

EXPLORACIÓN DE NUEVAS CAVIDADES EN LAS CAÍDAS DE LA NEGRA (BARDENA NEGRA)

Exploration of new caves in the Black Falls (Black Bardena)



Carlos GALÁN; Marian NIETO & Juliane FORSTNER.
Sociedad de Ciencias Aranzadi. Septiembre 2016.

EXPLORACIÓN DE NUEVAS CAVIDADES EN LAS CAÍDAS DE LA NEGRA (BARDENA NEGRA).

Exploration of new caves in the Black Falls (Black Bardena).

Carlos GALÁN; Marian NIETO & Juliane FORSTNER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Septiembre 2016.

RESUMEN

Se describen nuevas cavidades en arcilla encontradas en una serie de barrancos y cañones entallados en el flanco Sur de la Plana de La Negra, un sector de la Bardena Negra conocido también como las Caídas de La Negra. Las cavidades se desarrollan en una unidad de arcillas ocre y grises, con nivelitos intercalados de caliza, pertenecientes a la Formación Tudela (de edad Mioceno, Terciario) y en rellenos aluviales-coluviales Holocenos. Los barrancos presentan gran número de cárcavas y pequeñas cavidades generadas por piping. También hallamos sistemas de simas entrelazadas por galerías de hasta 170 m de desarrollo. El sector es parte de un extenso territorio con potencial para albergar cuevas mayores.

Palabras clave: Cuevas en arcilla, Geoespeleología, Geomorfología, Karstología, Tubificación, Geoformas.

ABSTRACT

New cavities in clay found in a series of gullies and canyons carved into the southern flank of the plain of La Negra, a sector of the Black Bardena also known as Black Falls, are described. The cavities are developed in a unit of ochre and gray clays, with intercalated thin layers of limestone, belonging to the Tudela Formation (of Miocene age, Tertiary) and in alluvial-colluvial Holocene fills. The ravines have many notches, cracks and small cavities generated by piping. We also found chasms systems intertwined by galleries up to 170 m of development. The sector is part of a large territory with potential to host higher caves.

Key words: Caves in clay, Geospeleology, Geomorphology, Karstology, Piping, Geoforms.

INTRODUCCION

En los últimos años hemos explorado distintos sectores de la amplia región semidesértica de las Bardenas (Sur de Navarra) encontrando sistemas de simas y cuevas en arcilla, formadas fundamentalmente por procesos de tubificación o piping (Halliday, 2004). Puede decirse que cada sucesiva salida de prospección espeleológica ha ido aportando nuevos datos sobre la ocurrencia de cavidades en arcilla y los procesos que actúan en su formación, con valiosos ejemplos de simas, cuevas, espeleotemas, geoformas y fauna cavernícola (Galán, 2015; Galán et al, 2015, 2016 a, 2016 b).

El tema reviste interés, ya que la ocurrencia de cuevas en arcilla es un fenómeno raro a nivel mundial, por tratarse de materiales poco coherentes, poco solubles y poco susceptibles de experimentar karstificación. Sin embargo en la región de las Bardenas, los procesos de piping, de disolución y erosivos, están ampliamente extendidos y generan infinidad de cavidades, a distintas escalas, asociadas a la vez al modelado del relieve, surcado por una red entallada de barrancos, cañones y gullies, que conducen el drenaje temporal y que actúan como nivel de base local para transferir la infiltración que se produce en los flancos de las mesetas y en la vecindad de los barrancos (Dunne, 1990; Parker & Higgins, 1990).

El material en que se produce la formación de cuevas es básicamente una potente secuencia de arcillas expansivas ricas en sales de sodio (de edad Mioceno), pero que presenta también intercalaciones espaciadas de estratos delgados de calizas, margas y areniscas, y cantos aluviales-coluviales (de edad Holoceno) de distintas litologías. En estas arcillas con alto contenido en sodio intercambiable ocurre también cierto grado de disolución, como lo prueba ampliamente el proceso inverso de precipitación de minerales secundarios y formación de espeleotemas.

Hasta ahora hemos explorado más de 200 cavidades, en general de sólo unas decenas de metros de desarrollo, pero también hemos hallado sistemas de simas y cuevas que alcanzan 880 m de desarrollo y -100 m de desnivel, teniendo la mayor cavidad individual explorada 380 m de desarrollo y -40 m de desnivel (Galán, 2015). Lo que hace de estas cavidades en arcilla las mayores del mundo para esta litología, y con una gran riqueza y diversidad de geoformas singulares. De ahí nuestro interés en seguir prospectando este extenso y poco conocido territorio.

En esta breve nota presentamos de modo preliminar resultados obtenidos en un nuevo sector, situado en la parte más meridional de las Bardenas (Figuras 01 á 03). Se trata de una red de barrancos y gullies localizados en la parte W de las Caídas de la Negra (Bardena Negra), al SW de la Plana de La Negra (650 m snm), la meseta de mayor altitud de la región. A lo largo de los recorridos efectuados, encontramos muchas pequeñas cavidades de piping y algunas simas, cuevas y túneles (en el margen de los barrancos). También exploramos una depresión con simas internas, entrelazadas por galerías inferiores, que totaliza 170 m de desarrollo. El trabajo permitió localizar otros cañones y enclaves con potencial para el hallazgo de cuevas mayores. No dudamos que así como ocurrió con los estudios del karst en cuarcitas, donde ahora conocemos cavidades que superan los 15 km de desarrollo (Galán & Herrera, 2005), es altamente probable que los estudios sobre cuevas en arcilla develen la presencia de cuevas kilométricas o sistemas de mayor extensión. Las futuras exploraciones lo dirán. De momento, un pequeño avance, no muy importante por las dimensiones de las cavidades, pero sí de interés científico para la karstología e ilustrativo de la diversidad de rasgos y procesos geomorfológicos encontrados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos presentados corresponden a prospecciones efectuadas en un sector de la Bardena Negra. En la exploración de cavidades se utilizó iluminación de Leds y técnicas de cuerda estática y jumars. En la topografía de cavidades se utilizó material de precisión Suunto. Los planos de cuevas han sido dibujados en programa Freehand. Se utilizaron dos cámaras digitales (Canon y Nikon) para ilustrar los principales rasgos de las cavidades y su entorno.

RESULTADOS

El sector explorado se localiza en la parte centro-oeste de las Caídas de La Negra y comprende: (1) un tramo del barranco central que drena hacia el Ebro la extensa cuenca, denominado Barranco de Valdenovillas; (2) el Barranco Sur del Abejar; y (3) algunos tramos de cañones afluentes a los citados barrancos, hasta su zona de cabecera, y lomas anexas. El primer sector comprende zonas entre cotas de 320 y 355 m snm de altitud, el segundo entre cotas de 355 y 425 m snm, y el tercero parte de la alargada loma N-S del Abejar, lomas e interfluvios contiguos, entre cotas de 425 y 490 m snm.

La litología dominante es una potente secuencia de arcillas ocre y grises pertenecientes a la Formación Tudela (de edad Mioceno, Terciario). Esta serie presenta intercalaciones espaciadas de estratos delgados (decimétricos) de calizas y margas calcáreas, con algunos estratos de arenisca y lutitas rojas en su tramo superior (unidad litoestratigráfica 396, en: Faci Aparicio et al, 2006; y Cartografía Geológica de Navarra - SITNA).

En el cauce del barranco se encuentran también rellenos y acumulaciones detríticas aluviales-coluviales, que incluyen bloques colapsados de las laderas, así como rellenos limo-arcillosos, arenas y gravas, con cantos angulosos de tamaño variable. Algunos de estos depósitos arcillosos poseen 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 una edad Holoceno. Cabe destacar que estos rellenos se interdigitan lateralmente con materiales arcillosos colapsados de las paredes. Los flujos subterráneos y las cavidades de piping pueden perforar y tener continuidad entre ambos. Los rellenos Holocenos ocupan el fondo de los talwegs y su potencia disminuye, considerablemente, al ascender por los cauces hacia las zonas de cabecera. Sobre los flancos de lomas y mesas también son abundantes bloques y coluviones colapsados de los estratos duros de sus topes y glacia de cobertera (cantos y gravas con matriz limo-arcillosa, de edades Pleistoceno).

La región constituyó parte de una extensa cuenca endorreica durante el Eoceno-Mioceno, que se transformó en exorreica después (al conectar la depresión del Ebro con el Mediterráneo) y se fue vaciando de sedimentos. Detalles sobre la evolución geológica de la región han sido expuestos en trabajos previos (Galán, 2015; Galán et al, 2016 a, 2016b) por lo cual no serán repetidos aquí. Sólo destacar que desde un punto de vista sedimentológico, la unidad 396 representa un sistema fluvial que hacia el N pasa a una llanura lutítica distal con pequeños lagos carbonatados. La unidad exhibe rasgos correspondientes a distintos episodios de sedimentación caliza en pequeños lagos de carácter relativamente efímero y salino, alternando con extensos episodios en los que domina la sedimentación terrígena.

Durante el Cuaternario, la dinámica erosiva fluvial ha seguido profundizando el modelado de la región, por erosión normal en los fondos de valle y flancos de las mesetas, e incisión Holocena de la red de drenaje en las zonas bajas y planicies. A las que contribuyen los procesos de piping, que involucran la formación de cavidades subterráneas.

Las arcillas Terciarias y Holocenas constituyen un material dispersivo con altos valores de SAR (Sodium Adsorption Ratio) y ESP (Exchangeable Sodium Percentage), de estructura masiva, pH alcalino (8.3 á 9), conductividad eléctrica alta (3 á 5 mS), y coeficientes de hinchamiento que pueden llegar hasta el 12%. Tanto la capacidad de hinchamiento como la dispersión son factores importantes en el desarrollo de los procesos de erosión ya que ambos causan agrietamiento. Los altos valores de SAR y sodio intercambiable definen a estos sedimentos como altamente susceptibles para el desarrollo de los procesos de piping.

Estas arcillas, con alto contenido en sales, pueden verse afectadas por la disolución del sodio, de modo que se acelera la pérdida de coherencia y se facilita la exportación de materiales finos en los conductos iniciales por los que fluye el agua. A la vez, al haber un predominio de arcillas expansivas, se favorece el agrietamiento y la canalización de la escorrentía hacia el interior del sedimento, siguiendo unas líneas preferentes de flujo determinadas por el gradiente hidráulico. Las arcillas con elevadas tasas de expansión y contracción, aumentan la susceptibilidad a la desecación, agrietamiento e infiltración.

En la vecindad de las paredes verticales de los barrancos más amplios, como el de Valdenovillas, se forman continuamente conductos de piping, que profundizan verticalmente, para luego drenar horizontalmente hacia el nivel de base local impuesto por el fondo del cañón. Muchos de ellos forman surcos verticales y cárcavas, así como mesocavernas y pequeñas macrocavernas en su zona basal (Figura 04). La incisión de pipes verticales genera también colapsos y vuelcos, que destruyen los conductos anteriores y forman acumulaciones detríticas que serán removidas por la erosión fluvial durante las crecidas hidrológicas. Las zonas planas de los cauces muestran rellenos de arcillas finas, cuarteadas poligonalmente por retracción al desecarse, así como diversas eflorescencias salinas en su capa más superficial (Figura 05). En el tramo inferior prospectado en dicho barranco encontramos una sima de -10 m, con una galería-túnel de 8 m que enlaza su base con la margen derecha del barranco (Figura 06). En el mismo sector se forman sobre los rellenos Holocenos del cauce y perforando los mismos varias cavidades que forman cortos túneles entre las acumulaciones de gravas y guijarros (Figura 07). Otros detalles sobre la diversidad de geofomas en este sector incluyen la ocurrencia de boxworks de yeso (entramado de delgadas láminas cristalinas de yeso, que rellenaban fisuras y ahora puestas en relieve positivo por avance de la erosión de las paredes), y conjuntos de pequeños cráteres o agujeros en embudo en el suelo de abrigo que corresponden a microgalerías excavadas por avispa minadoras *Sphecidae* (Figura 08). Siguiendo río arriba el barranco, en su margen izquierda (sector Las Gavilleras), las paredes alcanzan mayor altura y presentan múltiples pipes o conductos de piping seccionados (Figura 09). En el flanco superior, adyacente a una pared de 15 m de altura, encontramos una depresión con numerosas simas, interconectadas por galerías subhorizontales. Por tratarse de la mayor cavidad del sector la hemos catalogado y topografiado, y presentamos a continuación su descripción.

Sistema Valdenovillas.

Situación: Sobre el flanco izquierdo del barranco de Valdenovillas, en el sector de la loma Las Gavilleras.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.652.636; E 635.826; Altitud 350 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 170 m. Fotos en Figuras 09 a 14. Plano en Figura 15.

Descripción: Se trata de una depresión o dolina de 10-12 m de diámetro y -8 m de desnivel, que posee en su perímetro superior un conjunto de 11 bocas de simas, con desniveles que van de -12 a -6 m (para esta y sucesivas observaciones ver el plano de la cavidad en la Figura 15). Las bocas de las simas se escalonan en un flanco inclinado de la depresión, alcanzando mayor desnivel las que ocupan una posición más alta (sobre la divisoria entre el flanco de la dolina y el del barranco). Colocamos el Datum o punto 0 de la topografía en la boca más alta. Las bases de estas simas están comunicadas unas con otras por una red dendrítica de galerías horizontales, con ligero declive hacia el barranco, por lo que se trata de una cavidad única. Dos de las simas (E) se abren fuera de la depresión, en el flanco que da a la pared del barranco. Durante la exploración, que iniciamos descendiendo por la boca B, encontramos una boca de cueva que enlaza con el fondo de la dolina (A) y que desde superficie quedaba semi-oculta por vegetación arbustiva. De igual modo enlazamos con una boca de cueva inferior (D, cota -12 m) abierta a una repisa a +3 m por encima del fondo del barranco.

En general las bocas de simas son alargadas a subcirculares, existiendo una de ellas (M) de forma festoneada e irregular, aparentemente formada por coalescencia de varios tubos verticales. Las galerías inferiores horizontales son en general de techo bajo (más anchas que altas), existiendo algunas de sección circular, y otras formando laminadores.

Aunque hay algunos derrumbes y rellenos de terrones sueltos (en torno a la boca K), en general la red inferior de galerías es de paredes compactas (con cauces pulidos, en los que se aprecia la dirección de flujo de las aguas). Las paredes de las simas presentan en cambio menor coherencia, estando labradas por numerosos surcos de piping. El conjunto, seco y bien ventilado, presenta algunos recubrimientos milimétricos de espeleotemas aciculares de yeso.

La galería principal A-D (entre el fondo de la dolina y la cornisa del barranco) tiene una longitud de 30 m, la galería lateral que va de la principal hasta la sima E alcanza 16 m, y la red de laterales que enlaza las simas K-L-M suma otros 28 m. Por lo que el desarrollo en planta de la red de galerías horizontales suma 74 m de desarrollo. El conjunto de tubos verticales de las 11 simas suma 86 m de desarrollo. Y si a ello agregamos un mínimo de 10 m para la parte baja de la depresión cerrada de la dolina, el desarrollo espacial de galerías totaliza 170 m de desarrollo, con un desnivel de -12 m.

El perfil de la galería principal muestra rasgos similares a otras cavidades con perfil en L, donde los conductos de piping verticales evolucionan hasta formar simas tubulares o gullies alargados. Los flujos inferiores subhorizontales siguen a través de laminadores y galerías de sección subcircular o con perfil en arco. Estas son lo suficientemente compactas como para resistir la carga mecánica sin colapsar. Observaciones de campo sugieren que la dolina actual pudo formarse por coalescencia de pipes verticales y posterior colapso y remoción de los materiales desprendidos, como está ocurriendo en la boca de sima M. En todo caso, los procesos de descompresión mecánica en la vecindad de la pared del barranco, de 15 m de desnivel, también pueden propiciar la apertura y orientación de fracturas y pipes.



Figura 01. El paisaje semidesértico en el extremo Sur de las Bardena Negra, con planicies escalonadas, mesetas tabulares y cerros de formas caprichosas, en materiales arcillosos a menudo coronados por estratos resistentes de calizas y margas.



Figura 02. Amplios barrancos surcan las planicies y se ramifican en cañones y gargantas menores al ascender hacia las Caídas de La Negra. En las paredes de los barrancos son frecuentes pipes (conductos de tubificación o piping), arcos y puentes de roca, mesocavernas, cavidades mayores y muy diversas geoformas.



Figura 03. En zonas algo más elevadas, entre lomas y mesetas, las arcillas Miocenas de la Formación Tudela presentan intercalaciones adicionales de estratos delgados de areniscas y lutitas compactas, rojizas y grises.



Figura 04. Numerosas pequeñas cavidades (imagen superior), cárcavas de varios metros de altura, surcos y pipes seccionados (imagen inferior) perforan las paredes arcillosas de los barrancos, teniendo como nivel de base local para el drenaje subterráneo el fondo de la red dendrítica de cañones y barrancos.



Figura 5. La excavación de pipes verticales y la erosión normal de superficie excavan el terreno, propiciando desplomes y vuelcos, que serán removidos en aguas altas (imagen superior), quedando en los cauces gravas y sedimentos arcillosos finos, a menudo con grietas de desecación y retracción poligonales (imagen inferior).



Figura 06. Sima de -10 m, con una galería-túnel en su base de 8 m, la cual enlaza con la pared del barranco.



Figura 07. Sobre el cauce y base de las paredes de los barrancos se encuentran pequeñas cavidades excavadas en rellenos aluviales-coluviales Holocenos. El drenaje procede de las arcillas Miocenas de los flancos contiguos. Con frecuencia están en comunicación con gullies, simas y pipes adyacentes al talud interno del barranco.



Figura 08. En algunas cavidades y abrigos encontramos ejemplos curiosos, como tramas de láminas de yeso bien cristalizadas, que rellenan fisuras y son puestas en relieve positivo al progresar la erosión de la pared (imagen superior). Hoyuelos en el suelo arcilloso, que no corresponden a puntos de goteo sino a conductos excavados por avispas minadoras *Sphecidae* para poner sus huevos u ocultar presas capturadas (imagen inferior).



Figura 09. A lo largo de las paredes de los barrancos y cañones, y en zonas más elevadas de los flancos contiguos, los procesos de piping alcanzan gran profusión y pueden generar cavidades a distintas escalas, incluyendo simas y macrocavernas. El fuerte gradiente hidráulico favorece su ocurrencia. El drenaje subterráneo temporal se dirige hacia el talweg de los barrancos, que constituyen su nivel de base local y punto de emergencia de las aguas infiltradas.



Figura 10. Depresión sobre la ladera del margen izquierdo del barranco de Valdenovillas, con un sistema de simas interconectadas por galerías inferiores, que conducen el drenaje subterráneo hacia el barranco. La flecha roja indica la posición de la boca de cueva que ocupa el fondo de la dolina; las flechas naranjas distintas bocas de simas sobre los bordes de la depresión (imagen superior). Bocas anastomosadas de simas en el perímetro adyacente (imagen inferior), que llegan a alcanzar -10 m de desnivel, y conectan entre sí a través de galerías.



Figura 11. Sistema de simas en torno al barranco de Valdenovillas. Detalle de varias bocas, de 1-2 m de ancho y 6-10 m de desnivel, con sus bases interconectadas por galerías inferiores. Nótese los surcos de piping sobre las paredes arcillosas.

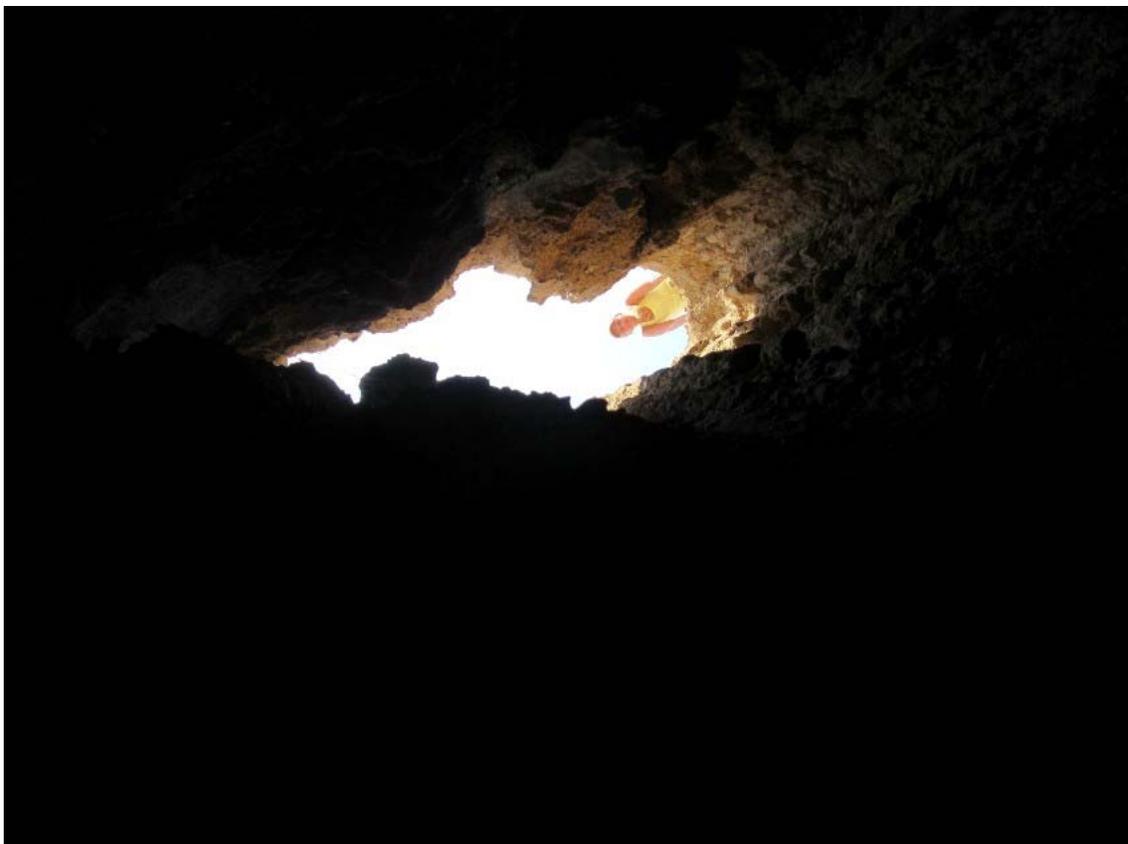


Figura 12. Galería principal que conecta con la boca de cueva en el fondo de la dolina (imagen superior) y vista en vertical, desde la base interna de una de las simas hacia superficie (imagen inferior).



Figura 13. Galería interna entre dos simas del sistema de Valdenovillas (imagen superior) y galería colectora inferior, en la que se aprecia al fondo la luz de la boca inferior del sistema, abierta a una repisa a 3 m sobre el fondo del barranco (imagen inferior).

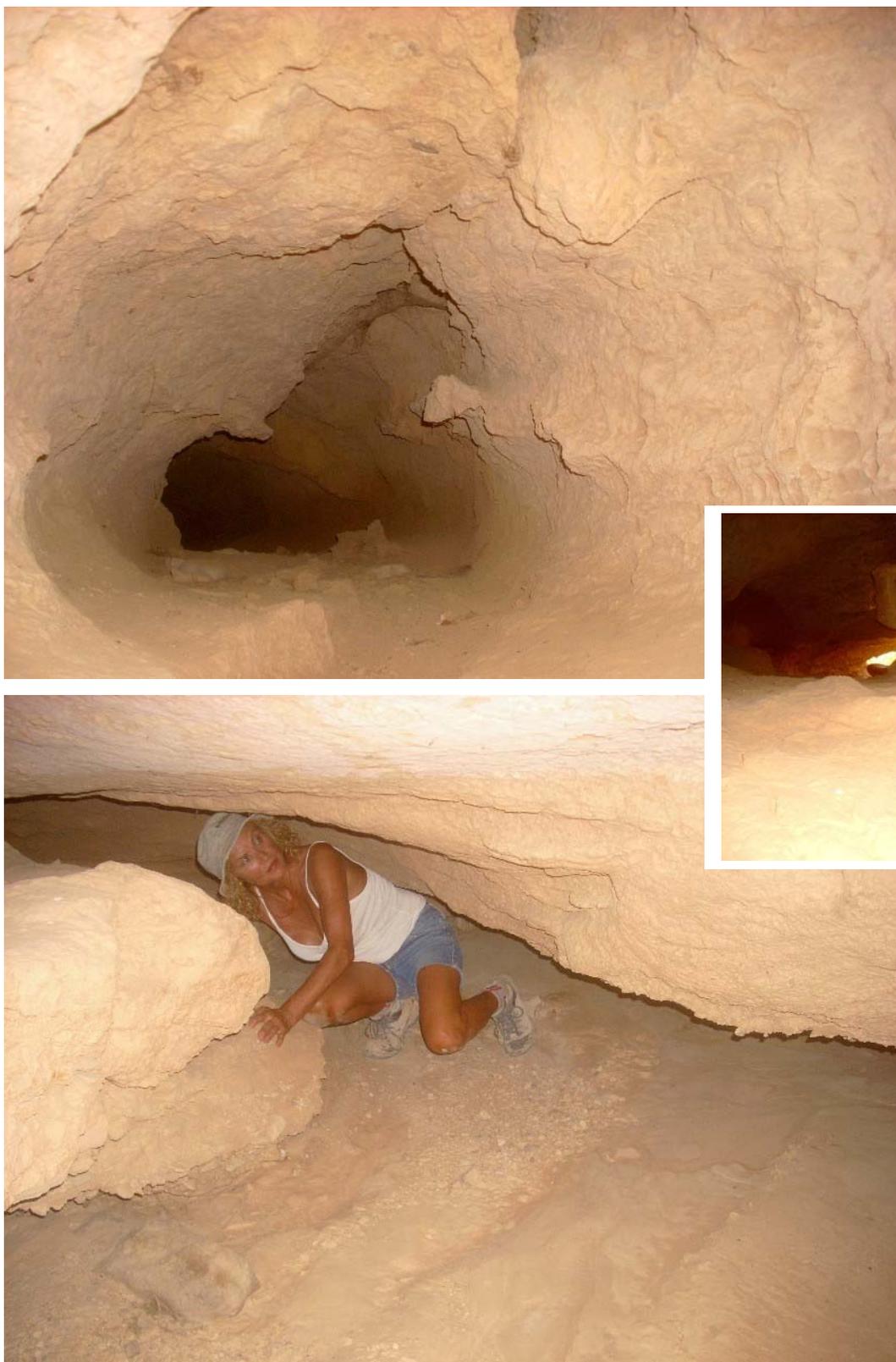
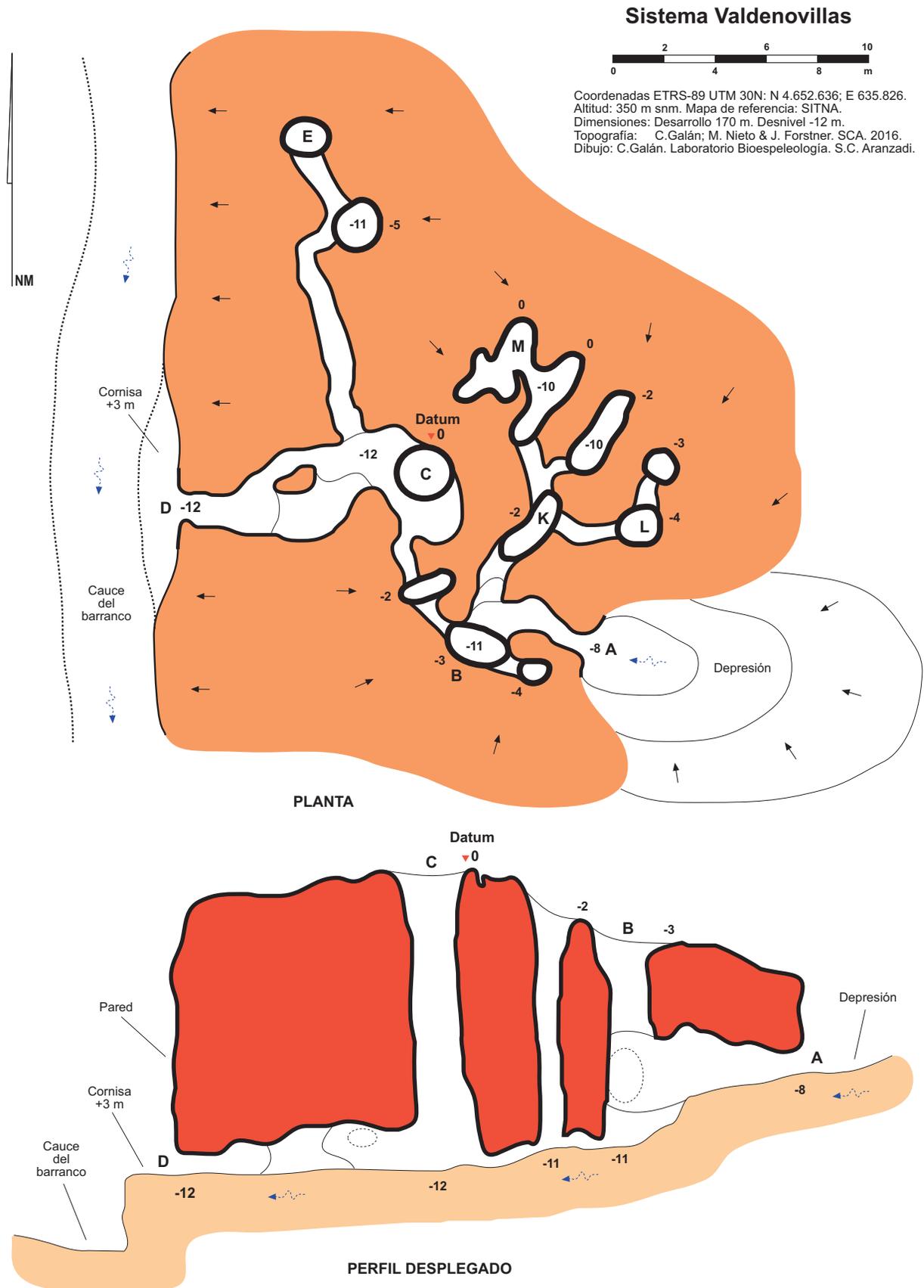


Figura 14. Detalles de pequeñas galerías en el sistema de simas de Valdenovillas, con la luz de la boca inferior al fondo, en el recuadro.

Figura 15. Plano del sistema de simas de Valdenovillas.



En la proximidad de esta cavidad, sobre las paredes del barranco de Valdenovillas, en el tramo que sigue hacia el N (hasta la confluencia con el barranco Sur del Abejar), se presentan otras cavidades y geoformas. Destaca sobre las paredes la presencia de numerosos surcos, tubos de piping verticales, y pequeñas oquedades. En ocasiones formando paneles esculpidos como bajorrelieves, que recuerdan a figuras de templos budistas, o de extravagantes diseños (Figura 16). Sobre el cauce se presentan escalones que forman cubetas tras atravesar estratos de caliza intercalados en la serie arcillosa (Figura 17). Cuando algún estrato duro corona la pared, son frecuentes chimeneas de las hadas, arcos y puentes de roca, simas o cuevas-túneles y pequeñas cuevas afluentes hacia la base del barranco (Figuras 18 a 20). Algunas de las cuevas alcanzan los 20 m de desarrollo y pueden poseer salas internas con espeleotemas de yeso, mica-illita y calcita, así como pequeños acúmulos de guano de quirópteros, indicio de su frecuentación por los mismos.

En el barranco Sur del Abejar, son más frecuentes y menos espaciadas las intercalaciones de estratos duros de otras litologías, incluyendo tramos con areniscas y lutitas rojas (Figuras 21 a 25). El tope de algunas lomas y cerros tabulares puede tener escarpes con estratos métricos de caliza, cuyo colapso progresivo desprende bloques sobre las laderas. O también dan origen a lechos con resaltes, cubetas y aceras de caliza (Figura 21). En los materiales arcillosos se presenta una gran diversidad de geoformas, a distintas escalas, como torres con intercalaciones y bandeados de distinta litología (Figura 22). Los barrancos afluentes, a menudo más estrechos y más entallados, presentan desarrollos sinuosos, escarpes y cascadas escalonadas (Figura 23). Sobre los flancos son frecuentes gullies menores, pequeñas cavidades, cárcavas y formas residuales tales como torres, afiladas aristas, arcos y puentes de roca (Figuras 24 y 25).

En la parte superior y tope de las lomas la formación de cavidades resulta más escasa, con áreas planas utilizadas para el cultivo de cereales y mayor cantidad de vegetación arbórea, que incluye hacia el Este de las Caídas de La Negra extensos pinares de pino carrasco (Figuras 26 y 27). Las partes boscosas presentan igualmente cañones estrechos y entallados, con potencial para el desarrollo de cuevas mayores.

El conjunto de este sector de la Bardena Negra presenta una gran diversidad de relieves y geoformas, a menudo de estética llamativa (Figura 28), con planicies escalonadas, mesetas, cerros y una red encajada de barrancos y gargantas entalladas, donde los procesos de piping en los materiales arcillosos alcanzan gran profusión. Obviamente, la litología y el clima condicionan también el modelado erosivo de estos terrenos, donde son frecuentes muy distintos tipos de simas y cuevas en arcilla.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Hemos pasado revista a los principales rasgos geomorfológicos que presentan los sectores prospectados y hemos descrito las principales cavidades y geoformas encontradas. Entre ellas destaca el Sistema Valdenovillas, cavidad con un conjunto de simas y galerías interconectadas, que alcanza 170 m de desarrollo. Algo notable para cuevas en arcilla, sobre todo porque la red de galerías ocupa un área pequeña, que se extiende entre una depresión en el flanco y la pared vertical de un barranco adyacente.

A distintas escalas observamos que se repite la ocurrencia de formación de pipes verticales, que canalizan la infiltración de las precipitaciones en profundidad, y de conductos subhorizontales que dirigen luego las aguas hacia los puntos bajos de emergencia, en la base de la red entallada de barrancos y gullies. El desarrollo de estos procesos de piping va transportando partículas y generando canaliculos y conductos de diámetros progresivamente mayores, hasta formar galerías y macrocavernas. Resulta claro que existe una variable intervención de la disolución, sobre todo de las sales de sodio en las fases iniciales, lo que desfloca las arcillas y genera pipes. A medida que se canaliza más agua subterránea, se pasa a un régimen turbulento, que permite la remoción mecánica de gránulos mayores y la ampliación de los conductos, hasta organizar redes locales de drenaje subterráneo. En el crecimiento volumétrico posterior intervienen sobre todo los procesos de colapso y erosivos. A la vez, por la alternancia de cortas precipitaciones y fases de marcada desecación, se suceden condiciones de retracción y agrietamiento en las arcillas, con otras de hinchamiento y adhesión de las partículas en las galerías excavadas. Los materiales colapsados van siendo removidos por las crecidas hidrológicas, pero la adhesión de las arcillas en las paredes de las galerías permite lograr equilibrios mecánicos que sustentan sus bóvedas. Probablemente a ello contribuye también la humedad de la atmósfera subterránea en las cavidades. Una suma de delicados equilibrios, alterados continuamente por la dinámica del clima local y la actividad hidrológica temporal.

Muchos de los rasgos observados, en nuestra opinión, tienen una naturaleza fractal, propia de sistemas complejos. Rasgos mayores del relieve y de las cavidades se presentan como miniaturas a escalas menores, de modo iterativo, en forma de mesocavernas y pipes. Las torres, chimeneas de las hadas, arcos y puentes de roca, se presentan en todos los tamaños imaginables, con dimensiones que van desde decenas de metros a milímetros. La heterogeneidad de los materiales arcillosos, su textura, tamaño de grano e intercalaciones de estratos de otras litologías, complican aún más los procesos, introduciendo una gran variabilidad de condiciones y diversidad de formas. Donde resulta difícilmente predecible su evolución posterior, o qué condiciones prevalecerán sobre otras. En suma, una amplia trama de aspectos, procesos y equilibrios dinámicos, que plantea múltiples interrogantes, a la vez que ofrece un amplio campo para la investigación y el desarrollo de estudios sobre procesos de karstificación y espeleogénesis en arcilla.



Figura 16. Las paredes de cañones y barrancos entallados o gullies presentan surcos y pipes seccionados por el recorte erosivo de la pared, pequeñas cavidades, cárcavas e infinidad de geoformas esculpidas con curiosos diseños, estéticamente llamativos, como los de la imagen inferior (que cubre 5 m de alto x 7 m de ancho).



Figura 17. A medida que se asciende en la red de barrancos, sus cauces recortan los estratos duras de calizas y margas, intercalados en la serie arcillosa, dando lugar o generando geformas curiosas, como las cubetas de la imagen.



Figura 18. Simas o cuevas que forman túneles perforando las paredes de los barrancos (imagen superior) y cuevas de escaso desarrollo en los taludes y flancos (imagen inferior). Es frecuente también la creación de "chimeneas de las hadas", a distintas escalas, bajo el tope de bloques de caliza y clastos resistentes.



Figura 19. Boca de la cueva de la imagen anterior (Figura 18, inferior), con una sala interna que se prolonga en una corta galería, con algunos recubrimientos de espeleotemas de yeso, calcita y mica-illita. En la cavidad se encuentran pequeños fragmentos de guano de quirópteros, lo que indica su frecuentación por los mismos.



Figura 20. Pequeñas cavidades de tubificación en las paredes de los barrancos, las cuales atraviesan rellenos basales y desprendimientos del talud, para luego formar pequeñas cuevas surgentes subhorizontales a través de estos sedimentos, con huellas de drenaje temporal hacia el cauce.



Figura 21. Al remontar hacia la cabecera de la red de barrancos, estos se ramifican y entallan entre lomas. Sus cauces atraviesan estratos de caliza, intercalados en la serie, con pequeñas cuevas y geoformas.



Figura 22. Surcos y pipes en las paredes arcillosas grises bajo un estrato resistente y curiosas torres en arcillas rojas con intercalaciones de lutitas y margas, junto a fragmentos colapsados del estrato superior.



Figura 23. Barrancos afluentes laterales. Forman cañones más estrechos y profundamente entallados, finalizando al pie de cascadas secas y escarpes verticales, en su cabecera de cuenca. Algunos conservan charcas de agua y muestran intercalaciones de estratos de arenisca y lutitas rojas.



Figura 24. Sectores de cabecera de cuenca en la red de barrancos, con lomas en cuyos topos afloran estratos métricos de calizas y margas. Los flancos muestran profundos gullies y pipes sobre las paredes inferiores.



Figura 25. Lomas con estratos intercalados de caliza, gullies y cavidades (flechas rojas), y diversas geoformas residuales, formando torres, arcos y puentes de roca (flechas naranja).



Figura 26. El relieve de las lomas en la cabecera de cuenca, con topes aplanados soportados por estratos horizontales de rocas duras, mayor cantidad de vegetación arbórea y campos de cultivo de cereales.



Figura 27. Sector E de las Caídas de La Negra, con extensos pinares de pino carrasco y numerosos barrancos entallados y gullies. Un extenso territorio con potencial para albergar cuevas en arcilla de mayores dimensiones.



Figura 28. Coloridos relieves áridos de barrancos y lomas sobre la planicie del extremo Sur de la Bardena Negra, con la luz de la tarde. Puerta de entrada a un extenso territorio con cavidades formadas por pipping en arcilla.

Nuestra principal conclusión es que la formación de cavidades en arcilla, considerada muy rara a nivel mundial, está ampliamente extendida en la región de las Bardenas, con ejemplos notables a muy distintas escalas. Aunque predominan las cuevas de modestas o pequeñas dimensiones, en comparación con el karst clásico en caliza, nuestras prospecciones están revelando que también se encuentran cuevas y simas mayores, con interesantes rasgos, espeleotemas y geoformas, que conforman a su vez un hábitat subterráneo extenso, susceptible de ser poblado o utilizado por diferentes especies de vertebrados e invertebrados de hábitos cavernícolas.

Los resultados obtenidos constituyen un aliciente para seguir explorando y estudiando esta poco conocida región, árida a semidesértica, y ello probablemente de vele en el futuro nuevas cavidades y aspectos de interés geo y biológico.

AGRADECIMIENTOS

A los integrantes y colaboradores del Dpto. de Espeleología de la S.C. Aranzadi que nos acompañaron en distintas ocasiones en las prospecciones efectuadas en las Bardenas y, de modo especial para este trabajo, a Jose Mari Beobide. A dos revisores anónimos de la Sociedad de Ciencias Aranzadi y Sociedad Venezolana de Espeleología que nos aportaron referencias bibliográficas y útiles recomendaciones.

BIBLIOGRAFIA

- Dunne, T. 1990. Hydrology, mechanics and geomorphological implications of erosion by subsurface flow. In: Higgins, C.G. & D.R. Coates, eds. 1990. Groundwater geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America, Special Paper 252.
- 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. 2015. Sistemas de cuevas en arcilla de 880 m de desarrollo explorado (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 55 pp.
- Galán, C. & F. Herrera. 2005. Sistema Roraima Sur, Venezuela: la mayor cavidad del mundo en cuarcitas: 11 km. Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 27 pp. + Reeditado en Pág. web Cota0.com.
- Galán, C.; M. Nieto; Dv. Arrieta & Daniel Arrieta. 2015. Espeleotemas y quirópteros en una cueva en arcilla de 158 m de desarrollo (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 42 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. 2016 a. Cavidades en arcilla en el Barranco de Los Sorianos (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 52 pp.
- Galán, C.; D. Arrieta; M. Nieto & J. Forstner. 2016 b. Cuevas en arcilla en el barranco Norte de La Nasa (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 48 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.
- Parker, G. & C. Higgins. 1990. Piping and pseudokarst in drylands. In: Higgins, C.G. & D.R. Coates, eds. 1990. Groundwater geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America, Special Paper 252.