

CUARTA ÉPOCA

GEOGRAPHICALIA

1977 - 1988 - 2000 - 2023



EDITORIAL:

Monográfico geomorfología
Desde la Geografía a
la Geomorfología global
en Aragón
Dr. José María García Ruiz

ARTÍCULOS:

Monográfico geomorfología
Cartografía biogeomor-
fológica | Erosión por piping
| Zonificación de aludes
Sección general
Patrones asentamiento
culturas Calima | Dinámica
territorial Grados Geografía

MAPAS:

Monográfico geomorfología
Mapa geomorfológico de la
Bárdena Blanca (Navarra,
España) | Mapa geoarque-
ológico de El Pichao
(Tucumán, Argentina)

NOTAS DE INVESTIGACION
Y RESEÑAS:

Monográfico geomorfología
Análisis hidromorfológico
de ríos efímeros | VOLTUR-
MAC: volcans-turismo
Sección general
Estrategias de recuperación
de cubierta vegetal



1542

Departamento de
Geografía y
Ordenación del Territorio
Universidad Zaragoza



Mapa geomorfológico de la Bardenas Blancas (Navarra, España)

Luis Alberto Longares Aladrén, José Luis Peña Monné,
María Marta Sampietro Vattuone y Carlos Sancho Marcén

Mapa geomorfológico de la Bardena Blanca (Navarra, España)

Luis Alberto Longares Aladrén¹, José Luis Peña Monné¹, María Marta Sampietro Vattuone² y Carlos Sancho Marcén^{3,†}

¹ Departamento de Geografía y Ordenación del territorio, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza lalongar@unizar.es; jlpena@unizar.es

² Laboratorio de Geoarqueología Universidad Nacional de Tucumán y CONICET, 4000 San Miguel de Tucumán (Argentina) sampietro@tucbbs.com.ar

³ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza csancho@unizar.es

Resumen: El mapa geomorfológico de la Bardena Blanca fue elaborado a partir de la información de campo y cartográfica acumulada a lo largo de varios proyectos de investigación sobre la geomorfología de Las Bardenas Reales. El objetivo principal es la representación gráfica de las morfologías existentes, clasificadas y ordenadas cronológicamente siguiendo una leyenda normalizada para mapas detallados. El mapa aporta datos morfogenéticos y cronoestratigráficos de los depósitos del Pleistoceno superior y Holoceno y su interpretación evolutiva. El conocimiento de la influencia de los cambios climáticos en la dinámica geomorfológica de la Bardena Blanca durante el Holoceno es de gran importancia para prever la evolución regional en futuros escenarios de cambios climáticos.

Palabras clave:

Geomorfología, Cuaternario, cartografía, Depresión del Ebro, semiárido.

Geomorphological map of the Bardena Blanca (Navarra, Spain)

Abstract: The geomorphological map of Bardena Blanca has been prepared from field and cartographic information collected throughout numerous research projects on the geomorphology of Las Bardenas Reales. The main objective is the graphic representation of the morphologies present in the area, classified and ordered chronologically following a standardized legend developed for detailed maps. The map provides morphogenetic and chronostratigraphic data of the Late Pleistocene and Holocene deposits along with their evolutionary interpretation. Knowledge of the influence of climate changes on the geomorphological dynamics of the Bardena Blanca during the Holocene is of great importance to predict regional evolution in the scenario of future climate changes.

Keywords:

Geomorphology, Quaternary, cartography, Ebro depression, semiarid.

Recibido: 17-09-2024. Aceptado: 11-12-2024.

DOI: 10.26754/ojs_geoph/geoph.20247611066

1. Introducción

LAS BARDENAS REALES se localizan en el SE de la Comunidad Autónoma de Navarra, en el sector central de la Depresión del Ebro (NE de España) (Fig. 1). Es Parque Natural desde 1999 y Reserva de la Biosfera desde 2000. La parte Norte de este espacio, constituye la Bardena Blanca, con una extensión cercana a los 250 km². Es una depresión de fondo muy plano con una altitud media de 300 m s.n.m. y bordeada por relieves más elevados (Fig. 2a, 2b, 2c). Presenta características climáticas semiáridas, con fuertes contrastes estacionales. La media anual de temperaturas (datos de Arguedas y Tudela) es de 14°-14,5°C, oscilando las medias entre 6° C (enero) y 24° (julio). Las lluvias son escasas (350 mm de media anual), repartidas de forma irregular y con eventos tormentosos de alta intensidad. Su déficit hídrico está en torno a los 400 mm anuales.

El sustrato geológico se compone de arcillas y limos con capas de yesos, areniscas y calizas de las formaciones Lerín, Ujué y Tudela, de edad miocena (Castiella, Solé y del Valle, 1978; Faci *et al.*, 1997; Larrasoña, Murelaga y Garcés, 2006). Los relieves que cierran la cuenca por el norte y este corresponden a restos de antiguas acumulaciones cuaternarias (Rallón, 470 m; La Estroza, 462 m; Cornialto, 510 m) (Fig. 1, 2c) mientras que por el sureste hay relieves estructurales de plataformas y cuevas de la Bardena Negra (Tripa Azul, 630 m; Balcón de Pilatos, 461 m). Una buena descripción general es la aportada por Martín Martínez y Floristán Samames (1997) que definen la Bardena Blanca como “una depresión erosiva excavada por las aguas de escorrentía superficial, organizadas en un denso sistema de barrancos y barranquillos, en los afloramientos limo-arcillosos del Mioceno, recubiertos a veces por aluviones cuaternarios”. Esta red de drenaje está dirigida por el sistema

del barranco Grande y el arroyo de Andarraguía, que fluyen hacia el río Ebro. En la actualidad, la escasa cubierta vegetal, la erodibilidad del sustrato mioceno y los eventos de alta intensidad, así como la actividad ganadera y agrícola histórica son los causantes de las formas erosivas que caracterizan por su espectacularidad a la Bardena Blanca. Esta dinámica erosiva se ha ido produciendo a lo largo del Cuaternario y como consecuencia de ello, se sucedieron fases de agradación e incisión, cuyo testimonio en forma de conos, glaciares y terrazas compone la mayor parte del mapa geomorfológico. La erosión actual aparece centrada tanto en las arcillas miocenas de las Formaciones Tudela y Ujué como en los depósitos limosos holocenos, ambos con altos valores de SAR y ESP (Desir y Martín, 2007; Martín y Desir, 2010), por lo que los procesos de formación de cárcavas son muy intensos (Del Valle y Del Val, 1990). Al mismo tiempo, grandes tubos y colapsos de *piping* dan lugar a procesos de “pseudokarst” o cuevas de arcilla, de interés espeleológico (Galán y Nieto, 2015).

El gran interés geomorfológico de la Bardena Blanca ha dado lugar a numerosos trabajos relacionados con su evolución cuaternaria y cronología (Sancho *et al.*, 2005, 2006, 2007a, 2007b; Muñoz *et al.*, 2006; Peña Monné *et al.*, 2006), así como una guía geológica (Larrasoña, Murelaga, Peña Monné, Sancho, 2018). Sin embargo, no existía una cartografía detallada que permitiera mostrar la morfología y disposición espacial de las acumulaciones cuaternarias y de su contexto geológico. Para cubrir este vacío decidimos realizar el presente Mapa Geomorfológico de la Bardena Blanca, que es el objetivo principal de esta publicación, aprovechando la información acumulada desde 2005 y los trabajos parciales existentes.

2. Identificación del proyecto

EL MAPA GEOMORFOLÓGICO de la Bardena Blanca es la representación gráfica de las morfologías componentes del paisaje de una depresión subárida con una larga evolución geomorfológica. El mapa pretende transmitir información ordenada siguiendo una leyenda que conduzca a mostrar los rasgos evolutivos más importantes del área representada. La leyenda se ha construido siguiendo un criterio cronológico, desde las morfologías estructurales más antiguas hasta las formas funcionales más recientes. Su presentación en formato A3 permite diferenciar los colores y tramas empleados para asimilar los contrastes entre las formaciones cuaternarias y con otras formas de relieve.

Los datos expresados en el mapa proceden de las investigaciones realizadas en varios proyectos sobre geomorfología de la Bardena Blanca desde el año 2005, en los que el objetivo principal era obtener datos morfológicos, etapas evolutivas e información cronológica. Las cartografías parciales para los trabajos de campo no llegaron a ser recopiladas en un trabajo cartográfico, en parte por la excesiva información acumulada. Desde 2022 se ha ido completando el mapa hasta su reciente finalización.



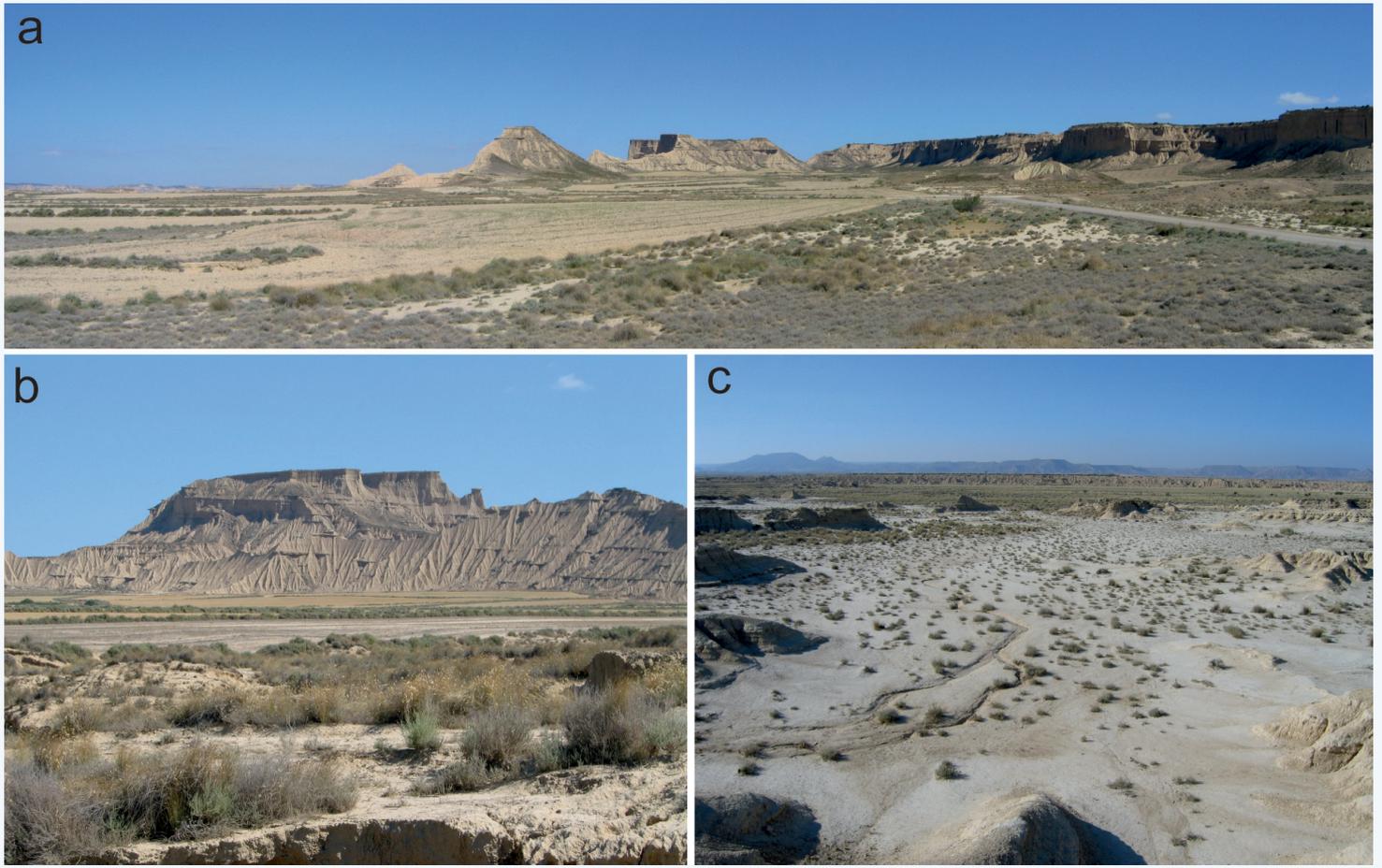


Figura 2. Diversidad de paisajes de la Bardenas Blancas: a) panorámica de los relieves del Rallón y Sanchicorrota, en el límite este de la Blanca; b) relieves estructurales de Pisuerra, en los materiales miocenos del sector norte, fuertemente acarcavados; c) relieves erosivos característicos del fondo de la depresión de la Bardenas Blancas.

3. Componentes del mapa

EL MAPA SE PRESENTA en formato vectorial y representa las principales morfologías de acumulación cuaternaria de la Bardenas Blancas de Navarra, con especial detalle en la cartografía de varias de ellas, que tras su datación permitieron establecer la secuencia evolutiva de la zona. Las variables son formas de relieve

que van desde terrazas fluviales, glaciares, valles de fondo plano y varias tipologías de suelos, con importante presencia de formas erosivas como las cárcavas y escarpes estructurales en cuevas y plataformas.

4. Código cartográfico y elaboración

EL MODELO DE REPRESENTACIÓN utilizado es el del mapa geomorfológico básico aplicado, con una sola variable (formas de relieve), con implantación superficial y lineal. La leyenda, es una leyenda geomorfológica, secuenciada en función de la edad de los materiales, que sigue la norma cartográfica publicada en Peña-Monné J.L. (1997) para mapas detallados, mejorada y actualizada en García-Ruiz et al. (2011). La cartografía se elaboró, mediante

fotointerpretación y digitalización, sobre la plataforma SIG ArcGis 10.7 bajo licencia de la Universidad de Zaragoza, teniendo como base cartográfica el modelo digital de terreno MDT02 Cobertura (2015-Actualidad) con paso de malla de 2 m, el mapa de pendientes derivado y el mosaico de ortofotos más recientes e históricas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea.

5. Resultados y análisis

EL MAPA RECOGE los componentes más importantes del relieve de la depresión de la Bardena Blanca. Dado el predominio de los procesos erosivos y de un laberíntico sistema fluvial, el relieve se compone de pequeñas unidades, que requieren escalas adecuadas para su buena observación. Por ello se eligió una escala en torno a 1:18.000 para su elaboración original.

Los dos primeros ítems de la Leyenda corresponden al sustrato geológico y a las formas estructurales. Al ser un sustrato único, su color constituye la base de todo el mapa. Las formas estructurales representadas tienen su origen en la presencia de capas resistentes –caso de las areniscas y calizas– que generan relieves más abruptos dominados por un escarpe. El escaso buzamiento de las capas permite clasificarlas como plataformas o muelas, aunque también aparecen algunas cuestas en áreas de mayor deformación de las capas. Los relieves estructurales son escasos en el fondo de la cuenca pero predominan en los márgenes, especialmente N y S, con relieves de mayor altitud, como ya se ha indicado.

En segundo lugar, en la Leyenda se hace mención a morfologías de glaciares y terrazas fluviales pleistocenas situados en posiciones elevadas y conservados como formas residuales. El más importante corresponde a los relieves del NW (La Estroza, Cornialto), en la unidad denominada El Plano. Es una superficie algo inclinada hacia el NW y cuyos escarpes sobre la cuenca de la Bardena Blanca forman una pared vertical fácilmente observable desde cualquier punto de las Bardenas Reales. Son materiales detríticos fluviales y depósitos de glaciares de la antigua red del río Aragón (Leránoz, 2015). Por otra parte, y ya en el interior de la Bardena Blanca, hay tres niveles de glaciares, de los cuales el más antiguo se reduce a un pequeño afloramiento (no representable en el mapa). El más alto (P1) de los otros dos niveles ocupa una posición más elevada y se conserva en retazos residuales dispersos. El glaciar más bajo (P2) es más extenso y mantiene gran continuidad en la zona N, dando lugar a un piedemonte bien definido (Fig. 3a). Estos dos glaciares están datados mediante OSL en $50,3 \pm 2,5$ ka BP y entre 20 y 15,5 ka BP, respectivamente (Sancho et al., 2006), de manera que corresponden a dos etapas de la evolución pleistocena de las Bardenas.

Pero el conjunto de depósitos más característicos del fondo de la cuenca se compone de una secuencia que abarca desde el Pleistoceno superior hasta la actualidad, formada por 5-6 niveles (Figs. 3a, 3b) (Peña Monné et al., 2006; Sancho et al., 2005, 2007b). En el Mapa geomorfológico aparecen representados únicamente la parte superior del primero de los niveles (H1) y la etapa H2. El resto de los niveles son de difícil delimitación (caso del H3) o están cubiertos (caso de la base de H1, solo visible en los perfiles de las incisiones) (Fig. 4) o son de tamaño no cartografiable (caso de los H4 y H5-6). La Unidad H1, con un espesor variable (10-15 m) se compone de una parte basal

fecha en $20,6 \pm 0,9$ ka BP (OSL) (1 en Fig. 3c), formada por gravas de un sistema fluvial trenzado o *braided* (Figs. 3c, 4a), capas de limos (2 en Figs. 3c, 4a), niveles limo-arenosos canalizados (3-4 en Figs. 3c, 4a). En su parte media presenta limos laminados (5 en Figs. 3c) datados mediante ^{14}C en $8,15 \pm 70$ ka BP). Estos limos presentan en superficie una fuerte actividad de los procesos de *piping* y desarrollo de regueros y cárcavas (Fig. 4b). La unidad superior de H1 presenta lutitas ocreas y rojizas muy bioturbadas y con *badlands* de divisoria convexa (Fig. 4c) (6 en Fig. 3c). Este depósito culmina en un suelo oscuro, moderadamente desarrollado (7 en Figs. 3c, 4c) que se identifica fácilmente tanto en el campo como en las imágenes de satélite y fotografía aérea por su contraste con los depósitos claros circundantes. Sancho et al. (2008) diferencian un horizonte A de unos 20 cm de espesor con moderada estructura prismática y planar y bioturbación (Fig. 4d). El horizonte B varía entre Bw bien definido y Bt con cutanes de arcilla poco desarrollados y en su parte baja presenta concreciones de carbonato y yeso. El horizonte B se va gradando en profundidad hacia el horizonte C (Fig. 4d). Sus características son propias de un medio árido. Las fechas ^{14}C obtenidas están entre 9380-8890 cal BP y 8160-7950 cal BP (2) (Fig. 3b). El conjunto de capas de la unidad H1 se sedimentaron en ambientes de *sand-flat* y de *playa-lake*, en un dispositivo topográfico prácticamente cerrado. El suelo superior aparece como un relieve residual en la mayor parte de la Bardena Blanca a alturas de 290-305 m s.n.m. por lo que constituyó una superficie morfogenética generalizada.

Sobre esta superficie H1 se produjo la posterior incisión –por tanto con posterioridad a 5 ka BP– que dará salida a la red de barrancos hacia el río Ebro y comenzó una sucesión de fases agradativas y degradativas representadas principalmente por la etapa H2. Esta nueva etapa rellenó la incisión entre *ca.* 4,2 y *ca.* 2,3 ka BP (Fig. 3b) y llegó a generar una segunda gran superficie morfogenética, recubriendo gran parte de H1. Es por ello que ocupa sobre el Mapa Geomorfológico una gran extensión. Los materiales limosos de la unidad H2 reposan sobre los sedimentos de H1, como puede apreciarse en las Figs. 5a y 5b. En la segunda de estas figuras se aprecia la posición de una datación OSL en la base de H2, discordante sobre H1. La gran compactación de los materiales limo-arenosos de H1 y H2 genera en la actualidad escarpes verticales, que evolucionan por caída de paneles laterales hacia el fondo de los barrancos.

En los últimos 2000 años se registran al menos otras tres etapas agradativas (H3 a H5) restringidas al interior de incisiones de la red de barrancos, adoptando forma de terrazas escalonadas (Figs. 5c, 5d, 5e). La acumulación H3 alcanzó poca profundidad y su edad está en torno a 550 BP. Sus depósitos recubren parte de la unidad H2 (Fig. 3b, 5a), aunque también puede aparecer como una terraza escalonada encajada en H2 (Fig. 3a).

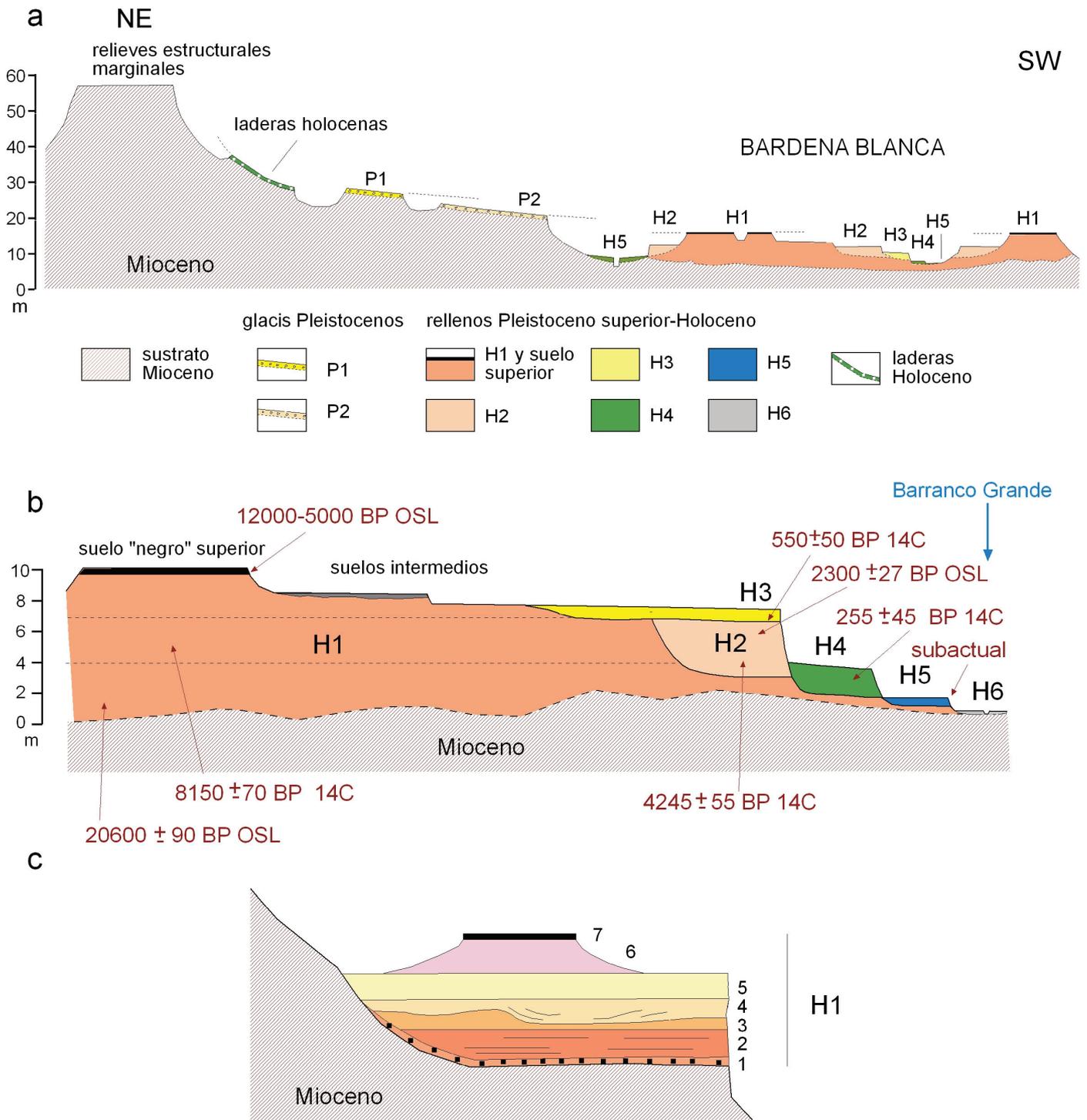


Figura 3. Perfiles sintéticos a diversas escalas de las morfologías acumulativas de la Bardena Blanca: a) perfil general esquemático NE-SW con la disposición de los principales componentes morfológicos pleistocenos y holocenos; b) detalle del conjunto sedimentario Pleistoceno superior-Holoceno con las dataciones existentes para los diferentes niveles acumulativos; c) detalle de la secuencia acumulativa de la unidad H1 en el sector del barranco Grande.

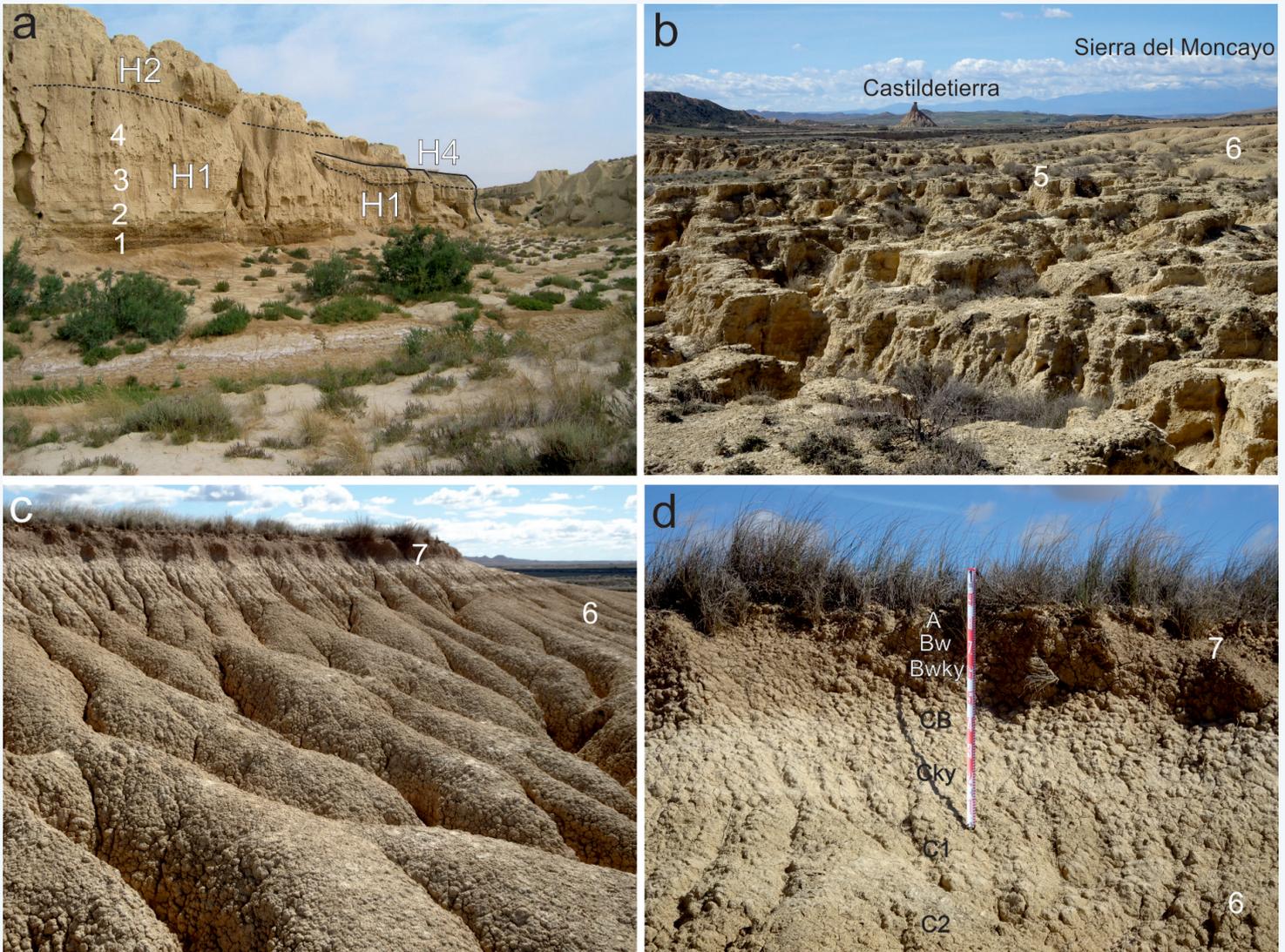


Figura 4. Imágenes de diferentes aspectos de la composición y morfología de la unidad H1: a) perfil del barranco Grande con los niveles basales (1 a 4), superposición erosiva de la unidad H2 y posición encajada de la unidad H4; b) niveles 5 y 6 de la unidad H1, con procesos de pipping y cárcavas en los limos del nivel 5 y cárcavas de divisoria convexa del nivel 6; c) parte superior de H1. A las cárcavas del nivel arcillosos 6 se superpone el suelo (7); d) detalle del suelo de H1 y los horizontes diferenciados.

Sin embargo, la terraza H4 siempre queda bien encajada en el interior de las incisiones (Figs. 5c, 5d, 5e), con escaso espesor sedimentario (2-4 m) y ha sido datada en torno a 255 ± 45 BP. La incisión reciente está representada por el relleno de la terraza H5 y, en algunos barrancos, también un fondo relleno de la etapa H6 (Fig. 3b). Estas últimas etapas son predominantemente limosas y sólo están presentes en algunos barrancos y ocupando lóbulos de meandros debido a la fuerte dinámica actual. Por las fechas obtenidas en H4, se puede establecer una relación con la variabilidad climática propia de la Pequeña Edad del Hielo (Sancho et al., 2007a), mientras que H5 ha sido datado en ca. 128 años BP, a partir de dendrocronología de los tamarices del barranco de Valfondo (Peña Monné et al., 2010).

En la Bardena Blanca, las laderas sin cobertera acumulativa son las dominantes, debido a la fuerte erosión, sin embargo el factor orientación juega un papel muy importante. De manera que existe una clara disimetría entre las laderas de umbría orientadas al norte, donde existe una mayor cobertura vegetal que protege las laderas y la vertiente sur, donde el mayor déficit de humedad mantiene las mayores tasas de erosión (Fig. 6a). Por otra parte, también hay laderas residuales de fases climáticas más húmedas, que se conservan como *talus flatirons*. Uno de estos casos se observa en el conocido cerro de Castildetierra, en cuyos márgenes se conservan morfologías de este tipo, que sirven de indicadores de antiguas posiciones de sus laderas en algunos momentos de estabilización durante el retroceso degradativo del cerro (Fig. 6b).

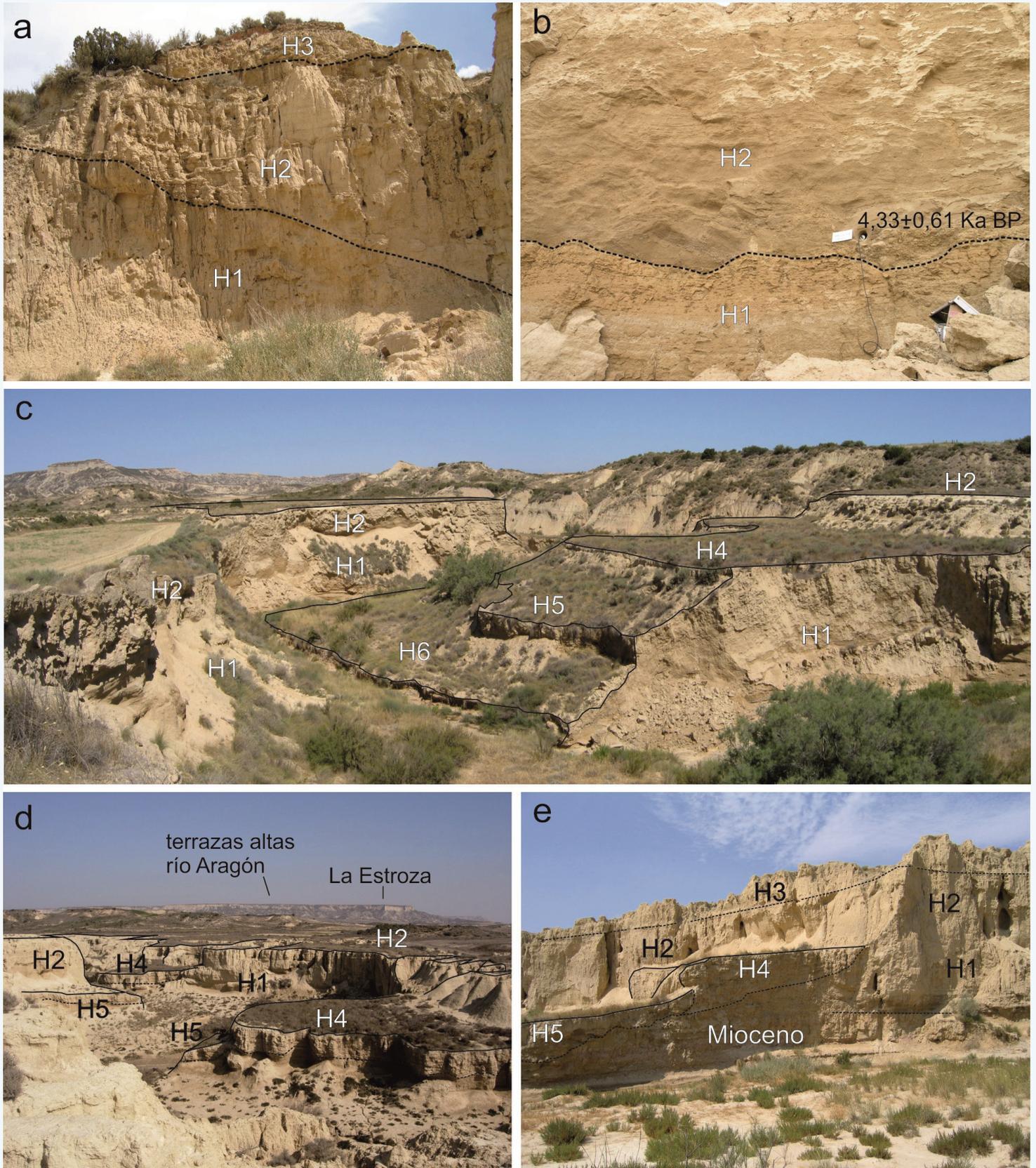


Figura 5. Diferentes relaciones morfológicas entre las unidades acumulativas de la Bardena Blanca: a) superposición de unidades; b) contacto de H2 sobre H1 y datación OSL en la base de H2; c) panorámica con la disposición de las unidades como un sistema de terrazas en el barranco de la Bodega; d) mismas unidades en el barranco Grande; e) perfil con las cinco unidades y el sustrato mioceno.

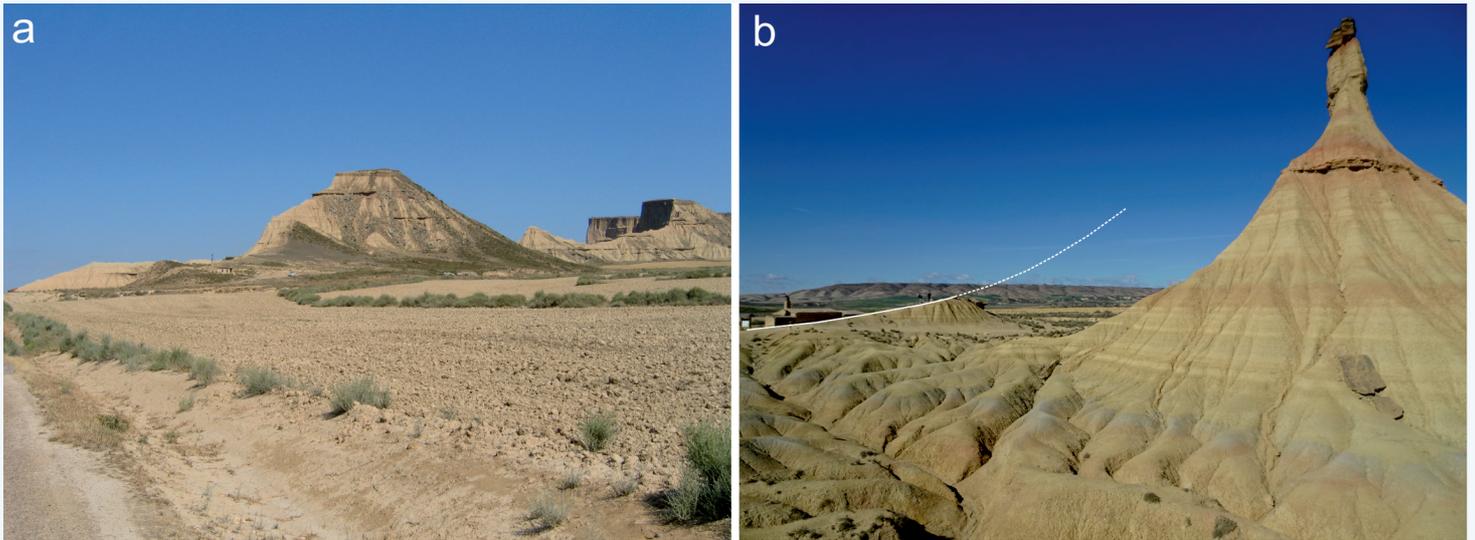


Figura 6. Laderas holocenas en la Bardena Blanca: a) disposición disimétrica de las laderas de sector norte debido al factor orientación; b) relieve residual de Castildetierra con restos de laderas marginales que permiten reconstruir anteriores morfologías del cerro.

Con la diferenciación de estas unidades morfosedimentarias que componen el fondo de la Bardena Blanca se establece una clasificación evolutiva, con una cronología basada en dataciones ^{14}C y OSL publicadas en la bibliografía citada. Por otra parte, trabajos de reconstrucción paleoambiental basados en el estudio de los gasterópodos de las distintas unidades (Murelaga, Ortega, Sancho, Muñoz y Osácar, 2012), en las características geoquímicas (Osácar, Muñoz y Sancho, 2009; Bastida, Osácar, Muñoz y Sancho, 2010; Bastida, Osácar, Sancho y Muñoz, 2013) y en las propiedades magnéticas de los sedimentos (Gómez-Paccard et al., 2017) refrendan las características geomorfológicas y sedimentológicas. Las dos superficies morfogenéticas de las partes superiores de las etapas H1 (suelo oscuro) y H2 nos marcan las dos grandes fases de relleno y estabilización del fondo aluvial. Como gran parte del material de H2 procede de la erosión de H1 apenas hay diferencia de composición e incluso su diagénesis llega a ser similar, por lo que sólo ha sido posible su clasificación tras intensos

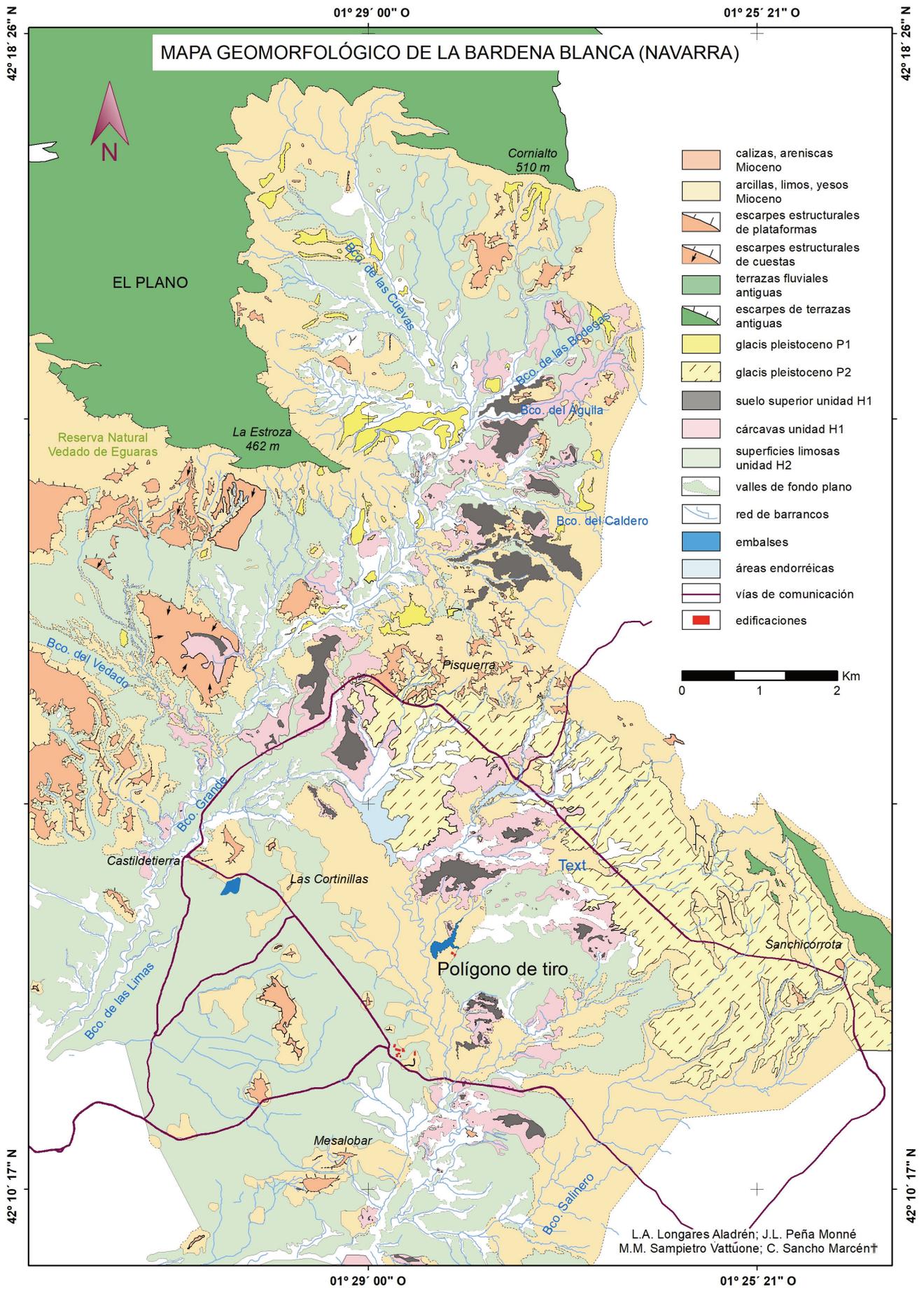
trabajos de campo. Pero tras esta homogeneidad teórica, la Bardena Blanca esconde una larga evolución, que difícilmente puede ser relacionada con otras áreas con acumulaciones holocenas como son los valles de fondo plano (vales) del sector central del valle del Ebro (Peña-Monné, Julián, Chueca, Echeverría y Ángeles, 2004; Peña Monné et al., 2018, 2023; Constante, Peña-Monné y Muñoz, 2010; Pérez-Lambán et al., 2018, entre otros). La unidad H1 se inicia mucho antes en Bardenas (*ca.* 20 ka BP) frente a *ca.* 9-7 ka BP en las vales. Sin embargo, el final de H2 en torno a 2,3 ka BP, es decir en plena Época Romana coincide con las dataciones obtenidas para el final de la acumulación H1 en las vales. Igualmente la incisión posterior a H2 y la formación de terrazas durante la Pequeña Edad del Hielo coincide ya plenamente en ambas regiones. La interpretación de estas diferencias en la primera mitad de H1 habría que relacionarlas con el carácter semi-cerrado que tuvo la cuenca de la Bardena Blanca hasta al menos *ca.* 5 ka BP.

6. Conclusiones

LA BARDENA BLANCA constituye una zona de alto interés geomorfológico por su particular secuencia sedimentaria que aporta una destacada información sobre la evolución del Pleistoceno superior-Holoceno de este sector de la Depresión del Ebro.

Las superficies morfogenéticas H1 y H2 son las guías evolutivas principales de la Bardena Blanca y constituyen la herencia de dos etapas paleoambientales holocenas destacadas. Por una parte, la superficie H1 se puede relacionar con el evento paleoambiental global 8.2 mientras que la superficie H2 supone el final el relleno de Época Romana, relacionado con el alto impacto antrópico producido en esa época.

El mapa resultante pretende mostrar justamente la distribución geográfica de las dos unidades principales de la evolución holocena (H1 y H2). Destacan las secuencias del barranco Grande y de los barrancos del Caldero y de la Bodega, como las más representativas. La intensa erosión superficial y la profunda incisión de la red dendrítica de barrancos compartimentan el relieve en unidades sólo cartografiables en un mapa geomorfológico muy detallado. Esta circunstancia requiere disponer de buenas imágenes de base y de un exhaustivo trabajo de campo para completar la información con buenos resultados.



7. Bibliografía

- Bastida, J., Osácar, M.C., Muñoz, A., Sancho, C. (2010). Características mineralógicas de los sedimentos aluviales holocenos del Barranco Grande (Bardenas Reales de Navarra). *Geogaceta* 48, 167-170.
- Bastida, J., Osácar, M.C., Sancho, C., Muñoz, A. (2013). Environmental changes during the Upper Pleistocene-Holocene in Mediterranean NE Spain as recorded by the mineralogy and geochemistry of alluvial records. *Quaternary International* 302, 3-19.
- Castiella, J., Solé, J., del Valle, J. (1978) *Mapa Geológico de Navarra escala 1:200.000*. Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.
- Constante, A., Peña Monné, J.L., Muñoz, A. (2010). Alluvial geoarchaeology of an ephemeral stream: Implications for Holocene landscape change in the Central part of the Ebro Depression, Northeast Spain. *Geoarchaeology* 25, 475-496.
<https://doi.org/10.1002/gea.20314>
- Del Valle, J.M., Del Val, J. (1990). Procesos de erosión y análisis de sus condicionantes en una región semiárida: la cuenca de Cornialto (Bardenas, Navarra). *Cuaternario y Geomorfología* 4, 55-67.
- Desir, G., Marín, C. (2007). Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena* 71: 31-40.
- Faci, E., Castiella, J., del Valle, J., García, A., Días, A., Salvany, J.M., Cabra, P., Ramírez del Pozo, J., Meléndez, A. (1997). *Mapa Geológico de Navarra 1:200.000*. Gobierno de Navarra.
- Galán, C., Nieto, M. (2015). Cuevas de tubificación y cárcavas en arcilla: pseudokarst de las Bardenas. *Sociedad de Ciencias Aranzadi*.
- García-Ruiz, J.M., Peña-Monné, J.L., Martín-Bono, C., Gómez-Villar, A., Constante, A. y Espinalt, M. (2011). El relieve del Alto Aragón occidental. Cartografía y síntesis geomorfológica. Serie Investigación nº 58. Gobierno de Aragón (Consejo de Protección de la Naturaleza). ISBN: 978-84-89862-78-4.
- Gómez-Paccard, M., Larrasoaña, J.C., Sancho, C., Muñoz, A., McDonald, E., Rhodes, E.J., Osácar, M.C., Costa, E., Beamud, E. (2013). Environmental response of a fragile, semiarid landscape (Bardenas Reales Natural Park, NE Spain) to Early Holocene climate variability: a paleo- and environmental-magnetic approach. *Catena* 103, 30-43.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.013>
- Larrasoaña, J.C., Murelaga, X., Garcés, M. (2006). Magnetobiochronology of Lower Miocene (Ramblian) continental sediments from the Tudela Formation (western Ebro basin, Spain). *Earth and Planetary Science Letters* 243, 409-423.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.01.034>
- Larrasoaña, J.C., Murelaga, X., Peña Monné, J.L., Sancho, C. (2018). *Bardenas Reales de Navarra. Geología. Guía del visitante*. Ministerio Medio Ambiente, Bardenas Reales, 78 pp.
- Leránoz, B. (2015). *Geomorfología y Geología Ambiental de la Ribera de Navarra*. I.G.M.E serie tesis doctorales nº 33, Madrid.
- Marín, C., Desir, G. (2010). Procesos de erosión en una zona de clima semiárido de la depresión del Ebro (Bardenas Reales, NE de España). *Cuaternario y Geomorfología* 24 (3-4), 63-72.
- Martín Martínez, J. y Floristán Samames, S. (1997). *Bardenas Reales de Navarra*. Caja de Ahorros de Navarra, gráficas Estella, S.A.
- Muñoz, A., Sancho, C., Peña, J.L., Benito, G., Rhodes, E., McDonald, E., Longares, L.A. (2006). Cronoestratigrafía de los registros aluviales del tránsito Pleistoceno superior-Holoceno en la depresión de la Bardena Blanca (Navarra). *Geogaceta* 40, 263-266.
- Murelaga, X., Ortega, L.A., Sancho, C., Muñoz, A., Osácar, M.C., (2012). Succession and stable isotope composition of gastropods in Holocene semiarid alluvial sequences (Bardenas Reales, Ebro Basin, NE Spain): Palaeoenvironmental implications. *The Holocene* 22, 1047-1060. <http://doi.org/10.1177/0959683612437869>
- Osácar, M.C., Muñoz, A., Sancho, C. (2009). Indicadores geoquímicos de cambios ambientales en secuencias aluviales holocenas de Bardenas Reales. *Geogaceta* 47, 105-108.

- Peña Monné, J.L. (1997). *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Geoform. Logroño.
- Peña Monné, J.L., Julián, A., Chueca, J., Echeverría, M.T., Ángeles, G. (2004). Etapas de evolución holocena en el valle del río Huerva: Geomorfología y Geoarqueología. En: J.L. Peña Monné, L.A. Longares, M. Sánchez-Fabre (eds.), *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, (pp. 289-302).
- Peña Monné, J.L., Sancho, C., Muñoz, A., Benito, G., Longares, L.A., McDonald, E., Rhodes, E., (2006). Morfoestratigrafía del registro aluvial Pleistoceno superior-Holoceno del Barranco Grande (Bardenas Reales): aproximación a su significado paleoambiental. En: Pérez-Alberti, A., López-Bedoya, J. (eds.), *Geomorfología y Territorio*. Universidade de Santiago de Compostela, (pp. 655-668).
- Peña-Monné, J.L., Sampietro-Vattuone, M.M., Longares-Aladrén, L.A., Pérez-Lambán, J.V., Sánchez-Fabre, M., Alcolea-Gracia, M., Vallés, L., Echeverría, M.T., Baraza, C. (2018). Holocene alluvial sequence of Valderazagoza (Los Monegros) in the paleoenvironmental context of the Ebro Basin (Spain). *Geographical Research Letters* 44 (1), 321-348. <http://doi.org/10.18172/cig.3358>
- Peña-Monné, J.L., Sampietro-Vattuone, M.M., Picazo-Millán, J.V., Longares-Aladrén, L.A., Pérez-Lambán, F., Sancho-Marcén, C., Fanlo, J. (2023). Morphosedimentary and geoarchaeological records during the last 1400 years in the Ebro depression (NE Spain) and their paleoenvironmental significance. *The Holocene* 2022, 1-16. <https://doi.org/10.1177/09596833221145368>
- Peña Monné, J.L., Saz, M.A., Longares, L.A., Schulte, L., Baró, M., Muñoz, A., Sancho, C., Benito, G., Osácar, M.C., Machado, M.J., (2010). Dinámica aluvial reciente en Bardenas Reales de Navarra. En: Úbeda, X., Vericat, D., Batalla, R.J. (eds.) *Avances de la Geomorfología en España 2008-2010*. XI Reunión Nacional de Geomorfología Solsona, (pp. 161-164).
- Pérez Lambán, F., Peña-Monné, J.L., Picazo, J.V., Badia, D., Sampietro-Vattuone, M.M., González-Sámperiz, P. (2018). Burried soils and Geomorphology at La Poza gully stream (NE Spain): a geoarchaeological evolutionary model for the Mid-Late Holocene. *Catena* 163, 147-164. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.017>
- Sancho, C., Benito, G., Muñoz, A., Peña, J.L., Longares, L.A., McDonald, E., Rhodes, E., Saz, M.A. (2007a). Actividad aluvial durante la Pequeña Edad del Hielo en Bardenas Reales de Navarra. *Geogaceta* 42, 111-114.
- Sancho, C., Muñoz, A., Rhodes, E., McDonald, E., Peña, J.L., Benito, G., Longares, L.A. (2006). Morfoestratigrafía y cronología de registros fluviales del Pleistoceno superior en Bardenas Reales de Navarra: implicaciones paleoambientales. *Geogaceta* 45, 47-50.
- Sancho, C., Peña-Monné, J.L., Muñoz, A., Benito, G., Longares, L.A., McDonald, E. y Rhodes, E. (2005). Unidades morfosedimentarias aluviales del Pleistoceno superior-Holoceno de la depresión de La Bardena Blanca (Navarra). En: Rodríguez-Vidal, J., Finlayson, C., Giles, F. (eds.): *Cuaternario mediterráneo y Poblamiento de homínidos*, VI Reunión Cuaternario Ibérico, Gibraltar, (pp. 40-41).
- Sancho, C., Peña-Monné, J.L., Muñoz, A., McDonald, E., Benito, G. y Longares, L.A. (2007b). Cronología del registro aluvial Pleistoceno superior-Holoceno de la Depresión de la Bardena Blanca (Navarra). En: Lario, J. y Silva, P.G. (eds.) *Contribuciones al estudio del Periodo Cuaternario*, Ávila, (pp. 33-34).