

## **El río Guadalete en el tránsito de la Edad Media a la Edad Moderna. Una propuesta de restitución de su cauce y los condicionantes de navegabilidad a partir de los SIG<sup>1</sup>**

### **The Guadalete River in the Transition from the Middle Ages to the Modern Age. A Proposal for the Restitution of its Riverbed and Navigability Conditions Based on GIS**

Pedro TRAPERO FERNÁNDEZ  
Universidad de Cádiz  
[pedro.trapero@uca.es](mailto:pedro.trapero@uca.es)  
<https://orcid.org/0000-0001-5808-054X>

Francisco Javier CATALÁN GONZÁLEZ  
Universidad de Cádiz  
[javier.catalan@uca.es](mailto:javier.catalan@uca.es)  
<https://orcid.org/0000-0003-2810-3477>

Enrique José RUIZ PILARES  
Universidad de Cádiz  
[enrique.pilares@uca.es](mailto:enrique.pilares@uca.es)  
<https://orcid.org/0000-0002-8624-0667>

Fecha de recepción: 07-03-2022  
Fecha de aceptación: 04-09-2022

#### **RESUMEN**

La bahía de Cádiz, donde desemboca el río Guadalete, en el suroeste de la península ibérica, es un espacio privilegiado para estudiar los cambios antrópicos y naturales a lo largo del tiempo, gracias a diversos procesos de transformación y una rica cartografía histórica. El Guadalete era navegable desde época romana, formando un amplio estuario que se fue colmatando paulatinamente. Para época medieval la documentación archivística testimonia la dificultad que tenían los barcos ligeros para remontar el río y alcanzar el puerto fluvial de El Portal, emplazamiento clave para la co-

---

1 Este trabajo forma parte de las actuaciones del proyecto “La interacción sociedad- medioambiente en la cuenca del Guadalete en la Edad Media (GUADAMED)”, cofinanciado por la Unión Europea en el marco del programa operativo FEDER 2014-2020 y por la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad de la Junta de Andalucía. Referencia del proyecto: 108201.

mercantilización de vinos de Jerez de la Frontera. En este artículo modelamos el paisaje de la cuenca baja del Guadalete, analizando los procesos que influyen en su cegamiento. Para ello, recurrimos a la creación de un modelo digital del terreno a partir de datos LiDAR (*light detection and ranging*). Proponemos un método para la restitución de la topografía en un momento histórico determinado, el uso de cartografía histórica para establecer la deriva del cauce del río y un análisis de los condicionantes naturales (geología, hidrología, mareas, eventos catastróficos) y antrópicos (molinos, salinas, lastre de los barcos) que condicionaron la navegabilidad.

**Palabras clave:** navegación fluvial, SIG, LiDAR, modelado del paisaje

**Topónimos:** río Guadalete, bahía de Cádiz

**Periodo:** siglos xv-xviii

### ABSTRACT

The Bay of Cadiz, where the Guadalete River flows into the southwest of the Iberian Peninsula, is a privileged area for studying anthropic and natural changes over time, thanks to various transformation processes and its rich historical cartography. The river was navigable from Roman times, forming a wide estuary that gradually silted up. In medieval times, archival documentation attests to the difficulty of crossing the river with light boats to reach El Portal Port, for the commercialization of Jerez de la Frontera wines. In this article, we model the landscape of the lower basin of the Guadalete, analysing the processes that influence its clogging. To do so, we resort to the creation of a Digital Terrain Model from LiDAR data. We propose a method for the restitution of the topography at a given historical moment, the use of historical cartography to establish the drift of the riverbed and an analysis of the natural (geology, hydrology, tides, catastrophic events) and anthropic (mills, salt works, ship ballast) factors that conditioned its navigability.

**Keywords:** fluvial navigation, GIS, LiDAR, landscape modelling

**Place names:** Guadalete River, Bay of Cadiz

**Period:** 15<sup>th</sup>-18<sup>th</sup> centuries

## 1. INTRODUCCIÓN

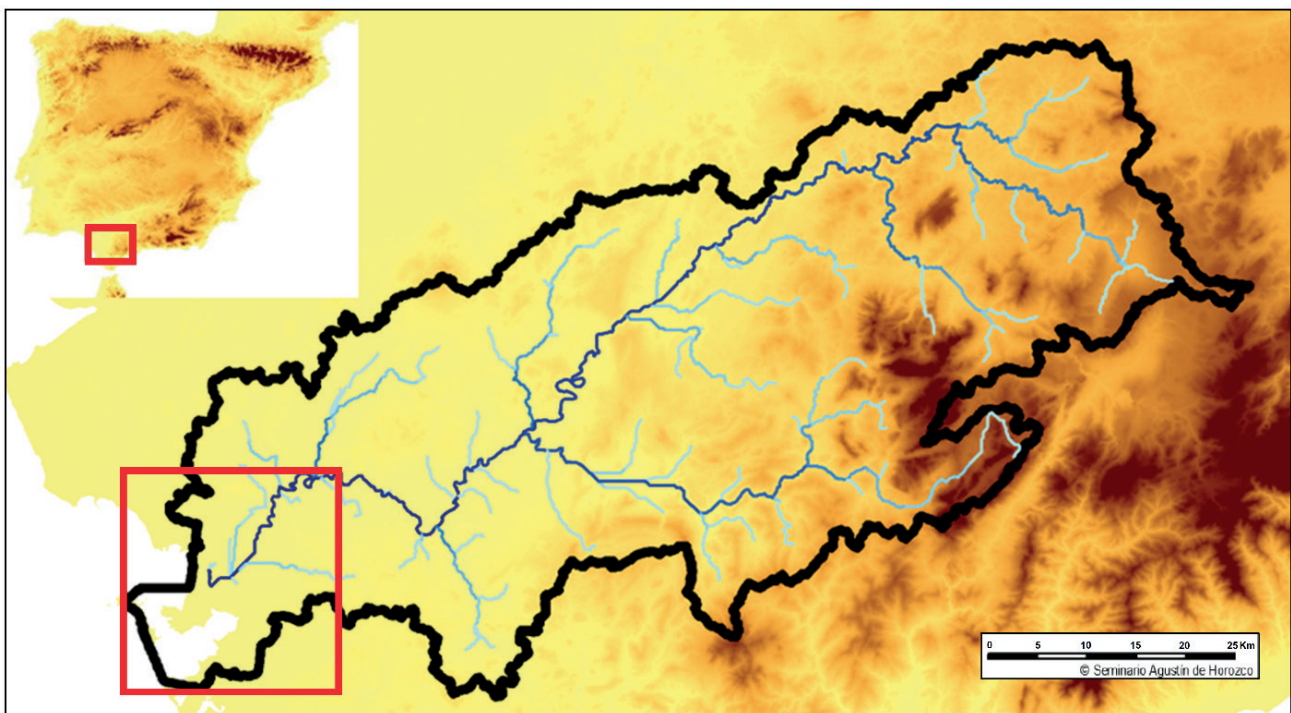
En este artículo se analizan los cambios antrópicos diacrónicos mediante el modelado SIG (sistema de información geográfica) en el cauce bajo del Guadalete, principal río de la provincia de Cádiz (Andalucía). Este espacio ha experimentado notables cambios a lo largo de la Historia (Arteaga y Schulz, 2008; Ménanteau, 2015). Es importante la influencia que ejerce el océano Atlántico en el territorio, especialmente en las llamadas llanuras mareales (Borja y Díaz, 1994:185-200). Este espacio navegable permitía el acceso a una rica campiña, ocupada primero por la colonia romana de *Hasta Regia* (Ruiz Gil et al. 2019; Trapero Fernández, 2019) y posteriormente la ciudad de Jerez de la Frontera (Martín Gutiérrez, 2018). Nos centraremos en el estudio del paulatino cegamiento del cauce del río entre los siglos xv y xviii, atestiguado por los problemas de navegación para alcanzar el puerto fluvial de El Portal, en el actual término de Jerez de la Frontera, y los distintos proyectos de cortas y dragados históricos (Pérez Fernández, 2018), ambos recogidos en las fuentes de archivo y la cartografía histórica. Ante la problemática de reconstruir las condiciones topográficas e históricas en un espacio tan cambiante, planteamos un método que sirva de modelo para restituir el paleocauce y discutir hasta qué punto los condicionantes de este cegamiento son de origen antrópico o natural.

Desde el punto de vista metodológico nos insertamos en la visión del paisaje del concepto Riparia (Hermon y Watelet, 1991), donde se analiza la interacción socie-

dad- medioambiente de forma holística, viendo los condicionantes humanos y naturales como actores que al mismo tiempo transforman el medio y generan una visión de paisaje. En este sentido, desde nuestra universidad se ha apostado por esta línea, con varios proyectos estatales y la creación de una revista denominada *Riparia* (Lagóstena, 2013; Martín Gutiérrez, 2019).

El marco geográfico de estudio es la cuenca del río Guadalete en la bahía de Cádiz (fig. 1). Se trata, junto con el Barbate, de uno de los ríos mayores que desembocan en el océano Atlántico, entre la cuenca del río Guadalquivir al norte y la sierra de Cádiz al este, estribación de la sierra Subbética (Astilleros, 2015). Su desembocadura está situada en la bahía de Cádiz, un ecosistema socionatural heterogéneo y en constante cambio. El espacio que conforma el paisaje de la bahía ha tenido una gran importancia tanto desde el punto de vista comercial como estratégico a lo largo de su dilatada historia (Lomas Salmonte et al. 2005).

**Figura 1.** Cuenca actual del río Guadalete y localización del área de estudio



Para llevar a cabo la restitución de la topografía y el paisaje histórico, hemos empleado los datos correspondientes al sensor LiDAR, disponibles de manera abierta a través del portal de descargas del Instituto Geográfico Nacional.

La aplicación de esta herramienta para la investigación en Historia y Arqueología no es nueva. Gracias a esta, se han abierto nuevas líneas acerca del paisaje y su evolución diacrónica, con aplicaciones que permiten la identificación de patrones de continuidad y modificación de las transformaciones antrópicas dentro de un territorio (Lallias-Tacon et al., 2016: 1-18; Casarotto, et al., 2018: 117-192). En los últimos años, se han realizado dentro del panorama nacional multitud de investigaciones de esta índole, por citar una pequeña muestra centrada en contextos urbanos (Monterroso, 2019: 1-17), en antiguas explotaciones mineras (Fernández y Gutiérrez, 2016: 509-520) y en la localización de elementos tumulares prehistóricos (Cerrillo, 2017: 135-145).

## 2. PROBLEMÁTICA HISTÓRICA

Este enclave paisajístico ha estado sometido a lo largo de la historia a numerosas transformaciones tanto naturales como por la acción humana, dejando como resultado una imagen de la bahía de Cádiz muy cambiada.

Se ha desarrollado una nueva propuesta sobre la dinámica evolutiva del paisaje de la bahía gaditana a partir del periodo romano (fig. 2), aplicando un enfoque multidisciplinar entre la Historia, la Geografía y la aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG), utilizando como base los datos obtenidos mediante la teledetección y los sensores LiDAR (Catalán, 2021). Es precisamente en este periodo histórico cuando comienza a detectarse de manera significativa el proceso antrópico en la cuenca del Guadalete, a consecuencia de la política altoimperial en el siglo I d. C. y las reformas llevadas a cabo por los Balbo (Remesal, 2011: 52 Chic, 2004: 11-50). Esto se materializa en la creación del *Portus Gaditanus*, en la edificación de una *statio*, parada recogida en los itinerarios frente a la costa gaditana, la creación del acueducto de *Gades*, la edificación o consolidación de la Vía Augusta, y en especial, la posible modificación de la desembocadura del Guadalete, encauzándose por su salida actual en El Puerto de Santa María (López y Pérez, 2013:13).

En la actualidad se tiene constancia de que dicha desembocadura ha resultado ser artificial, fruto de la realización de una serie de obras llevadas a cabo por la ingeniería romana (Gómez *et al.*, 1997: 165-167). Por su parte, el entorno de la desembocadura del río Guadalete se correspondería con un entorno de estuario que sería más abierto que el reflejado en la actualidad. Esta unidad paisajística sería el resultado de la interacción sociedad-medioambiente en la búsqueda de los aprovechamientos económicos que este ecosistema brindaba. Estos elementos se relacionaban con los recursos marinos tales como instalaciones salineras, factorías de salazones y complejos alfareros destinados a abastecer la alta demanda de productos derivados de la explotación marina (Catalán, 2021: 287).

**Figura 2.** Reconstrucción de la desembocadura del río Guadalete para época romana a partir de Catalán 2021



En época medieval, el corredor Guadalete-bahía de Cádiz era el eje que vertebraba las comunicaciones entre el litoral y el interior (Martín, 2017: 147-177). Frente al protagonismo de que habían gozado las localidades costeras, especialmente Cádiz durante la Antigüedad, emergió en los siglos medievales como núcleo de mayor importancia Jerez de la Frontera. Esta ciudad, de origen andalusí, se encontraba en plena campiña, a unos cuatro kilómetros del Guadalete (Martín, 2003). En la ribera del río se encontraba un pequeño embarcadero denominado de El Portal, que contaba con una pequeña población vinculada a las labores portuarias tanto en época andalusí como tras la conquista castellana del territorio a mediados del siglo XIII. Este espacio portuario fue vital para el sustento y crecimiento de la ciudad, especialmente con el desarrollo económico que vivió el litoral gaditano a partir de mediados del siglo XV (González y Muñoz, 2014: 351-372). No obstante, hasta comienzos del siglo XVI no hay referencias a embarcaciones de cierta entidad ascendiendo el Guadalete con dirección a El Portal. Ello no se debió tanto al calado, cuyos problemas empezaron a manifestarse claramente en la segunda mitad del siglo XVI como a la precariedad de sus infraestructuras portuarias. Hasta el año 1500 no se acometió la construcción de un muelle de piedra que favoreciese las labores de estiba necesarias para consolidar el tráfico marítimo de embarcaciones como las carabelas (Ruiz Pilares, 2019: 187-190). La inversión en infraestructuras a comienzos del siglo XVI permitió que las conexiones fuesen muy dinámicas entre El Portal y diferentes espacios portuarios, desde el Mediterráneo a la Europa atlántica pasando por Berbería (Martín Gutiérrez y Ruiz Pilares, 2020: 97-128).

Las fuentes históricas dejan de manifiesto que los problemas de navegabilidad fueron cada vez más acuciantes, conforme el volumen y el tonelaje de las mercancías requeridas crecía, al mismo tiempo que la tipología de las embarcaciones necesarias para los viajes atlánticos. Se conocen diferentes proyectos para mejorar la navegabilidad del Guadalete en la segunda mitad del XVI. En uno de los más destacados, fechado en 1578, participó Juan de Herrera, conocido por ser el arquitecto del monasterio de El Escorial. En el plano conservado se planteaba la apertura de un canal de doce pies de fondo y treinta de ancho que conectase el Guadalete con Jerez, además de consolidar el calado en los tramos anteriores que conectaban con el Atlántico. La oposición de Sanlúcar de Barrameda y El Puerto de Santa María, ante el temor de ver desplazadas sus posiciones como puertos de referencia, unido a los excesivos costes y el escaso calado de algunos tramos del río, hicieron inviable este proyecto (De los Ríos, 2001: 13-25; Borrego, 2004: 417-432).

A inicios del siglo XVII, la colmatación del curso bajo del río era tal que afectó de manera irreversible el tráfico marítimo de cierta entidad en las inmediaciones de El Portal. Ello explica porque durante la segunda mitad del siglo XVII y parte del XVIII se iniciaron en el tramo del Guadalete conocido como *Madre Vieja* o *Albadalejo*, una serie de modificaciones que han perdurado hasta la actualidad. La primera de ellas en 1648, documentada en un folleto dirigido al Consejo Supremo de Castilla a petición del gobernador de Jerez, don Francisco Dávila (1648), donde se justificaba la creación de un canal que unió el Guadalete con el Saladillo o río San Pedro, aislando a la ciudad de El Puerto de Santa María, que en ese momento sufría una epidemia de peste. La segunda obra se llevó a cabo en 1700, por la que la ciudad de El Puerto crearía el Caño del Molino, cuya intención fue la de aportar un flujo mayor de agua al cauce natural de la Madre Vieja, limpiándolo del aporte sedimentario y además acortando su curso por las reconducciones fluviales de La Victoria y La Esparraguera. Finalmente, en 1721 se pondrá final al litigio entre las ciudades de Jerez y El Puerto cerrando el curso del río San Pedro, quedando hasta la actualidad como un brazo de mar susceptible a la subida y la bajada de la marea, y creando un tramo artificial de unos 4 kilómetros aproximadamente conocido como Calle Larga, acortando nuevamente el curso fluvial del Guadalete y cegando el tramo original, la Madre Vieja (Pérez, 2018: 146-190).

Para reconstruir los condicionantes que contribuyeron a este progresivo cegamiento del río, en primer lugar, describimos los factores de origen natural que lo favorecieron. En un segundo apartado, reconstruimos la topografía utilizando datos LiDAR y desarrollamos un modo de restitución de los condicionantes de navegabilidad y la línea de paleocauce del río con SIG. Con ambos, analizamos en un tercer punto los condicionantes históricos que influyeron en esta transformación. Finalmente se discute la implicación de factores naturales y humanos en este cambio.

### 3. CONDICIONANTES NATURALES

Los procesos sedimentarios, mareas y eventos catastróficos, junto con la propia geología del terreno, podrían modificar significativamente el espacio de estudio, la cuenca baja del río Guadalete. De manera somera, se trata de la principal cuenca hidrológica de la bahía de Cádiz. Su nacimiento se sitúa en la sierra de Grazalema, a 1020 metros de altura, y recorre 170 kilómetros, ocupando un total de 3966 kilómetros cuadrados (Astilleros, 2015:116-136). Es un río de montaña desde Grazalema hasta Puerto Serrano, que cambia a río de campiña desde esta última ciudad a El Puerto de Santa María, con 80 kilómetros de meandros y 14 kilómetros de marismas finales. El río Guadalete forma un estuario en su tramo final que se encuentra encauzado artificialmente. El río San Pedro, que hasta hace unas décadas se integraba en la cuenca del Guadalete, constituye en la actualidad un brazo de mar (Alonso *et al.*, 2009).

Dentro de esta cuenca, los ríos Guadalete y San Pedro (elementos pertenecientes originariamente a una misma entidad fluvial) actuaron en el pasado como agentes transportadores del material detrítico hasta sus conos de deyección en las desembocaduras, generando de este modo el proceso de colmatación paulatina que irá afectando a la fisonomía de la bahía hasta nuestros días (Llave *et al.*, 1999: 43-46).

El régimen fluvial del Guadalete es subtropical mediterráneo de origen pluvial, con máximos en invierno y mínimos en verano. La precipitación media anual en la mayor parte de la cuenca es superior a los 600 mm, aunque, debido a las peculiaridades orográficas y geográficas, algunas zonas de la sierra de Grazalema superan incluso los 2000 mm, mientras que en la zona más occidental de la cuenca escasamente se alcanzan los 500 mm. Sus aguas discurren mayoritariamente sobre materiales de categoría margo-yesíferos, originarios del Trías Subbético. Su curso medio y bajo se orienta noreste-suroeste siguiendo direcciones estructurales béticas y el curso alto sureste-noroeste (Gutiérrez *et al.*, 1991: 200).

Las aguas de lluvia se filtran por los estratos de calizas que presentan fisuras y llegan hasta las margas yesíferas impermeables. Sus arenas, también llamadas calcarenitas, ya existentes en el Mioceno, retienen mucha agua y en contacto con las arcillas originan manantiales como el de La Piedad, junto al castillo de Doña Blanca, en El Puerto de Santa María (López y Pérez, 2013: 40).

Gracias a los distintos estudios en la actual cuenca del *río Guadalete* por la Junta de Andalucía y otras entidades nacionales (J.M. Fernández-Palacios, 2015), tenemos toda la información sobre el funcionamiento actual del mismo. En específico nos interesa la información relativa a su calado, cauce y posición. La superficie total de la cuenca es de 3677 km<sup>2</sup> con una longitud del río de 166 km. La pluviometría corregida de los embalses actuales de la cuenca arroja una media de 357 hm<sup>3</sup>. La media del total de la cuenca es de 680 mm de precipitaciones (Aycart Luengo, 2015: 54). La disminución del calado y del cauce viene debido a las avenidas ordinarias o de bajos períodos de retorno generadas por los embalses. El espacio lateral del cauce no se limpia, haciendo fácil que sea colonizado por vegetación riparia. Este crecimiento de la vegetación se ve reforzado por la llegada de sedimentos finos, principalmente de la erosión de suelos agrícolas (González del Tánago *et al.*, 2010).

Respecto a la geomorfología, la zona correspondiente al El Puerto de Santa María queda establecida por niveles de bio-calcarenita o roca ostionera, consistentes en conglomerados de pectínidos y ostras fosilizadas junto con areniscas muy carbonatadas (Gracia *et al.*, 2016), sobre las que se superponen niveles dunares. De la región se caracterizan los diferentes cordones litorales (Alonso *et al.*, 2014: 586) que forman la flecha o *split* de Valdelagrana. Protegido por la barrera encontramos niveles correspondientes a marisma alta y media, las cuales colindan con la llanura de inundación de la cuenca baja del Guadalete. Por su parte, el municipio de Puerto Real queda determinado por fases de areniscas calcáreas, arenas, limos amarillos y margas, combinados con niveles de glacis de primera generación. Más alejados de la costa, se localizan niveles de vertisoles. En términos generales, los ambientes horizontales de estuario y de marismas resultan predominantes pese al impacto antrópico de los últimos años (García *et al.*, 2008: 11-37). Del mismo modo, se observa cómo los niveles de glacis de primera generación presentan unas condiciones de solidez y altura sobre el nivel del mar. Estos factores resultan esenciales de cara a la elaboración de una cartografía (fig. 3), que nos permita obtener una visión de que áreas podrían verse transformadas a lo largo del tiempo por agentes naturales o antrópicos.



**Figura 3.** Mapa geomorfológico de la bahía de Cádiz y Bajo Guadalete



Fuente: datos reelaborados a partir de los datos. MAGNA 50 - Mapa geológico de España a escala 1:50.000

#### 4. METODOLOGÍA: PROPUESTA DE RECONSTITUCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA HISTÓRICA

Para la restitución topográfica partimos de los condicionantes naturales antes descritos, a los cuales hay que añadir otros factores antrópicos actuales registrados en los modelos digitales como las carreteras, la vía férrea y la expansión urbana de la población de El Puerto de Santa María en la zona residencia de Valdelagrana y el polígono industrial El Palmar. El método para eliminar estos elementos parte de generar un modelo digital de elevaciones MDE con una densidad de puntos suficiente.

Los datos utilizados para la elaboración del mapa base de la bahía de Cádiz corresponden a un total de 318 archivos LiDAR, elaborados por el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Se componen de un conjunto de ficheros digitales de nube de puntos de una dimensión de 2 kilómetros cuadrados, aunque en determinados puntos de la geografía esta característica está siendo modificada a un solo kilómetro cuadrado. El sensor elegido por esta institución, el modelo ALS60 de *Leica*, toma datos con una densidad de 0,5 puntos por metro cuadrado y obtiene mallas de aproximadamente un millón y medio por densidad de puntos.

Brevemente, la tecnología LiDAR o ALS (*airborne laser scanning*) consiste en una técnica de teledetección óptica que utiliza el haz de luz de un láser para la obtención de una muestra densa de la superficie de la tierra, lo cual produce mediciones de coordenadas exactas. Tras llegar a la superficie, el pulso de energía original es reflejado en dirección al sensor aéreo, con lo que es posible calcular la distancia exacta entre el sensor y el objetivo. Con esto, combinado con sistema inercial y GPS, se obtienen puntos de la superficie terrestre ya sea el suelo o los objetos que estén sobre él, como edificios, vegetación, puentes y otros (Nuninger *et al.*, 2010: 34-43).

Partimos de crear el modelo usando esta tecnología LiDAR para restituir la topografía del paleocauce del Guadalete. Debemos usar este recurso y no los datos ya procesados que sirve el Plan Nacional, dado que necesitamos corregir manualmente varios elementos antrópicos difíciles de eliminar, pues la mayor parte de elementos están en menos de 2 metros de cota. Se trata fundamentalmente de edificaciones, carreteras, vías férreas, salinas y campos de cultivo, en un área que es extremadamente plana, por lo que cualquier mínima disrupción puede cambiar los datos. Por tanto, no se trata solamente de limpiar los datos, sino de transformarlos, ya que por veces dejamos huecos significativos que requieren de interpolación. Para la reconstrucción y limpieza del ráster descrito, utilizamos la combinación de herramientas del *software* Arcgis y Qgis. El proceso ha sido complejo y consta de varios pasos.

El primero ha sido una selección de los datos LiDAR que no son de interés, como edificaciones, masa forestal o vías y puentes (fig. 4.1). Este primer método no corrige los desniveles topográficos como los cauces del río y los antrópicos como los aterrazamientos y carreteras. Con esta primera transformación, con la vista no somos capaces de observar la topografía del paleocauce, dada la gran diferencia de cota existente en los bordes de esta. Por ello el segundo paso consiste en excluir los valores mayores a los 7 metros de altura, que es la cota de la terraza fluvial.

En una tercera fase (fig. 4.3) utilizamos la herramienta *Fill* de Arcgis, que rellena pequeñas imperfecciones en la topografía. Esta herramienta de cálculos hidrológicos está pensada para simular cuencas vertientes y calcular la posición de ríos y arroyos, mediante el relleno de zonas deprimidas y hacer que el flujo de agua no se acumule. Esto homogeniza los valores máximos y picos de altura o profundidad. Esta transformación ha sido necesaria dado que, al hacer el análisis hidrológico en pasos posteriores, el algoritmo encontraba barreras de acumulación de flujo en los campos de cultivos, salinas y carreteras eliminadas. De esta forma, se homogenizan los datos, a pesar de perder información.

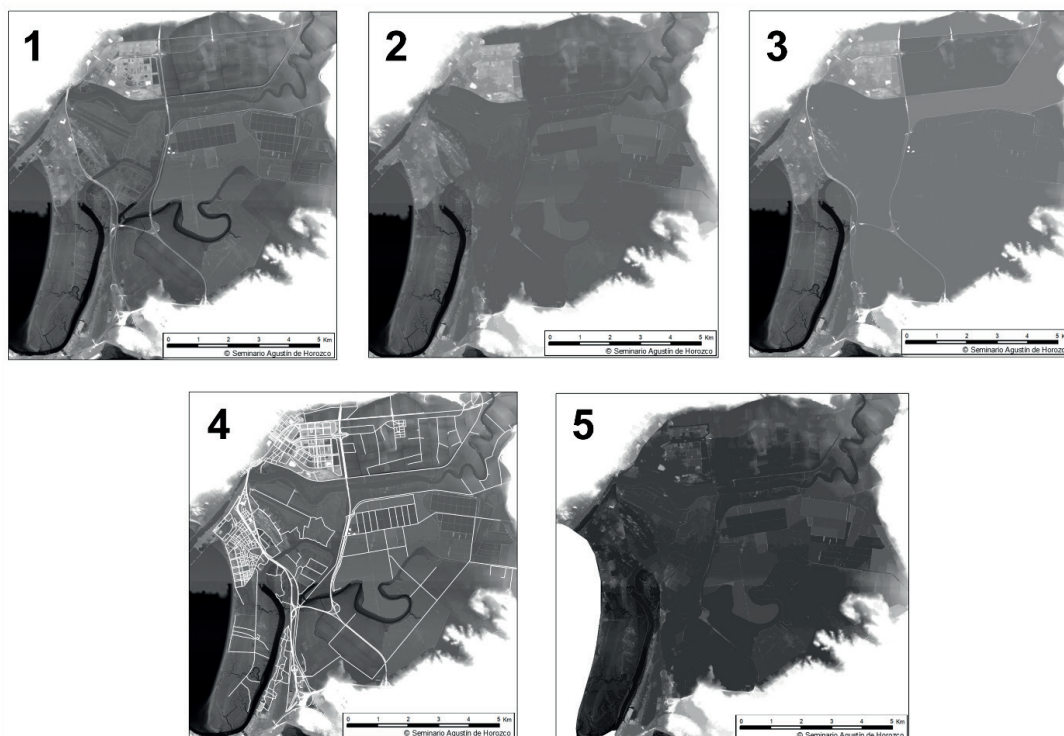
Tras estas transformaciones tendremos un modelo más cercano a la realidad geo-

gráfica (fig. 4.4), pero que seguirá teniendo importantes influencias antrópicas, especialmente del entramado urbano, carreteras y vía férrea, esencialmente elementos lineales. Para corregirlo hemos utilizado cartografía en formato *shape* de estos accidentes. Se les ha realizado una zona de influencia en forma de polígono con la herramienta *Buffer*. El ancho de estas líneas está determinado por el tipo de vía, 25 metros en el caso de vías férreas y carreteras principales, y 10 metros para el resto. Estas medidas son grandes, ya que no queremos eliminar solamente la carretera, sino el sobre rasante que lleva. Tras la transformación, esta capa poligonal se convierte en ráster con valores sin datos y se multiplica con la calculadora de ráster a nuestro modelo. Esto genera huecos en los espacios donde antes estaban estas carreteras que serán de nuevo interpolados.

Finalmente (fig. 4.5), seguimos teniendo el problema de la altura del terreno de zonas urbanizadas y un problema particular de nuestros datos. Al utilizar dos hojas de cobertura LiDAR servidas en tramos de 1:25 000, vemos una diferencia entre los valores en el río y mar entre las distintas hojas. Esto probablemente se deba a la distinta hora de recolección de información entre las hojas, pudiendo tener en el modelo la diferencia de marea. Para corregir estas cuestiones se han eliminado los datos correspondientes con la zona de mar e igualado los valores del ráster en las tres zonas problemáticas. Esto es, hemos aumentado la altura del terreno en la desembocadura del río San Pedro en 1 metro, reducido la zona de Valdelagrana 1 metro y el polígono de El Palmar 2 metros. Esto se hace vectorizando un polígono de las áreas que reducir, transformándolo a ráster y restando estos valores en la calculadora.

En todo el proceso hemos utilizado herramientas de interpolación de los datos, como IDW en los casos donde hemos tenido grandes vacíos. Fundamentalmente son cristalizadores de salinas, superficies planas bajo cota que hay que rellenar con las medias de sus bordes, que se ha tenido que suplir con la interpolación polinomial de los puntos externos. El resultado es un MDE de 1 metro de píxel, suficiente para poder analizar los cambios en la topografía.

**Figura 4.** Proceso de depurado del ráster. 1. Datos filtrados con LiDAR. 2. Interpolación de datos. 3. Utilización de la herramienta de relleno. 4. Recorte de vías de comunicación. 5. Igualación de datos manualmente



## 5. DATOS DE PARTIDA. RECONSTRUCCIÓN DE LAS CONDICIONES HISTÓRICAS DEL RÍO Y LA NAVEGACIÓN

Una vez tenemos el modelo digital que vamos a utilizar para la simulación, es necesario reconstruir los condicionantes históricos del río, principalmente hidromorfológicos, los cuales han cambiado bastante en los últimos años. Desde el punto de vista cartográfico, nuestro mejor caso de estudio es del vuelo de 1956. El uso de este tipo de recursos cartográfico para reconstruir paisajes antiguos ya ha sido ampliamente estudiado (Costa y Casal, 2015; López y Cerrillo, 2016). Con ello tenemos una visual antes de la mecanización del campo y a la construcción de los embalses de Bornos, Arcos y Los Hurones en la década de 1970, así como los de Zahara-El Gastor y Guadalcazín en la de los 2000. Actualmente, la anchura media del río es de unos 15 metros y el tamaño aproximado del cauce del río para 1956 es de 57 metros, prácticamente cuatro veces más (González del Tánago, *et al.*, 2010: 17). Por tanto, partimos de un caudal al menos similar al del año 1956, que fue posiblemente mayor en momentos precedentes.

Con respecto al calado, en el “Proyecto para mejorar la navegación del río Guadalete” (Vidal y Domínguez, 1888) se cuenta que la influencia de las mareas alcanza los 1,30 metros a la altura del embarcadero de El Portal. Las referencias históricas más detalladas sobre embarcaciones y calados del Guadalete son de comienzos del siglo XVI. Sabemos que de las 51 embarcaciones con tonelaje máximo conocido que recorrieron el Guadalete desde El Portal hasta la bahía de Cádiz entre 1514 y 1520, 30 eran carabelas, y el resto, a excepción de una nao, eran embarcaciones de similar o menor entidad. Esa nao solo cargó 5 toneladas de trigo, porque tenía encomendada la misión de dirigirse a otros surgideros. Con esta salvedad, el tonelaje máximo documentado es de 60 toneladas, pero la media es de 31 toneladas (tabla 1). En este sentido, la mayor parte de las embarcaciones oscilan entre 20 y 40 toneladas, la capacidad media habitual que hemos documentado en las carabelas, las embarcaciones habituales para este tipo de trayectos fluviales (Otte, 1996: Ruiz Pilares, 2020). En contraste, la práctica totalidad de las embarcaciones de gran tamaño, cuyo tonelaje rondaba o superaba las 100 toneladas, principalmente naos, que recibieron productos jerezanos para su exportación, se encontraban fondeados en la bahía de Cádiz y recibieron su carga desde embarcaciones de pequeño tamaño a través del Guadalete (Ruiz, 2019).

**Tabla 1.** Embarcaciones fletadas en Jerez con surgidero en el muelle de El Portal (1514-1520)

Núm.	Tipo de barco	Tonelaje	Fecha	Núm.	Tipo de barco	Tonelaje	Fecha
1	Carabela	42	13/05/1514	27	Navío	27	13/01/1517
2	Carabela	30	23/ 05/1514	28	Barco	30	21/01/1517
3	Carabela	35	28/ 05/1514	29	Barco	18	19/03/1517
4	Carabela	42	09/06/1514	30	Navío	27	11/04/1517
5	Carabela	28	02/11/1514	31	Navío	17	05/05/1517
6	Carabela	35	09/04/1515	32	Navío	39	26/06/1517
7	Barco	25	27/04/1515	33	Carabela	48	11/02/1518
8	Barco	21	27/04/1515	34	Carabela	25	02/03/1518

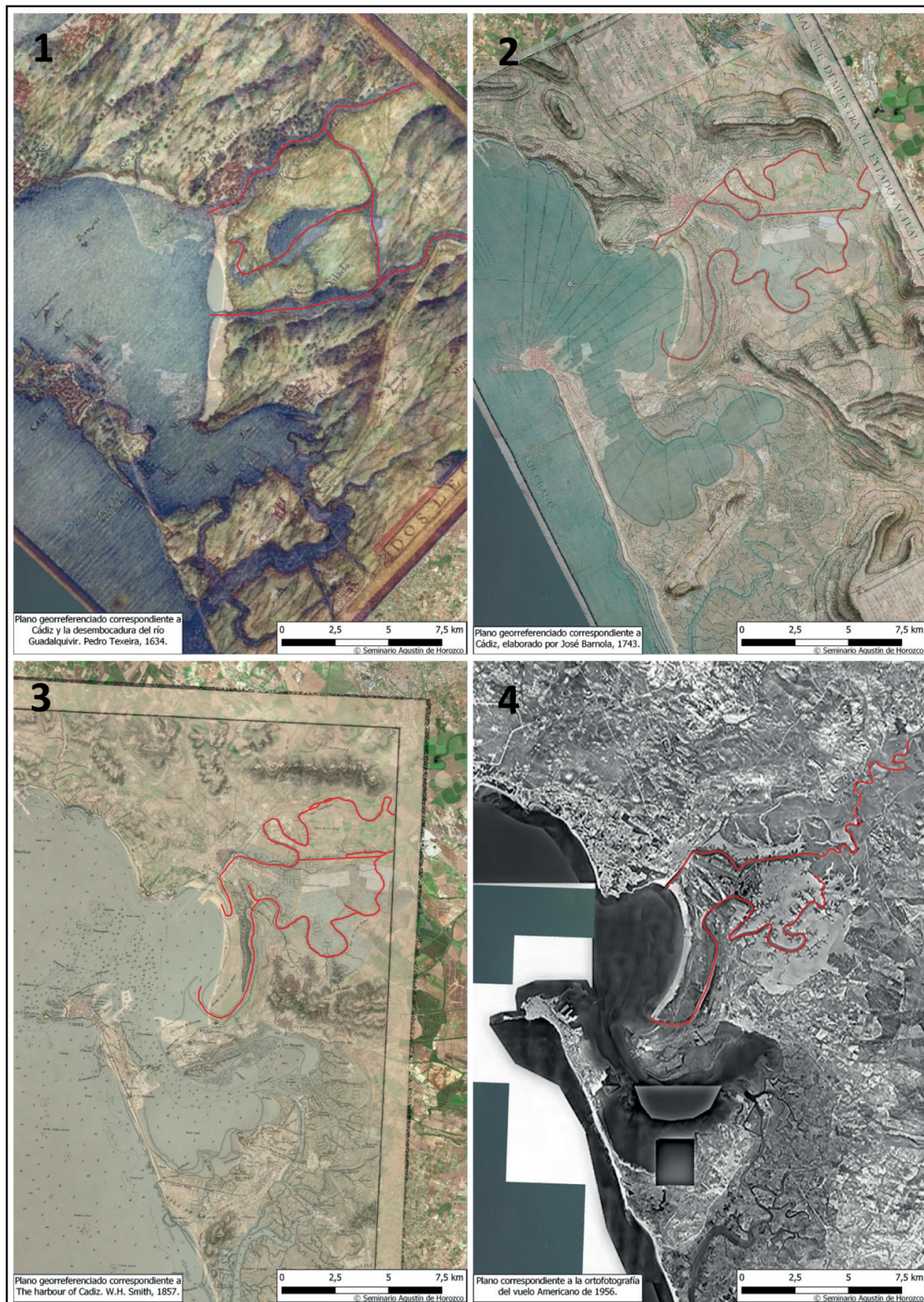
9	Barco	29	06/06/1515	35	Carabela	43	02/03/1518
10	Barco	40	28/08/1515	36	Carabela	56	15/03/1518
11	Chalupa	20	20/11/1515	37	Barco	21	31/03/1518
12	Carabela	25	23/11/1515	38	Nao	5	18/11/1518
13	Carabela	50	13/01/1516	39	Carabela	25	20/11/1518
14	Carabela	30	26/02/1516	40	Barco	28	06/02/1519
15	Chalupa	12	20/03/1516	41	Carabela	40	08/02/1519
16	Barco	21	21/06/1516	42	Carabela	35	05/03/1519
17	Barco	29	21/06/1516	43	Carabela	42	31/10/1519
18	Carabela	42	23/07/1516	44	Carabela	35	14/11/1519
19	Carabela	12	10/08/1516	45	Carabela	27	03/02/1520
20	Nao	30	02/09/1516	46	Carabela	27	14/02/1520
21	Carabela	30	29/09/1516	47	Carabela	9	15/02/1520
22	Barco	28	04/10/1516	48	Carabela	42	10/03/1520
23	Carabela	40	07/10/1516	49	Navío	60	15/04/1520
24	Carabela	30	08/10/1516	50	Carabela	19	17/04/1520
25	Carabela	51	07/12/1516	51	Carabela	14	14/07/1520
26	Carabela	48	09/12/1516				

Con los condicionantes que se acaban de señalar, podemos calcular el calado mínimo necesario de las embarcaciones que remontaron el Guadalete a comienzos del siglo XVI. Según los últimos estudios, con una carga media de 30 toneladas, el calado aproximado de una carabela sería de 0,9 metros (Clemente Carrillo, 2015). Este valor tendría matices, como que el calado a popa suele ser superior que a proa y que la densidad del agua en río es inferior a la del mar, lo que produce un ligero aumento del calado (Olivella Puig, 1994: 118). En cualquiera de los casos, viendo que el buque con más carga era de 60 toneladas, eso supondría 1,4 metros de calado, por lo que podemos reducir los valores medios entre 0,9 y 1,4 metros.

Con todo ello nos falta la posición del río, dado que en la evolución histórica del mismo ha ido modificándose mediante curvas y meandros, un proceso natural que generalmente se agrava por influencia antrópica (Kirchner y Virgili, 2021). Nos interesa remontarnos aproximadamente al año 1648, donde tenemos claramente documentada la problemática de estudio. Por ello georreferenciamos la cartografía histórica de la que disponemos. Desde el punto de vista metodológico, colocar un mapa antiguo sobre uno actual tiene una serie de problemáticas que son fruto de debate, existiendo varias aproximaciones y reflexiones (Miraglia, 2016; Álvarez y Conesa, 2018; Cascón y Alberich, 2021). Nuestro objetivo es tener una visión del cambio del cauce, en una secuencia cartográfica al menos cada 100 años. En este sentido hay que destacar que la bahía de Cádiz es privilegiada en este tipo de recursos, ya que a partir del siglo XVII fue representada por diversos cartógrafos dado

su interés geoestratégico y por las distintas obras planteadas o realizadas para mejorar la navegación en el río. Por ello tenemos mapas de gran calidad, que han sido digitalizados con 300 ppp o superior. La georreferenciación de estos se ha realizado mediante transformación logarítmica y se dispone de puntos de control como poblaciones, montes y el propio río con sus meandros, para que la precisión del georreferenciado sea óptima. Para ello hemos utilizado cartografías como el vuelo americano de 1956, el plano de Texeira (1634), Barnola (1743) y Smith (1857) (fig. 5). El primer plano de 1634 no tiene calidad gráfica ni precisión para la georreferenciación de sus elementos, pero nos sirve para ver cómo estarían aproximadamente con dos salidas la actual del Guadalete y del río San Pedro. En el de 1743 ya tenemos una serie de alta calidad especialmente, porque en estos períodos se realizaron cortas para mejorar la navegación en el tramo superior que da al portal como las de 1722 o calle larga y la de 1701 o caño del Molino (Pérez Fernández, 2018). Esto implica que estas variaciones antrópicas están fosilizadas desde ese momento, lo cual permite una georreferenciación precisa. En 1857, tenemos la continuación 100 años después, con gran precisión de detalles. Este plano nos sirve fundamentalmente para ver que no hay grandes variaciones en el cauce a pesar del terremoto de Lisboa de 1755. Finalmente tomamos el vuelo americano de 1956 como referente de cómo es el río en la actualidad, sin los cambios antrópicos de los últimos años. A todo esto hay que añadir que podemos tener desviaciones entre mapas de un par de metros, dado que el proceso no es exacto. Sin embargo, en la escala que manejamos es asumible, dado que los planos tienen resolución y son precisos, teniendo puntos de control suficientes. Por último, lo importante es la comparativa entre ellos, no su exactitud, pues es la labor del historiador interpretar estos datos, que parecen dar una variación en la deriva de estos meandros, aparentemente constante en el tiempo, como se indica a continuación.

**Figura 5.** Planos georreferenciados con indicación del cambio del cauce del río: 1. Cádiz y la desembocadura del río Guadalquivir, elaborado por Pedro Texeira en el año 1634; 2. Cádiz, cartografía elaborada por José Barnola en 1743; 3. The Harbour of Cadiz, por W.H. Smith, 1857; 4. Vuelo Americano de 1956; obtenidos de Fondos Cartográficos del Instituto Geográfico Nacional

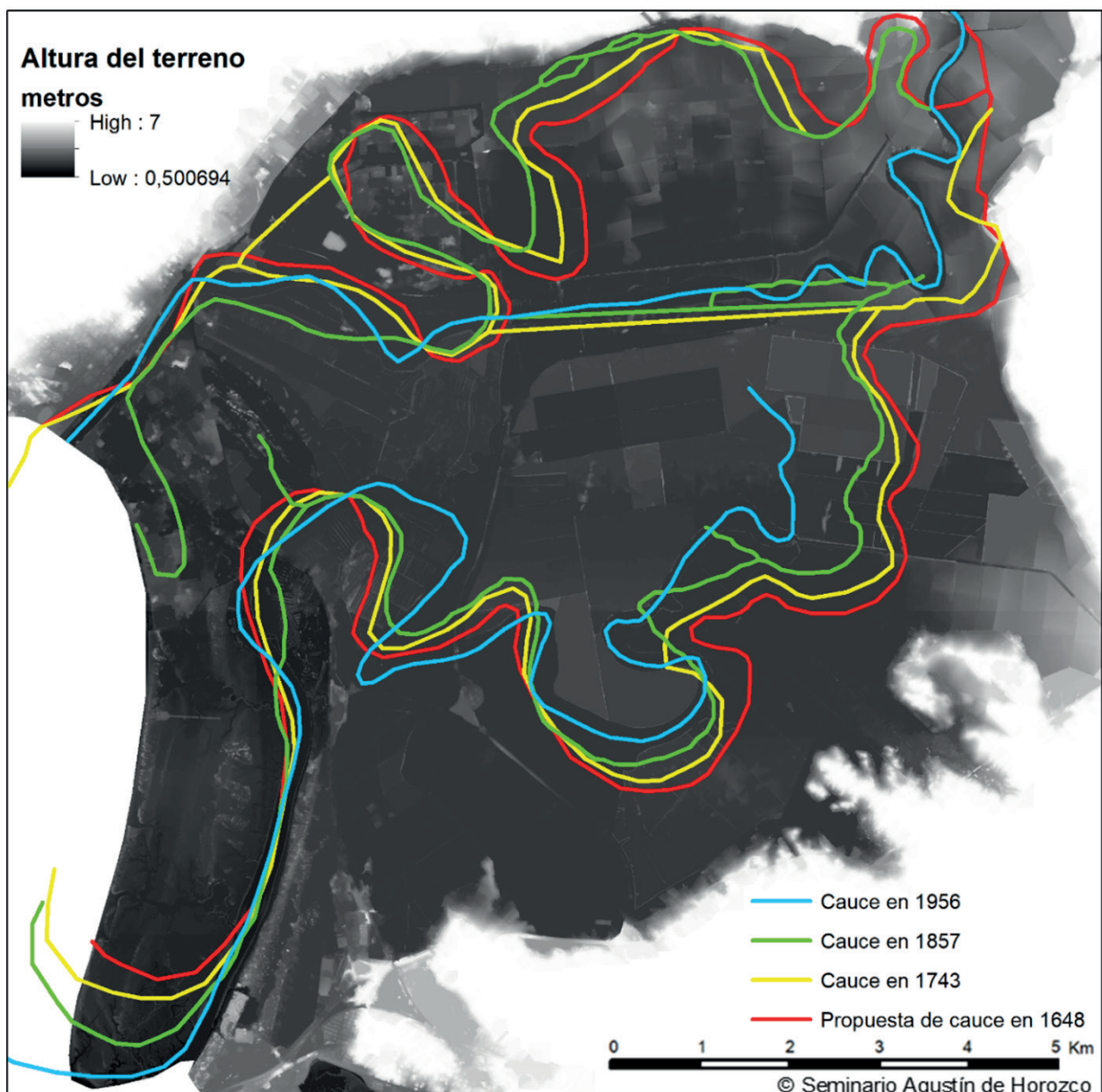


Fuente: <http://www.ign.es/fondoscartograficos/>

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con esta información hemos realizado una reconstrucción de los posibles cauces para 1648, sin tener en cuenta el plano de 1634, que no es fiel a la topografía. Por lo tanto, se sigue la premisa de que la tendencia del río Guadalete ha sido constante a la hora de formar y modificar los meandros a lo largo de las fases históricas presentadas (distribuidas en periodos de 100 años). Con ello proponemos una posible línea tentativa de por dónde discurriría el cauce sobre mitad del siglo xvii (fig. 6). Si se observan los cambios antrópicos y naturales, entre los distintos mapas existe una desviación constante del río en varios puntos, por lo que es plausible proponer el tramo que sería la línea del río aproximada para ese momento.

**Figura 6.** Líneas de cauces por años y propuesta en rojo para mitad del siglo xvii

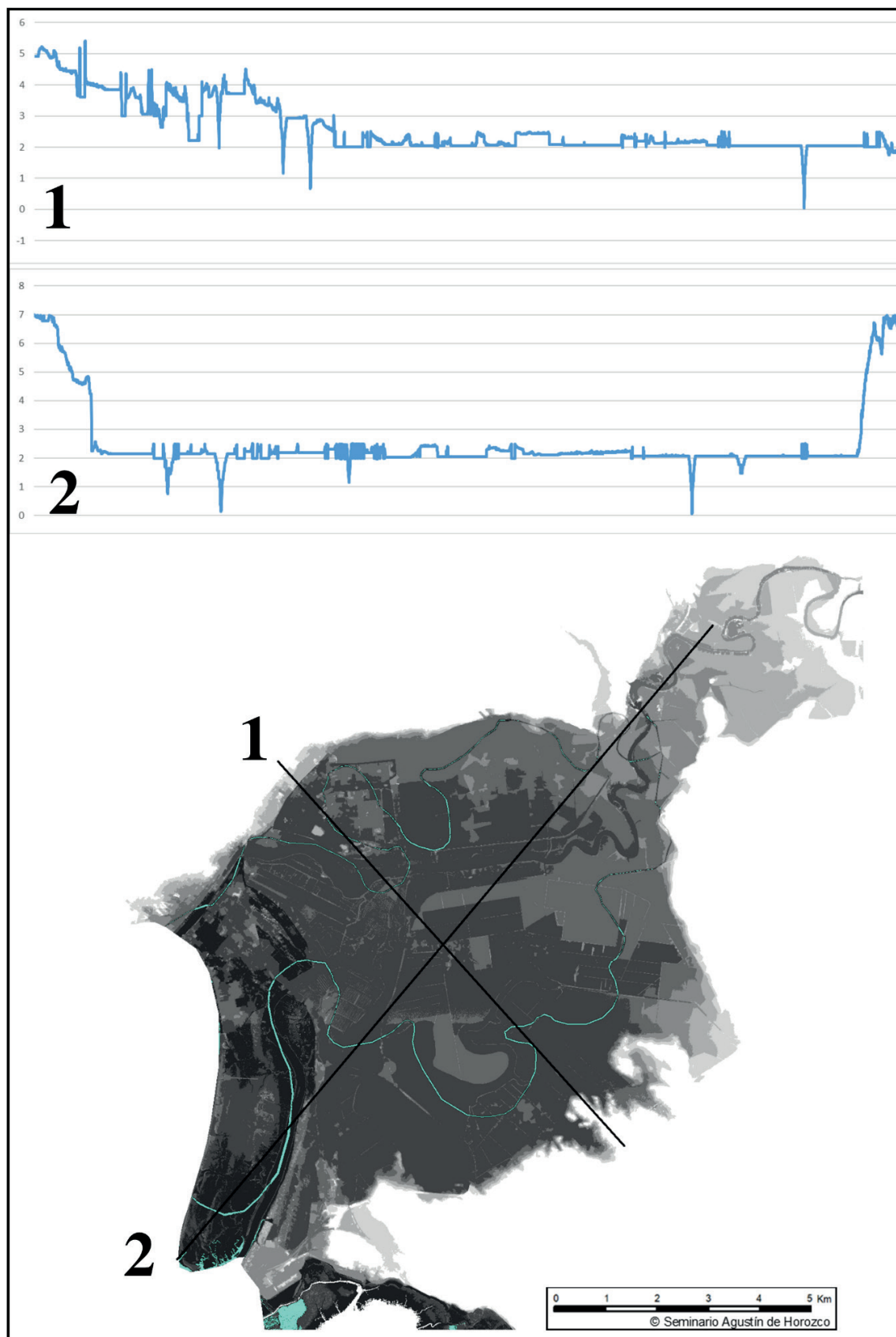


Finalmente, tenemos toda la documentación necesaria para reconstruir los condicionantes para mitad del siglo xvii. Utilizamos la línea propuesta para generar un cauce sobre el modelo del terreno corregido. Para esta simulación tenemos que definir unos valores



para el calado y el ancho del cauce del río. Considerando que es la cuenca baja, elegimos un valor de 50 metros de ancho y de 2 metros de calado máximo. Esto reproducirían las condiciones del río para la navegación de una carabela, todo ello con marea alta. Para ello generamos un *buffer* continuo cada 1 metro de separación para simular la forma cóncava del fondo del río. A este anillo de polígonos que generamos se le da un valor de profundidad desde cero a dos metros, que se resta a nuestro modelo del terreno (fig. 7). Las imperfecciones que bajan de 2 metros en los cortes topográficos se corresponden principalmente con los propios tramos de los cauces que atraviesan. Los puntos superficiales se encuentran en el tramo inicial de cada corte son bastante irregulares, dado que el origen del primero es en un polígono industrial actual y el segundo, tierra adentro. Sin embargo, no deben ser significativos si se considera que para el perfil 1 son casi 10 kilómetros, mientras que el 2 son casi el doble. Las aparentes imperfecciones del modelo son variaciones en la cota que rondan entre 1,8 y 2,3 metros de cota, algo que no hemos podido reducir más tras el procesado de datos. Hay que considerar que prácticamente toda el área puede ser inundada por la marea, que en la zona puede llegar aproximadamente 2 metros sobre el nivel de mar como máximo. Eso implica que la cota relativa siempre va a estar en un rango similar, la variación es mínima. Se puede observar en los perfiles de la figura 7 que el máximo de altitud son 7 metros para un área de unas 20 000 ha. La restitución topográfica de un área tan extensa es compleja, pero posible con el método utilizado en este artículo.

**Figura 7.** Propuesta de cauce para 1648 y navegabilidad de este con marea alta, indicada en azul, junto con perfiles topográficos del modelo con indicación de las alturas del terreno



El método analizado ha permitido restituir las condiciones históricas de un espacio muy complejo, cuyos parámetros son diversos. Partiendo de los condicionantes geográficos se modela el territorio para limpiar un modelo digital a su mínima expresión. Esto es posible gracias a la infraestructura de datos espaciales española y a la capacidad de la tecnología LiDAR de seleccionar elementos. Pero una de las problemáticas que se plantean en este artículo es la restitución de la cuenca baja del río Guadalete, algo complejo dados los profundos cambios naturales y antrópicos. El análisis planteado aporta un método replicable en otros espacios de trabajo, especialmente en lugares donde la diferencia topográfica sea muy baja. Esto es una dificultad en sí misma, dado que los cambios topográficos son pequeños, los valores se concentran en menos de 5 metros. Esto significa que cualquier variación de la topografía en este rango es perceptible para el análisis planteado y motivo por el cual el resultado final siempre tendrá pequeños errores. Además, esto justifica la necesidad de utilizar los datos LiDAR, ya que necesitamos hacer varias transformaciones para restituir un espacio con tan poca cota y profundos cambios, por lo que no podemos usar los datos procesados por el Plan Nacional ya que tienen elementos que necesitamos eliminar.

Un segundo aporte relevante ha sido la combinación exitosa de información geográfica con cartografía histórica. Hemos podido georreferenciar mapas de distinta época para vectorizar cómo sería la deriva del río mediante condicionantes naturales. Se trata probablemente de un caso paradigmático, dado que contamos con cartografía de gran calidad y durante un largo periodo de tiempo, quizá por la importancia histórica que tendría la bahía de Cádiz como puerto de América junto con Sevilla. En concreto, la deriva del río por los meandros parece ser bastante constante, salvando las variaciones antrópicas de cortas y dragados que conocemos.

Todo ello nos lleva a plantearnos si este progresivo cegamiento del cauce que dificulta la navegación es influencia natural, antrópica o de ambas. Para ello tenemos que partir de la información que conocemos desde la antigüedad, centrándonos en la información que tenemos desde el siglo XV, momento en el que tenemos documentación de fletes hasta el siglo XVII, cuando empiezan a acometer obras para favorecer la navegación en el cauce. Existen una serie de condicionantes naturales como la sedimentación, corrientes y desastres naturales; mientras que antrópicos tenemos la posible deforestación, las construcciones como molinos, pesquerías, salinas y los lastres o desechos arrojados al río.

Los procesos naturales de deposición sedimentaria continuados a lo largo del tiempo no suponen un cambio fundamental para dificultar la navegación. Tendríamos que considerar en todo caso la contraflecha arenosa que genera la acumulación de sedimentos. Sin embargo, este proceso ya había comenzado en la Antigüedad, fue especialmente notable a comienzos del siglo I d.C. (Caporizzo *et al.*, 2021). Respecto a esta idea, podríamos tener influencia marítima que modificara la cuenca baja del río. En este caso tenemos la importante influencia mareal de hasta dos metros de cambio. Otros posibles motores de sedimentación pudieran ser las corrientes marinas, pero en el saco interior de la bahía de Cádiz no tienen influencia (Chica, 2009).

Otro condicionante que considerar serían los eventos destructivos, como son los temporales o maremotos. El caso del de Lisboa en 1755 no tuvo influencia en el saco interior de la bahía de Cádiz, al menos en comparación con la zona de frente de ola como la actual Cádiz. También cabe la posibilidad de que este tipo de eventos traslade una gran cantidad de material sedimentario hacia el interior que potencie la acción deposicional, pero no en sí la deriva del río. Esto queda atestiguado por la cartografía de 1743 y su comparativa con la de 1857 (Alonso *et al.*, 2015).

Por su parte, desde la perspectiva antrópica, los grandes procesos de transformación del paisaje tuvieron lugar tras la conquista castellana del territorio en el siglo XIII y la

implantación de un sistema marcado por la agricultura de secano –trigo– y las dehesas para los aprovechamientos ganaderos en ambos márgenes del río (Martín Gutiérrez, 2015). Este paisaje ya estaba plenamente implantado en el siglo xv, coincidiendo con la proliferación de ordenanzas municipales para la gestión y protección de los recursos naturales, donde los bosques –*los montes*– reciben especial atención (Martín Gutiérrez, 2002). Por tanto, no parece que existiese una importante deforestación a partir de la Edad Moderna que acelerase el proceso deposicional entre los siglos xv y xvii.

Por otro lado, desde finales del siglo xv tuvo un gran impulso en toda la bahía la roturación de las marismas para la implantación de salinas, recurso fundamental para la salazón del pescado, especialmente del atún procedente de las almadrabas gaditanas (Martín Gutiérrez, 2018: 79-82). Esta antropización del espacio tuvo lugar en la desembocadura del río Guadalete y sus inmediaciones, especialmente en la ribera que se encontraba frente a la villa de El Puerto de Santa María, como bien puede apreciarse en el grabado de Antón Van de Wyngaerde de 1567 (Caballero Sánchez, 2008). Este proceso estuvo parejo al crecimiento del tráfico comercial y la proliferación de desechos, especialmente de lastre de los barcos. No obstante, aunque esta realidad aceleró los procesos de sedimentación de la desembocadura del Guadalete, como así intentó remediar el concejo de la villa y el duque de Medinaceli con la promulgación de unas ordenanzas en 1525 para la protección del río y su ribera (Romero Medina, 2016), tampoco explica modificaciones en el curso del río objeto de nuestro estudio.

En último lugar, es cierto que, especialmente a lo largo del siglo xv, se construyeron en todo el Guadalete, desde la sierra a la desembocadura, toda una serie de molinos de agua para la molienda del cereal, cuyas canalizaciones servían, a su vez, como pesquerías de los apetecidos sábalos de río (Ruiz Pilares, 2018). No obstante, la mayoría se construyó en los arroyos que desembocaban en el Guadalete. Los vecinos del lugar no dudaron en denunciar cualquier construcción irregular que pudiese aumentar los procesos de sedimentación de estos cursos de agua y afectase, por ende, a su pesquería o a sus infraestructuras harineras (Ruiz Pilares, 2013-2014: 2022).

Por todo ello, no vemos datos concluyentes en este estudio que muestre que los cambios sean de origen natural. De los antrópicos, solamente el último resulta relevante. Basándonos en el proyecto de volver navegable el río en 1888, las obras planteadas principalmente se basaban en la limpieza con dragados y la consolidación de las colmatadas márgenes del río (Ildefonso Ortega y Olmedo Granados, 2015: 171-173). Es muy posible el motor de afección para dificultar la navegación esté en una combinación de condicionantes anteriores, dentro de los cuales los más importantes serían precisamente estos vertidos urbanos o periurbanos, junto con el lastre de los propios barcos. Hay que considerar que esto último implica un aporte de carga sólida constante en el tiempo en determinados puntos como vados y arenales, lo que aumenta la dificultad de pasarlos.

## 7. CONCLUSIONES

En conclusión, en este estudio proponemos un modelo replicable para reconstruir la topografía histórica de un espacio muy cambiante y la restitución con cartografía histórica el cauce del río. Además, analizamos la problemática que dificulta la navegación fluvial en el río Guadalete desde mediados del siglo xvi, y acuciante ya en el siglo xvii, que es en esencia antrópica, posiblemente por los lastres y otros vertidos, localizado en puntos catalogados como bajos. En estos espacios pudo acelerarse el proceso de sedimentación natural sin que existan elementos que indiquen que otro proceso sea especialmente relevante. Por supuesto se tratará de una acción combinada, pero ponemos la atención en el estudio de este tipo de sedimentación puntual, aparentemente poco relevante. Esta es

nuestra principal hipótesis tras analizar el resto de condicionantes y reconstruir la topografía histórica del espacio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Villalobos, C., Gracia Prieto, J., Rodríguez Polo, S., & Martín Puertas, C. M. (2015): "El registro de eventos energéticos marinos en la bahía de Cádiz durante épocas históricas". *Cuaternario y geomorfología* (2015), 29 (1-2), 95-117.
- Alonso, C., Gracia, F.J. y Rodríguez, S. (2014): "Modelo de evolución histórica de la flecha-barrera de Valdelagrana (bahía de Cádiz)", *XIII Reunión Nacional de Geomorfología*, 584-587.
- Alonso, C., Gracia, F.J., y Benavente, J. (2009): "Evolución histórica de la línea de costa en el sector meridional de la bahía de Cádiz", *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social*, 11, pp.13-37.
- Álvarez Rogel, Y., y Conesa García, C. (2018): "Georreferenciación de documentos cartográficos históricos para el análisis del trazado fluvial del bajo Segura, Vega Media (Murcia, España)", *Geofocus: revista internacional de ciencia y tecnología de la información geográfica*, 21, 101-118.
- Arteaga O. y Schuldz, H.D. (2008): "Geoarqueología y proceso histórico en la bahía de Cádiz". *Revista de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla* 10, 7-20.
- Astilleros, J.M. (2015): "Río Guadalete", en J.M. Fernández-Palacios (dir.), *Río Guadalete*, Editado por la Consejería de Medioambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía. Sevilla, 116-136.
- Aycart Luengo, J. (2015): "Hidrología de la cuenca del Guadalete". en J.M. Fernández-Palacios (dir.), *Río Guadalete*, Editado por la Consejería de Medioambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Sevilla.
- Borja F. y Díaz, F. (1994): "Paleogeografía posflandriense del litoral de Cádiz. Transformación protohistórica del paisaje de Doña Blanca", en E. Roselló y A. Morales (Eds.), *Castillo de Doña Blanca. Archaeo-environmental investigations in the Bay of Cádiz, Spain (750-500 B.C.)*, *BAR International Series* 593, Oxford, 185-200.
- Caballero Sánchez, M. (2008): "Las vistas de El Puerto de Santa María en 1567 de Antón Van den Wyngaerde pautas interpretativas y análisis de contenidos", *Revista de historia de El Puerto*, 41, 109-147.
- Caporizzo, C, Gracia, F.J. y Aucelli, P.P.C., *et alii* (2021): "Late-Holocene evolution of the Northern Bay of Cádiz from geomorphological, stratigraphic and archaeological data", *Quaternary International*, 602, pp. 92-109.
- Casarotto, A., Stek, T., Pelgrom, J., van Otterloo, R.H. y Sevink, J. (2018): "Assessing visibility and geomorphological biases in regional field surveys: The case of Roman Aesernia", *Geoarchaeology*, 33(2), 177-192.
- Cascón Katchadourian, J. y Alberich Pascual, J. (2021): La georreferenciación de cartografía antigua en los sistemas de información geográficos (SIG): Revisión, análisis y estudio comparativo de *softwares* de georreferenciación. *Revista General de Información y Documentación*, 31.
- Catalán González, F. (2021): "El paisaje socio-natural de la bahía de Cádiz: análisis histórico de su formación", Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, pp. 375.
- Cerrillo Cuenca, E. (2017): "An approach to the automatic surveying of prehistoric barrows through LiDAR", *Quaternary International*, 435, 135-145.
- Chic, G. (2004): "La ordenación territorial en la bahía de Cádiz durante el Alto Imperio romano", *Revista de Historia de El Puerto*, 33, 11-50.

- Chica, A. (2011): "Aproximación a los paisajes de la bahía de Cádiz", *El paisaje rural en Andalucía Occidental durante los siglos bajomedievales: actas de las I Jornadas Internacionales sobre Paisajes Rurales en Época Medieval*, Cádiz, 1 y 2 de abril de 2009. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, pp. 17-30.
- Clemente Carrillo, M., (2015): *Proceso de construcción de la carabela Niña*, Proyecto fin de carrera Universidad Politécnica de Cartagena.
- Costa García, J.M., Casal García, R., (2015): *Fotografía aérea histórica, satelital moderna y lidar aéreo en algunos recintos militares romanos de Castilla y León*. Portvgalia, Nova Série,36, 143-158.
- Dávila, F. (1648): *Discurso demostrable en desengaño de las causas que dieron motiuo, a abrir la comunicacion de el Salado al rio Guadalete: estado del suceso evidencias de lo conueniente segun el parecer del Gouvernador Don Francisco Dauila y Lugo, que le dio a pedimento de la ... ciudad de Xerez de la Frontera y en virtud de auto del Señor Don Pedro Fernandez de Contreras y Miñano ... para que su Magestad y su Consejo Supremo de Castilla sean informados en este caso con certeza*, Consultado en <http://buslab.us.es/pdfs/A10913716.pdf>, el 15/04/2018.
- Fernández-Palacios, J.M (dir.), (2015): Río Guadalete, Editado por la Consejería de Medioambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía. Sevilla.
- Fernández, J. y Gutiérrez, G. (2016): "Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain)", *Journal of Archaeological Science: Reports*, 5, 509-520.
- García, J., García, C.M, y Álvarez, O. (2008): "Vegetación de las marismas de Aletas-Cetina (Puerto Real). Identificación de hábitats de interés comunitario y estimaciones preliminares de posibles efectos de su inundación", *Revista de la Sociedad Gaditana de Historia Natural*, 5, 11-37.
- Gómez, C., *et alii* (1997): "Primeras fases de la evolución de la flecha litoral de Valdelaguna (El Puerto de Santa María, Cádiz). Datos arqueológicos", *Cuaternario ibérico*, J. Rodríguez Vidal (Ed.) AEQUA,165-167.
- González del Tánago, M., Román, M., García de Jalón, D. y Mayoral, C. (2010): *Evolución del territorio fluvial del río Guadalete y propuestas para la mejora de su funcionamiento hidro-morfológico*, Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- Gracia, F.J., Gutiérrez, J.M., Domínguez, S., Alonso, C., y Sánchez, A. (2016): "Evolución de la bahía de Cádiz en el transcurso de los tiempos geológicos. Celebración Geológica del Bicentenario de 1812", *Cuaderno de campo Geología 12* Cádiz, pp. 1-21.
- Gutiérrez, J.M., Domínguez, S., Algarra, A.M. y Moral, J.P. (1991): *Introducción a la geología de la provincia de Cádiz*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- Hermon, E. y Watelet, A. (1991): (dir.), Riparia, un patrimoine culturel. La gestión intégrée des bords de l'eau. *Actes de l'atelier Savoirs et pratiques de gestion intégrée des bords de l'eau*, Oxford, 2012.
- Kirchner, H. y Virgili, A. (2021): Islas fluviales en el Bajo Ebro en época medieval (siglos XII y XIII)", *Anales de la Universidad de Alicante. Historia Medieval*, 22, 27-55.
- Lagóstena Barrios, L. (2013): "Riparia: conceptualización histórica, función territorial y aprovechamientos de los humedales en la Bética Romana", en L. Borau, A. Borlenghi. *Aquae Ductus: actualité de la recherche en France et en Espagne. Actes du colloque international de Toulouse*, Bordeaux: Aquitania, 33.
- Lallias-Tacon, S., Liébault, F., Piégay, H. (2016): "Use of airborne LiDAR and historical aerial photos for characterising the history of braided river floodplain morphology and vegetation responses", *Catena, Volume 149*, 742- 759, ISSN 0341-8162.

- Llave, E., Hernández, F.J., Alonso, C., Gallardo, M., Vázquez, J.T. y López, F. (1999): "Caracterización y evolución del paleocauce del río Guadalete en la bahía de Cádiz durante el Cuaternario terminal", *Geogaceta*, 26, 43-46.
- López López, A., Cerrillo Cuenca, E., (2016): "Arqueología aérea y fuentes de datos libres. Posibilidades y límites". *Revista Otarq: otras arqueologías*, 1: 181-193.
- Lomas Salmonte, F.J., Sánchez Saus, R., Bustos Rodríguez, et alii (2005): *Historia de Cádiz*, Sílex Ediciones, Madrid.
- Márquez, L., Alonso, L., y Benítez, D. (2016): "El patrimonio cultural marítimo de la bahía de Cádiz según la visión de un hidrógrafo de Napoleón: El vicealmirante Rosily", *Revista de Historia de El Puerto*, (56), 31-60.
- Martín Gutiérrez, E. (2012): "En los bosques andaluces: los carboneros a finales de la Edad Media", *Mundos medievales: espacios, sociedades y poder: homenaje al profesor José Ángel García de Cortázar y Ruiz de Aguirre*, Vol. 2, 1561-1572.
- (2015): *Paisajes, ganadería y medioambiente en las comarcas gaditanas. Siglos XIII al XVI*, Cádiz, Universidad de Cádiz-Universidad de Extremadura.
- (2018): "Entre la costa y la sierra gaditanas. De los paisajes rurales a la interacción sociedad- medioambiente en el siglo XV", *Arqueología y Territorio Medieval* 25, 227-259.
- (2019): "Los paisajes costeros interpretados desde la riparia. Reflexiones sobre el Golfo de Cádiz a finales de la Edad Media", *Riparia*, 2, 47-79.
- Martín Gutiérrez, E. y Ruiz Pilares (2019): *El viñedo en Jerez durante el siglo XV: un mercado de trabajo en torno al vino*, Peripecias Libros, Jerez de la Frontera.
- Ménanteau, L. (2015): "L'influence des facteurs naturels et anthropiques sur l'évolution des ports de Basse Andalousie (XIIIe- XVIe siècles): études de cas (Palos de la Frontera, Séville et Sanlúcar de Barrameda)". En Bochaca, M. y Sarrazin, J.L. (Eds), *Ports et littoraux de l'Europe atlantique. Transformations naturelles et aménagements humains (XIVe-XVIe siècles)*, Rennes: Presses Universitaires, 167-187.
- Miraglia, M. (2016): "Aplicaciones de la cartografía histórica y las tecnologías de la información geográfica en la historia ambiental", *Revista de Histórica Regional*, 24, 1, 24-41.
- Monterroso, A., (2019): "Geoarchaeological Characterisation of Sites of Iberian and Roman Cordoba Using LiDAR Data Acquisitions", *Geosciences*, 9(5), 205, 1-17.
- Nuninger, L., Fruchart, C. y Opitz, R. (2010): "LiDAR: quel apport pour l'analyse des paysages?", *Bulletin AGER*, 34-43.
- Olivella Puig, J. (1994): *Teoría del buque. Flotabilidad y estabilidad*, Ediciones UPC, Barcelona.
- Ortega Calderón, I. y Olmedo Granados, F. (2015): "La navegación en el bajo Guadalete y un proyecto inédito de 1888". *Río Guadalete*, Editado por la Consejería de Medioambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, 163-174
- Pérez Fernández, E. (2018): "Las intervenciones antrópicas en el curso bajo del Guadalete y en San Pedro durante la Edad Moderna", *Riparia* 4, 146-190.
- Remesal, J. (2011): *La bética en el concierto del Imperio romano: discurso, leído el día 13 de marzo de 2011 en el acto de recepción pública; y contestación por José María Blázquez Martínez*, Real Academia de la Historia.
- Romero Medina, R. (2016): "Documentos inéditos para el estudio de la temprana Edad Moderna en El Puerto de Santa María (1515-1525)", en A. Aguayo Cobo (dir.), *El legado de Jano: actas de las I Jornadas de Historia: conmemoración del 50 aniversario del fallecimiento de don Hipólito Sancho*, pp. 155-175.
- Ruiz Gil, J.A., Lagóstena Barrios, L., Pérez Marrero, et alii (2019): "Villae y Figlinae a orillas del Lacus Ligustinus. Análisis GIS y prospección geofísica en el territorium ribereño

- de Hasta Regia”, en J. Remesal Rodríguez, *et alii.* (eds.), *Paisajes productivos y redes comerciales en el Imperio romano*, Instrumenta 65, 115-138.
- Ruiz Pilares, E. J. (2013-2014): “La política viaria municipal a finales de la Edad Media (1430-1530): el caso de Jerez de la Frontera”; *Norba: revista de Historia*, 25-26, 207-226.
- (2017): *El poder en el concejo de Jerez de la Frontera durante el reinado de los Reyes Católicos: espacios, ámbitos y recursos*, Tesis doctoral inédita, Universidad de Cádiz: Cádiz.
- (2018): “El paisaje pesquero de Jerez de la Frontera a finales de la Edad Media: caladero, flota, distribución y consumo”, *Historia. Instituciones. Documentos*, 45, 377-405.
- (2019): “El paisaje portuario en la bahía de Cádiz a finales de la Edad Media: los muelles fluviales”, *Riparia*, Suplemento 2, pp. 173-210.
- (2020): “Las relaciones comerciales entre Canarias y la bahía de Cádiz tras la conquista castellana (1496-1520). Una aproximación a partir de la documentación notarial jerezana”, en G. Rodríguez, V. Muñoz y L. Carbó. (eds.), *Fronteras atlánticas de la Edad Media a la contemporaneidad: experiencias, narraciones y representaciones desde Europa y América*, págs. 131-158.
- Said, H. (2019): “Demarcación hidrográfica de las cuencas mediterráneas andaluzas y demarcación hidrográfica del Guadalete-Barbate”, *Consejería de medioambiente y Ordenación del Territorio. Dirección General de Infraestructuras y Explotación del Agua. Junta de Andalucía*, 1-35.
- Trapero Fernández, P. (2019): “Conectividad en el estuario del Guadalquivir entre Turris Caepionis y Nabrisa Venera. Aprovechamientos económicos, comunicaciones, embarcaderos y zonas navegables. Economía de los humedales”. *Prácticas sostenibles y aprovechamientos históricos*. Colección Instrumenta, Universidad de Barcelona, pp. 179-195.
- Van der Meulen, B., Cohen, K.M., Pierik, H.J., Zinsmeister, J.J., Middelkoop, H. (2020): “LiDAR-derived high-resolution palaeo-DEM construction workflow and application to the early medieval Lower Rhine valley and upper delta”, *Geomorphology, Volume 370*, 1-18.
- Vidal y Domínguez, F. (1888): *Proyecto para mejorar la navegación del río Guadalete*.
- Zurita, F., Lara, M.M., San Martín, M., *et alii.* (2014): *Localización de zonas idóneas para el desarrollo de la acuicultura marina en Andalucía*, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Sevilla, 49-88.