

Levantamiento y análisis espacial de la presa de Garganta del Ciervo y el paisaje regado por el embalse andalusí Albuhera (s. XII)

Santiago Quesada-García^a, María Lozano-Gómez^b

^a Universidad de Sevilla, Sevilla, España, sqg@us.es, ^b Universidad de Sevilla, Sevilla, España, mlozano@us.es

Abstract

The study of historic dams and water reservoirs is a little-explored field, unevenly addressed by historiography, architecture, and civil engineering, possibly because most of these remains are isolated and dispersed in rural areas and places that are difficult to access. This circumstance, among others, makes it difficult for them to be adequately known and leads to a lack of graphic analysis of these types of hydraulic infrastructures and the landscapes associated with them. This work presents one of the few known examples of Andalusí storage dams or reservoirs. Its survey is approached not as an isolated object or remain but as an inseparable part of the landscape it is part of. To this end, a specific methodology is designed that geo-references the data, constructs a digital terrain model and topographical surveys with use of UAV, and ends with a 3D reconstruction of the preserved remains, characterising them with a dense point cloud. The results obtained shed light on a mediaeval landscape irrigated by an Albuhera, or “small sea” of water, dammed by the Garganta del Ciervo dam, a river barrier built with stone edges and lime in the mid-12th century in the Sierra de Segura de Jaén (Spain).

Keywords: Medieval dam, muslim hydraulic architecture, al-Andalus, rural heritage.

1. Introducción

Según las fuentes árabes escritas, la presa del estrecho o desfiladero del ciervo (*ḥalq al-ayyil*) fue construida por Abū Ishāq ibn Hamšuk, un ámel andalusí que gobernó Segura entre los años 1147 y 1169, durante el periodo llamado de las segundas taifas (1144-1172) que se formaron en la península ibérica durante la crisis de poder central de los almorávides y la consolidación almohade.

En ese contexto, Ibn Hamšuk junto con su yerno Ibn Mardanis, emir de Murcia, controlaron durante casi un cuarto de siglo todo al-Andalus oriental, frenando la expansión almohade hacia el levante peninsular. La amelia de Segura o *‘amal šaqūra* situado en *šarq al-Andalus*, fue un distrito territorial de la cora de Jaén que abarcó las cuencas altas de los ríos Segura, Guadalimar y Guadalquivir (Aguirre y Jiménez, 1979).

Esta infraestructura hidráulica es descrita, por vez primera, por al-Zuhrī en el Libro de la Geografía, escrito entre 1154 y 1161 (al-Zuhrī, 1968). El geógrafo andalusí, contemporáneo de Ibn Hamuš, indica que el dique de contención fue mandado construir por éste último y que su modelo fue la presa de Ma’rib, construida sobre el cauce del río Danah, cerca de la antigua capital del reino de Saba, actual Yemen, en el siglo VIII a.d.c. Lo común de las dos presas, tanto la andalusí como la yemení, es que ambas tenían una doble función, por un lado, embalsar agua y, por otro, desviarlas hacia terrenos irrigables.

La barrera fluvial andalusí era de gravedad, es decir, que resistía el empuje del agua por su propio peso. La posición del dique taponaba el inicio de un cañón rocoso recorrido por el río Trujala, cuyo cauce atraviesa previamente una hondonada natural que fue aprovechada para

almacenar agua y formar el embalse. Este paraje aún mantiene en su toponimia la memoria de la lámina de agua que caracterizó aquel paisaje durante la Edad Media. Los terrenos, junto con un arroyo afluente del río Trujala, son conocidos con el nombre de Albuhera, un término que proviene de la palabra *al-buḥayra* que significa ‘el mar pequeño’ o ‘el marecito’ (Quesada-García, 2021).

No hay demasiados ejemplos de levantamientos de este tipo de infraestructuras medievales, por lo que el estudio, análisis gráfico e interpretación, de uno de los pocos casos que todavía se conservan, es especialmente relevante para el avance del conocimiento en la ingeniería hidráulica andalusí. El paisaje y los vestigios que aún permanecen son una importante fuente de información primaria, complementaria a las fuentes escritas. Los dos estribos, los terrenos del antiguo embalse o las tierras irrigadas por el mismo, aportan una valiosa información, útil para conocer cómo eran estos sistemas hidráulicos de irrigación (Fig. 1).



Fig. 1- Vista, aguas abajo, del estribo izquierdo de la presa. Elaboración propia.

La presa de Garganta del Ciervo, hoy en día, es un fósil histórico incrustado en el paisaje. La correcta representación de este dique y sus espacios aledaños plantea un importante reto con muchas dificultades a resolver. No se trata del levantamiento convencional de un inmueble con volumen y formas definidas, sino de unas ruinas en mal estado, en las que lo natural y artificial se funden en un todo indistinguible. Un conjunto de

elementos que hay que diseccionar con rigor para poder sacar a la luz las preexistencias y dibujarlas adecuadamente. A ello se suma lo abrupto del terreno, la difícil accesibilidad, la peligrósidad de los restos y la abundante vegetación. Por todos esos motivos, el paisaje tiene una especial relevancia en el levantamiento de estas ruinas.

Además, en estos inmuebles rurales, aislados y dispersos, cuando no hay opción o viabilidad económica para realizar intervenciones arqueológicas a corto o medio plazo que permitan obtener datos fiables, las posibilidades que brinda una metodología basada en levantamientos con herramientas digitales, significa una transformación total en la adquisición de las fuentes de conocimiento del patrimonio.

El objetivo de este trabajo es obtener datos contrastables que aporten información sobre la extensión de las tierras irrigadas, el volumen y capacidad del embalse o la caracterización constructiva del dique. Para ello, el registro y documentación de esta antigua barrera fluvial incluye no sólo las estructuras antrópicas de contención sino también accidentes naturales como rocas, pies y cabezas de talud, pendientes, sedimentos y, en general, cualquier elemento natural o artificial presente en la zona. El fin es interpretar con precisión el contexto y detectar permanencias o alteraciones del terreno. Se ha utilizado un método que incorpora diversas técnicas digitales que van desde el uso de drones, el curvado y topografía del entorno de la presa, levantamientos digitales 2D o escaneo 3D para obtener una nube de puntos densa. La originalidad de esta aportación radica en que presenta los resultados obtenidos con ese método, aplicado en un proyecto nacional I+D+i (HAR2014-53866-R), en el que se ha investigado, durante los tres últimos años, sobre este paisaje irrigado del siglo XII.

2. Herramientas y metodología

2.1. Área de estudio

El área y los restos objeto de estudio se encuentran en el valle formado por los ríos Hornos, Trujala y Guadalimar en el término municipal de Segura de la Sierra en la provincia de Jaén (Fig. 2). El paraje de la Albuhera se localiza en una cuenca atravesada por el río Trujala, cuyo recorrido se interrumpe por una presa colocada al inicio de una garganta rocosa.

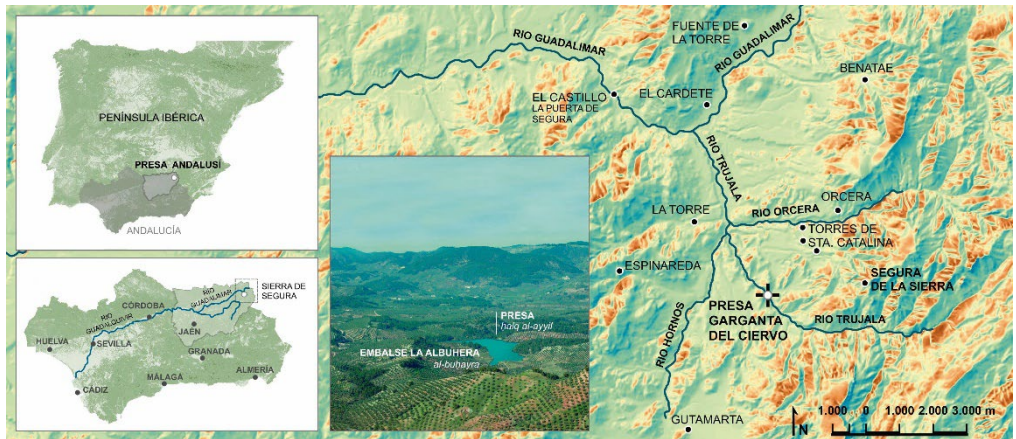


Fig. 2- Ubicación de la presa Garganta del Ciervo en el Modelo Digital del Terreno y reconstrucción virtual de la vista del embalse de la Albuhera desde Segura de la Sierra. Elaboración propia.

Las coordenadas UTM de ubicación del dique son X: 527512 – Y: 4238604 y sus coordenadas geográficas: 38° 17' 42" N y -2° 41' 7" O, referidas ETRS89. La altitud de la base de la fábrica respecto al nivel del mar es de 680 metros.

2.2. Herramientas utilizadas

Para el levantamiento de la presa, en vez del uso del LIDAR, se ha considerado como mejor opción utilizar técnicas basadas en *unmanned aircraft system* (UAS), popularmente conocido como dron (Frodella et al., 2020). El uso de los sistemas aéreos no tripulados es extremadamente funcional, eficiente y económico en el ámbito del patrimonio cultural (Pecci y Masini, 2016). Su finalidad va desde la restitución y levantamientos de edificios hasta el análisis de elementos y medición de variables del paisaje. Entre sus ventajas destacan la capacidad de llevar una gran variedad de sensores, fáciles de usar y con alta calidad en los productos que integran. El reconocimiento aéreo se ha realizado con un dron cuadricóptero modelo PHANTOM 4 RTK dotado con una cámara compacta con distancia focal nominal de 8,8 mm y un CMOS 20 de 1" sensor de megapíxeles con un tamaño de píxel nominal de 2,41×2,41 μm. La cámara aporta imágenes de 5472×3648 píxeles correspondientes a 13,2×8,8 mm. Para obtener las coordenadas de los puntos de control terrestre o *ground control points* (GCP), se ha utilizado un receptor GPS, tipo TRIMBLE R2 GNSS, con precisión centimétrica. Este receptor está vinculado a la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP), un sistema de referencia geodésico activo materializado por 22 estaciones

permanentes que envían las correcciones necesarias. El receptor tiene una precisión de posicionamiento RTK: horizontal de 10 mm+1.0 ppm y vertical de 20 mm+1.0 ppm. Esta característica garantiza precisiones centimétricas aceptables en todo el ámbito del levantamiento, ya que el rango de incertidumbre de la adquisición y medición de objetos, como vegetación, piedras, taludes, etc. con el estudio fotogramétrico es mayor que un centímetro. La toma de puntos topográficos se realiza por medio de GPS diferencial mediante una estación total TRIMBLE S6.

2.3. Toma de datos

Entre los años 2020 y 2021 se han realizado un total de seis visitas a la presa para la toma y verificación de datos; una de ellas dedicada exclusivamente a los vuelos del dron. Para garantizar que el proceso fotogramétrico tenga la suficiente calidad geométrica, en términos de preservación de la escala, se ha realizado una geolocalización precisa con puntos de referencia o GCP, diseñando para ello la distribución de dichos puntos en el terreno (Agüera-Vega, Carvajal-Ramírez y Martínez-Carricondo, 2017). En este caso, se han georeferenciado respecto a la red del Instituto Geográfico Nacional. El sistema de coordenadas es UTM, las unidades son metros y el sistema de referencia es Datum ETRS-89, huso 30 Norte. Las cotas se encuentran referidas al geoido EGM-08 y las altitudes están referidas al nivel medio del mar en Alicante (España). Teniendo en cuenta nuestra propia experiencia, se han ubicado hasta 38 puntos de

apoyo en la zona objeto de estudio, quedando repartidos por toda el área a levantar, algunos de ellos son también puntos de control. Estos puntos se han ubicado con una medición en estático-rápido de al menos 2 minutos. La toma de puntos topográficos se hace con GPS mediante una estación total TRIMBLE S6.

Para realizar el vuelo del drone, tras un reconocimiento previo, se planifican y definen los parámetros necesarios, ya que los resultados fotogramétricos están muy influenciados por la calidad de las imágenes de entrada. Por tanto, se regulan los diferentes sensores, configuración y planes de adquisición, con el objetivo de garantizar datos de imagen óptimos. El ámbito del vuelo es sobre el cauce del río Trujala, a lo largo de una longitud comprendida entre 80–100 mts. y una anchura de 45 mts. El día estaba totalmente soleado, al ser los primeros días de agosto, y el vuelo se realizó algo antes del mediodía solar para minimizar las sombras y la iluminación especular. La apertura se fijó en $f/6,3$ y el tiempo de exposición en $1/500$ s. La altura del primer vuelo fue de 100 mts y su duración de 35 minutos, se tomaron un total de 180 fotografías, cuyas imágenes fueron adquiridas ajustando el eje óptico en posición vertical. La distancia final de muestreo en el suelo (GSD) fue de 2,7 cm/px.

2.4. Reconstrucción de la nube de puntos

Una vez recopilada toda la información, y con la ayuda de las notas de campo, se realizan los procesos de análisis, interpretación de datos y generación de planimetrías. Las imágenes RGB obtenidas se usan para generar una nube de puntos densa, que se referencia con las coordenadas GCP. El procesamiento fotogramétrico posterior se hace utilizando el método *Structure-from-Motion* (SfM) usado en el campo de la arquitectura, la restauración o conservación del patrimonio para el modelado volumétrico de inmuebles (Schonberger y Frahm, 2016). Se trata de un método de código abierto que detecta regiones de imágenes superpuestas, determina sus relaciones geométricas e infiere la estructura rígida del conjunto de puntos con la posición y orientación de todas las cámaras. Por medio de SfM se puede reconstruir la topografía del relieve, basándose en las imágenes obtenidas con UAS (Clapuyt, Vanacker y Van Oost, 2014). También es posible identificar elementos arquitectónicos y microrrelieves, indicadores de la presencia de restos o vestigios enterrados

(Dubбини, Curzio y Campedelli, 2016). Las estructuras 3D resultantes se modelan como una nube de puntos, en lugar de una malla debido al hecho de que muchos objetos del lugar, naturales y artificiales, son lo suficientemente complejos como para que se triangulen correctamente. El procesamiento posterior de las imágenes se ha realizado mediante software específico Agisoft Metashape 2.0.3. que permite la reconstrucción de un modelo 3D aplicando algoritmos SfM. La alineación de las imágenes y reconstrucción de los volúmenes son totalmente automatizadas, pudiendo tomarse en cualquier posición, con la única condición de que haya al menos dos imágenes para un mismo punto.

2.5. Modelo Digital del Terreno (MDT)

El siguiente paso es generar un Modelo Digital del Terreno (MDT) del valle en el que se sitúan la presa, el embalse y los terrenos irrigados. El MDT proporciona un conjunto de datos, útil para caracterizar la morfología del terreno. Con el software QGIS 3.30.1, se crea un mapa de pendientes para identificar y clasificar el territorio según sus inclinaciones y altitudes (Fig. 2).

Para el levantamiento del embalse de la Albuhera, y del desfiladero del ciervo, se han obtenido los fotogramas necesarios para cubrir esa área a partir del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), que facilita la obtención de ortofotografías aéreas digitales con resolución de 25 o 50 cm y modelos digitales del terreno de alta precisión en todo el territorio español con un período de actualización anual. En este caso las fotografías utilizadas son del año 2019, ya que el comienzo de la toma de datos fue agosto de 2020.

Sobre las ortofotos del PNOA se superpone la foto cenital propia del entorno del dique y del cauce del río Trujala, que se ha hecho con el vuelo del drone a 100 mts de altura. Esta fotografía arroja una mayor definición y precisión de toda el área a estudiar y levantar.

Sin embargo, debido a la gran cantidad de vegetación y arbolado existente, que cubre por completo todos los restos conservados, es necesario completar la primera nube de puntos con otra obtenida a partir de un vuelo fotogramétrico oblicuo, de manera que todos los vestigios, junto con los accidentes topográficos, queden adecuadamente reflejados. La altura de este vuelo oblicuo ha sido de 20 mts.

Posteriormente, se procede a clasificar todos los puntos de las nubes realizadas, con el fin de aislar los puntos terrestres del resto, como pueden ser animales en movimiento, vegetación o estructuras superfluas, porque de no hacerlo se producen distorsiones que aparecen durante el proceso de generación del modelado del terreno. Tras esto se genera una malla con una calidad ultra alta. El proceso finaliza creando un ortomosaico de la zona objeto de estudio, con una escala uniforme en toda la imagen ortorectificada, para que pueda utilizarse en la medición de distancias reales y que todas sus características se representen en verdadera magnitud (Waagen, 2019).

A partir de la última nube de puntos se obtiene un modelo tridimensional del entorno de la presa y, con las líneas de ruptura, las isolíneas a una distancia de 20 cms. La resolución fotogramétrica de medición de coordenadas 3D se efectúa mediante un restituidor digital con software digi21 3D, usando los puntos de referencia topográficos del terreno.

El trabajo de gabinete se completa con la elaboración de la planimetría 2D y 3D a diversas escalas. Se realiza la representación del vaso de agua ocupado por el embalse, trazándolo a escala 1:1500. Posteriormente se representan 60 mts del cauce del río Trujala a escala 1:100. Un dibujo que incorpora no sólo la planta de los estribos izquierdo y derecho de la presa sino también los fragmentos existentes 40 metros aguas abajo, en ese lugar posiblemente como consecuencia del momento del colapso del dique (Fig. 3).

Tras estas labores se hace una restitución fotogramétrica de los restos conservados de los estribos por medio de fotografías estereoscópicas, realizadas por medio de una cámara DSLR NIKON de 22 Mpixeles y ópticas con focales de 28 y 50 mm. Las coordenadas de los puntos de referencia en las diversas caras se toman con una estación total topográfica TRIMBLE S6. Para la rectificación fotográfica se utiliza el software ASRix, VSD y PoivilliersF para restitución estereoscópica, Orthoware para ajuste de bloques de fotografías y una licencia de Photoscan para el escaneado fotogramétrico.

Por último, se completan, verifican y comprueban in-situ todos los croquis y dibujos que se han obtenido. Estas comprobaciones se hacen por medio de distanciómetros láser de LEICA, además de los tradicionales flexómetros y la cinta métrica. Con todos los datos procesados y la información disponible se hace el levantamiento final, representando a escala 1:50 las caras y secciones de los dos estribos y la planta de la presa. La delineación de las vistas diédricas y tridimensionales se hace con software CAD.

3. Resultados

3.1. Embalse de la Albuhera

El curso del río Trujala entra en el desfiladero, en dirección sureste-noroeste, a la cota 680 m.s.n.m. Al taponar en ese punto el paso del agua se consiguió elevar el nivel de agua de 12 a 13 metros y formar el embalse. Esta nueva altura permitió que el agua alcanzara una vaguada



Fig. 3- Cauce del río Trujala a su paso por el desfiladero del Ciervo. Se representan los restos de los dos estribos y los fragmentos existentes a cuarenta metros del dique. Elaboración propia.

natural, existente en el extremo norte de la hoya, con lo que se consiguió desviar el cauce fluvial del Trujala casi 90°, dirigiéndolo hacia los terrenos que se deseaban irrigar (Fig. 4). Tras topografiar el terreno ocupado por la antigua albuhera se han obtenido los siguientes datos del embalse andalusí, que varían en función de la altura que alcanzara la lámina de agua:

Altura coronación presa:	14 mts	14 mts
Longitud de coronación:	40 mts	40 mts
Número aliviaderos:	1	1
Cota lámina agua:	692 m.s.n.m.	693 m.s.n.m.
Nivel máximo normal:	12 mts	13 mts
Capacidad del embalse:	0,180 hm ³	0,255 hm ³
Superficie del embalse:	6,10 ha	8,23 ha
Perímetro (costa):	1,90 km	2,12 km



Fig. 4- Reconstrucción tridimensional del paisaje del embalse de la Albuhera. Elaboración propia.

3.2. Presa de Garganta del Ciervo

El dique tenía una alineación recta en dirección norte-sur y estaba encajado entre las dos paredes laterales del inicio del cañón rocoso. La posición elegida por los constructores andalusíes para colocar la presa permitió reducir esfuerzos y materiales, resistiendo mejor el empuje del agua almacenada en el vaso del embalse. Por los vestigios, cortes y desbastes existentes en las rocas de ambos márgenes de la garganta, es posible deducir que la coronación de la presa alcanzó una longitud total de 40 m en su parte más larga y que su altura, desde el lecho del río, fue aproximadamente de unos 14 m (694 m.s.n.m.) (Fig. 5). En las rocas superiores, donde apoyaba el estribo derecho, se aprecia lo que pudo haber sido una atarjea tallada en la piedra y, a continuación, una fuerte erosión en la pared rocosa, provocada quizás por la existencia en ese lugar de un aliviadero o desagüe de la presa.

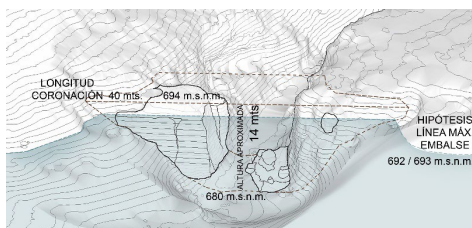


Fig. 5- Reconstrucción virtual 3D de la presa de Garganta del Ciervo. Elaboración propia.

En la pared derecha del cañón hay varios orificios que denotan puntos de anclaje de la fábrica con la roca. En ambas caras de la fábrica se observan revestimientos de cal y mechinales de las medias agujas soportes de los tableros o tapias con los que se encofraron las hiladas de calicanto con las que se construyó esta barrera fluvial. La altura media del cajón de tapial es 76,54 cm. En la cara este del estribo izquierdo se aprecian un total de 14 cajones de tapial y la cara oeste mantiene 8 cajones de tapial (Fig. 6). Tanto la métrica de las agujas como el tamaño medio del cajón coinciden con las dimensiones que se encuentran en el resto de torres andalusíes existentes en esta comarca (Quesada-García, 2023).

La técnica constructiva con la que fue ejecutada esta presa andalusí confirma una ruptura tecnológica con los métodos constructivos hispanorromanos, evidencia un aporte exterior de las tradiciones orientales de construcción de presas y una transferencia de conocimiento relacionada con obras hidráulicas construidas en la península arábiga, particularmente yemeníes.

3.3. El rafal de Hamušk, Hamusgo o Amurjo

Los terrenos hacia los que se desviaba el agua son una amplia y ondulada rambla triangular con una extensión aproximada de 240 hectáreas. En la actualidad existe un carril que recorre, a la cota 700 m.s.n.m., la distancia que hay entre el embalse y la torre ancha del Aguadero (*burg al-ārid*), una de las tres torres aisladas de Sta. Catalina que se conservan en la zona. No habría que descartar que este camino pudiera haber sido en su día la línea de rigidez del sistema de irrigación, pudiendo ser incluso el canal principal de riego. La superficie de tierras, regadas por gravedad a partir de ese canal, estaría comprendida entre las 145 y 165 ha. Las aguas



Fig. 6- Sección transversal, aguas arriba, del desfiladero o garganta del Ciervo, representando los restos del estribo izquierdo, la base del derecho y el posible canal aliviadero del embalse. Elaboración propia.

sobrantes del riego drenarían al cercano arroyo Claudio y también al río Orcera (Fig. 7).

Esta rambla de tierra, que conforma los actuales llanos de Sta. Catalina, está unida por medio de la vía pecuaria del Cordel de la Mancha con un paraje denominado Amurjo o Amusco, también conocido en las ‘Relaciones topográficas de Felipe II’ de 1578 como ‘fuente de Hamusgo’. En este lugar el río Orcera formaba una famosa piscina natural, conformada por la orografía y diferentes represas. Amusco tuvo que ser en la Edad Media un importante lugar, como demuestra el hecho que fuera intercambiado por la villa de Orcera en 1285 por el rey Sancho IV a la Orden de Santiago (Quesada-García, 2023).

La extensión de tierra que va de Amurjo a la presa de Garganta del Ciervo, es decir, los llanos de Sta. Catalina, podría haber sido el terreno de una hacienda privada en el siglo XII. Una posible explotación agropecuaria, dedicada a la

ganadería, prados irrigados o cultivos de secano, perteneciente a una almunia o rafal cuyo edificio principal podría haber estado en Amurjo, con la ‘fuente de Hamusgo’ como lago representativo. Ibn Hamuš̄k habría dado nombre a este lugar como una forma de representación de poder. El dique y la albuera habrían sido infraestructuras vinculadas a esta finca para irrigar sus campos.

4. Conclusiones

Esta presa andalusí y el embalse que formó, se encuentran localizados en un ámbito rural, alejado de núcleos poblacionales. Este importante dato cuestiona el tradicional argumento de la historiografía arabista medieval, que mantiene que este tipo de infraestructuras hidráulicas eran siempre obras promovidas por el Estado o bien eran estructuras cuyo fin último era representar o expresar el poder del príncipe (Cressier, 1996).

La construcción del embalse de la Albuera fue iniciativa de un poder local, es decir de un gobernante andalusí, anterior a la administración almohade del territorio y fue expresión de una necesidad funcional. Su sentido habría sido construir un almacenamiento de agua para irrigar terrenos de un campo ubicado en el valle de los ríos Hornos y Trujala. Esta infraestructura hidráulica habría formado parte de un proceso de colonización agrícola basado en un modelo específico de fincas privadas, caracterizadas por albergar una reserva hídrica de notables dimensiones. El pequeño mar o albuera habría servido para regar los terrenos de un posible rafal existente en Amurjo o Hamusgo, cuyo propietario pudo haber sido Ibn Hamuš̄k.



Fig. 7- Terrenos irrigados quizá pertenecientes al posible rafal de Hamuš̄k. Elaboración propia.

Los levantamientos de esta arquitectura hidráulica, de la topografía de su entorno y la cartografía del embalse, constituyen una base documental sólida que proporciona datos imprescindibles para conocer cómo fue este paisaje medieval. La principal contribución de este trabajo es la de registrar y documentar, de forma gráfica, una infraestructura histórica antes de que se transforme más o desaparezca.

El análisis del conjunto de la presa de Garganta del Ciervo y del embalse de la Albuhera supone un avance en la comprensión de los sistemas hidráulicos musulmanes que suministraban agua con el fin de irrigar tierras y que no estaban destinados al abastecimiento humano, al recreo o a la representación. La divulgación de los dibujos y los hallazgos asociados servirá para contrastarlos con otros ejemplos existentes en Sicilia, el Magreb o el Oriente Próximo.

A nivel metodológico, una de las principales conclusiones que se pueden extraer es que el estudio, levantamiento y caracterización de las presas históricas sólo puede ser realizado de forma rigurosa, cuando se aborda también el estudio del paisaje al que están asociadas. Un método que, actualmente, requiere el uso y combinación de diferentes técnicas y herramientas digitales.

El análisis espacial expuesto en este trabajo contribuye a dar claves fundamentales para el conocimiento de estas infraestructuras andaluzas y revela datos muy valiosos que arrojan luz sobre su funcionamiento. Los resultados obtenidos aportan una información relevante sobre cómo eran las formas de suministro hídrico en el ámbito rural de al-Andalus y dan una insospechada visión de un paisaje irrigado durante el siglo XII.

Referencias

- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. y Martínez-Carricondo, P. (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 98, pp. 221–227.
- Aguirre Sádaba, F. J. y Jiménez Mata, M^a. C. (1979). Introducción al Jaén islámico (Estudio geográfico-histórico). Jaén, Instituto de Estudios Giennenses.
- Al-Zuhrī, M. (1968). *Kitāb al-Ġa' rāfiyya*. Libro de Geografía. En: Maḥammad Hadj-Sadok (ed.) *Bulletin d'études orientales*, 21, pp. 7-312.
- Clapuyt, F., Vanacker, V. y Van Oost, K. (2016). Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms. *Geomorphology*, 260, pp. 4–15.
- Cressier, P. (1996). À propos des apports orientaux dans l'hydraulique agraire d'al-Andalus: observations sur le barrage. En: Philipp von Zabern (ed.) *Spanien und der Orient im frühen und hohen mittelalter*. Kolloquium Berlin 1991, Mainz am Rhein, pp. 142-156.
- Dubbini, M., Curzio, L.I. y Campedelli, A. (2016). Digital elevation models from unmanned aerial vehicle surveys for archaeological interpretation of terrain anomalies: Case study of the Roman castrum of Burnum (Croatia). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 8, pp. 121–134.
- Frodella, W., Elashvili, M., Spizzichino, D., Gigli, G., Adikashvili, L., Vacheishvili, N., Kirkitadze, G., Nadaraia, A., Margottini, C. y Casagli, N. (2020). Combining InfraRed Thermography and UAV Digital Photogrammetry for the Protection and Conservation of Rupestrian Cultural Heritage Sites in Georgia: A Methodological Application. *Remote Sensing*, 12, p. 892.
- Pecci, A. y Masini, N. (2016). Archaeology, historical site risk assessment and monitoring by UAV: Approaches and case studies. En: *EGU General Assembly Conf. Abstracts*. Vienna, Austria; p. 17424.
- Quesada-García, S. (2021). Poblamiento y asentamientos rurales andaluzes: análisis del paisaje y caracterización territorial de un valle del 'amal Šaqira (siglos VIII-XII). *Al-Qanṭara*, 42(2), p. 11.
- Quesada-García, S. (2023). *Torres, castillos e infraestructuras andaluzas en la Sierra de Segura. Caracterización territorial, espacial, métrica y constructiva*. Sevilla, HAC University books, pp 101-115.
- Schonberger, J.L. y Frahm, J.-M. (2016). Structure-from-motion revisited. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, NV, USA, pp. 4104–4113.
- Waagen, J. (2019). New technology and archaeological practice. Improving the primary archaeological recording process in excavation by means of UAS photogrammetry. *Journal of Archaeological Science*, 101, pp. 11–20.