

Ensayo de trazador en la zona no saturada de la Cueva de Praileaitz (Deba, Guipúzcoa). Aplicación a la protección de cavidades kársticas

Tracer test in the vadose zone of Praileaitz Cave (Deba, Guipúzcoa). Application for protection of karstic cavities

Iñaki Vadillo¹, Arantza Aranburu^{2, 5}, Begoña Urresti¹, Eneko Iriarte^{3, 5}, Carlos Olaetxea⁴, Peru Iridoy⁵, Martín Arriolabengoa^{2, 5} y Daniel Merchán⁶

¹ Departamento de Geología y Centro de Hidrogeología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. 29071 Málaga, España. vadillo@uma.es, b.urresti@uma.es

² Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco. 48080 Bilbao, España. arantza.aranburu@ehu.es

³ Departamento de Ciencias Históricas y Geografía, Universidad de Burgos. Edificio I+D+i, Plaza de Misael Bañuelos s/n, 09001, Burgos, España. eiriarte@ubu.es

⁴ Departamento de Patrimonio cultural de la Diputación Foral de Gipuzkoa, C/Urduaneta 9, 20006 San Sebastián, España. colaetxea@gipuzkoa.net

⁵ ARANZADI Geo-Q Zentroa, Mendibile Auzoa, 48940 Leioa, Bizkaia, España

⁶ Instituto Geológico y Minero de España, C/Manuel Lasala, 44 - 9º B, 50006 Zaragoza, España. d.merchan@igme.es

ABSTRACT

A tracer test has been performed in the vadose zone of the Cave of Praileaitz (Bajo Deba, Guipúzcoa) for helping in the delimitation of its protection area. The test was done with 14.000 L of deionized water and a mass of 500 gr of LiCl. The detection of the tracer substance (Li⁺) has allowed deducing a transit time between 18 and 19 hours since the injection. This first detection corresponds to a non-saturated flow between 4-5 m/h. The maximum lithium concentration was 11'28 µg/L.

Key-words: Cave of Praileaitz, tracer test, deionized water, lithium, delimitation of protection area.

RESUMEN

Se ha realizado un ensayo de trazador en la zona no saturada de la Cueva de Praileaitz (Bajo Deba, Guipúzcoa) para ayudar a la delimitación del área de protección de la cavidad. Dicho ensayo se ha efectuado con 14.000 L de agua desionizada y una masa de 500 gr de LiCl. El trazador analizado (Li⁺) ha permitido deducir un tránsito de entre 18 y 19 horas desde el momento de la inyección. Esta primera detección corresponde a una velocidad de flujo no saturado de entre 4-5 m/h. La concentración máxima alcanzada de litio fue de 11'28 µg/L.

Palabras clave: Cueva de Praileaitz, ensayo de trazador, agua desionizada, litio, delimitación de área de protección.

Geogaceta, 52 (2012), 149-152.

ISSN 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2012

Fecha de revisión: 26 de abril de 2012

Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2012

Introducción

La Cueva de Praileaitz (Fig. 1) se sitúa en la comarca del Bajo Deba (Guipúzcoa), a escasos kilómetros del municipio de Deba, por la carretera nacional N-634.

El macizo de Praileaitz está constituido por calizas cretácicas urgonianas (EVE, 2003; Aranburu, 2008) que presentan una dirección N120°E con buzamiento subhorizontal, o ligeramente buzantes al norte (20°).

La karstificación en la zona ha desarrollado gran abundancia de cavidades y abrigos, que han sido utilizados por el hombre desde épocas prehistóricas. Entre éstas se encuentra la Cueva de Praileaitz, una de las cavidades más importantes de la zona y que ha sido objeto de estudio por parte de di-

versas disciplinas científicas debido al descubrimiento de importantes vestigios arqueológicos y pictóricos en los últimos años.

La cueva, con casi 100 m de longitud, tiene una dirección NO-SE, paralela a uno de los sistemas de fallas principales del macizo en el que se ubica. Destacan en ella los rasgos freáticos, con un profuso desarrollo de golpes de gubia o "scalops" que indican una dirección del paleoflujo S-N (Aranburu, 2008; Aranburu *et al.*, 2010). El desarrollo de espeleotemas tiene un fuerte control estructural, a favor de tres familias de discontinuidades (Iriarte *et al.*, 2010): F1 (N50°E), F2 (N90°E) y F3 (N140°E).

La cercanía de una cantera activa, en cuyo frente de explotación se encuentra la cavidad, ha justificado la realización de un ensayo de trazador en la zona no saturada

(ZNS) para delimitar qué área en superficie está conectada de forma hidrogeológica con su interior, con objeto de facilitar la delimitación del área de protección de la cueva.

En el presente artículo se exponen los datos de ese ensayo de trazador realizado en la ZNS del karst de la cueva de Praileaitz.

Metodología

El área de inyección (Figs. 1 y 2) se situó a unos 70 metros de la planta de la cavidad. Este sector se seleccionó mediante un criterio de accesibilidad de la cuba y la dirección de la fracturación observada en los afloramientos calizos.

Para la inyección se utilizaron 14.000 li-

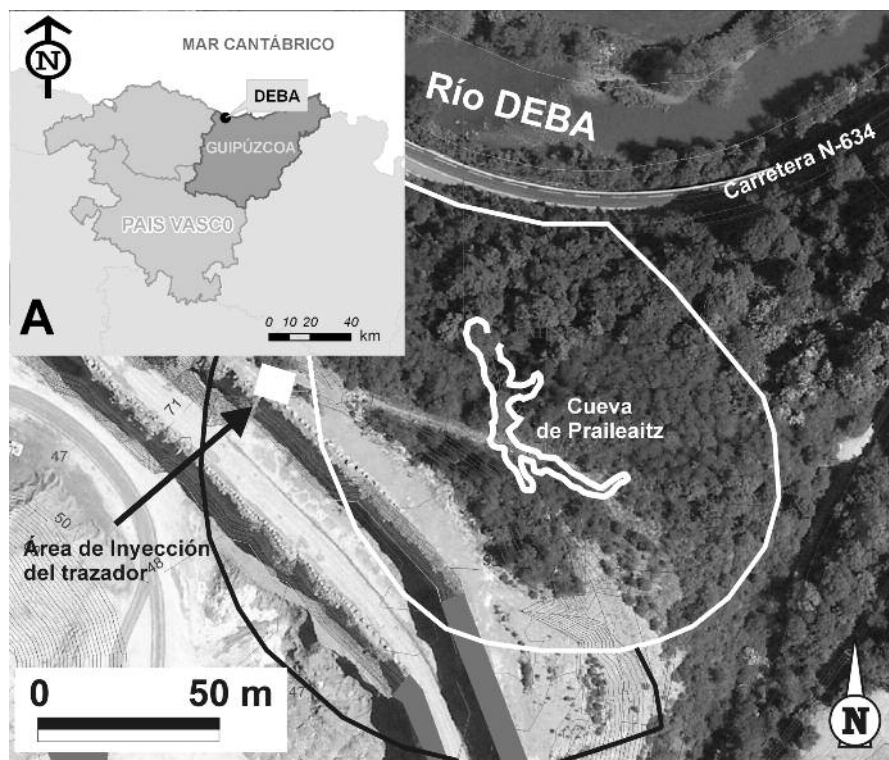


Fig. 1.- A: Localización geográfica del área de estudio. B: Situación de la Cueva de Praileaitz, área de inyección del trazador (rectángulo blanco), área de protección de 50 metros, establecida por ley (perímetro blanco) y propuesta de protección de 100 metros (línea negra).

Fig 1.- A: Location of study site. B: Situation of Praileaitz cave, tracer test injection area (White square), 50 m protection area by law (white line) and proposal of 100 m area (black line).

tros de agua desionizada (Conductividad eléctrica ~ 1 µS/cm), en las cuales se disolvieron 500 gr. de LiCl. Se optó por usar esta sal ya que es totalmente inocua para el medio ambiente y mediante su disociación completa en el agua (LiCl → Li⁺ + Cl⁻) aporta litio que, por los estudios hidroquímicos realizados en esta cavidad, se ha comprobado que se encuentra en concentraciones por debajo del límite de detección del equipo analítico (Vadillo, 2010).

Todas las muestras se analizaron en el Servicio Central de Apoyo a la Investigación de la Universidad de Málaga. La técnica analítica utilizada para la medida del Li⁺ fue la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).

La inyección se inició el 19 de noviembre de 2009, entre las 14:00 y las 15:20 horas, mediante la irrigación directa al terreno. Durante el proceso de inyección se irrigó con el agua desionizada simulando un episodio no torrencial de lluvia. Es decir, se procuró que la espita de salida del agua siempre se estuviera moviendo como un aspersor para impedir que se produjeran flujos de escorrentía y se facilitara la infiltración total del volumen de agua.

El muestreo del agua se realizó en los goteros situados en el interior de la cavidad (Fig. 2): el punto 1 se relaciona con la discontinuidad F1, el punto 2 de muestreo con F2 y los puntos 3 y 4 de goteo con F3.

Durante el proceso de muestreo, se midieron la conductividad eléctrica, temperatura, pH y oxígeno disuelto.

La recogida de muestras se inició al mediodía del día 19 de noviembre de 2009, es decir, con anterioridad a la inyección del trazador (Tabla 1) para conocer la señal hidroquímica sin la afección de una posible llegada del trazador. El ensayo se dio por concluido el día 21 de noviembre de 2009, a primeras horas de la mañana.

Resultados y discusión

Se detectó litio en los puntos 2, 3 y 4 (Fig. 2). Su llegada se produjo entre las 18 y 19 horas desde la inyección, si bien hay que indicar que en concentraciones muy diferentes (Tabla II). Desde la primera detección hasta la ausencia de señal transcurrieron menos de 2 horas (Fig. 2).

En el punto 2, situado a unos 70 metros en línea recta desde el área de inyección, es donde se produjo la llegada más rápida (18 horas) y en mayor concentración (11'28 µg/L). Esta primera detección coincide también con el máximo de concentración, por lo que la velocidad de flujo más rápida coincide con la velocidad de flujo dominante, siendo ambas de 4 m/h (Tabla II). En los puntos 3 y 4, situados a 90 y 80 metros, respectivamente (Fig. 2), se produjo la llegada a las 19 horas, pero con menores concentraciones (1'25 y 1'53 µg/L, respectivamente). Esta primera detección coincide con el máximo de concentración, por lo que la velocidad de flujo más rápida coincide con la velocidad de flujo dominante, siendo ambas de entre 4 y 5 m/h (Tabla II).

La primera interpretación que cabe hacer del ensayo de trazador es que, en esas condiciones hidrodinámicas, existe conexión hidrogeológica entre el área de inyección y el agua de goteo de la cavidad.

La mayor concentración de litio detectada en el punto 2 (11'28 µg/L), que es casi 10 veces superior a la encontrada en los puntos 3 y 4 (1'25 y 1'53 µg/L, respectivamente), evidencia: a) una conexión hidrogeológica predominante entre el área de inyección y el punto 2 (Fig. 2) a favor de la discontinuidad F2 y, b) que la fracturación en el entorno más cercano a la cavidad juega un papel primordial en la circulación del agua por la ZNS de este afloramiento carbonatado.

El tránsito del agua desde el área de inyección es inferior a 24 horas; esto, unido a

	Inicio Muestreo		Fin Muestreo N°		Muestras
	Fecha	Hora	Fecha	Hora	
Punto 1	19-nov-09	10:25	19-nov-09	14:00	2
Punto 2	19-nov-09	10:30	21-nov-09	10:35	30
Punto 3	19-nov-09	11:00	21-nov-09	9:15	21
Punto 4	19-nov-09	11:33	21-nov-09	9:20	22

Tabla I.- Síntesis de las muestras recogidas durante el ensayo de trazador realizado en la zona no saturada de la Cueva de Praileaitz entre los días 19 y 21 de Noviembre de 2009.

Table I.- Synthesis of collected samples for the tracer test in the vadose zone of the Praileaitz Cave between November 19th and 21st 2009.

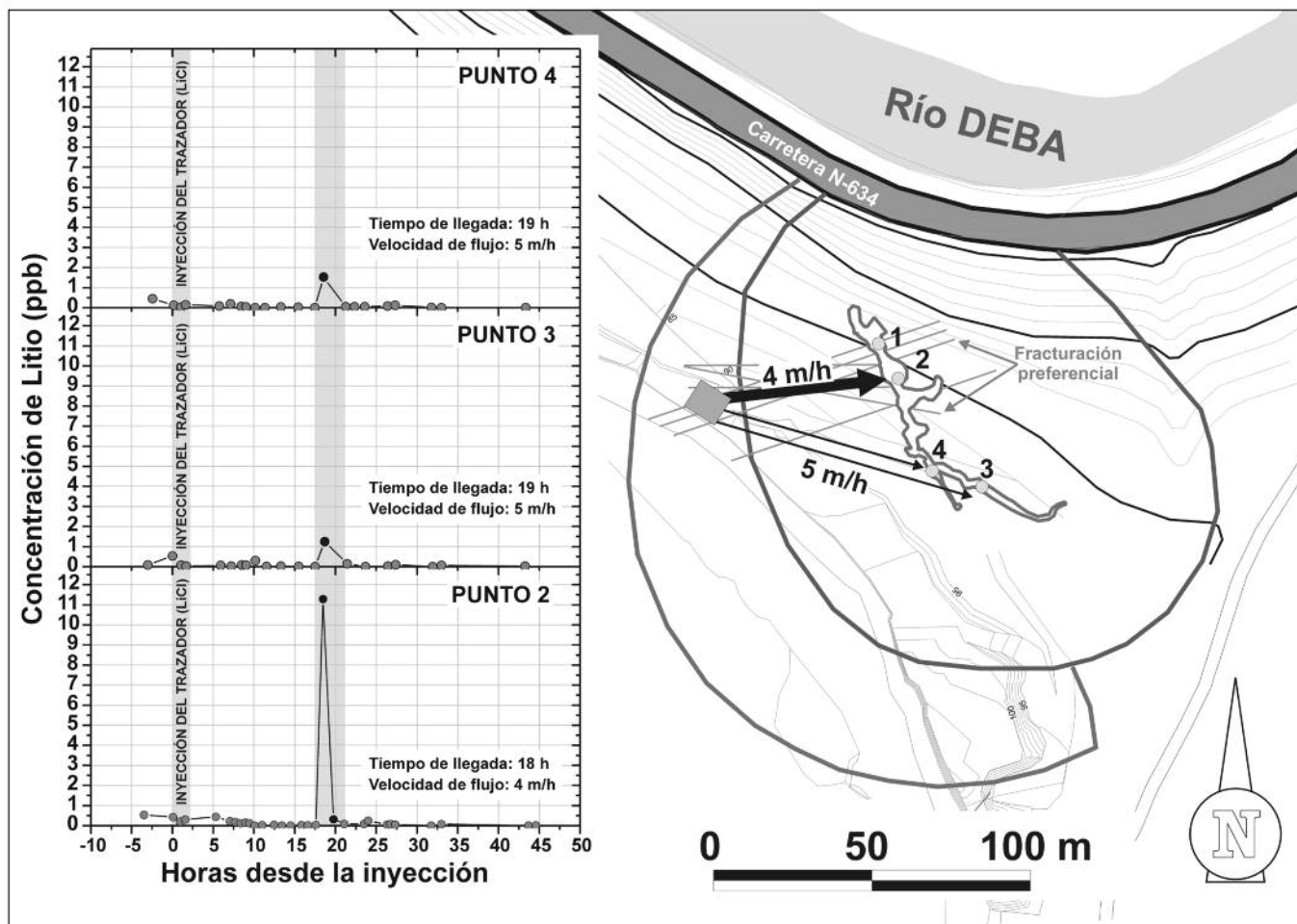


Fig. 2.- Resultados del ensayo de trazador realizado en la ZNS de la Cueva de Praileaitz entre los días 19 y 21 de Noviembre de 2009. Las conexiones hidrogeológicas y su importancia en el sistema, según resultados del ensayo, se han dibujado mediante flechas de distintos grosores. Se ha marcado en el mapa el área de protección de 50 metros y el límite de 100 metros, el área de inyección donde se introdujo el trazador (LiCl) en el terreno (rectángulo gris), la fracturación preferencial observada en el campo y los puntos de muestreo en el interior de la cavidad.

Fig. 2.- Results of the tracer test performed in the vadose zone of the Praileaitz cave between November 19th and 21st 2009. Hydrogeological connexions and importance, according to the tracer test, have been highlighted by arrows of different wide. Also is highlighted the 50 m protection area and proposal of 100 m protection area, injection zone (grey square) of the tracer (LiCl), main fractures and sampling points.

que el paso de la nube de trazador es inferior a 2 horas (Fig. 2), permite afirmar que la llegada del trazador es rápida, pero que la señal también disminuye bruscamente en cuestión de pocas horas.

Estos ascensos y descensos muy acusados de la curva de respuesta, indican un tránsito rápido de un flujo dominante proveniente de la superficie; aspecto que es acorde con el papel que desempeñan los

flujos con componentes verticales en la ZNS de este sector más superficial de los acuíferos carbonatados.

Habría que destacar que, al contrario que en los ensayos "tradicionales" donde se involucra a la zona saturada, en este ensayo es difícil que existan flujos horizontales; del mismo modo, si solo existieran flujos verticales nunca hubiese migrado el trazador hacia la cavidad. Por tanto, los parámetros calculados en este ensayo solo evidencian la conexión mediante una teórica componente de flujo "directa" entre el área de inyección y los puntos de goteo.

En este ensayo de trazador no ha sido posible calcular la tasa de recuperación (% masa recuperada sobre masa inyectada) porque hubiese sido necesario un control del caudal drenado por todos los puntos de goteo de la cavidad.

500 gr Litio Cloruro (LiCl). Inyección en superficie	Goteos en Cueva de Praileaitz (Figura 1)				Goteos
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	
Distancia al punto de inyección	70	70	90	80	m
Tiempo de primera detección	–	18	19	19	h
Tiempo hasta conc. max (pico)	–	18	19	19	h
Máxima concentración	–	11,28	1,25	1,53	µg/L
Mayor velocidad de flujo	–	4	5	4	m/h
Velocidad flujo dominante (pico)	–	4	5	4	m/h

Tabla II.- Síntesis con los datos de distancia a puntos de muestreo, tiempos de detección, concentraciones de litio y velocidades de flujo no saturado durante el ensayo de trazador.

Table II.- Synthesis of distances to sampling points, detection times, lithium concentrations and velocities of unsaturated flow during the tracer test.

La detección del trazador en la cavidad permite, además de las conclusiones hidrogeológicas que se pueden extraer del funcionamiento de la zona no saturada del macizo kárstico de Praileaitz, probar de forma inequívoca el área de influencia y, por tanto, de protección de la cavidad.

Un ensayo de trazador realizado en octubre de 2008 con un área de inyección situada a unos 125 metros de distancia de la cueva no dio resultados positivos. Por tanto, desde el punto de vista de la Ordenación del Territorio y de la protección de la cavidad se concluye que el límite de protección de la cavidad de Praileaitz debe estar comprendido entre los 70 y 125 m establecidos por los ensayos de trazador realizados en la zona.

Este límite debe mantenerse para impedir que ciertas actividades relacionadas con el funcionamiento hidrogeológico alteren el sistema de forma irreversible.

Conclusiones

El ensayo de trazador realizado en la zona no saturada del entorno de la cavidad de Praileaitz ha permitido recopilar información sobre el comportamiento hidrogeo-

lógico del sistema kárstico. Los resultados han permitido establecer conexiones entre la zona de inyección y los principales goteos de la cavidad, así como calcular los tiempos y velocidades de tránsito máximas del flujo no saturado (18 horas y 4 m/h, respectivamente) y la concentración máxima observada (11'28 µg/L en el punto 2).

Además de profundizar en el conocimiento de los flujos en medio no saturado de los medios kársticos, este ensayo ha permitido concluir, de forma inequívoca, que la zona de inyección, situada a 70 metros de la cavidad de Praileaitz está conectada con los puntos de goteo del interior de la cueva, a favor de las discontinuidades. Por tanto, los límites a establecer para la protección de la cavidad tienen necesariamente que situarse a más de 100 metros, según establece la Ley de Protección del Patrimonio Arqueológico, para una adecuada protección de la misma.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el seno del contrato "Caracterización del comportamiento hidrogeológico y estudio de las variaciones de parámetros atmosféricos en la cavidad de Prai-

leaitz (Bajo Deba, Gipuzkoa)" financiado por la Diputación Foral de Gipuzkoa. Es una contribución al Grupo de Investigación de la Junta de Andalucía RNM 308 (Grupo de Hidrogeología), y al Grupo de Investigación del Karst de Aranzadi-GeoQ.

Los autores del trabajo agradecen las críticas constructivas y las mejoras del manuscrito a los revisores Juan José Durán Valsero y Juan Antonio Barberá Fornell.

Referencias

- Aranburu, A. (2008). *Estudio geológico del entorno de la cavidad de Praileaitz I*. Informe interno, Diputación Foral de Gipuzkoa, 46 p.
- Aranburu, A., Vadillo, I., Damas, L., García-Garmilla, P., Iridoy, P., Arriolabengoa, M., Berreteaga, A. y Olaetxea, C. (2010). III Congreso español sobre cuevas turísticas-Cuevatur 2010, 435-450.
- Ente Vasco de Energía (E.V.E.) (2003). Mapa Geológico de Euskal Herria, 1: 25.000.
- Iriarte, E., Sánchez, M.A., Foyo, A. y Tomillo C. (2010). *Journal of Cultural Heritage*, 11, 250-258.
- Vadillo, I. (2010). *Caracterización del comportamiento hidrogeológico y estudio de las variaciones de parámetros atmosféricos en la cavidad de Praileaitz (Bajo Deba, Gipuzkoa)*. Informe Interno, Diputación Foral de Gipuzkoa, 46 p.