

Procesos de inundabilidad en la zona marismal de Los Toruños (Cádiz)

Juan José MUÑOZ PÉREZ

Ingeniero de Caminos

Doctor en Ciencias Físicas

Jefe del Servicio de Proyectos y Obras

Ángel DE LA CASA ALONSO

Ingeniero Técnico de Obras Públicas

Jefe de Sección del Servicio de Proyectos y Obras

Demarcación de Costas de Andalucía-Atlántico

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

José M^a JOFRÉ

Ingeniero de Caminos

M^a José PÉREZ FORTIS

Bióloga

SERVICIOS OMICRON, S.A.

Introducción

Este artículo presenta la síntesis de algunos de los trabajos realizados por la Demarcación de Costas de Andalucía-Atlántico en el marco de la Asistencia Técnica "Estudio de actuaciones en la zona marismal de Los Toruños y Pinar de La Algaida (Cádiz)", resaltando los aspectos relacionados con los procesos de inundabilidad a que está sometida la marisma en función de los diferentes estados y coeficientes de las mareas. Estos procesos tienen un gran interés desde el punto de vista hidrodinámico y para la interpre-

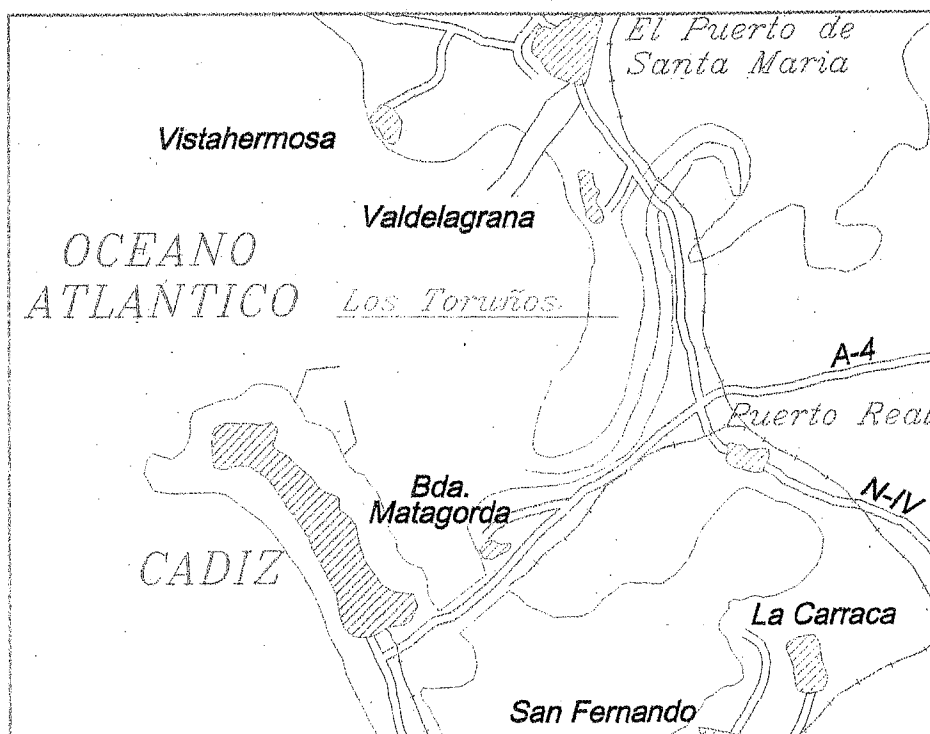
tación de fenómenos asociados al medio biótico.

Desde que se creó este Parque Natural (1989) la zona de Los Toruños, perteneciente al Dominio Público Marítimo-Terrestre, ha sido objeto de una constante atención. El Ministerio de Medio Ambiente a través de la Demarcación de Costas se plantea llevar a cabo actuaciones que, en sintonía con las acciones emprendidas por otras administraciones, contribuirán a la conservación de este espacio natural de gran valor ecológico, para la conservación y mejora de este sistema de marismas y de los espacios vinculados al mismo.

Las marismas mareales constituyen una de las comunidades vegetales más productivas que se conoce, permitiendo el sostenimiento de redes tróficas muy complejas capaces de soportar una gran biodiversidad específica. La gran variedad de condiciones del medio físico -producidas principalmente por diferencias en el grado de salinidad y en el tiempo de inundación-, propician la existencia de diferentes comunidades vegetales adaptadas a dichas condiciones.

Las aguas que se encuentran en los esteros de las salinas se caracterizan, por las variaciones de parámetros físico-químicos como, la salinidad, temperatura y concentración de oxígeno. Debido a estas condiciones, la mayoría de las especies que habitan estas aguas son de carácter eurihalino -soportan rangos amplios en el grado de salinidad- y tolerantes a las variaciones físicas.

Debido a las limitaciones que presenta para la vida vegetal, este medio ha sido colonizado únicamente por especies halófitas e hidrófilas, que han desarrollado fisiológicamente múltiples mecanismos de adaptación capaces de soportar la inundación periódica, la sequía estival, la movilidad del sustrato y la salinidad del suelo. La distribución y tipo de vegetación que viven en ellas está claramente condicionada por la dinámica periódica de las mareas.



Plano de situación.

Características hidráulicas fundamentales

La marisma de los Toruños se sitúa fundamentalmente entre el río San Pedro y las playas de Valdelagrana y Levante, con dos canales prácticamente permanentes de comunicación: los caños del Caserón y del Bote, ambos con numerosos ramales que alcanzan gran parte de la zona. Del río San Pedro salen además numerosos caños menores, siendo los más importantes los de la zona más meridional de la marisma.

Grandes zonas de la marisma quedan completamente en seco durante los períodos de bajo o medio nivel del mar, aunque permanecen charcas locales. Las diversas colecciones de fotografías aéreas ponen de manifiesto que en las bajamares las marismas quedan prácticamente en seco, a excepción de los caños principales.

El río San Pedro se "nutre" casi en exclusiva del mar, ya que no posee cuenca apreciable, del extremo sur de la playa de levante. Las aportaciones o pérdidas teóricas por el caño de Cortadura son despreciables. El desfase entre los niveles en los diversos tramos del río y el mar contribuye a la complejidad de la inundación.

Modelo matemático de la evolución de niveles

Se ha realizado una modelización matemática simplificada procediéndose a una simulación del comportamiento hidráulico por medio de incrementos finitos. Se parte de un estado inicial de nivel del mar y de la marisma y se va obteniendo la nueva situación cada segundo. El nivel del mar se considera independiente de cualquier factor determinándose de acuerdo a la información del Anuario de Mareas aplicando la fórmula sinusoidal, aunque se ha realizado la hipótesis de duración constante del ciclo de mareas.

En el modelo, la comunicación entre el mar y la marisma se realiza por un único canal de dimensiones variables en función de la

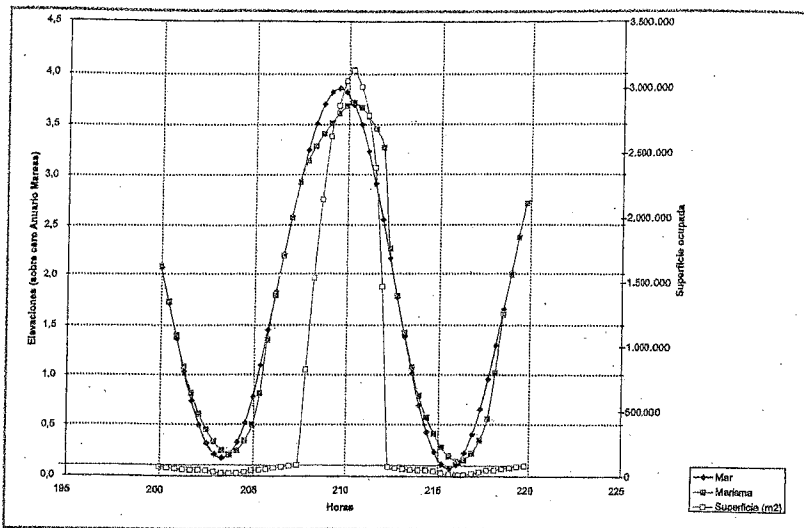


Gráfico 1. Evolución niveles en marea viva.

altura del agua en la marisma y considerando las dimensiones de los caños fundamentales de comunicación.

Se ha realizado un levantamiento topográfico de los caños principales, -Caserón y Bote-, así como del más importante situado en la zona meridional, lo que permite establecer las características de la magnitud de la comunicación entre el mar y río, con la marisma.

La diferencia de nivel entre el mar y la marisma origina una pendiente hidráulica y por tanto se crea una corriente de entrada o salida. Por aplicación de la fórmula de Manning se obtiene la velocidad en el canal y por consiguiente el caudal circulante. El volumen de agua -entrante o saliente- origina, en función de la relación volumen/superficie de la marisma, una variación del nivel del agua en la misma. En el intervalo siguiente de 1 segundo, se calcula la nueva elevación del mar y se obtiene el nuevo gradiente hidráulico. Obviamente se realiza la simplificación de variación instantánea de nivel en la marisma.

Para que este modelo simplificado pueda alcanzar resultados coherentes, es necesario proceder a una "calibración" del mismo, que permita fijar las características geométricas e hidráulicas del canal de comunicación. Para ello los días 10 y 11 de marzo de 1997 y el 7 de abril se procedió a la determinación de los niveles del mar y del río en diversos puntos. Los da-

tos del mes de marzo han servido para establecer el desfase de 1 m aproximadamente entre el cero del Anuario de Mareas y el de la cartografía de base utilizada.

Las características topográficas de la marisma permiten realizar algunas consideraciones preliminares; se trata de una gran planicie con muy ligeras diferencias de cota y hasta que no se alcanza un valor aproximado de 1,90 m medidos sobre el cero de la cartografía (lo que equivale a 2,90 hidrográfico) sólo quedan inundados los propios caños de la marisma.

Para el funcionamiento del modelo ha sido necesario estimar unas superficies de la marisma para las cotas inferiores. Se utiliza una cifra para la cota inferior de 50.000 m² aumentando 10.000 m² cada medio metro hasta que se alcanza la cota de la planicie. Dados los reducidos valores relativos de estas superficies, aumentar o disminuir estos valores, incluso de forma considerable no tiene efectos prácticos en el comportamiento del modelo.

A partir de la cota 2,00 - 2,20 (equivalente respectivamente a 3,00 - 3,20 hidrográfico), la superficie aumenta a gran velocidad. Por tanto hasta alcanzar esta cota el nivel del agua en la marisma será prácticamente el mismo que en el mar, aunque en la realidad existe un retraso ya que la variación de nivel no puede ser instantánea; sin embargo cuando se alcanza la cota de la planicie, la superficie

Niveles del mar y cartografía de inundabilidad

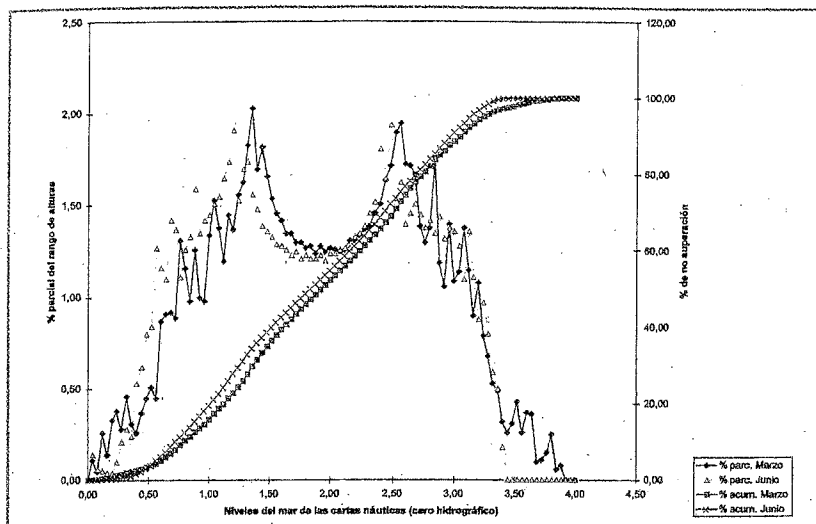


Gráfico 2. Comparación meses marzo-junio 1997 (rangos de 0,04 m).

afectada es considerable respecto a la sección del propio río San Pedro, por lo que las variaciones de nivel en la marisma ya no seguirán con tanta rapidez. La sección del río puede alcanzar los 600 m² por lo que a una velocidad de 0,8 m/s da un volumen de 28.800 m³ en un minuto, frente a una superficie de unos 4 millones de m².

La velocidad de variación del nivel del mar es muy diferente en las mareas vivas respecto de las mareas muertas. Como ejemplo se ha determinado la velocidad de subida o bajada, considerando la marea viva del mes de marzo con la marea muerta del mes de junio. Las diferencias son de 1 a 3 en la velocidad de variación del nivel del mar; la máxima velocidad de variación es de 94 cm/hora.

Considerando nuevamente las aportaciones del río San Pedro en una hora se tendría un volumen máximo de 1.728.000 m³ que en la superficie total de la marisma daría un incremento de unos 40 cm mucho menor que la máxima variación posible del nivel del mar.

No obstante en el caso de Los Toruños para que se produzca la inundación de la planicie el nivel del agua debe situarse a cotas que corresponden a las pleamares, donde ya la velocidad de variación del nivel es mucho menor. En términos simplificados, con una pleamar de 6 horas en mareas vivas alrededor de la quinta hora la

velocidad de variación en la marisma, debe ser forzosamente inferior a la del mar aunque el canal de comunicación entre el mar y la marisma fuese todo el río San Pedro. Cuando el mar alcanza el nivel de pleamar viva equinoccial, puede producirse una inundación prácticamente a través de todo el borde del río con la marisma, lo que es una sección mucho mayor que la boca de entrada del río aunque el caudal siempre viene condicionado por dicha boca.

En el gráfico 1 se ha representado una de las salidas de resultados de elevaciones del modelo para un período de mareas vivas.

Los datos de la calibración permiten corroborar la validez del modelo en sus aspectos más significativos: igualdad de nivel en el mar y marisma en la zona media de elevaciones (teniendo en cuenta un cierto desfase) y separación en las zonas de pleamar y bajamar vivas, especialmente en el caso de pleamar.

Se observa fácilmente que en el caso de marea débil la marisma acompaña al mar, aunque en la realidad habrá un desfase, diferente para cada zona de la marisma. En las mareas vivas se produce una separación en los valores extremos entre los dos niveles. En el caso de pleamares vivas queda de manifiesto la variación brusca que se produce al sobrepasar una determinada cota.

Se ha determinado el grado de ocurrencia de los diferentes niveles del mar. Los datos obtenidos corresponden exclusivamente a la marea astronómica, no considerando por tanto otros efectos. Los resultados se reflejan en el gráfico 2, donde quedan asimismo de manifiesto las diferencias entre un período de mareas vivas (marzo), y otro de mareas muertas (junio). (Comparación marzo-junio de 1997).

Referido al nivel de las Cartas Náuticas se ha obtenido un valor medio de 1,90 m destacando como valores significativos que la altura de 3,0 m, sólo se supera un 11% del tiempo y la altura de 3,80 m, menos de un 1%.

Es de reseñar que el valor medio no es el valor más frecuente, lo que se explica por la alta velocidad de variación del nivel del agua en ese rango de alturas, siendo los valores más frecuentes los correspondientes a las bajamares y pleamares normales.

Se ha realizado también una comparación entre las características de las mareas en períodos débiles y fuertes. Los resultados indican que en los períodos de mareas muertas es muy difícil que se llegue a producir una inundación generalizada de la marisma ya que el máximo valor, por causas astronómicas, no llega a los 2 m sobre el cero cartográfico.

El resultado de la cartografía de inundabilidad se refleja en el plano 1 de planta de la zona donde se han indicado las zonas susceptibles de ser inundadas en función de la intensidad de la marea.

Resultados y conclusiones

En el plano 1 se indican las áreas que se pueden considerar inundables con ocasión de los diversos tipos de pleamares.

La información topográfica de base con el resultado de la modelización simplificada realizada indican, que la zona de los Toruños desde el río San Pedro a la playa nunca es inundable para niveles

del mar inferiores a los 1,90 m (respecto al cero de Alicante), siendo el nivel medio del mar el 0,90 aproximadamente. La zona de salinas al este del río San Pedro y la pequeña zona comprendida entre las salinas y el pinar, contigua a la carretera, es mucho más inundable.

Con los valores indicados la marisma debe permanecer seca, salvo los caños, durante la mayor parte del tiempo, ya que la cota indicada es superada únicamente menos del 15 % del tiempo.

El concepto de inundación no implica que las zonas indicadas queden totalmente anegadas, sino que aparecen frecuentes islotes y manchas de vegetación pero en un contexto general de lámina de agua.

Bibliografía y cartografía

BARRAGÁN MUÑOZ, J. M. et al, 1996. Estudios para la ordenación, planificación y gestión integradas de las zonas húmedas de la Bahía de Cádiz. Ed.: oikos-tau. pp.: 121-213.

BARRAGÁN MUÑOZ, J. M. et al, 1996. Estudios para la ordenación, planificación y gestión integradas de las zonas húmedas de la Bahía de Cádiz. Capítulo

"Niveles del mar" desarrollado por L. Tejedor y M. Bruno.

BARRAGÁN MUÑOZ, J. M. et al, 1996. Estudios para la ordenación, planificación y gestión integradas de las zonas húmedas de la Bahía de Cádiz. Capítulo "Aspectos ecológicos y biológicos de las marismas y salinas de la bahía de Cádiz" de A.M. Arias.

Cartas Náuticas de la Bahía de Cádiz del Instituto Hidrográfico de la Marina. Años 1924 y 1995.

CARTER, R. W. G., 1988. Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press. Chapter 8.

Cartografía de la Junta de Andalucía. Escala 1:5.000.

COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (CERC), 1984. Shore protection manual. Structural features, Chapter 6. 610 p.

DAVIS, R., 1985. Coastal Sedimentary Environments, Springer - Verlag. pp: 303-378.

Evolución de los paisajes y ordenación del territorio de Andalucía Occidental. Bahía de Cádiz. Mapa del Cuadrante 1 de la zona de estudio, 1982. Escala: 1:25.000.

FOURNEAU, F. et al, 1987. Evolución de los paisajes y ordenación del territorio de Andalucía occidental. Bahía de Cádiz. Diputación de Cádiz y Casa de Velázquez. pp.: 51-86.

Inspección visual de la zona por técnicos especializados y en diversas condiciones de niveles del mar.

LABORATORIO DE PUERTOS RAMON IRIBARREN, 1980. Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular Atlántica. Provincia de Cádiz.

Mapa fisiográfico del litoral atlántico de Andalucía, M.F. 04: Rota-La Barrosa (Bahía de Cádiz), 1989. Junta de Andalucía, Agencia de Medio Ambiente y Casa de Velázquez. Escala: 1.50.000.

PETHICK, J., 1984, An Introduction to Coastal Geomorphology, Edward Arnold. pp: 127-143

Trabajos topográficos complementarios realizados expresamente para este trabajo determinando la cota en una nube de puntos a lo largo de la marisma.

Fotografías aéreas:
Vuelo americano, 1956;
Vuelo del PIDU, 1986;
Vuelo de la Junta de Andalucía, 1994.

Plano 1.

