos productivas y con mayores riesgos de erosión si se les priva de su cobertura vegetal (si no hay deforestación estas laderas estarían en una situación regularizada en condiciones biotásicas). En segundo lugar las zonas llanas con buen desarrollo edáfico y sin riesgos erosivos. Y en tercer lugar el ámbito fluvial, donde se desarrollan unos suelos particulares muy rejuvenecidos y húmedos, pero donde hay una serie de riesgos que no derivan de la pendiente, sino del dinamismo del río y de su vegetación.

Las variables de movilidad finalmente utilizadas han sido la media y la desviación típica de los costes acumulados relativos (CAR). Como ya se ha visto, están altamente correlacionados con las otras variables calculadas, por lo que se ha podido prescindir de éstas. Eso sí, resulta interesante los matices que introducen los dos diferentes índices de compacidad probados en cuanto al alargamiento y a la sinuosidad de la isocrona, información que se pierde al suplirlos con la desviación de los CAR. Sin embargo la inclusión de estos índices resulta compleja pues su adaptación al análisis de isocronas que en su forma ideal no son circulares es problemática, por lo que quizás podría desecharse su uso con este fin. Por su parte la media y desviación de los CAR han dado unos buenos resultados. Su correlación con los otros índices de movilidad garantizan que no son un artefacto sin sentido, son sencillos de incluir y sintetizan todo el entorno de los yacimientos, y no una porción del mismo variable en cada caso según la isocrona correspondiente. Además presentan algunas ventajas potenciales que no han sido completamente exploradas aquí, como son la posibilidad de analizar la distribución espacial de los CAR de cada celda y no sólo un valor medio y la desviación típica para todo el conjunto.

Lo interesante en lo concerniente a la movilidad no es tanto qué variables o índices se han medido para incluir en los análisis sino cómo se ha modelizado esta cuestión. He buscado el modo de introducir la ecuación del movimiento de Tobler, por parecerme ajustada a los datos empíricos, en una herramienta de cálculo de costes de movilidad cuyo algoritmo fuera anisotrópico en el tratamiento de la pendiente (*Path distance* de ArcGIS). Pero además he matizado este tratamiento de la pendiente inclu-

yendo la variación en la forma de desplazamiento que supone zigzaguear para mantener constante la pendiente a costa de aumentar la distancia recorrida. Y por último he introducido la vegetación (de forma muy esquemática teniendo en cuenta las consideraciones paleoambientales) como factor condicionante del movimiento. El resultado es que el tratamiento anisotrópico de la pendiente y la introducción del zigzag hacen que la topografía reduzca su peso en el cálculo de movilidad, y consecuentemente este peso recae en el otro factor incluido, esto es, la vegetación. Esto es interesante, pues en la mayor parte de los trabajos arqueológicos que manejan cálculos de movilidad se esgrime reiteradamente la idea de que la topografía es el principal factor como justificación para la no inclusión de otros factores (como la vegetación).

La única variable de visibilidad implementada en el análisis (la superficie visible desde cada yacimiento) no necesita mayores comentarios. Sólo quiero reiterar que si no se han hecho análisis de intervisibilidad entre yacimientos, tan habituales en la Arqueología Espacial, es porque éstos no aportarían gran cosa al análisis de sus entornos, que es el objeto estudiado, y porque no tengo la seguridad de la sincronía real de los yacimientos que considero coetáneos.

Por último las variables de las condiciones defensivas de los emplazamientos de los yacimientos han recibido un tratamiento algo diferente que ha requerido la creación de una herramienta específica en *Model Builder* de ArcGIS. El planteamiento analítico ha sido relativamente simple: una reclasificación de los flancos del yacimiento en función de su pendiente hacia el mismo. Simple, pero ha resultado eficaz, pues ha permitido una clasificación razonable de los yacimientos. Además, al trabajar con dos radios de análisis se ha podido discriminar entre las condiciones de ataque/defensa y las de acceso a la confrontación. He de destacar también que, aunque de manera muy esquemática, esta herramienta sirve también para hacer una clasificación rudimentaria de formas de relieve, pues en el fondo eso es lo que representan los valores que devuelve: elevaciones exentas en todo su perímetro, espolones, laderas y llanos básicamente.

### 9.1.2. Los métodos

Para la modelización y posterior análisis de estas variables los Sistemas de Información Geográfica han sido una herramienta esencial. Los SIG y otras Tecnologías de la Información Geográfica han sido ampliamente utilizados en Arqueología Espacial y del Paisaje tanto para la gestión y representación del dato arqueológico como para el análisis espacial del territorio arqueológico. Cualquier método, cualquier proceso cognoscitivo encaminado a la formación de conocimiento de la realidad, pasará por la observación, la modelización y el análisis e interpretación. Las TIG cuentan con recursos para estos tres aspectos del proceso.

En la observación de la realidad y obtención de datos las TIG pueden ayudar a la objetivación de las variables (toda medida implica una imprecisión, e incluso una alteración del objeto medido, pero esta imprecisión puede minimizarse y sobre todo estandarizarse). Pero además incrementan la precisión en algunas prácticas arqueológicas, como la prospección con GPS, el registro de materiales de excavación con estación total o los levantamientos topográficos mediante fotogrametría o escaneado láser. Por otra parte algunas TIG permiten acceder a aspectos de la realidad difícilmente perceptibles o directamente imperceptibles por los sentidos. Tal es el caso por ejemplo de la ya veterana fotointerpretación arqueológica, o de la teledetección multiespectral aplicada a la Arqueológica, o la aplicación de técnicas geofísicas de exploración no invasiva.

Sin embargo quizás sea en la modelización donde las TIG puedan demostrarse más importantes para la Arqueología, en concreto mediante los SIG. En la necesidad y versatilidad de representación es donde Chuvieco *et al.* ven el gran aporte de las TIG a la ciencia: “La eventualidad de disponer de procedimientos y técnicas de análisis que permitan la formalización de un problema concreto, a un nivel de escala abaricable, ofrece una amplia e innovadora gama de posibilidades metodológicas a cualquier investigación, dentro de planteamientos teóricos muy diversos” (Chuvieco *et al.* 2005, 39).

La construcción de modelos entronca con la integración de datos provenientes de diferentes especialistas y disciplinas. Siempre a las diversas disciplinas logran modelos con información espacial,

éstos serán susceptibles de entrar a formar parte de un SIG y ser integrados y analizados conjuntamente en el sistema. La dificultad estriba precisamente en la posibilidad de dar dimensión espacial a algunos de los resultados de las investigaciones afines a la Arqueología.

La integración de los datos en un SIG puede llegar a modificar sustancialmente el esquema de trabajo basado en la mera yuxtaposición o concatenación de resultados de varias disciplinas. Un objetivo del desarrollo de las aplicaciones de SIG en Arqueología puede ser el siguiente: lograr que los datos correspondientes a diversas facetas de la realidad sean integrados en la creación de un modelo unitario en el que analizarlos conjunta e interrelacionadamente, produciendo conclusiones con una perspectiva más global. Así la reconstrucción del pasado no se generaría por adición de conclusiones parciales, sino que las diferentes partes se analizarían como un todo. Es evidente el enfoque sistémico de este planteamiento.

Las características y ventajas del enfoque sistémico expuestas más arriba y las necesidades de un proyecto de investigación multidisciplinar exigen dotarse de herramientas que permitan la recuperación, integración y análisis conjunto de datos de procedencia y naturaleza muy diversa. Desde la utilización de pares estereoscópicos a la topografía de detalle apoyada en GPS centimétrico y ortofotografías, pasando por la incorporación de atributos culturales y cronológicos, este proyecto se ha apoyado decididamente en las Tecnologías de Información Geográfica.

La última fase analítica de este trabajo ha implicado la utilización de herramientas estadísticas (ACP y *cluster*). Quizás es aquí donde la metodología utilizada puede ser menos consistente. Posiblemente se hubiera podido sacar más partido al conjunto de datos analizados mediante una elección de unas herramientas estadísticas diferentes, más adecuadas a los tipos de variables analizadas. Por otro lado hay que tener en cuenta las limitaciones del uso de estadística en arqueología, donde los problemas de escala del dato y la habitualmente deficiente representatividad de la muestra introducen un sesgo importante. En este trabajo se ha analizado una muestra de 50 yacimientos, pero si los contemplamos por periodos, el tamaño muestral es menor e irregular (el caso extremo es el Bronce Tardío que sólo cuenta con dos ejemplares). Además, aunque se ha intentado que esta muestra contenga toda la variabilidad de yacimientos y paisajes en la zona de estudio, hay que tener en cuenta que la totalidad de los yacimientos conocidos, entre los que se ha hecho la selección, no tiene por qué reflejar fielmente la totalidad de asentamientos que una vez hubo. Los yacimientos conocidos no son sólo reflejo de los asentamientos que hubo, sino que también son resultado de los procesos geomorfológicos posteriores, la alteración antrópica del paisaje, la historia de las investigaciones arqueológicas en el territorio y, por qué no decirlo, la casualidad que juega un papel importante en muchos hallazgos.

## **9.2. Visión diacrónica de los patrones de asentamiento**

Los resultados obtenidos en cada uno de los aspectos finalmente estudiados (geomorfología, suelos y riesgos, control y condiciones defensivas) y su relación con los periodos cronológicos de este trabajo permiten fijar unas tendencias recurrentes en el comportamiento de asentamiento durante la Edad del Bronce. A continuación se exponen de manera esquemática los principales resultados obtenidos para el establecimiento del patrón de asentamiento. En esta exposición se reflejan las tendencias generales, las características más repetidas por periodos. No obstante en todo ellos hay excepciones que pueden consultarse en las páginas precedentes.

### **9.2.1. Calcolítico Final**

La característica predominante durante el Calcolítico Final es su elevada variabilidad en todos los aspectos analizados. Esto impide la enunciación de un patrón para este periodo, pues no hay suficiente recurrencia.

Hay yacimientos de este periodo vinculados a entornos llanos y abruptos, cercanos a los ríos o muy alejados. En general ocupan suelos aptos para la explotación agrícola de secano sin asumir gran-

des riesgos por erosión, pero hay excepciones. También son dispares – y extremas – sus características en cuanto a control del entorno y a sus condiciones defensivas.

Por tanto la conclusión varía poco desde la valoración de las hipótesis de partida: no se puede definir un patrón característico, o dicho de otro modo, una característica del periodo es la variabilidad del fenómeno del asentamiento.

A qué se debe esta variabilidad es una cuestión importante. Brevemente cabe decir que puede deberse a varios factores, actuando de forma conjunta o no:

- Una deficiente conservación del registro arqueológico que no permite observar correctamente fenómenos distintos que se están clasificando como uno solo.
- Una deficiente observación e interpretación del registro arqueológico que nos lleva a no discriminar correctamente los casos del Calcolítico Final.
- Son comunidades que están explorando diferentes estrategias en su relación con el entorno. Esta exploración puede deberse a un proceso de transformación de las comunidades (cambios tecnológicos y sociales) o a cambios ambientales (los del paso del Calcolítico árido al Bronce frío y relativamente más húmedo).
- Son comunidades muy flexibles en su relación con el entorno de manera que éste no es un factor principal en su estrategia de asentamiento frente a otros factores que se nos escapan.

### 9.2.2. Bronce Antiguo

En términos generales, se trata de yacimientos alejados de los ríos principales, pues tienden a ocupar cerros testigo más o menos desgajados de las plataformas de caliza terciaria, aunque también los afloramientos de calizas jurásicas. Por tanto, sus entornos tienden a ser muy rugosos, por lo que asumen riesgos erosivos importantes. Sin embargo, también es cierto que en sus entornos hay buena proporción de glaciis y de detrítico terciario más llano y estable. De hecho, algunos yacimientos ocupan auténticos cerros testigo dominando el llano. Por tanto, también es característica de este periodo una vinculación a los suelos que se desarrollan sobre estas unidades geomorfológicas más estables, teniendo que distinguir entre las que están condicionadas por el sustrato evaporítico de yesos o el detrítico más arcilloso.

Además, en el Bronce Antiguo hay una tendencia a ocupar relieves predominantes y generalmente con buen control visual, aunque en detrimento de la accesibilidad al entorno. Como ya se ha dicho, se diría que hay una necesidad de ver y ser visto. Esto concuerda con los resultados del análisis de las condiciones defensivas, que muestra un Bronce Antiguo dominado por yacimientos que buscan posiciones casi inexpugnables y de difícil acceso.

### 9.2.3. Bronce Medio

Frente a los yacimientos del Bronce Antiguo, en este periodo los yacimientos tienden a emplazarse en entornos llanos, principalmente en el ámbito detrítico, pero también en el evaporítico. Están muy vinculados a los glaciis y a los suelos que permiten una exploración agrícola de secano sin riesgos de erosión. Paralelamente, se desvinculan completamente de los ríos principales.

Sin embargo, esto no implica necesariamente que se trate de yacimientos situados en relieves poco destacados. Por el contrario, hay yacimientos que, como en el periodo anterior, ocupan posiciones prominentes y con gran visibilidad. Pero paralelamente se dan casos que parecen sacrificar la prominencia y la visibilidad en aras de un mejor acceso a su entorno.

En cuanto a los relieves elegidos para el asentamiento en el Bronce Medio, hay que destacar que hay ocupación en dos grandes cerros ya ocupados en el periodo anterior (Peña Amarilla y Cabezo la Torre I). Si se trata de reocupaciones o de una continuidad del poblamiento, es algo que sólo se podrá resolver mediante excavaciones arqueológicas. Estos dos casos son evidentemente prominentes, con buen control visual y unas condiciones defensivas óptimas. Junto a ellos, el resto de los casos se vincu-

lan al llano y a las laderas, dando lugar a diferentes condiciones de prominencia, visibilidad y defensa según sea la morfología concreta de la ladera.

#### 9.2.4. Bronce Tardío

El Bronce Tardío es un periodo tan infra representado en la muestra que resulta arriesgado concluir un patrón, aunque los pocos casos que lo forman presenten características similares: buena prominencia, visibilidad y defensa. Por otro lado, no son yacimientos que ocupen nuevas posiciones, sino reocupaciones o perduraciones en relieves ya ocupados en periodos anteriores (San Pablo y Peña Amarilla). Sin embargo, no se ha detectado esta reocupación o perduración en yacimientos más vinculados al llano del Bronce Medio.

Por tanto, si damos crédito a la exigua muestra del Bronce Tardío, el esquema de ocupación del territorio se caracteriza por un descenso brusco del número de asentamientos y la ocupación únicamente de posiciones ya habitadas previamente y que tienen unas condiciones de defensa y control óptimas. Además, en el caso de Peña Amarilla parece que la fase del Bronce Tardío tiene menor entidad que las anteriores.

#### 9.2.4. Bronce Final y Hierro I

Tras la caída en el número de yacimientos conocidos para el Bronce Tardío, hay en los periodos siguientes una recuperación notable de la información disponible. En cuanto a las características de los entornos de los yacimientos, el Bronce Final y el Hierro I presentan una afinidad notable entre sí y unas características netamente diferenciadas respecto a los periodos anteriores.

Son yacimientos que se vinculan al terreno aluvial y terrazas fluviales, por lo que las distancias a los ríos son pequeñas y las altitudes medias de los entornos son bajas. No obstante, el ámbito aluvial constituye sólo una parte del entorno de estos yacimientos. El resto lo forman los yesos evaporíticos terciarios (en los yacimientos más septentrionales) o el detrítico terciario y los glaciares (en los más meridionales). Son por tanto entornos marcados por una dualidad. Por un lado la vinculación al ámbito del río les pone en relación con unos suelos fértiles, con buena disponibilidad de agua, pero que entrañan riesgos propios que han de ser controlados. Además la zona próxima a los ríos es llana, pero dificulta la movilidad por las características del terreno, la vegetación y el propio cauce.

Por otro lado, en los casos vinculados a la formación evaporítica terciaria, las profundas incisiones en los yesos implican una rugosidad notable en parte del entorno de los yacimientos, y una limitación también parcial a la visibilidad. En los casos asociados al detrítico terciario y a los glaciares, más llanos, el control visual no se ve tan limitado y además se minimizan los riesgos de erosión.

Durante estos periodos hay tanto yacimientos con condiciones defensivas medias o bajas como otros con defensa óptima. Estos segundos se reducen en el Hierro I. Sin embargo, la aproximación hasta los yacimientos es generalmente fácil. Probablemente por ello adquiere gran importancia el desarrollo de los sistemas defensivos, como bien ilustra el caso del Cabezo de la Cruz.

### 9.3. Consecuencias de las transformaciones del paisaje para la interpretación y visibilidad del registro arqueológico

La reconstrucción paleoambiental de la zona de estudio dibuja un paisaje bastante diferente del actual (Ángeles *et al.* 2004; Peña-Monné *et al.* 1998; Peña-Monné *et al.* 2004; Pérez-Lambán 2013; Pérez-Lambán *et al.* en prensa). El clima debió ser desde el Calcolítico Final algo más frío y húmedo que en la actualidad, favoreciendo la regularización de las laderas y cierto desarrollo edáfico al estar la superficie más protegida por la vegetación. La topografía general sería similar, pero con un desarrollo menor de los rellenos de fondo de val y con las laderas regularizadas. Con un ambiente más húmedo y

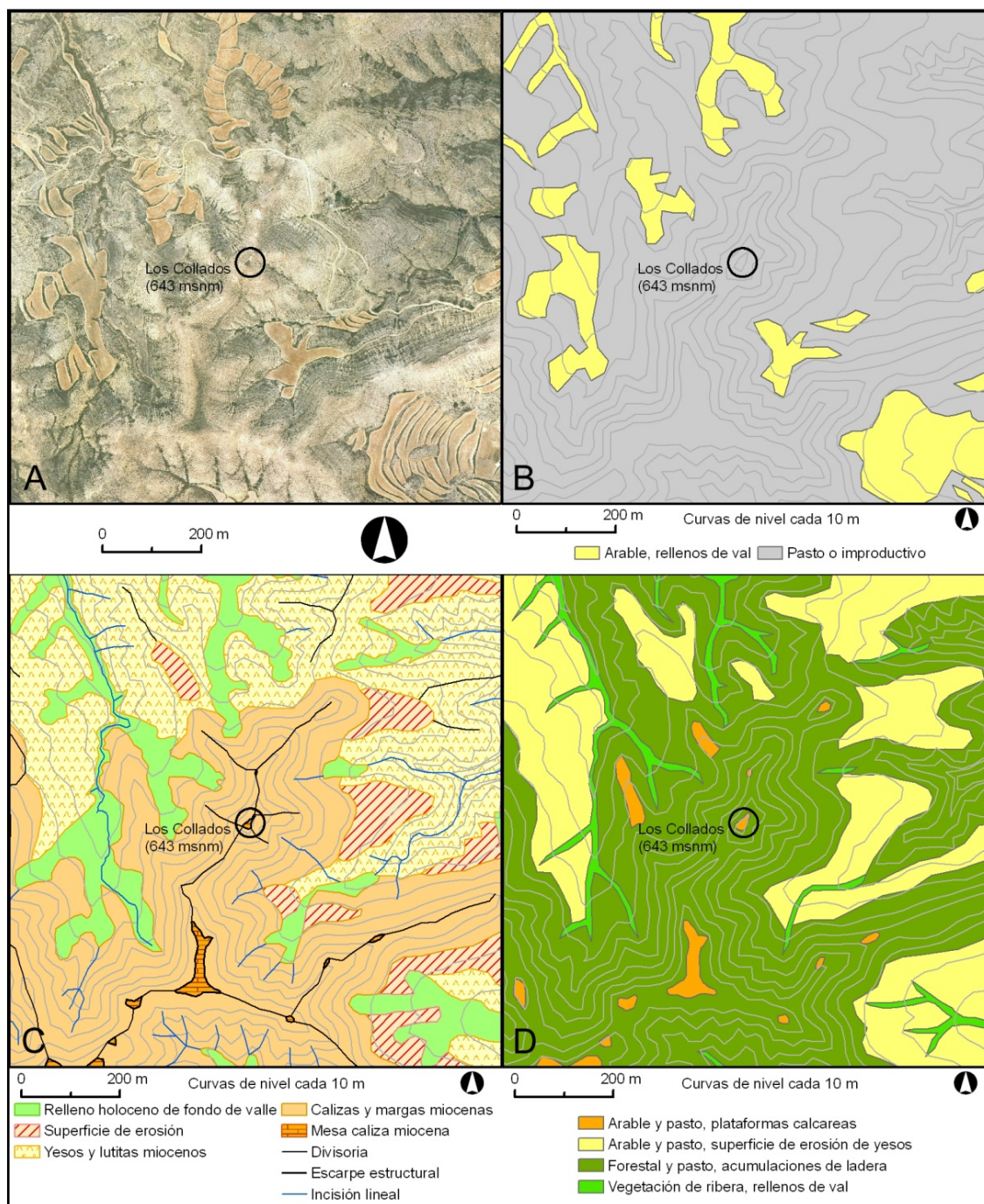
un suelo más permeable y con mayor capacidad de retención, la disponibilidad hídrica estaría más asegurada que en la actualidad (Carrión Marco 2007; González Sampériz y Sopena Vicién 2002; González Sampériz 2004). Desconocemos la forma en que progresaron estas condiciones, pero sabemos que en la primera mitad del primer milenio a.C. alcanzaron un pico de frío, marcado por el evento 2.8 de Bond, y de precipitaciones, según el registro isotópico de los carbones del Cabezo de la Cruz, que indican unas precipitaciones que duplican las actuales (Espinar y Voltas 2009).

Posteriormente, un cambio a un clima más seco y cálido, unido a una mayor presión sobre el medio, dio lugar a la progresiva deforestación y erosión del valle del Ebro desde época Ibero-Romana. Se degradaron las laderas regularizadas y el sedimento disponible se depositó en los fondos y conos de las vales. Este es el inicio del proceso de degradación que construyó el paisaje actual, con algún episocio intermedio como la regularización de laderas de la Pequeña Edad del Hielo con sus efímeros desarrollos edáficos (Pérez-Lambán *et al.* en prensa).

Estos cambios dejan patente la necesidad de reconstruir las condiciones ambientales originales a la hora de interpretar los patrones de asentamiento. Casos como el de Los Collados o el del Cabezo Sillón son buenos ejemplos de ello (*figura 46*). Si nos fijamos en los terrenos cultivables en torno al yacimiento de Los Collados en la actualidad nos daremos cuenta de que se ubican sobre los fondos de las vales, en unos depósitos que en la Edad del Bronce aún no se habían formado. Sin embargo, las laderas y las superficies elevadas planas estaban cubiertas de un suelo hoy desaparecido.

El dinamismo geomorfológico de la zona de estudio, causado por la debilidad de las litologías miocenas, un clima predominantemente semiárido y una fuerte presión antrópica, conlleva también consecuencias para la conservación y observación del registro arqueológico. Los contextos de la Edad del Bronce están severamente afectados por procesos erosivos, siendo difícil encontrar contextos primarios bien conservados. De este modo una consideración geoarqueológica del yacimiento es siempre necesaria para su interpretación (Burillo Mozota *et al.* 1981a, 1981b; González Pérez *et al.* 1996; Harrison *et al.* 1994; Ibáñez González 1993; Peña Monné *et al.* 1988; Peña Monné y Rodanés Vicente 1992; Peña Monné y González Pérez 1992; Peña Monné *et al.* 1996; Peña Monné *et al.* 2005; Sopena Vicién 1996, 1998; Sopena Vicién y Peña-Monné 1998 ... entre otros). Los materiales cuyos contextos originales se ubicaban en alto frecuentemente aparecen depositados en acumulaciones de ladera o de fondo de val, a distancias de decenas o centenas de metros. Los contextos situados al pie de laderas o zonas llanas han sido frecuentemente recubiertos de depósitos sedimentarios recientes, como los relleños de fondos de val, los conos de las salidas de los barrancos o las acumulaciones de ladera. Si esto es así para la Edad del Bronce, cabe suponer una afección mucho más grave para el registro arqueológico anterior, de épocas más antiguas de la Prehistoria. El vacío de información sobre estas etapas no debe interpretarse nunca como un vacío de poblamiento, sirva de ejemplo la cabaña mesolítica del Cabezo de la Cruz (Rodanés Vicente y Picazo Millán 2009), escondida bajo un depósito coluvial posterior.





**Figura 46.** Cambios en los aprovechamientos agrícolas alrededor de Los Collados (1 km). A: Fotografía aérea que muestra el carácter árido y deforestado de la zona, con gran superficie yerma. B: Aprovechamiento actual de la zona. Las escasas zonas arables se corresponden principalmente a los fondos de las vales. C: Unidades geomorfológicas, básicas para plantear y entender la evolución del medio. D: Reconstrucción de los usos potenciales en la Edad del Bronce. Aumenta la superficie arable pero sobre unidades diferentes a las actuales: una mayor conservación de las plataformas estructurales y de la superficie de erosión de yesos ofrecería más superficie llana sobre la que habría suelo fértil. Las laderas suministrarían pasto y recursos forestales. Los fondos de las vales presentarían rellenos menos desarrollados y sujetos a las características hidrológicas y vegetales de los barrancos bajo unas condiciones más húmedas.

#### 9.4. Conclusiones finales

- La utilización de SIG exige una definición clara del problema y un planteamiento coherente de las variables que expresan las partes del mismo así como del tratamiento que se va a hacer de las mismas. No es correcto realizar aquellos análisis más accesibles sólo por el hecho de serlos. Tampoco es conveniente realizar análisis sin un propósito concreto con la esperanza de interpretar los resultados sin haber formulado previamente el problema, seleccionado las variables pertinentes y preparado los datos para que sirvan a la resolución del mismo. Sin embargo, ello no quiere decir que no sea lícito incorporar cierto carácter exploratorio a un planteamiento analítico. En este trabajo se ha realizado una selección de variables que se consideraban pertinentes para la explicación de los fenómenos *yacimiento* y *asentamiento* en relación a sus entornos, pero la estrategia analítica basada en ACP ha permitido además explorar cuales de ellas tienen más peso en esa explicación. En resumen se podría destacar las siguientes:
  - Topográficas
    - Distancia al río
    - Rugosidad
    - Prominencia efectiva
  - Geomorfológicas
    - Llanura aluvial y terrazas (holocenas y pleistocenas)
    - Glacis
    - Ámbito evaporítico terciario (yesos)
    - Ámbito detrítico terciario (arcillas y areniscas)
  - Suelos y riesgos
    - Las 6 zonas definidas han resultado relevantes, aunque las dos de mayor pendiente y riesgo erosivo (riesgo 5, apto sólo para pasto, y 6, completamente inadecuado) siempre han contribuido juntas, por lo que podrían unirse en una sola clase.
  - Control
    - Media de CAR
    - Desviación típica de CAR
    - Cuenca visual
  - Defensa
    - En el análisis de la defensa no se ha realizado ACP, por lo que no se puede asignar peso a las variables. Además dado el planteamiento analítico, basado en la forma que adquiere el conjunto de sectores considerados, no cabe otorgar más importancia a una variable u otra.
- Las TIG y en concreto los SIG son una herramienta fundamental para la investigación geoarqueológica y las llamadas Arqueología Espacial y del Paisaje. La capacidad de captura, representación y gestión de datos arqueológicos, ya sea de prospección como de excavación, suponen una gran ayuda a la arqueología de campo. Además las utilidades analíticas de los SIG son de gran importancia para modelizar las variables que intervienen en la relación de las comunidades humanas y el medio. Pero más allá de todo ello, los SIG son un marco óptimo para la integración de información generada por diferentes disciplinas y pertinente al fenómeno de la implantación humana en el paisaje: información arqueológica, geomorfológica, paleoambiental... La principal dificultad para esta integración es la diferencia de escalas tanto temporales como espaciales que alcanzan las representaciones o modelos logrados por cada disciplina.
- Con respecto a los patrones de asentamiento y su evolución diacrónica se han definido consistentemente las tendencias y momentos de cambio.
  - Se debe partir de la indefinición característica del Calcolítico Final. En este periodo no hay patrones definidos, sino yacimientos en situaciones muy variadas. Podría pensarse que se trata del resultado o bien de una exploración del territorio o bien de la ausencia de factores condicionantes. En todo caso parece que hacia el final del periodo hay una tendencia a la ocupación de cerros muy destacados, evidenciando una preocupación defensiva.

- Esta tendencia culmina y cristaliza en el Bronce Antiguo, donde el patrón de asentamiento es único y general: yacimientos en alto bien defendibles, alejados de los ríos, vinculados a los glaciares y las planas, asumiendo riesgos erosivos.
- En el siguiente periodo, el Bronce Medio, perdura este patrón, si bien los yacimientos parecen más vinculados a los glaciares que a las planas y ocupar cerros mayores. No obstante la principal novedad es que el patrón ya no es único. Junto a estos yacimientos hay otros situados en zonas llanas, al pie de pequeños cerros, decididamente vinculados a los glaciares y llanuras interfluviales. La afinidad de los repertorios cerámicos y las dataciones de radiocarbónicas apuntan a una coexistencia de ambos patrones, obligando a intentar una explicación social de los mismos en clave funcional. Quizás estos dos patrones formaron parte de un mismo sistema con relaciones de dependencia (los del llano sometidos a los de arriba) y/o de colaboración (los del llano como “granjas” de los de arriba, que serían los “castillos”). La práctica de una actividad estratégica como la metalurgia en los yacimientos yaños apunta más a un sistema colaborativo que coercitivo.
- En el Bronce Tardío habría una perduración del modelo en alto, no tanto del llano, pero lo cierto es que la escasez de la muestra (2 yacimiento) impide hablar con propiedad de este periodo. Si esta ausencia de información se debe a una “crisis” de poblamiento o a una deficiencia en la capacidad para detectarlo en las investigaciones hasta la fecha es algo que está por determinar. En todo caso, tras este aparente vacío la situación es radicalmente diferente.
- En el Bronce Final, con perduración en el Hierro I, se produce una auténtica ruptura en el patrón de asentamiento. De nuevo asistimos a un patrón único y generalizado, pero distinto a cualquiera de los del bronce. Ahora los yacimientos se ubican en la frontera entre el ámbito fluvial y el seco (glaciares, ámbito evaporítico y detrítico). Estos yacimientos asumen así nuevos riesgos en sus entornos (inundación, variaciones del cauce, vegetación de ribera competitiva...) y se alejan de las zonas más altas de la zona, pero dentro de los límites de sus entornos, buscan posiciones elevadas y defendibles (que potencian con estructuras defensivas). Estos cambios locacionales vienen acompañados de otros cambios culturales y sociales. Los nuevos asentamientos evidencian un cambio en las estrategias de explotación del territorio en la organización comunitaria e intercomunitaria. La distribución de estos yacimientos a lo largo de los cursos principales parece regular y marcada por un plan de explotación del territorio. Se puede considerar este fenómeno como un impulso colonizador que se inicia en el Bronce Final y se consolida en la Edad del Hierro. Sus causas habría que buscarlas en el desarrollo de las sociedades de las regiones vecinas que no habían sufrido la aparente crisis del Bronce Tardío.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera Aragón, I., 1995. El poblamiento celtibérico en el área del Moncayo, en *Poblamiento celtibérico (III Simposio sobre los celtíberos, Daroca, 2-5 de octubre de 1991)*, ed. Burillo Mozota, F., Institución Fernando el Católico (IFC), Zaragoza, 213-233.
- Aitken, R., 1977. Ph.D. Thesis: Wilderness areas in Scotland. Aberdeen University, Aberdeen.
- Ángeles, G. R., Peña-Monné, J. L. y Longares, L. A., 2004. Cartografías de reconstrucción paleoambiental y riesgo geomorfológico del Holoceno Superior en el valle del río Huerva (Depresión del Ebro), en *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, eds. Peña-Monné, J. L., Longares, L. A. y Sánchez Fabre, M., Departamento de Geografía. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Bea Martínez, M., Domingo, R., Pérez-Lambán, F., Reklaityte, I. y Uribe, P., 2011. Prospecciones arqueológicas en el término municipal de La Muela, en *Salduie*, 10.
- Bell, T. y Lock, G., 2000. Topographic and cultural influences on walking the Ridgeway in later prehistoric times, en *Beyond the Map: Archaeology and spatial technologies*, ed. Lock, G., IOS Press, Amsterdam, 85-100.
- Burillo Mozota, F., 1978. El poblamiento de los ríos Huerva y Jiloca medio, en época Ibérica: bases para su estudio. Prehistoria y Arqueología, Universidad del Zaragoza, Zaragoza.
- Burillo Mozota, F., 1980. Yacimientos prehistóricos de los Valles de la Huerva y Jiloca Medio, en *Atlas de Prehistoria y Arqueología Aragonesa*, Zaragoza.
- Burillo Mozota, F., 1981. Hallazgos de la I Edad del Hierro en el curso final de la Huerva, en *Bajo Aragón. Prehistoria*, III, 63-82.
- Burillo Mozota, F., Gutiérrez Elorza, M. y Peña-Monné, J. L., 1981a. El cerro del castillo de Alfambra (Teruel). Estudio interdisciplinar de Geomorfología y Arqueología, en *Kalathos*, I, 7-63.
- Burillo Mozota, F., Gutiérrez Elorza, M. y Peña-Monné, J. L., 1981b. Las vertientes del cerro del castillo de Alfambra (Teruel), en *Actas V Reunión Nacional del Grupo Español de Trabajo del Cuaternario*, Sevilla, 231-244.
- Burillo Mozota, F., Ibáñez González, J. y Polo Cutando, C., 1993. *Ficha General de Yacimientos de la Carta Arqueológica de Aragón I: Localización y Descripción física del yacimiento y su entorno*, en *Cuadernos del Instituto Aragonés de Arqueología*, II, Instituto Aragonés de Arqueología, Teruel.
- Burillo Mozota, F., Ibáñez González, J. y Polo Cutando, C., 1999. *Sistema de Valoración Patrimonial de los Enclaves Arqueológicos de Aragón*, en *Cuadernos de Trabajo sobre Patrimonio Cultural*, Gobierno de Aragón y SAET, Teruel.

- Burillo Mozota, F. y López Romero, R., 2005-2006. Una propuesta cuantitativa de descripción de los asentamientos para un sistema de información geoarqueológica, en *Kalathos*, 24-25, 69-84.
- Burillo Mozota, F. y Picazo Millán, J. V., 1983. *La Hoya Quemada de Mora de Rubielos. Metodología para una excavación etnográfica y ecológica*, Seminario de Arqueología y Etnología Turolense, Teruel.
- Burillo Mozota, F. y Picazo Millán, J. V., 1986. *El poblado del Bronce Medio de la Hoya Quemada (Mora de Rubielos, Teruel)*, Seminario de Arqueología y Etnología Turolense, Teruel.
- Burillo Mozota, F. y Picazo Millán, J. V., 1991-1992. Cronología y periodización de la Edad del Bronce en Teruel, en *Kalathos*, 11-12, 43-89.
- Burillo Mozota, F. y Picazo Millán, J. V., 1994-1996. El Bronce Medio y la transición al Bronce Tardío en Teruel, en *Gala*, 3-5, 59-76.
- Burillo Mozota, F. y Picazo Millán, J. V., 1997. El sistema Ibérico Turolense durante el segundo milenio A.C., en *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 30(II), 29-58.
- Butzer, K. W., 2007. *Arqueología, una ecología del hombre*, Ediciones Bellaterra, Barcelona.
- Calderón Franco, J., 2010. Fauna y flora en el Campo de Cariñena, en *Comarca de Campo de Cariñena*, ed. Sabio Alcutén, A., Diputación General de Aragón, Zaragoza, 47-53.
- Carrión Marco, Y., 2007. Woodland in the middle Ebro valley (Spain). Dendrological analysis of archaeological timber from Bell Baker and Iron Age periods, en *ArchéoSciences*, 31, 151-161.
- Cuadrat Prat, J. M. y Lardiés Bosque, R., 2010. El medio natural en la comarca de Campo de Cariñena, en *Comarca de Campo de Cariñena*, ed. Sabio Alcutén, A., Diputación General de Aragón, Zaragoza, 21-27.
- Cuadrat Prat, J. M., Saz Sánchez, M. Á. y Vicente Serrano, S. M. (eds.), 2007. *Atlas climático de Aragón*, Gobierno de Aragón, Zaragoza.
- Chapman, J. C., 1997. Places as Timemarks - the Social Construction of Prehistoric Landscapes in Eastern Hungary, en *Semiotics of Landscape: Archaeology of Mind*, ed. Makjanic, R., Archaeopress, Oxford.
- Chuvieco, E., Bosque, J., Pons, X., Conesa García, C., Santos, J. M., Gutiérrez Puebla, J., Salado, M. J., Martín, M. P., de la Riva, J., Ojeda, J. y Prados, M. J., 2005. ¿Son las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) parte del núcleo de la Geografía?, en *Boletín de la A.G.E.*, 40, 35-55.
- Dijkstra, E. W., 1959. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, en *Numerische Mathematik*, 1, 269-271.
- Doyle, F. J., 1978. Digital Terrain Modells: an overview, en *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(12), 1481-1485.



- Eastman, R. J., 2003. *IDRISI Kilimanjaro. Guide to GIS and Image Processing (Manual Version 14.00)*, Clark Labs. Clark University, Worcester Massachusetts.
- Eastman, R. J., 2006. *IDRISI Andes. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes (Manual Version 15.00)*, Clark Labs. Clark University, Worcester Massachusetts.
- Ericson, J. E. y Goldstein, R., 1980. Work Space: A New Approach to the Analysis of Energy Expenditure Within Site Catchments, en *Catchment Analysis: Essays on Prehistoric Resource Space*, eds. Findlow, F. J. y Ericson, J. E., UCLA, Los Angeles, 21-30.
- Espinar, C. y Voltas, J., 2009. El marco paleoclimático. Aproximación a partir del análisis de isótopos estables en carbones de especies forestales, en *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro : Cabezo de la Cruz, La Muela, Zaragoza*, eds. Picazo Millán, J. V. y Rodanés Vicente, J. M., Gobierno de Aragón, Departamento de Educación, Cultura y Deporte, Zaragoza, 100-107.
- Fábrega-Álvarez, P., 2006. Moving without destination. A theoretical, GIS-based determination of routes (optimal accumulation model of movement from a given origin), en *Archaeological Computing Newsletter*, 64, 7-11.
- Fábrega-Álvarez, P., 2007. Proposals for an archaeological analysis of pathways and movement, en *Archeologia e Calcolatori*, 18, 121-140.
- Fábrega-Álvarez, P., Fonte, J. y González García, F. J., 2011. Mobilidade e materialidade: uma aproximação à análise da localização das estátuas-menir transfronteiriças (Norte de Portugal e Sul da Galiza), en *Estelas e estátuas-menires: da Pré à Proto-história. Actas das IV Jornadas Raianas (Sabugal 2009)*, ed. Vilaça, R., 245-270.
- Fábrega Álvarez, P., 2004. Poblamiento y Territorio de la Cultura Castreña en la comarca de Ortegal, en *Cuadernos de Arqueoloxía e Patrimonio*, (19), Laboratorio de Patrimonio, Paleoambiente e Paisaxe (IIT – USC), Santiago de Compostela.
- Fairén Jiménez, S., Cruz Berrocal, M., López-Romero González de la Aleja, E. y Walid Sbeinati, S., 2006. Las vías pecuarias como elementos arqueológicos, en *La aplicación de los SIG en la arqueología del paisaje*, ed. Grau Mira, I., Universidad de Alicante, Servicio de Publicaciones, Alicante, 55-68.
- Felicísimo Pérez, Á. M., 1994. *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*, <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>, Oviedo.
- Franklin, S. E., 1987. Geomorphometric processing of digital elevation models, en *Computers & Geosciences*, 13(6), 603-609.
- Fritz, S. y Carver, S., 1998. Accessibility as an important wilderness indicator: Modelling Naismith's Rule, School of Geography. University of Leeds <http://www.geog.leeds.ac.uk/papers/98-7/>.
- García Nájera, J. M., 1954. Pendiente máxima de las tierras de cultivo, en *Montes*, 55, 47-53.

- García Nájera, J. M., 1955. El bosque, el agua y la conservación del suelo. Principios racionales de la influencia del monte en la escorrentía superficial, en *Montes*, 63, 203-205.
- García Nájera, J. M., 1956. El bosque, el agua y la conservación del suelo. Pendiente máxima admisible en los pastizales, en *Montes*, 68, 123-124.
- García Sanjuán, L., 2005. *Introducción al Reconocimiento y Análisis Arqueológico del Territorio*, Editorial Ariel, Barcelona.
- García Sanjuán, L., Metcalfe-Wood, S., Rivera Jiménez, T. y Wheatley, D. W., 2006. Análisis de pautas de visibilidad en la distribución de monumentos megalíticos de Sierra Morena occidental, en *La Aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*, ed. Grau Mira, I., Universidad de Alicante, Alicante, 181-200.
- Gilman, A. y Thornes, J. B., 1985. *Land-use and prehistory in south-east Spain*, Allen & Unwin, London.
- González Pérez, J. R., Rodríguez, J. I. y Peña-Monné, J. L., 1996. Aportació de la geoarqueologia al coneixement del poblament durant el Bronze Inicial a les valls inferiors dels rius Segre i Cinca, en *Gala*, 3-5, 137-152.
- González Sampériz, P., 2004. *Evolución paleoambiental del sector central de la cuenca del Ebro durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno*, Instituto Pirenaico de Ecología - CSIC y Dpto. de Ciencias de la Antigüedad - Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- González Sampériz, P. y Sopena Vicién, M. C., 2002. Recent Holocene palaeoenvironmental evolution in the Central Ebro Basin (N.E. Spain), en *Quaternary International*, 93-94, 177-190.
- Gorenflo, L. J. y Gale, N., 1990. Mapping Regional Settlement in information Space, en *Journal of Anthropological Archaeology*, 9, 240-274.
- Grau Mira, I., 2006. Transformaciones culturales y modelos espaciales. Aproximación SIG a los paisajes de la romanización, en *La Aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*, ed. Grau Mira, I., Universidad de Alicante, Alicante, 211-226.
- Gravelius, H., 1914. Flusskunde. Goschen Verlagshan dlug Berlin, en *Morphometry of Grainage Basins*, ed. Zavoianu, I., Elsevier, Amsterdam.
- Haggett, R., 1976. *Análisis locacional en Geografía Humana*, Barcelona.
- Harding, A. F., 2003. *Sociedades europeas en la Edad del Bronce*, Ariel, Barcelona.
- Harrison, R. J., 2007. *Majaladares (Spain) - A Bronze Age Village of Farmers, Hunters and Herders*, en *Internationale Archäologie*, 107, Verlag Marie Leidorf GmbH, Rahden.
- Harrison, R. J., Andrés Rupérez, T. y Moreno López, G. C., 1998. *Un Poblado de la Edad del Bronce en El Castillo (Frias de Albarracín, Teruel)*, en *BAR-IS*, 708, Archaeopress, Oxford.

- Harrison, R. J., Moreno López, G. C. y Legge, A. J., 1994. *Moncín: Un poblado de la Edad del Bronce (Borja, Zaragoza)*, Diputación General de Aragón. Departamento de Educación y Cultura, Zaragoza.
- I.F.I.E., 2008. Pendientes límite de cultivo y pastizal. Definición a partir de las experiencias del I.F.I.E. (Ficha de la tecnología. Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.
- Ibáñez González, J., 1993. El factor humano en los procesos postdeposicionales de diversos yacimientos de la edad del Bronce en el sector meridional del Sistema Ibérico, en *Arqueología Espacial*, 16-17, 207-234.
- Ibáñez Marcellán, M. J., 1975. El endorreísmo del sector central de la depresión del Ebro, en *Cuadernos de Investigación: Geografía e Historia*, 1(1), 35-48.
- Ibisate González de Matauco, A., 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas, en *Boletín de la A.G.E.*, 38, 311-329.
- Imhof, E., 1950. *Gelaende und Karte*, Rentsch, Zurich.
- Joly, F., 1988. *La cartografía*, Oikos-Tau, Barcelona.
- Langmuir, E., 1984. *Mountaincraft and Leadership*, Scottish Sports Council & Mountainwalking Leader Training / British Mountaineering Council.
- Longares Aladrén, L. A., 2004. Planas y estepas del sector meridional del valle del Ebro, en *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, eds. Peña-Monné, J. L., Longares Aladrén, L. A. y Sánchez Fabre, M., Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 275-287.
- Llobera, M., 2000. Understanding movement: a pilot model towards the sociology of movement, en *Beyond the map: archaeology and spatial technologies (Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on "Beyond the map : Archaeology and Spatial Technologies" held in Ravello, Italy, 1-2 October, 1999)*, ed. Lock, G., IOS Press, Oxford.
- Llobera, M., 2001. Building Past Landscape Perception With GIS: Understanding Topographic Prominence, en *Journal of Archaeological Science*, 28, 1005-1014.
- Llobera, M., 2003. Extending GIS-based visual analysis: the concept of *visualscapes*, en *International Journal of Geographical Information Science*, 17(1), 25-48.
- Llobera, M. y Sluckin, T. J., 2007. Zigzagging: Theoretical insights on climbing strategies, en *Journal of Theoretical Biology*, 249, 206-217.
- Marble, D. F., 1996. The Human Effort Involved in Movement over Natural Terrain: A Working Bibliography (Unpublished report). Department of Geography, Ohio State University, Ohio.



- Mensua Fernández, S. y Ibáñez Marcellán, M. J., 1975. Alvéolos en la depresión del Ebro, en *Cuadernos de Investigación: Geografía e Historia*, 1(2), 3-13.
- Mensua, S. y Ibáñez, M. J., 1977. *Sector central de la Depresión del Ebro. Mapa de terrazas fluviales y glaciares*, Departamento de Geografía. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Minetti, A. E., 1995. Optimum gradient of mountain paths, en *Journal of Applied Physiology*, 79(5), 1698-1703.
- Morrison, D. F., 1967. *Multivariate Statistical Methods*, McGraw-Hill, New York.
- Nocete Calvo, F., 1994. *La formación del Estado en Las Campiñas del Alto Guadalquivir (3000-1500 a.n.e.)*, en *Monográfica Arte y Arqueología*, 23, Universidad de Granada, Granada.
- Olaya, V., 2011. *Sistemas de Información Geográfica*, [http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro\\_SIG](http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG).
- Pandolf, K. B., Givoni, B. y Goldman, R. F., 1977. Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly, en *Journal of Applied Physiology*, 43(4), 577-581.
- Parcero Oubiña, C. y Fábrega Álvarez, P., 2006. Diseño metodológico para el análisis locacional de asentamientos a través de un SIG de base Raster, en *La aplicación de los SIG en la arqueología del paisaje*, ed. Grau Mira, I., Universidad de Alicante, Servicio de Publicaciones, Alicante, 69-90.
- Peña-Monné, J. L., 1996. Études géoarchéologiques dans l'Holocène supérieure du Nord-Est de l'Espagne, en *Geoarchaeology in Mediterranean and Tropical Environments*, Geo-Eco-Trop, Bruselas.
- Peña-Monné, J. L., Julián, A., Chueca, J. y Echeverría Arnedo, M. T., 1998. Los estudios geoarqueológicos en la reconstrucción del paisaje. Su aplicación en el valle bajo del río Huerva (Depresión del Ebro), en *Arqueología Espacial*, 19-20, 169-183.
- Peña-Monné, J. L., Julián, A., Chueca, J., Echeverría Arnedo, M. T. y Ángeles, G. R., 2004. Etapas de evolución holocena en el valle del río Huerva: Geomorfología y Geoarqueología, en *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, eds. Peña-Monné, J. L., Longares Aladrén, L. A. y Sánchez Fabre, M., Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 289-302.
- Peña-Monné, J. L., Pellicer Corellano, F., Julián Andrés, A., Chueca Cía, J., Echeverría Arnedo, M. T., Lozano Tena, M. V. y Sánchez Fabre, M., 2002. *Mapa Geomorfológico de Aragón*, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.
- Peña-Monné, J. L., Pérez-Lambán, F., Picazo Millán, J. V. y Fanlo Loras, J., 2011. Secuencias paleoclimáticas y Geoarqueología en laderas holocenas del Valle del río Huerva (Depresión del Ebro), en *El Cuaternario en España y áreas afines. Avances en 2001 (Actas de la XIII Reunión Nacional del Cuaternario, Andorra, 4-7 de julio de 2011)*, eds. Turu, V. y Constante Orrios, A., AEQUA, M. Chevalier, Col·legi de Tècnics en Ciències de la Terra d'Andorra, Andorra, 217-219.

- Peña-Monné, J. L., Rubio Fernández, V. y González Pérez, J. R., 2005a. Aplicación de modelos geomorfológicos evolutivos al estudio de yacimientos arqueológicos en medios semiáridos (Depresión del Ebro, España), en *A Geografía ibérica no contexto europeo (X Coloquio Ibérico de Geografía, 22-24 de Setembro de 2005 Évora)* Universidade De Evora, Évora.
- Peña-Monné, J. L., Sancho Marcén, C., Rubio Fernández, V. y Longares Aladrén, L. A., 2005b. Aportaciones desde la geomorfología y la geoarqueología al conocimiento de los paleoambientes holocenos del NE de España, en *A Geografía ibérica no contexto europeo (X Coloquio Ibérico de Geografía, 22-24 de Setembro de 2005 Évora)* Universidade De Evora, Évora.
- Peña Monné, J. L. y González Pérez, J. R., 1992. Modelo evolutivo de los cambios en la dinámica geomorfológica del Baix Cinca y Segre (Depresión del Ebro) durante el Pleistoceno superior-Holoceno a partir de los datos geoarqueológicos, en *Cuaternario y Geomorfología*, 6, 103-110.
- Peña Monné, J. L., González Pérez, J. R. y Rodríguez, J. I., 1988. Estudi geoarqueologic del Tossal de Moradilla (Lleida), en *Recerques Terres de Ponent*, IX, 31-41.
- Peña Monné, J. L., González Pérez, J. R. y Rodríguez, J. I., 1996. Paleoambientes y evolución geomorfológica en yacimientos arqueológicos del sector oriental de la depresión del Ebro durante el Holoceno superior, en *Dinámica y evolución de medios cuaternarios*, eds. Pérez Alberti, A., Martini, P., Chesworth, W. y Martínez Cortizas, A., Santiago, 63-80.
- Peña Monné, J. L., Pellicer Corellano, F., Julián Andrés, A., Chueca Cía, J., Echeverría Arnedo, M. T., Lozano Tena, M. V. y Sánchez Fabre, M., 2002. *Mapa Geomorfológico de Aragón*, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.
- Peña Monné, J. L. y Rodanés Vicente, J. M., 1992. Evolución geomorfológica y ocupación humana en el cerro de Masada de Ratón (Baix Cinca, prov. de Huesca), en *Cuaternario y Geomorfología*, 6, 81-89.
- Peña Monné, J. L., Rubio Fernández, V. y González Pérez, J. R., 2005. Aplicación de modelos geomorfológicos evolutivos al estudio de yacimientos arqueológicos en medios semiáridos (Depresión del Ebro, España), en *A Geografía ibérica no contexto europeo (X Coloquio Ibérico de Geografía, 22-24 de Setembro de 2005 Évora)* Universidade De Evora, Évora.
- Pérez-Lambán, F., 2011. Sistema de poblamiento en la baja Huerva (Zaragoza) durante el Bronce Antiguo y Medio, en *Actas de las II Jornadas de Jóvenes en Investigación Arqueológica (Madrid, 6, 7 y 8 de mayo de 2009)*. JIA 2009, ed. OrJIA, OrJIA y Libros Pórtico, Madrid-Zaragoza, 615-622.
- Pérez-Lambán, F., 2013. Tesis Doctoral: La Edad del Bronce en los cursos bajos de los ríos Huerva y Jalón: Geoarqueología y análisis espacial de los asentamientos. Dpto. Ciencias de la Antigüedad, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Pérez-Lambán, F., Fanlo Loras, J. y Picazo Millán, J. V., 2011. El poblamiento antiguo en el valle del río Huerva. Resultados de las campañas de prospección de 2007-2009, en *Salduie*, 10.
- Pérez-Lambán, F., Peña-Monné, J. L., Fanlo-Loras, J., Picazo-Millán, J. V., Badia-Villas, D., Rubio-Fernández, V., García-Giménez, R. y Sampietro-Vattuone, M. M., en prensa. Paleoenviromental and geoarchaeological reconstruction from late Holocene slope records (Lower Huerva Valley, Ebro Basin, NE Spain), en *Quaternary Research*, Available online 13 November 2013.

- Pérez Casas, J. A., 1987. Memoria de Licenciatura: Contribución a la carta arqueológica del valle del Jalón. Trabajos de prospección en su cuenca baja. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Picazo Millán, J. V., 1991. Contribución de análisis estadísticos para la diferenciación de grupos ‘culturales’ durante la Edad del Bronce en el sur del sistema Ibérico (Teruel, España), en *ArC*, 2, 79-108.
- Picazo Millán, J. V., 1993. *La Edad del Bronce en el sur del Sistema Ibérico turolense, I: los materiales cerámicos*, Seminario de Arqueología y Etnología Turolense, Teruel.
- Picazo Millán, J. V., 1999-2000. Nuevas dataciones para la Edad Media del Bronce en la cuenca del río Alfambra (Teruel), en *Kalathos*, 18-19, 7-26.
- Picazo Millán, J. V. y Rodanés Vicente, J. M., 2009. *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro : Cabezo de la Cruz, La Muela, Zaragoza*, Gobierno de Aragón, Departamento de Educación, Cultura y Deporte, Zaragoza.
- Picazo Millán, J. V., Yll Aguirre, R., Ros Mora, M. T., de la Torre Ruiz, M. Á., Serrano Endolz, L., López García, P. y Blasco Sancho, M. F., 1997. Subsistencia y medio ambiente durante la Edad del Bronce en el sur del Sistema Ibérico turolense, en *Teruel: Revista del Instituto de Estudios Turolenses*, 85(2), 7-48.
- Rodanés Vicente, J. M. y Picazo Millán, J. V., 2009. La cabaña mesolítica del Cabezo de la Cruz (La Muela, Zaragoza), en *El Mesolítico Geométrico en la Península Ibérica*, eds. Utrilla Miranda, P. y Montes Ramírez, L., Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 327-342.
- Saunders, W., 1999. Preparation of DEMs for Use in Environmental Modeling Analysis, en *Esri User Conference* San Diego, California: ESRI, July 24-30, 1999.
- Sebastián López, M., 2011. Tesis Doctoral: Geografía del arte rupestre: Herramientas espaciales y TIG para el análisis de la distribución territorial del arte levantino y esquemático en Aragón. Departamento de Ciencias de la Antigüedad, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Sesma Sesma, J. y García García, M. L., 1994. La ocupación desde el Bronce Antiguo a la Edad Media en las Bardenas Reales de Navarra, en *Cuadernos de Arqueología de la Universidad de Navarra*, 2, 381-404.
- Shennan, S., 1992. *Arqueología cuantitativa*, Crítica, Barcelona.
- Sopena Vicién, M. C., 1996. La Edad del Bronce en el Ésera-Cinca medio, en *Bolskan*, 13, 217-238.
- Sopena Vicién, M. C., 1998. *Estudio geoarqueológico de los yacimientos de la Edad del Bronce de la comarca del Cinca medio (Huesca)*, en *Bolskan*, 15, Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca.
- Sopena Vicién, M. C. y Peña-Monné, J. L., 1998. Evolución del paisaje del Holoceno superior en el valle del Cinca, sector de Binaced (Huesca), en *Arqueología Espacial*, 19-20, 185-197.

- Tobler, W., 1993. Three presentations on geographical analysis and modeling (Technical report 93-1). National Center for Geographical Information and Analysis, University of California, Santa Barbara.
- Turner, J. C., 1970. *Matemática moderna aplicada. Probabilidades, estadística e investigación operativa*, Alianza Editorial, Madrid.
- Uriarte González, A., 2005. Aplicaciones arqueogeográficas al estudio de las sociedades del Orientalizante: de la tribu al estado en la cuenca del Guadiana Menor (Andalucía Oriental), en *El periodo orientalizante : actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida, Protohistoria del Mediterráneo Occidental (2003, Mérida)*, eds. Celestino Pérez, S. y Jiménez Ávila, J., Instituto de Arqueología de Mérida, Mérida, 610-620.
- van Leusen, P. M., 2002. Doctoral Thesis: Pattern to process: methodological investigations into the formation and interpretation of spatial patterns in archaeological landscapes. Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.
- Wheatley, D. y Gillings, M., 2002. *Spatial Technology and Archaeology. The archaeological application of GIS*, Taylor & Francis, London.
- Wilkinson, K., Gerrard, C., Aguilera Aragón, I., Bailiff, I. y Pope, R., 2005. Prehistoric and Historic Landscape Change in Aragón, Spain: Some Results from the Moncayo Archaeological Survey, en *Journal of Mediterranean Archaeology*, 18(1).
- Yetano Ruiz, L. M., 1978. La evolución geomorfológica del valle de la Huerva, en *Geographica*, 2, 3-20.
- Zamora Merchán, M., 2011. Cálculos de visibilidad en arqueología. La visibilidad del territorio desglosada en ángulos verticales y su aplicación al período ibérico tardío de Andalucía Central, en *Tecnologías de Información Geográfica y análisis arqueológico del territorio. Actas del V Simposio Internacional de Arqueología de Mérida (Mérida, del 7 al 10 de noviembre de 2007)*, eds. Mayoral Herrera, V. y Celestino Pérez, S., Instituto de Arqueología - MéridaI - CSIC - Junta de Extremadura - Consorcio de Mérida, Mérida.