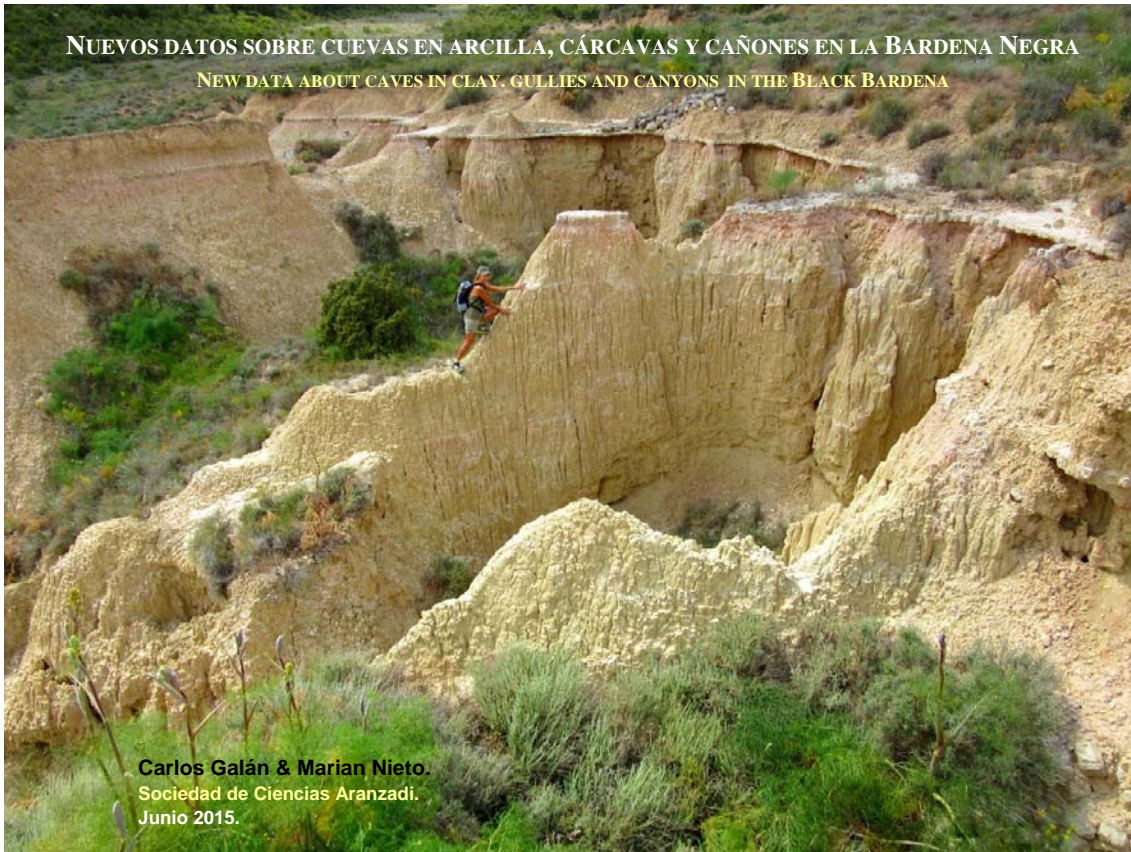


**NUEVOS DATOS SOBRE CUEVAS EN ARCILLA, CÁRCAVAS Y CAÑONES EN LA BARDENA NEGRA**  
**NEW DATA ABOUT CAVES IN CLAY, GULLIES AND CANYONS IN THE BLACK BARDENA**



**Carlos Galán & Marian Nieto.**  
Sociedad de Ciencias Aranzadi.  
Junio 2015.

# NUEVOS DATOS SOBRE CUEVAS EN ARCILLA, CÁRCAVAS Y CAÑONES EN LA BARDENA NEGRA

NEW DATA ABOUT CAVES IN CLAY, GULLIES AND CANYONS IN THE BLACK BARDENA

**Carlos Galán & Marian Nieto.**

Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Junio 2015.

## RESUMEN

Exploraciones recientes efectuadas en la Bardena Negra han permitido descubrir la existencia de importantes sistemas de simas y cuevas en arcilla, formadas por procesos de tubificación en materiales arcillosos, con intercalaciones menores de margas y calizas. Su espeleogénesis está asociada a la formación y evolución de cárcavas y cañones, que actúan como nivel de base local para el flujo de aguas subterráneas. El resultado obtenido de más interés consiste en el hallazgo de sistemas de cavidades en taludes de fuerte declive, donde el desnivel hasta la cabecera de los barrancos alcanza 100 m. Su formación es debida la existencia de un importante gradiente hidráulico.

Cabe destacar que las cuevas en arcilla son muy raras a nivel mundial y su espeleogénesis resulta de interés en Karstología por producirse por procesos de remoción subterránea grano-a-grano de las partículas arcillosas, con poca o nula intervención de la disolución. La proliferación de cavidades de tubificación en arcilla ocurre en zonas áridas y contribuye a la erosión remontante de la red de drenaje epigeo, generando una geomorfología pseudokárstica peculiar, con depresiones, simas, túneles y cuevas, a menudo en continuidad. Los nuevos datos obtenidos ponen de manifiesto que las cuevas en arcilla pueden estar ampliamente extendidas en la región. El trabajo describe e ilustra los ejemplos encontrados y las morfologías asociadas.

*Palabras clave:* Espeleología, cuevas en arcilla, tubificación, pseudokarst, geomorfología, espeleogénesis.

## ABSTRACT

Recent explorations in the Black Bardena have allowed to discover the existence of important systems of clay chasms and caves, formed by piping processes in argillaceous materials, with minor interbedded marl and limestone. Its speleogenesis is associated with the formation and evolution of gullies and canyons, who act as local base level for the flow of groundwater. The most interesting result is the finding of cave-systems on slopes of steep decline, where the unevenness until the header of the gullies reach 100 m. Its formation is due to the existence of an important hydraulic gradient.

It is noteworthy that the caves in clay are very rare worldwide and its speleogenesis is of interest in Karstology by occur by processes of underground removal grain-to-grain of clay particles, with little or no intervention from the solution. The proliferation of piping cavities in clay occurs in arid areas and contributes to eroding headward of epigeous drainage network, generating a peculiar pseudokarst geomorphology, with depressions, chasms, tunnels and caves, often in continuity. The new data show that clay caves may be widespread in the region. The paper describes and illustrates the examples found and associated morphologies.

*Keywords:* Speleology, clay caves, piping, pseudokarst, geomorphology, speleogenesis.

## INTRODUCCIÓN

Las Bardenas es una región árida a desértica situada en el SE de Navarra. Posee una topografía singular, con relieves tabulares, mesetas, agudos cerros aislados, chimeneas de las hadas, taludes con crestas y cárcavas, planicies escalonadas a distintos niveles y una red entallada de drenaje temporal, donde amplios barrancos tienen una red secundaria de gargantas y pequeños cañones (gullies). En la vecindad de las paredes verticales de los mismos, por procesos subterráneos de tubificación o piping, se desarrollan simas, cuevas, túneles, hundimientos y cárcavas adicionales, dando un paisaje distintivo en materiales arcillosos.

En un trabajo previo (Galán & Nieto, 2015) describimos un conjunto de más de 50 cavidades en arcilla (las mayores de ellas cuevas de 60 m de desarrollo), en la parte más árida de la región (Bardena Blanca). En esta nota presentamos el resultado de prospecciones efectuadas en la Bardena Negra, zona algo menos árida, con mayores elevaciones y mayor cobertura vegetal, situada al Sur de las Bardenas de Navarra, en la zona limítrofe con Aragón (Norte de España).

Este trabajo, preliminar, ha permitido poner al descubierto que también se forman cuevas en arcilla por procesos de piping en laderas y taludes, siempre que exista un fuerte gradiente hidráulico entre la zona de infiltración y el nivel de base local. Así hemos encontrado sistemas extensos de simas, prolongados en galerías de mayor desarrollo y desnivel que las conocidas previamente. También hemos hallado ejemplos de cuevas y simas en cañones y gargantas, comparables a las descritas de la Bardena Blanca.

Estas cavidades se forman y destruyen con facilidad, y resultan inestables, por lo que se requerirá posteriores salidas de exploración, con técnicas adecuadas, para avanzar en su conocimiento evitando riesgos. Los procesos erosivos y de piping en arcilla hacen que la red de drenaje experimente una evolución remontante hacia sus cabeceras, generando nuevas cavidades y manteniendo una morfología de conjunto, que bien pudiera denominarse karst o pseudokarst en arcilla. A su vez, los nuevos datos obtenidos ponen de manifiesto que pueden existir en estos materiales poco litificados (arcillas y lutitas) sistemas extensos de cavidades, de importantes desniveles, en muchas otras localidades y posiciones fisiográficas.

Es potencialmente muy probable que exploraciones progresivas del territorio permitan encontrar una enorme cantidad y diversidad de ejemplos de distintos tipos de cavidades en arcilla, haciendo que la región de las Bardenas ocupe un lugar destacado a nivel mundial por la profusión de este tipo de fenómenos y la singularidad de sus relieves asociados.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Los datos presentados son el resultado de prospecciones efectuadas en una zona de la Bardena Negra limítrofe con Zaragoza. Se utilizaron los materiales y equipos habituales en prospecciones espeleológicas (cascos con iluminación de Leds, cuerda estática, instrumental topográfico Suunto y material de colección de fauna cavernícola). Tras analizar la información cartográfica y geológica disponible, así como fotografía aérea, se seleccionaron puntos y zonas propicios para el hallazgo de cuevas. Las cavidades exploradas y los datos sobre sus principales rasgos geomorfológicos son ilustrados con fotografía digital.

## **RESULTADOS**

El área de estudio se sitúa en una zona limítrofe entre Navarra y Zaragoza, al Norte del Portillo de Santa Margarita (km 18 de la carretera Tudela - Ejea de los Caballeros), y comprende las mesetas de Las Nasas, continuación geológica de la Plana de La Negra que forma hacia el N de la misma la divisoria de aguas entre ambos territorios. Esta serie de mesetas conforma los niveles más elevados de las Bardenas y están constituidas por materiales arcillosos con intercalaciones de calizas y margas de la Formación Tudela, de edad Mioceno.

La Bardena Negra, situada al Sur de la Bardena Blanca y de su planicie central, resulta algo menos árida que la Blanca y parcialmente cubierta con vegetación de pino carrasco, sabinares, carrascales, y una vegetación herbácea menor con abundancia de plantas de romero, tomillo, lavanda, brezos y otras especies aromáticas.

La zona prospectada comprende la Nasa Baja (que forma una cresta alargada N-S de 602 m snm de altitud), la Nasa Alta (meseta más amplia también denominada Tripa Azul, con un vértice geodésico a 629 m snm), separadas por un collado en la cota 514 m snm. Al Norte del collado, los taludes (de fuerte pendiente) poseen drenaje hacia el Barranco de los Sorianos, afluente del Barranco del Belcho, que recorre la parte S de la depresión central de las Bardenas hacia el SW, para tributar al río Ebro. Este territorio queda incluido en Navarra. Al Sur del collado que separa ambas Nasas, el drenaje se dirige hacia el S y luego al W, formando un barranco entallado, progresivamente más profundo (Barranco Sur de las Nasas), el cual desciende hacia una planicie a 400 m snm, para tributar al arroyo Riguel, al E, que a su vez desagua en el Ebro, pero mucho más al SE que el Barranco del Belcho. Actualmente las aguas del Cañón Sur se incorporan en la planicie a la acequia de Cinco Villas. Todo el sector oriental y sus drenajes quedan incluidos en la provincia de Zaragoza. Todas las zonas exploradas en Las Nasas se desarrollan en materiales de la Formación Tudela (de edad Mioceno) (Figuras 01 á 11).

El mayor número de cavidades fue encontrado en dos sectores: (1) al N del collado, en taludes de arcillas rojas de la parte media de la formación (hasta su base en una de las cabeceras del Barranco de los Sorianos), entre cotas de 512 y 435 m snm, y (2) en el Cañón Sur de las Nasas, en arcillas y margas ocreas con niveles de caliza margosa de la parte inferior de la Formación Tudela. El cañón presenta en su talweg algunos rellenos mixtos, aluviales-coluviales, de limos y arcillas, de edad Holoceno. La parte entallada del barranco desciende suavemente desde cotas de 475 m snm en su cabecera hasta alcanzar los 400 m snm en la planicie. En este segundo sector encontramos sistemas de pequeñas cuevas, asociadas a gullies, similares en su morfología a las descritas previamente para materiales Holocenos de la Bardena Blanca (Galán & Nieto, 2015). La cavidad más grande encontrada es una cueva que forma un túnel horizontal de 25 m de longitud, el cual perfora un tramo de la base del cañón tras un resalte vertical (cascada seca) de -8 m. En cambio, en el primer sector, al N del collado, predominan ampliamente los sistemas de simas (con pozos de entrada de hasta -20 m de desnivel) que prosiguen en galerías descendentes, formando un extenso sistema subterráneo con interconexiones. También se localizan en este sector cárcavas entalladas de fuerte declive, con simas internas y tramos techados que constituyen galerías escalonadas (Figuras 12 á 32).

La principal diferencia con las cavidades de la Bardena Blanca consiste en la proliferación de simas y cuevas oblicuas de mayor desarrollo y desnivel, formadas en arcillas Miocenas. En ambos casos su espeleogénesis se debe a proceso de tubificación o piping. Pero este ocurre no sólo en zonas planas en la vecindad de gullies, sino también en taludes donde existe un fuerte gradiente hidráulico entre la zona de infiltración y la de descarga, con desniveles del orden de 75 á 100 m y extensiones en planta superiores a 100 m. Una descripción detallada del contexto geológico y climático de Las Bardenas fue expuesto en Galán & Nieto (2015). En el apartado siguiente nos referiremos más sucintamente a la zona estudiada de la Bardena Negra.



Figura 01. Bardena Negra. Aspecto general del área de estudio en las mesetas de Las Nasas, con materiales arcillosos de edad Mioceno (Formación Tudela). Arriba: Nasa Alta. Centro y debajo: Flancos E y W de la Nasa Baja, respectivamente. Nótese la cobertura vegetal, variable en sus diversos sectores.



Figura 02. Bardena Negra. Vista desde la Nasa Baja hacia los relieves áridos de la Bardena Blanca (arriba), parte central de la cresta (imagen central) y relieves del W (imagen inferior).



Figura 03. Vegetación de pino carrasco, sabinas y coscojas en la Nasa Alta (arriba y centro) y parte Sur de la Nasa Baja (debajo). Al fondo la Plana de la Negra, máxima elevación de la Bardena Negra

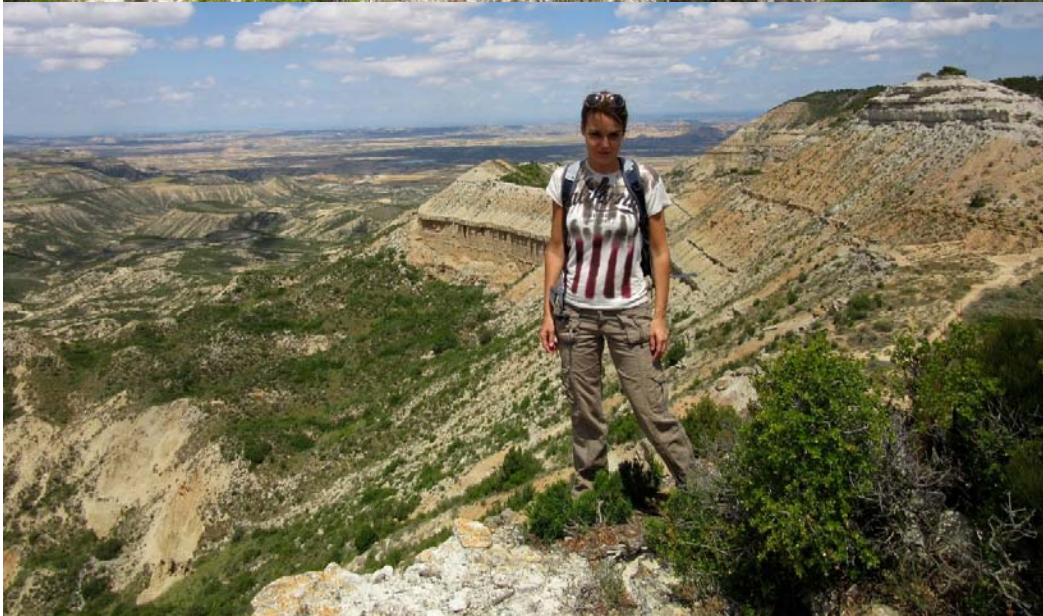


Figura 04. Parte central de la cresta de la Nasa Baja, con su punto más alto a 602 m de altitud y cortados verticales en su lado W. Destaca el estrato grueso de caliza que forma la base de la unidad litoestratigráfica superior.



Figura 05. Parte Norte de la cresta de la Nasa Baja (Bardena Negra).





Figura 06. Colinas secundarias sobre la parte Norte de la cresta de la Nasa Baja.



Figura 07. Vértice Norte de la cresta de la Nasa Baja, con el collado que la separa al Este (derecha) de la meseta denominada Nasa Alta o Tripa Azul.



Figura 08. Collado entre las dos Nasas y vista del lado Oeste de la Nasa Alta, con intercalaciones de caliza entre los materiales arcillosos de la Formación Tudela (de edad Mioceno). Puede apreciarse el colapso de bloques del estrato grueso de caliza que separa la unidad superior de la central.



Figura 09. Remontando desde el collado hacia la cumbre de la Nasa Alta, con afloramientos de estratos de caliza en la unidad litoestratigráfica superior y cárcavas con arcillas ocreas.



Figura 10. Cumbre plana de la Nasa Alta y vegetación característica con coscojas y rodales de sabinas, pino carrasco y vegetación herbácea.



Figura 11. Unidades litoestratigráficas de la Formación Tudela (de edad Mioceno) en las Nasas. Arriba: el collado y el flanco W de la Nasa Alta. Centro: el estrato calizo basal de la unidad superior, con bloques de colapso. Debajo: Relieves entallados por cañones y cárcavas al W de la Nasa Baja.



Figura 12. Pequeñas simas, con prolongaciones de pequeñas galerías y mesocavernas localizadas inmediatamente por debajo del collado entre ambas Nasas, en su lado Norte, cota 512 m snm.



Figura 13. Flanco N del collado entre las Nasas. Arriba: dolinas con pequeñas cavidades laterales. Centro: sima de 2 m de ancho y -4 m de desnivel. Debajo: sima de 10 m de diámetro y -20 m de desnivel. Las dos simas se prolongan en galerías descendentes amplias que alcanzan mayor desarrollo y profundidad.





Figura 14. Sima a menor cota, de 8 m de diámetro y -10 m de desnivel, prolongada en galería amplia. Nótese el fuerte declive del perímetro superior y la fuerte pendiente de la ladera.



Figura 15. La unidad estratigráfica media de la Formación Tudela en el flanco W de la Nasa Alta, por debajo del collado N, con arcillas rojas (imagen superior). Nótese la presencia de bocas de simas adicionales que perforan la unidad infrayacente de arcillas y margas ocreas (imagen inferior), y que forman parte del mismo sistema de cavidades subterráneas, el cual alcanza desniveles del orden de -70 a -80 m.



Figura 16. Sima de -10 m de desnivel con galerías inferiores, en el flanco N del collado entre ambas Nasas.

## CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

La región de Las Bardenas formó parte de una cuenca endorreica durante el Eoceno-Mioceno (la depresión o lago del Ebro), hasta que la erosión perforó la cadena costera catalana y el río Ebro abrió su paso para conectar con el Mediterráneo. La cuenca pasó a ser exorreica en el Mioceno final. Durante ese lapso se rellenó de sedimentos fluvio-lacustres (fundamentalmente arcillosos y margosos) procedentes de la elevación de la cadena Pirenaica, al Norte, pero también recibió algunos aportes de la cadena Ibérica, situada al Sur. El paso del régimen endorreico al exorreico debió producirse en el tránsito Mioceno-Plioceno (Riba, 1964; Salvany, 1989), aunque faltan dataciones para establecer con precisión el inicio de dicho proceso. A partir de entonces los materiales Terciarios van siendo erosionados, vaciando gran parte de la cuenca y originando relieves tabulares, escarpes y cerros cónicos de formas caprichosas. En el Holoceno, la dinámica erosiva fluvial ha seguido profundizando el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles, como por la ejercida en las laderas, a lo que se suma la incisión de la red de drenaje en las planicies.

En conjunto Las Bardenas ocupan una extensión de 600 km<sup>2</sup>. Si bien toda la cuenca posee climas continentales áridos (con un promedio de precipitaciones de 350 mm/a, la Bardena Blanca es la que ofrece un aspecto más desolado y desértico, mientras que la Bardena Negra, que ocupa la mitad meridional, posee mayor cobertura de vegetación y resulta algo menos árida. Los contrastes térmicos son también importantes, con temperaturas que superan los 40°C en verano y -5°C en los meses invernales, cuando son frecuentes las heladas.

En el área de estudio que abarca las mesetas de Las Nasas y sus relieves circundantes sólo afloran materiales Miocenos (Aragoniense), de la Formación Tudela. En el área se distinguen tres unidades litoestratigráficas (Faci Paricio et al, 2006):

(1) En el tope de las mesetas aflora una unidad de calizas, margas y arcillas (nivel 399 en la Cartografía Geológica de Navarra). La serie tiene por base un potente nivel calizo de 4-5 m de espesor, constituido por una superposición de capas calcáreas (con algas caráceas y abundante bioturbación). Por encima se encuentra una serie alternante de arcillas grises y rojas con capas de caliza de pequeño espesor, alternantes con tramos arcillosos rojizos con nivelitos de limolita. La unidad representa, desde un punto de vista sedimentológico, una etapa donde abundaron los medios lacustres carbonatados. En las zonas prospectadas no se encontraron cavidades. Su espesor alcanza un máximo de 75 m en la Nasa Alta y 50 m en la Nasa Baja, disminuyendo en distintos puntos de la cresta, según varía la cota de altitud, ya que el dispositivo estructural es subhorizontal.

(2) En los flancos de las mesetas, rodeando a la unidad anterior, se presenta un nivel de arcillas rojas con espesores de 50 a 75 m (nivel 398). Hacia el Sur presenta delgadas intercalaciones de caliza y nivelitos de arenisca, con profusión de paleocanales. Esta facies representa, sedimentológicamente, la ocurrencia de un sistema fluvial procedente del Sur que hacia el N y E pasa a una llanura lutítica distal con algunos pequeños lagos carbonatados. Es en esta unidad donde se desarrolla un importante sistema de simas y cavidades descendentes que alcanzan el techo de la unidad infrayacente, en la cabecera del Barranco de los Sorianos.

(3) A menores cotas se desarrolla otra unidad de arcillas y margas ocreas con niveles de caliza y margocaliza (nivel 396), de espesor variable, dependiendo de su interdigitación con unidades lutíticas infrayacentes. Llega a alcanzar 100 m de espesor. Las arcillas son algo limosas y generalmente de tonalidades ocreas, aunque también son frecuentes niveles grises en tramos de espesor decimétrico a métrico. Los niveles de caliza tienen texturas de tipo grainstone y grano fino, y se manifiestan en capas decimétricas que pueden amalgamarse en niveles de hasta 2 m. Las capas de margas son también frecuentes, de colores grises y espesores centimétricos a decimétricos. Desde el punto de vista sedimentológico la unidad representa distintos episodios de sedimentación caliza en pequeños lagos de carácter relativamente efímero y salino, alternando con episodios en los que domina la sedimentación terrígena en ambientes de llanura lutítica aluvial, surcada localmente por pequeños canales fluviales sinuosos. En esta unidad se desarrolla el Cañón Sur de Las Nasas, con cavidades a distintos niveles, y la cabecera del Barranco de los Sorianos, hasta el cual alcanza y penetra la parte inferior del sistema de simas y cavidades del lado N del collado, que perfora los niveles superiores de esta unidad, con cavidades adicionales, a la vez que constituye la zona de surgencia

En el talweg de los barrancos se encuentran rellenos y acumulaciones detríticas aluviales-columiales, que incluyen bloques colapsados de las laderas. Estos materiales, de edad Holoceno, constituyen rellenos de limos, arcillas, arenas y gravas con cantos angulosos de tamaño muy variable y orden decimétrico (nivel 543 en la cartografía geológica). Existen también en la zona más baja del cañón algunos depósitos lutíticos Holocenos (nivel 537) con delgadas hiladas de cantos de caliza y arenisca, de débil espesor, donde resulta difícil discriminar entre la parte derivada de un origen fluvial y la que posee un origen gravitacional, y a los que se asigna igualmente una edad Holoceno.

Cabe destacar que las lluvias son poco frecuentes y muy variables a lo largo del año, oscilando entre valores mensuales de 10 a 55 mm, aunque algunos años húmedos pueden duplicar estas cifras. Por lo general hay dos máximos pluviométricos anuales (a fin de primavera e inicio del otoño); durante estos máximos las lluvias son de baja intensidad (lloviznas de carácter ciclónico), por lo que su capacidad erosiva es baja. Mientras el resto del año, aunque las precipitaciones son menores, las lluvias son de elevada intensidad y corta duración (carácter tormentoso), por lo que poseen una alta capacidad erosiva (Marín & Desir, 2010). La capacidad expansiva y el alto contenido en sales de sodio de los materiales arcillosos predominantes, facilitan la infiltración y el desarrollo de los procesos de tubificación o piping. En zonas de fuerte pendiente, con materiales arcillosos poco litificados, puede comprenderse que la erosión subterránea llega a ser muy importante durante las crecidas, excava el terreno y produce colapsos y aplastamiento de las galerías ya formadas, por lo que la exploración de estas cavidades entraña riesgos y sólo deben abordarse en condiciones adecuadas (épocas secas) y/o cuando los conductos presentan cierta estabilidad.

## DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CAVIDADES

En los taludes situados al N del collado entre Las Nasas, a partir de la cota 512 m snm de altitud, se presenta un conjunto de dolinas, hundimientos y simas que se escalonan a lo largo de la ladera hasta cotas de 440 m en la cabecera del Barranco de los Sorianos, en territorio de Navarra. Algunas son simples dolinas o hundimientos con pequeñas prolongaciones en galerías de escaso desarrollo. Pero existe un conjunto de simas, con amplias bocas circulares, de 2 á 8 m de diámetro, generalmente de forma acampanada (de base más ancha), que prosiguen en galerías amplias de fuerte declive. Localizamos un total de 8 simas cuyos pozos de entrada tienen desniveles verticales de -4 á -20 m. Los tramos explorados y la dirección de las galerías sugieren que se trata de un sistema interconectado (de no existir obstrucciones por colapso) que puede descender -70 á -80 m de desnivel, con un desarrollo en planta aún mayor (Figuras 12 á 16).

Además, y comenzando a cotas superiores (540 m snm) existen varios sistemas de cárcavas, profundamente entalladas y de fuerte declive (45 á 50°), con simas internas y tramos techados que constituyen galerías escalonadas, las cuales se prolongan hasta la cabecera del barranco inferior a cotas de 440 m snm, por lo que salvan un desnivel del orden de -100 m (Figuras 17 á 19).

Básicamente, ambos tipos de cavidades se desarrollan en el nivel intermedio de arcillas rojas (nivel 398) de la Formación Tudela (por debajo del tramo de bancos de caliza compacta y arcillas de la unidad superior) y penetran en la parte superior de la unidad infrayacente de arcillas y margas ocreas con niveles de caliza y margocaliza (nivel 396). De este modo constituyen sistemas hidrogeológicos, con actividad hídrica temporal, formados por procesos de piping y erosión torrencial en arcillas Miocenas.

En el Cañón Sur de Las Nasas las cavidades se desarrollan por piping en la vecindad de gullies y cárcavas secundarias de la unidad inferior (nivel 396) de materiales arcillosos y margas ocreas con intercalaciones de niveles de caliza de débil espesor. Sus morfologías y rasgos son similares a las cavidades descritas de la Bardena Blanca (Galán & Nieto, 2015), existiendo más de dos docenas de simas laterales, abrigos y cuevas del orden de unos pocos a 20 m de desarrollo. La cavidad de mayor desarrollo es una cueva-túnel subhorizontal de 25 m de longitud, con bocas de escaso diámetro pero con una amplia galería interna (Figuras 25 á 27). Las cavidades han sido formadas por procesos de piping en la vecindad del cañón y de gullies afluentes formados por erosión remontante. La excavación basal del talweg del cañón ha generado numerosos colapsos y ventanas que conectan con tubos de piping paralelos a las paredes. También existen cortos túneles y arcos de roca que perforan aristas entre meandros. Algunas pequeñas cavidades y mesocavernas perforan y aprovechan niveles delgados de caliza intercalados en la serie, y prueban a su vez que también ocurren o se ven involucrados procesos de disolución de las rocas encajantes, además de piping (Figuras 20 á 32).

Entre las formas de superficie destacan algunas dolinas y hundimientos, colinas y montículos residuales con costras cuarteadas y afloramiento de sales (Figuras 23 y 24), así como destacables ejemplos de suelos poligonales en fondos planos con relleno de arcillas Holocenas, sujetas a desecación periódica y retracción (Figura 30).

En suma, un conjunto de fenómenos kársticos o pseudokársticos en arcilla, según las distintas acepciones de estos términos utilizados en karstología y espeleogénesis (ver al respecto: Halliday, 2004).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los datos presentados son de naturaleza preliminar, ya que corresponden a sólo unas pocas exploraciones en áreas muy limitadas de una extensa región. A las 50 cavidades descritas para la Bardena Blanca, puede sumarse una cifra similar para el total de cavidades exploradas (en algunos casos sólo parcialmente) en este sector de la Bardena Negra.

La mayor contribución de esta nota reside en poner al descubierto que la presencia de cavidades en arcilla, formadas por procesos de tubificación o piping, no sólo se limita a la red de gullies o gargantas entalladas en las planicies Holocenas, sino que también puede darse u ocurrir en los flancos de mesetas y cañones de la Formación Tudela, en materiales arcillosos Miocenos. Incluso parece probable, a la luz de los datos disponibles, que es precisamente en estos terrenos donde puede esperar encontrarse cavidades de mayor magnitud tanto en desnivel como en desarrollo de galerías.

Por lo apreciado desde lo alto de las mesetas y a través del examen de fotografías aéreas, nuestra impresión actual es que existen muchos otros lugares y zonas propicias para el descubrimiento de nuevas cavidades en arcilla. Ello implica efectuar sobre el terreno muchas más prospecciones detalladas y abordar exploraciones subterráneas en condiciones climatológicas adecuadas (épocas más secas del año, sin riesgo de lluvias), con equipos y técnicas adecuadas para el descenso de simas en materiales poco consolidados y/o relativamente inestables.

En todo caso, lo hasta ahora conocido (y expuesto) sobre cavidades en arcilla, formadas básicamente por procesos de piping, abre un amplio campo para futuras investigaciones, a la vez que pone de manifiesto que estamos en presencia de un notable tipo de pseudokarst en arcilla, de gran interés para la karstología, hidrogeología y espeleogénesis a nivel mundial. Precisamente por ocurrir en unas litologías muy poco investigadas desde un punto de vista geo y bioespeleológico.

Los nuevos datos aportados sobre cuevas y drenajes subterráneos encontrados en los materiales arcillosos de Las Bardenas, agregan valores adicionales al interés científico, geográfico y medio-ambiental que presenta esta región semidesértica, enclavada en el Sur de Navarra.

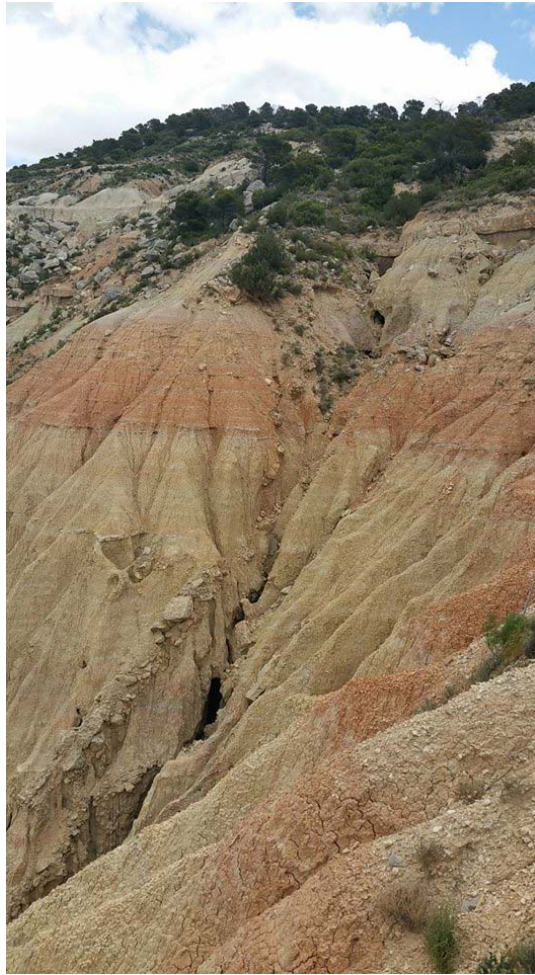


Figura 17. Profundas cárcavas en la ladera W de la Nasa Alta, las cuales se inician 50 m por encima del collado Norte. Algunas de ellas poseen en su fondo simas y sistemas de galerías subterráneas.

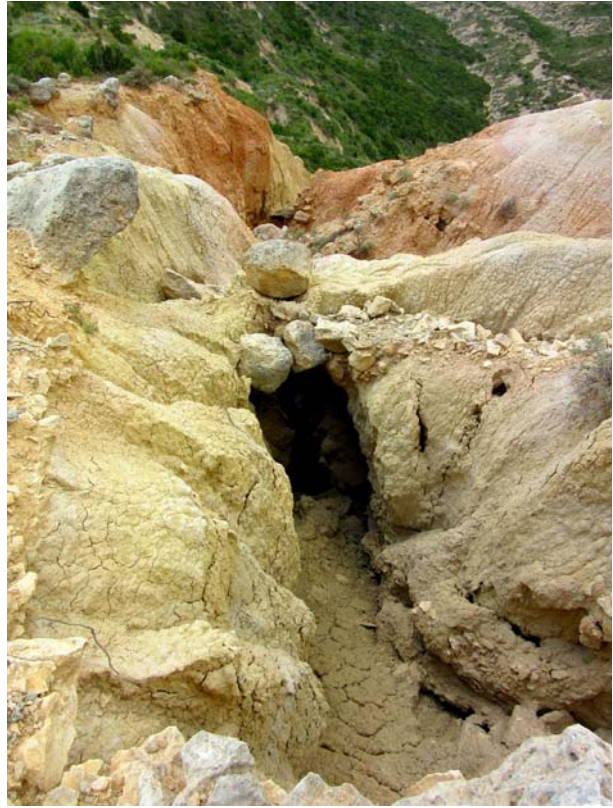


Figura 18. Profunda cárcava entallada. Se inicia con un corte vertical en la ladera y su fondo profundiza con simas escalonadas interconectadas por galerías descendentes con claraboyas adicionales. Forma un sistema subterráneo, que discurre paralelo a la superficie a lo largo de un desnivel de -100 m. Nótese la presencia de bloques acuñaos y puentes inestables entre distintas bocas de acceso.

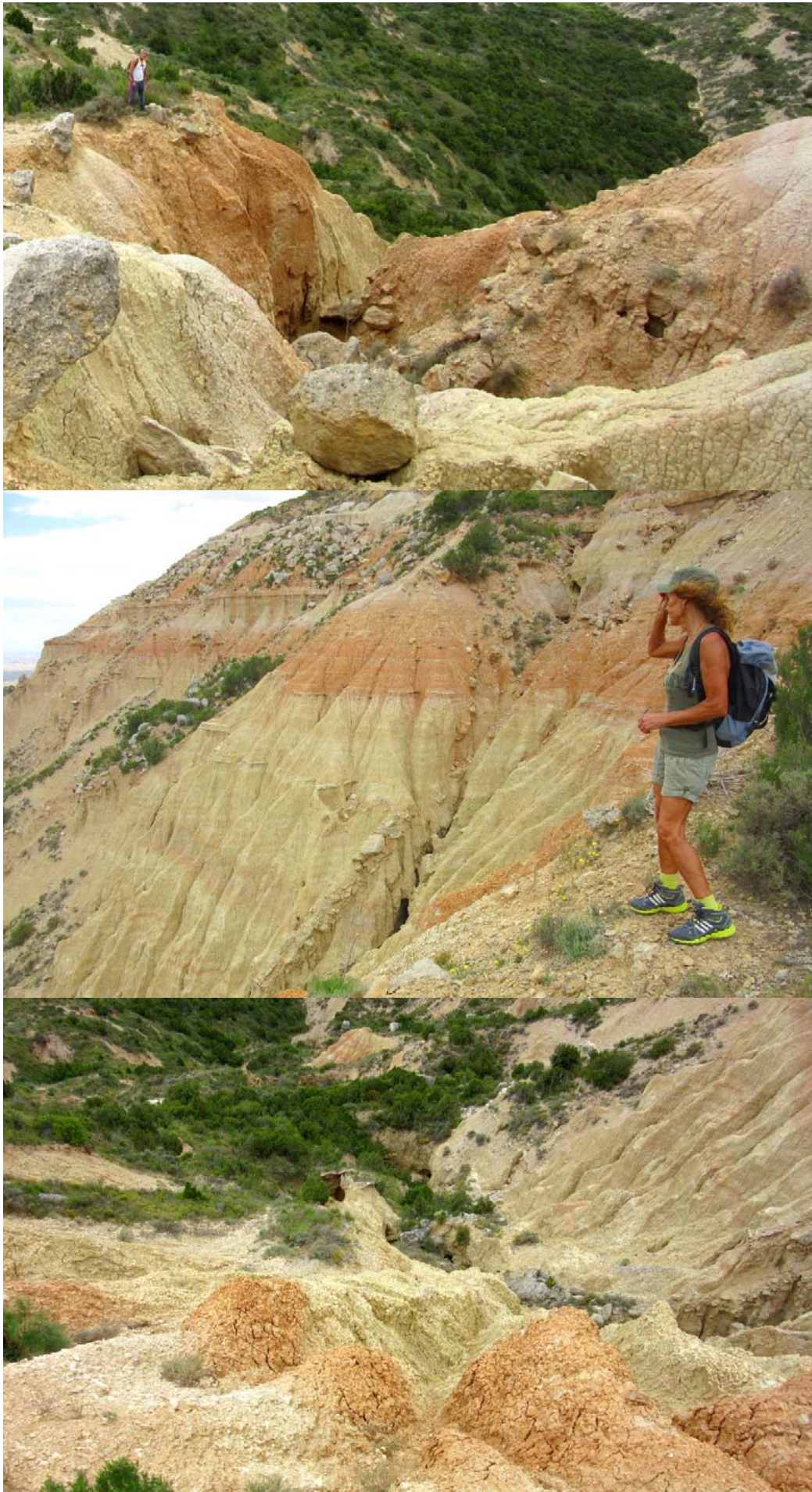


Figura 19. Estos sistemas de simas excavados en el fondo de cárcavas de fuerte declive poseen zonas de borde inestables y, en su parte baja, simas adicionales que forman parte de la misma red subterránea.





Figura 20. Inicio del barranco o Cañón Sur de Las Nasas, con colapsos de bloques arcillosos y delgados niveles de margas y calizas intercalados en las arcillas ocre de la unidad litoestratigráfica inferior.

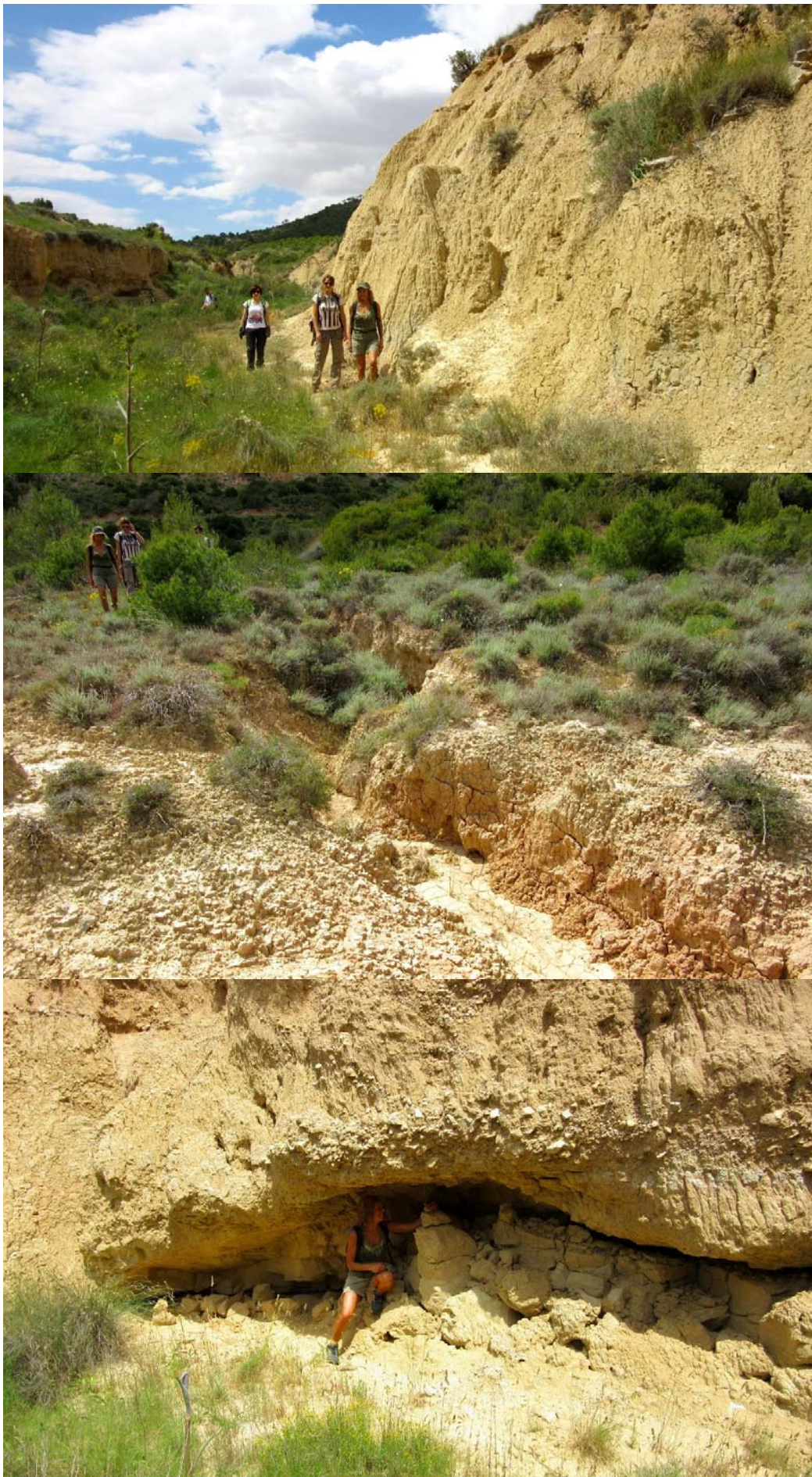


Figura 21. El barranco entalla progresivamente su cauce, con abrigos y pequeñas cavidades de tubificación o piping a lo largo de sus paredes arcillosas



Figura 22. Cañón Sur de Las Nasas. Arcillas con niveles de cantos angulosos (arriba). Simas y pequeñas cavidades de piping comunicadas con las paredes (centro) y pequeñas cuevas basales (debajo).



Figura 23. Los procesos de piping y el retroceso erosivo de las paredes del cañón generan gullies secundarios, con festones y aristas residuales de curiosas formas.



Figura 24. La erosión y los procesos de piping excavan pequeñas galerías en las arcillas y dejan pináculos de formas residuales con abrigos y pequeñas cuevas adicionales. Cañón Sur de Las Nasas.

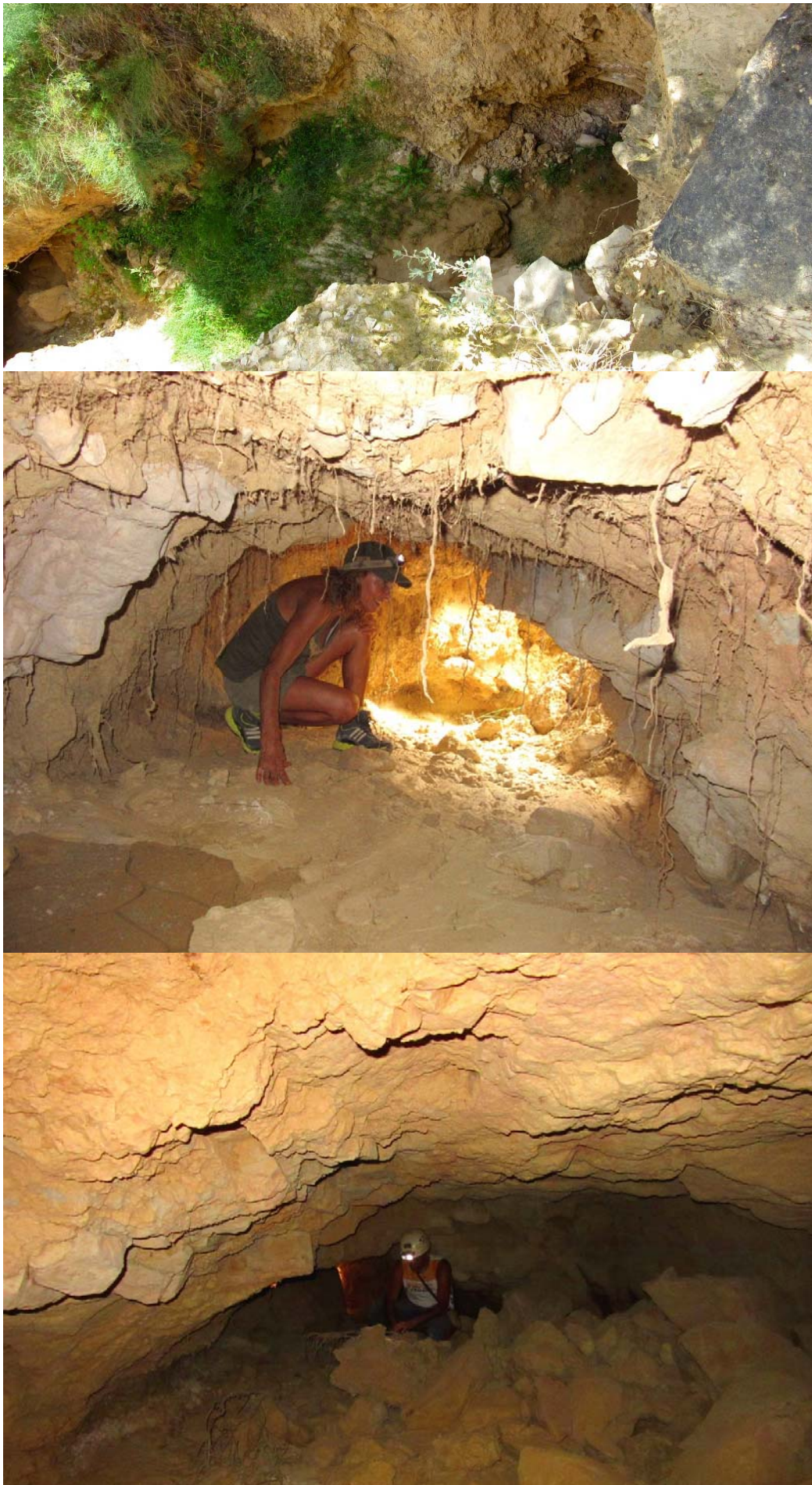


Figura 25. Cascada seca de 8 m en el cauce del cañón y cueva inferior de 25 m de desarrollo.

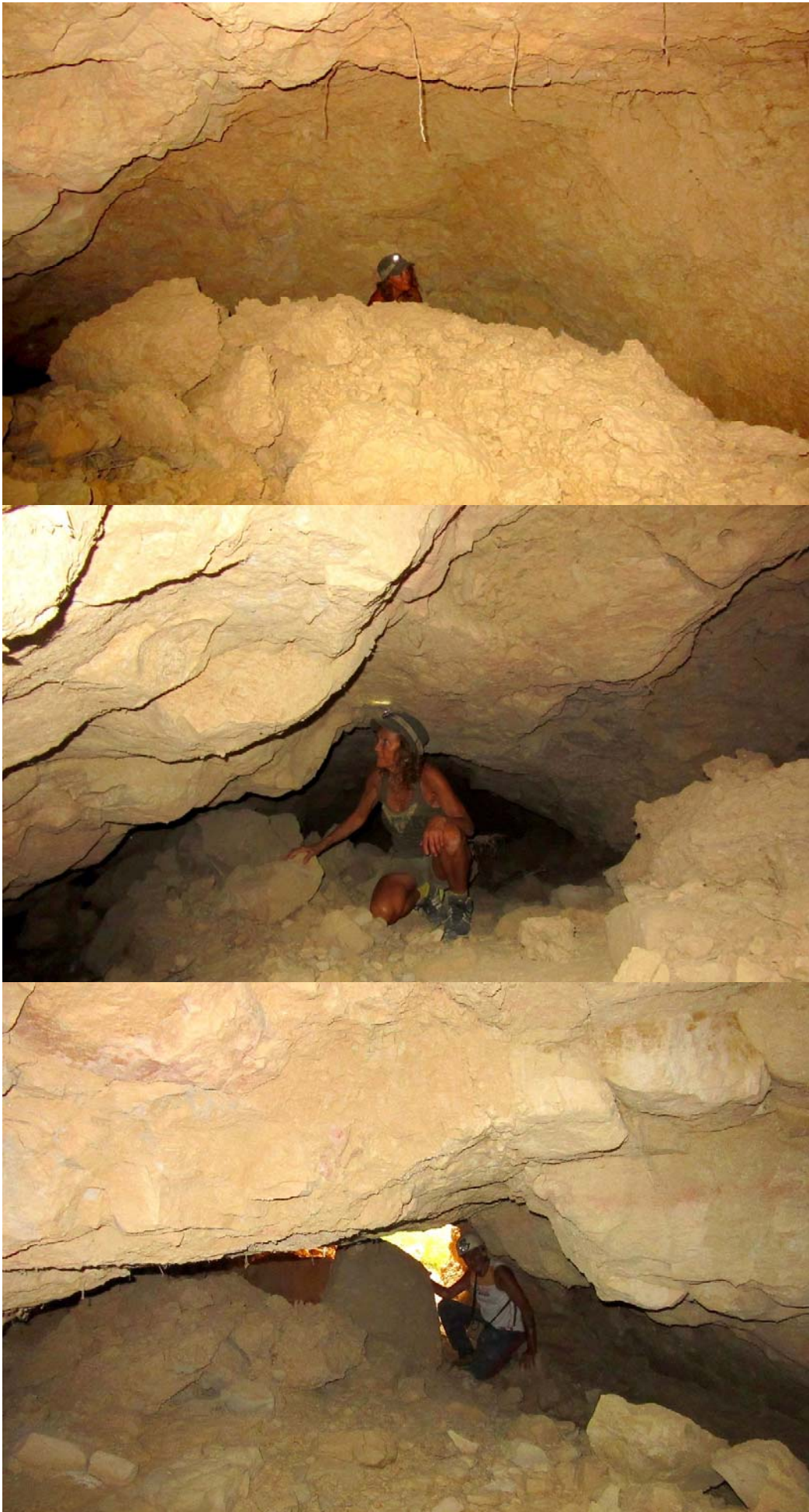


Figura 26. Cueva de 25 m en el Cañón Sur, con una amplia galería interna y suelo de bloques de arcilla..



Figura 27. Boca superior (arriba), galería interna (centro) y boca inferior (debajo) de la cueva de 25 m.





Figura 28. El Cañón Sur adquiere mayor profundidad y presenta cavidades de piping y cuevas adicionales. Algunas de ellas perforan túneles entre sus meandros.



Figura 29. Diversos ejemplos de cavidades de piping en las paredes del Cañón Sur. Algunas de ellas han disuelto niveles de calizas y margas intercalados entre las arcillas.



Figura 30. Suelos poligonales en rellenos de arcillas Holocenas en el cauce del Cañón Sur. Con grietas de retracción poligonales, y descamación y curvatura de láminas superficiales.

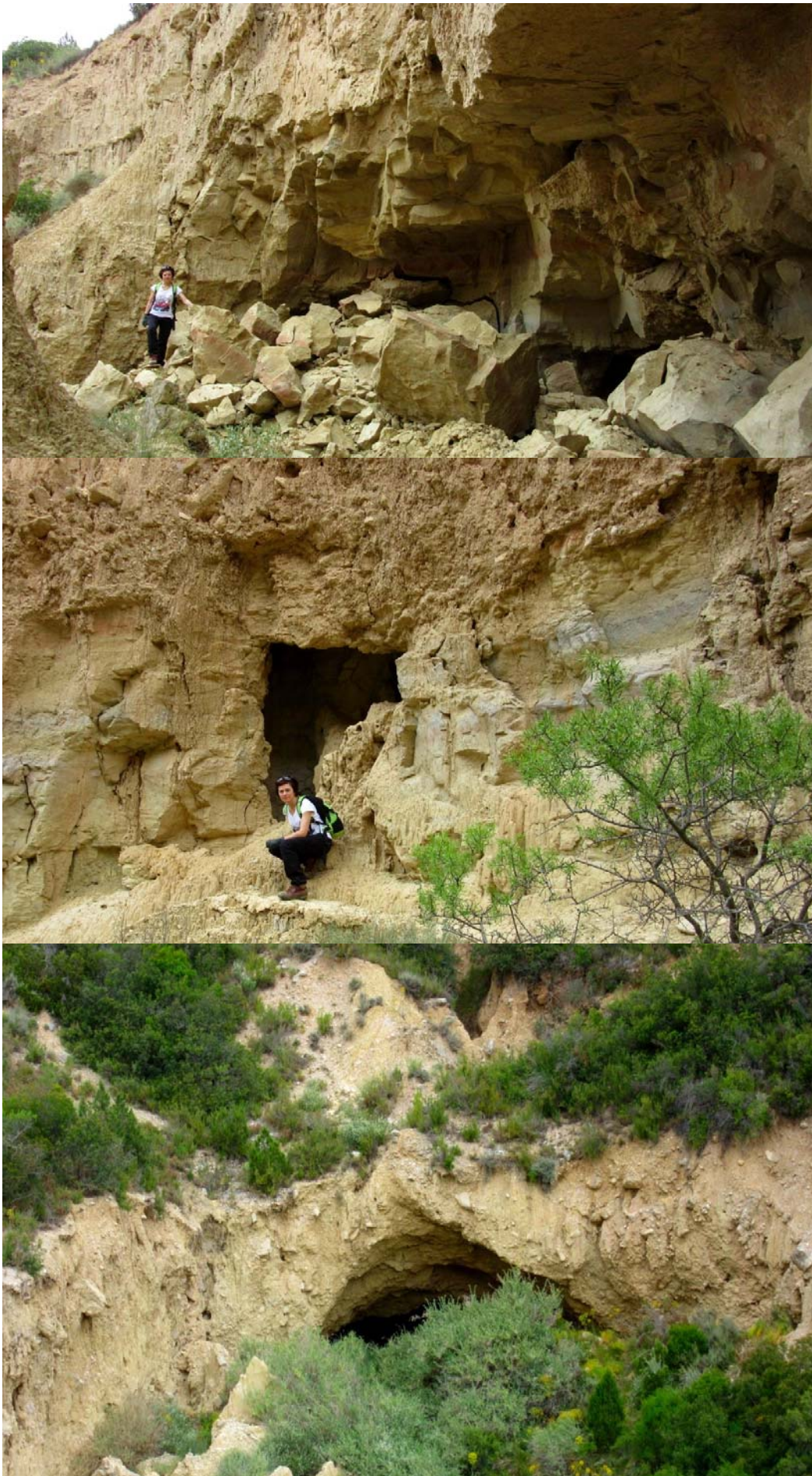


Figura 31. Diversos ejemplos en el Cañón Sur de Las Nasas: colapso de bloques (arriba), cueva (centro) y túnel terminado en arco de roca por un barranco afluente (debajo).



Figura 32. Saliendo del fondo del cañón en un terreno con dolinas, cárcavas, pequeñas cavidades y tubos de piping en arcillas grises, antes de alcanzar la planicie anexa.

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los compañeros y colaboradores del Laboratorio de Bioespeleología de la S.C. Aranzadi que nos acompañaron en distintas ocasiones en las exploraciones y trabajos de campo efectuados en la Bardena Negra, y de modo especial a Patxi Iriarte, Anabella Besance, Ainhoa Miner, e Iban Salaber.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Faci Paricio, E.; G. Galán Pérez; A. García de Domingo; P. Cabra Gil; J. González Lastra & G. Díaz Pinto. 2006. Memoria de la Hoja 283-I Portillo de Santa Margarita. Cartografía Geológica de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 82 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2015. Cuevas de tubificación y cárcavas en arcilla: pseudokarst de las Bardenas. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 51 pp.
- Halliday, W.R. 2004. Piping caves and Badlands pseudokarst. In: Gunn, J. Ed. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Taylor & Francis Books, London: 1260-1268.
- Marín, C. & G. Desir. 2010. Procesos de erosión en una zona de clima semiárido de la depresión del Ebro (Bardenas Reales, NE de España). Rev. C. & G., 24 (3-4), 63-72.
- Riba, O. 1964. Estructura sedimentaria del Terciario Continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y Navarra. Aportación española al XX Congr. Geogr. Int. Reino Unido. Zaragoza.
- Salvany, J.M. 1989. Los sistemas lacustres evaporíticos del sector navarro-riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Acta Geol. Hisp., 24, 3-4.