



**Evolución histórica y geomorfología de las explotaciones salineras
en marismas mareales. Ejemplos de la bahía de Cádiz**

*Geomorphology and historical evolution of salt exploitations
in salt marshes. Examples from the bay of Cádiz*

Gracia, F.J.⁽¹⁾; Alonso, C.⁽²⁾; Abarca, J.M.⁽³⁾

(1) Dpto. de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. Campus del río San Pedro. 11510, Puerto Real, España. Correo electrónico: Javier.gracia@uca.es

(2) Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, Centro de Arqueología Subacuática. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía. Avda. Duque de Nájera, 3, 11002, Cádiz.

(3) Demarcación de Costas de Andalucía - Atlántico. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. c/Marianista Cubillo, 7, 11071, Cádiz (retirado)

Resumen

En el presente trabajo se expone una síntesis de los conocimientos actuales sobre el origen y el desarrollo histórico de las salinas de la bahía de Cádiz. Los datos geoarqueológicos indican que probablemente las primeras salinas se construyeron en la zona en época fenicia, si bien su desarrollo parece que fue mayor en época romana, favorecido por un aumento en las tasas de sedimentación en las marismas de la zona. Existen en la actualidad muy pocos restos de huellas antiguas de explotación, debido a la continua reutilización que se ha hecho de estas estructuras a lo largo de los siglos. La ubicación de las salinas está en parte controlada por la distribución de las tasas de sedimentación que se registran en la marisma, las cuales están condicionadas por la geometría de los canales mareales. Tras la última fase de expansión salinera, en el s. XIX, las salinas de la bahía de Cádiz han sufrido un progresivo abandono y degradación, debido tanto a actuaciones humanas (relleno para usos agrícolas, viarios, industriales o urbanísticos) como a procesos naturales (sedimentación arenosa eólica, erosión por la aceleración de los flujos mareales, etc.). Sin embargo, a pesar de su deterioro, en la actualidad su preservación como paisaje antrópico de interés patrimonial podría estar asegurado por la pertenencia al Parque Natural de la Bahía de Cádiz y por estar ubicadas dentro del dominio público marítimo-terrestre.

Palabras clave: salinas; historia; geoarqueología; marismas; bahía de Cádiz; impacto ambiental



Abstract

This work displays a synthesis about the current knowledge about the origin and historical development of the salines on the Bay of Cádiz. Geoarchaeological data suggest that the first salines were probably built in the area during the Phoenician period, although their development seems to have been greater in the Roman epoch, favored by a sedimentation rate increase in the marshes of the zone. Nowadays very few records exist of the ancient salt works and salt harvesting, due to the continuous reutilisation of these structures over centuries. The present location of salines in the Bay of Cádiz is in part controlled by the distribution of the sedimentation rates registered in the salt marshes, which are conditioned by the geometry of the tidal channels. After the last phase of saline expansion during the 19th century, the Bay of Cádiz salinas have suffered a progressive abandonment and degradation, due both to human actions (infilling for agricultural, transportation, industrial and urban uses) and to natural processes (aeolian sand sedimentation, erosion due to the acceleration of tidal fluxes, etc.). Nevertheless, despite their deterioration, today their preservation as anthropogenic landscapes of heritage interest for public could be insured due to their membership of the Bay of Cádiz Natural Park, and to be placed within the public maritime-terrestrial domain (Spanish Shore Act).

Keywords: salines; history; geoarchaeology; salt marshes; bay of Cádiz; environmental impact

1. Introducción

Las salinas pueden desarrollarse sobre ambientes salinos naturales previos de muy distinta naturaleza. En lengua inglesa existe una cierta confusión terminológica en referencia a lagos y humedales salinos, especialmente los continentales (*playa-lake*, *saline lake*, *salina*), donde el origen de las sales puede ser variado (Yechieli y Wood; 2002). Sin embargo, en medios costeros los humedales y lagos costeros habitualmente reciben alimentación salina del agua del mar. Estos medios se pueden dividir, de manera simple, en lagos costeros salinos micromareales (como las albuferas mediterráneas) y lagunas y humedales conectados con el mar y afectados directamente por las oscilaciones mareales (marismas mareales, a menudo estuarinas, típicas de las costas atlánticas europeas; Davies, 1972).

Las salinas constituyen un ejemplo paradigmático de modificación antrópica del paisaje natural, que a veces llega a alcanzar grandes extensiones. Se trata de uno de los casos más destacados de geomorfología antrópica (Nir, 1983), en el que el ser humano ha transformado la geometría del relieve dando lugar a un paisaje nuevo e inconfundible. Por un lado, la labor de transformación se ha adaptado a las condiciones morfológicas y dinámi-

cas naturales preexistentes, y por otro la modificación del relieve ha llevado a una nueva distribución de los procesos físicos naturales de erosión y sedimentación, especialmente cuando se desarrollan en zonas litorales sobre antiguas marismas. Sin embargo, a pesar de la amplia extensión que alcanzan estas formas en muchas áreas costeras, desde un punto de vista geomorfológico prácticamente no han recibido atención. Aparte de algunas aproximaciones multidisciplinarias o locales (Pérez Hurtado, 2004), las investigaciones se han centrado hasta la fecha básicamente en los procesos actuales de inundación y sedimentación en marismas naturales (Pethick, 1992; Torres *et al.*, 2006; Breilh *et al.*, 2013), o el impacto antropogénico y la regeneración ambiental de marismas antropizadas (Irabien *et al.*, 2008; García-Artola *et al.*, 2011), desatendiendo cuestiones como la influencia de la dinámica natural en la elección de lugares para la instalación de salinas, las modificaciones que estas formas ejercen sobre los procesos naturales, o las consecuencias morfológicas y dinámicas de su abandono y degradación.

Las marismas son espacios explotados por el ser humano a lo largo de siglos debido a la importancia de sus recursos y a la posibilidad de obtenerlos con cierta facilidad. Diferentes

estudios histórico-arqueológicos realizados en la bahía gaditana han permitido conocer la importancia que la actividad pesquera tuvo desde la antigüedad, y, asociada a la misma, la producción de los envases necesarios para su transporte (Lagóstena, 2001; Bernal, 2009). Hasta la invención de la industria del frío, las conservas de alimentos tenían en la sal la base para su elaboración, cuya historia y tecnología, a pesar de su gran trascendencia histórica, apenas se empieza a conocer. Se trata de un conjunto de actividades (pesquera, salinera y de marisqueo) que dejó su huella material más o menos efímera allá donde se practicaron. Sin embargo, surge la cuestión de por qué apenas existen indicios arqueológicos de este tipo de actividades en lugares con tan dilatada tradición histórica de explotación de sal como es la bahía de Cádiz.

La respuesta podría estar relacionada con dos aspectos inherentes a este tipo de actividades. Por un lado, la posible desaparición de las estructuras de salinas antiguas arrasadas como consecuencia de la intensa transformación que sufrieron las marismas de la bahía a lo largo de siglos posteriores. En parte esta transformación se debe a su tendencia natural a la progresiva colmatación sedimentaria condicionada por el importante papel bio-sedimentario de la vegetación, que a menudo controla la evolución morfológica de estos ambientes mareales (D'Alpaos, 2011). Paralelamente, una buena parte del conjunto de marismas emergidas que conforman la bahía de Cádiz se encuentra casi totalmente antropizada, dibujando un paisaje cultural único y complejo que, hasta hace escasamente 60 años, estuvo volcado en la producción de sal. Un proceso de antropización durante el cual, si bien pudieron reutilizarse estructuras productivas previas en zonas concretas, en otras, como la del término municipal de Chiclana, todo el sistema de marismas naturales se transformó durante los años centrales del siglo XIX.

Por otro lado hay que destacar la escasez de investigaciones geoarqueológicas en los espacios de marismas, hasta hace escasos

años consideradas de formación reciente y, por tanto, supuestamente inexistentes en la antigüedad. Datos recientes han confirmado, tanto mediante dataciones absolutas, como por la localización de antiguas estructuras *in situ*, que buena parte de las actuales marismas gaditanas se encontraban emergidas y ampliamente desarrolladas ya en la antigüedad (Alonso *et al.*, 2001, 2003, 2004; Alonso y Ménanteau, 2006). Se trata de llanuras sedimentarias cuya formación se encuentra estrechamente condicionada, entre otros factores, por las fluctuaciones del nivel del mar. Dado que durante los últimos 2000 años los cambios eustáticos han sido prácticamente imperceptibles en latitudes medias (Kemp *et al.*, 2011), en este tipo de espacio es frecuente encontrar a la misma cota de altitud (la impuesta por el nivel del mar) restos de ocupación humana de los últimos veinte siglos. Esto deriva en una arqueología horizontal con una problemática muy específica que, si no se analiza correctamente, puede llevar a pensar que los materiales más antiguos sólo pueden ser fruto del acarreo y aporte antrópico para la roturación y/o adecuación de las salinas durante los últimos 200 años.

Además, por su escasa altitud, las marismas han sido históricamente un espacio inundado y arrasado por efecto de inundaciones, tormentas y tsunamis. Si bien estos procesos históricos son cada vez mejor conocidos para el caso del golfo de Cádiz (Ribera *et al.*, 2011; Alonso *et al.*, 2015; Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2016), no han sido tenidos en cuenta suficientemente a nivel histórico-arqueológico para comprender su influencia en la evolución y posible ocupación de marismas y salinas asociadas.

El presente trabajo constituye una recopilación y síntesis de trabajos previos realizados por los autores y por otros investigadores acerca de la geomorfología y evolución histórica de las salinas de la bahía de Cádiz, ilustrada con varias imágenes aéreas oblicuas tomadas desde avioneta. Se estructura en una breve síntesis sobre los métodos históricos de explotación de la sal, unas consideraciones sobre la evolución

holocena e histórica de las marismas y salinas de la bahía, para posteriormente analizar su morfodinámica actual y finalizar con una breve exposición de los actuales procesos de degradación de estas estructuras.

2. Evolución histórica de los métodos de explotación de la sal

Recuperar la historia y la tecnología de la sal es una labor compleja. Se trata de una actividad productiva cuyo saber se transmitía históricamente de padres a hijos, aprendiendo unos procesos de trabajo y fundamentos que pocas veces han quedado recogidos documentalmente a lo largo de la historia. Los sistemas empleados para la obtención de sal pueden variar en función de las características geológicas y climáticas de la zona (Figura 1). Sabemos que en latitudes septentrionales, desde tiempos antiguos y con anterioridad a la aparición de los modelos de salinas de evaporación solar, la sal se obtenía principalmente por dos sistemas:

- La explotación de vetas de cloruros, originadas bien por la desecación de antiguas superficies de agua marina o bien por afloramientos minerales salinos, dando lugar a la denominada “sal gema”.
- Por la evaporación del agua salobre mediante calentamiento, hasta la cristalización de los cloruros.

En nuestras latitudes, al menos hasta el Bronce Final, la sal debió obtenerse por calentamiento ígneo de agua salada y de cuerpos salinos, técnica ampliamente documentada arqueológicamente en la costa atlántica francesa hasta época galorromana (Weller, 2002).

En un momento aún por determinar, un nuevo método de producción más intensivo y rentable, en el que la cristalización del cloruro sódico se alcanzaba sustituyendo la tradicional fuente de calor ígnea por la solar, vendría a sustituir al anterior (al menos en zonas con óptimas condiciones de insolación y escasas precipitaciones). Sabemos que ya era conocido en el siglo I, si bien su origen

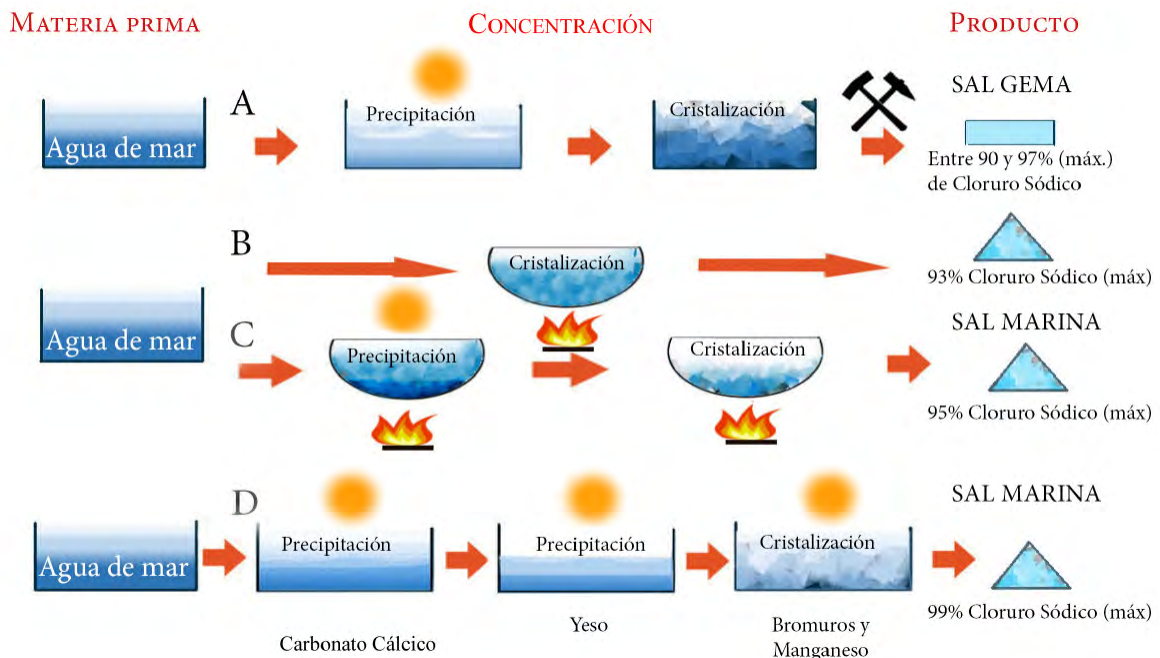


Figura 1. Diferentes sistemas productivos para obtención de sal.

Figure 1. Different productive systems for obtaining salt.

es muy anterior, según señala el geógrafo y naturalista Plinio en el libro XXXI de su *Naturalis Historia*. En dicha obra Plinio establece una clara diferencia entre la que denomina *sal nativa* (XXXI, 73 a XXXI, 80), procedente de lagunas, montañas, ríos, fuentes y la espuma dejada por el mar sobre la orilla, y la *sal artificial* (XXXI, 81 a XXXI, 83), obtenida principalmente mediante la antropización de marismas costeras, fuentes y manantiales salinos. Por la descripción que nos facilita Rutilius Namatianus (*De reditu suo*, 1, 475-478) de una salina próxima a Roma, conocemos que la técnica empleada entonces difería poco de la de los actualmente denominados *sistemas extractivos tradicionales*. Las exigencias ambientales y características técnicas de este nuevo método hicieron desde entonces de la extracción de sal una actividad estacional que, al menos en el marco gaditano, se inicia con la primavera y finaliza a la llegada del otoño, curiosamente en paralelo al proceso migratorio (de ida y vuelta) de los tñidos por dichas cotas.

La forma, el tamaño y la topografía de estas salinas de evaporación por insolación se vieron condicionadas, principalmente, por las características del sustrato sobre el que se implantan (roca o fango) y por las condiciones climáticas de la zona. Con el paso de los siglos este método extractivo se fue perfeccionando para aumentar la velocidad de evaporación en función del nivel de insolación, pluviosidad, régimen de vientos, etc. de cada zona. No obstante, todas las salinas disponen de una estructura similar, en la que se diferencian tres tipos de áreas o dependencias:

- Los *depósitos de almacenamiento* donde se acumula el agua salobre que alimenta a la salina.
- Las *zonas de evaporación*, en las que se retiene el agua mientras es sometida a un proceso de evaporación y concentración salina por exposición solar.
- Los *crystalizadores*, zona en la que, por los mismos procedimientos, se alcanza el ni-

vel de máxima concentración salina, precipitando los cloruros.

Según el tipo de explotación y la técnica empleada para la misma, la circulación hídrica entre cada uno de estos espacios se activa por procedimientos naturales (la propia gravedad) o mediante el empleo de fuerza animal o mecánica (desde la propia mano del hombre, especialmente en el caso de las salinas artesanales sobre roca, hasta el uso de norias y sistemas de bombeo activados tradicionalmente por energía eólica o animal). De entre todas ellas destacan por la sencillez y escasa tecnificación de su sistema extractivo las salinas marítimas sobre roca, en algunos casos conformadas por simples estructuras de crystalizadores generadas mediante la mínima transformación de las charcas naturales del terreno rocoso donde se ubican.

Sin lugar a dudas, el máximo exponente de la intervención humana para la obtención de la sal lo constituyen las salinas labradas sobre barro, especialmente en la costa atlántica, donde la existencia de mareas permite el desarrollo de amplias marismas. Este tipo de salinas de evaporación puede ser descrito como una sucesión de recintos estancos dispuestos cada vez a menor cota para favorecer la circulación del agua salobre por la simple acción de la gravedad. Durante su recorrido, por efecto de la evaporación, la concentración salina va aumentando progresivamente, dando lugar a la precipitación de diferentes sales, hasta llegar al crystalizador donde se recoge el cloruro sódico antes de la precipitación de los bromuros y del manganeso (Figura 2). Estas salinas pueden adoptar diferentes tipologías en función de las condiciones climáticas de la zona, tamaño, topografía y tipo de sustrato sobre el que se implantan, pero genéricamente todas repiten un mismo modelo con las tres dependencias principales anteriormente citadas, las cuales están comunicadas por medio de un complejo sistema de compuertas y canales a través de los cuales el agua pasa hasta el crystalizador.

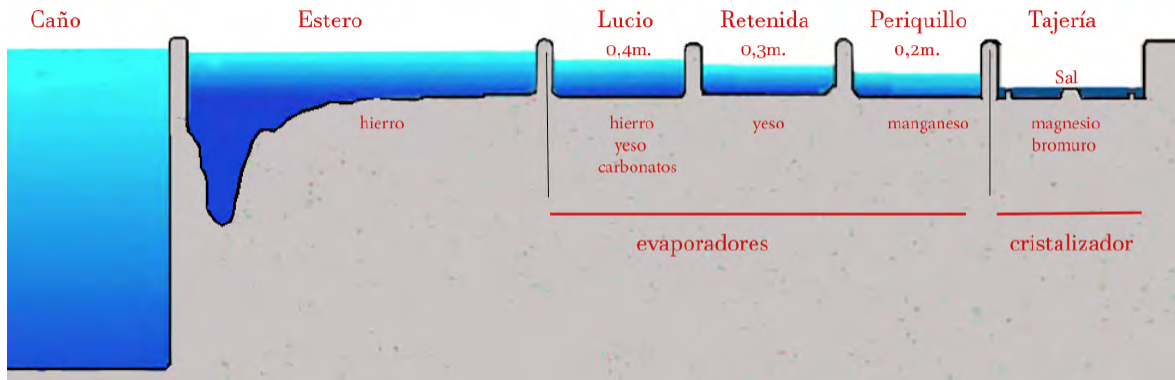


Figura 2. Corte transversal de una salina en la que se indican las zonas de la salina y los compuestos minerales que van precipitando durante el proceso de evaporación.

Figure 2. Cross section of a salt harvest system with indication of the different zones and the mineral compounds which precipitate during the evaporation process.

3. Evolución histórica de las marismas y salinas de la bahía de Cádiz

Desde un punto de vista morfodinámico evolutivo, existe una relación directa entre desarrollo y crecimiento de marismas y oscilaciones del nivel del mar (Goodman *et al.*, 2007; Rahman y Plater, 2014). En las marismas de nuestras latitudes, la tendencia general al ascenso eustático tras la última glaciación, unida a la compactación del sedimento arcilloso típico de los ambientes de marisma, han provocado un aumento de la profundidad de acomodación sedimentaria, favoreciendo la acreción vertical (Allen, 2000; Brain *et al.*, 2015). En el caso atlántico español la velocidad de sedimentación en estuarios y marismas fue máxima durante los primeros episodios de ascenso eustático holoceno, entre 10000 y 6500 años BP, con tasas de unos 5 mm año⁻¹, que tras el máximo eustático se redujeron a unos 1,5-2 mm año⁻¹ (Lario *et al.*, 2002).

El relleno sedimentario de bahías y estuarios ha generado amplias llanuras marismeñas en prácticamente todos los entrantes costeros importantes de la fachada atlántica ibérica, especialmente en aquellos que reciben alimentación sedimentaria directa desde el continente (estuarios). Este relleno está controlado en los estadios evolutivos iniciales

por la interacción entre corrientes fluviales y mareales y la acción del oleaje. Sin embargo, una vez que la reducción en la profundidad de agua inhibe la formación de olas capaces de transportar sedimentos, y la progradación sedimentaria de las zonas más internas reduce el *fetch*, las olas dejan de actuar y el fondo solo es afectado por la acción de las mareas, que produce agradación sedimentaria (Adlam, 2014).

Desde un punto de vista geomorfológico general, en la bahía de Cádiz se reconocen tres entrantes principales (Figura 3): uno al Norte, correspondiente con el estuario del río Guadalete, semicerrado por la barrera arenosa confinante de Valdelagrana (Figuras 3 y 4A). El máximo eustático Flandriense supuso la inundación de este entrante costero, transformando el tramo bajo del río en estuario. Esta gradación aparece bien reflejada en las columnas de sondeos realizados en la mitad norte de la Bahía (Dabrio *et al.*, 2000; Gracia y Martín, 2009), los cuales muestran que hace unos 9600 años BP se produjo el cambio de una sedimentación fluvial a un dominio transicional, dando paso a un ambiente claramente estuarino en torno a los 8900-6800 años BP y a un depósito de marisma asociado al máximo eustático entre los 6500 y el 6200 años BP. La barrera confinante de Valdelagrana se de-

sarrolló durante dos fases (Zazo *et al.*, 1996): una en época fenicia (hace unos 3000 años) y otra romana (hace unos 2050-1820 años), si bien ha experimentado en épocas históricas varios episodios de erosión ligados a eventos energéticos marinos (Alonso *et al.*, 2015).

El segundo entrante costero corresponde a la actual bahía interna de Cádiz, desarrollada al abrigo del tómbolo que une las islas de Cádiz y San Fernando (Figura 3). Este ámbito marino está limitado por los relieves diapíricos de San Fernando y Puerto Real (Gracia *et al.*, 2008). Se trata de la única zona actualmente abierta al mar y permanentemente inundada, con una profundidad de agua que en general oscila entre 1 y 5 m por debajo de la bajamar. Sus límites internos presentan un amplio desarrollo de marismas, tanto naturales como antropizadas (Figura 4B).

El tercer entrante se localiza entre San Fernando y Chiclana de la Frontera, al abrigo de la flecha barrera de Camposoto-Sancti Petri (Figuras 3 y 4C). Se trata de un relieve deprimido, herencia de un paleovalle fluvial pleistoceno inundado por la transgresión flandriense (Mediavilla *et al.*, 2004), probablemente el río Guadalquivir (Gracia *et al.*, 2010). Está cruzado de Norte a Sur por el caño de Sancti Petri a lo largo de unos 17 km, con una profundidad de apenas 3 m. En la actualidad el 70% de esta bahía interior es intermareal, ocupando unas 3300 ha (Martín *et al.*, 2003). Este sector presenta una intensa transformación antrópica de las marismas para uso salinero (Figura 4D). El desarrollo al SE de Puerto Real de una flecha litoral (Figura 3) datada en cal. 2712 + 188 años BP y de un depósito de playa datado en los siglos I-II d.C. (Gracia *et al.*, 1999, 2000) permiten deducir que entre las épocas fenicia y romana este sector de la bahía todavía se encontraba expuesto a una cierta acción del oleaje.

Históricamente, la revolución neolítica y el paso de una dieta propia de sociedades cazadoras recolectoras a una cerealista propia de comunidades agricultoras y ganaderas, fue el origen de la necesidad de obtener sal en can-

tidades suficientes para abastecer las necesidades humanas y de la cabaña ganadera establecida. A pesar de que en otras zonas costeras españolas se han encontrado evidencias de actividad salinera, tanto minera como por evaporación al fuego de aguas salobres, en el caso

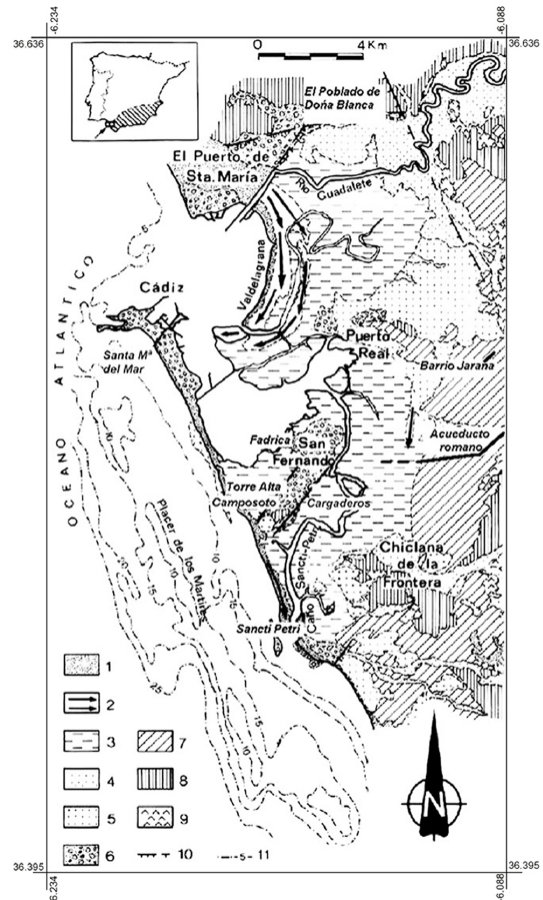


Figura 3. Esquema geomorfológico general de la bahía de Cádiz, con los topónimos citados en el texto. 1, playas y dunas; 2, flechas litorales holocenas; 3, marismas; 4, depósitos aluviales holocenos; 5, depósitos pleistocenos; 6, Plioceno conglomerático; 7, Plioceno arenoso; 8, otras unidades terciarias; 9, Triásico arcilloso y yesífero; 10, Fallas; 11, líneas isobatas (en metros). Modificado de Alonso *et al.* (2003).

Figure 3. General geomorphological map of the bay of Cádiz, with the main places cited in the text. 1, beaches and dunes; 2, Holocene littoral spits; 3, salt marshes; 4, Holocene alluvial deposits; 5, Pleistocene deposits; 6, Pliocene conglomerates; 7, Pliocene sands; 8, other Tertiary units; 9, Triassic clays and gypsums; 10, Faults; 11, contour lines (in meters). Modified from Alonso *et al.* (2003).



Figura 4. Ejemplos de paisajes marismeiros y salineros en la bahía de Cádiz. A, marismas naturales en el Parque Metropolitano de Los Toruños al abrigo de la flecha-barrera de Valdelagrana (El Puerto de Santa María); B, salinas abandonadas e inundadas en la isla de Trocadero (Puerto Real); C, marismas y salinas desarrolladas al abrigo de la flecha-barrera de Camposoto-Sancti Petri; D, salinas en distinto grado de conservación y actividad cerca de Chiclana de la Frontera.

Figure 4. Several examples of salt marshes and salina landscapes in the Bay of Cádiz. A, natural salt marshes in Los Toruños Metropolitan Park sheltered by Valdelagrana spit-barrier (El Puerto de Santa María); B, abandoned and flooded salinas in the Trocadero Island (Puerto Real); C, salt marshes and salinas developed at the shelter of Camposoto-Sancti Petri barrier-spit; D, salinas with different of preservation and activity degree, near Chiclana de la Frontera.

de la bahía de Cádiz no se conocen indicios documentales, arqueológicos o geomorfológicos que demuestren la extracción de sal por cualquier método con anterioridad a la época fenicia, momento en el que la sal era un producto utilizado por los gaditanos para comerciar (Estrabón III, 5, 11). Aunque es posible que la forma primigenia de obtención de sal en este espacio geográfico fuera la recogida de las sales evaporadas de forma natural por efecto de la insolación sobre marismas y plataformas ro-

cosas costeras, desconocemos qué tipo de sal utilizaban los fenicios para comerciar, gema o marina y, en caso de esta última, qué técnicas se utilizaban para su extracción, o si esa actividad se remontaba a momentos anteriores de la prehistoria.

En cualquier caso, la formación de ambientes sedimentarios intermareales estuarinos y de marismas en la bahía de Cádiz se generalizó probablemente en época romana (Figura 5),

debido al incremento del aporte sedimentario de los ríos como consecuencia de una intensa deforestación para el cultivo y uso de la madera con fines diversos, y posteriormente por un probable descenso leve del nivel del mar a finales de la época medieval (Alonso *et al.*, 2009). Debido a múltiples causas (variaciones en la tendencia climática, incremento demográfico, deforestación con fines agrícolas y de obtención de leña y madera para las florecientes industrias alfarera y de construcción naval, etc.), entre los siglos V y II a.C. debió producirse en la zona interior de la Bahía una aceleración del proceso de colmatación sedimentaria (Figura 5). Algunos indicadores

del avanzado estado de colmatación de la bahía son la existencia en Camposoto (San Fernando, ver Fig. 3) de centros de producción de ánforas activos durante los siglos VI y V a.C., el hallazgo junto a éstos de ánforas cargadas con pescado salado y preparadas para su transporte, o la presencia de restos anfóricos dispersos entre Camposoto y río Arillo sobre las contiguas marismas emergidas (Alonso *et al.*, 2004, 2009). Estos indicadores también confirman la navegabilidad de las marismas a través de una red de caños mareales que permitía la salida de los siempre pesados contenedores cerámicos empleados para la comercialización de las salazones.

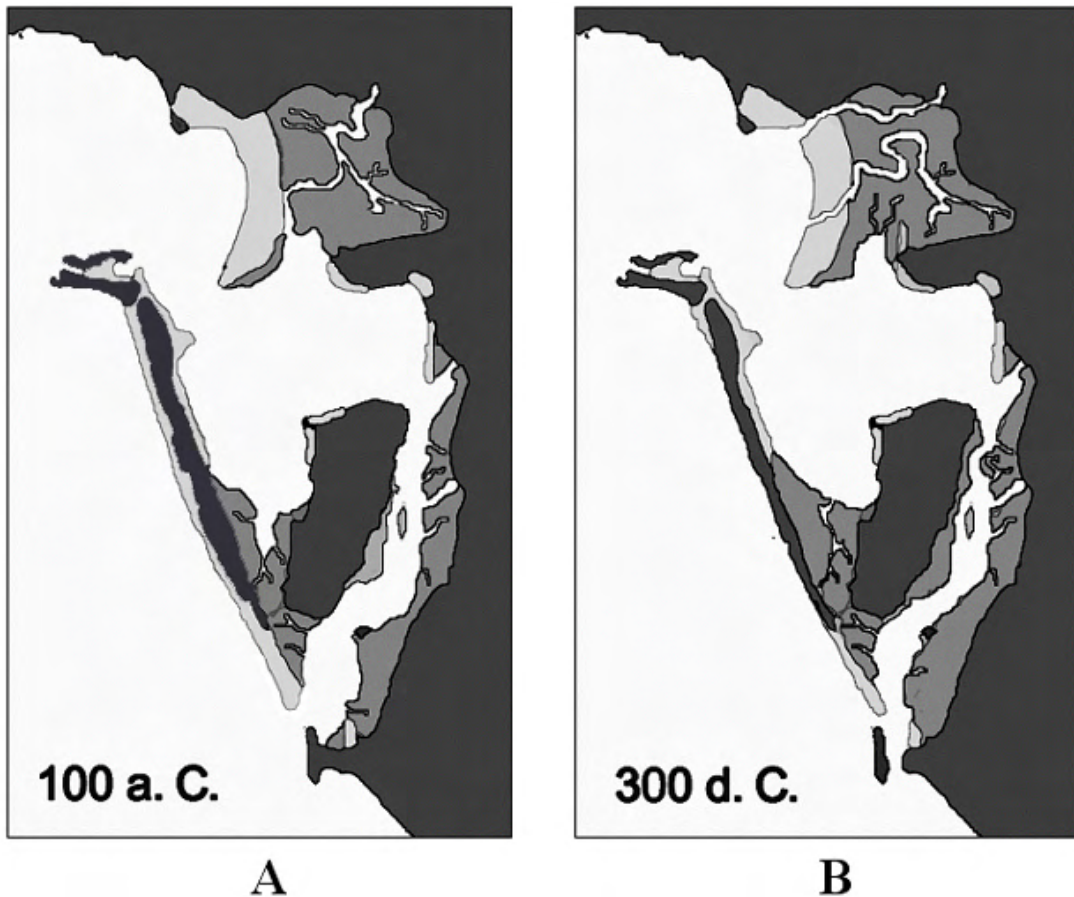


Figura 5. Evolución paleogeográfica esquemática de la Bahía de Cádiz entre el 100 a.C. y el 300 d.C. (modificado de Alonso *et al.*, 2009). En color gris oscuro, tierras emergidas. En color gris medio, marismas y llanuras mareales. En color gris claro, playas y dunas.

*Figure 5. Schematic palaeogeographic evolution of the Bay of Cadiz between 100 b.C. and 300 AD (modified from Alonso *et al.*, 2009). Emerged lands in dark grey; salt marshes and tidal flats in medium grey; beaches and dunes in light grey.*

En el siglo IX a.C., en el entorno del Poblado de Doña Blanca (El Puerto de Santa María), existía ya un importante asentamiento prerromano. Con anterioridad al siglo III a.C. el espacio próximo a este asentamiento debió ser navegable; así lo confirma la recuperación mediante sondeos mecánicos de fragmentos de cerámica griega a cinco metros de profundidad (Ruiz Mata, 1998), en los niveles de relleno que colmataban una de las posibles ensenadas portuarias de este enclave. El abandono de Doña Blanca a finales del siglo III a.C. parece estar directamente relacionado, precisamente, con la pérdida de navegabilidad de este espacio.

A lo largo de los últimos 2500 años se aprecian dos momentos en los que la colmatación de la bahía gaditana parece acelerarse. Uno de ellos se sitúa entre los siglos IV y II a.C. y el otro hacia el siglo XVI (Alonso *et al.*, 2009). En ambos casos el origen de este proceso debe ponerse en relación tanto con cambios de la tendencia climática (Alonso *et al.*, 2004), como con el impacto que la actividad humana produjo sobre el medio natural, especialmente por deforestación y roturación de terrenos para el cultivo. Una gran cantidad de suelo vegetal fue a parar a la red hidrográfica, acumulándose en los espacios restringidos de las desembocaduras fluviales.

Si bien diferentes autores, basándose en la información aportada por textos y epigrafía, han puesto en evidencia la importancia que la explotación y control económico de las salinas tuvo para los diferentes estados en época clásica y los sistemas creados para garantizar el abastecimiento a ciudades y ejércitos (García Vargas y Martínez Maganto, 2006; Martínez Maganto, 2012, 2013), el conocimiento de cómo eran estas antiguas salinas dista mucho de ser completo. Casos como el de las salinas romanas de Vigo (Castro, 2006) son excepciones que ponen en evidencia la presencia de sistemas de salinas solares. Parece claro que, tal como narran los textos clásicos, en el mundo romano se conocían y empleaban técnicas de evaporación solar allí donde las condiciones lo permitían, sustituidas por

las de evaporación mediante fuego en latitudes más septentrionales.

A partir de los siglos V y IV a.C., las conservas saladas que se producían en el denominado *Circulo del Estrecho* (las afamadas salazones y salsas de pescado gaditanas) experimentaron un fuerte auge, exportándose incluso a la ciudad de Atenas (Frutos y Muñoz 1996; García Vargas y Ferrer Albelda, 2001). En ese momento, según apunta Manfredi (1992), parece observarse en el Mediterráneo una clara organización, estructuración y control del comercio de la sal por parte del Estado, en estrecho vínculo con el culto y los santuarios a *Melqart*. Ocho siglos después, hacia el III d.C., la actividad salazonera gaditana entró en crisis, reduciéndose notablemente la producción y arrastrando tras de sí al resto de los sectores productivos implicados, y entre ellos, sin duda, el de la producción de sal.

Las evidencias materiales de cómo fueron y dónde se emplazaron las salinas gaditanas hasta ese momento son muy escasas y de difícil interpretación, si bien estudios geoarqueológicos realizados durante los últimos años están sacando a la luz elementos que se asociarían a salinas de evaporación solar emplazados sobre restos de antiguas marismas emergidas del entorno de San Fernando (Figura 6; Alonso *et al.*, 2001, 2003). No será sin embargo hasta los siglos XIII y XIV cuando encontramos en las primeras crónicas medievales (Franco Silva s.a.) referencia exacta a salinas de evaporación solar, cuya actividad se asociaba, una vez más, a las crecientes demandas del pujante sector pesquero.

Durante la Edad Media y tras la Reconquista, el antiguo reino de Sevilla obtenía la mayor parte de la sal de las salinas atlánticas de Cádiz y Huelva, en el caso gaditano localizadas junto al río Guadalete. En la época moderna, el principal foco productor de sal se localizaba en el mismo sector de la bahía, cerca de El Puerto de Santa María, si bien existían también explotaciones al oeste de San Fernando. La roturación y formación de una salina por métodos exclusivamente manuales era en-

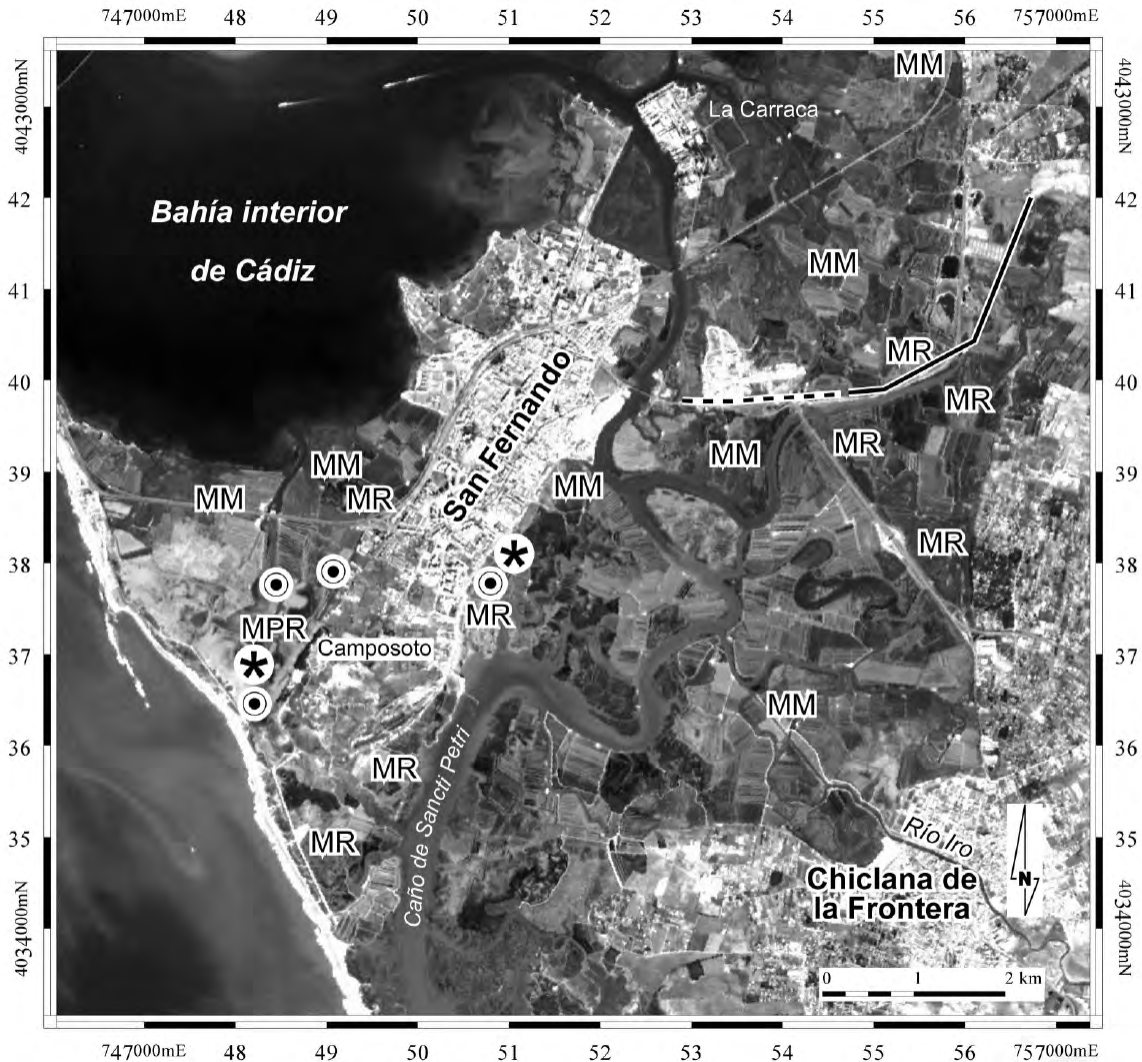


Figura 6. Reconocimiento de niveles de marisma emergidos para diferentes momentos históricos de la bahía interna de Cádiz, siguiendo indicadores geoarqueológicos (⊗* = Restos arqueológicos sobre la marisma; MPR = Marisma prerromana; MR = Marisma romana; MM = Marisma Medieval-Moderna).

Figure 6. Recognition of emerged salt marsh levels related to different historical times in the inner bay of Cádiz, after geoarchaeological markers (⊗* = Archaeological remains upon salt marshes; MPR = Pre-roman salt marsh; MR = Roman salt marsh; MM = Medieval-Modern salt marsh).

tonces muy lenta y costosa de realizar. En ese sentido había que considerar la facilidad de acceso desde tierra firme, la altura de la pleamar/bajamar vivas y la existencia de algún caño que permitiera la alimentación y evacuación de las aguas marinas. Por ello las salinas se labraban a “toda agua”, “media agua” o “poca agua” en función de su ubicación y la posibilidad que tenían las embarcaciones para llegar hasta la zona de acopio de la sal.

Ha de tenerse en cuenta que cuanto más baja fuera la marisma, el coste subía mucho por precisar de mayores muros de aislamiento de la marea y una considerable tarea de mantenimiento debido al mayor azote del oleaje. Es por ello que el desarrollo de las salinas fue progresivo desde los bordes interiores emergentes hacia la bahía o hacia el gran canal mareal central entre San Fernando y Chiclana (caño de Sancti-Petri).

Otra condición a tener presente es que, al tratarse de terrenos cubiertos por las aguas del mar, históricamente han tenido la condición de bienes comunes, es decir, dominio público. Por ello desde muy antiguo la producción de sal ha estado sujeta a autorización. Desde la legislación medieval (Partidas del rey Alfonso X) a la de la edad moderna (Disposiciones del rey Felipe II), la formación de salinas era un otorgamiento real, en lugares de su jurisdicción (Puerto Real) o bien del señorío en aquellos de dominio solariego señorial. En Cádiz y San Fernando eran explotadas por los Condes de Arcos, por los condes de Medinaceli en El puerto Santa María y por los Duques de Medinasidonia en Chiclana. Se trataba de una renta estancada de la que se obtenían cuantiosos recursos económicos, para lo que desde el s. XIV estaban establecidos depósitos para la venta y distribución obligatoria de la sal ("alfolies"). La sal se compraba por el Rey al productor a precios muy bajos y era vendida entre tres y seis veces el precio de coste, estando todos (incluso los clérigos) obligados a cargar con el impuesto. Incluso la que se exportaba al extranjero sufrió en tiempos de Felipe V una dura imposición con 60 reales de vellón por lastre (48 fanegas). Con ello se financiaban las tropas para las diferentes guerras (Torrejón, 1996).

Además de las estructuras para retener, evaporar y cristalizar las sales del agua marina, las salinas dispusieron desde antiguo de otras dependencias como el salero o explanada rellena de tierras donde se acopiaba la sal en montones piramidales, un embarcadero opcional y una casa con diversos almacenes para alojar al personal y animales de trabajo. Las casas salineras, con una arquitectura muy característica (Suárez Japón, 1989), disponían de zonas para los aperos, pajar e incluso pozos de agua perforados en ciertas zonas hasta llegar a algún venero de agua dulce, aunque generalmente se aprovechaba el agua de lluvia gracias a sus tejados planos, para posteriormente almacenarla en aljibes adosados al muro de la casa o en grandes tinajas de barro. Las construcciones de este tipo más antiguas que hoy perviven datan del s. XVIII. Debido a la poca consistencia y capacidad de carga del

fango marismeño, solían tener grandes contrafuertes. Se trata de elementos perdurables en el tiempo por estar realizados en su mayor parte en piedra, ripios, ladrillos o adobes que se cubrían con numerosas capas de cal y, por tanto, es probable que las ruinas de estas edificaciones puedan contener en sus cimientos restos de otras aún más antiguas. Otra fuente de información histórica y arqueológica también pueden ser los miles de pilotes de madera utilizados para asentar otras estructuras salineras, como compuertas y muros, si bien se trata de una línea de investigación no desarrollada hasta la fecha.

Durante los reinados de Carlos I y Felipe II se promovió la construcción de salinas para el envío de sal a América y para sufragar también las guerras en Europa. Durante los siglos XVI y XVII, la crisis en el sector pesquero produjo una caída en las rentas ligadas a la explotación y venta de la sal, que dio comienzo a un proceso de decadencia de la industria salinera en la bahía de Cádiz. A partir de entonces es frecuente encontrar en la documentación histórica términos como "salina perdida" para referirse a muchos terrenos de las marismas de la bahía de Cádiz ya en desuso. No obstante, en la segunda mitad del s. XVIII, en paralelo al crecimiento de la actividad comercial del puerto de Cádiz, se observa una extensión de la superficie salinera en Puerto Real y San Fernando. El gran desarrollo de la roturación y labrado de salinas se produjo especialmente tras la Real Orden de Carlos III de 19 de junio de 1767 por la que se mandaba que los terrenos de la villa de Puerto Real, Isla de León (San Fernando) y toda la ribera de Cádiz que bañaba el mar en sus crecientes, se considerasen pertenecientes a la Real Hacienda y se destinasen a salinas para que se labrasen por la Renta o por aquellos sujetos que lo solicitasen. Así, se labraron numerosas salinas por particulares y por la Real Hacienda, que incluso arrendó a particulares en ciertos momentos, hasta llegar a contabilizarse un total de 111 salinas en 1814.

Desde la Ley de desamortización de 1 de mayo de 1855 hasta la R.O. de 2 de julio de 1870, el

Estado fue desprendiéndose de las distintas salinas que poseía, sacando a pública subasta 14 salinas en Cádiz. Desde el 1 de enero de 1870 se produjo el desestanco de la sal y su fabricación y venta quedaron completamente libres, desapareciendo el monopolio ejercido por el Estado durante cinco siglos. Se produjo así una gran expansión de las explotaciones, especialmente en el término de Chiclana de la Frontera. Sin embargo, tal y como manifestó el geólogo Eduardo Benot en 1885, el fuerte incremento de las explotaciones vino acompañado de un acelerado proceso de colmatación sedimentaria de la bahía (Alonso y Menanteau, 2004). Este proceso sin duda estuvo en buena medida desencadenado por la roturación de tierras en los alrededores de la bahía, que acentuó la erosión de los suelos y el consiguiente arrastre de sedimentos por las escorrentías desde las campiñas que rodean a las marismas, aportando fangos que aceleraron la colmatación sedimentaria de los ámbitos marismesños, especialmente en la bahía Sur, entre San Fernando y Chiclana.

Ya en el s. XX, la creciente competencia con otros países emergentes como Argentina o Brasil y con otras explotaciones españolas (Alicante, Navarra), así como el desarrollo de la industria del frío para la conservación de alimentos, provocaron una profunda crisis en las salinas gaditanas. Hacia 1935 se inició el cierre y abandono de la mayor parte de las salinas tradicionales. Para la década de 1960 más de la mitad de las salinas estaban ya abandonadas y para principios de la década de 1980 una gran parte habían sido vendidas ante las perspectivas de un nuevo uso para destinarlas a cultivo de peces mediante piscifactorías (“pescado de estero”), aprovechando en su mayor parte las antiguas estructuras de la salina. Desde esa época tan solo cinco salinas producían sal de forma artesanal, no por el rendimiento económico sino debido a que era el medio de vida de sus propietarios, que se negaban a abandonar una tradición de siglos.

Como resultado de toda esta actividad histórica, en la actualidad más de dos tercios

de las marismas de la bahía de Cádiz se encuentran transformadas por la acción humana. Así, de acuerdo con Barragán (1996), de las 17.000 ha que ocupan los terrenos sedimentarios mareales de la bahía, un 25% corresponde a marismas naturales y un 32% a explotaciones salineras (más de 6.000 ha). Hay que destacar el gran esfuerzo económico y de trabajo que supuso su formación en la bahía de Cádiz, sobre un medio tan hostil y duro para trabajar como es el fangal marismesño. La gran mayoría tienen nombre de santos, pero algunas indican claramente las dificultades para su realización (p.e. La Imposible, La Esperanza, La borriquera). Otras se realizaron por vía marítima exclusivamente (La Covacha, Vicario) al estar rodeadas por un gran caño de agua o mar, lo que implicaba el transporte muy laborioso de todos los materiales, medios de construcción y humanos. Así se desprende de la autorización dada a La Covacha por una superficie de 100 ha, de las que solo utilizó 23 ha debido a las dificultades para cercar el recinto en marisma muy baja. En la actualidad la inmensa mayoría de las salinas han sido abandonadas, aunque las obras y transformaciones que se hicieron en su día permanecen perfectamente reconocibles (Figura 7).

4. Morfodinámica de las marismas y salinas de la bahía de Cádiz

Las características climatológicas, topográficas y mareales de la bahía de Cádiz favorecen la entrada de agua marina en las marismas y su evaporación rápida. El clima de la bahía de Cádiz es de tipo mediterráneo semihúmedo, con temperaturas suaves y ausencia de heladas, favorecido por su proximidad al mar y por la suave topografía del terreno, que contribuye a que el paso de los frentes nubosos atlánticos sea rápido y fácil, produciendo escasas precipitaciones (Ramos, 1991). Tomando los datos de dicho autor y la actualización de datos climáticos llevada a cabo por López-Geta *et al.* (2005), la temperatura media anual en Cádiz es de 18,2º, oscilando entre 12,8º (enero) y 24,5º (agosto). La cantidad media de ho-



Figura 7. Paisaje salinero cerca de Chiclana de la Frontera.

Figure 7. Salina landscape near Chiclana de la Frontera.

ras de sol es de 3.062,7, una de las más altas de Europa, con valores positivos extremos de 362 h mes^{-1} (julio). Las precipitaciones se extienden de noviembre a febrero, con una media anual en Cádiz de 586 mm. Los vientos son constantes en la zona, aunque sus direcciones e intensidades son variables, predominando la dirección general E-W. El viento del Oeste es el más frecuente (13,6%), mientras que el del Este no lo es tanto (12,3%) pero es más cálido y seco, y también más intenso (28 km h^{-1} de media). La humedad relativa es elevada, con un valor promedio anual del 72%. No obstante, la evaporación media anual es muy alta, debido a la escasez de lluvias, fuerte insolación, altas temperaturas y fuertes vientos, llegando a un valor total anual de 1778 mm, con mínimo en enero (89 mm) y máximo en julio (191 mm).

Topográficamente las marismas presentan una gran horizontalidad, que oscila entre 0,1 y 1 por mil. Se trata por tanto de zonas muy sensibles a pequeñas variaciones en la inundación mareal. Según la periodicidad de las mareas y la altura alcanzada por cada tipo de estado de marea, unas zonas de la marisma se inundan con mayor frecuencia que otras. Dado que las distintas plantas que colonizan estos ambientes están adaptadas en distinto grado a la inundación marina, esta disposición topográfica tiene como consecuencia una zonación en el tipo de cobertura vegetal, desde las zonas más altas y más raramente inundables, hasta las más bajas y sometidas a inundaciones diarias, mensuales, etc.

En cuanto a las mareas, son de carácter semidiurno, con dos pleamares y dos bajamares

diarias con un pequeño desfase horario y cierto carácter asimétrico diario. El rango medio es de 2,18 m, que clasifica a la zona como mesomareal baja (Benavente *et al.*, 2011). La marea presenta ciclicidades de distinto periodo. Aparte del ciclo semidiurno, cada 15 días se producen las mareas vivas o sizigias, cada 6 meses se dan mareas equinociales (en torno a marzo y septiembre) y cada 18 años y 9 meses se producen mareas astronómicas de conjunción astral, especialmente altas. La amplitud teórica máxima, dada por una situación de marea viva equinoccial, es de 3,74 m. Este valor teórico se ha visto superado en varias ocasiones durante los últimos 20 años; así, se han registrado rangos, por causas exclusivamente astronómicas, de hasta 4,04 m (febrero de 1975). Las menores mareas se dan en noviembre y junio, con una amplitud inferior a 0,8 m. Todos estos rangos pueden verse afectados por el viento y por la presión atmosférica, que pueden ocasionar un incremento de hasta 0,5 m sobre la pleamar astronómica (Instituto Hidrográfico de la Marina, 1992). Las corrientes asociadas a las llenantes y vaciantes de marea pueden llegar a superar localmente los $0,7 \text{ m s}^{-1}$. En cualquier caso, habitualmente se trata de corrientes moderadas a bajas, capaces de resuspender y transportar arcillas, limos y arena fina, pero difícilmente partículas de tamaño superior.

La agradación sedimentaria en marismas se debe al comportamiento asimétrico del ciclo de marea (Pethick, 1980): durante el semiciclo de llenante el flujo mareal transporta sedimento en suspensión, básicamente arcillas y limos, que se acumulan durante la pleamar una vez que el flujo se detiene, a menudo gracias a procesos de floculación biogénica de partículas arcillosas. Durante y tras su sedimentación, las partículas arcillosas desarrollan enlaces electrostáticos que rápidamente les confieren una creciente cohesión interna. A continuación, el inicio de la siguiente vaciante habitualmente no tiene energía suficiente para romper esos enlaces, resuspender y volver a transportar todas las partículas depositadas, y aunque la velocidad del flujo de vaciante crece, paralelamente la lámina de

agua disminuye, reduciendo la potencia del transporte. Además, en caso de que las partículas sean resuspendidas, esta asimetría de la onda de marea provoca su resedimentación en el interior de la propia marisma, aunque en otro lugar (Potsma, 1961).

De ese modo, una parte de las partículas depositadas durante la pleamar no son devueltas de nuevo al mar durante la vaciante. Paralelamente, el entramado foliar y radicular de las plantas halófitas existentes en las zonas más altas colabora en la retención y fijación de sedimento (Temmerman *et al.*, 2005). En consecuencia, al cabo de un ciclo mareal se produce una pequeña agradación o crecimiento sedimentario de la superficie de la marisma (Davidson-Arnott *et al.*, 2002). Con el tiempo, la altura alcanzada por la superficie en las zonas más internas, alejadas del mar, no son ya inundadas por la marea durante ciclos mareales normales, y la cobertura vegetal va creciendo, fijando la superficie (Davis y Fitzgerald, 2004). Modelos matemáticos aplicados a la evolución morfológica de marismas indican que se produce una realimentación negativa entre la tasa de acreción sedimentaria y la elevación topográfica de la marisma (D'Alpaos, 2011). Todo este proceso tiende a generar una superficie muy plana que crece en extensión y en altura, homogeneizando totalmente el relieve y sellando o fosilizando formas y estructuras previas. Por esta razón, las marismas son ambientes donde resulta muy difícil encontrar morfologías relictas de épocas históricas que ayuden a reconstruir su evolución geomorfológica. Sólo transformaciones antrópicas históricas como las salinas han podido dejar huellas en el relieve, especialmente las formas positivas, ya que las zonas excavadas a menudo han sido rellenadas por la sedimentación posterior.

Las tasas de sedimentación actuales en las marismas de la bahía de Cádiz se estiman en $0,5\text{-}1 \text{ g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Jiménez-Arias *et al.*, 2016), lo que supone un incremento de 3-7 veces la tasa registrada antes de la década de 1930, a pesar de la clara disminución de los aportes sedimentarios del río Guadalete. En el siglo

XX la desecación de salinas y la proliferación de obras viarias y portuarias han contribuido a esta sedimentación acelerada. La aplicación de métodos radiactivos (Cs^{137} y Pb^{210}) a sondeos realizados en las marismas del sector San Fernando-Chiclana llevó a Ligeró *et al.* (2010) a evaluar las tasas de sedimentación actuales en unos $5,9 \text{ mm año}^{-1}$, con valores que oscilan entre $2,6$ y $17,2 \text{ mm año}^{-1}$, dependiendo de las zonas (Figura 8). Tal y como indican estos autores, las tasas mínimas de sedimentación se dan en el sector centro-meridional del caño de Sancti Petri, canal mareal principal donde se registran las mayores velocidades de las corrientes de marea, en ocasiones aceleradas por la construcción de salinas en las orillas del caño, cuyos muros externos producen una disminución de la sección del canal mareal. Es precisamente en este caño y en los lugares donde se da la mayor energía mareal potencial donde se instalaron históricamente los principales molinos de marea de la zona (Alonso del Rosario *et al.*, 2006).

La zona con mayores tasas de sedimentación coincide con los alrededores de la Isla del Vicario, al este de San Fernando (Fig. 8). Debido a la dirección de propagación de las mareas en el golfo de Cádiz y a la geometría de los caños mareales en este sector de la bahía, la onda de marea llenante no entra a la vez por ambos extremos del caño de Sancti Petri, sino que lo hace primero por el extremo meridional, abierto al océano (Vidal y Tejedor, 2005). Posteriormente la onda penetra por el extremo septentrional (desde la bahía interna), de tal modo que ambas ondas interactúan en torno a dicha isla (en una zona del caño conocida como “La encontrá”). La disminución de velocidad provocada por dicha interacción da lugar a un incremento en las tasas de sedimentación y a una colmatación acelerada del caño. En la actualidad, durante mareas bajas esta zona del caño de Sancti Petri queda totalmente emergida (Figura 9). En general, las zonas con mayores tasas de sedimentación coinciden con la mayor profusión de explotaciones salineras. Resultados similares fueron obtenidos por Gómez Parra *et al.* (1984) de manera indirecta, mediante la medición de



Figura 8. Distribución de las tasas de sedimentación en las marismas de la bahía de Cádiz entre San Fernando y Chiclana, y su relación con las explotaciones salineras. Datos de tasas de sedimentación en cm año^{-1} , adaptados de Ligeró *et al.* (2010).

*Figure 8. Distribution of sedimentation rates (cm yr^{-1}) in the salt marshes of the Bay of Cadiz between San Fernando and Chiclana, and their relationships with salt exploitations. Data adapted from Ligeró *et al.* (2010).*

las concentraciones en metales pesados en los sedimentos de marisma y de salinas de la zona.

Por otro lado, si bien las marismas y salinas reciben flujos cargados en sedimentos en suspensión favoreciendo su acumulación y la agradación sedimentaria de la superficie, los bordes de las marismas y los muros externos de las salinas (“vueltas de afuera”), en contacto con los principales canales mareales o caños, a menudo experimentan erosión. La principal razón se debe a la transformación que las salinas ejercen sobre la sección de los caños mareales. La onda de marea llenante experimenta dos momentos de máxima velocidad: uno al inicio del ciclo, que afecta al fondo de los canales, removiendo sedimento, y otro al final del ciclo, cerca de la pleamar (“re-



Figura 9. Imagen aérea oblicua del caño de Sancti Petri en las proximidades de la Isla del Vicario (a la derecha en primer término), cerca de San Fernando (al fondo), tomada en condiciones de marea baja. Se observa una acusada colmatación sedimentaria del caño, que hacia el Sur (a la izquierda en la imagen) está limitado por salinas funcionales.

Figure 9. Oblique aerial view of the Sancti Petri tidal creek in the vicinity of Vicario Island (right side in the foreground), near San Fernando (background), taken during neap tide. A significant sedimentary infilling of the channel can be observed. The channel is limited to the South (left side of the image) by active salines.

punte” de la marea), que afecta a los muros de las salinas. Si no hubiera salinas, el tercio superior de la onda de marea se expandiría por la marisma alta, disminuyendo la aceleración del flujo. Sin embargo, la reducción de la sección por la presencia de salinas hace aumentar la velocidad del flujo, que durante el repunte puede provocar la erosión de la parte alta de los muros.

Otras causas de la erosión pueden estar asociadas a la subida del nivel del mar o a la disminución de aportes sedimentarios a la marisma por regulación hidrológica de los principales ríos que alimentan al sistema litoral. En cuanto a la componente eustática, en la actualidad el nivel del mar en la bahía de Cádiz está registrando una tasa de elevación

de $1,0 + 0,2 \text{ mm año}^{-1}$ y la amplitud anual del ciclo mareal se han incrementado a lo largo del siglo XX (Marcos *et al.*, 2011). Más localmente, contribuyen el oleaje generado por el trasiego de embarcaciones por los canales mareales, el clareo de vegetación en las orillas con diversos fines o el aumento de la corriente acuosa, que en estuarios está ligado al comportamiento hídrico estacional de los ríos (Castillo *et al.*, 1999), mientras que en canales mareales está asociado al comportamiento del flujo y a la geometría de los canales. En el caso de la bahía de Cádiz, la comparación de fotografías aéreas entre 1956 y 2008 en las marismas del río San Pedro, en Puerto Real (Gutiérrez Mas *et al.*, 2013), demuestra el predominio de los procesos erosivos en el borde del caño mareal, que han provocado retroceso de las marismas, especialmente acentuado entre 1977 y 2008, con tasas de hasta $0,65 \text{ m año}^{-1}$. Los retrocesos costeros se acentúan cuando el frente erosivo alcanza zonas de charcos, produciéndose un retroceso muy rápido, si bien la superficie ocupada por charcas mareales en dichas marismas ha descendido de un 6,7% en 1977 al 3,6% en 2008 (Gutiérrez Mas *et al.*, 2013). El río San Pedro también constituye un ejemplo de cómo la geometría de los canales puede favorecer la aceleración del flujo de marea en los tramos cóncavos de los caños, produciendo erosión en unas orillas y sedimentación en otras (Figura 10).

5. Degradación reciente de marismas y salinas en la bahía de Cádiz

Son diversas las actuaciones humanas que han llevado a la degradación física y ambiental de las marismas y salinas de la fachada atlántica española. En la bahía de Cádiz una de las primeras actuaciones tuvo lugar en el siglo XVII con la rectificación de los meandros del río Guadalete mediante la construcción de un gran canal por el Concejo de Jerez, para facilitar la navegación de embarcaciones hacia el interior. Ello supuso el aterramiento de los distintos brazos y meandros fluviales. Con la construcción en 1860 de la línea férrea de



Figura 10. Imágenes aéreas oblicuas de la desembocadura del caño del río San Pedro, al norte de Puerto Real. A) Situación en marea alta equinoccial. B) Situación en marea baja. La migración del caño del río San Pedro hacia el sur (izquierda en las fotos), está provocando erosión en la orilla meridional y sedimentación en la orilla septentrional.

Figure 10. Oblique aerial images of the San Pedro tidal creek mouth, north of Puerto Real. A) Equinoctial spring high tide situation. B) Low tide situation. The lateral migration of the San Pedro tidal channel to the South (left in the pictures) promotes erosion in the southern channel shore and sedimentation in the northern one.

Jerez a Cádiz y su ramal al Trocadero, ya se inició el aislamiento parcial de las marismas de la margen derecha del río Guadalete y aterramientos en la salina de El Puerto de Santa María, que posteriormente se reconvertiría en las salinas de la Tapa y Marivélez, al estrangular el flujo del río por el puente realizado junto al antiguo matadero. Al SE de Puerto Real, la vía cortó diversos caños de marea medianos y pequeños y con ello muchas salinas, que en parte tuvieron que ser remodeladas,

si bien algunas quedaron abandonadas al no disponer de superficie suficiente para tener los recintos funcionales. Una parte de ellas se fueron degradando ante la falta de mantenimiento de sus muros de cierre provocando la inundación de sus zonas más bajas y páramos salinos en sus zonas más aisladas. La falta de uso propició su renaturalización cubriéndose la práctica totalidad de sus elementos con la vegetación marismiega natural.

Una vez abandonadas, las salinas sufren un progresivo proceso de degradación, por causas tanto naturales como artificiales (Aguilera y Gracia, 2004). Las primeras pueden ser diversas; por un lado, en las cubetas se produce sedimentación de arcillas y limos arrastrados por las corrientes mareales. Mientras las salinas son funcionales, los operativos se encargan de evitar el aterramiento mediante la limpieza periódica de las compuertas y fondos de los recintos, y la evacuación de las arcillas que se van acumulando. Sin embargo, una vez abandonadas el aterramiento puede continuar hasta colmatar totalmente las cubetas. Si, tras el abandono, los canales de alimentación de los esteros permanecen abiertos, los fondos se cubren de fango hasta transformarse en llanuras intermareales similares a las que se observan en las márgenes de los caños naturales; una parte de las arcillas depositadas se resuspende con las vaciantes, exportando sedimento hacia los caños naturales periféricos. Se establece así una dinámica sedimentaria que favorece la colonización vegetal y animal. La rotura ocasional de las protecciones exteriores facilita la entrada de corrientes de flujo y reflujo, permitiendo la renovación de aguas, su oxigenación y la entrada de materia orgánica y nutrientes, llevando a menudo a una rápida recuperación natural de los esteros, que en pocos años se transforman en zonas marismiegas con una dinámica y una biodiversidad comparables o incluso superiores a las de las marismas naturales (Figura 11A).

Si por el contrario tras el abandono las compuertas y canales de alimentación permanecen cerrados, la salina solo se inunda con mareas vivas y la salida de agua se hace úni-

camente por evaporación, provocando la continua precipitación de fangos salinos. El resultado final es la colmatación sedimentaria y la transformación del estero en una llanura hipersalina, seca la mayor parte del año, donde resulta muy difícil la colonización vegetal y animal del medio. Bajo estas condiciones la recuperación ambiental de los suelos es muy costosa y no siempre fructífera. Además, estos llanos hipersalinos son afectados por la deflación eólica, llevando a la contaminación salina de campos de cultivo, viviendas e infraestructuras circundantes.

En el caso de salinas ubicadas cerca de las barreras arenosas externas, el arrastre eólico de arenas desde los sistemas dunares puede contribuir a su relleno. Por otro lado, los eventos marinos extremos como grandes temporales o tsunamis pueden llegar a afectarlas y producir su destrucción casi total, bien por erosión o bien por aterramiento bajo abanicos de desbordamiento (*washover fans*). Este es el caso de las antiguas salinas próximas al río Arillo, al NW de San Fernando, en una zona en la que se distinguen antiguas estructuras salineras parcialmente destruidas y semienterradas bajo grandes abanicos de desbordamiento muy posiblemente asociados al tsunami de 1755 (Figura 11B).

Las causas artificiales de la degradación comúnmente consisten en el uso de las salinas abandonadas como vertederos de escombros y de residuos sólidos. En otros casos reciben la alimentación de canalizaciones de saneamiento urbano o industrial. A una escala mayor, algunas salinas han sido totalmente transformadas por desecación y relleno con fines viarios, urbanísticos o industriales. Igualmente, algunas de las explotaciones han sido transformadas y adaptadas para otros usos, como portuario o piscícola (Figura 12A). Según Barragán (1996), el 42% de las zonas mareales de la bahía de Cádiz corresponde a marismas desecadas y/o rellenadas para distintos usos como tierra agrícola (preferente), uso industrial, urbano, militar o portuario, una práctica que ha continuado durante las dos últimas décadas.

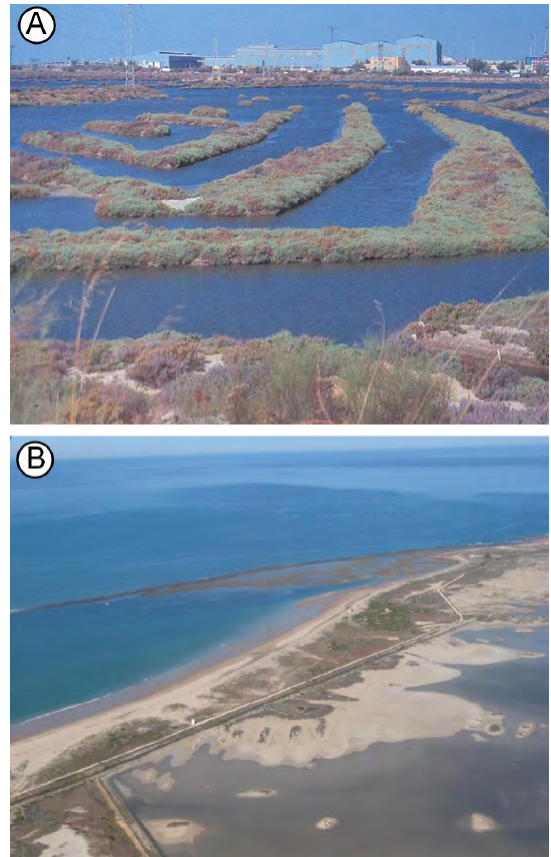


Figura 11. A) Salinas abandonadas cuyos muros han sido colonizados por vegetación halófila en El Trocadero (Puerto Real). B) Antiguas salinas semienterradas por abanicos de desbordamiento (*washover fans*) asociados a eventos de oleaje muy energético en Camposoto (San Fernando).

Figure 11. A) Abandoned salt exploitation whose outer walls have been colonized by halophytic vegetation at El Trocadero (Puerto Real). B) Old salt exploitation structures partly buried by washover fans associated with very energetic wave events at Camposoto (San Fernando).

El relleno y desecación de marismas y salinas para obtener suelo industrial o residencial proviene de las primeras décadas del siglo XX. En Puerto Real, además de la instalación histórica de todo el complejo militar del Arsenal de la Carraca en el siglo XVIII, hay que mencionar la implantación en el último tercio del siglo XIX de los astilleros de Matagorda, en gran parte sobre la salina de San Luis y aguas colindantes. En 1974 tuvo lugar la actuación del polígono industrial de Tres Caminos desa-

rollado sobre las salinas San Antonio Viejo, Trinidad y Santa Cruz (Puerto Real), al norte de la antigua carretera N-IV y el inicio de la N-340 (Figura 12B). En la década de 1980 se rellenaron gran parte de las salinas San Sebastián, La Imposible, Trinidad Nueva y Victoria del Trocadero, con un plan promovido por el Estado para desarrollar el ACTUR del río San Pedro y que constituye el actual polígono industrial del Trocadero.

En el borde Este de San Fernando han sido numerosos los rellenos de salinas, amparados en el planeamiento urbanístico de la ciudad: salinas de San Vicente, de S. Juan Bautista, de La Magdalena (destinada en gran parte a uso residencial), las zonas internas colindantes con el casco urbano de las salinas Los Santos, San Cayetano, Belén y Ánimas (y que ha supuesto la construcción de la fachada Este de la ciudad en el siglo XXI hasta la denominada Ronda del Estero), etc. Al sur de Camposoto se ubicaba el antiguo basurero de la ciudad sobre una parte de la salina Santa Leocadia, que fue clausurado en la década de 1990 y convenientemente sellado. Sobre el mismo se ubica el actual Centro de Recepción del Parque Natural Bahía de Cádiz. En el borde Oeste de la ciudad los rellenos han sido mucho menores y restringidos a un centro comercial (Bahía Sur). En Chiclana el relleno y ocupación de salinas ha sido prácticamente inexistente, limitado a pequeñas zonas de marismas muy altas en las márgenes del río Iro. No obstante, la modernización de las infraestructuras viarias realizadas en las dos últimas décadas, tanto la duplicación de la vía férrea y su camino de servicio, como de las carreteras A-4, A-33, A-35, A-36 o A-48, o del tren tranvía entre Chiclana y San Fernando, han supuesto nuevos rellenos de los bordes de las salinas que atravesaban, agravando con nuevos puentes el paso del flujo de las mareas por los distintos caños.

Al final de la década de 1950 el Estado planificó una extensa zona de riegos en la ribera baja del Guadalete, que se calificó de Interés Nacional, mediante la cual se produjo el aislamiento de las marismas de las márgenes

de este río y del río San Pedro (antiguo cauce histórico del río Guadalete, que perdura detrás del sistema de flecha-barrera de Valdela-grana). Se trataba de un ambicioso plan para aprovechar unas 3.500 ha de marismas mediante su cultivo agrícola. Para ello, se construyeron muros de aislamiento que llegaron a cortar una gran parte del río San Pedro. Se construyeron canales y tuberías para la traída de aguas y una red de drenaje para pluviales con sus correspondientes compuertas de evacuación al río. Todo el sistema estaba confiado a los muros de aislamiento y al progresivo endulzamiento de los terrenos mediante el lavado con agua. Se dispusieron caminos y carreteras y otros servicios y se fundó el poblado de Doña Blanca, construido por el entonces Instituto Nacional de Colonización. El proyecto fue en su mayor parte un fracaso ya que las marismas de la margen izquierda del Guadalete y todas las del río San Pedro eran altamente salinas, por lo que una vez concluidas las obras ni siquiera llegaron a entrar en funcionamiento, quedando abandonada la zona y sus instalaciones y formándose un extenso páramo salino (Figura 12C). La zona aislada en la margen derecha del Guadalete sí fue puesta en cultivo y así permanece hoy en día salvo la parte más próxima al centro urbano, que se ha transformado en polígono industrial.

En 1996 se otorgó concesión para realizar una gran salina industrial en la marisma comprendida entre los ríos Guadalete y San Pedro, que transformó unas 850 ha con grandes depósitos de agua y cristalizadores (Figura 12D). Una estructura muy diferente a las salinas tradicionales que disponían de entre 25 y 90 ha de superficie y cuyo laboreo fue imposible mecanizar. En 2014 se ha formado otra nueva salina en la marisma de Cetina (margen izquierda del río San Pedro), que ha supuesto la transformación de unas 1.300 ha al norte de la autovía A-4. Entre esta autovía y la línea férrea está proyectado y pendiente de desarrollarse un polígono industrial y logístico (“Las Aletas”) sobre unas 550 ha promocionado por el Estado y la Junta de Andalucía. Con todo ello puede considerarse que las marismas de los

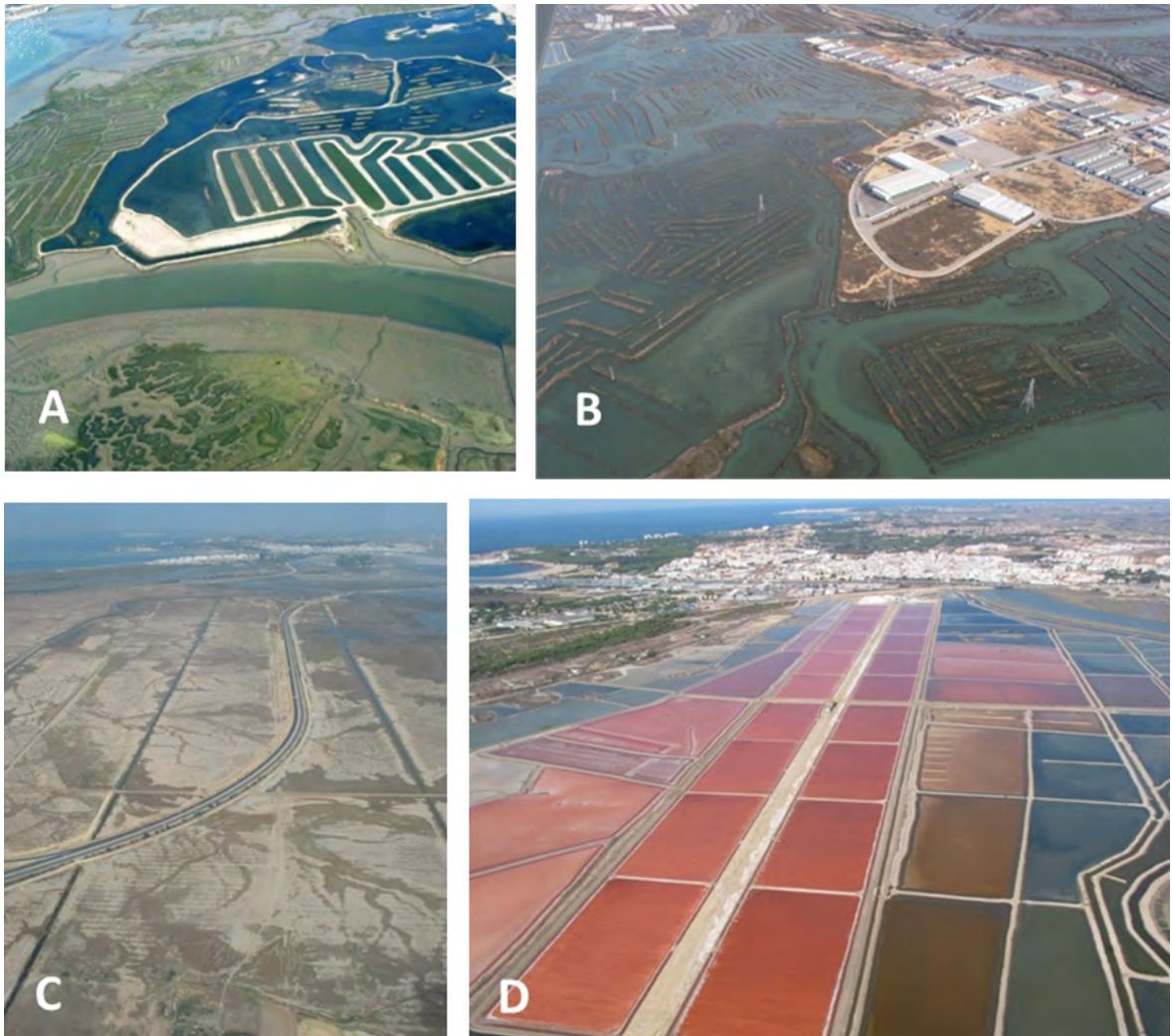


Figura 12. A) Salina transformada en piscifactoría (Chiclana); B) Relleno artificial de salinas para uso industrial (polígono Tres Caminos, Puerto Real); C) Deseccación de antiguas marismas y salinas para uso agrícola (Puerto Real); D) Salinas industriales de La Tapa (El Puerto de Santa María).

Figure 12. A) Former salt exploitation transformed into a fishery plant (Chiclana); B) Artificial infilling of salt harvest exploitations for industrial purpose (Tres Caminos, Puerto Real); C) Artificial drainage of former salt marshes and salt harvest structures for agricultural use (Puerto Real); D) Industrial salt harvesting ponds at La Tapa (El Puerto de Santa María).

ríos Guadalete y San Pedro quedarán transformadas en su totalidad.

Debido a la importancia ambiental de este espacio, en el año 1989 se creó el Parque Natural de la Bahía de Cádiz (Junta de Andalucía, 2004), que desde ese momento se encargaría de la gestión, entre otras, de las 129 salinas existentes en su delimitación y que, en su casi totalidad, se encuentran abandonadas e inac-

tivas para la producción. Vacías las salinas de actividad, o con ésta modificada en sentido inadecuado y con una actividad de bajo perfil que no permita abordar tareas de mantenimiento, su degradación irreversible es cuestión de tiempo (Paredes, 2017). En un futuro próximo la preservación de estas formas y sus extensos paisajes asociados dependerán de la gestión del Parque Natural y también del cumplimiento de la Ley 22/88 de Costas, que

declara formalmente a las salinas como bienes integrantes del dominio público marítimo-terrestre. A pesar de que la modificación de 2013 de dicha ley excluía de forma expresa a las salinas, esta decisión fue posteriormente anulada por el Tribunal Constitucional.

La sostenibilidad de las salinas abandonadas como paisaje de interés histórico pasa por la recuperación de los procesos naturales propios de las marismas mareales. La Tabla 1 muestra una síntesis de las ideas expuestas en el presente trabajo, comparando las consecuencias de los procesos morfodinámicos naturales y algunas actividades antrópicas en salinas activas y en salinas abandonadas. Una parte importante de los procesos naturales de regeneración ambiental y recolonización vegetal podría conseguirse si se mantuvieran las compuertas de los recintos abiertas y se vigilaran los posibles rellenos artificiales. Por otro lado, el control de las cotas de inundación adecuadas para la explotación piscícola tradicional (pescado de estero), o bien la regulación para la explotación de sales y de productos gastronómicos alternativos (flor de

sal, algas, salicornia, etc.) son posibilidades que permitirían compatibilizar la pervivencia de estas estructuras y el rendimiento económico de su mantenimiento.

6. Conclusiones

Las salinas de evaporación solar desarrolladas sobre marismas constituyen paisajes de origen antrópico de gran interés geomorfológico, histórico y patrimonial, presentes en muchas costas bajas mareales europeas. Se trata de formas de explotación de la sal que aprovechan la morfología costera dominante en ámbitos costeros mesomareales restringidos, la cual suele estar representada fundamentalmente por amplias llanuras donde predomina la sedimentación de partículas finas durante la inundación por las mareas, lo que tiende a generar grandes planicies que progresivamente son colonizadas por la vegetación. La eficiencia de la explotación salinera en las marismas mareales depende de un conjunto de factores ambientales como la tendencia del nivel del mar, la temperatura y su oscila-

Tabla 1. Consecuencias de la actuación de procesos morfogenéticos naturales y actividades humanas en salinas funcionales y abandonadas.

Procesos y actuaciones humanas	Salinas funcionales	Salinas abandonadas	
		Compuertas cerradas	Compuertas abiertas
Aceleración del flujo en caños por reducción artificial de la sección	Posible erosión; reforzamiento de los muros exteriores	Erosión y posible rotura de muros exteriores durante el repunte de la marea	Aumento del caudal de entrada a la salina; posible rotura de muros exteriores
Inundación natural por flujos marinos	Controlada por compuertas	Incontrolada, asociada a la rotura de muros exteriores	Entrada periódica de flujos, materia orgánica y nutrientes
Precipitación de arcillas y sales	Controlada por limpieza periódica de fondos y recolección de sales	Precipitación acelerada de sales y arcillas por evaporación. No hay resuspensión durante las vaciantes.	Precipitación y resuspensión de sales y arcillas, a ritmos similares a los de las marismas naturales
Colonización vegetal	No (controlada)	No (llanura hipersalina)	Sí
Actividad eólica	Escasa/Nula (controlada)	Sí (contaminación salina de zonas circundantes)	Escasa
Rellenos artificiales, vertido de escombros y residuos sólidos	No (controlados, para mantenimiento de estructuras)	Sí	Escasos. Evacuación parcial de elementos flotantes durante las vaciantes
Uso piscícola	No/parcial	No	Sí

ción anual, el régimen de vientos, los aportes sedimentarios, etc.

La formación de los primeros espacios de marismas en la bahía de Cádiz se inicia con posterioridad al máximo eustático holoceno, asociada a las fluctuaciones del nivel del mar y al desarrollo de los primeros cuerpos arenosos (playas, islas barreras, flechas y cordones) confinantes de la desembocadura de los ríos y arroyos que llegan a ella. Si bien no existe una cartografía detallada de la paleomorfología litoral de esta época, diferentes autores han podido identificar indicios morfosedimentarios aislados que permiten extrapolar la presencia de marismas para ese momento.

Históricamente, el detonante del desarrollo de nuevas tecnologías para la extracción y producción de la sal, convertida en producto de primera necesidad, vino dado por las exigencias impuestas por la nueva dieta cerealística asociada a implantación del nuevo modelo de producción neolítico y la extensión de la actividad agrícola-ganadera. Las condiciones climáticas, topográficas y geomorfológicas de la bahía de Cádiz y su entorno, con presencia de marismas mesomareales desarrolladas desde muy antiguo y la existencia de cursos de agua salobre, son ideales para el desarrollo de esta actividad. A día de hoy no ha sido posible identificar arqueológicamente antiguas infraestructuras salineras en las marismas de la bahía de Cádiz, sólo documentadas plenamente a partir de la época medieval.

Con anterioridad al siglo XIII, sobre todo a partir del siglo IV a. C. y especialmente entre los siglos I y III d. C., la sal debió de ser un producto altamente demandado, tal y como se deduce de las necesidades de conserva de alimentos para una población cada vez mayor, y del auge y desarrollo de una importante actividad asociada a la producción y comercio de salazones de pescado, cuya demanda debió satisfacerse mediante la producción local de sal o su importación masiva. Estudios geomorfológicos recientes demuestran la existencia de marismas emergidas ya en esos momentos, sobre las que era posible la rotu-

ración de salinas de evaporación solar de cuya tecnología y funcionamiento tenemos constancia en diversos puntos del Mediterráneo. No obstante, la arqueología no ha sido capaz, hasta este momento, de identificar más allá de meros indicios de su existencia en el entorno de la bahía de Cádiz. Es posible que los trabajos de roturación de las salinas conocidas, sobre todo durante el siglo XIX, contribuyera a reutilizar y destruir cualquier huella de antiguas estructuras, lo que sin duda supone un reto de futuro para la investigación geoarqueológica en esta zona.

La ubicación de los principales centros salineros en la bahía interna obedeció a las variaciones laterales en las tasas de sedimentación, las cuales a su vez están controladas por la distribución y dimensiones de los canales mareales que distribuyen los flujos y reflujos de las mareas. Las zonas con tasas de sedimentación más bajas, asociadas a altas velocidades del flujo mareal por cercanía a caños mareales, no fueron ocupadas históricamente por salinas pero sí fueron utilizadas para la implantación de molinos de marea. Al contrario, las zonas que registran las mayores tasas de sedimentación se caracterizan por una mayor profusión de explotaciones salineras.

Ampliamente activas a lo largo de toda la Edad Moderna, primero bajo control señorial y a partir del siglo XVI de la propia corona, las salinas gaditanas tuvieron su máximo momento de esplendor en el siglo XIX, momento en el que llegaron a ocupar la práctica totalidad de las marismas gaditanas. La invención y desarrollo de la industria del frío a partir de finales del XIX y principios del XX y la escasa rentabilidad de las salinas artesanales frente a nuevos modelos de producción mecanizados llevaron a la crisis del sector y al abandono progresivo de su actividad productiva artesanal en la casi totalidad de las salinas gaditanas.

En los últimos años se ha ido implantando un nuevo modelo de producción mecanizado más rentable que las salinas tradicionales, si bien las pocas que quedan en producción han ido adaptándose a los nuevos tiempos

buscando nuevos modelos de gestión y comercialización para sus productos siguiendo la experiencia francesa y diversificando su actividad asociándola a la explotación gastronómica de otros productos alternativos.

Si bien la adecuación de salinas a cultivo de peces no ha supuesto un cambio excesivo de su morfología, otros usos recientes (viario, urbanístico, industrial, agrícola) propician el relleno total de las salinas, especialmente cerca de núcleos de población importantes, donde estos terrenos se han vendido a precios muy bajos. De este modo se ha ido perdiendo de forma irreversible su carácter anfíbio. Otros procesos naturales, como la erosión de los muros en zonas próximas a caños mareales, o el aterramiento por arenas cuando las salinas se ubican cerca de cordones arenosos exteriores, pueden contribuir a su degradación y relleno.

El futuro de las salinas gaditanas es incierto. La preservación de estas estructuras parece estar asegurada por su pertenencia al Parque Natural de la Bahía de Cádiz y por ubicarse dentro del dominio público marítimo-terrestre, pero los intereses urbanísticos e industriales para los municipios del entorno, con escaso suelo urbano, son una importante amenaza. La falta de recursos para mantener activa la circulación hídrica original de las salinas en el entorno del Parque Natural va a jugar, además, en contra de su pervivencia, al igual que del resto del patrimonio cultural que se asocia a las mismas (casas salineras, molinos de marea, embarcaderos, etc.), actualmente en un lamentable estado de conservación y progresivo deterioro.

Una nueva perspectiva fue la introducida desde el proyecto europeo *Ecosal Atlantis* (Román, 2014), desarrollado entre los años 2009-2013 al objeto de analizar en profundidad los valores de este entorno (naturales y culturales), escasamente reconocidos y explotados como recurso turístico. Su revalorización, la recuperación productiva de algunas de estas antiguas salinas, el impulso de una denominación de origen artesanal y la búsqueda de nuevos productos derivados de la

sal, podrían aportar esperanza de futuro para la preservación de un paisaje nacido de la interacción entre la actividad humana y el medio natural para la obtención de recursos con una tecnología que apenas ha evolucionado a lo largo de los siglos.

7. Bibliografía

- Adlam, K. (2014). Coastal lagoons: Geologic evolution in two phases. *Marine Geology*, 355, 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.06.005>
- Aguilera, P.; Gracia, F.J. (2004). La degradación de las salinas abandonadas. En: *Salinas de Andalucía* (A. Pérez Hurtado, coord.). Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, p. 274 - 277.
- Allen, J.R.L. (2000). Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1155-1231. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00034-7](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00034-7)
- Alonso, C.; Gracia, F.J.; Ménanteau, L. (2003). Las salinas de la Bahía de Cádiz durante la antigüedad: visión geoarqueológica de un problema histórico. *Spal*, 12, 317-332. <https://doi.org/10.12795/spal.2003.i12.13>
- Alonso, C.; Gracia, F.J.; Benavente, J. (2004). Las marismas, alfares y salinas como indicadores para la restitución paleotopográfica de la Bahía de Cádiz durante la antigüedad. En *XVI Encuentros de Historia y Arqueología: Las industrias alfareras y conserveras fenicio-púnicas de la Bahía de Cádiz*. Excmo. Ayto. San Fernando, 263-287.
- Alonso, C.; Gracia, F.J.; Benavente, J. (2009). Evolución histórica del sector meridional de la Bahía Interna de Cádiz. *RAMPAS*, 11, 13-37.
- Alonso, C.; Gracia, F.J.; Rodríguez-Polo, S.; Martín Puertas, C. (2015). El registro de eventos energéticos marinos en la Bahía de Cádiz durante épocas históricas. En: *Eventos energéticos marinos históricos y ocupación costera en el Golfo de Cádiz* (J. Rodríguez Vidal, ed.). Cuaternario y Geomorfología, 29 (1-2), 95-117. <https://doi.org/10.17735/cyg.v29i1-2.29935>
- Alonso, C.; Menanteau, L. (2004). Una visión histórica de las salinas andaluzas. En: *Salinas de Andalucía* (A. Pérez Hurtado, coord.). Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, 25-41.

- Alonso, C.; Ménanteau, L. (2006). Paléoenvironnements et techniques de production du sel marin (par ignition ou insolation) durant l'Antiquité: les cas des baies de Bourgneuf (France) et de Cadix (Espagne). En: *Le sel de la Baie. Histoire, archéologie, ethnologie des sels atlantiques* (J.C. Hocquet; J.L. Sarrazin, dirs.). Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 87-103. <https://doi.org/10.4000/books.pur.7598>
- Alonso, C.; Menanteau, L.; Navarro, M.; Mille, S.; Gracia, F.J. (2001). Antropización histórica de un espacio natural. Las salinas de la Bahía de Cádiz. *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 35, 172 - 185.
- Alonso del Rosario, J.J.; Vidal, J.M.; Pérez Serrano, J.; Mendoza Sánchez, J.C. (2006). Exploitation of tidal power in the Bay of Cadiz: ancient tidal mills. *Scientia Marina*, 70 (1), 21-30. <https://doi.org/10.3989/scimar.2006.70n121>
- Barragán, J.M. (1996). Informe general. Conclusiones y sugerencias. En Barragán, J.M. (coord.): *Estudios para la ordenación, planificación y gestión integradas de las zonas húmedas de la bahía de Cádiz*. Oikos-Tau y Universidad de Cádiz, 11-118.
- Benavente, J.; Del Río, L.; Plomaritis, T.; Gracia, F.J. (2011). Características físicas de la marea en la Bahía de Cádiz. El caso de las grandes mareas de marzo de 2011. En: *Las mareas en la Bahía de Cádiz* (A. Gómez; B. Díaz; A. Carrasco, coords.). Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 95-101.
- Bernal Casasola, D. (2009) *Arqueología de la pesca en el Estrecho de Gibraltar. De la Prehistoria al fin del Mundo Antiguo*. Cádiz, Universidad de Cádiz, 362 pp.
- Brain, M.J.; Kemp, A.C.; Horton, B.P.; Culver, S.J.; Parnell, A.C.; Cahill, N. (2015). Quantifying the contribution of sediment compaction to late Holocene salt-marsh sea-level reconstructions, North Carolina, USA. *Quaternary Research*, 83, 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.08.003>
- Breilh, J.F.; Chaumillon, E.; Bertin, X.; Gravelle, M. (2013). Assessment of static flood modeling techniques: application to contrasting marshes flooded during Xynthia (western France). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 1595-1612. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1595-2013>
- Castillo, J.M.; Luque, C.J.; Figueroa, M.E. (1999). Cuantificación de la erosión en los canales mareales de las marismas del Odiel (Huelva, SO España). *Cuaternario y Geomorfología*, 13 (3-4), 7-16.
- Castro Carrera, J. C. (2006). La salina romana de «O Areal», Vigo (Galice). En: *Le sel de la Baie. Histoire, archéologie, ethnologie des sels atlantiques* (J.C. Hocquet; J.L. Sarrazin, dirs.). Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 105-122. <https://doi.org/10.4000/books.pur.7600>
- Dabrio, C J.; Zazo, C.; Goy, J.L.; Sierro, F.J.; Borja, F.; Lario, J.; González, J.A.; Flores, J.A. (2000). Depositional history of estuarine infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cádiz, Southern Spain). *Marine Geology*, 162, 381 - 404. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(99\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(99)00069-9)
- D'Alpaos, A. (2011). The mutual influence of biotic and abiotic components on the long-term ecomorphodynamic evolution of salt-marsh ecosystems. *Geomorphology*, 126, 269-278. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.04.027>
- Davidson-Arnott, R.G.D.; Van Proosdij, D.; Ollerhead, J.; Schostak, L. (2002). Hydrodynamics and sedimentation in salt marshes: examples from a macrotidal marsh, Bay of Fundy. *Geomorphology*, 48, 209-231. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00182-4](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00182-4)
- Davies, J.L. (1972). *Geographical variation in coastal development*. 2nd ed., Geomorphology Texts, 4, Oliver and Boyd, London, 204 pp.
- Davis, R.A.Jr.; Fitzgerald, D.M. (2004). *Beaches and coasts*. Blackwell, Malden, 419 pp.
- Franco Silva, A. (s. a.). Las primeras ordenanzas de El Puerto de Santa María. En: *El Puerto de Santa María entre los siglos XIII y XVI*. Exmo. Ayto. El Puerto de Santa María, 1993, 53-78.
- Frutos Reyes, G.; Muñoz Vicente, A. (1996). La industria pesquera y conservera púnico-gaditana: balance de la investigación. Nuevas perspectivas. *Spal*, 5, 133-165. <https://doi.org/10.12795/spal.1996.i5.07>
- García-Artola, A.; Cearreta, A.; Leorri, E.; Irabien, M.J. (2011). Regeneración ambiental de marismas a partir de ocupaciones antrópicas de zonas costeras: interés de su estudio en el escenario actual de ascenso marino. *Geogaceta*, 50-2, 161-164.
- García Vargas, E.; Ferrer Albelda, E. (2001). Las salazones de pescado de la Gadir púnica. Estructuras de producción. *Laverna*, 12, 21-41.
- García Vargas, E.; Martínez Maganto, J. (2006). La sal de la Bética romana: Algunas notas sobre su producción y comercio. *Habis*, 37, 253-274
- Gómez Parra, A.; Establier, R.; Escolar, D. (1984). Heavy metals in recent sediments from the Bay of Cadiz, Spain. *Marine Pollution Bulletin*, 15 (8), 307-310. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(84\)90201-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(84)90201-7)

- Goodman, J.E.; Wood, M.E.; Gehrels, W.R. (2007). A 17-yr record of sediment accretion in the salt marshes of Maine (USA). *Marine Geology*, 242, 109-121. <https://doi.org/10.1016/j.mar-geo.2006.09.017>
- Gracia, F.J.; Alonso, C.; Gallardo, M.; Giles, F.; Rodríguez, J.; Benavente, J.; López-Aguayo, F. (1999). Aplicación de la geoarqueología al estudio de cambios costeros postflandrienses en la bahía de Cádiz. En: *Geoarqueología i Quaternari Litoral. Memorial M. P. Fumanal*, Departament de Geografia, Universidad de Valencia, 357-366.
- Gracia, F.J.; Alonso, C.; Gallardo, M.; Giles, F.; Benavente, J.; López-Aguayo, F. (2000). Evolución eustática postflandriense en las marismas del sur de la bahía de Cádiz. *Geogaceta*, 27, 71-74.
- Gracia, F.J.; Alonso, C.; Giles, F.; Benavente, J.; Del Río, L. (2010). Evidencias del paso del río Guadalquivir por el interior de la Bahía de Cádiz durante el Pleistoceno Medio. En: *Cuaternario y Arqueología. Homenaje a Francisco Giles Pacheco*. Servicio de Publicaciones de la Diputación Provincial de Cádiz, 9-17.
- Gracia, F.J.; Martín, C. (2009). *Tasas de sedimentación en las marismas del Parque Natural de la Bahía de Cádiz a partir de sondeos geotécnicos: Una aplicación para la reconstrucción ambiental*. Demarcación de Costas de Andalucía - Atlántico, Cádiz, 71 pp. (inédito).
- Gracia, F.J.; Rodríguez-Vidal, J.; Belluomini, G.; Cáceres, L.M.; Benavente, J.; Alonso, C. (2008). Diapiric uplift of an MIS 3 marine deposit in SW Spain. Implications in Late Pleistocene sea level reconstruction and palaeogeography of the Strait of Gibraltar. *Quaternary Science Reviews*, 27 (23-24), 2219 - 2231. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.08.013>
- Gutiérrez Mas, J.M.; García López, S.; Ibáñez Ageitos, J.M.; Hidalgo Huertas, O. (2013). Estudio sedimentario y fotogramétrico de la evolución reciente de la llanura mareal del Río San Pedro (Bahía de Cádiz). *Geogaceta*, 54, 3-6.
- Instituto Hidrográfico de la Marina (1992). *Derrotero N° 2-Tomo 2. Costas de Portugal y SO de España*. Ministerio de Defensa, Madrid.
- Irabien, M.J.; Rada, M.; Gómez, J.; Soto, J.; Mañanes, A.; Viguri, J. (2008). An assessment of anthropogenic impact in a nature reserve: the Santoña Marshes (Northern Spain). *Journal of Iberian Geology*, 34(2), 235-242.
- Jiménez-Arias, J.L.; Mata, M.P.; Corzo, A.; Poulton, S.W.; März, C.; Sánchez-Bellón, A.; Martínez-López, J.; Casas-Ruiz, M.; García-Robledo, E.; Bohórquez, J.; Papaspyrou, S. (2016). A multiproxy study distinguishes environmental change from diagenetic alteration in the recent sedimentary record of the inner Cadiz Bay (SW Spain). *The Holocene*, 26(9) 1355-1370. <https://doi.org/10.1177/0959683616640046>
- Junta de Andalucía (2004). Plan de Ordenación de los Recursos Naturales y Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural Bahía de Cádiz. Decreto 79/2004, de 24 de febrero. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 13 de abril, núm. 71, 9022-9088.
- Kemp, A.C.; Horton, B.P.; Donnelly, J.P.; Mann, M.E.; Vermeer, M.; Rahmstorf, S. (2011). Climate related sea-level variations over the past two millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences, PNAS*, 108 (27), 11017-11022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015619108>
- Lagóstena, L. (2001). *La producción de salsas y conservas de pescado en la Hispania Romana (II a.C.-VI d.C.)*. Universitat de Barcelona, 325 pp.
- Lario, J.; Zazo, C.; Goy, J.L.; Dabrio, C.J.; Borja, F.; Silva, P.G.; Sierro, F.; González, A.; Soler, V.; Yll, E. (2002). Changes in sedimentation trends in SW Iberia Holocene estuaries (Spain). *Quaternary International*, 93-94, 171-176. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00015-0)
- Ligero, R.A.; Casas-Ruiz, M.; Barrera, M.; Barbero, L.; Meléndez, M.J. (2010). An alternative radiometric method for calculating the sedimentation rates: Application to an intertidal region (SW of Spain). *Applied Radiation and Isotopes*, 68, 1602-1609. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2010.02.010>
- López-Geta, J.A.; Martín-Machuca, M.; Morales, R.; Durán, J.J.; Navarro, R.; Torreira, D. (coords.)(2005). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz*. Instituto Geológico y Minero de España y Excma. Diputación Provincial de Cádiz. Madrid, 264 pp.
- Manfredi, L. I (1992). Le saline e il sale nel mondo punico. *Rivista di Studi Fenici*, 20 (1), 3-14.
- Marcos, M.; Puyol, B.; Wöppelmann, G.; Herro, C.; García-Fernández, M.J. (2011). The long sea level record at Cadiz (southern Spain) from 1880 to 2009. *Journal of Geophysical Research*, 116, C12003. <https://doi.org/10.1029/2011JC007558>
- Martín, P.; Tejedor, B.; Vidal, J.; Marín, P.; Muñoz-Pérez, J.J. (2003). Comportamiento dinámico de la marea en el saco interno de la Bahía de Cádiz. *II Congreso Internacional de Ciencia y*

- Tecnología Marina*, Océanos III Milenio, Fundación FOMAR. Alicante, T.I, 265-272.
- Martínez Maganto, J. (2013). La obtención y el comercio de la sal en la Antigüedad. Del modesto condimento a la explotación industrial salinera en el Mundo Antiguo. *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología*, 47, 77-94
- Martínez Maganto, J. (2012). La producción fenicio-púnica de sal en el contexto del mediterráneo occidental desde una perspectiva diacrónica. *Trabajos del Museo Arqueológico de Ibiza y Formentera*, 9-32.
- Mediavilla, R.; Antón-López, L.; Dabrio, C.J.; Perucha, M.A.; Santisteban, J.I.; Mediato, J.F.; Barnolas, A.; Llave, E. (2004). Distribución y caracterización de los depósitos fluviales pleistocenos del subsuelo de la Bahía de Cádiz. *Geotemas*, 6(5), 203-206.
- Nir, D. (1983). *Man, a geomorphological agent. An introduction to Anthropogenic Geomorphology*. Keter Publishing House, Jerusalem, 165 pp.
- Paredes, M. (2017). *El espacio singular de las Salinas de Cádiz*. Foro de debate Cádiz 2012: Un proyecto de futuro para un Cádiz renovado, moderno y sostenible. Recuperado de <http://www.forodedebatecadiz2012.es/propuestas/salinas-cadiz/> (consultado en línea el 5/04/2017).
- Pérez Hurtado, A. (coord.)(2004). *Salinas de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, 301 pp.
- Pethick, J.S. (1980). Velocity surges and asymmetry in tidal channel. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11, 331-345. [https://doi.org/10.1016/S0302-3524\(80\)80087-9](https://doi.org/10.1016/S0302-3524(80)80087-9)
- Pethick, J.S. (1992). Saltmarsh geomorphology. En: *Saltmarshes: Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance* (J.R.I. Allen; K. Pye, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 41-62.
- Potsma, H. (1961). Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1, 170.
- Rahman, R.; Plater, A.J. (2014). Particle-size evidence of estuary evolution: A rapid and diagnostic tool for determining the nature of recent saltmarsh accretion. *Geomorphology*, 213, 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.01.004>
- Ramos, P. (1991). *Climatología de Cádiz (1961-1990)*. Instituto Nacional de Meteorología. Centro Meteorológico T. de Andalucía Occidental, AEMET, 15 pp.
- Ribera, P.; Gallego, D.; Pena-Ortiz, C.; Del Río, L.; Plomaritis, T.A.; Benavente, J. (2011). Reconstruction of Atlantic historical winter coastal storms in the Spanish coasts of the Gulf of Cadiz, 1929-2005. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 1715-1722. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1715-2011>
- Rodríguez-Ramírez, A.; Villarías-Robles, J.J.R.; Pérez-Asensio, J.N.; Santos, A.; Morales, J.A.; Celestino-Pérez, S.; León, A.; Santos-Arévalo, F.J. (2016). Geomorphological record of extreme wave events during Roman times in the Guadalquivir estuary (Gulf of Cadiz, SW Spain): An archaeological and paleogeographical approach. *Geomorphology*, 261, 103-118. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.02.030>
- Román, E. (2014). *Paisajes de la sal en Andalucía*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. En: <https://www.asociacionbahiade-cadiz.org/sal-y-salinas-de-la-bahia-de-cadiz-recorrido-historico/> (consultado en línea el 21/02/2017).
- Ruiz Mata, D. (1998). Visión actual de la Fundación de Gadir en la Bahía Gaditana. El Castillo de Doña Blanca en El Puerto de Santa María y la ciudad de Cádiz. Contrastación textual y arqueológica. *Revista de historia de El Puerto*, 21, 11-88
- Suárez Japón, J.M. (1989). *La casa salinera de la bahía de Cádiz*. Fundación Machado, Consejería de Obras Públicas y Transportes, Junta de Andalucía y Diputación Provincial de Cádiz, 124 pp.
- Temmerman, S.; Bouma, T.; Van de Koppel, J.; Van der Wal, D.; De Bries, M.B.; Herman, P. (2005). Impact of vegetation on flow routing and sedimentation patterns: three-dimensional modeling for a tidal marsh. *Journal of Geophysical Research*, 110, F04019. <https://doi.org/10.1029/2005JF000301>
- Torres, R.; Fagherazzi, S.; Van Proosdij, D.; Hopkinson, C. (eds.)(2006). *Salt marsh geomorphology: Physical and ecological effects on landform*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 69 (3-4), 309-437. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.05.001>
- Torrejón, J. (1996). Apartado histórico. En J.M. Barragán (Coord.): *Estudio para la ordenación, planificación y gestión integradas de las zonas húmedas de la Bahía de Cádiz*. Oikos-Tau y Universidad de Cádiz, p. 233-274.
- Vidal, J.; Tejedor, B. (2005). Study of the dynamic behaviour of the Sancti Petri Channel, southwest coast of Spain, *Ciencias Marinas*, 31(4), 617-626.

- Weller, O. (2002). Aux origines de la production du sel en Europe. Vestiges, fonctions et enjeux archéologiques. En: *Archéologie du sel: Techniques et sociétés. Internationales Archéologie*. (O. Weller, ed.). ASTK 3 Colloque 12.2, XIV Congrès UISPP, Liège, 163-175.
- Yechieli, Y.; Wood, W.W. (2002). Hydrogeologic processes in saline systems: playas, sabkhas, and saline lakes. *Earth-Science Reviews*, 58, 343-365. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00067-3)
- Zazo, C.; Goy, J.L.; Lario, J.; Silva, P.G. (1996). Littoral zone and rapid climatic changes during the last 20.000 years. The Iberia study case. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, Suppl.Bd. 102, 119-134.