

GEORREFERENCIACIÓN MEDIANTE RADIOBALIZAS EN CUEVA DEL AGUA, CARTAGENA (ESPAÑA)

Juan Leandro RONDA, Enrique DÍEZ, José L. LLAMUSÍ, Alejandro GETINO, José A. SOTO, Belén de ANDRÉS, Javier RUBERTE, Ricardo CONSTANTINO, Andrés ROS, Francisco M. IZQUIERDO, J.D. MARTINEZ.

Contac. juanleronda@gmail.com, cenm@cenm.es

Resumen

Se georreferencian varios puntos del interior, localizándolos en exterior de Cueva del Agua, Cartagena, utilizando equipos de radiobalizas de diseño propio. Estos puntos externos georreferenciados son una ayuda para la precisión en la topografía, las exploraciones y los trabajos de investigación.

Abstract

Several points of the interior are georeferenced, locating them outside Cueva del Agua, Cartagena, using equipment of radio beacons of our own design. These georeferenced external points are an aid to precision in surveying, exploration, and research work.

1. Introducción

La Cueva del Agua se encuentra en la localidad de Isla Plana, Cartagena, muy conocida al encontrarse a orillas de la carretera que, une Isla Plana con Mazarrón. Las primeras exploraciones se realizan en los años 70 (Ros *et al.*, 2003, 2006, 2011, Llamusí *et al.*, 2016). La práctica totalidad de sus galerías se encuentran sumergidas y discurren a una cota próxima a la del nivel del mar, el agua añade dificultad en los trabajos de exploración que son lentos y complejos. Las campañas de espeleobuceo en esta cavidad son especialmente técnicas y complejas debido a la turbidez del agua, sobre todo en nuevas zonas que se van descubriendo (Llamusí *et al.*, 2016-2020-A).

Cueva del Agua es la referencia de las cuevas submarinas de la Región de Murcia. Se trata de una importante red laberíntica hidrotermal de 6.283m y la cavidad más larga de esta región, que está aportando datos a los investigadores sobre el hidrotermalismo de la

zona, así como la dinámica del clima, gases, morfologías, biología, etc. Este tipo de cavidad se considera como un laboratorio natural de primer orden por las condiciones que en ella se pueden encontrar, al estar en conexión con un importante acuífero termal activo (Llamusí *et al.* 2020-B), que, a su vez, está relacionado con otras cavidades próximas; la sima Destapada, Sima de Hornos, los baños de la Marrana y otras cavidades menores del entorno. El equipo de seguimiento de las exploraciones e investigaciones tiene habilitada una página donde se puede seguir la actualidad y resultados que se realizan periódicamente, junto al historial www.cuevadelagua.es

2. Uso de radiobalizas en cavidades

Las topografías en cavidades submarinas suelen ser muy complejas y sujetas a errores considerables, debido a la dificultad en la toma de medidas y la escasez de equipos submarinos para estas tareas, a los que hay que sumarles la escasa precisión de los mismos y, los condicionantes en la toma de datos. La aparición en el mercado de equipos electrónicos con la integración de sensores; magnetómetro 3D, giroscopio 3D, acelerómetro 3D, y otros sensores, permiten obtener datos sobre el recorrido y georreferenciarlos. Estos equipos han significado un gran avance para poder realizar los planos de las cavidades submarinas en condiciones extremas y con cierta facilidad, equipos como el ENC2-3 consola de navegación de Seacraft, o mapeo por hilo MNEMO de ARIANE'S LINE. Son equipos que permiten registrar las distancias recorridas, rumbos, profundidad entre otros datos y, procesarlos con programas específicos que permiten obtener una línea del trazado recorrido que se puede georreferenciar, obteniendo un plano de la cavidad con bastante precisión, algo difícil y complejo de realizar con medios manuales en otros tiempos.

Aun así, suelen surgir problemas de precisión que suelen estar relacionados con; calibración, posición en el uso, campos magnéticos naturales o artificiales y otros que pueden llegar a acumular errores finales.

3. Materiales y métodos

Para la realización de estos puntos georreferenciados se utilizaron radiobalizas diseñados por J. L. RONDA (2017). Se plantea la construcción de una baliza emisora que pueda transmitir señal bajo el agua, con adaptaciones para bien ser activadas por el espeleobuceador cómodamente o su activación por reloj horario semanal, diseñando el modelo de baliza Summer.

Esta es probada previamente en una mina conocida en el Cabezo Gordo de Torre Pacheco, donde se establece manualmente un punto en superficie que coincide con un pozo de la mina. La posición, tanto dentro como en el exterior es conocida, tratando de comprobar el grado de desviación o error en la toma de datos.

La posibilidad de conocer puntos fijos georreferenciados por medio de radiobalizas, de un punto del interior de la cavidad respecto de la superficie, puede resultar clave para ajustar estas complejas topografías submarinas.

El establecimiento de estos puntos georreferenciados en varios lugares de la cavidad añade una alta precisión a las topografías y ayuda a organizar los trabajos, permitiendo iniciar la toma de datos desde estos puntos conocidos aumentando la precisión final, evitando acumular errores desde el inicio del buceo.

Para georreferenciar estos puntos interiores con el exterior se han utilizado equipos diseñados de radiobalizas submarinas ©Ronda y Díez, evolucionando a lo largo del tiempo hasta llegar a versiones mejoradas sobre la idea original, adaptándose a las necesidades en espeleobuceo.

Los primeros ensayos se realizan en la Cueva de los Chorros, Albacete y se adaptan para ser sumergibles. Posteriormente se utilizan en la Cueva del Agua y en otras cavidades, convirtiéndose en un instrumento valioso que permite conocer puntos exactos de cualquier ubicación que se precise, del interior de la cavidad respecto de la superficie.

Los resultados fueron excelentes con una buena precisión, lo que da una fiabilidad de los puntos georreferenciados.

Posteriormente, se realizan pruebas hidrostáticas del Summer en el mar a una profundidad de 32m, durante tres días. Más adelante se construye otra baliza emisora sumergible de menos tamaño y peso, pero con idénticas prestaciones, es la denominada baliza Microsummer. Esta es probada a 100 metros de profundidad en el mar, superando también las pruebas de presión.

En el exterior se utilizan equipos receptores para captar la señal de las radiobalizas, dejando marcada la vertical de las

mismas junto con su profundidad. Actualmente son los equipos Winter y ULC-1, habiendo otros predecesores como el CVD-2, entre otros.

4. Radiobalizas en Cueva del Agua:

En el primer ensayo real que se realiza en Cueva del Agua, se quiere conocer uno de los puntos más alejados de la entrada en una burbuja de aire situada a unos 1100m de la entrada ([RL3 Burbuja 1100](#)). En febrero de 2017 se planifica una inmersión organizada por J. L. Ronda y J. L. Llamusí. Previamente, se ubica en superficie la zona estimada del punto a radiolocalizar utilizando los datos de topografía actual, siendo conscientes del posible error acumulado de la misma. Se selecciona una amplia zona de búsqueda. Los buceadores J. L. Llamusí acompañado de J. Sánchez, inician la inmersión calculando un tiempo de llegada donde dejarían la baliza Summer, que sería recogida en otra inmersión.

Desde superficie, se inicia la búsqueda de la señal de la baliza emisora con el receptor CVD-2 que, debido a su limitada ganancia, cuesta encontrar hasta no estar bastante encima de la vertical. El equipo superficie; Carlos Munuera, Enrique Díez y Juan Leandro Ronda, localiza la señal y deja marcado el punto de la vertical donde se encuentra el equipo que hay instalado en cavidad que se encuentra a ras del nivel del agua en la burbuja, a este punto se le llama "[RL3-Baliza 1100](#)".

En febrero del 2018, se vuelve a georreferenciar un nuevo punto que es el más lejano conocido en esa fecha, es la zona llamada Galerías Blancas, a unos 1600m de la entrada. En esta ocasión, J. L. Llamusí procede a dejar la baliza en el punto fijado y, varios días más tarde, la recogería. Desde superficie, se vuelve a realizar la radiolocalización y se sitúa el segundo punto georreferenciado, que se le denomina [RL5-Baliza II Galerías Blancas](#). En esta ocasión, intervienen en superficie; J. Ruberte, C. Munuera y J. L. Ronda.

Las continuas exploraciones y el descubrimiento de nuevas galerías permiten cruzar la rambla Malosa enlazando el sistema con el macizo de Hornos (Getino A. et al 2021). Se

plantea ubicar algunos puntos más con las radiobalizas.

El 30 de enero de 2021, se planifican dos nuevos puntos a georreferenciar al mismo tiempo; uno en el primer tramo de la cavidad a 860m de la entrada "[RL2-Baliza 860](#)" y el segundo, en una zona entre la Baliza de 1100 y la Baliza II, se la denomina "[RL4-Baliza Punto 0](#)", siendo un punto de partida en topografía de las galerías de este sector.

Unos días antes, el equipo de buceadores J. L. Llamusí, J. A. Soto y J. Ruberte, dejan la baliza Summer programada para activarse automáticamente, que se pondría en funcionamiento el sábado 30, día de las radiolocalizaciones. Ese día, el equipo de superficie localiza la baliza [RL4 Baliza Punto 0](#), mientras el equipo de buceadores J. A. Soto y J. Ruberte, llevarían la otra baliza Microsummer a un punto próximo en la burbuja a 860m [RL2](#), activándola al llegar, mientras tanto van a recoger la baliza Summer que ya ha estado emitiendo, siendo radiolocalizada. Los cálculos de tiempos de preparación de los buceadores y el tiempo del recorrido fueron suficientes para localizar desde superficie los datos de la baliza en el primer Punto 0 [RL4](#) y, más tarde, la de 860m [RL2](#), recuperando las dos balizas. El equipo de superficie está formado por J. L. Llamusí, B. de Andrés, A. Getino, A. Ros y J. L. Ronda.

Una siguiente fase realizada el 21 de marzo 2021, pretende verificar con una nueva versión mejorada de equipos de recepción, es el ULC-1 (Unidad Ligera de Captación) en la baliza [RL5](#) que ya se radiolocalizó anteriormente, por tener ciertas dudas en cuanto a precisión. Los resultados dan un nuevo punto que salió desplazado sólo algo más de 9 metros. Se procedió de la misma forma que dos meses atrás, entra el equipo de buceo unos días antes dejando la baliza Summer programada para activarse el domingo día 21, aprovechando para dejar ubicada la baliza Microsummer en un nuevo punto situado en el tramo de inicio de la nueva [galería Malosa RL6](#), en este punto es donde finaliza la línea guía instalada por equipos anteriores. El equipo está formado por J. L. Llamusí y J. Soto. Ese domingo se radiolocalizan ambos puntos, estableciendo el punto [RL6 Galería Malosa](#), con punto de partida hacia la

nueva zona descubierta del cabezo de Horno. El equipo de buceo lo forman J. L. Llamusí y A.

Getino. Y en superficie, J. de Dios, J. Ruberte, R. Constantino y J. L. Ronda.

5. Resultados

La localización por medio de radiobalizas da lugar a la georreferenciación de los puntos [RL2-860](#), [RL3-1.100](#), [RL4-Punto 0](#), [RL5 Galerías Blancas](#) y [RL6-Galería Malosa](#) en Cueva del Agua, cuadro 1, permitiendo conocer con exactitud el emplazamiento y direcciones de las galerías. Estos puntos permiten ajustar los datos topográficos corrigiendo errores y estableciendo puntos de referencia para exploraciones, topografía e investigación.

Los puntos submarinos son identificados por las siglas RL, seguido de un número que da la situación en orden de lejanía desde la boca de entrada, los puntos exteriores identificados con las siglas GPS, cuadro 1 y plano 1. Los resultados de estas localizaciones se ajustan con precisión, si bien hay que indicar que se detectan anomalías magnéticas en la zona que, en cierta forma

pueden afectar a los equipos y que son tratados en otro trabajo. Las pruebas realizadas con dos equipos distintos y en fechas diferentes de la baliza [RL5- Baliza II galerías Blancas](#) ha sido de una diferencia de distancia en planta inferior a 10 metros.

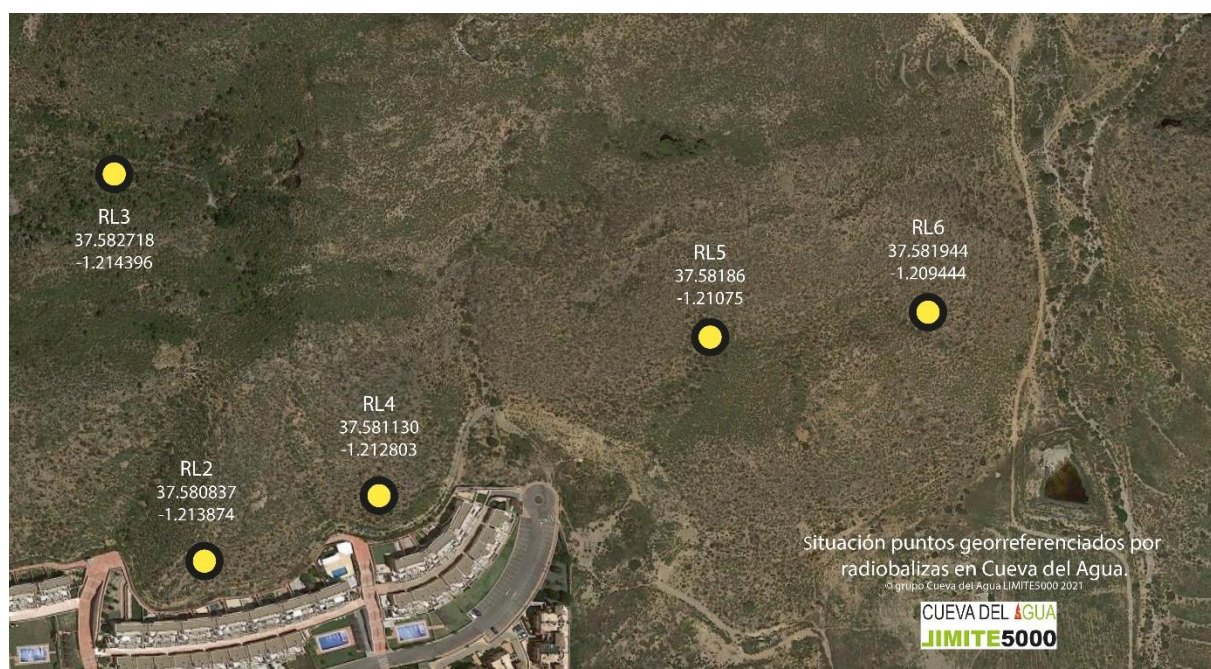
Un poco antes, el 5 de enero, se realizaron unas pruebas de precisión en las inmediaciones en una mina abandonada de hierro (RONDA J.L. et al 2021).

La baliza inicial [GPS0A](#) es el punto de referencia exterior de la entrada, tomado con GPS y con equipo de menos de un metro de precisión, establecido por satélites NAVSTAR GPS y GLONASS.

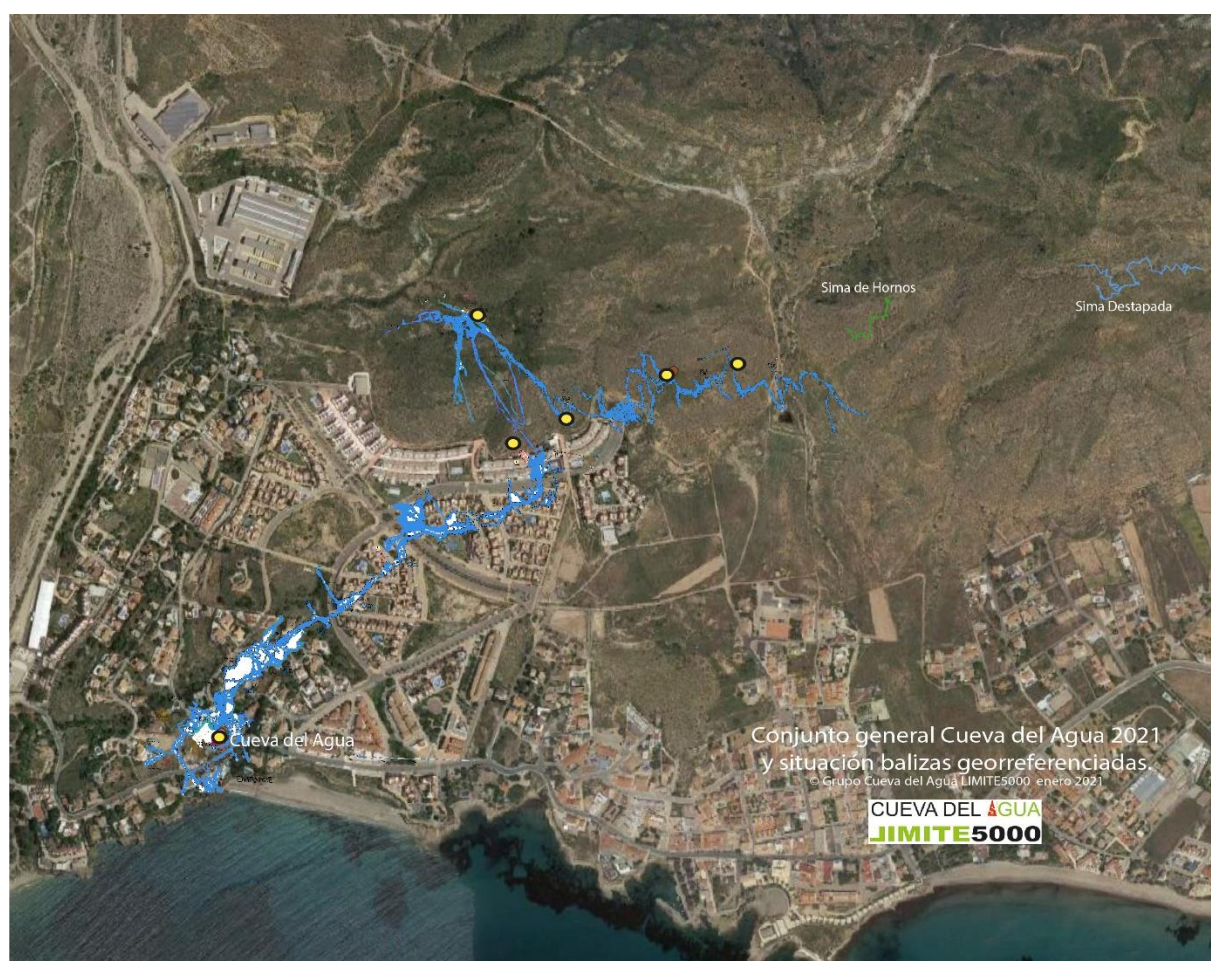
Cuadro1. Puntos georreferenciados en Cueva del Agua por medio de radiobalizas

01/04/2021 rv.4

GPS0A	GPS0B	GPS1	RL2	RL3	RL4	RL5	RL6
ENTRADA EXTERIOR GPS	Entrada base Lago (Cadena)	Entrada Base Lago (inmersión 3,4 mts)	Baliza 860	Baliza 1.100	Baliza Punto 0	Baliza II Gal Blancas	Inicio Galería Malosa
37.576332°	37.576451°	37.57644°	37.580837°	37.582718°	37.581130°	37.58186°	37.581944°
-1.219573°	-1.219568°	-1.219545°	-1.213874°	-1.214396°	-1.212803°	-1.21075°	-1.209444°



Situación radiobalizas georreferenciadas en Cueva del Agua



Conjunto general Cueva del Agua 2021 y situación balizas georreferenciadas

6. Conclusiones

La georreferenciación de Cueva del Agua utilizando radiobalizas en diversos puntos de la cavidad, permite una importante precisión para la topografía. La situación de estas por la cavidad traza puntos estratégicos para su conocimiento.

Los equipos utilizados de diseño propio ©J. L. Ronda, y la calibración previa en otras cavidades ha permitido conocer el grado de precisión de los equipos. Existen afecciones magnéticas en las inmediaciones que entorpecen la toma de datos en las radiolocalizaciones, siendo objeto de un trabajo de mayor precisión y comparativo de equipos de radiobalizas y equipos

electrónicos de topografía que será publicado a continuación de este. Los efectos del hierro con temperaturas entre 28-31°, puedan dar lugar a mineralización, siendo una posible causa de esas anomalías magnéticas, aún por determinar.

El uso conjunto de los equipos de topografía ENC2-3 y MNEMO junto con las radiolocalizaciones, son fundamentales para evitar errores acumulativos.

Los puntos establecidos por las radiobalizas crean una red de estaciones de referencia con el exterior para el estudio de la cavidad.

Referencias:

GETINO A., SOTO J.A., LLAMUSÍ J.L., ROS A. (2021) Memoria preliminar de las nuevas exploraciones a partir de las Galerías Blanca y Nueva Galería Rambla Malosa en Cueva del Agua 2021. Publicaciones CENM-naturaleza. Grupo Cueva del Agua LIMITE5000, Cartagena.

LLAMUSÍ J., SÁNCHEZ J., ROS A., GÁZQUEZ F., CALAFORRA J.M., MUNUERA C., PLAZAS J. (2016). Cueva del Agua-sima Destapada, Cartagena. Nuevos datos sobre las exploraciones y sus espeleogénesis hipogénicas, Actas EspeleoMeeting Ciudad de Villacarrillo, 2016: 53-61.

LLAMUSÍ J.L., ROS A., FERNÁNDEZ-CORTÉS A., CALAFORRA, J.M., GÁZQUEZ F., SOTO, J.A. (2020 B) Resultados preliminares de la monitorización termo-gaseosa en Cueva del Agua, Cartagena. Ediciones digitales CENM-naturaleza, Murcia.

LLAMUSÍ J.L., ROS A., SÁNCHEZ J., GÁZQUEZ F., CALAFORRA, J.M., RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T., CARCELEN J.L., FERNÁNDEZ A., TREMIÑO, M., ALDEGUER, M., (2020 A) Cueva del Agua – Sima Destapada y las cuevas hidrotermales de Isla Plana, Cartagena. Edita NATURSPORT. Murcia.

RONDA, J.L., DIEZ, E., LLAMUSÍ, J.L., ROS, A., (2021) Ensayo de precisión de los equipos de Radiolocalización. Edita publicaciones digitales CENM-naturaleza, Grupo Cueva del Agua. Cartagena.

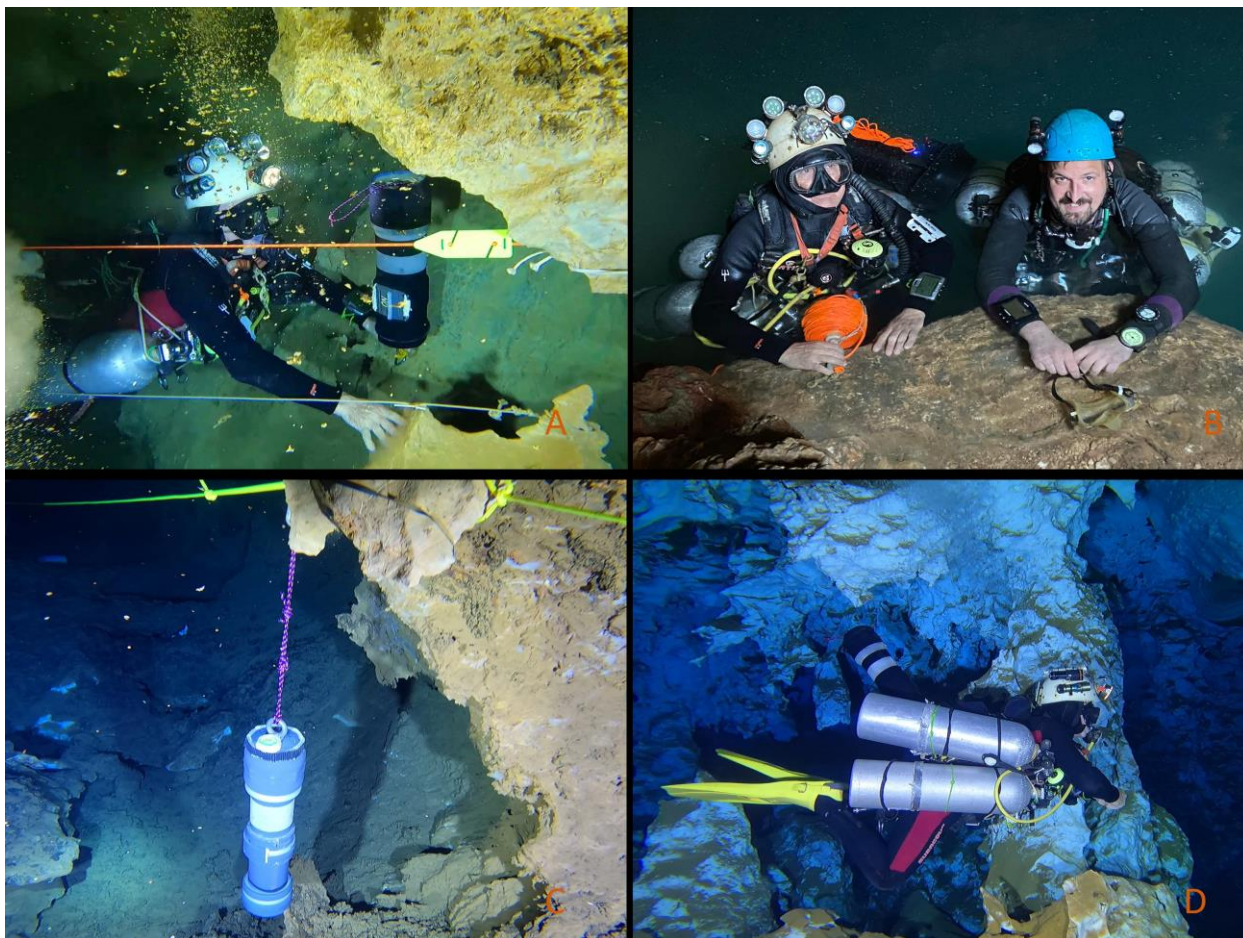
RONDA, J.L., DIEZ, E. (2017) Radiolocalización y comunicación en cavidades subterráneas. Proyecto baliza sumergible “Summer” y receptor “Winter”. III Simposio Andaluz de Topografía Espeleológica. Málaga

ROS, A., LLAMUSÍ, J. (2003). Cueva del Agua proyecto 2000. campaña 2003. Revista Lapiaz núm. 30, FVE, Valencia.

ROS, A., LLAMUSÍ, J. (2006). Cueva del Agua proyecto 2000, estado de las exploraciones 2005-2006. 1er CONGRES VALÈNCIA D'ESPELEOLOGIA Alcoi, *Federació d'espeleologia de la Comunitat Valenciana*.

ROS, A., LLAMUSÍ, J.L., SÁNCHEZ J. (2011). Exploración en Sima Destapada y Cueva del Agua, dos cavidades de origen hidrotermal (Murcia), VIII Simposio Europeo de Espeleología, Málaga.

Imágenes



Instalación de radiobalizas bajo el agua; A transporte de radiobaliza, B. equipo buceadores, C. radiobaliza instalada y programada, D. transporte radiobaliza, galerías Blancas.



Localización de radiobalizas en superficie; A. Emisor pruebas en mina, B equipo receptor de señal. C y D triangulación de señal.