

NASA ALTA EXTREMO NORTE: SISTEMA DE SIMAS EN ARCILLAS MIOCENAS (BARDENAS).

Nasa Alta extreme North: Abyss system in Miocene clays (Bardenas).



Carlos GALÁN, Marian NIETO, Juliane FORSTNER & Ainhoa MINER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Abril 2017.

NASA ALTA EXTREMO NORTE: SISTEMA DE SIMAS EN ARCILLAS MIOCENAS (BARDENAS).

Nasa Alta extreme North: Abyss system in Miocene clays (Bardenas).

Carlos GALÁN, Marian NIETO, Juliane FORSTNER & Ainhoa MINER.

Con la colaboración de: José M. RIVAS & Laura NÚÑEZ.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
Abril 2017.

RESUMEN

Se describen nuevos ejemplos de sistemas de simas en arcilla, descubiertos en el extremo Norte de la meseta de la Nasa Alta, en la Bardena Negra. La región es árida a semidesértica y está situada en el Sur de Navarra. En ella se desarrollan importantes sistemas de cavidades en arcillas de la Formación Tudela, de edad Mioceno (Terciario). Las cavidades se han formado por procesos de tubificación o piping en arcillas dispersivas ricas en sales de sodio. La disolución interviene en las fases iniciales y también ocurre la precipitación de minerales secundarios en forma de espeleotemas. Los ejemplos hallados en esta región constituyen algunos de los mayores sistemas de cuevas en arcilla hasta ahora conocidos a nivel mundial. El trabajo aporta datos de interés geomorfológico e hidrogeológico, a la vez que describe 22 nuevas cavidades, la mayor de ellas de 102 m.

Palabras clave: Espeleología física, Karst, Cuevas en arcilla, Hidrogeología, Geomorfología.

ABSTRACT

New examples of abyss systems in clay, discovered in the northern end of the Nasa Alta plateau, in the Black Bardena, are described. The region is arid to semi-desert and is located in the south of Navarra. Important caves-systems are developed in clays of Tudela Formation, of Miocene age (Tertiary). The cavities are essentially formed by processes of piping in dispersive clays rich in sodium salts. The dissolution involved in the initial phases and also occurs the precipitation of secondary minerals in the form of speleothems. The examples found in this region constitute some of the largest cave systems in clay hitherto known worldwide. The work provides geomorphological and hydrological data of interest, while describing 22 new cavities, the largest of them 102 m.

Keywords: Physical Speleology, Karst, Caves in clay, Hydrogeology, Geomorphology.

INTRODUCCION

Las cuevas en arcilla son extraordinariamente raras a nivel mundial, por formarse en materiales arcillosos poco consistentes y poco solubles, y por lo tanto poco susceptibles de experimentar procesos de karstificación y generar cavidades (simas y cuevas) a escala humana (macroavernas). La formación de cavidades en este tipo de terrenos ocurre por procesos de piping o tubificación, con variable intervención de la disolución. Una vez formados los conductos iniciales de drenaje subterráneo, la ampliación de las galerías ocurre principalmente por procesos de piping y erosivos.

Las cavidades conocidas, en distintas regiones del mundo, ocurren en áreas semi-desérticas, destacando las de Arroyo Tapiado, en el área desértica de Anza-Borrego, California (Lindsay & Lindsay, 1985; Bremner, 2009), y los sistemas de cuevas en arcilla recientemente descubiertos en las Bardenas (Galán, 2015; Galán & Nieto, 2015; Galán et al, 2015, 2016), estos últimos con sistemas de simas y cuevas que alcanzan 880 m de desarrollo y desniveles de hasta -100 m. De ahí nuestro interés en seguir prospectando nuevos sectores en las Bardenas.

En este trabajo exponemos los resultados obtenidos en un área contigua a otras exploradas antes, que presentaron sistemas de simas y cuevas extensos (Galán, 2015; Galán et al, 2016). Ante la escasez de topónimos, y para diferenciarlas de las anteriores, denominamos a éstas cavidades Nasa Alta extremo Norte. Estos nuevos sistemas se localizan en el extremo Norte del flanco W de la meseta de la Nasa Alta o Tripa Azul (629 m snm), en materiales arcillosos de la Formación Tudela (de edad Mioceno, Terciario).

La región explorada presenta sectores con depresiones y dolinas literalmente acribillados por simas, cuevas y conductos de piping (= pipes), los cuales conducen el drenaje subterráneo temporal hacia surgencias en la cabecera de valles secos y barrancos entallados o gullies, a menor cota (nivel de base local). Otra peculiaridad del sector es que la serie arcillosa presenta intercalaciones espaciadas de estratos delgados de margocalizas y lutitas, que son atravesados por las galerías subterráneas.

Cabe señalar que la tubificación o piping consiste en una remoción de partículas de la roca por flujos canalizados de aguas subterráneas en materiales granulares y rocas poco solubles (Parker & Higgins, 1990; Dunne, 1990). En su forma pura el piping es el extremo teórico de un espectro espeleogenético, con 100% de disolución kárstica en el extremo opuesto. Entre ambos extremos hay toda una gama de situaciones intermedias, donde disolución y piping pueden actuar juntas, en variables proporciones. La tubificación participa también en el desarrollo de grandes cavidades formadas por procesos múltiples (Halliday, 2004, 2007), y en la formación del karst en cuarcitas en zonas tropicales (Urbani, 1986; Galán, 1991; Galán & Herrera, 2005; Galán & Lagarde, 1988), existiendo un continuo entre cuevas de tubificación y cuevas de disolución, en rocas de distintas solubilidades.

Las morfologías observadas en cavidades y dolinas, muestran rasgos atribuibles a la continua creación de nuevos conductos o pipes, verticales y horizontales. Las arcillas dispersivas ricas en sales de sodio tienen una alta tendencia al agrietamiento, a la vez que una consistencia cohesiva, con elevados coeficientes de hinchamiento. La circulación temporal de las aguas subterráneas infiltradas propicia la remoción de materiales y la ampliación de los conductos, pero a la vez genera colapsos y deriva hacia la génesis de gullies, depresiones y badlands, dando lugar a un modelado peculiar. El gradiente hidráulico y la litología de los materiales arcillosos determinan un comportamiento altamente dinámico y condicionan la funcionalidad del conjunto.

MATERIAL Y METODOS

Las prospecciones efectuadas en este sector de las Bardenas se basaron en observaciones de campo de salidas previas y en la consulta de foto aérea y cartografía digital. En las topografías se utilizó instrumental de precisión Suunto (brújula y clinómetro) y cinta métrica. En la exploración se utilizaron frontales con iluminación de Leds y técnica vertical de cuerda estática y jumars. Varias muestras de roca y espeleotemas fueron examinadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. Fueron tomadas fotografías a color con una cámara digital Canon Power Shot a fin de ilustrar las principales características de las cavidades y su entorno.

RESULTADOS

Los terrenos aflorantes en el área de estudio son parte de la Formación Tudela (de edad Mioceno) y están constituidos por una espesa secuencia de arcillas ocres y grises con algunas intercalaciones espaciadas de estratos delgados (decimétricos) de lutitas, calizas y margas calcáreas (unidad litoestratigráfica 396, en: Faci Aparicio et al, 2006; y Cartografía Geológica de Navarra - SITNA). Los cauces de los barrancos inferiores poseen también rellenos detríticos aluviales-coluviales de edad Holoceno, que incluyen bloques colapsados de las laderas. En estos depósitos resulta difícil discriminar entre la parte derivada de un origen fluvial y la que posee un origen gravitacional.

La región de las Bardenas constituyó una cuenca endorreica, de 600 km². Su parte basal reposa sobre una espesa secuencia de arcillas y yesos (Formación Lerín, de edad Mioceno), que aflora al W. A ella suprayace una secuencia margo-arcillosa sensiblemente horizontal (Formación Tudela, también Miocena). Estos materiales están revestidos por glaciares de cobertera del Pleistoceno (cantos y gravas con abundante matriz limo-arcillosa) y sedimentos Holocenos arcillosos menos compactos en las planicies más bajas. Desde el 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 presenta 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 en ambientes de llanura lutítica aluvial, surcada localmente por pequeños canales fluviales sinuosos.

La cuenca endorreica de las Bardenas se rellenó de sedimentos fluvio-lacustres (fundamentalmente arcillosos) durante el Eoceno-Mioceno, y al labrar el Ebro su paso y conectar con el Mediterráneo, pasó a ser exorreica en el Mioceno final o en el tránsito Mioceno-Plioceno (Riba, 1964; Salvany, 1989). A partir de entonces los materiales Terciarios van siendo erosionados, vaciando gran parte de la cuenca y originando los relieves tabulares, escarpes y lomas, característicos de la región. Durante el Cuaternario, la dinámica erosiva fluvial ha seguido profundizando el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de valles, como por la ejercida en las laderas, a lo que se suma la incisión Holocena de la red de drenaje en las planicies. A la misma contribuyen los procesos de tubificación o piping, que involucran la formación de cavidades subterráneas. En esta nota describimos ejemplos de nuevos tipos de cavidades, ilustrativas de la diversidad que presenta la karstificación en arcillas.

Las cavidades exploradas se localizan sobre el flanco W del extremo N de la meseta de la Nasa Alta o Tripa Azul (629 m snm), a cotas de 470 á 500 m snm, sobre la cabecera del barranco N de La Nasa (afluente del barranco de Los Sorianos en su curso bajo) y el interfluvio que forma la divisoria de cuencas con el barranco de Tripazul. Las cavidades exploradas se encuentran en depresiones en la parte alta de laderas de fuerte pendiente, bajo un escarpe vertical que contornea la cumbre de la meseta. El desnivel existente entre las bocas de las simas y la zona de surgencia en el fondo de los barrancos es del orden de -50 á -70 m, y contiene una extensa red hidrogeológica de galerías subterráneas, mesocavernas y pipes menores. En el área localizamos dos depresiones mayores con 12 simas y 10 cavidades dispersas adicionales. Todas ellas forman parte de un sistema subterráneo, que totaliza 428 m de galerías penetrables. La mayor cavidad individual alcanza -22 m de desnivel y 102 m de desarrollo.

DESCRIPCIÓN DE CAVIDADES

Las cavidades se encuentran dispersas sobre una ladera de fuerte pendiente y en la cabecera de un barranco bajo las mismas, al W y NW del extremo N de la cumbre de la Nasa Alta (Figuras 01 á 03). Un grupo de 5 cavidades se localiza sobre una depresión escalonada y otro grupo de 7 cavidades sobre una zona plana que forma una depresión más amplia colgada en la ladera. Otras 10 cavidades se encuentran dispersas (aunque algunas próximas entre sí) en el mismo sector, localizándose 4 de ellas en barrancos inferiores, que también revisamos en busca de cuevas surgentes. Se presentan planos topográficos y fotos de las cavidades más significativas. Se dan las coordenadas UTM de las mismas y su localización relativa.

A. Cavidades del Grupo 1.

Nasa Alta extremo Norte 01.

Situación: En el punto más bajo de una depresión escalonada en la ladera. A 350 m al WNW de la cumbre de Tripa Azul.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.512; E 631.813; Altitud 474 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 24 m. Figura 04. Plano en Figura 39.

Descripción: La boca se abre en la base de un pequeño escarpe vertical, en el fondo de la depresión. La entrada es una rampa de fuerte pendiente que conduce a un tramo plano (cota -6 m), con una claraboya lateral. En su extremidad se amplía y presenta una sima cilíndrica con dos escalones, de -4 y -2 m. El fondo, en la cota -12 m, es un sumidero temporal a través de pipes menores. La cavidad posee recubrimientos blancos de espeleotemas aciculares de yeso.

Nasa Alta extremo Norte 02.

Situación: A 10 m al NW de la cavidad anterior, en la misma depresión.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.520; E 631.814; Altitud 474 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -6 m; Desarrollo espacial: 8 m.

Descripción: La boca, de 2 m de diámetro, da paso a una sima tubular de -6 m, obstruida por derrumbe.

Nasa Alta extremo Norte 03.

Situación: En otro escalón, más elevado, de la misma depresión. A 33 m en planta al E de la sima anterior.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.512; E 631.847; Altitud 490 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 20 m. Figuras 05 á 07. Plano en Figura 39.

Descripción: Para alcanzar el escalón en que se abre la boca hay que dar un rodeo, evitando una pared subvertical. En el cierre lateral de otro pequeño escarpe se divisa una boca que forma un corto abrigo. La sima se abre entre unos bloques, donde termina el lado NE del abrigo. La boca si inicia en rampa, de 3 m de ancho x 1 m de alto, que, tras descender un pequeño escalón se amplía algo más y se bifurca en dos arrastraderos que vuelven a comunicar entre sí. Entrando por el superior se alcanza otra salita que prosigue en arrastradero primero horizontal y luego descendente, estrechándose progresivamente. El punto más bajo alcanzado es la cota -12 m. La cavidad posee espeleotemas de yeso y de ópalo-CT.

Nasa Alta extremo Norte 04.

Situación: En la pared del escarpe N del mismo escalón, colgada en una repisa apreciable desde abajo.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.522; E 631.855; Altitud 496 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -4 m; Desarrollo espacial: 8 m. Figura 08.

Descripción: La boca está en una repisa en embudo, que se abre en sima de -1,5 m, destrepable sin cuerda. Prosigue en rampa hasta una salita de 4 m de ancho y largo, que se cierra en derrumbe en la cota -4 m.

Nasa Alta extremo Norte 05.

Situación: Remontando otro escarpe sobre el escalón anterior, que forma otra depresión, más elevada.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.531; E 631.862; Altitud 500 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -6 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figuras 9 á 11.

Descripción: En el lado N de la depresión, entre grandes bloques de colapso, desprendidos de un estrato superior de caliza. Consta de una galería estrecha con pipes, con varias claraboyas, que desciende entre bloques y rellenos de arcilla hasta la cota -6 m, donde se ramifica en conductos menores. Por su morfología podría equipararse a una cueva de recubrimiento o a grietas de lapiaz en caliza, pero la describimos para indicar que se trata de una depresión cerrada, con drenaje subterráneo. La infiltración (en este grupo de socavones escalonados en la ladera) profundiza verticalmente en la serie arcillosa a través de pipes menores.



Figura 01. Relieve de mesetas tabulares en la región de Las Nasas (arriba), con la punta Norte de la Nasa Alta (debajo). Conserva su aspecto árido a desértico aún en período invernal.



Figura 02. Extremo Norte del flanco W de la Nasa Alta, con taludes de fuertes pendientes, depresiones y simas.



Figura 03. Prospecciones en el extremo Norte del flanco W de la Nasa Alta, en busca de simas y cuevas.



Figura 04. Sima Nasa Alta extremo Norte 01. Vertical terminal y espeleotemas aciculares de yeso.



Figura 05. Abrigo y boca de la sima Nasa Alta extremo Norte 03. Nótese los bloques desprendidos de la parte alta de la meseta por colapsos de un estrato grueso de margocaliza.



Figura 06. Sima Nasa Alta extremo Norte 03. Vista desde el interior hacia la boca y bifurcación en la cota -6 m.



Figura 07. Espeleotemas de ópalo-CT y yeso en las galerías inferiores de la sima Nasa Alta extremo Norte 03.



Figura 08. Boca colgada de la sima Nasa Alta extremo Norte 04 (flecha roja) y depresión superior. Nótese los bloques cúbicos de caliza caídos por colapso de un estrato de la parte alta de la meseta.



Figura 09. Las simas Nasa Alta extremo Norte 06, 07, 08 y 09, en el lado Sur de una gran depresión colgada en la ladera (arriba). Vista hacia el fondo de la cavidad 06 con su sima interna (flecha blanca, debajo).



Figura 10. Sima Nasa Alta extremo Norte 06. Secuencia del descenso de la sima interna, colgada en una pared de la depresión. La cavidad totaliza 102 m de desarrollo y -22 m de desnivel.



Figura 11. Parte media de la vertical de -12 m y galería subterránea de amplio volumen interno en la cavidad 06.



Figura 12. Paredes con estratos de arcillas ocre y grises en la galería principal y lateral ascendente con suelos de coladas y estalagmitas de mica-illita. Sima 06.

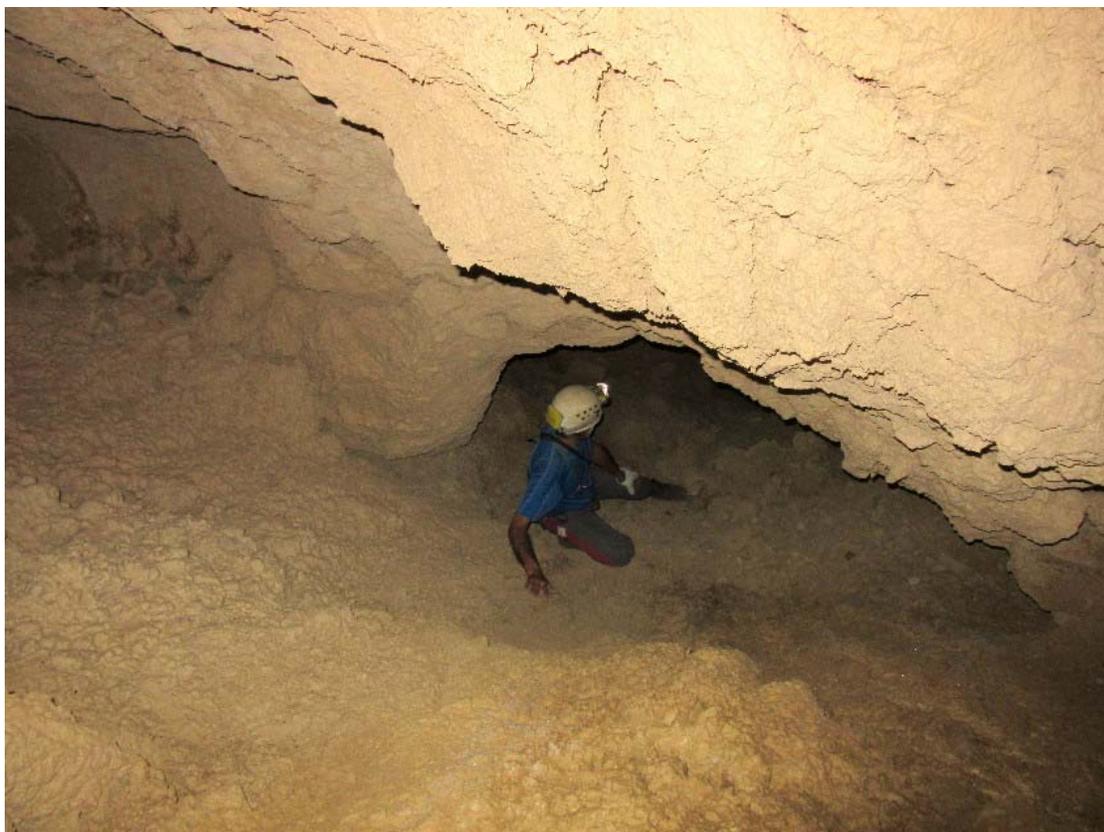


Figura 13. Galería lateral que conduce a una salita con chimeneas y tramo descendente en la sima 06.



Figura 14. Diversos aspectos de la sima 06, con recubrimientos de espeleotemas aciculares de yeso. Al pie del gran bloque agrietado en el lado derecho de la imagen superior se abre la continuación inferior.



Figura 15. Frostworks (crecimientos arborescentes radiales) de agujas de yeso sobre paredes con bandeados de arcillas de distintos colores.



Figura 16. Detalle de frostworks de yeso sobre paredes y suelos, y ascenso en jumars de la sima 06.



Figura 17. Boca de la sima interna 06 y vista desde el Norte de la depresión de las simas 06 a 09. La cota 0 en todos los casos es establecida en el punto más bajo del perímetro de cada boca individual, por lo que el desnivel desde otros puntos es considerablemente mayor.



Figura 18. Ascenso escalando de la depresión-sima 08 y arista de separación entre las simas 08 y 09.



Figura 19. Intentando observar la sima interna colgada y descenso hacia el fondo principal de la sima 09. Obsérvese los recubrimientos blancos de eflorescencias de sales de sodio.



Figura 20. Sobre la sima interna, alcanzada mediante escalada con la ayuda de la cuerda en tensión y fondo principal de la sima 09, donde se abre una corta galería.

B. Cavidades del Grupo 2.

Nasa Alta extremo Norte 06.

Situación: En una extensa depresión colgada (de 70 m de largo N-S), a 78 m al N de la sima Nasa Alta extremo Norte 01.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.588; E 631.832; Altitud 496 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -22 m; Desarrollo espacial: 102 m. Figuras 09 a 17. Plano en Figura 40.

Descripción: Esta sima es la mayor de las cavidades exploradas. Se localiza en el extremo Sur de la depresión (en realidad un conjunto de depresiones situadas en un plano inclinado, colgado en la ladera). El plano se subdivide en depresiones menores y queda limitado por escarpes y fuertes pendientes subverticales del flanco W de la meseta.

La cavidad consta de dos partes diferenciadas: una sima propiamente dicha (de 70 m de desarrollo y -18 m de desnivel), que queda incluida en una depresión-sima, de paredes verticales en gran parte de su perímetro, y para la cual computamos +4 m de desnivel sobre la sima y 32 m de desarrollo. El punto 0 lo situamos en el collado o punto más bajo del borde de la dolina o depresión cerrada. El desarrollo total es la suma de ambas cifras.

Casi todo el perímetro de la dolina está cerrado por paredes subverticales, resultando el acceso más cómodo desde el collado W (donde está situado el punto 0), ya que se puede bajar sin cuerda, destrepando sólo un escalón vertical de -2 m. El fondo de esta dolina embudiforme está 3 m más abajo que la boca de la sima, ya que ésta se abre colgada en una pared lateral de la dolina (a +3 m con respecto al fondo y a -4 m con respecto a la cota 0 en el collado W).

El fondo de la dolina tiene algunos árboles y pipes menores, más estrechos, que parecen estar en correspondencia con la continuidad vertical de la cavidad, al lado del punto más bajo alcanzado.

La sima propiamente dicha se abre en una posición inusual, colgada sobre la pared que limita su perímetro WNW. La boca, situada en la cota -4 m, es un conducto tubular de 2-3 m de diámetro, de sección circular a acorazonada, y presenta una vertical de acceso de -12 m. En su base se amplía y presenta un lateral ascendente de 6 m de largo y otro descendente. Tras un paso de techo bajo forma una amplia galería (ancha de 4 m x 2-3 m de alto) con suelo de bloques de arcilla. Sus paredes son lisas, con estratos alternos de arcillas grises y rojizas. Al cabo de 20 m presenta una segunda ampliación y una estrecha galería descendente (cota -18). La galería principal sigue 7 m hasta un tramo ascendente, de 7 m más, con dos laterales. El situado más al N asciende 8 m sobre coladas de mica-illita hasta una pequeña cámara terminal. El situado al S, también ascendente, de 6 m, llega hasta una salita con varias altas chimeneas sin comunicación con superficie.

En estas galerías, amplias, hay frostworks algodonosos y recubrimientos cristalinos de agujas de yeso. Los cristales de yeso más largos de los frostworks alcanzan longitudes de 12 mm, cubriendo áreas de más de 1 m² cada una sobre paredes y suelos de arcilla. En dos puntos hay pequeños acúmulos de guano de quirópteros. También observamos varias especies de araneidos de pequeña talla que construyen sus telas de caza sobre las paredes.

La galería más baja, de 1 m de diámetro, desciende 4 m hasta la cota -20 m, donde se bifurca y estrecha. Tiene una rama descendente que a los 2 m se hace impracticable, con huellas de drenaje temporal (cota -22 m, punto más bajo de la cavidad). Y otra rama, horizontal, que a los 4 m lleva a una ampliación, con chimeneas posiblemente en correspondencia con los pipes verticales del fondo de la dolina. El paso a la ampliación es de paredes con bloques terrosos inestables, y en ese punto dejamos la exploración (por el riesgo objetivo de derrumbe que entraña), pero podría tener otras continuaciones. No obstante, lo principal del drenaje parece seguir un trazado vertical a través de todo un conjunto de fisuras y pipes menores, sin macrogalerías penetrables. El desarrollo total de la sima es de 70 m y el de la cavidad en su conjunto (incluyendo la dolina) de 102 m.

Nasa Alta extremo Norte 07.

Situación: Inmediatamente al NE de la dolina anterior se abren otras tres profundas depresiones-simas, escalonadas en la ladera a mayor altitud, siendo la número 7 la más próxima.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.608; E 631.847; Altitud 500 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -8 m; Desarrollo espacial: 16 m. Figuras 09, 17 y 18.

Descripción: Es una depresión embudiforme de 8 m de diámetro y -8 m de desnivel, con bordes subverticales y fondo aplanado en el cual se abren algunos pipes entre vegetación arbustiva.

Nasa Alta extremo Norte 08.

Situación: Es otra dolina-sima, más profunda, situada contigua y al E de la anterior.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.608; E 631.864; Altitud 504 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -9 m; Desarrollo espacial: 15 m. Figuras 17 y 18.

Descripción: Tiene -9 m de desnivel, con paredes subverticales y un fondo en embudo de 3 m de diámetro interno. Una delgada y escarpada arista de arcilla separa esta cavidad de la sima nº 6 (situada al SW) y otra arista igualmente pronunciada de la nº 9 (situada al NE), siendo posible el acceso tras rodear la dolina-sima nº 7.

Nasa Alta extremo Norte 09.

Situación: Inmediatamente al NE de la anterior, de la cual la separa sólo una delgada arista.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.615; E 631.864; Altitud 505 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 23 m. Figuras 18 á 20.

Descripción: Consta de una sima amplia de -10 m de desnivel, con un pequeño abrigo cegado en su fondo (cota -12). Sobre la pared E, colgada a +4 m sobre el suelo, se abre otra sima interna, tubular, de -3 m de desnivel. Sólo se puede acceder a esta sima interna escalando, ya que el escarpe de la pared al NE y N de la cavidad, es vertical y alcanza mayor altura. Es llamativa la presencia en esta cavidad de extensas bandas con recubrimientos blancos (muy contrastantes) de sales de sodio.

Nasa Alta extremo Norte 10.

Situación: A 15 m al NE del grupo de dolinas-simas anteriores. En la base de un escarpe vertical, sobre la sima nº 9.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.623; E 631.857; Altitud 506 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -1 m; Desarrollo espacial: 5 m. Figura 21.

Descripción: Es una pequeña cueva, de boca rectangular, que se abre bajo un estrato delgado de margocaliza.

Nasa Alta extremo Norte 11.

Situación: A 18 m al N de la cavidad anterior, bajo el mismo estrato.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.641; E 631.854; Altitud 504 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -5 m; Desarrollo espacial: 10 m. Figura 21.

Descripción: Pequeña dolina-sima, con boca de 4 m de diámetro, abierta contra la pared del escarpe, con una pequeña galería interna en su base, la cual profundiza bajo el escarpe.

Nasa Alta extremo Norte 12.

Situación: A 5 m al NE de la cavidad anterior (nº 11).

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.656; E 631.857; Altitud 504 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 28 m. Figuras 21 á 23.

Descripción: La boca, de 8 m de diámetro mayor, se abre bajo el mismo estrato calizo formando una depresión alargada de -3 m, con dos simas en su interior. La situada al S, tras otro pequeño escalón, forma una corta galería en rampa. La situada al N es algo más profunda y vertical, alcanzándose en su fondo la cota -10 m. Adicionalmente presenta mesocavernas y pipes menores que perforan en distintos puntos la pared del escarpe. Esta es la cavidad situada más al N del conjunto del grupo 2.

C. Cavidades dispersas.

Nasa Alta extremo Norte 13.

Situación: Sobre la ladera, fuera de la depresión del grupo 2, a 30 m en planta al NW de la cavidad 12.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.661; E 631.824; Altitud 494 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 16 m. Figura 24.

Descripción: La boca, semioculta contra un escarpe lateral, tiene 2 m de diámetro, y da paso a una sima en rampa pronunciada, que en su parte final pierde inclinación y se estrecha hasta hacerse impracticable en la cota -12 m.

Nasa Alta extremo Norte 14.

Situación: A 20 m al SW de la cavidad 13.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.645; E 631.811; Altitud 487 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: 0 m; Desarrollo espacial: 4 m.

Descripción: La boca, de 3 m de ancho x 1 m de alto, da paso a una salita más amplia y ascendente pero de techo bajo. Posee espeleotemas de yeso.

Nasa Alta extremo Norte 15.

Situación: A 10 m al S de la anterior.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.636; E 631.813; Altitud 485 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -4 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figura 25.

Descripción: La boca, tras un pequeño escalón, prosigue en rampa hasta un estrechamiento terminal. Posee numerosos recubrimientos de espeleotemas aciculares de yeso sobre sus paredes y suelos. Termina cegada por un colapso de bloques de arcilla en la cota -4 m.

Nasa Alta extremo Norte 16.

Situación: A 18 m al SW de la anterior, en una pequeña dolina.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.626; E 631.798; Altitud 476 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -7 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figura 26.

Descripción: La boca, de 1,5 m de diámetro, da paso a una sima en rampa de fuerte pendiente, que alcanza la cota -7 m.

Nasa Alta extremo Norte 17.

Situación: En el interfluvio que forma la divisoria de cuencas entre los barrancos de La Nasa y Tripazul. Sobre la cabecera del barranco de La Nasa. A 120 m al WNW de la cavidad 16.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.657; E 631.680; Altitud 464 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -4 m; Desarrollo espacial: 36 m. Figura 27.

Descripción: Se trata de un conjunto de sistemas de pipes, horizontales y verticales, que recorren el fondo de una depresión arbustiva y con caos de bloques. Computamos dos subsistemas, de 25 y 11 m de desarrollo, interconectados por conductos de menores diámetros. El drenaje temporal se dirige hacia una cavidad en la cabecera del barranco (la siguiente, número 18).

Nasa Alta extremo Norte 18.

Situación: Sobre la cabecera del barranco, a 35 m al SE de la anterior.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.625; E 631.701; Altitud 458 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -8 m; Desarrollo espacial: 28 m. Figura 28. Plano Figura 41.

Descripción: Se trata de una galería en la reaparece el drenaje de la depresión anterior. Posee una boca de acceso principal, en rampa, y otras dos menores, espaciadas a lo largo de una galería amplia, con un surco o cauce encajado en su suelo. Totaliza 28 m de desarrollo y tiene continuaciones a través de pipes menores, de muy débil diámetro, que no tratamos de explorar.

Nasa Alta extremo Norte 19.

Situación: En el cauce del barranco existente bajo el conjunto de simas del grupo 2. A 115 m al S de la cavidad 18.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.508; E 631.683; Altitud 438 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: +2 m; Desarrollo espacial: 8 m. Figura 29.

Descripción: Cueva-túnel en el fondo del cauce del barranco, encañonado en este tramo.

Nasa Alta extremo Norte 20.

Situación: En el cauce del barranco anterior, a 10 m al ENE de la boca superior de la cavidad 19.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.511; E 631.691; Altitud 440 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: +2 m; Desarrollo espacial: 8 m. Figura 30.

Descripción: Se trata de otra cueva-túnel, de 8 m, abierta sobre un lateral del cauce del barranco y que perfora un tramo hasta una depresión lateral superior, cerrada por un escarpe, de cuya base emerge un conducto de pipe, que debe aportar agua en épocas de lluvia.

Nasa Alta extremo Norte 21.

Situación: En el flanco del mismo barranco, tras remontar un escarpe. A 25 m al E de la boca superior de la cavidad 20.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.508; E 631.712; Altitud 445 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -2 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figuras 31 y 32.

Descripción: La boca, semioculta por unos bloques, desciende un poco y prosigue en horizontal por una galería de 2 m de diámetro, en un terreno de arcilla con clastos angulosos, que se va estrechando. Su parte final es descendente e intercepta pipes menores, probablemente capturando también el drenaje temporal de un hundimiento con pipes abierto en la ladera superior.

Nasa Alta extremo Norte 22.

Situación: Sobre el lado Sur del barranco anterior, en una zona aplanada, a 80 m al SE de la cavidad 21.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.443; E 631.735; Altitud 467 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 26 m. Figuras 33 y 34. Plano Figura 41.

Descripción: Situada fuera del barranco, al S de la cavidad anterior y del hundimiento citado, en una zona plana. Es una sima de boca festoneada e irregular, formada por la coalescencia de varios tubos verticales de amplio diámetro. Se puede descender en oposición por el tubo W, destrepando un escalón vertical de -6 m que prosigue en rampa. En su parte más baja posee una corta galería, con dos ramificaciones cerradas en fondo de saco, drenadas por pipes menores y obstruidos por colapso de los materiales arcillosos. Sus paredes presentan múltiples surcos de piping y tramas de geofomas, cavernosas o ruiformes, formadas por fluidificación y solidificación de las arcillas, bajo condiciones alternas de humectación/desecación.



Figura 21. Vista hacia boca rectangular de la cavidad 10 (arriba) y las bocas 11 y 12 en la parte N de la depresión de la ladera (debajo). Se adivinan las bocas 09 á 07 en el lado derecho de la imagen inferior.



Figura 22. Sima Nasa Alta extremo Norte 12. Tras un escalón de 3-4 m se subdivide en dos simas internas.



Figura 23. Sima interna en el lado Sur de la cavidad 12 (arriba). Y vista de las bocas 11 y 12 (debajo).
Nótese los estratos intercalados de margas y pipes adicionales sobre las paredes.

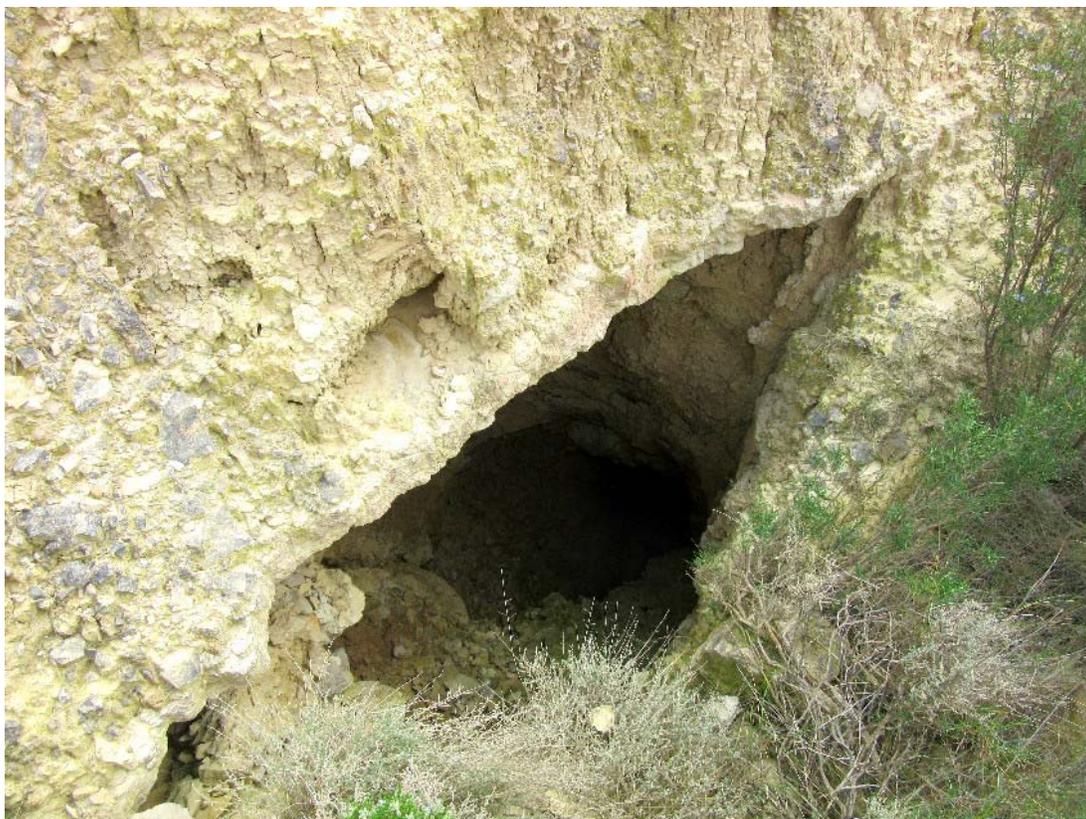


Figura 24. Sima Nasa Alta extremo Norte 13, con pipes y conductos menores en la cota -12 m.



Figura 25. Nasa Alta extremo Norte 15. Galería interna con densos frostworks de agujas cristalinas de yeso.

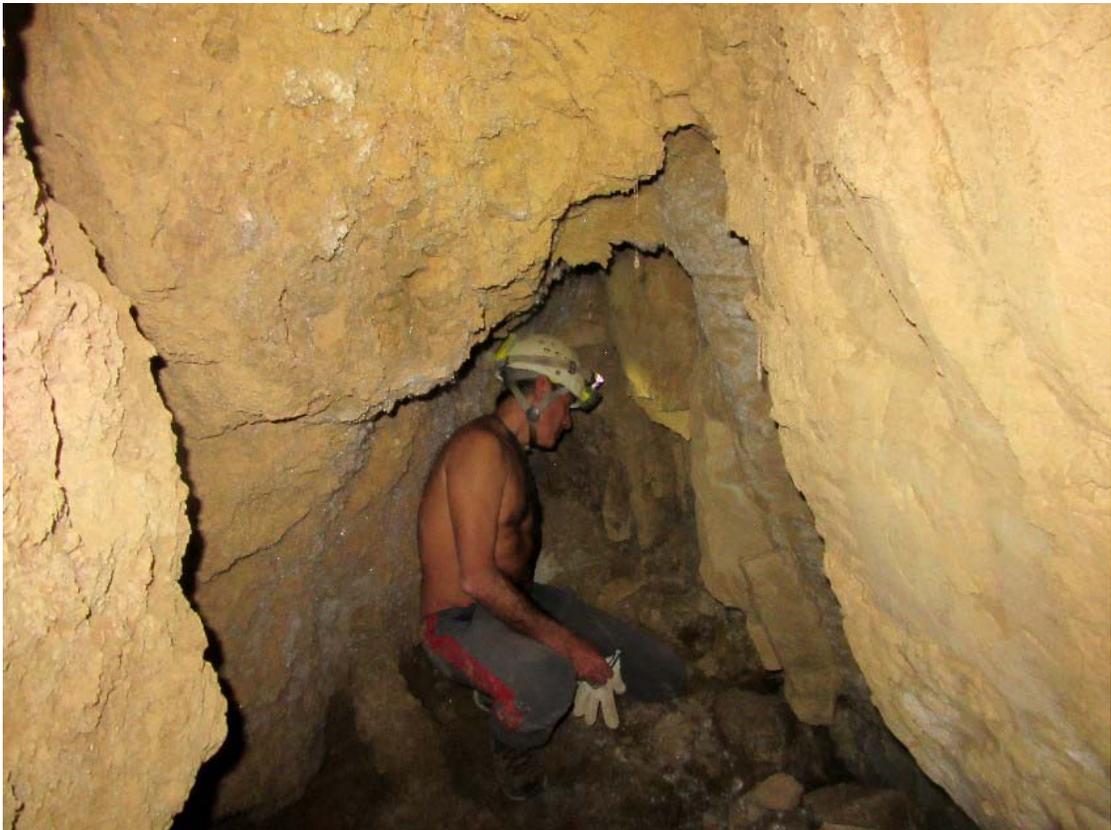


Figura 26. El relieve de cárcavas al N de la Nasa Alta y la boca y galería interna de la sima 16.



Figura 27. Depresión en el interfluvio entre los barrancos de La Nasa y Tripazul, con los sistemas de pipes de la cavidad Nasa Alta extremo Norte 17. Obsérvese los surcos entallados por el drenaje temporal.



Figura 28. Detalles de la galería principal, en su parte más amplia, de la sima 18, con pipes menores bajo los rellenos y la luz de la boca de acceso principal. Nótese las espeleotemas de mica-illita y de yeso.



Figura 29. Cueva-túnel 19, en el cauce de un barranco encañonado. Bocas inferior y superior.



Figura 30. Cueva-túnel Nasa Alta extremo Norte 20. Boca inferior y galería interna.



Figura 31. Nasa Alta extremo Norte 21. Boca colgada sobre un escarpe del fondo del barranco y galería con suelos pulverulentos (de arcilla suelta) y paredes con clastos incluidos en los materiales arcillosos.



Figura 32. Galerías internas de la cavidad 21, con meandros entallados y pipes terminales, no practicables.



Figura 33. Sima Nasa Alta extremo Norte 22, formada por la coalescencia de varios tubos, amplios y verticales.



Figura 34. Galerías internas de la sima Nasa Alta extremo Norte 22.



Figura 35. Depresiones con relieves residuales cónicos y geoformas de tipo pop corn, en la cabecera del barranco N de La Nasa, bajo las cavidades 17 y 18.



Figura 36. Geoformas de superficie. Chimeneas de las hadas formadas bajo bloques colapsados y relieves residuales con eflorescencias salinas.



Figura 37. Pequeños bloques cúbicos formados por el colapso de un estrato delgado de margas y relieves ruñiformes con túneles, simas, arcos y puentes de roca, con múltiples ejemplos fractales, de relieves que reproducen en miniatura los rasgos de formas mayores.



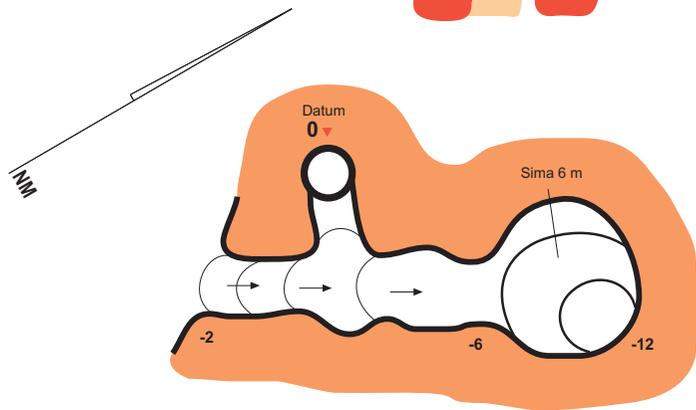
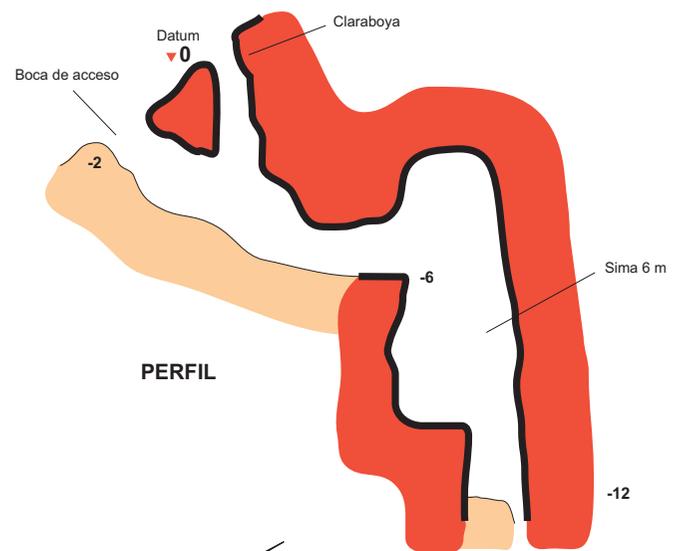
Figura 38. Regresando de las exploraciones en el extremo Norte de la Nasa Alta, con llovizna (arriba) y atardecer con sol (debajo), durante el período invernal. Una región desértica con contrastes.

Figura 39. Plano de las cavidades Nasa Alta extremo Norte 01 y 03.

Nasa Alta extremo Norte 01



Coordenadas UTM 30N: N 4.666.512; E 631.813; Alt.: 474 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 24 m. Desnivel -12 m.
 Topografía: C.Galán; M. Nieto; J. Rivas & L. Núñez. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.

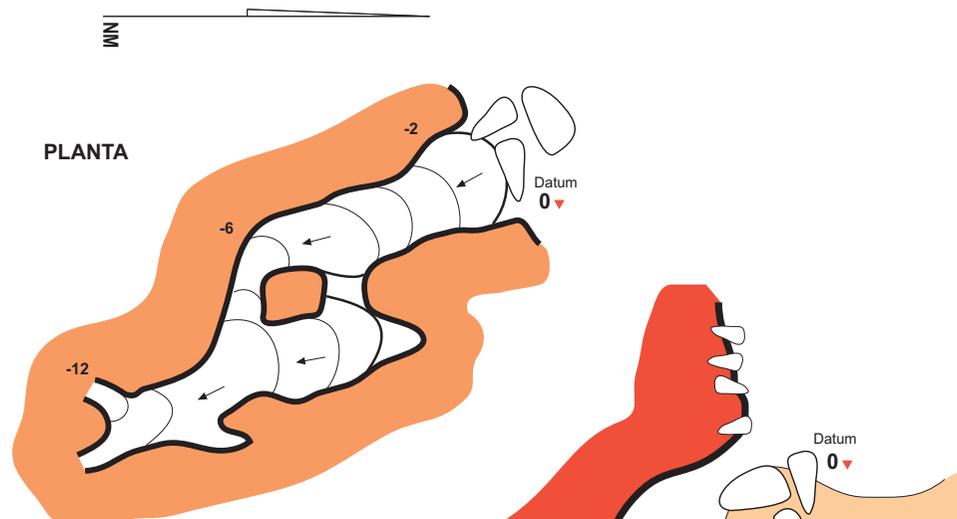


PLANTA

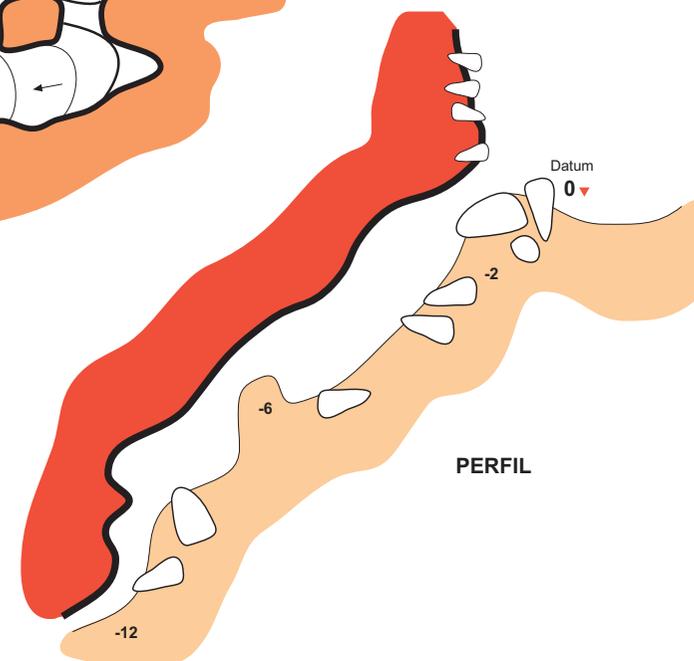
Nasa Alta extremo Norte 03



Coordenadas UTM 30N: N 4.666.512; E 631.847; Alt.: 490 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 20 m. Desnivel -12 m.
 Topografía: C.Galán; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.



PLANTA



PERFIL

Nasa Alta extremo Norte 06



Coordenadas UTM 30N: N 4.666.588; E 631.832; Alt.: 496 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 102 m. Desnivel -22 m.
 Topografía: C.Galán; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.

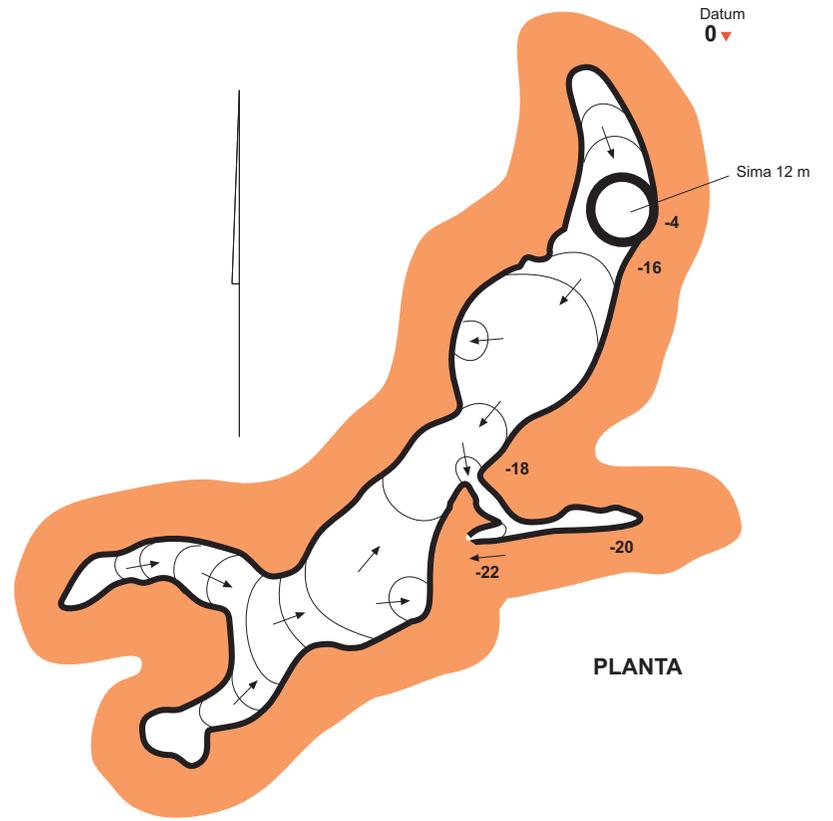
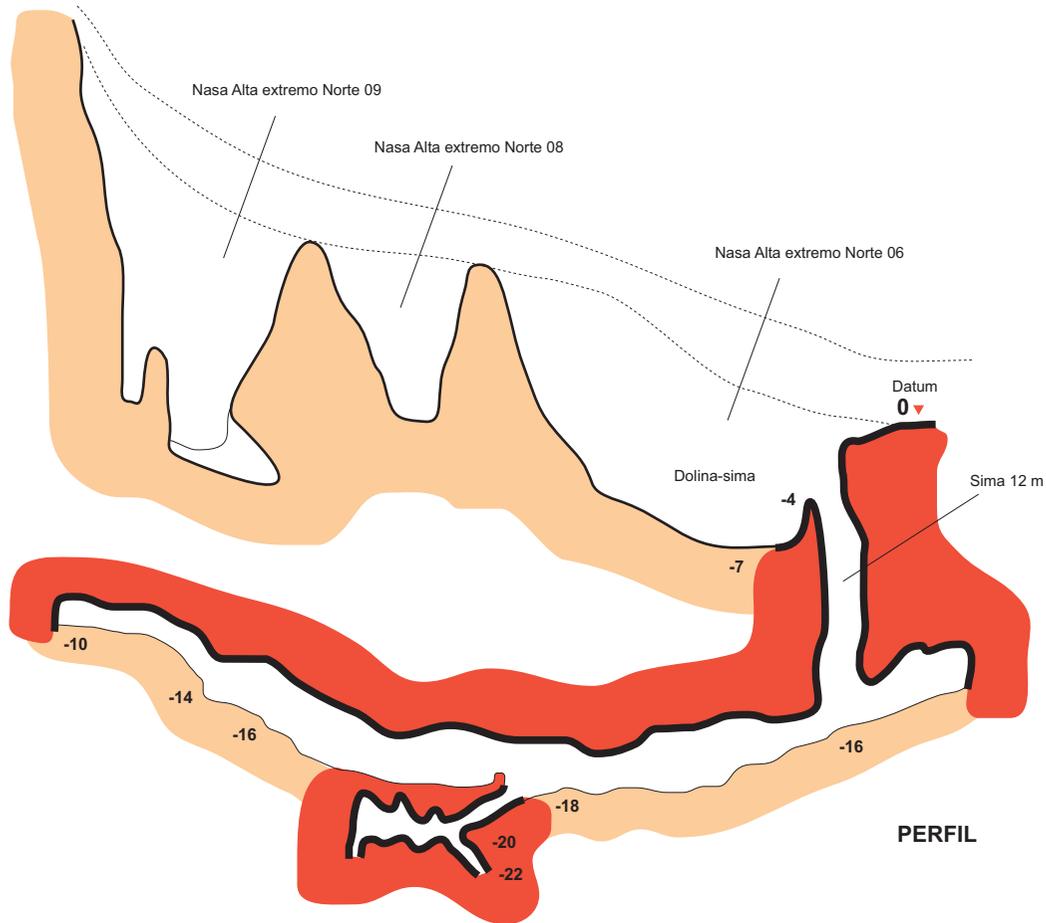


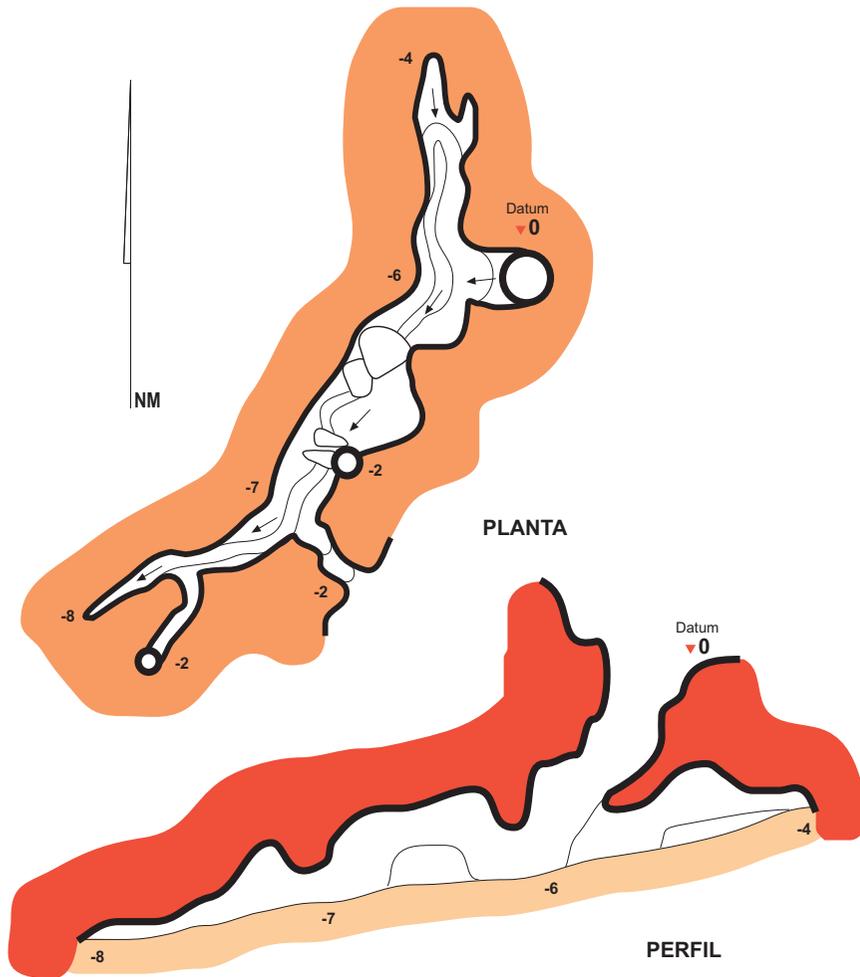
Figura 40. Plano de la cavidad Nasa Alta extremo Norte 06.

Figura 41. Plano de las cavidades Nasa Alta extremo Norte 18 y 22.

Nasa Alta extremo Norte 18



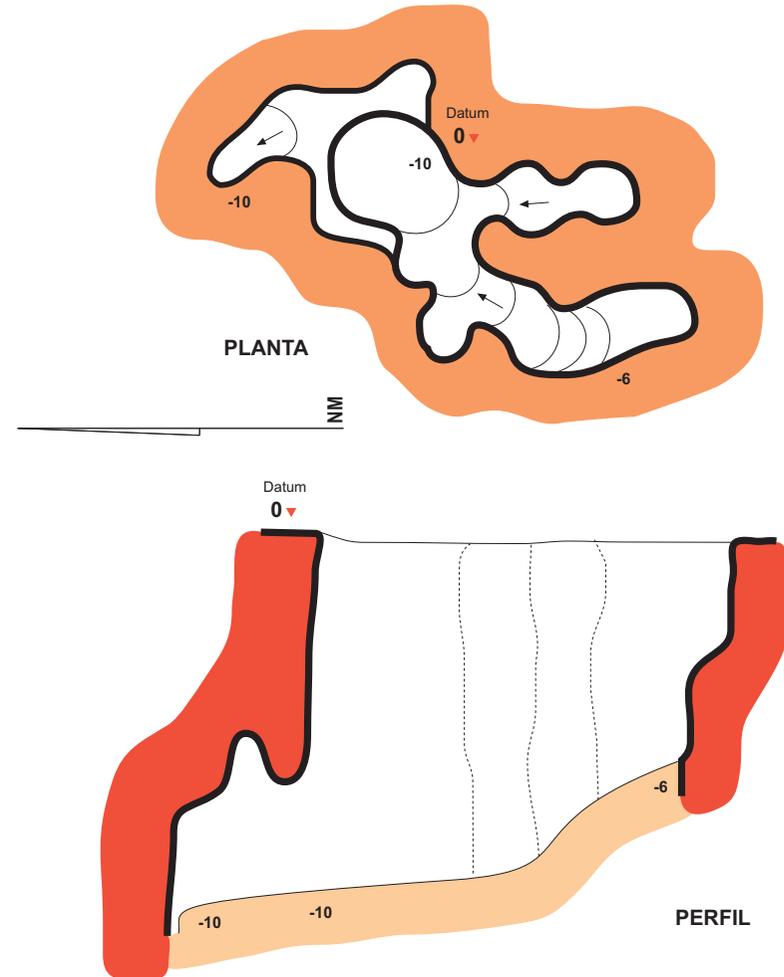
Coordenadas UTM 30N: N 4.666.625; E 631.701; Alt.: 458 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 28 m. Desnivel -8 m.
 Topografía: C.Galán; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.



Nasa Alta extremo Norte 22



Coordenadas UTM 30N: N 4.666.443; E 631.765; Alt.: 467 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 26 m. Desnivel -10 m.
 Topografía: C.Galán; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.



DATOS DE CONJUNTO

El conjunto de 22 cavidades exploradas en este sector de la Bardena Negra suma un total de 428 m de galerías subterráneas y sin duda contiene una cifra considerablemente mayor de mesocavernas y pequeños conductos. Muchas simas y depresiones, de amplia apertura en superficie, finalizan obstruidas por rellenos detríticos o se prolongan en laminadores y mesocavernas de débil diámetro, siendo evidente la continuidad de los procesos de piping y exportación de materiales por flujos subterráneos basales.

Con la excepción de las dos cuevas-túneles que se encuentran en la parte inferior de un barranco entallado (cavidades 19 y 20), se puede decir que la mayoría son simas o depresiones-simas. Incluso las de cierto desarrollo horizontal u oblicuo finalizan casi invariablemente en pipes verticales, de débil diámetro. La suma acumulada del desnivel de las cavidades alcanza -148 m, una cifra que da idea de la magnitud de los conductos verticales.

Las observaciones de campo sugieren que existe en el área una considerable infiltración vertical, dispersa en los materiales arcillosos de la Formación Tudela. Pero esta debe formar redes dendríticas que luego derivan subhorizontalmente hacia surgencias dispersas, a través de conductos menores, sin concentrarse en un único colector. En todos los casos los caudales subterráneos temporales se dirigen y tienen por nivel de base local la base de la red entallada de barrancos en la zona.

En las cavidades son frecuentes las espeleotemas de yeso, mica-illita, algunas de ópalo-CT, y recubrimientos de sales de sodio en las partes más superficiales. Estas últimas eflorescencias también se forman en superficie. En todo caso prueban que el agua intergranular disuelve componentes de la roca-caja, contribuyendo a desflocular las arcillas. Las soluciones pueden luego precipitar, al alcanzar la saturación, formando espeleotemas. La evaporación y ventilación de las galerías produce la ascensión capilar de las aguas porales, con crecimientos cristalinos ascendentes a partir de los suelos y paredes de arcilla.

En superficie también se encuentran geoformas, tales como relieves residuales cónicos, de tipo pop corn, chimeneas de las hadas, escarpes con marcados surcos de piping y paredes con filigranas de arcillas de fluidificación, entre otras (Figuras 35 y 36).

Llama también la atención la ocurrencia de los mismos procesos (y morfologías resultantes) a distintas escalas, lo que indica su naturaleza fractal (Figuras 37 y 38). Esto ocurre con la fractura de los estratos de margas y calizas, intercalados en la serie arcillosa, que forman viseras en voladizo y colapsos de bloques cúbicos, de distintos tamaños. Las mismas morfologías de cavidades, dolinas y simas, se encuentran en superficie como miniaturas. Existen también relieves que reproducen en pequeño la topografía de las mesetas y cerros de la región, con sistemas de surcos, cañones y cárcavas, a distintas escalas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La litología de los materiales arcillosos de la Formación Tudela, de estructura masiva, posee altos valores de SAR (Sodium Adsorption Ratio) y sodio intercambiable, un pH alcalino (8.3 á 9) y coeficientes de hinchamiento que pueden llegar hasta el 12%. Cuando el sodio representa un alto porcentaje del total de cationes puede producirse piping con facilidad. Estos materiales pueden verse afectados por la disolución del sodio, de manera que se acelera la pérdida de coherencia y se facilita la exportación de materiales finos en los pipes iniciales por los que fluye el agua. A la vez, al haber un predominio de arcillas expansivas, se favorece el agrietamiento y se canaliza la escorrentía hacia el interior del sedimento.

Las arcillas cambian sus propiedades físicas según su estado de hidratación. La alternancia de expansión y contracción forma repetidamente grandes y pequeñas grietas. Algunas arcillas son especialmente plásticas cuando están mojadas, y pueden formar bloques de dislocación, deslizamientos y colapsos, cuya posterior remoción contribuye significativamente a la erosión y a la ampliación volumétrica de las galerías. Un alto contenido en sodio intercambiable desflocula estas arcillas, concentrando el flujo de agua en las grietas y proporcionando una lubricación adicional.

El piping se inicia con la formación de agrietamientos en el suelo superior, asociados a la expansión y contracción de las arcillas bajo las condiciones climáticas alternas de humectación y sequedad que presenta la región. La disolución desagrega los materiales parentales y canaliza los flujos de infiltración hasta formar canalículos y conductos tubulares (pipes) que facilitan la remoción intergranular. Ocurre entonces la canalización de las aguas subterráneas siguiendo unas líneas preferentes de flujo. Las aguas infiltradas verticalmente, al encontrarse con niveles progresivamente menos permeables en profundidad, tienden a circular horizontalmente formando redes de galerías. En los conductos mayores sigue actuando el piping, con líneas de flujo determinadas por el gradiente hidráulico, hasta alcanzar su desagüe en el fondo entallado de los barrancos.

Si los procesos persisten llegan a formarse auténticas cuevas con galerías en este caso pequeñas (8 superan los 20 m y una los 100 m), pero otras cuevas de la región llegan a alcanzar varios cientos de metros de desarrollo. Tanto los procesos de piping como los de erosión normal están presentes en la formación de estas cavidades. Las exploraciones efectuadas muestran que pueden formarse cuevas y simas mayores en flancos de acentuada pendiente, en las arcillas Miocenas de la Formación Tudela.

El trabajo aporta nuevos ejemplos sobre procesos de karstificación en arcilla y sobre la geomorfología del conjunto de la región, con numerosos detalles de interés científico para entender la karstificación en esta litología, que está mostrando contener los mayores y más diversos sistemas de cuevas en arcilla hasta ahora conocidos a nivel mundial.

AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores que nos acompañaron en las prospecciones efectuadas por la S.C.Aranzadi (SCA) en la región de las Bardenas y, de modo especial para este trabajo, a José M. Rivas y Laura Núñez, quienes participaron en la exploración de las cavidades Nasa Alta extremo Norte 1 á 4 y en la localización de cavidades del grupo 2. A dos árbitros de la SCA y SVE (Sociedad Venezolana de Espeleología) por la revisión del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Bremner, L. 2009. The Carrizo Badlands Mud Caves in Arroyo Tapiado. Anza-Borrego Desert State Park. California. Desert USA.
- 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. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas silíceas y rocas carbonáticas: un estudio comparado. Munibe (Ciencias Naturales.), S.C.Aranzadi, 43: 43-72.
- 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. & J. Lagarde. 1988. Morphologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima. Karstologia 11-12: 49-60.
- Galán, C. & M. Nieto. 2015. Nuevos datos sobre cuevas en arcilla, cárcavas y cañones en la Bardena Negra. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 38 pp.
- 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.; D. Arrieta; M. Nieto & J. Forstner. 2016. 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.
- Halliday, W.R. 2007. Pseudokarst in the 21ST century. Journal of Cave and Karst Studies, 69 (1): 103-113.
- Lindsay, L. & D. Lindsay. 1985. The Anza-Borrego Desert Region. Wilderness Press, 170 pp.
- 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.
- 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.
- Urbani F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. Interciencia, 11 (6): 298-300.