

Métodos y técnicas de prospección topográfica aplicada a la arqueología subacuática en cavidades sumergidas

METHODS AND TECHNIQUES OF TOPOGRAPHIC PROSPECTION APPLIED TO UNDERWATER
ARCHAEOLOGY IN SUBMERGED CAVITIES

FECHA RECEPCIÓN
05/04/2021

FECHA ACEPTACIÓN
07/10/2021

Manuel J. Fumás Soldevilla

Universidad de Cádiz.

Escuela Internacional de Doctorado en Estudios del Mar (EIDEMAR-UCA),
c/Albert Porqueres núm. 5 4º 1ª (Lleida)

manuel.fumassoldevilla@alum.uca.es  0000-0002-6240-0910  ADB-2566-2022

Resumen El presente trabajo pretende experimentar y mejorar la metodología documental y prospectiva aplicada a la arqueológica subacuática mediante herramientas técnicas empleadas en el estudio de cuevas sumergidas. Para ello, se tiene como marco de referencia la denominada Cueva del Sistema Sa Gleda-Camp des Pou, en Mallorca. Los resultados obtenidos han demostrado que la combinación de los procedimientos prospectivos tradicionales, junto con una serie de técnicas novedosas como el sistema de mapeo por hilo MNEMO, la radiolocalización y radiogoniometría del dispositivo Pinger y el GPS subacuático ENC2 de Seacraft, junto a la topografía convencional de superficie, representan una solución precisa, segura y económicamente viable en lo que se refiere a la obtención de una georreferenciación rigurosa de estos contextos arqueológicos sumergidos, permitiendo definir estrategias prospectivas extrapolables al estudio de cavidades inundadas en condiciones similares. Además, este artículo defiende la hipótesis de que los antiguos poblados talayóticos mallorquines usaban estas cavidades como punto de abastecimiento de agua dulce para su supervivencia y uso cotidiano. Esto posibilita una reflexión sobre la evolución de los esquemas de racionalidad espacial de las comunidades prehistóricas en Mallorca y pone en valor la obtención de una documentación espacial detallada de estos puntos de aguada.

Palabras clave Arqueología prospectiva subacuática, cavidades sumergidas, topografía, radiolocalización, mapeo de cuevas, GPS subacuático.

Summary The present work aims to experiment and improve the documentary and prospective methodology applied to underwater archaeology through technical tools used in the study of submerged caves. For this, the so-called Cueva del Sistema Sa Gleda-Camp des Pou, in Mallorca, is used as a frame of reference. The results obtained have shown that the combination of traditional prospective procedures, together with a series of novel techniques such as the MNEMO wire mapping system, radiolocation and direction-finding of the Pinger device and Seacraft's ENC2 underwater GPS, together with conventional topography surface, represent a precise, safe and economically viable solution in terms of obtaining a rigorous georeferencing of these submerged archaeological contexts, allowing the definition of prospective strategies that can be extrapolated to the study of flooded cavities under similar conditions. In addition, this article defends the hypothesis that the ancient Mallorcan Talayotic settlements used these cavities as a point of supply of fresh water for their survival and daily use. This makes it possible to reflect on the evolution of the spatial rationality schemes of the prehistoric communities in Mallorca and places value on obtaining detailed spatial documentation of these water supply points.

Keywords Underwater survey archaeology, submerged cavities, topography, radiolocation, cave mapping, underwater GPS.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace tres décadas, los problemas de geolocalización y topografía de las cuevas terrestres han encontrado soluciones técnicas en el medio aéreo con la aparición de los sistemas LIDAR (*Light Detection And Ranging*) y los escáneres laser. Estas respuestas técnicas, que permiten hoy la realización de clones digitales de cuevas terrestres, han dejado de lado las cuevas sumergidas debido a los inconvenientes que presenta el medio acuático para su uso.

La georreferenciación en arqueología posibilita conocer la ubicación de un determinado yacimiento sobre el espacio de manera unívoca, es decir, le dota de una localización única definida por una serie de puntos con coordenadas conocidas, en un sistema de referencia y en una proyección cartográfica. La importancia de la georreferenciación aplicada al estudio de yacimientos en cuevas sumergidas va desde la obtención de resultados sobre su contexto espacial, ya sea local o global, pasando por la comparación de cartografías o datos espaciales de diferentes edades, hasta llegar a proporcionar una plusvalía en lo relativo a la seguridad ligada a la campaña subacuática de campo. Los resultados obtenidos proporcionan una ubicación espacial factible de ser utilizada no solo en arqueología, sino también en el espeleo-socorro de buceadores en posibles rescates en cuevas, gracias al replanteo de puntos en superficie (Dávila y Camacho, 2012).

En términos generales, se entiende por levantamiento topográfico al conjunto de técnicas y metodologías capaces de documentar información espacial y geométrica del terreno o de diferentes sucesos sobre él, para obtener su representación gráfica, teniendo en cuenta una tolerancia preestablecida, en otras palabras, se considera un rango de error permitido. En ese sentido, el levantamiento topográfico es el paso de la realidad física del terreno al papel o mapa; una información geométrica esencial para entender y contextualizar los restos encontrados en el yacimiento (Pachas, 2009). Esta tolerancia o error máximo permitido depende de los métodos de observación y los instrumentos utilizados y proporciona un orden de rigurosidad en la documentación geométrica del yacimiento. La metodología de campo y la herramienta empleada, conforme con esa tolerancia preestablecida, condicionan de forma directa la viabilidad económica del proyecto arqueológico, debido a que usar un procedimiento u otro puede encarecer la expedición hasta tal punto que la haga inviable. Por este motivo, previo a la campaña de campo, se debe realizar un estudio de recursos económicos y medios materiales que definan la tolerancia geométrica, el cual condicionará la viabilidad del proyecto (Fernández, 2008).

Obtener unos datos espaciales rigurosos de la geo-posición real de los restos arqueológicos encontrados en el yacimiento sumergido se hace necesario no solo con la finalidad de obtener una documentación espacial fiable, sino también para detectar posibles expolios, contextualizar conjuntamente cada uno de los restos encontrados y para replantear con posterioridad la ubicación de esos restos arqueológicos (Fumás, 2022).

Desde la aparición de las técnicas fotogramétricas, las técnicas LIDAR y el láser escáner subacuático la documentación geométrica de yacimientos de cuevas sumergidas ha experimentado una mejora en la rigurosidad y definición espacial de los yacimientos. Gracias a estos métodos e instrumentos, es posible realizar una documentación tridimensional georreferenciada de los yacimientos arqueológicos sumergidos y de su entorno con precisiones milimétricas a nivel local y decimétricas a nivel global. Sin

embargo, el principal inconveniente que se plantea desde la fase de planificación es el elevado costo y el alto grado de especialización humana y material que requiere la utilización de estos métodos e instrumentaciones.

1.1. Contextualización historiográfica

La historiografía sobre la metodología arqueológica en ambientes subterráneos y, concretamente, en cavidades sumergidas es escueta y discontinua en el tiempo, en especial durante las últimas décadas, momento en el que se han producido pocos avances en esta materia. Esta falta de datos se debe, probablemente, al alto nivel de especialización requerida, a las características particulares de estos ambientes confinados y a las metodologías específicas que necesitan este tipo de intervenciones arqueológicas. Ese es el motivo por el que, en la actualidad, los artículos publicados sobre prospección arqueológica y excavaciones en cuevas sumergidas son escasos. Sin embargo, eso no significa que los descubrimientos no hayan sido relevantes en ese pequeño número de estudios, puesto que los restos arqueológicos encontrados han dilucidado respuestas a preguntas relacionadas con el cambio climático, los movimientos poblacionales, los comportamientos simbólicos o la navegación marítima (Manning y Schütze, 1999; Campbell, 2018a).

Dentro de las distintas tipologías de cuevas sumergidas, se deben distinguir fundamentalmente dos: i) los sistemas kársticos costeros que actualmente se encuentran sumergidos, debido a las oscilaciones del nivel del mar relacionadas con los cambios climáticos, y ii) las cuevas interiores que han permanecido de manera más constante inundadas, ya que el nivel freático ha estado controlado por otros mecanismos (Fernández *et al.*, 2006). Es preciso diferenciarlas, porque las cuevas que quedaron inundadas por el aumento del nivel freático ofrecen posibilidades de haber sido utilizadas y explotadas a lo largo del tiempo y esto obliga a planificar y ejecutar la exploración de un modo distinto.

1.2. Historia de la investigación

El estudio geológico, arqueológico y paleontológico de las cuevas sumergidas comenzó durante el siglo XVIII con la figura de Édouard Alfred Martel, uno de los pioneros de la espeleología moderna, quien identificó restos de fauna fósil en Wakulla Springs (Florida, Estados Unidos), en 1850 (Green, 2006). A mediados del siglo XX, en 1946, en Wookey Hole (Gran Bretaña), Ted Mason realizó los primeros descubrimientos en las partes sumergidas de la cueva, donde se recuperaron 18 cráneos humanos. También es importante señalar que, en 1940, Blanc determinó, después de su estudio realizado en las Gruta Palinuro (Italia), que las cuevas que actualmente están bajo el nivel del mar podrían haber estado habitadas durante los periodos en los que el nivel del mar era más bajo (Campbell, 2018a).

Posteriormente, en 1950, Henri Lombard descubrió restos de cerámica neolítica en el manantial de Abencas, Francia (Billaud, 2009), y Nicholas Flemming, en 1957, comenzó con la exploración de las cuevas costeras del Mediterráneo, evidenciando las oscilaciones del nivel del mar (Flemming, 2014). Desde estos primeros estudios arqueológicos en cavidades sumergidas, las investigaciones se han centrado en su documentación espacial, destinadas a ubicar los yacimientos en relación con las topografías realizadas manualmente, solo con la ayuda de una brújula de mano y una cinta métrica.

Algunas de las prospecciones más importantes del mundo se han llevado a cabo en la cueva de Stiva en Nusa Penida, Bali, Indonesia (Harbowo *et al.*, 2017); en la cueva de Little Salt Spring, en Florida, Estados Unidos (Bonomo *et al.*, 2014); en el cenote Hoyo Negro en la península del Yucatán, México (Rissolo *et al.*, 2015) y en las cuevas de Taino, en el Parque Nacional del Este, República Dominicana.

En Europa, los casos de estudio más importantes se llevaron a cabo en la Gruta Cosquer, en Marsella, Francia (Clottes *et al.*, 1992); en la cueva de Fontaine de Vaucluse, Francia (Billaud, 2009) y en la cueva Trou de Han, en Han-Sur-Lesse, Bélgica (Warmenbol, 2004). En España, las investigaciones en esta materia comenzaron en los años noventa, en la isla de Mallorca y fueron llevadas a cabo por la asociación de espeleobuceo Grup Nord de Mallorca (GNM), que posteriormente paso a denominarse Societat Espeleològica Balear (SEB), la cual ha sacado a la luz el descubrimiento de cavidades que han aportado datos topográficos, biológicos, geológicos y arqueológicos. Todos estos estudios se han realizado en diversas cuevas subacuáticas de la zona oriental (Cova des Coll, Cova des Drac en Cala Santanyí y Cova des Drac des Rafals dels Porcs), occidental (És Dolç), de levante (Cova Genovesa y Sistema Gleda-Camp des Pou) y norte de Mallorca (Font de Ses Aiguades) (Gràcia *et al.*, 2001; Gràcia *et al.*, 2007; Viñas, 2014) y han sido, en su mayoría, publicadas en artículos científicos (Gràcia, 2015).

1.3. La problemática metodológica

Normalmente, este tipo de investigación no se ha centrado en la implantación de una documentación georeferenciada de las cavidades sumergidas, hecho que dificulta su estudio arqueológico y la localización de posibles aberturas desde el exterior (Campbell, 2018). La mayor parte de las topografías de las cuevas están realizadas por espeleo-buceadores deportivos, utilizando un método topográfico poco riguroso, basado en la medición de las poligonales mediante el cálculo de la triangulación de las paredes y del techo de la cueva respecto al centro de la cavidad o al hilo guía (Huber, 2014). Toda esta información, en ocasiones imprecisa por la metodología empleada, ayuda a conocer solo de manera preliminar la ubicación geográfica del yacimiento arqueológico sumergido.

Actualmente, el Proyecto IASCM (Investigación Arqueológica Subacuática en las Cuevas de Mallorca) presenta una serie de soluciones técnicas que pretende responder a algunos de los problemas surgidos en este tipo de prospecciones subacuáticas. A través de la adopción de una nueva metodología de registro prospectivo se ha intentado optimizar al máximo el tiempo de las inmersiones realizadas (Gregory y Manders, 2015) garantizando una tolerancia topográfica asequible que permita la viabilidad económica de la campaña arqueológica.

Además, se ha conseguido mejorar las hipótesis de estudio que relacionan los ambientes kársticos sumergidos con los yacimientos arqueológicos terrestres y subacuáticos que los rodean (Aramburu-Zabala, 2018), dada la importancia que tuvieron los puntos de aguada para la subsistencia de los antiguos pobladores y navegantes de las Islas Baleares, como lo demuestran los hallazgos de restos arqueológicos en las cuevas sumergidas de Mallorca – la cueva de Ses Aiguades (Gracia, 2001), Es Dolç (Gràcia *et al.*, 2014) o Sa Gleda (Gràcia *et al.*, 2010) y los hallados en la isla de Cabrera (Riera, 2004; Calvo, 2009). De este modo, gracias a la georeferenciación precisa de los antiguos puntos

de aguada, ocultos bajo la superficie terrestre, se puede conocer qué tipo de vínculos existieron entre los dos espacios, el sumergido y el terrestre (Ramis y Santandreu, 2011).

Por lo tanto, el hecho de geoposicionar o georreferenciar los puntos subterráneos de aguada utilizados en el pasado permite también contextualizar históricamente el territorio desde un punto de vista del abastecimiento de recursos naturales (Ramis y Santandreu, 2011). En la actualidad, sabemos que las aguas subterráneas suponen el 95% de los recursos hídricos de las Baleares donde la mayoría de las aguas subterráneas se localizan en acuíferos carbonatados con características cársticas más o menos desarrolladas (Giménez *et al.*, 2014).

2. ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA PROSPECTIVA EN LAS CUEVAS DE MALLORCA. LA CUEVA DEL SISTEMA SA GLEDA-CAMP DES POU

Las evidencias sólidas sobre el poblamiento más antiguo en Mallorca datan de alrededor del III milenio cal. a. C., momento en el cual empezaron a generalizarse las ocupaciones humanas (Ramis *et al.*, 2002). Desde entonces, el nivel del mar ha presentado pequeñas oscilaciones que, probablemente, conducen a que una parte de las cuevas que en la actualidad están inundadas ya lo estuvieran en el pasado; tal hecho comporta la imposibilidad de que estos primeros pobladores las utilizaran como hábitat o espacio doméstico.

Durante el último estadio glacial, en especial en el máximo glacial, el nivel medio del Mediterráneo descendió hasta valores que oscilan entre los -100 m a -140 m respecto a la actualidad (Clark *et al.*, 2009). Desde entonces, la tendencia general ha sido el calentamiento y la consecuente transgresión marina que ha contribuido a inundar las cuevas del litoral de Mallorca, donde sus formaciones carbonatadas han permitido que se desarrolle un importante sistema kárstico (Ginés *et al.*, 2012). Por este motivo, la mayor parte de las cuevas que hoy se encuentran inundadas presentaban las mismas características tanto en la prehistoria como en la época histórica (Campbell, 2018a).

2.1. Descripción de la cavidad

El sistema Sa Gleda-Camp des Pou (X 523805, Y 4372315,36 ETRS89, UTM 31) se encuentra en la zona oriental de la isla de Mallorca, muy próximo a la localidad de Manacor; concretamente, en la propiedad de Son Josep Nou, a 36 m sobre el nivel del mar y a una distancia aproximada del litoral de 1.7 km. La entrada a la gruta está ubicada en medio de un torrente que drena las aguas que desembocan en Cala Magraner (Gràcia *et al.*, 2010) (figs. 1, 2, 3.1).

El recorrido total de la cavidad es de 14620 m, de los cuales, 13720 m son subacuáticos y 900 aéreos, mientras que la profundidad máxima, con respecto al nivel actual del mar, es de 25 metros aproximadamente. La dirección predominante de la cueva es SW-NE, aunque muchas de las galerías se prolongan en diferentes direcciones (fig. 2) y su entrada está ubicada en una torca kárstica que da acceso a su entrada principal en la zona E, ocupada por un lago (Gràcia *et al.*, 2007) (figs. 1, 3.1, 3.3). La cavidad está considerada como una de las ocho cuevas pertenecientes a la región kárstica litoral del levante mallorquín con restos arqueológicos en su interior (Gràcia *et al.*, 2011) (fig. 1).

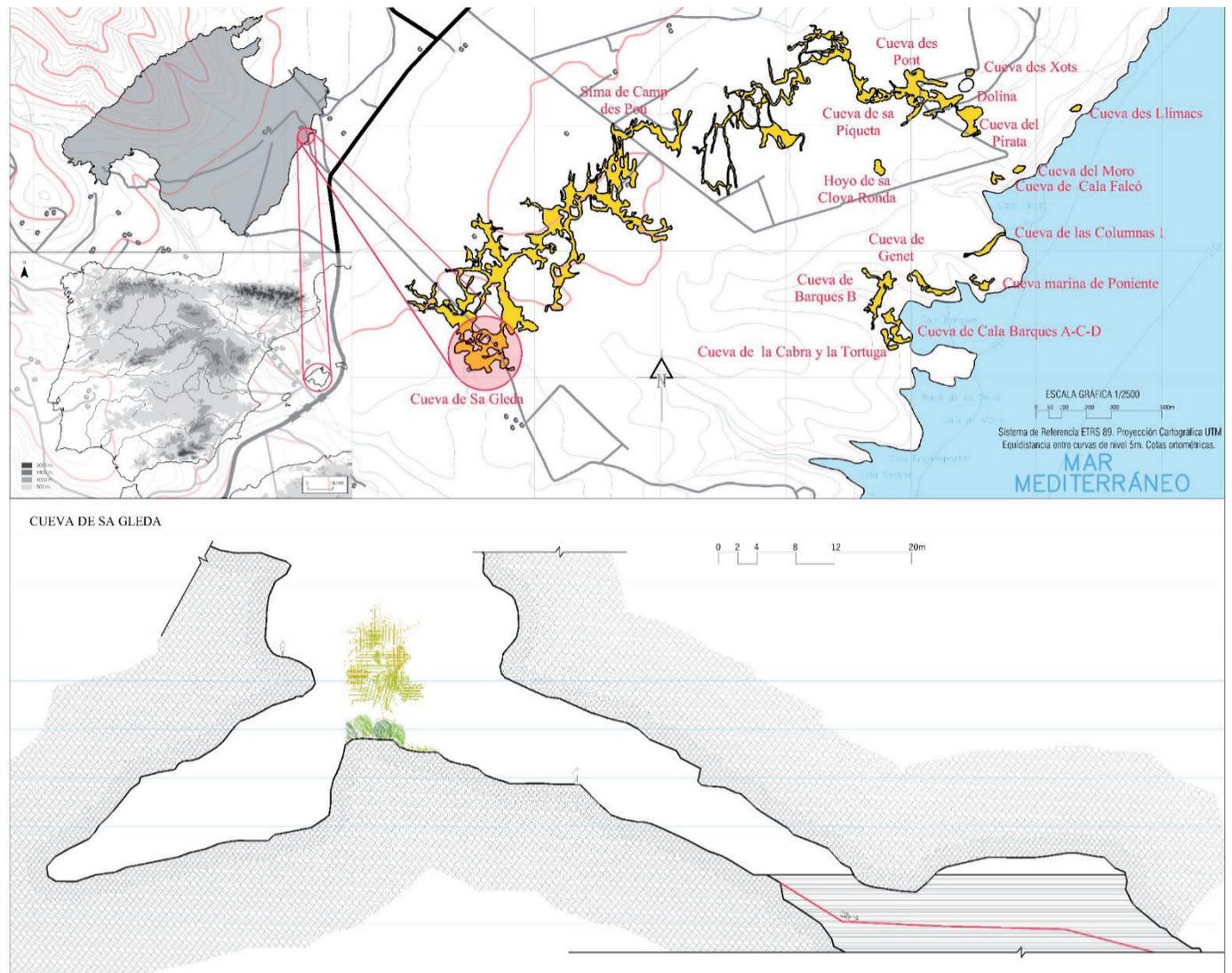


Figura 1. Plano de la ubicació exacta de la cova a estudi, compresa entre Can Frasquet, Cala Varques i Cala Falcó, amb les plantes del sistema Gleda-Camp des Pou i del sistema Pirata-Pont-Piqueta, així com de les altres cavitats de la zona superpuestas.

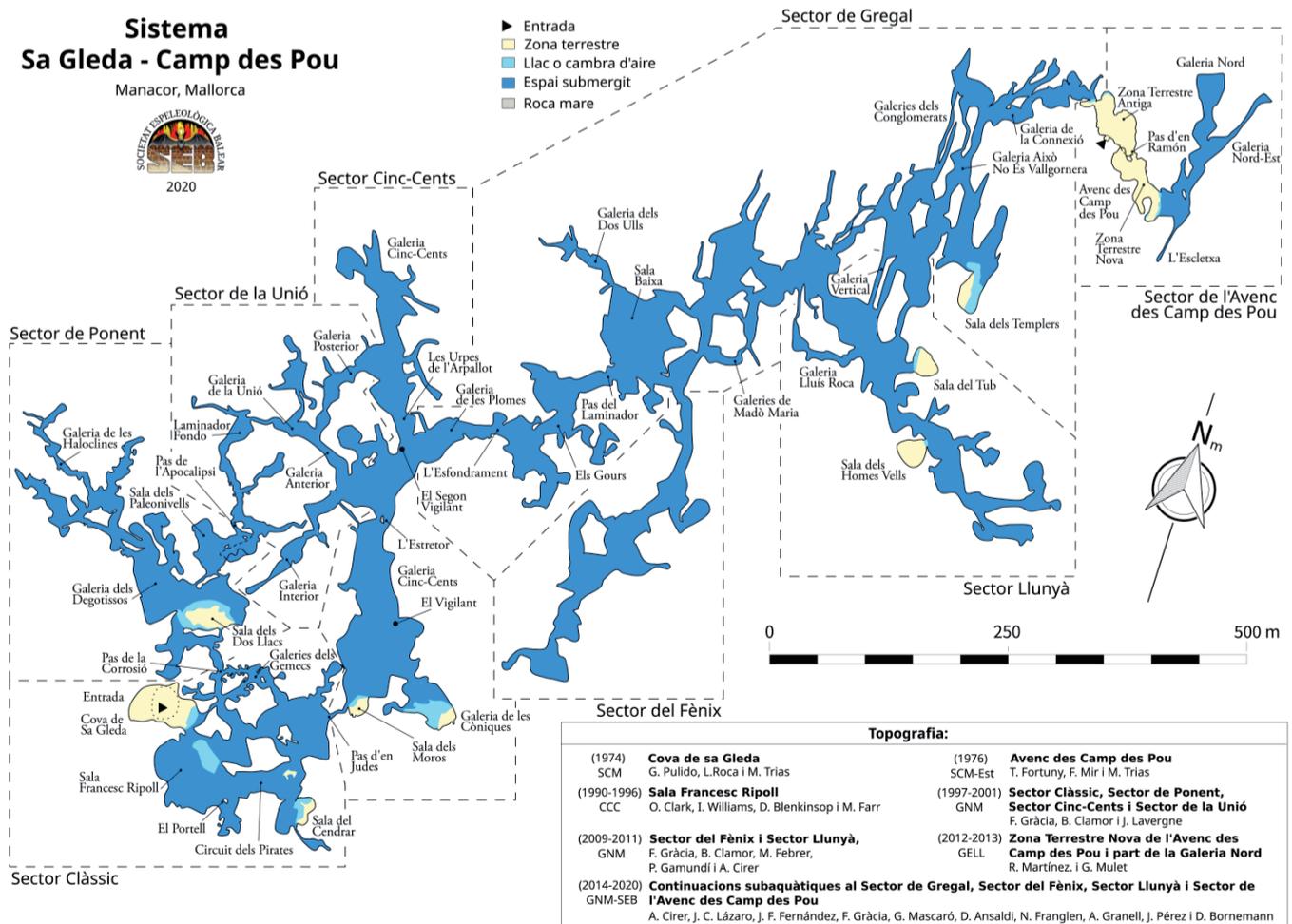


Figura 2. Topografia del Sistema Sa Gleda-Camp des Pous realitzada per la Societat Espeleològica Balear (SEB) (Gràcia et al., 2020).

En la actualidad, sabemos que la cueva de Sa Gleda tiene dos entradas, la principal se encuentra en la finca Son Josep Nou de Manacor, la cual es el lugar de más fácil acceso a la cavidad, y la segunda está en la sima des Camp des Pou, con un acceso en vertical mucho más complejo (Gràcia *et al.*, 2010) (figs. 1, 3.1). El resto de las entradas están cegadas y algunas de ellas son difíciles de localizar desde la superficie, como es el caso de la entrada secundaria a la Sala de los Moros.

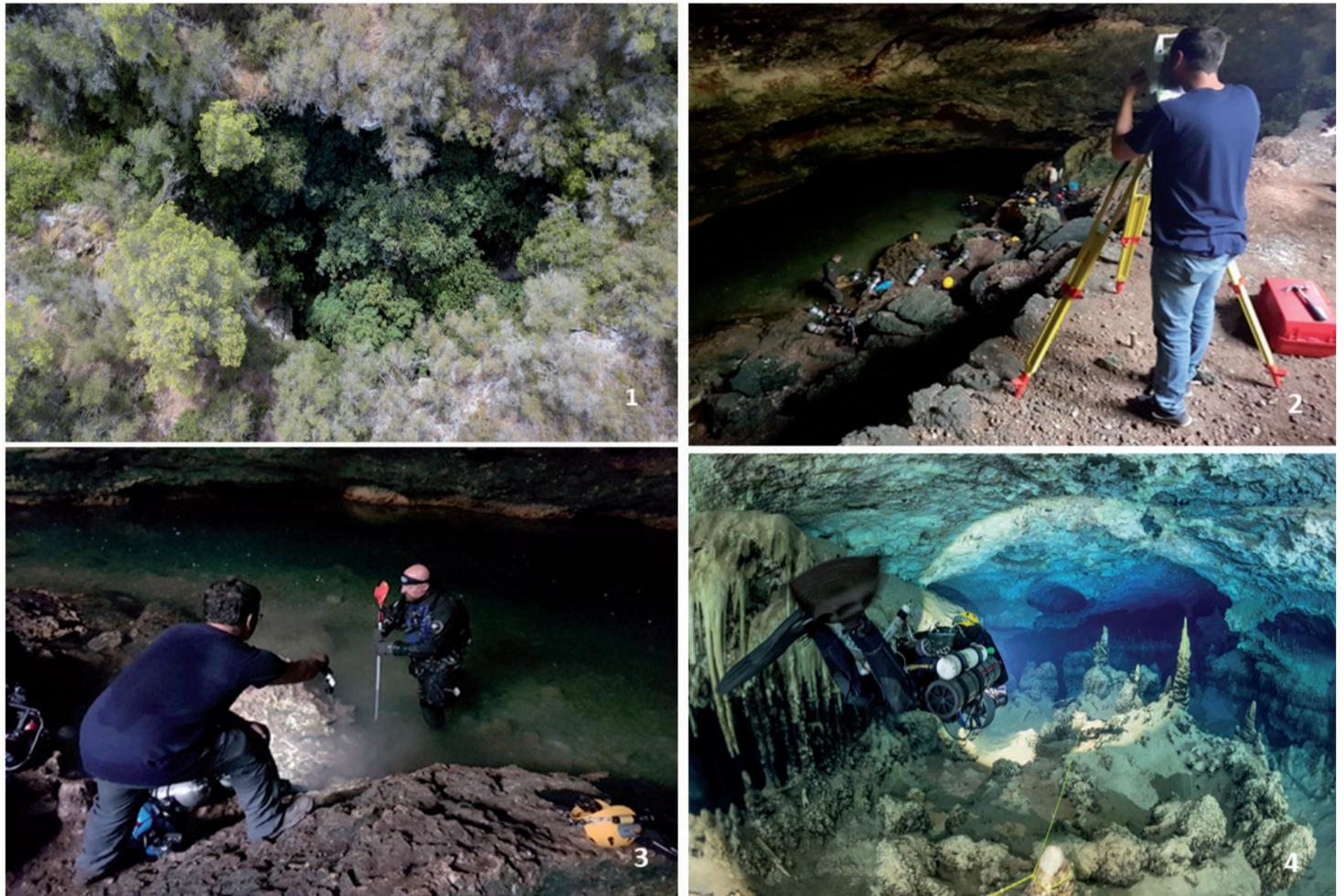


Figura 3. 3.1. Ortofoto del cenote o sima que da acceso principal al Sistema Sa Gleda-Camp des Pou (Imagen: Florian Huber). 3.2. Trabajos de topografía por parte de Pablo Cantuel con la estación total para conseguir la geoposición del primer punto de la línea sumergida (Imagen: Manuel J. Fumás Soldevilla). 3.3. Colocación del prisma en el punto sumergido de inicio de la línea guía mapeada con el MNEMO (Imagen: Manuel J. Fumás Soldevilla). 3.4. Espeleo-buceador del equipo IASCM utilizando el ENC2 de Seacraft en la galería denominada *Circuit dels Pirates* (Imagen: Miguel Á. Perelló)

2.2. Historia de la exploración de la cavidad

El trabajo espeleológico realizado por el GNM en la Cueva de Sa Gleda se desarrolló entre 1997 y 2010, y se centró en aspectos geológicos, biológicos y arqueológicos (Gràcia *et al.*, 2010). En lo referente a los datos arqueológicos, se recuperaron distintos fragmentos de cerámica pretalayótica, púnica e islámica en la Sala de Entrada y en diversas cámaras interiores de la cueva producidas por colapsos internos, a unos 200 m, 250 m y 380 m del lago de entrada. Estas cámaras colapsadas reciben el nombre de Sala de los Moros y Galería de las Cónicas, actualmente, sin salida al exterior (Gràcia *et al.*, 2010; Gràcia *et al.*, 2020) (fig. 2).

En 2019 los miembros del equipo IASCM, al analizar las cartas arqueológicas del territorio próximo a la cavidad, comprobaron la existencia de restos arquitectónicos de

antiguos poblados prehistóricos muy cercanos a la cueva (Gabinet d'Anàlisi Ambiental i Territorial 2016). Mediante la utilización del *software* QGIS, se superpuso la ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de la zona a la topografía manual del denominado del GNM y las coordenadas de los diferentes yacimientos arqueológicos terrestres, con lo que se logró un resultado satisfactorio en la concepción de las distancias y del espacio que debían recorrer los antiguos pobladores en busca de agua dulce (fig. 4).

Todos los restos arqueológicos encontrados en el interior de las salas de colapso guardan una relación directa con la cavidad, como puntos de abastecimiento de agua potable, tanto para el ganado como para el consumo humano. Estas salas quedaron obstruidas y aisladas del exterior, por acumulación de toneladas de piedras en su acceso de entrada, al despedregar los campos de cultivo circundantes (Gràcia, 2020). La localización de estos puntos de aguada ubicados cerca de la costa fue probablemente, a lo largo del tiempo, un objetivo primordial para los navegantes y pobladores que habitaron alrededor de la cueva de Sa Gleda (Marlasca y López, 2014).

Esto invita a compartir una reflexión “sobre la evolución de los esquemas de racionalidad espacial de las comunidades prehistóricas de Mallorca y su reflejo sobre el territorio” (Calvo, 2009), en la búsqueda de abastecimiento de recursos naturales y marinos, puesto que “la escasez de recursos hídricos superficiales que caracteriza el medio ambiente mallorquín debió de condicionar las estrategias de movilidad territorial de los cazadores-recolectores isleños” (Guerrero, 1996).

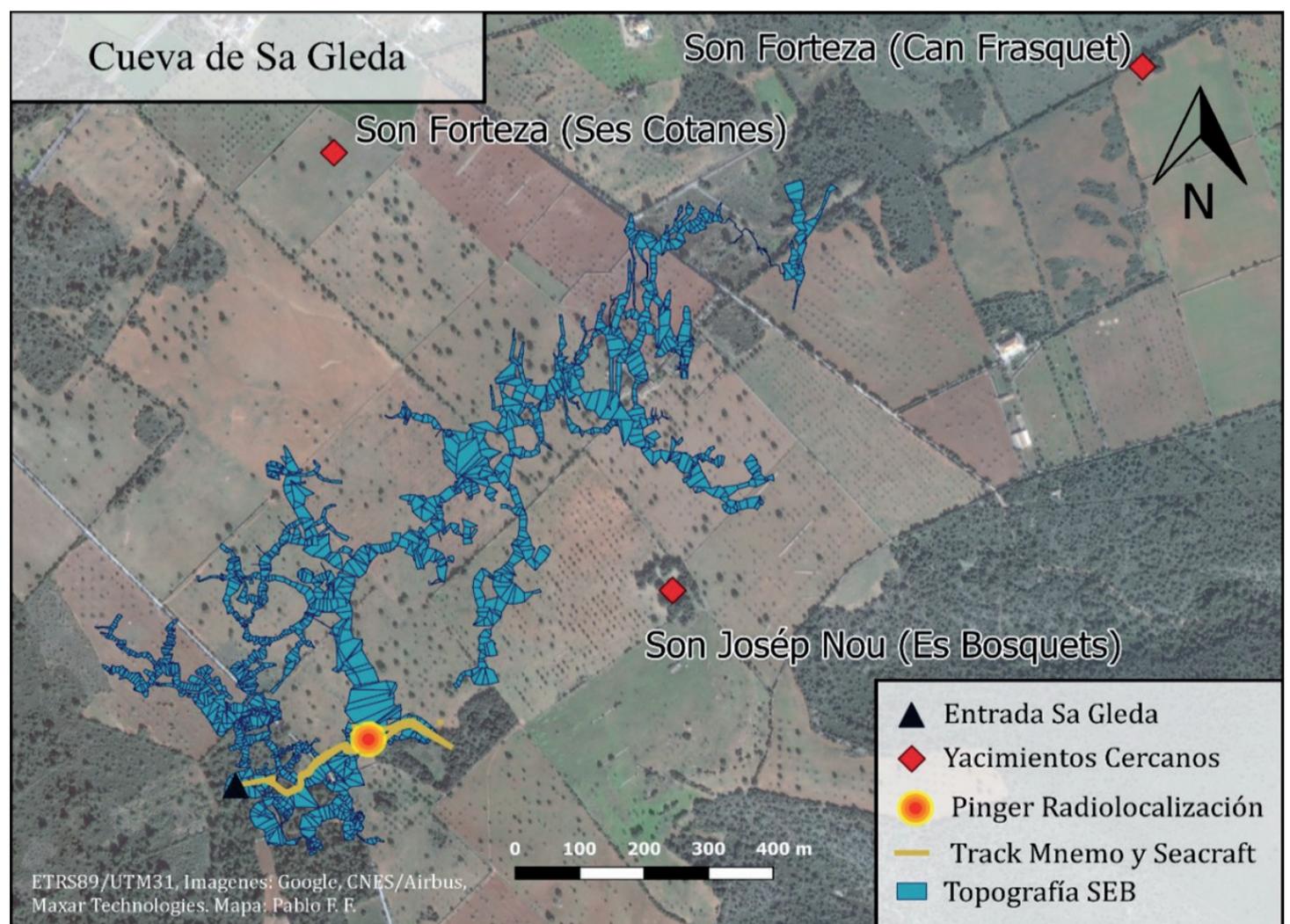


Figura 4. Ortofoto con la superposición de la topografía del SEB actualizada y con la ubicación de los yacimientos arqueológicos cercanos a la cavidad de Sa Gleda-Camp des Pou (Imagen: Pablo Fraile).

3. METODOLOGÍA OPERATIVA EMPLEADA. CAMPAÑA DE CAMPO

El objetivo fundamental de la prospección realizada era establecer un método de documentación georreferenciado, riguroso, viable y seguro que concluyera con la geolocalización precisa de los restos arqueológicos que permanecen sumergidos en la Sala de los Moros, dentro de la cueva del Sistema Sa Gleda-Camp des Pou. Por este motivo se utilizaron diferentes métodos, materiales e instrumentos capaces de obtener resultados geométricos fiables.

La planificación de la campaña fue una de las fases más importantes, en la cual se estableció como objetivo prioritario obtener una documentación y una base de datos completa de los yacimientos sumergidos, teniendo en cuenta la ausencia de financiación externa, lo que obligaba a diseñar una campaña de campo austera que combinara métodos topográficos convencionales en superficie con diferentes métodos topográficos subacuáticos, tales como el sistema de mapeo por hilo MNEMO (Kister, 2017), el sistema de radiolocalización y radiogoniometría Pinger y el sistema de mapeo por GPS ENC2 de Seacraft (Seacraft, 2019) (fig. 3.4).

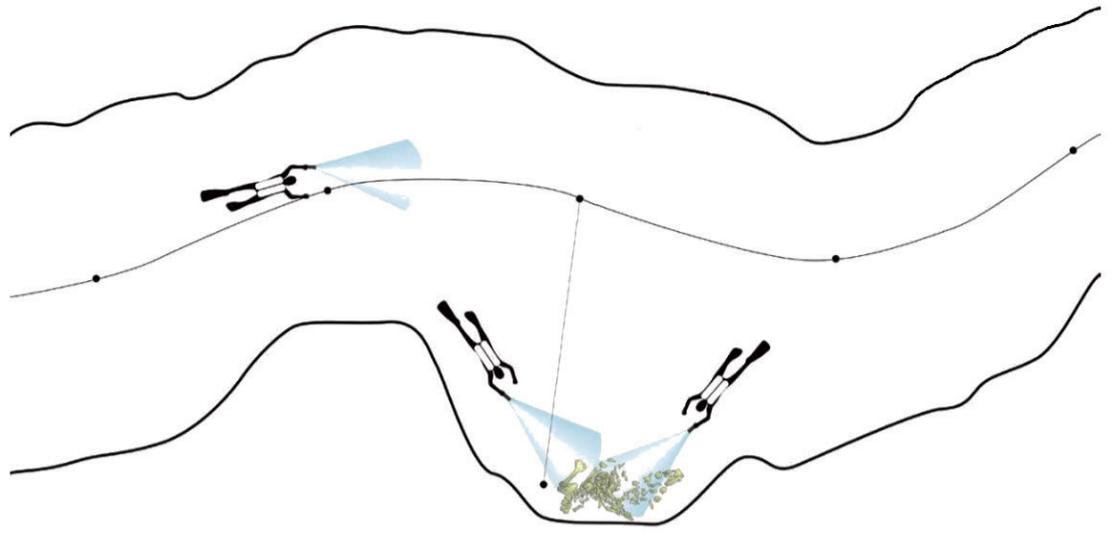
3.1. La prospección arqueológica visual

La primera de las técnicas utilizadas fue la prospección visual, método inicialmente aplicado para garantizar la seguridad del equipo. Las primeras inmersiones sirvieron para comprobar el estado de la cueva y para realizar tareas de filmación y toma de fotografías, mientras se aprovechaba la claridad del agua, puesto que el sedimento suspendido aparece de forma muy habitual y rápida, lo que imposibilita cualquier captura fotográfica clara válida para la documentación y el registro arqueológico (León, 2003; Waetcher y Flemming, 1963).

Las tareas principales de prospección tuvieron como premisa verificar que la línea o el hilo guía estuviera en condiciones óptimas para garantizar la seguridad del equipo en la inspección visual del estado de la cavidad (fig. 3.4). De este modo, se pudo ver si las restricciones de difícil acceso dentro de la cueva estaban abiertas, si los restos arqueológicos habían sufrido algún tipo de expoliación y si las condiciones de agua y la visibilidad permitían la viabilidad de las tareas programadas. La prospección visual fue realizada por tres espeleo-buceadores, dos de los cuales lanzaron una línea secundaria, desde un punto específico de la línea guía, que debía medirse en longitud, profundidad y dirección hasta llegar a la Sala de los Moros donde se pretendía hacer la visual. Así, uno de los tres espeleo-buceadores permaneció siempre en la línea principal por razones de seguridad, para asistir o socorrer si los otros dos no respetaban los tiempos indicados en el *briefing* realizado antes de la inmersión (fig. 5).

Cualquier tarea arqueológica dentro de una cueva debe ser realizada con la máxima seguridad y respetando siempre la regla de los tercios, donde un tercio del aire de la botella se utiliza para entrar en la cavidad, otro para salir y un último se guarda para casos de emergencia. Además, no se debe perder de vista el hilo guía en ningún momento, puesto que hay que recordar que cuando un espeleo-buceador entra en una cueva el hilo recibe el nombre de línea guía, pero cuando este mismo buzo sale de la cavidad ésta pasa a denominarse línea de vida, ya que es fácil que la visibilidad se haya convertido en pésima o nula debido al sedimento en suspensión, a la percolación, a la haloclina y a la termoclina (Huber, 2014).

Figura 5. Representación de una prospección arqueológica visual con tres espeleo-buceadores utilizando línea secundaria partiendo de línea principal o hilo guía. (Adaptado a partir de Huber, 2014).



3.2. Observación y medición de poligonales por hilo MNEMO

El MNEMO es un dispositivo comercial de prospección por línea, inventado por Sebastian Kister, que es capaz de realizar la observación de poligonales en entornos sumergidos a través del seguimiento del hilo guía (<https://www.arianesline.com/mnemo/>). Con un precio final asequible, su uso se ha visto extendido entre los espeleo-buceadores deportivos debido a su alto grado de fiabilidad y su facilidad de uso, aunque es un método con un grado de especialidad menor que otros como el LIDAR o la fotogrametría subacuática (Kister, 2017) (fig. 6).



Figura 6. Espeleo-buceador del equipo IASCM realizando mapeo por hilo en la Galería Cónica de la cueva de Sa Gleda-Camps des Pou (Imagen: John Kendall).

Para realizar la observación de campo, la línea guía previamente colocada en la cueva necesita de unos requisitos para que el dispositivo funcione correctamente, como un grosor de hilo entre 1 a 5 mm, nudos menores de 5 mm y una tensión mínima de al menos cinco newtons.

La observación de campo mediante este método se compone de la medición de la distancia geométrica (D_g) comprendida entre dos puntos consecutivos de la poligonal configurada físicamente por el hilo guía, el ángulo con respecto al norte magnético ($AZ_{\text{magnético}}$) y la profundidad entre los puntos consecutivos de la poligonal (ΔZ).

Gracias al paso del hilo por un sistema de rodamientos, MNEMO es capaz de obtener la medida de la distancia con una precisión de 0.5% del total de ésta. La medida del ángulo horizontal comprendido entre el norte magnético y la visual entre puntos consecutivos se realiza mediante un sensor de orientación de nueve ejes, capaz de obtener una precisión de $1,5^\circ$ sexagesimales. Por último, la medida de la profundidad se obtiene gracias a un medidor diferencial de presión, por lo que se consiguen resultados con precisión del orden de los 15 cm. El aparato MNEMO lleva asociado un *software* de tratamiento de los datos tomados en campo (D_g , ΔZ , $AZ_{\text{magnético}}$), conocido como Ariane, el cual permite visualizar resultados, exportar coordenadas geográficas y obtener datos crudos de la observación (Kister, 2017).

En nuestro estudio, la observación de campo realizada en Sa Gleda con el MNEMO se formó de la observación de ida y vuelta entre cada uno de los 22 puntos o vértices que componen la poligonal que va desde la entrada de la cueva hasta la Sala de los Moros. La finalidad de este proceso fue obtener unos datos de campo que permitieran comprobar los resultados logrados, mejorar las precisiones de la observación, gracias al cálculo de una poligonal compensada, y detectar posibles errores o equivocaciones a la hora de realizar la observación.

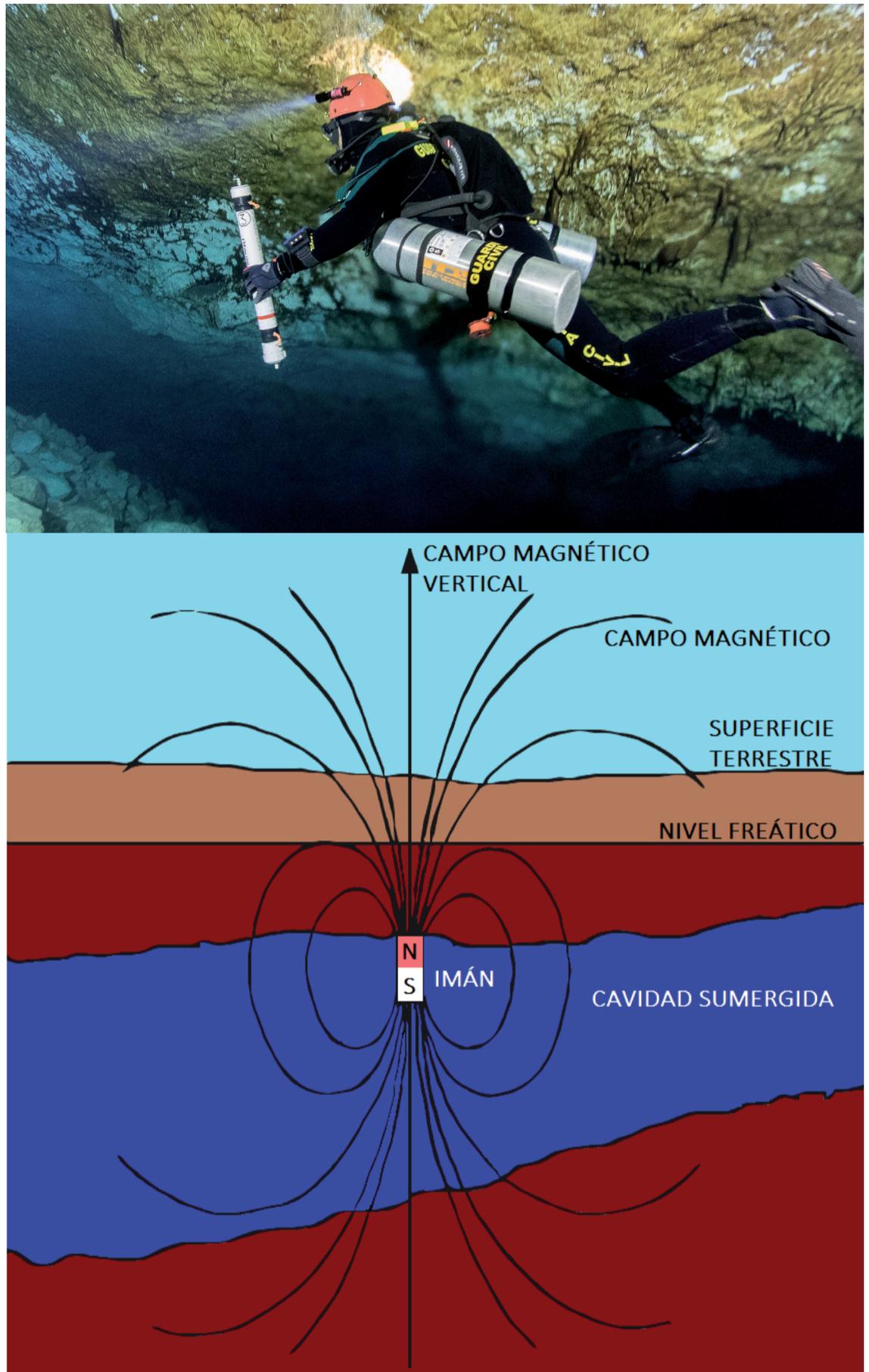
3.3. Sistema de radiolocalización Pinger

El diseño del Pinger fue creado por el espeleo buceador australiano Ken Smith como un dispositivo que realiza las funciones de un transmisor de radiolocalización que puede flotar y operar en el techo de la cueva, mientras se aleja de los suelos de limo (Smith, 2013). El transmisor Pinger utiliza un núcleo de metal laminado y una bobina larga y delgada. Esta bobina, junto con la electrónica y las baterías del controlador, se insertan en un tubo sellado de PVC (Policloruro de Vinilo) de 600 mm de longitud y 50 mm de diámetro, el cual mantiene una ligera flotabilidad positiva que le permite flotar en posición vertical en el agua, con lo que consigue una orientación correcta del campo magnético (fig. 7.1).

El emisor o transmisor de la bobina de la antena contiene un núcleo de MU-M ETA que se compone de una banda MU, de aproximadamente 12.7 mm (0.5 pulgadas) de ancho y aproximadamente 0.055 mm de espesor con un oscilador que proporciona una señal de 1.16 kHz (Smith, 2013) (fig. 7.2).

Por su parte, el receptor colocado en superficie utiliza una antena de bucle cilíndrico, similar a la empleada por el transmisor, sintonizada para ponerla en la misma frecuencia. La señal de la bobina del receptor se amplifica mediante un preamplificador y un amplificador de audio que la transmite a los auriculares. La bobina del receptor está montada también en un tubo de PVC equipado con dos niveles de burbuja. Uno indica cuándo la bobina está en horizontal para conocer la ubicación del punto del

Figura 7. 7.1. Espeleo-buceador del GEAS colocando el emisor PINGER en posición vertical de la Sala de los Moros en la Campaña 2019 (Imagen: Florian Huber). 7.2. Representación del campo magnético del radiocalizador PINGER (Imagen: Manuel J. Fumás Soldevilla).



Pinger y el otro indica cuándo el eje de la bobina está a 45 grados, lo que permite una medición de la profundidad. En lugares remotos, sin interferencias eléctricas, el silbido distintivo del emisor se puede escuchar a una distancia de hasta 130 m con el receptor (Smith, 2013) (figs. 7.1).

Una vez que se encuentra la señal en superficie, se debe mantener la antena del receptor de forma horizontal utilizando el nivel adecuado de la burbuja y girándola alrededor de su eje vertical hasta que no haya señal. Cuando ésta se anula nos encontramos en la zona cero (el punto de superficie en la vertical del transmisor subterráneo en la cavidad), ya que el aparato está en un ángulo recto con respecto a la antena de recepción (Smith, 2018) (fig. 7.2). Para no perder la localización del punto replanteado, y

coincidente con la vertical del emisor ubicado en la cavidad, se realiza una marca en el suelo mediante el empotramiento de una varilla metálica con una etiqueta de referencia y el número de punto encontrado.

En nuestro caso, la finalidad de utilizar dicho método de observación fue la de obtener una comprobación de los resultados del último punto de la poligonal observada con el método MNEMO, una poligonal compensada y una precisión *a posteriori* de las coordenadas de los vértices que definen la poligonal. En otras palabras, al combinar el método MNEMO con el de radiolocalización Pinger, se logra una poligonal cerrada, debido a que el punto final (el punto 22) se puede considerar como fijo en el procedimiento de cálculo. Esto hace tensar los resultados y, con ello, su rigurosidad, lo cual permite acercarse al objetivo inicialmente planteado.

3.4. ENC2 de Seacraft

El ENC2 de Seacraft consta de una consola de navegación electrónica que se coloca en la parte superior del escúter de aluminio del espeleo-buceador, el cual es capaz de registrar la ruta dentro de la cavidad sumergida directamente en 3D –tres dimensiones– (fig. 8). El dispositivo de navegación ENC2 tiene varios sensores, como un magnetómetro 3D, giroscopios 3D, acelerómetro 3D, sensor de presión, sensor de temperatura y un módulo GPS –*Global Positioning System*– (GPS, GLON-, Beidou). Su consola cuenta con una serie de características adicionales que permite orientar al buzo dentro de la cueva e informarlo en todo momento de los parámetros básicos de inmersión, como la profundidad, la dirección, el tiempo de fondo y la temperatura del agua.

La consola ENC2 está fabricada con una aleación de aluminio de alta calidad resistente al impacto y probada a una profundidad de 350 m. El dispositivo debe colocarse al menos a 0.2 m (7.9") de cualquier elemento que contenga material ferromagnético (núcleo del motor, batería) o imanes permanentes (manijas del vehículo, sensor de velocidad), de lo contrario, las indicaciones de la brújula podrían ser incorrectas (Seacraft, 2019) (fig. 8).

Al igual que el sistema de mapeo por hilo del MNEMO, el ENC2 de Seacraft utiliza el *software* Ariane para introducir los datos observados, visualizar los resultados y exportar sus observaciones crudas de campo (Dg , ΔZ , $AZ_{\text{magnético}}$) con el fin de ser utilizadas en una rutina de cálculo y obtener las coordenadas georreferenciadas de cada uno de sus vértices. Las medidas registradas en el interior de la cueva sumergida por este sistema deben tener siempre un punto de referencia o una coordenada concreta en el exterior; en nuestro caso, la entrada a la cueva estaba representada por el punto 5000 de la poligonal (fig. 9).

Sin duda, el método de observación de campo del ENC2 es la metodología, dentro de las aquí analizadas, que permite la prospección y la topografía de la cueva de la forma más rápida, puesto que su montaje sobre un propulsor mecánico o escúter minimiza el tiempo de inmersión y aumenta las distancias capaces de ser medidas. Pese a ello, no es el método más riguroso, pues observa el azimut con respecto al norte magnético con una apreciación de 5° sexagesimales, la distancia geométrica con un 2% de la distancia medida y la profundidad con una apreciación de 0.3 m, aunque, actualmente, el modelo de consola ENC2 ha dejado ya de comercializarse y está disponible un modelo más perfeccionado, la consola electrónica ENC3 Seacraft, cuyo fabricante afirma tener una mayor precisión (<https://seacraft.eu/products/navigation-console/enc3/#full-set-dedicated-to-seacraft-scooters>).



Figura 8. Espeleo-buceador del equipo IASCM utilizando el sistema de navegación ENC2 de Seacraft en la pendiente de derrumbe de la Sala de los Moros (Imagen: John Kendall).

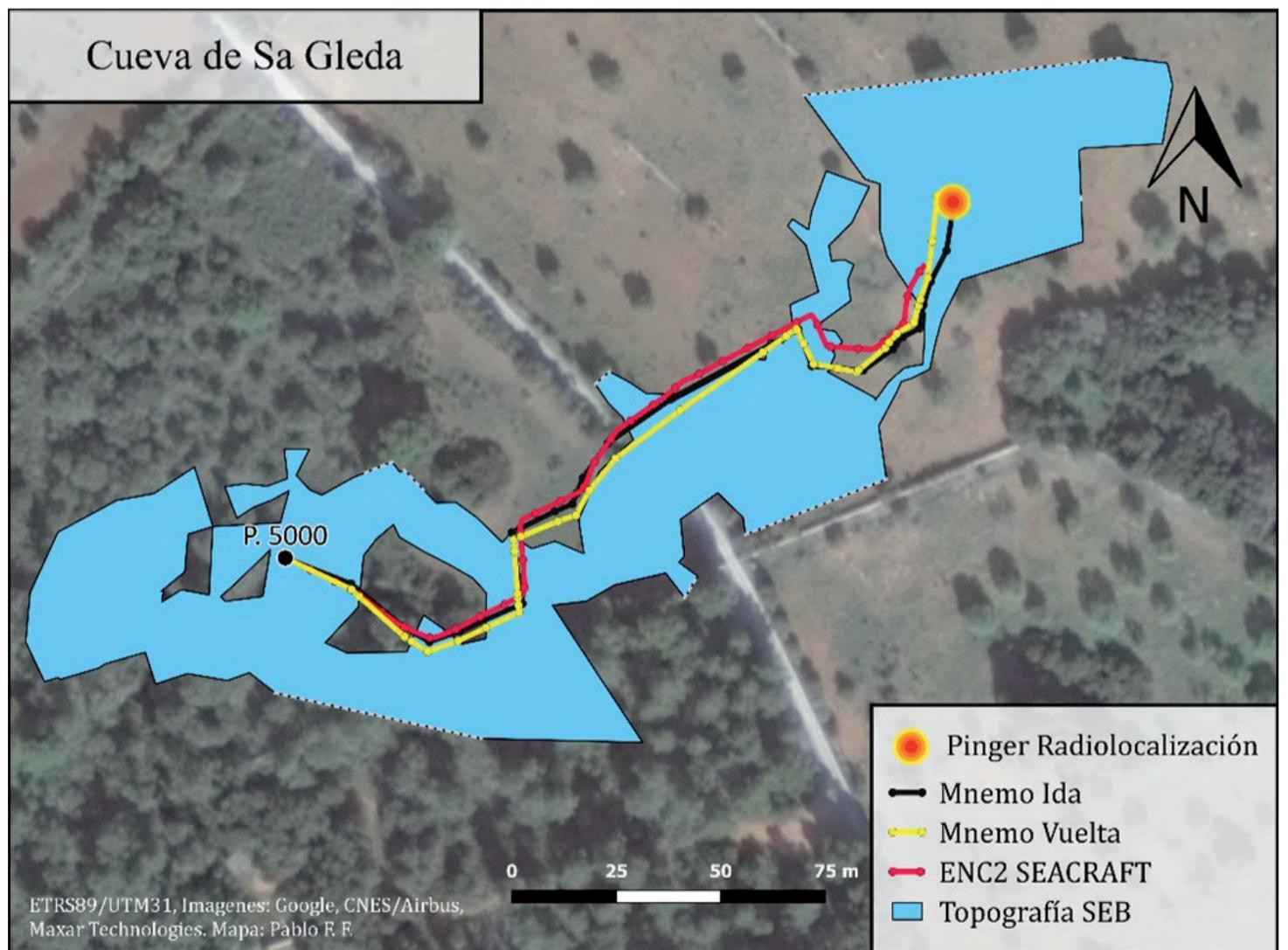


Figura 9. Plano SIG sobre ortofoto de la topografía manual del SEB donde se visualizan las diferentes lecturas de los dispositivos de mapeo utilizado junto al sistema de radiolocalización PINGER (Imagen: Pablo Fraile).

En nuestro caso, en su realización, la observación de campo comprendió la obtención de la ruta sobre o junto el hilo guía, que estima la poligonal desde el punto 5000, inicio de la lectura del MNEMO, en la entrada del entorno sumergido, hasta la Sala de los Moros en el punto 22.

La finalidad de emplear este método era la de obtener unos nuevos resultados, analizar su fiabilidad en campo, compararlos con los resultados obtenidos por el método MNEMO y conseguir una reiteración de la poligonal observada. Se debe destacar la posibilidad que incluye esta instrumentación de volver a recorrer una ruta preestablecida gracias al sistema de guiado que integra el sistema ENC3, en otros términos, el sistema permite replantar puntos, lo que es de gran ayuda en la previsión de campañas futuras.

3.5. Método de radiación topográfica manual aplicado en la Sala de los Moros

Debido a la complejidad en la realización de lecturas muy cortas en el mapeo por hilo del MNEMO y al tratar de utilizar metodologías prospectivas complementarias, se decidió realizar mediciones manuales para el cálculo de la dispersión cerámica en la Sala de los Moros. Para ello, se trazaron una serie de líneas con cinta métrica entre la pieza arqueológica y el punto 22 o final de la poligonal del MNEMO. De dichas líneas, se observó la distancia geométrica, el ángulo horizontal con respecto al norte magnético y la inclinación con respecto a la horizontal. Para esto, se utilizó una cinta métrica, un distanciómetro láser marca Leica, modelo Disto D110, de 1.5 mm de precisión; una brújula de mano marca Suunto, modelo Kd-14/360R G de 2° sexagesimales de precisión; y un inclinómetro digital modelo PRO3600, capaz de medir el ángulo con respecto a la horizontal, con una precisión de 0.1° sexagesimal.

Es necesario mencionar que para efectuar esta radiación se debía tener visibilidad y accesibilidad directa entre el polo de radiación, punto 22, y cada uno de los restos arqueológicos encontrados, denominados o codificados en la campaña como Y-01, Y-02, Y-03 e Y-04 (fig. 10).

La finalidad de realizar esta radiación era obtener una documentación geométrica fiable y georreferenciada de los restos arqueológicos, mientras se contextualizaban entre ellos y su entorno inmediato, además de ser capaces de replantear su ubicación en campañas futuras, detectar posibles expoliaciones y, en definitiva, obtener una documentación arqueométrica geoposicional del yacimiento.

3.6. Método topográfico manual de la cámara aérea de la Sala de los Moros

Los trabajos topográficos de campo en la sala aérea conocida como Sala de los Moros consistieron en la realización de una serie de cuadrantes, empleando líneas métricas entrecruzadas como método para conseguir puntos de referencia y observar entre ellos las distancias geométricas, la inclinación de cada visual, el ángulo horizontal con respecto al norte magnético y las distancias entre el suelo de la cueva y su techo. Para ello, se utilizaron un distanciómetro láser, marca Leica, modelo Disto D110 de 1.5 mm de precisión; una brújula de mano, marca Suunto, modelo Kd-14/360R G, de 2° sexagesimales de precisión; y un inclinómetro digital, modelo PRO3600, capaz de medir el ángulo con respecto a la horizontal con una precisión de 0.1° sexagesimal.

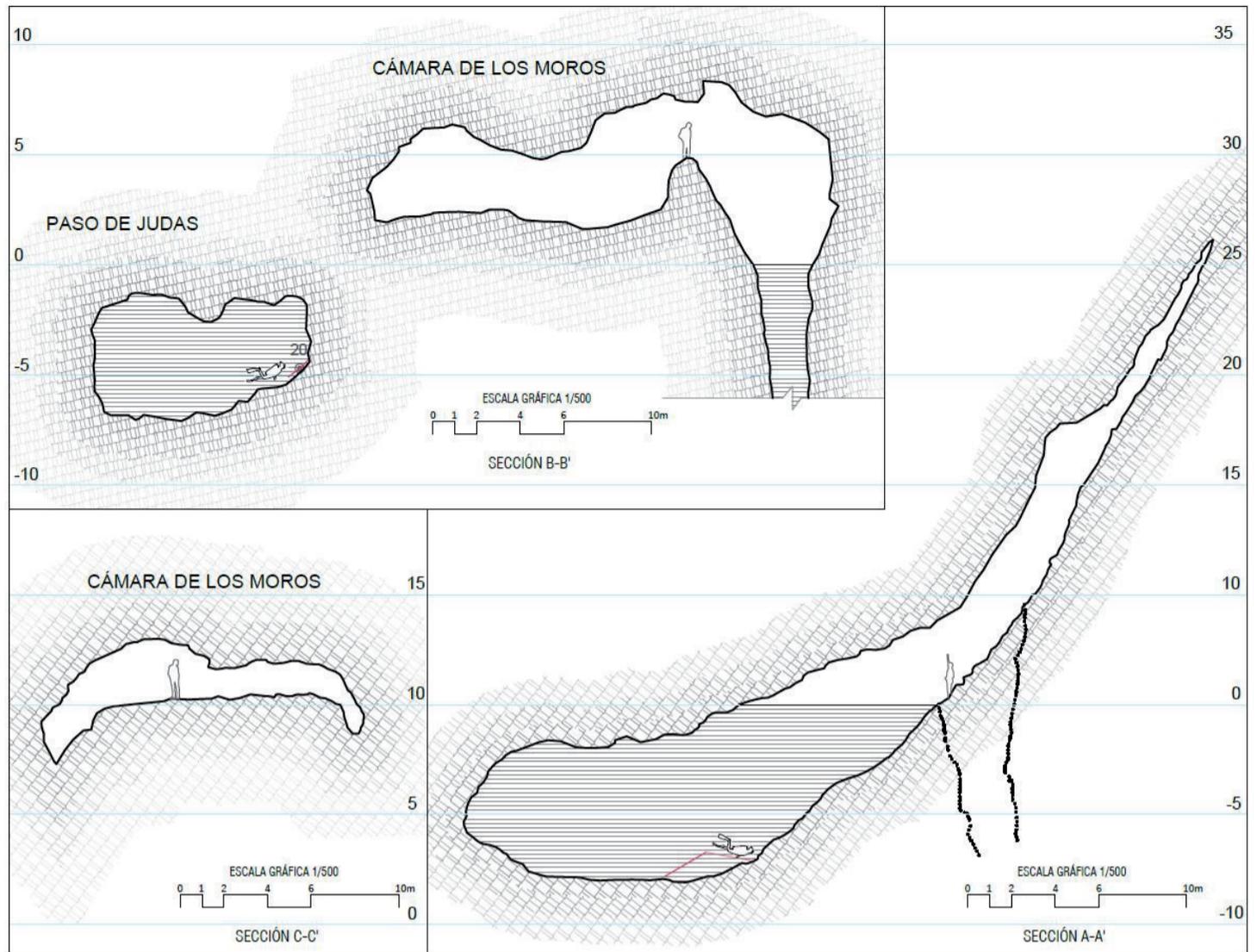


Figura 10. Plano realizado con Autocad con las diferentes secciones de la Sala de los Moros obtenida mediante topografía manual en la campaña 2020 del Proyecto IASCM (Imagen: Pablo Cantuel).

Durante la medición de campo, se realizó un croquis donde se anotaron todas las mediciones realizadas, así como se esbozaron y representaron los aspectos más característicos de la geometría de la sala aérea. La finalidad de esta observación fue levantar la geometría de la cámara, contextualizando el posible punto de aguada y documentar métricamente la morfología del terreno donde se encuentran los remanentes arqueológicos encontrados y denominados como Y-01, Y-02, Y-03 y Y-04 (fig. 10).

3.7. Métodos topográficos convencionales de superficie

Los métodos topográficos convencionales en superficie son una serie de técnicas que permite, mediante la utilización de distintos dispositivos electrónicos, levantar la superficie del terreno o diversos sucesos ocurridos sobre él.

En este caso, la campaña de campo de topografía convencional tuvo como objetivo enlazar todos los métodos mencionados y obtener la georreferenciación de los resultados. Ésta se dirigió en la observación directa de las coordenadas de una serie de vértices, marcados en el terreno mediante el empotramiento de clavos de acero que rodean la depresión de la entrada a la Cueva de Sa Gleda para ser usados como puntos fijos en el proceso de cálculo posterior de la red que compone el total de vértices hasta el punto 5000 o inicio de la poligonal que discurría hacia el entorno sumergido (fig. 3.3).

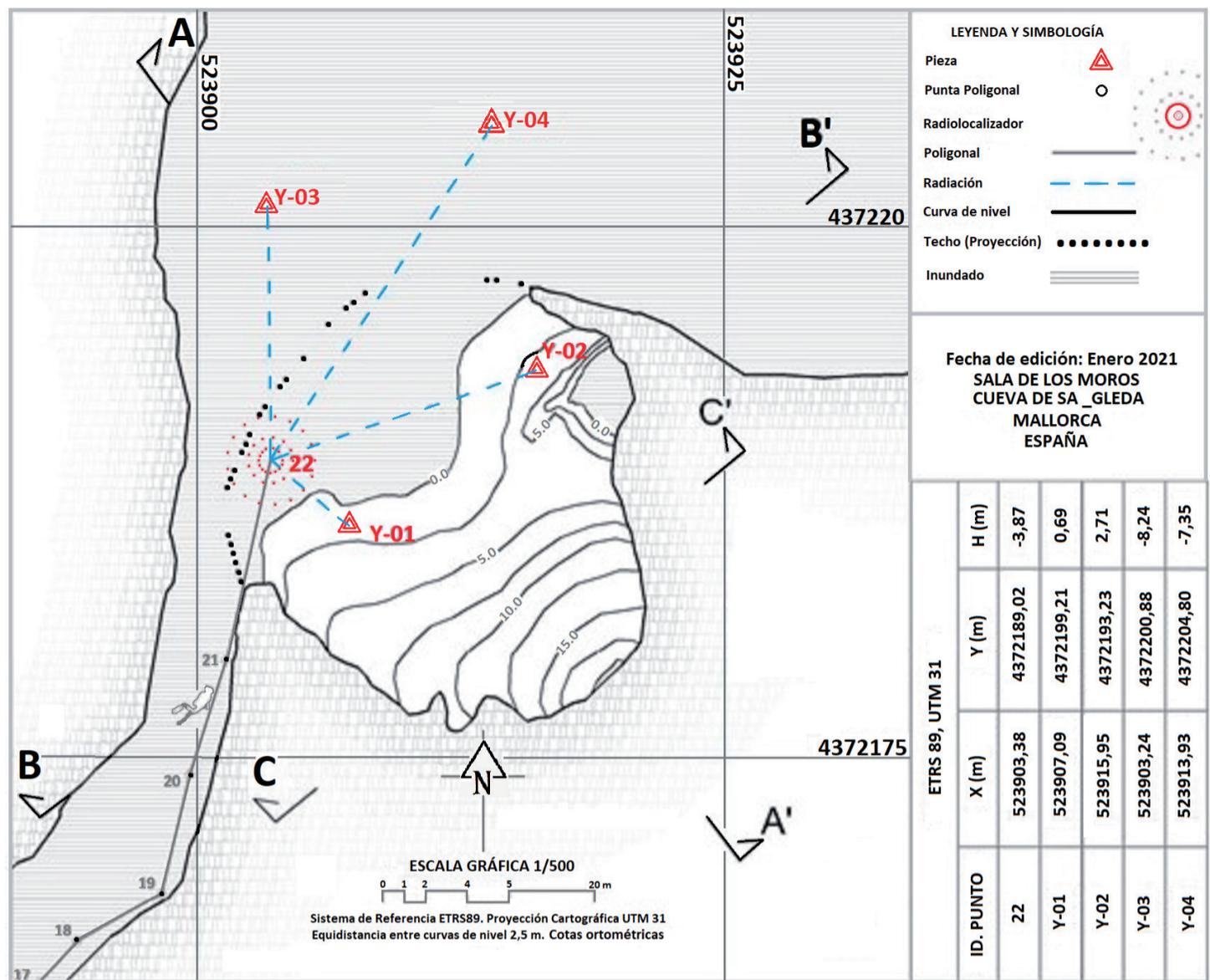


Figura 11. Topografía de la planta de la Sala de los Moros realizada con Autocad señalando la estación 22 del MNE-MO como punto de referencia para el cálculo de la dispersión cerámica (Imagen: Pablo Cantuel).

Para ello, se empleó un levantamiento RTK (*Real Time Kinematic*) de estas coordenadas usando un equipo GPS, marca Leica, modelo GS16, mediante el servicio de posicionamiento en tiempo real y diferencial GNSS (*Global Navigation Satellite System*), conectando con la Red Geodésica Nacional de Referencia de Estaciones Permanentes (ERGNSS por su nombre en inglés) facilitada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y mediante una solución VRS (Estaciones de Referencia Virtual, por su siglas en español) (Leica-Geosystems, 2020b) (fig. 3.2).

Asimismo, con la finalidad de conseguir las coordenadas georreferenciadas del final de la poligonal sumergida, se observó, con la misma metodología, el punto replanteado en superficie obtenido mediante la tecnología de radiolocalización Pinger, punto que correspondía a la vertical del punto 22 (fig. 10). La tabla 1 muestra las coordenadas de estos puntos observados con GPS en el sistema ETRS 89, proyección cartográfica UTM (*Universal Transverse Mercator*) para el huso 31 y altura ortométrica (con respecto al nivel medio del mar en Alicante), así como sus precisiones de la observación directa (tab. 1).

En cambio, para obtener la coordenada georreferenciada del punto 5000 o inicio de la poligonal sumergida, y debido a que la entrada al espacio sumergido se encuentra dentro de la cavidad y en este tipo de entornos los dispositivos GPS no son capaces de conectarse con los satélites, se utilizó una estación total topográfica, marca Leica modelo TS16, con una precisión angular de 1 segundo sexagesimal (1") y una precisión en la medida de distancias de un milímetro más 1.5 ppm (Leica-Geosystems, 2020a) (fig. 3.2). Gracias a ella,

se observó una red topográfica de vértices que partía de los puntos observados en superficie con tecnología GPS. Posteriormente, se hizo un levantamiento topográfico convencional georreferenciado por el método de radiación de puntos, que definían la geometría planimétrica y altimétrica de la entrada a la cavidad en el umbral con el entorno sumergido y que devolvían la cota del nivel del agua en el momento de la observación (fig. 1).

Por último, y con la finalidad de obtener las coordenadas georreferenciadas del final de la poligonal sumergida se observó, usando la misma metodología, el punto replanteado en superficie obtenido por el radiolocalizador Pinger, punto que correspondía a la vertical del punto 22 (fig. 10).

A partir de la utilización de estos métodos de topografía convencional de superficie, la poligonal que discurría por la cavidad tenía una mayor fidelidad, pues el inicio y el final de ésta habían sido observados con la suficiente precisión como para considerarlos puntos fijos en la posterior rutina de cálculo y obtener así una poligonal cerrada o comprobada. De este modo, los resultados se tensaron y, si las precisiones estaban por debajo de la tolerancia esperada, se podía asegurar la viabilidad geométrica del conjunto de los métodos empleados.

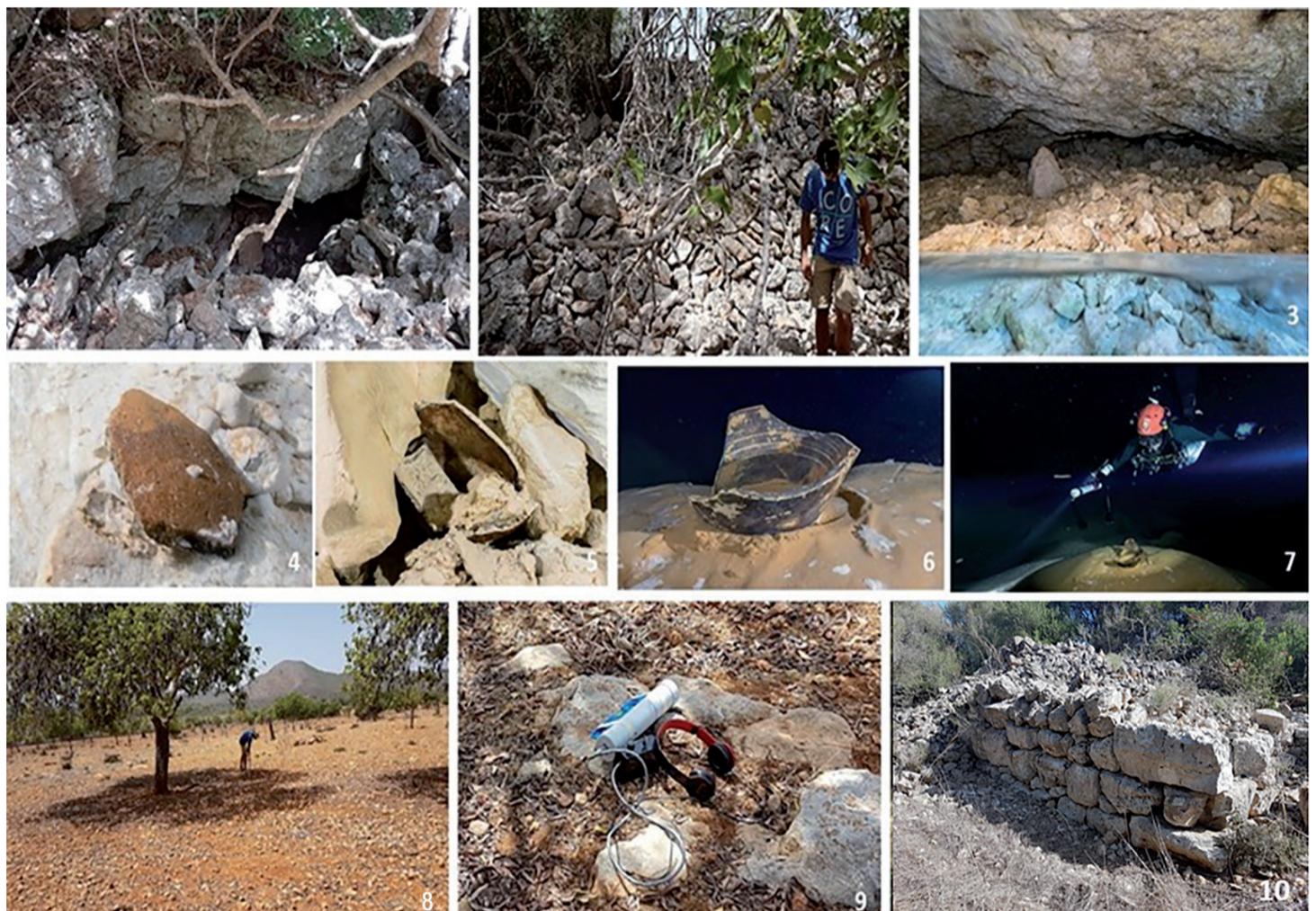


Figura 12. 12.1. Entrada terrestre obstruida por rocas que da acceso a la entrada secundaria a la cavidad denominada Sala de los Moros (Imagen: Manuel J. Fumás Soldevilla); 12.2. Acumulación de toneladas de piedra a causa de despedregar los campos agrícolas circundantes a la entrada a la Sala de los Moros (Imagen: Manuel J. Fumás Soldevilla); 12.3. Cámara aérea de la Sala de los Moros obstruida por el colapso y obstrucción rocosa de origen antrópico (Imagen: Florian Huber). 12.4. y 12.5. Restos de cerámica encontrados en la pendiente de derrumbe de la Sala de los Moros (Imagen: Florian Huber); 12.6 y 12.7. Resto cerámico encontrado en la Sala Francesc Ripoll, posiblemente un cántaro mallorquín producido entre el s. XVII y el s. XX d.C. (Imagen: Florian Huber); 12.8 y 12.9. Labores de localización de la señal del emisor y detalle del receptor del PINGER (Imagen: Manuel J. Fumás Soldevilla); 12.10. Detalles arquitectónicos del yacimiento arqueológico de Es Bosquets. Extraído de de la Carta arqueológica elaborada Gabinet d'Anàlisi Ambiental i Territorial del Ajuntament de Manacor (Gabinet d'Anàlisi Ambiental i Territorial., 2016).

Tabla 1. Coordenadas georreferenciadas en la superficie terrestre obtenidas por técnicas GPS para la obtención del punto 5000.

| COORDENADAS BASES ETRS 89, UTM 31 | | | | PRECISIONES MÁXIMAS | | |
|-----------------------------------|-------------|---------------|--------|---------------------|-------|-------|
| ID. PUNTO | X(m) | Y(m) | H(m) | px(m) | py(m) | pH(m) |
| 1005 | 523.694.385 | 4.372.101.325 | 35.335 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| 1004 | 523.693.899 | 4.372.102.355 | 35.304 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| 1003 | 523.690.479 | 4.372.097.823 | 36.089 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| 1002 | 523.694.685 | 4.372.099.998 | 35.337 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| 22* | 523.903.377 | 4.372.189.020 | -3.870 | 0,015 | 0,015 | 0,100 |

*22: La obtención de la cota ortométrica del punto 22 se ha obtenido gracias a que se conocía por otros métodos topográficos convencionales de superficie la cota ortométrica de la lámina de agua y la distancia vertical medida directamente en campo con cinta métrica entre el radiolocalizador y la lámina de agua.

4. RESULTADOS DEL CÁLCULO, OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEORREFERENCIADAS

Una vez finalizada la campaña de campo, con todos los archivos de las observaciones crudas de campo de los diferentes dispositivos utilizados, se procedió a establecer una rutina de cálculo con la finalidad de obtener los resultados del levantamiento topográfico georreferenciado efectuado, es decir, conseguir las coordenadas georreferenciadas de los puntos que definían el yacimiento.

El sistema de referencia elegido para la obtención de resultados fue el sistema de ETRS 89 (*European Terrestrial Reference System 1989*), la proyección cartográfica empleada la UTM para el huso 31 y la altura la referida al nivel medio del mar en Alicante (altitud ortométrica), debido a que es el sistema oficial de referencia utilizado en el territorio español.

Posteriormente y gracias al programa de cálculo topográfico Topcal 21, donde se introdujeron las observaciones de campo que componen la red entre los puntos observados con tecnología GPS en superficie y el inicio de la poligonal, punto 5000, observada por el método MNEMO y que corresponde al primer punto de la poligonal sumergida, se calcularon las coordenadas iniciales (mediante la herramienta del cálculo poligonal) y se compensaron (mediante la herramienta de cálculo de compensación mínimo cuadrática) las coordenadas de los puntos que definen dicha red. La tabla 2 muestra las coordenadas que componen la red, así como sus precisiones.

Gracias a este cálculo, se obtuvieron las coordenadas de inicio de la poligonal observada por el método del mapeo por hilo MNEMO (fig. 6). Debido a que las precisiones obtenidas tenían un orden bastante menor a las obtenidas por el dispositivo MNEMO, éstas se pudieron considerar puntos fijos en las posteriores rutinas de cálculo de la poligonal del entorno sumergido.

Por su parte, en el Ariane, *software* capaz de interpretar los datos crudos procedentes de los aparatos MNEMO y ENC2 (fig. 9), se exportaron los datos crudos de la observación realizada por ambos dispositivos al programa de hojas de cálculo Excel, en el cual se realizó un primer tratamiento de los datos. La finalidad era, primero, corregir los azimuts observados con respecto al norte magnético a azimuts orientados con respecto al norte

de la cuadrícula, a partir de la aplicación de la corrección por declinación magnética y la corrección por la convergencia de meridianos; segundo, obtener el ángulo vertical que comprende la visual con respecto a la vertical del lugar, tercero, transformar todos los valores angulares expresados en grados sexagesimales a grados centesimales, lo que mejoró las labores de cálculo; y cuarto, preparar las observaciones según la rutina de cálculo del programa Topcal21.

Tabla 2. Coordenadas georreferenciadas obtenidas por topografía clásica de superficie con estación total.

| RESULTADOS COORDENADAS RED SA GLEDA | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------|-------------|--------|-------------|-------|-------|----------------|
| COORDENADAS RED ERTS 89, UTM 31 | | | | PRECISIONES | | | EQUIPO |
| ID. PUNTO | X(m) | Y(m) | H(m) | px(m) | py(m) | pH(m) | |
| 1005 | 523694,385 | 4372101,325 | 35,335 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | GPS |
| 1004 | 523693,899 | 4372102,355 | 35,304 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | GPS |
| 1003 | 523690,479 | 4372097,823 | 36,089 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | GPS |
| 1002 | 523694,685 | 4372099,998 | 35,337 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | GPS |
| 1000 | 523736,730 | 4372117,036 | 5,668 | 0,059 | 0,052 | 0,04 | ESTACIÓN TOTAL |
| 1001 | 523697,848 | 4372104,076 | 34,604 | 0,008 | 0,008 | 0,004 | ESTACIÓN TOTAL |
| 5000 | 523747,072 | 4372113,998 | -0,270 | 0,062 | 0,065 | 0,045 | ESTACIÓN TOTAL |

La tabla 3 muestra las observaciones de ida y vuelta de la poligonal realizada por el método MNEMO, así como sus desviaciones. En ella, se puede apreciar que la desviación máxima de las observaciones azimutales asciende a 6.98 grados centesimales, 0.97 m para el caso de la distancia geométrica y 2.81 grados centesimales para el caso del ángulo vertical. Con ello, se dieron por buenas las observaciones de campo y se introdujeron las mismas en el programa de cálculo topográfico Topcal 21.

Para el cálculo de las coordenadas compensadas de los vértices que componen la poligonal observada con el aparato MNEMO, se introdujeron como puntos fijos los puntos 5000 y 22, obtenidos por metodología GPS en superficie, así como todas las observaciones de campo realizadas con el MNEMO. Primero, se lograron las coordenadas iniciales de todos los vértices de la poligonal y, posteriormente, se ajustaron mediante la herramienta de compensación mínimo-cuadrática, dejando como puntos fijos los puntos 5000 (inicio de la poligonal) y 22 (fin de la poligonal), de manera que se obtuvieron las coordenadas georreferenciadas compensadas y las precisiones *a posteriori* de los puntos que componen la poligonal (fig. 14). La tabla 4 muestra esas coordenadas georreferenciadas que componen la poligonal y las precisiones de los 22 puntos que la definen.

El error máximo global cometido, el cual tenía en cuenta esta rutina de cálculo representado por la precisión, ascendía a 1.04 m para la coordenada X, 1.77 m para la coordenada Y y a 0.09 m para la altura ortométrica H.

Al igual que se operó con las observaciones de campo procedentes de la poligonal cerrada por el método MNEMO, se procedió a hacer lo mismo con las procedentes de la observación del ENC2. Estas solo representaban una poligonal de ida y la visualización inicial en el programa Ariane constató que dichas coordenadas presentaban unas desviaciones mayores que con el método MNEMO. Por ello, estas coordenadas no han sido introducidas en el procedimiento de cálculo y solo han servido, en líneas generales, para la comprobación de los resultados obtenidos por el resto de los métodos.

Tabla 3. Observaciones de campo de la poligonal de ida y vuelta realizadas con el dispositivo MNEMO y desviaciones entre la poligonal de ida y vuelta.

| POLIGONAL IDA VUELTA ESPACIO SUMERGIDO | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|---------|--------|----------------------------|----------|----------|---------|--------|-------------------|------------------|-----------------|
| OBSERVACIONES MNEMO IDA | | | | | OBSERVACIONES MNEMO VUELTA | | | | | DESVIACIONES | | |
| ID. EST. | ID. VIS. | Az (GON) | V (GON) | Dg (m) | ID. EST. | ID. VIS. | Az (GON) | V (GON) | Dg (m) | ΔAz (GON) | ΔV (GON) | ΔDg (m) |
| 5000 | 2 | 128,42 | 125,85 | 18,91 | 2 | 5000 | 323,94 | 72,72 | 18,48 | 4,48 | 1,43 | 0,43 |
| 2 | 3 | 146,31 | 108,86 | 17,31 | 3 | 2 | 344,16 | 90,73 | 16,34 | 2,15 | 0,41 | 0,97 |
| 3 | 4 | 136,31 | 108,04 | 6,59 | 4 | 3 | 333,11 | 92,85 | 7,23 | 3,20 | 0,89 | 0,64 |
| 4 | 5 | 78,70 | 109,51 | 7,66 | 5 | 4 | 278,61 | 90,09 | 7,87 | 0,09 | 0,40 | 0,21 |
| 5 | 6 | 72,42 | 102,72 | 16,18 | 6 | 5 | 273,78 | 97,57 | 16,28 | 1,35 | 0,29 | 0,10 |
| 6 | 7 | 395,70 | 105,69 | 17,47 | 7 | 6 | 190,66 | 94,11 | 17,21 | 5,04 | 0,20 | 0,26 |
| 7 | 8 | 75,15 | 101,56 | 11,44 | 8 | 7 | 271,28 | 99,00 | 11,44 | 3,87 | 0,56 | 0,00 |
| 8 | 9 | 79,70 | 93,43 | 4,56 | 9 | 8 | 274,89 | 106,28 | 4,57 | 4,81 | 0,29 | 0,01 |
| 9 | 10 | 32,03 | 95,38 | 6,76 | 10 | 9 | 225,05 | 104,01 | 6,83 | 6,98 | 0,61 | 0,07 |
| 10 | 11 | 43,81 | 102,77 | 9,90 | 11 | 10 | 239,66 | 97,51 | 9,97 | 4,15 | 0,28 | 0,07 |
| 11 | 12 | 59,48 | 98,55 | 19,26 | 12 | 11 | 261,44 | 101,22 | 19,33 | 1,96 | 0,24 | 0,07 |
| 12 | 13 | 61,42 | 97,76 | 33,81 | 13 | 12 | 268,55 | 102,27 | 33,91 | 7,13 | 0,03 | 0,10 |
| 13 | 14 | 170,81 | 91,09 | 9,39 | 14 | 13 | 377,78 | 107,17 | 9,34 | 6,96 | 1,74 | 0,05 |
| 14 | 15 | 111,65 | 82,61 | 10,86 | 15 | 14 | 305,78 | 116,25 | 12,71 | 5,87 | 1,14 | 1,85 |
| 15 | 16 | 56,09 | 85,53 | 9,14 | 16 | 15 | 260,89 | 114,93 | 8,95 | 4,80 | 0,46 | 0,19 |
| 16 | 17 | 38,98 | 121,23 | 1,65 | 17 | 16 | 236,61 | 80,60 | 1,46 | 2,37 | 1,83 | 0,19 |
| 17 | 18 | 46,09 | 95,32 | 2,86 | 18 | 17 | 247,89 | 107,49 | 2,47 | 1,80 | 2,81 | 0,39 |
| 18 | 19 | 64,53 | 101,46 | 4,79 | 19 | 18 | 269,94 | 98,72 | 4,47 | 5,41 | 0,18 | 0,32 |
| 19 | 20 | 17,53 | 95,32 | 5,85 | 20 | 19 | 211,61 | 104,43 | 5,75 | 5,93 | 0,25 | 0,10 |
| 20 | 21 | 20,87 | 77,11 | 5,77 | 21 | 20 | 218,83 | 121,56 | 6,11 | 2,04 | 1,33 | 0,34 |
| 21 | 22 | 7,98 | 98,18 | 8,77 | 22 | 21 | 214,57 | 101,75 | 8,39 | 6,59 | 0,07 | 0,38 |
| DESVIACIONES MEDIAS | | | | | | | | | | 4,14 | 0,73 | 0,32 |

Tabla 4. Coordenadas georreferenciadas compensadas de la poligonal cerrada interior de la cueva de Sa Gleda.

| POLIGONAL MNEMO | | | | PRECISIONES | | |
|---------------------|-------------|---------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ID. PUNTO | X(m) | Y(m) | H(m) | P _X (m) | P _Y (m) | P _H (m) |
| 5000 ⁽¹⁾ | 523.747.072 | 4.372.113.998 | -0,270 | 0,065 | 0,045 | 0,045 |
| 2 | 523762,72 | 4372107,16 | -7,71 | 0,02 | 0,66 | 0,03 |
| 3 | 523775,34 | 4372096,29 | -10,10 | 0,20 | 1,19 | 0,04 |
| 4 | 523781,21 | 4372092,74 | -10,92 | 0,16 | 1,17 | 0,06 |
| 5 | 523788,46 | 4372095,27 | -12,10 | 0,25 | 1,21 | 0,02 |
| 6 | 523803,25 | 4372101,92 | -12,75 | 0,37 | 1,08 | 0,05 |
| 7 | 523801,41 | 4372119,07 | -14,33 | 0,29 | 0,87 | 0,04 |
| 8 | 523811,84 | 4372123,74 | -14,56 | 0,43 | 1,19 | 0,09 |
| 9 | 523816,09 | 4372125,33 | -14,10 | 0,49 | 1,35 | 0,08 |
| 10 | 523819,03 | 4372131,43 | -13,64 | 0,81 | 1,55 | 0,04 |
| 11 | 523825,08 | 4372139,29 | -14,05 | 1,04 | 1,77 | 0,06 |

Tabla 4. (cont.).

| POLIGONAL MNEMO | | | | PRECISIONES | | |
|---------------------|-----------|------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ID. PUNTO | X(m) | Y(m) | H(m) | P _X (m) | P _Y (m) | P _H (m) |
| 12 | 523840,76 | 4372150,52 | -13,64 | 0,84 | 1,55 | 0,03 |
| 13 | 523869,57 | 4372168,17 | -12,44 | 0,19 | 0,04 | 0,04 |
| 14 | 523873,21 | 4372159,64 | -11,26 | 0,28 | 0,23 | 0,09 |
| 15 | 523884,48 | 4372158,14 | -8,19 | 0,70 | 0,17 | 0,05 |
| 16 | 523891,47 | 4372163,48 | -6,12 | 0,83 | 0,16 | 0,06 |
| 17 | 523892,27 | 4372164,67 | -6,71 | 0,74 | 0,24 | 0,01 |
| 18 | 523894,06 | 4372166,63 | -6,46 | 0,63 | 0,42 | 0,05 |
| 19 | 523898,08 | 4372168,91 | -6,56 | 0,59 | 0,67 | 0,07 |
| 20 | 523899,39 | 4372174,54 | -6,14 | 0,31 | 0,65 | 0,05 |
| 21 | 523901,10 | 4372179,86 | -4,11 | 0,29 | 0,45 | 0,05 |
| 22(1) | 523902,63 | 4372188,39 | -3,87 | 0,71 | 0,71 | 0,04 |
| PRECISIONES MÁXIMAS | | | | 1,04 | 1,77 | 0,09 |

(1) Puntos observados por topografía de superficie ya sea mediante topografía clásica (estación total + GPS) o por radiolocalización (PINGER + GPS)

Por otro lado, las observaciones de campo realizadas en la radiación topográfica manual de la Sala de los Moros, una vez corregido el ángulo horizontal de magnetismo y convergencia, fueron introducidas en una rutina de cálculo, utilizando las fórmulas de la trigonometría plana, para pasar de las coordenadas polares de campo a coordenadas cartesianas georreferenciadas (fig. 10). La Tabla 5 muestra las distancias y los azimuts obtenidos para el cálculo de las coordenadas de cada uno de los restos arqueológicos encontrados (fig. 12.4, 12.5).

Tabla 5. Cálculo trigonométrico de la dispersión cerámica a través del método de radiación de topografía manual aplicada en la Sala de los Moros.

| Pieza | Cateto A (Prof.m) | Hipotenusa (m) | Azimut | Cateto B (m) | Coord. X (m) | Coord. Y(m) | H (m) |
|-------|-------------------|----------------|--------|--------------|--------------|-------------|-------|
| Y-01 | 0,6 | 5 | 105° | 4,963869458 | 523907,09 | 4372199,21 | 0,69 |
| Y-02 | 2,5 | 14 | 60° | 13,77497731 | 523915,95 | 4372193,23 | 2,71 |
| Y-03 | -5,3 | 12 | 350° | 10,76615066 | 523903,24 | 4372200,88 | -8,24 |
| Y-04 | -4,4 | 20 | 40° | 19,50999744 | 523913,93 | 4372204,8 | -7,35 |

Este método permite levantar los puntos que representan cada uno de los restos arqueológicos localizados y, con ello, obtener una documentación georreferenciada de éstos. Teniendo en cuenta los dispositivos utilizados, el rango de distancias y las condiciones de observación se debe mencionar que el error máximo local tridimensional para cualquier punto levantado no debe superar los 1.5 m. Todas las coordenadas obtenidas en el método de cálculo fueron importadas al programa de dibujo asistido por ordenador Autocad y con la ayuda de los croquis de campo se procedió a la edición de cartografía de las poligonales, de la entrada a la cavidad y de la cámara aérea de la Sala de los Moros (fig. 14).

5. DISCUSIÓN SOBRE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL PROYECTO

La intervención empírica ejecutada en la cueva de Sa Gleda-Camp des Pou tuvo la intención de experimentar el comportamiento de los distintos métodos técnicos documentales en lo referente a su precisión, tiempos de empleo y comportamiento de los diferentes dispositivos electrónicos, así como hacer una revisión arqueológica de los restos cerámicos remanentes tanto en las galerías sumergidas de acceso (fig. 12.6), como en la antigua entrada a la cueva, denominada la Sala de los Moros, hoy completamente colapsada por rocas (figs. 12.1, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5).

El trabajo experimentado y expuesto en el presente artículo nos ha permitido generar una planificación prospectiva empírica, extrapolable a cualquier cavidad cárstica sumergida, gracias a la composición y correlación de las diferentes metodologías de campo y gabinete iniciadas para conseguir tanto el levantamiento georreferenciado del yacimiento como las coordenadas que definen el trayecto desde la entrada a la cavidad hasta la Sala de los Moros. Para ello se adjunta un organigrama metodológico de las fases a realizar para la obtención de resultados óptimos en la consecución de un proyecto arqueológico prospectivo riguroso en cavidades sumergidas (fig. 13).

Sin duda, la geometría de la cueva, la longitud de observación y las condiciones espaciales del entorno y de la cavidad condicionan la metodología a emplear. El estudio realizado en Sa Gleda, desde su entrada hasta nuestro punto 22 final, comprende una cavidad sumergida con entrada, pero sin salida próxima al exterior; por ello, el conjunto de metodologías empleadas contemplaba la utilización de sistemas de radiolocalización entre puntos sumergidos de la cavidad, su replanteo en superficie y su toma de datos con equipos GPS.

El propósito de obtener las coordenadas finales de la línea MNEMO fue calcular una poligonal cerrada capaz de ser comprobada mediante el cálculo de errores o desviaciones de cada uno de los puntos que la componen y, con ello, validar los resultados. Ahora bien, si la cavidad hubiera tenido alguna salida al exterior, el método de radiolocalización podría haber sido suprimido y remplazado por la obtención de ese punto final mediante topografía convencional de superficie.

Pese a ello, el método de radiolocalización, integrado con la utilización de equipos GPS en superficie, se hace imprescindible en poligonales subacuáticas de mayor longitud, puesto que permite obtener un control de los resultados obtenidos, ya sea ubicando la posición del punto final de la poligonal o la posición de puntos intermedios, de manera que se aumentan el número de ecuaciones en el procedimiento de cálculo y se reducen los inevitables errores accidentales producidos en la observación (fig. 14).

Las rutinas de cálculo combinadas arrojan un error máximo global de la poligonal que asciende a 1.04 m para la coordenada X, 1.77 m para la coordenada Y y 0.09 para la coordenada H o altura con respecto al nivel del mar. Teniendo en cuenta las características técnicas de los dispositivos utilizados para la observación, los resultados arrojan una desviación típica *a posteriori* superiores a uno, lo que quiere decir que los resultados obtenidos son peores de lo esperado.

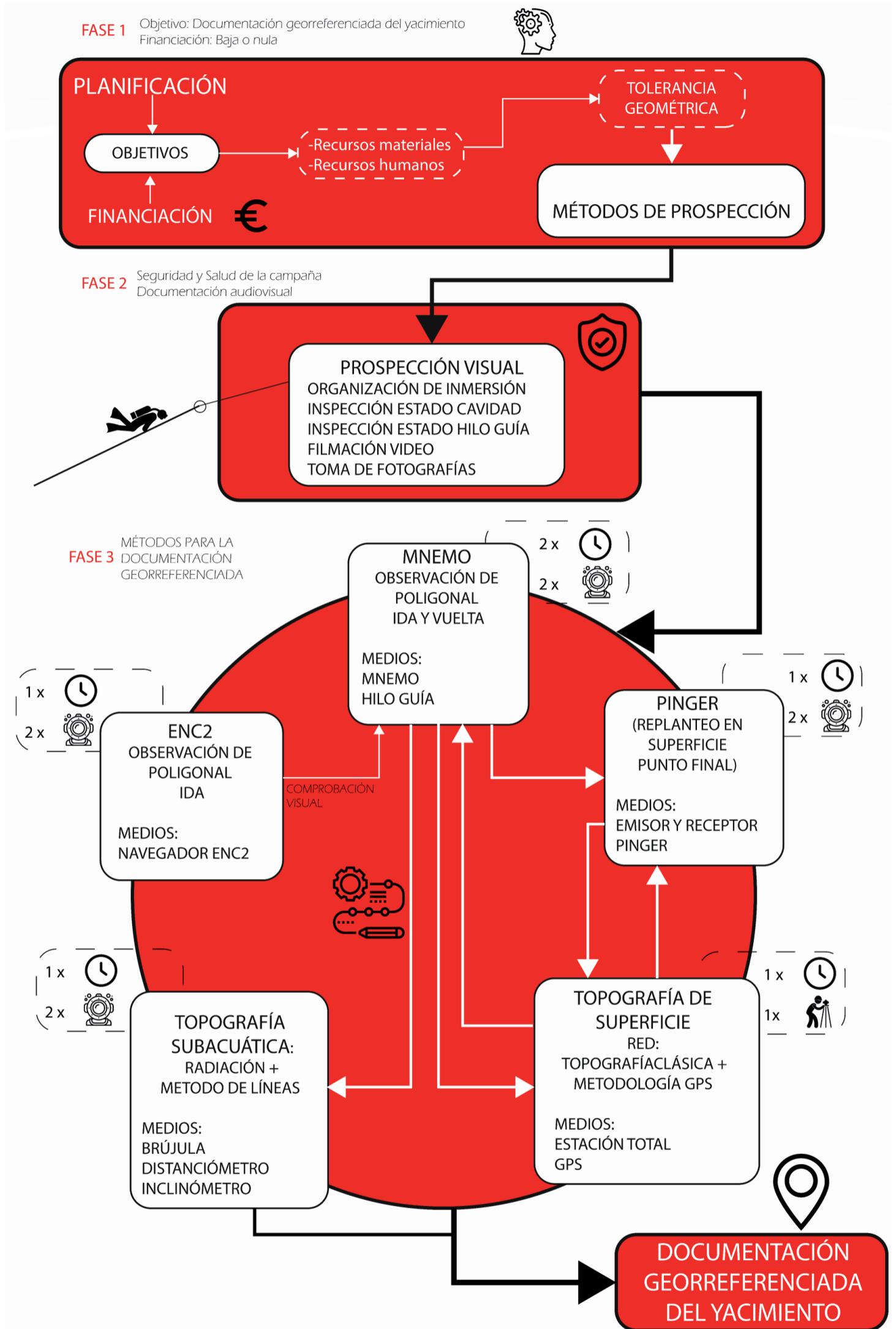


Figura 13. Organigrama metodológico de las fases a realizar para la obtención de resultados óptimos para la consecución de un proyecto arqueológico prospectivo riguroso en cavidades sumergidas.

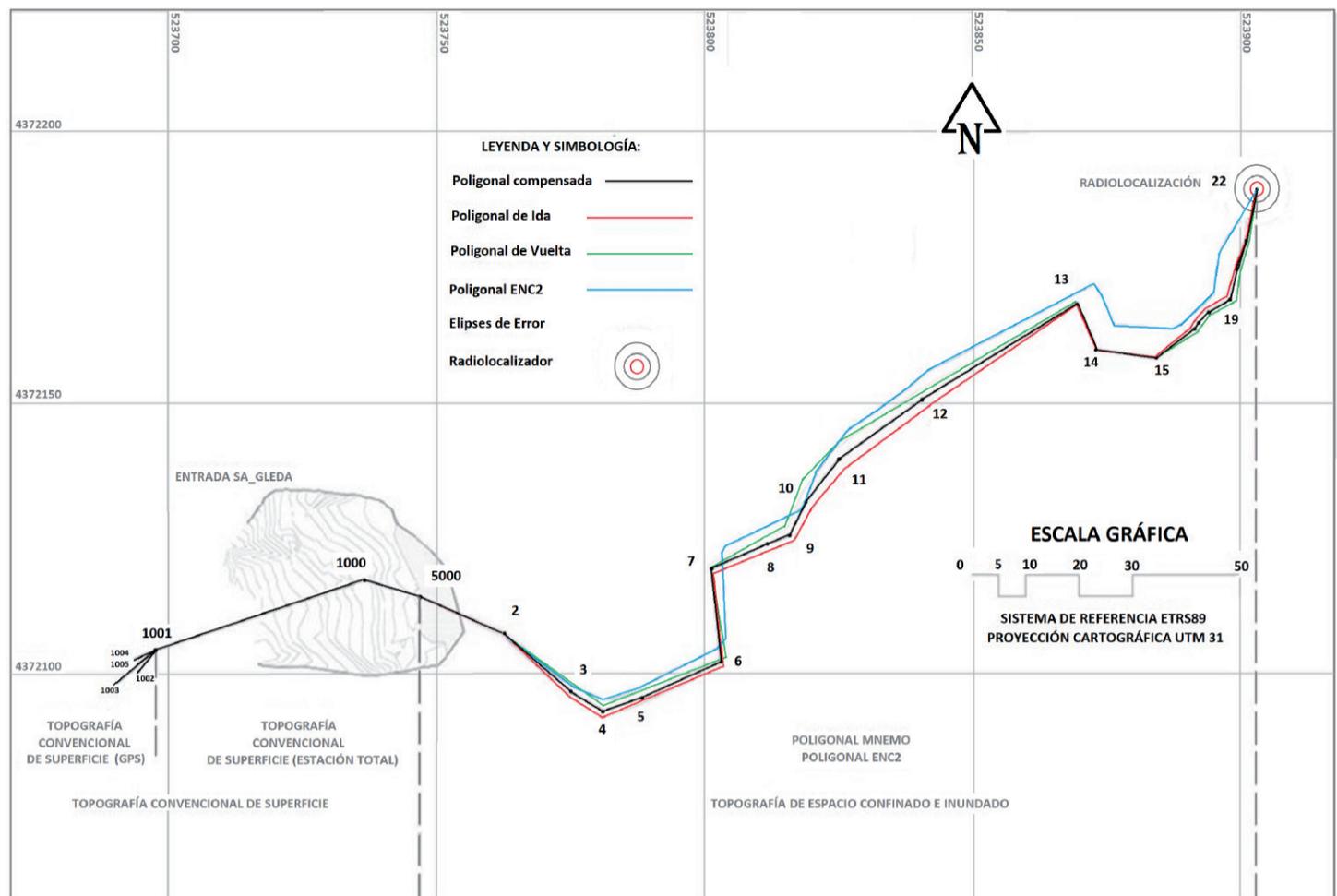


Figura 14. Representación de los puntos en superficie obtenidos por GPS diferencial y estación total y estudio topográfico de la poligonal cerrada en la parte sumergida, realizado a través del estudio de los diferentes dispositivos de mapeo junto con sistemas de radiolocalización (Imagen: Pablo Cantuel).

En nuestro caso, y para el fin que son requeridos en la campaña, se dan por válidos los resultados, pero se ha de indicar que, si se necesitase precisiones de orden menor, se podría observar una poligonal densificada por el método MNEMO. En otras palabras, una red interior capaz de compensarse a sí misma, mediante la formación de triángulos entre los puntos que la componen. Con ello, se aumentarían las ecuaciones de observación del procedimiento de cálculo y se podrían disminuir los errores y las precisiones al actuar la compensación.

6. CONCLUSIÓN

La definición más habitual sobre prospección arqueológica subacuática es la de un conjunto de trabajos de campo y laboratorio dirigidos a la búsqueda y el estudio de yacimientos sumergidos sin remoción del terreno (León, 2003). En este caso, la definición más acertada y que defiende el presente artículo sobre los trabajos realizados sería la de prospección topográfica aplicada a la arqueología subacuática en cavidades sumergidas, entendida ésta como un método exhaustivo y riguroso en la georreferenciación, tanto interna (subterránea) como externa (superficial), de cualquier resto arqueológico remanente. Por otro lado, este tipo de prospección debe ser considerada como un paso previo a cualquier otro tipo de intervención arqueológica intrusiva dentro de la cavidad y como un método de contextualización del yacimiento con su entorno inmediato y global.

Sin lugar a dudas, este tipo de prospección crea sinergias entre la investigación histórica-arqueológica clásica y la investigación técnica-metodológica, con el fin de crear

una simbiosis entre ellas que permita discernir y escoger entre diferentes técnicas prospectivas según los objetivos marcados, la tolerancia topográfica asumible, la morfología de la cavidad y el entorno arqueológico que se estudie. La gran dificultad logística, económica y humana en la consecución de datos en el interior de una cavidad sumergida debe hacernos reflexionar sobre los diferentes métodos utilizadas para georreferenciar el registro arqueológico de un yacimiento sumergido.

El presente trabajo demuestra la posibilidad de alcanzar un método topográfico viable y relativamente económico que logre georreferenciar no solo el yacimiento arqueológico sumergido en una cavidad, sino también la dispersión de material remanente en él. Para ello, se contempla en esta exposición un método donde el cálculo comparativo entre un sistema de mapeo por hilo y un sistema de radiolocalización tengan un porcentaje de coincidencia elevado, lo cual verificará la consecución de unas coordenadas rigurosamente aproximadas.

La conclusión más relevante de esta investigación es que ningún método puede considerarse completamente verídico y fiable y, por ello, han de utilizarse diferentes métodos de observación que puedan ser comparados entre ellos y, a la vez, contrastados sus resultados.

Los dispositivos de radiolocalización, el mapeo por GPS del ENC2 y la topografía convencional de superficie aplicados a la prospección subacuática presentan diferentes carencias que por sí mismas no pueden ser paliadas, pero que ofrecen resultados óptimos de menor exactitud en su medición. Cabe añadir que el sistema de mapeo por hilo MNEMO resulta el método más eficaz y viable, siempre y cuando se obtenga el mapeo de ida y de vuelta correcto y no se modifique el trazado del hilo guía. Además, este método puede someterse a un cálculo compensado, mediante la obtención de las coordenadas de los puntos de inicio y final de la poligonal, con una elevada precisión, ya sea solo con la topografía convencional de superficie o combinada con el método de radiolocalización.

Por otra parte, gracias a estas observaciones y al conocimiento de estas coordenadas se pueden identificar y georreferenciar los puntos de aguada ocultos, extrapolar este cálculo a un esquema de racionalidad espacial que nos permita conocer más sobre las rutas utilizadas por los antiguos pobladores talayóticos, complementando, de este modo, la investigación histórica con un posterior estudio cerámico analítico de los restos sumergidos en las distintas zonas de la cavidad y comparándolos con los ubicados en los yacimientos terrestres circundantes.

Financiación y agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación denominado IASCM (Investigación Arqueológica Subacuática en las Cuevas de Mallorca) con número de referencia 0337SET2019ARQ.242-19. Alcudia. La realización del proyecto se llevó a cabo a través de autofinanciación con el aval económico de las entidades Submaris y SONARS (Asociación Nacional de Arqueología Subacuática) y de una microfinanciación colectiva. La investigación se engloba dentro del marco de la tesis doctoral “Técnicas y metodologías aplicadas a la arqueología subacuática en cavidades sumergidas”, con referencia PIN00111994, de la Universidad de Cádiz (UCA).

BIBLIOGRAFÍA

- Aramburu-Zabala, J. (2018) *Inventario arqueológico de Mallorca*. Manacor. Accesible en: <https://bit.ly/3JF8kQs> (Consultado: 24 septiembre 2021).
- Billaud, Y. (2009) "Archéologie, spéléologie et plongée: gisements et vestiges en karst noyé", *Spélunca Mémoires*, 34, pp. 193-202.
- Bonomo, M. F., Lowry, J. P., Tykot, R. H. y Gifford, J. A. (2014) "An exploratory non-destructive provenance analysis of two middle archaic greenstone pendants from Little Salt Spring, Florida, USA", *Geoarchaeology*, 29 (2), pp. 121-137. <https://doi.org/10.1002/gea.21470>
- Calvo, M.A. (2009) "Reflexiones en torno a los esquemas de racionalidad espacial reflejados en el paisaje durante la Prehistoria de Mallorca", *Pyrenae: revista de prehistòria i antiguitat de la Mediterrània Occidental*, 40 (2), pp. 37-78.
- Campbell, P.B. (2018a) "An introduction to archaeology in underwater caves", en Campbell, P. B. (ed.) *The archaeology of underwater caves*. Southampton: Highfield Press, pp. 5-25.
- Campbell, P.B. (2018b) "Future Directions in Underwater Cave Research", en Campbell, P. B. (ed.) *The archaeology of underwater caves*. Southampton: Highfield Press, pp. 287-293.
- Clark, P.U., Dyke, A., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J.X., Hostetler, S. W. y McCabe, A.M. (2009) "The last glacial maximum", *Science*, 325 (5941), pp. 710-714. <https://doi.org/10.1126/science.1172873>
- Clottes, J., Courtin, J., Valladas, H., Cachier, H., Mercier, N. y Arnold, M. (1992) "La grotte Cosquer datée", *Bulletin de la Société préhistorique française*, 89 (8), pp. 230-234. <http://dx.doi.org/10.3406/bspf.1992.9527>
- Dávila, F.J. y Camacho, E. (2012) "Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de archivos y cartotecas", *Revista catalana de geografia*, XVII, 46, pp. 1-9. <https://bit.ly/3iviDLO> (Consultado: 5 octubre 2021).
- Fernández, W.D. (2008) "Calidad de datos en levantamientos topográficos", *Revista de Topografía AZIMUT*, 2, pp. 5-17. <https://bit.ly/3JCyLpV> (Consultado: 5 octubre 2021).
- Fernández, R., Baquero, J.C., Lorca, D. y Verdejo, J. (2006) "Acuíferos kársticos costeros. Introducción a su conocimiento", en López-Geta, J. A., Gómez, J. D., Ramos, G. y Rodríguez, L. (eds.) *Coastal aquifers intrusion technology: mediterranean countries*. Madrid: IGME, pp. 3-30.
- Flemming, N.C. (coord.) (2014) *Land beneath the waves: submerged landscapes and sea level change*. Ostend: European Marine Board.
- Fumás, M.J. (2022) "Métodos y técnicas de prospección topográfica aplicada a la arqueología en cavidades cársticas sumergidas con visibilidad cero. El Proyecto Falconera", *Revista Atlántica-mediterránea*, 24, pp. 61-86. https://doi.org/10.25267/rev_atl-mediterr_prehist_arqueol_soc.2022.v24.05
- Gabinet d'Anàlisi Ambiental i Territorial (2016) *Adaptació del Catàleg dels Centres d'Interès Cultural de Manacor al PTM*. Volum 13. Jaciments Arqueològics (III). Ajuntament de Manacor.
- Giménez, J., Barón, A., Comas, M., González, C., Garau, J., Beibas, O., Oliver, M. y Nadal, F.X. (2014) "Hidrogeología de les Illes Balears: Les Masses d'aigua càrstiques", *Endins: publicació d'espeleologia*, 36, pp. 9-26.
- Ginés, A., Ginés, J., Gómez-Pujol, L., Onac, B. P y Fornós, J.-J. (2012) "An introduction to the quaternary of Mallorca", *Monografies de la Societat d'Historia Natural de les Balears*, 18, pp. 13-53.
- Gràcia, F. (2015) *Les cavitats subaquàtiques de les zones costaneres del Llevant i Migjorn de Mallorca*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears. Dpto. de Geografia. Accesible en: <http://hdl.handle.net/11201/148955> (Consultado: 26 octubre 2021).
- Gràcia, F., Clamor, B., Gracia, P., Merino, A., Vega, P. y Mulet, G. (2001) "Notícia preliminar del jaciment arqueològic de la font de ses Aiguades. Alcúdia, Mallorca", *Endins: publicació d'espeleologia*, 24, pp. 59-73.
- Gràcia, F., Fornós, J.J., Clamor, B., Febrer, M. y Gamundí, P. (2007) "La cova de sa Gleda. I. Sector clàssic, sector de ponent i sector cinc-cents: Manacor, Mallorca : geomorfologia, espeleogènesi, sedimentologia i hidrologia", *Endins: publicació d'espeleologia*, 31, pp. 43-96.

- Gràcia, F., Clamor, B., Gamundí, P. y Fornós, J.J. (2010) "El sistema de cavitats Gleda - Camp des Pou (Manacor, Mallorca)", *Endins: publicació d'espeleologia*, 34, pp. 35-68.
- Gràcia, F., Clamor, B., Gamundí, P., Fornós, J.J. y Watkinson, P. (2011) "Cavitats subaquàtiques de la Franja Litoral de Mallorca", *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 17, pp. 103-132.
- Gràcia, F., Clamor, B., Gamundí, P., Cirer, A., Fenández, J. F., Fornós, J.J., Ginés, À., Ginés, J., Uriz, M.J., Munar, S., Vicenç, D., Ginard, A., Betton, N., Vives, M.À., Jaume, D., Mas, G., Perelló, M.À., Cardona, F. y Timar-Gabor, A. (2014) "Es Dolç (Colònia de Sant Jordi, ses Salines, Mallorca). Cavitat litoral amb influències hipogèniques", *Endins: publicació d'espeleologia*, 36, pp. 69-96.
- Gràcia, F., Cirer, A., Lázaro, J.C., Fernández, J.F., Clamor, B., Mascaró, G., Pérez, J., Fornós, J.J., Ansaladi, D., Bornemann, D, Franglen, N., Granell, Á., Gamundí, P. y Enseñat, J. J. (2020) "Sistema Gleda-Camp des Pou (Manacor, Mallorca): estat de la qüestió", *Papers de la Societat Espeleològica Balear*, 3, pp. 1-32.
- Green, J.L. (2016) "Chronocline variation and sexual dimorphism in *Mammuth americanum* (American mastodon) from the Pleistocene of Florida", *The Bulletin of the Florida Museum of Natural History*, 46 (2), pp. 29-59.
- Gregory, D. y Manders, M. (eds.) (2015) *Guideline manual 2*. Amersfoort: SASMAP.
- Guerrero, V.M. (1996) "El poblamiento inicial de la isla de Mallorca", *Complutum*, 6 (1), pp. 83-104.
- Harbowo, D.G., Alouw, S., Gerungan, T., Soetamanggala, G. y Gerungan, A. (2017) "Stiva cave: a new discover of prehistoric hominid underwater cave", *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 2 (2), pp. 137-140. <https://doi.org/10.24273/jgeet.2017.2.2.300>
- Huber, F. (2014) "Tauchgang in die Totenwelt: Prospektions- und Dokumentationsmethoden Tauchgang in die Totenwelt", en Hubert, F. y Kleingärtner, S. (eds.) *Gestrandet - versenkt - versunken: Faszination Unterwasserarchäologie*. Neumünster: Wachholtz, pp. 366-391.
- Kister, S. (2017) MNEMO User guide v. 1.6. Accesible en: <https://bit.ly/3584sbx> (Consultado: 3 noviembre 2021).
- Leica-Geosystems. (2020a) Estación total Leica TS16. Accesible en: <https://bit.ly/3ujDCpy> (Consultado: 3 noviembre 2021).
- Leica-Geosystems. (2020b) Leica Viva GS16 Especificaciones Técnicas. Accesible en: <https://bit.ly/3JE6j7b> (Consultado: 3 noviembre 2021).
- León, C. (2003) "Metodología de la arqueología subacuática", *Monte Buciero*, 9, pp. 109-125.
- Manning, C.D. y Schütze, H. (1999) *Foundations of statistical natural language processing*. Londres: MIT.
- Marlasca, R. y López, J.M. (2014) "Aprovisionamiento de agua y culto en la prehistoria pitiusa", *Treballs del Museu Arqueològic d'Eivissa e Formentera*, 72, pp. 397-410.
- Pachas, R. (2009) "El levantamiento topográfico: uso del GPS y estación total", *Academia*, 8 (16), pp. 29-45.
- Ramis, D. y Santandreu, G. (2011) "Arqueologia de les caveres de les Illes Balears", *Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 17, pp. 317-332.
- Ramis, D., Alcover, J.A., Coll, J. y Trias, M. (2002) "The chronology of the first settlement of the Balearic Islands", *Journal of Mediterranean Archaeology*, 15 (1). <https://doi.org/10.1558/jmea.v15i1.3>
- Riera, M., Sánchez, M.L., Fàbregues, M. y García, E. (2004) "Dues inscripcions d'època antiga de l'illa de Cabrera (arxipèlag de Cabrera, Illes Balears)", *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana: Revista d'estudis històrics*, 60, pp. 325-332.
- Rissolo, D., Blank, A. N., Petrovic, V., Chávez, R., Jaskolski, C., Erreguerena, P.L. y Chatters, J.C. (2015) "Novel application of 3D documentation techniques at a submerged Late Pleistocene cave site in Quintana Roo, Mexico", *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, pp. 181-182. <https://doi.org/10.1109/DIGITALHERITAGE.2015.7413868>
- Seacraft (2019) User manual. Accesible en: <https://bit.ly/3584sbx> (Consultado: 28 noviembre 2021).
- Smith, K. (2013) "The Pinger - a Simple Underwater Radiolocation System", *CREGJ*, 84, pp. 3-8.
- Smith, K. (2018) *The Pinger. Operating Instructions*. s.l.: Ken Smith.
- Viñas, J.M. (2014) "El clima de la Tierra a lo largo de la historia", en Alberola-Romá, A. (coord.) *Clima, naturaleza y desastre: España e Hispanoamérica durante la Edad Moderna*. Valencia: Universitat de València, pp. 118-151.

- Waetcher, J. y Flemming, N.C. (1963) "Underwater caves of Gibraltar", en Eaton, B. (ed.) *The Undersea Challenge*. London: British Sub-Aqua Club, pp. 99-106.
- Warmenbol, E. (2004) "Gold pickings and PIXE analysis. More about the Bronze age gold found in the cave of Han-sur-Lesse (Namur, Belgium)", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 226 (1-2), pp. 208-221.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2004.05.019>