

Dinámica microclimática estacional y su impacto en las pinturas rupestres de la Cueva del Niño (Aýna, SE España)

Seasonal microclimatic dynamics and their impact on the rock art of Cueva del Niño (Aýna, SE Spain)

*David Sanz^{1,2}, Luis Trigueros-Ramos³, Diego Gil⁴, Jordanka Dountcheva¹, Alejandro García-Moreno⁵, Alberto Córcoles⁶ y Mario Sánchez-Gómez^{2,4}

¹ Dpto. Ing. Geológica y Minera, Univ. Castilla la Mancha, 16071 Cuenca.

david.sanz@uclm.es

² Instituto de Estudios Albacetenses "D. Juan Manuel" (IEA)

³ Dpto. Geología, Grupo Imerys, 02005 Albacete.

luistrigueros@imerys.com

⁴ Dpto. Geología, CEACTÉMA, Universidad de Jaén, 23071 Jaén.

msgomez@ujaen.es, dgil@ujaen.es

⁵ Museo de Prehistoria y Arqueología de Cantabria, c/ Ruiz de Alda, 19, 39009 Santander.

garcia_alejan@cantabria.es

⁶ Club Deportivo Sierras del Mundo, Paseo de los Plátanos s/n, 02450 Riopar, Albacete.

corcoles@ujaen.es

*Corresponding author

ABSTRACT

The Cueva del Niño (Aýna) contains Palaeolithic cave art in a geological setting of calcarenous materials. Its microclimate features three thermal zones: the heterothermal zone, influenced by external climate conditions; the thermal inertia zone, with a stable temperature in winter; and a transition zone, regulated by ventilation. In winter, the cave acts as a heat trap, retaining warmth and humidity, while in summer, convective circulation homogenizes the temperature and reduces relative humidity. These processes promote the formation of carbonate concretions through evapocondensation, which may impact the preservation of rock art. The interaction of these factors highlights the need for comprehensive management to maintain environmental balance.

Key-words: cave monitoring, cave ventilation, cave paintings.

Geogaceta, 78 (2025), 63-66

<https://doi.org/10.5540/geogaceta113416>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

La Cueva del Niño se localiza en el sureste de la península ibérica y pertenece al municipio de Aýna (Albacete, X_{ETRS89}: 573491, Y_{ETRS89}: 4266074). Destaca como uno de los yacimientos arqueológicos más relevantes del interior peninsular, al albergar arte rupestre paleolítico en una región poco habitual para este tipo de manifestaciones. Conocida desde antiguo por los habitantes locales, fue dada a conocer oficialmente en 1970 por Martín Almagro. Desde entonces, diversas investigaciones han documentado la ocupación humana desde el Paleolítico medio hasta el Neolítico y han analizado las pinturas rupestres, que se encuentran distribuidas en dos paneles principales. Estas

pinturas incluyen figuras de animales y trazos simples realizados con pigmentos naturales, constituyendo un testimonio valioso del arte rupestre paleolítico en la región (García-Moreno, 2022).

La cueva se desarrolla en materiales calcáreos del Mioceno. Este entorno geológico, caracterizado por procesos de erosión y alteración química, ha dado lugar a la formación de espeleotemas principalmente de calcita y aragonito, cuya interacción con el microclima de la cueva podría estar afectando a las pinturas rupestres, como ocurre en otros lugares emblemáticos de la península ibérica (Gázquez *et al.*, 2022). La presencia de un tipo de espeleotemas blanquecinos más abundantes en la sala exterior y la menor cantidad de espeleotemas en com-

RESUMEN

La Cueva del Niño (Aýna) alberga arte rupestre paleolítico en un entorno de materiales calcáreos. Su microclima presenta tres zonas térmicas: la heterotérmica, influenciada por el clima exterior; la de inercia térmica, con temperatura estable en invierno; y una de transición, regulada por la ventilación. En invierno, la cueva actúa como trampa de calor, retiene calor y humedad, mientras que en verano la circulación convectiva homogeniza la temperatura y reduce la humedad relativa. Estos procesos favorecen la formación de concreciones carbonatadas por evapocondensación, que pueden afectar a la conservación del arte rupestre. La interacción de estos factores resalta la necesidad de una gestión integral para preservar su equilibrio ambiental.

Palabras clave: Ventilación, monitorización, cueva, arte rupestre.

Fecha de recepción: 31/01/2025

Fecha de revisión: 24/04/2025

Fecha de aceptación: 30/05/2025

paración con la sala interior sugieren un equilibrio metaestable condicionado por la dinámica microclimática de la cavidad y su interacción con el ambiente exterior (Sánchez-Gómez y Sanz, 2022). Este estudio tiene como objetivo principal diagnosticar las condiciones microclimáticas estacionales de la cueva y su impacto en la conservación de las pinturas rupestres y las formaciones minerales asociadas.

Área de estudio y descripción de la cueva

El entorno geológico de la Cueva del Niño se encuentra en el dominio geológico del Prebético Externo, en el denominado Arco de Cazorla-Alcaraz. Las rocas que afloran en la zona son principalmente de

edad Jurásica y Miocena, con pequeños afloramientos de edad Cretácico inferior (Fig. 1). Una descripción detallada de la geología del entorno se puede revisar en Sánchez-Gómez y Sanz (2022). La zona presenta un paisaje de altiplanos y amplios valles de fondo plano reminiscencia del nivel de colmatación de la cuenca del final del Mioceno, que son intersectados por valles muy encajados, o incluso cañones (como el del Río Mundo), dependiendo de la litología predominante. De manera concreta, la Cueva del Niño se sitúa en una secuencia estratigráfica de edad Miocena. De muro a techo está compuesta por un grueso paquete de conglomerados, parcialmente matrizsoportados con intercalaciones de arenas poco cementadas. Sobre los conglomerados se sitúa un paquete de calcarenitas con estratificaciones cruzadas de gran tamaño.

Estas calcarenitas aparecen fuertemente cementadas con un aspecto masivo hacia techo como efecto de la erosión. La Cueva del Niño constituye una gran sala, que si se observa en detalle está conformada por dos cámaras subterráneas separadas por grandes bloques (Fig. 1). Cada cámara tiene forma de cúpula, cuya base está justo en el techo del nivel de conglomerados, es decir, que la parte interna de la cueva se desarrolla íntegramente en las calcarenitas. La cúpula más externa intersecta tangencialmente un abrigo rocoso que se forma sobre los conglomerados, dando lugar a una pequeña entrada en una de las paredes de un cañón. La cueva por tanto es ascendente desde el techo de los conglomerados. La entrada a la cueva correspondería a uno de estos abrigos, que se produce por la erosionabilidad preferente que tiene el nivel de conglomerados y arenas, sobre todo en los lugares que está menos cementada. Por el contrario, la génesis de la cueva es difícil de determinar con este marco espeleogeológico. No hay huellas de circulación de agua descendente que hubiera disuelto o erosionado la cavidad. Por esa razón Sánchez-Gómez y Sanz (2022), propusieron un origen hipogénico de la cavidad en función de su morfología interna.

Aunque las cúpulas presentan espeleotemas, tanto estalagmitas como estalactitas, estos aparecen sobreimpuestos a un techo de formas redondeadas y alisadas de la roca.

En el suelo se observan bloques caídos con las mismas características. Además, el tapizado por espeleotemas no es muy marcado y se pueden reconocer bien las

características originales de la roca. Puesto que la cueva no tiene un origen epigenético, la cantidad de agua que percola es limitada. Mientras que la cueva estuvo cerrada la cantidad de agua infiltrada no era un factor limitante para la humedad relativa del interior que sería del 100%, como en la mayor parte de las zonas profundas de las cuevas. En el momento que se abre la entrada, la zona próxima a ella y en general la cúpula exterior, pierde humedad relativa lo que favorece menos goteo y la disminución del número de espeleotemas, que sin embargo siguen evolucionando en la cámara interior.

En cuanto a la procedencia de humedad actual al interior de la cueva está puede provenir por los conglomerados del suelo de la cueva (el agua sube por capilaridad) o por condensación de la humedad. Esta solución acuosa sobre las calcarenitas a partir de procesos cíclicos condensación-evaporación puede hacer precipitar diferentes sales (principalmente calcita y aragonito) en microfisuras de la calcarenita formando los nódulos/concreciones blanquecinas que aparecen en los paneles de las pinturas, y en determinadas zonas de la primera sala de la cueva (Fig. 1). La formación de nódulos podría haberse generado por circulación de aire con procesos de condensación. Dependerá por tanto de la evolución del

clima exterior e interior que condiciona la evapocondensación y del tamaño de la conexión entre el abrigo y las cámaras interiores.

Metodología

La composición química de las concreciones y espeleotemas presentes en la Cueva del Niño, incluyendo aquellos que afectan directamente a las pinturas rupestres se determinaron por Fluorescencia de Rayos X (FRX), mientras que su caracterización mineralógica se realizó mediante Difracción de Rayos X (DRX). Ambos análisis se realizaron en el Instituto Regional de Investigación Científica y Aplicada (IRICA) de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Asimismo, se monitorizaron las condiciones ambientales dentro y fuera de la cueva. Para ello, se instalaron seis sensores Elitech^(R) en el interior y uno en el exterior que registraban la temperatura (T°) y la humedad relativa (H_R) (Fig. 1).

Resultados

Análisis geoquímico

En total se analizaron ocho muestras, siete se corresponden con concreciones y espeleotemas, y uno respecto de la roca caja de la cavidad. La descripción es la si-

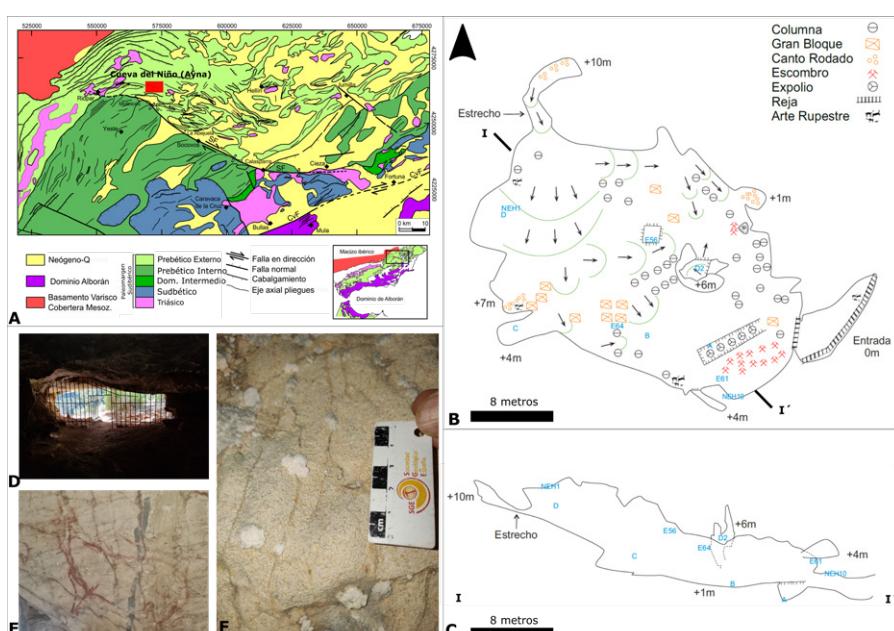


Fig. 1.- A) Ubicación geológica del área de estudio. B) Cartografía espeleológica de la Cueva del Niño con la ubicación (azul) de los sensores. C) Perfil topográfico I-I' de la cavidad. D) Vista de la entrada de la cavidad. E-F) Fotografías de las concreciones carbonatadas que afectan a las pinturas rupestres. Ver figura a color en la web.

Fig. 1.- A) Geological location of the study area. B) Speleological cartography of the Cueva del Niño with the location (blue) of the sensors. C) Topographic profile I-I' of the cavity. D) View of the entrance of the cavity. E-F) Photograph of the carbonate concretions that affect the cave paintings. See color figure in the web.

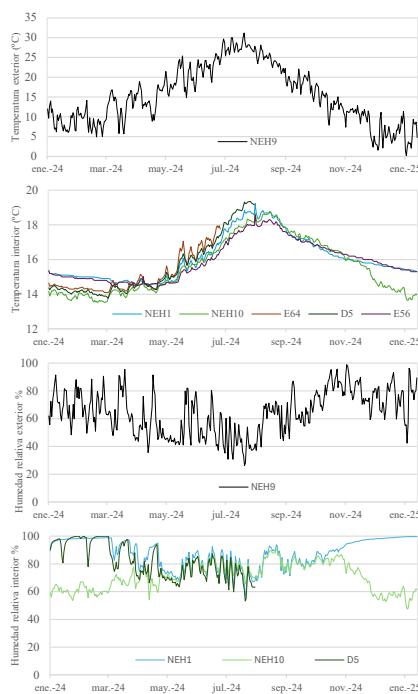


Fig. 2.- Indoors and outdoors temperature and relative humidity graphs. The location of the sensors (NEH10, NEH9, NEH1, E64, E56 and D5) can be seen in Figure 1. See color figure in the web.

Fig. 2.- Indoors and outdoors temperature and relative humidity graphs. The location of the sensors (NEH10, NEH9, NEH1, E64, E56 and D5) can be seen in Figure 1. See color figure in the web.

guiente: M1) muestra de concreción tipo globular cerca de las pinturas rupestres; M2) muestra de concreción globular en la entrada a la cueva; M3) muestra de concreción globular en el fondo de la cueva; M4) muestra de concreción globular en entorno del conducto superior (chimenea-sensor E56); M5) muestra de roca caja en el entorno del conducto superior (chimenea-E56); M6) muestra de concreción globular sobre espeleotema tipo colada cerca de las pinturas; M7) muestra de concreción globular de aspecto de reciente formación (entrada de la cueva); M8) stalactita de reciente formación (zona intermedia). Los resultados de composición química se observan en la tabla 1. Todas las muestras están dominadas por carbonatos predominando las fases cristalinas de calcita y aragonito. Como fases accesorias se pueden encontrar el cuarzo (M1, M4, M5 y M7).

No es descartable la presencia de carbonatos magnésicos como dolomita, huntita e incluso hidromagnesita en todas las muestras excepto en M5 y M8. La proporción de magnesio, aunque baja, es suficiente para que se produzcan este tipo de fases, especialmente si hay un entorno que favorezca la cristalización de carbonatos de magnesio (p.e. evapocondensación).

Temperatura y humedad relativa

El análisis de los parámetros microclimáticos de la Cueva del Niño, en relación con las condiciones externas, revela patrones térmicos e higrométricos diferenciados según la estación del año. La temperatura interna (T_a) oscila entre 13°C en invierno y 20°C en verano, mientras que las temperaturas externas presentan una mayor amplitud, variando de 0°C a 31°C (Fig. 2). Durante el invierno, la T_a en el interior es notablemente estable, con oscilaciones mínimas de décimas de grado frente a los cambios abruptos de hasta 10 °C en el exterior. No obstante, en verano, el incremento acelerado de las temperaturas externas también genera un aumento de la T_a interna, reflejando la influencia directa del entorno.

En cuanto a la humedad relativa (H_r), los valores internos registrados fluctúan entre 50% y 100%, con variaciones mensuales significativas (Fig. 2). Aunque la H_r interna sigue la tendencia general de los valores externos, en ciertas posiciones se observó una mayor estabilidad durante el invierno. Además, la H_r interna promedio tiende a superar los valores medios externos, reflejando la capacidad de la cueva para retener humedad.

El equilibrio higrotérmico puede verse alterado debido a que ambos entornos están influidos por eventos ocasionales, como precipitaciones o presencia de visitantes. Debido a la homogeneidad de temperaturas de los sensores interiores, los valores medios se convierten en un estadístico muy representativo de la cavidad. Es por ello por lo que a partir de

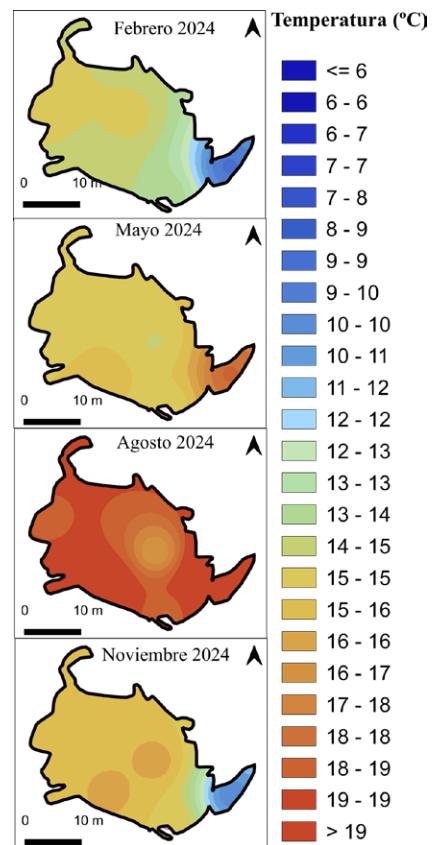


Fig. 3.- Distribución espacial mensual de los valores de temperatura en el interior de la cavidad. Los mapas ráster se han obtenidos de la interpolación de los datos de los sensores mediante la inversa de la distancia. Ver figura a color en la web.

Fig. 3.- Monthly spatial distribution of temperature values inside the cavity. Raster maps have been obtained by interpolation of sensor data using the inverse of the distance. See color figure in the web.

estos valores medios mensuales se confeccionaron mapas con la distribución espacial de la temperatura en el interior de la cavidad (Fig. 3). Se observa un aumento de la temperatura en la cavidad desde febrero a agosto. No obstante, ésta se produce de manera más rápida en la parte más externa y con menos inercia hacia el interior (pudiendo funcionar como una trampa de aire caliente). De esta manera se pueden observar tres sectores bien diferenciados. El primero se correspondería con la entrada y entorno del sensor NEH10 (heterométrica con importante relación con el exterior), uno en la parte más interna de la cueva (NEH1), y uno intermedio que estaría condicionado por ser una zona de intercambio entre ambos sectores.

Discusión y conclusiones

El microclima de la Cueva del Niño es un sistema dinámico y complejo que

Tabla 1. Composición química (% en óxidos). (Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos – X).

Code	Area	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	NiO	CO ₂
M8	Zona1		0.128	0.019	0.120	0.012	0.080	58.194	0.011	0.006	41.420
M7	zona 1	0.152	0.480	0.080	0.749	0.158	0.341	54.926	0.046	0.012	42.990
M6	zona 2	0.031	0.463	0.052	0.496	0.122	0.080	55.239	0.033	0.008	43.458
M5	zona 3	0.046	1.000	0.313	2.125	0.055	0.339	53.666	0.144	0.008	42.214
M4	zona 3	0.201	0.533	0.022	1.127	0.084	0.098	54.644	0.009	0.011	43.150
M3	zona 3	0.161	0.217	0.036	0.248	0.200	0.427	55.051	0.010	0.084	43.532
M2	zona 1	0.146	0.213	0.047	0.325	0.087	0.149	55.254	0.023	0.007	43.689
M1	zona 2	0.054	0.701	0.163	4.254	0.125	0.040	53.339	0.058	0.008	41.224

resultado de la interacción de factores geológicos, climáticos y antrópicos. Este entorno influye de manera significativa en la preservación de elementos arqueológicos y en la formación de espeleotemas y concreciones, los cuales pueden, a su vez, afectar a las pinturas rupestres presentes en la cavidad.

Los resultados del estudio confirman la existencia de tres zonas térmicas diferenciadas dentro de la cueva: la zona heterotérmica, situada cerca de la entrada y fuertemente influida por el clima exterior; una zona ubicada en la parte más profunda, caracterizada por una temperatura estable en invierno debido a la inercia térmica de la roca; y una zona de transición, donde la dinámica del aire y los flujos de ventilación desempeñan un papel clave.

El comportamiento térmico y de humedad relativa (H_r) también resalta la función de la cueva como una trampa de calor durante el invierno, donde el aire caliente queda estratificado en las zonas superiores, limitando los intercambios de aire con el exterior. Esto favorece la saturación de humedad en el interior, particularmente en las zonas más profundas. En verano, cuando la temperatura exterior supera la media interna, se observa una circulación convectiva que homogeneiza la temperatura y reduce la humedad relativa debido a la entrada de aire más cálido y seco del exterior.

Este régimen estacional tiene implicaciones directas en la formación de concreciones, como costras y pompones. Las condiciones higrotérmicas de la cueva, con temperaturas entre 10°C y 25°C y valores de H_r superiores al 80 %,

son ideales para el crecimiento de estas formaciones. Sin embargo, temperaturas más altas o niveles extremos de humedad sin ventilación adecuada pueden alterar la dinámica de precipitación de carbonatos, ralentizando el crecimiento. Además, las tasas de crecimiento de espeleotemas y concreciones en condiciones óptimas, como las descritas por Hill y Forti (1997), podrían alcanzar hasta 1 cm/año, lo que resalta el potencial de estas formaciones para cubrir superficies arqueológicas en un periodo relativamente corto.

La conservación de las pinturas rupestres se ve particularmente afectada por estos procesos. La formación de espeleotemas en condiciones de alta humedad y ventilación limitada puede generar costras y concreciones que, al cubrir las superficies, alteran la visibilidad y las propiedades químicas del soporte de las pinturas. En este contexto, es fundamental mantener un equilibrio en la ventilación de la cueva para garantizar que las condiciones microclimáticas sean lo suficientemente estables como para preservar tanto las pinturas como las formaciones geológicas.

En conclusión, el estudio del microclima de la Cueva del Niño ha permitido identificar patrones significativos en la dinámica térmica y de humedad que condicionan tanto el crecimiento de espeleotemas y concreciones como la conservación de elementos culturales. La interacción entre factores naturales y antrópicos pone de manifiesto la necesidad de una gestión integral que garantice la preservación de las condiciones ambientales óptimas. Este conocimiento será fundamental para orientar futuras inves-

tigaciones y diseñar medidas de conservación que protejan este valioso legado geológico y arqueológico.

Contribución de los autores

DS y MSG investigación, estructura del trabajo, adquisición de datos y borrador del manuscrito; LTR e ID adquisición de datos y figuras; AC cartografía; DG y AGM, investigación y revisión manuscrito.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto de Estudios Albacetenses (Diputación de Albacete), proyecto 1199543H. Se agradece la colaboración del Club deportivo Sierras del Mundo que participó en la cartografía espeleológica de la cueva.

Referencias

- Hill, C. A. y Forti, P., 1997. *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society, 463 p.
- García-Moreno, A. (Ed.), 2022. *La Cueva del Niño (Aýna, Albacete). Estudios en el 50 Aniversario de su descubrimiento*. Instituto de Estudios Albacetenses «Don Juan Manuel», 344 p.
- Gázquez, F., Quindós, L., Rábago, D., Fuente, I., Celaya, S., & Sainz, C. (2022). *Journal of Hydrology*, 606, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127416>
- Sánchez-Gómez, M. y Sanz, D., 2022. En: *La Cueva del Niño (Aýna, Albacete)*. Instituto de Estudios Albacetenses.