



7 AÑOS MUESTREANDO EL CLIMA DE LAS CAVIDADES DE LA PROVINCIA DE CASTELLÓN

Jesús Almela Agost (Espeleo Club Castelló)

Introducción.

¿Que sabemos del clima de las cuevas?. Es bien conocido que la temperatura del aire y el agua de la mayor parte de las cuevas se acercan al promedio anual de la temperatura de la superficie suprayacente. Esta depende de la altitud, latitud o del flujo procedente desde la superficie o desde el interior de la tierra (Palmer, 2012). Realizar mediciones del clima de una cueva no es una tarea tan sencilla como puede parecer. En primer lugar, hemos de tener claro el objetivo, instalando los dispositivos en puntos bien escogidos y con una cierta planificación, teniendo en cuenta aspectos como su ubicación, donde para tomar la temperatura del aire deben estar alejados del suelo y paredes. Asimismo, los instrumentos de medida han de tener una cierta precisión si queremos determinar pequeños cambios de temperatura. Las entradas de las cuevas pueden resultar complejos debido a corrientes de viento o confusos intercambios (Piccini, 2022). Multitud de factores intervienen en el clima de una cavidad, como las corrientes de aire, tamaño de la entrada, ubicación en solana o umbría, cobertera vegetal existente, cambios de presión, morfología de la cueva, presencia de agua o aportes temporales, etc.

A continuación, se analizan las temperaturas de 20 cavidades de la provincia de

Castellón de forma comparada, donde se ha empleado una misma metodología y unos idénticos dispositivos para tomar los datos de temperatura en el subsuelo.

Marco geológico, espeleológico y climático.

La diferencia altitudinal del relieve provincial arranca desde el mar Mediterráneo hasta el interior, siendo la cumbre del Penyagolosa el punto más elevado, a 1.813 metros, por lo que la cota de emplazamiento será un factor clave en la temperatura de las cavidades. Geológicamente encontramos un predominio de afloramientos de calizas o dolomías, con más de 7.000 cavidades registradas en todo el territorio, aunque de estas solamente 10 superan 1 kilómetro de desarrollo y 19 rebasan los 100 metros de desnivel. En todo el territorio encontramos numerosas cavidades que cumplen las características para ser muestreadas. Para este muestreo y monitorización de la temperatura del subsuelo se han seleccionado cavidades con cierto desarrollo o desnivel, que sobrepasen al menos los 20 o 30 metros de desnivel o 100 metros de recorrido, buscando en ellas una zona de homotermia, donde a ser posible las temperaturas sean estables o al menos estén amortiguadas por una capa de roca más o menos gruesa que lo separa de la superficie.

El clima del territorio, en base a las temperaturas medias anuales, oscila entre los

17,1°C de la franja costera meridional hasta los 8,5°C de Sant Joan de Penyagolosa. El escalonamiento altitudinal marcado por el relieve señala un gradiente térmico de altura de 1°C por cada 160 metros (Quereda, 1976), aunque en datos actuales recogidos en las numerosas estaciones meteorológicas estas temperaturas muestran valores algo superiores a estudios de hace varias décadas. En los últimos 5 años, tomando como base las estaciones de Avamet, a modo de ejemplo en Castellón en los últimos cinco años la temperatura media ha oscilado entre 18,5 y 19,6°C, mientras que en Sant Joan de Penyagolosa (Vistabella), esta se situó entre 9,3 y 10,7°C. Notamos una leve ascenso respecto a décadas atrás.

Materiales y métodos

La temperatura de las cavidades hasta ahora tomada por nosotros había consistido en tomas puntuales mientras se realizaba una visita a la cavidad, es decir un único dato aislado. Desde 2017 empezamos a emplear

los termómetros Datalogger RC-5 de la marca Elittech, que ofrecen numerosas ventajas, aunque también algunas limitaciones (Ros et al, 2020). Por un lado, tiene un bajo coste y permiten obtener miles de registros con un decimal, admitiendo regular el tiempo entre un registro y el siguiente, pudiendo estar durante largos periodos de tiempo en cavidad registrando. Por contra, presentan una precisión limitada, con un margen de error de hasta $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Estos han tomado la temperatura con una frecuencia de 3 horas. En algunos casos la humedad del interior de las cavidades ha alterado su funcionamiento, mientras que en otros han soportado inundaciones de varios días.

En estos 7 años de muestreo hemos ido perfeccionando algunos aspectos. En cavidades activas o que pueden recibir aportes temporales es recomendable introducirlo en una bolsa estanca, permitiendo estos registros el seguimiento de la evolución del clima ante eventos de fuertes precipitaciones (Gazquez et al, 2016), ayudando a desvelar parte del funcionamiento hidrológico del subsuelo. En dos cavidades el Datalogger ha desaparecido, posiblemente sustraído por personas ajenas a estas investigaciones.

El periodo de muestreo de las 20 cavidades ha sido desigual, generalmente por un año, pero en algunos casos unas pocas semanas o varios meses. En tres cavidades, se han instalado más de un Datalogger en diferentes cotas de la misma cavidad, para ver sus diferencias respecto a los cambios estacionales del exterior. En el presente trabajo se toman los datos de las estaciones ubicadas a más profundidad, procurando buscar la zona de homotermia o con menor influencia con el exterior.

Resultados

De la información recopilada, podemos obtener diferentes conclusiones con respecto a su cota de altitud, en comparación con las temperaturas superficiales, las variaciones

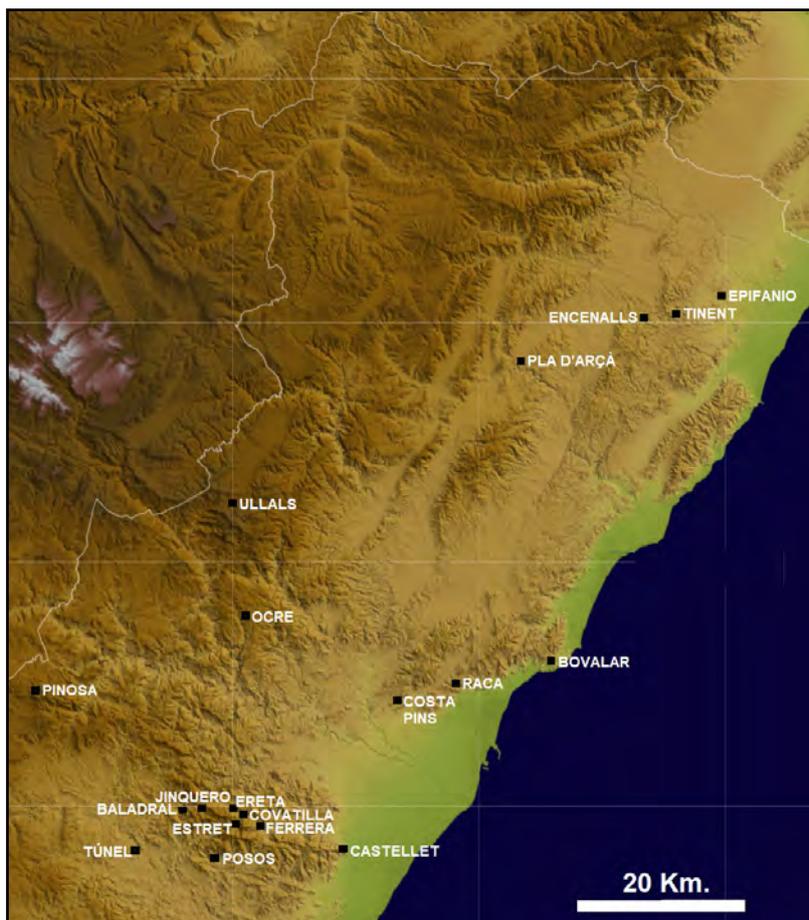


Figura 1: Mapa provincial con la ubicación de las cavidades monitorizadas.

registradas a lo largo del año o amplitud térmica y finalmente con relación a la influencia del agua, tanto de las crecidas como las corrientes de agua permanentes

Comparación de las temperaturas medias en relación con la altitud.

En referencia a la cota de altitud, de las 20 cavidades vemos que hay una correlación general, donde a mayor altitud, menor temperatura (figura 2). A pesar de esta correlación hay casos concretos que se salen un poco de la norma, como la diferencia de 5,0°C existente entre los avencs del Castellet y Epifanio, que se ubican prácticamente a la misma cota. Este hecho se podría explicar por la relación con el termalismo en el entorno del Castellet, mientras que, para Epifanio, la presencia de arcillas y limos con un alto grado de humedad, al tratarse de un su-

midero temporal que experimenta crecidas periódicas. Ocurre algo similar pero menos extremo entre la sima Posos y el Avenc de Tinent, con 2,8°C de diferencia, pudiendo ser explicado por la presencia de agua con anomalía geotérmica en la Sima Posos, que influye en su temperatura en muchas zonas de la cavidad.

Relación de la temperatura del subsuelo con la exterior.

Por norma general la temperatura del interior de las cavidades tiende a la estabilidad, modificándose por ciclos anuales de las diferentes estaciones unas pocas décimas. En general esta diversificación de la temperatura del subsuelo muestra valores que varían desde 0 a 1,0°C de amplitud térmica o variación a lo largo del año (figura 3). Las temperaturas del exterior han sido tomadas de las diferen-

CAVIDAD	MUNICIPIO	COTA BOCA (m.s.n.m.)	DESNIVEL (m)	TEMP. MEDIA.	TEMP. MAX	TEMP. MIN.
Avenc del Bovalar	Orpesa	95	-40	19,8	20,0	19,4
Avenc d'Epifanio	Calig	113	-20	15,9	16,2	15,6
Avenc del Castellet	La Vilavella	120	-39	20,9	20,9	20,8
Avenc C. dels Pins	Borriol	253	-72	17,8	17,9	17,0
Avenc de Tinent	Cervera del Maestre	334	-37	15,6	15,6	15,6
Avenc de Raca	Castelló	342	-48	17,7	18,0	17,0
Sima Posos	Azuébar	362	-75	18,2	18,2	14,6
Cova Ferrera	Eslida	370	-12	16,8	16,8	16,7
Cueva del Túnel	Navajas	437	-2	16,1	16,2	16,1
Cova dels Encenalls	Sant Mateu	462	-30	14,9	14,9	14,9
Cova de l'Ereta	Aín	474	-10	16,8	16,8	16,8
Avenc del Pla d'Arcà	Tírig	479	-72	15,1	15,1	14,5
Cova del Mollet	Sant Joan de Moró	485	-18	12,7	11,7	13,5
La Covatilla	Aín	487	-43	14,7	16,4	12,8
Avenc Estret	Aín	596	-13	15,4	15,7	15,2
Cova de l'Ocre	Llucena	612	-55	15,5	15,5	15,5
Cueva Baladral	Algimia de Almonacid	690	-30	13,6	13,6	13,6
Cueva del Jinquero-2	Algimia de Almonacid	805	-28	11,4	11,8	11,0
Sima Pinosa	Fuente la Reina	1.005	-37	10,7	11,0	10,5
Els Ullals	Vistabella	1.250	+1	9,6	9,8	9,4

Tabla1: Datos de las cavidades muestreadas. El desnivel indicado para cada cavidad hace referencia al punto de muestreo.

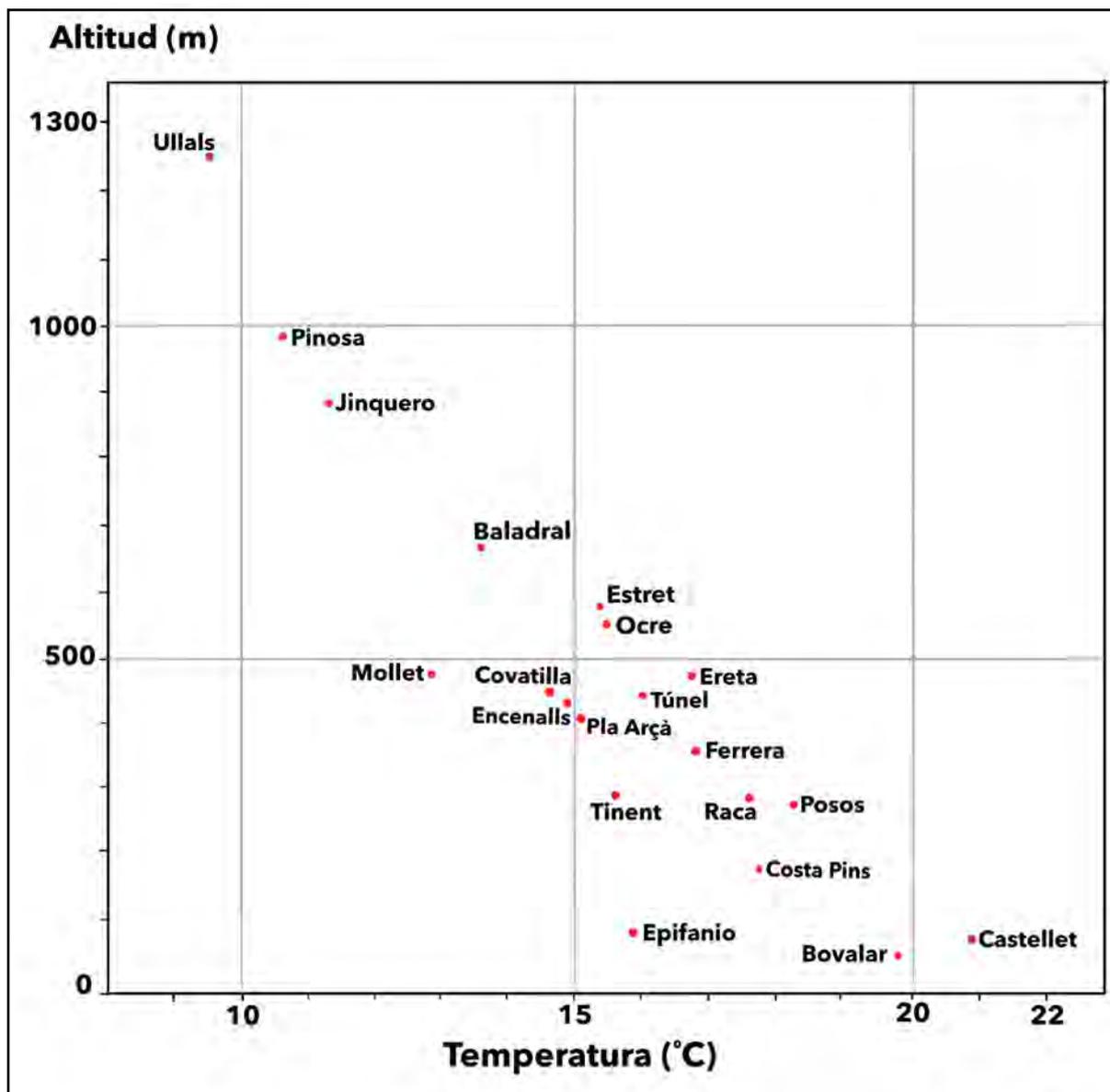


Figura 2: Gráfica de las temperaturas medias en relación con su cota de altitud.

tes estaciones de l'Associació Valenciana de Meteorologia (www.avamet.org) repartidas por todo el territorio. Los desfases más destacados entre las temperaturas medias interiores y exteriores ocurren en la sima del Castellet, con 3,7°C de diferencia, en la Sima Posos con 2,4°C y en Avenc de Epifanio, con 2,2°C por debajo de lo esperable. En la Cova del Mollet el desfase es de cerca de 2 grados, siendo más fría, aunque parte de este hecho lo atribuimos a que su muestreo tuvo lugar entre los meses de enero y julio.

En las cavidades que la temperatura no permanece estable, suelen encontrar un ligero retraso con respecto al exterior

en alcanzar la temperatura máxima y mínima, debido al paulatino alcance del equilibrio térmico de la interfase roca-aire (figura 4). Este grupo de cavidades sería el más numeroso, descrito como de correlación baja (Medina et al, 2023).

En una cavidad, la Cova del Mollet, encontramos macadas variaciones cíclicas de carácter diario, a pesar de encontrarse el punto de registro alejado de las entradas, una corriente de aire atraviesa gran parte de la cavidad, estableciendo una circulación entre sus tres bocas y alterando esta corriente de aire a la temperatura interior (Figura 5).

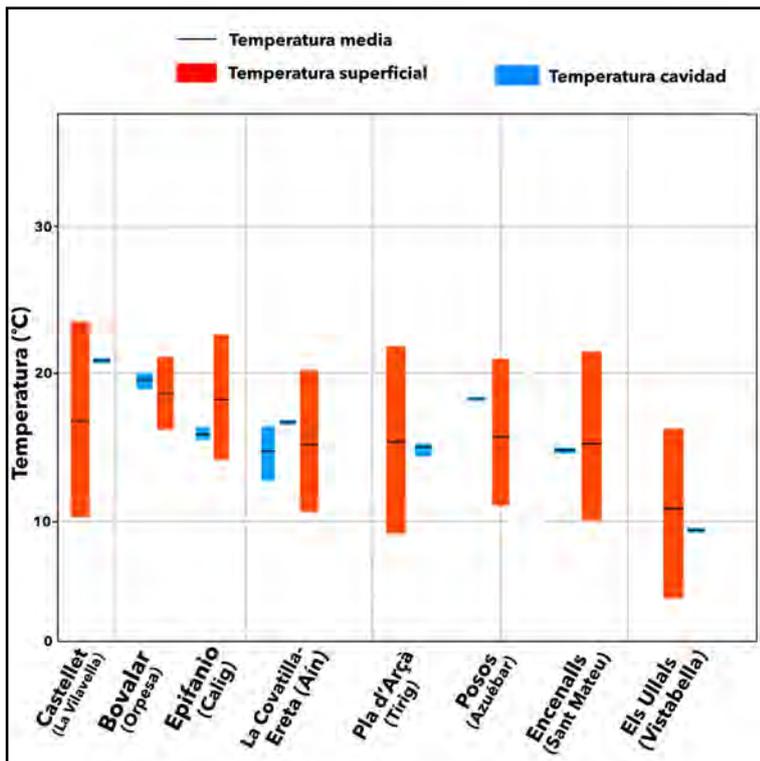


Figura 3: Relación de las amplitudes de temperaturas medias del exterior en comparación con la de algunas cavidades muestreadas.

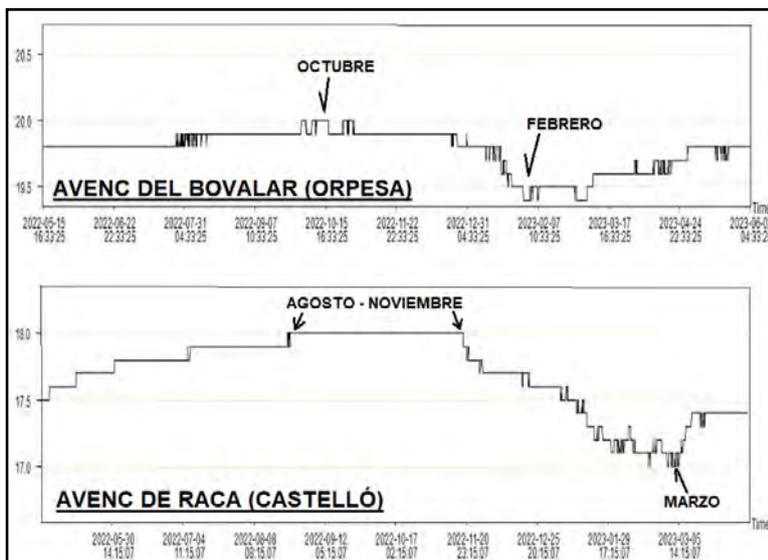


Figura 4: Variaciones de la temperatura a lo largo de un año de dos cavidades, donde se aprecia el patrón térmico de correlación baja, con retraso en la señal.

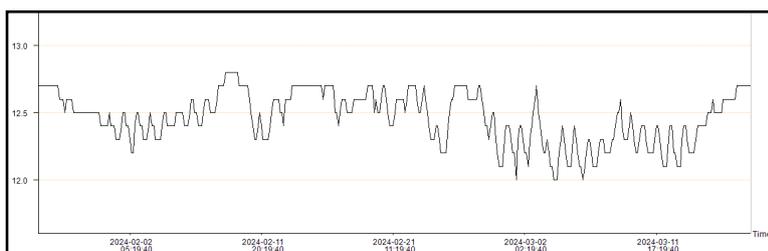


Figura 5: Variaciones cíclicas diarias detectadas en la Cova del Mollet, en un punto intermedio entre las bocas del Cau y el Avenc de Ros. Entre los meses de febrero y marzo de 2024.

Estos ciclos no son regulares durante todo el periodo muestreado, pero sí que son bastante marcados, encontrando una diferencia de temperatura entre los ciclos día-noche de entre 0,2 a 0,6°C. Junto con estos cambios diarios también aparece un cambio estacional mucho más paulatino.

Amplitud de las temperaturas y zona de homotermia.

Sobre la zona de homotermia, no encontramos una cota de profundidad determinada que nos indique que se encuentra la zona de estabilidad climática, ya que cada cavidad presenta unas particularidades y factores concretos que pueden intervenir. De entre ellos las corrientes de aire y tamaño de las entradas creemos que pueden tener una mayor incidencia. Solamente en 5 cavidades la temperatura se ha mantenido totalmente estable durante el periodo muestreado.

Relación de la temperatura debido a presencia de agua o por crecida.

Es evidente de la influencia de eventos torrenciales con el clima de las cuevas, mostrando su relación con el drenaje del subsuelo. Han sido detectados este tipo de episodios en cinco cavidades (figura 6).

En primer lugar, en el Avenc del Pla d'Arça (Tírig), donde en la cota -73 encontramos la zona de homotermia establecida en 15,1°C, que se ve alterada únicamente en dos momentos. Los días 21 y 22 de enero y el 1 de abril de 2020. En el primer caso, acontece un intenso periodo de precipitaciones, donde en la estación meteorológica más cercana (Albocàsser) el día 21 se registran 123 litros, y los dos días anteriores, 14 y

35 litros respectivamente. Aquí la temperatura desciende hasta 14.5°C y luego vuelve a ascender hasta estabilizarse. Todo este descenso y ascenso brusco tiene una duración de unas 28 horas. La crecida del 1 de abril tiene menos incidencia en la temperatura, modificando esta 0,1°C por un corto periodo de 12 horas, a pesar de registrarse en los 2 días anteriores 130 litros. Como ya se comprobó en una visita unos días después de lluvias, la zona desde la base de los pozos hasta el nivel inferior se convierte en un pequeño colector que recoge agua de la dolina exterior.

También en Els Ullals (Vistabella) se registra un cambio de temperatura en la crecida del 19 al 21 de marzo de 2022, donde caen 22, 32 y 121 litros respectivamente y se podría suponer que entra en carga su galería principal. Esta crecida en los días 19 y 20 hacen ascender la temperatura de 9,6 a 9,8°C durante 20 horas y posteriormente descender hasta 9,4°C, no volviéndose a estabilizar hasta pasados 18 días. Menor incidencia tiene otra pequeña crecida el 3 de mayo, donde se registran 58 litros, haciendo descender tan solo 0,1°C la temperatura y alterándola en los tres días siguientes a la crecida.

En La Covatilla (Aín) también hay una notable influencia del agua, pero de una manera constante, al estar instalado el datalogger a 1 metro del colector principal, que presenta un caudal en estiaje de 15 l/s (figura 7). El río que transcurre por la cavidad se alimenta de una pérdida ubicada a escasos metros de la cavidad, por lo que la temperatura exterior que en invierno enfría y en verano calienta el agua, influye en la temperatura de la cavidad en su zona final. Esta ha variado entre los 12,8°C de las nevadas de enero y los 16,4°C alcanzados a mediados de septiembre. Esta información nos ha permitido reafirmar que las aguas de la cavidad tienen un origen superficial.

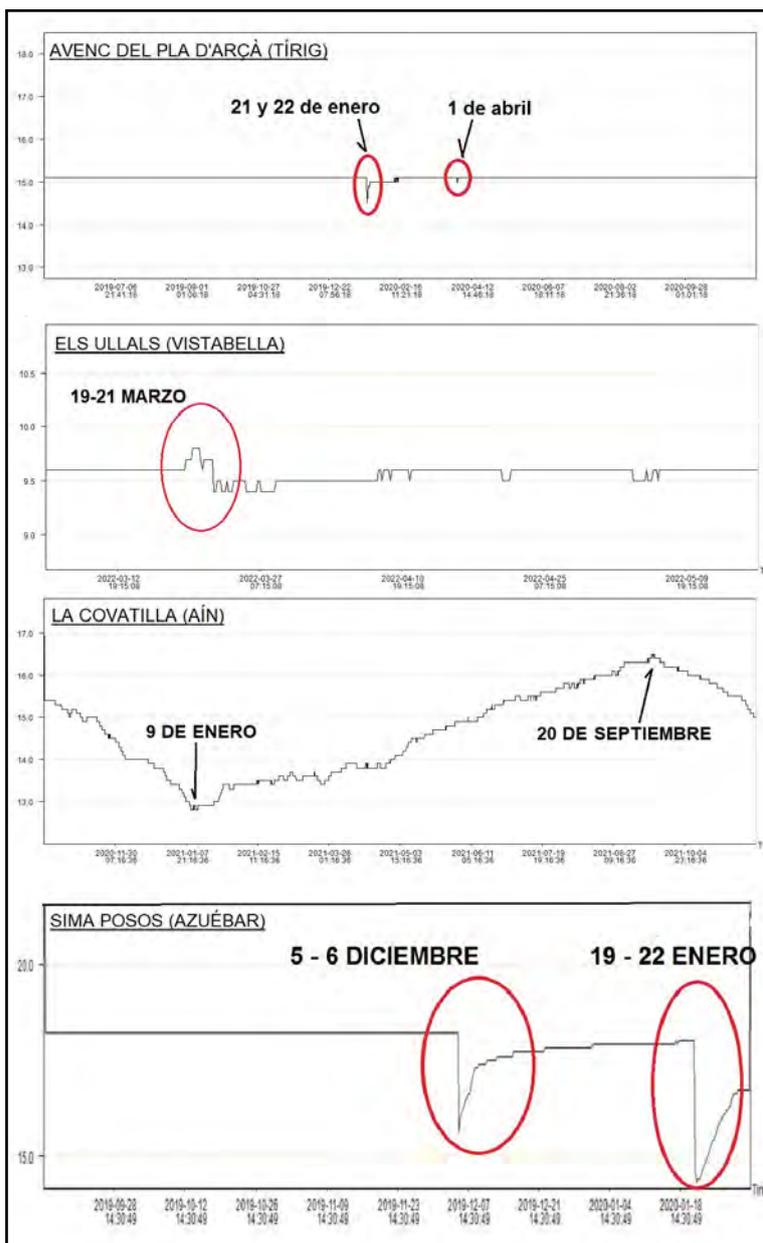


Figura 6: Gráfica de cuatro cavidades alteradas por crecidas, inundación o presencia de agua.

En el Avenc de Epifanio ocurre un leve ascenso de temperatura después de la crecida de 2 y 3 de septiembre de 2023, con 26 y 99 litros registrados cada día. El mismo día 3 por la mañana la temperatura pasa de 16,0 a 16,5°C, descendiendo rápidamente en las siguientes horas, estabilizándose en los 16,1°C 6 horas más tarde. Suponemos que la cavidad ha entrado en actividad, pero no parece que esta se haya inundado.

Finalmente, en la Sima Posos también se registró la inundación de la cavidad, con dos descensos bruscos de temperatura, el



Figura 7: Río subterráneo de La Covatilla, en la zona donde se instaló el datalogger, influenciada por el agua que circula.

primero de ellos 5 y 6 de diciembre de 2019, que hacen descender de los 18,2°C a los 15,6°C y recuperándose progresivamente tras 3 días. En una segunda inundación, verificada en una visita a la cavidad, tiene lugar tras la crecida del 19 al 22 de enero de 2020, donde vuelve a descender la temperatura hasta los 14,6°C. En ambos casos este ascenso de la temperatura tras la inundación notamos dos momentos, uno inicial de rápido ascenso que dura entre 3 y 7 días, y uno segundo de ascenso más paulatino que puede durar unas 5 semanas. Con esta información, acompañada de los datos de pluviometría de la estación más cercana y de visitas a la cavidad en estos días, interpretamos que el umbral de inundación puede establecerse a partir de los 90 litros registrados en pocas horas, y que esta inundación puede durar entre 3 y 9 días. El datalogger ha facilitado el trabajo de seguimiento de inundación, pese a que se nos escapan todavía muchos detalles sobre este fenómeno.

Conclusiones

Los termómetros Datalogger pueden aportar mucha información sobre el clima de las cavidades y también facilitar información sobre su relación con la hidrología de la cavidad. Presentan limitaciones en cuanto a precisión para registrar pequeños cambios del medio subterráneo que podrían pasar desapercibidos. A pesar de ello, los resultados mostrados nos animan a seguir muestreando en el resto del territorio, tanto para conocer las zonas de homotermia de diferentes cavidades, como para tener información sobre inundaciones de cavidades o funcionamiento

hidrológico. El presente trabajo, puede aportar información a largo plazo para futuros estudios de cambio climático, donde el aumento de la temperatura exterior altere también la estabilidad del subsuelo. Aunque en el subsuelo la temperatura tiende a la estabilidad, ya se ha demostrado en algunos puntos del planeta como los ecosistemas subterráneos aumentan de modo paulatino, al igual que sucede en la superficie.

Bibliografía

Quereda, J. (1976) El clima de la provincia de Castellón. Excma. Diputación de Castellón. 134 p.

Luetscher M., Jeannin P.Y. (2004) Temperature distribution in karsts systems: the role of air and water fluxes. Terra Nova, 16, pp. 344-350.

Palmer, A.N. (2012) Geología de Cuevas. Cave Books, Unión internacional de Espeleología. 502 p.

Piccini, L. (2022) Quanto e fredda (o calda) una grotta? Come fare misure di temperatura in ambiente sotterraneo. Speleologia nº86. Rivista de la Società Speleologica Italiana, pp.42-47.

Ros, A. Llamusi, J.L. Fernández-Cortés, A. Calaforra, J.M. Gazquez, F. Soto, J.A. (2020) Equipos para la medición para la calidad del aire y el clima para espeleólogos. Publicaciones digitales CENM Naturaleza, www.cenm.es. 10 p.

Gazquez, F., Calaforra, J.M., Fernández-Cortés, A. (2016) Flash flood events recorded by air temperature changes in caves: A case study in Covadura Cave (SE Spain). Journal of Hydrology 541, pp.136-145.

Medina, M.J., Antić, D., Borges, P., Špela Boriko, Fišer, C., Lauritzen, S-E., Martín, J.L., Oromí, P., Pavlek, M., Premate, E., Puliafco, K., Sendra, A & Reboleira, A.S. (2023) Temperature variation in caves and its significance for subterranean ecosystems. Scientific Reports 13, Nature portfolio. 9 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48014-7>.