

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)



DES01/09/17/0001

Noviembre, 2021

Índice

1. Introducción.....	2
1.1. Localización	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Objetivo del estudio.....	3
1.4. Disposiciones aplicables de la Ley de Costas.....	4
1.5. Metodología	5
2. Revisión del expediente de deslinde con referencia DES01/09/17/0001 caducado en julio de 2013.....	7
2.1. Revisión del proyecto de deslinde, febrero de 2012.....	7
3. Estudio del medio físico	10
3.1. Descripción de la zona de estudio	10
3.2. Geología y edafología.....	20
3.3. Acuífero fluviodeltaico del río Tordera	21
3.4. Evolución histórica.....	23
4. Estudio sobre la inundación natural de los terrenos	25
4.1. Parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea.....	26
4.2. Modelo digital del terreno, julio 2021.....	30
5. Estudio de salinidad	31
5.1. Campañas de campo de julio y agosto de 2021	31
5.2. Otras campañas de campo: junio 2006 y diciembre 2009	40
5.3. Datos que corroboran que la salinidad es de origen marino.....	43
6. Alcance del oleaje en los mayores temporales conocidos según el Reglamento General de Costas aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre	48
6.1. Aspectos generales de la metodología aplicada	49
6.2. Análisis de los datos de oleaje.....	50
6.3. Análisis de los máximos niveles del mar.....	51
6.4. Propagación del oleaje.....	51
6.5. Cálculos de run-up y cota de máxima inundación.....	51
6.6. Cota de máxima inundación.....	54
6.7. Análisis comparativo de los resultados del estudio con la inundación observada sobre el terreno en diciembre de 2009	55
7. Generalización cartográfica de la línea de inundación.....	57
8. Propuesta y justificación de DPM-T	58
Bibliografía	67

ANEJOS

Anejo 1. Antecedentes administrativos

- 1.1. Autorización de incoación de 29/10/2010
- 1.2. Caducidad del expediente de 05/07/2013

Anejo 2. Certificados de laboratorio

Anejo 3. Reportaje de vídeo y fotográficos

- 3.1. Fotografías sobre el terreno tomadas durante las campañas de campo de 26/08/2021, 19/07/2021, 22/03/2021, 25/01/2021, 29/11/2020, 04/12/2019, 26/01/2019, 14/12/2016 y 17/02/2015
- 3.2. Fotografías sobre el terreno tomadas durante las campañas de campo de 26/08/2021, 19/07/2021, 22/03/2021, 29/11/2020 y 04/12/2019

Anejo 4. Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria, Mareógrafo de Barcelona 2, Puertos del Estado, marzo de 2019

Anejo 5. Modelo digital del terreno, julio 2021

Anejo 6. Estudio de inundación del tramo de costa de la desembocadura del río Tordera, entre los términos municipales de Malgrat de Mar (Barcelona) y Blanes (Girona)

Anejo 7. Delimitación propuesta sobre ortofotografía de fecha de vuelo de junio de 2018

1. Introducción

1.1. Localización

La zona objeto de estudio se enmarca en el tramo de costa situado en la desembocadura del río Tordera. Administrativamente, constituye el límite entre las provincias de Barcelona y Girona. Su margen derecha discurre por el término municipal de Malgrat de Mar (Barcelona) mientras que la margen izquierda lo hace por el término municipal de Blanes (Girona).



Ilustración 1.- Situación del área de estudio (Fuente: ICGC).

El deslinde de dicho tramo corresponde al expediente caducado DES01/09/17/000 que no fue aprobado, es decir, se trata de un tramo de costa no deslindado.



Ilustración 2.- Tramo no deslindado en estudio

1.2. Antecedentes

Con fecha 29 de octubre de 2010, la entonces Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, teniendo en cuenta el principio de eficacia que debe presidir la actuación de las Administraciones Públicas, autoriza al Servicio Provincial de Costas en Girona para que lleve a cabo en un único expediente, el deslinde de los tramos correspondiente a ambas márgenes del río Tordera:

- Tramo de unos seiscientos setenta (670) metros de longitud que corresponde a la margen izquierda del río Torciera, en el término municipal de Blanes (Girona), autorizado en fecha 14 de diciembre de 2009.
- Tramo de unos seiscientos sesenta y un metros (661) metros de longitud que corresponde a la margen derecha del río Torciera, en el término municipal de Malgrat de Mar (Barcelona)

El Servicio Provincial de Costas en Girona incoó con fecha 18 de abril de 2011 el correspondiente expediente de deslinde al constatar que los terrenos no estaban deslindados.

Tras los trámites preceptivos en relación con la delimitación provisional, con fecha de registro de salida de 20 de julio de 2012, el Servicio Provincial de Costas en Girona remitió el resultado del trámite de audiencia, sin ningún tipo de continuación posterior en la tramitación del expediente.

Con fecha 5 de julio de 2013, la entonces Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar declaró caducado el expediente de deslinde de los bienes de DPM-T del tramo de costa de unos 1331 m en el río Tordera, autorizó al Servicio Provincial de Costas en Girona para que llevase a cabo de oficio el deslinde, conservando los actos y trámites efectuados desde el inicio hasta la remisión del proyecto y ordenó al Servicio Provincial de Costas en Girona que elaborase un informe en el que se certificase si la línea de deslinde incluida en el proyecto de deslinde se considera válida.

1.3. Objetivo del estudio

El objetivo principal de este estudio consiste en el análisis de la delimitación provisional incluida en el expediente de referencia DES 01/09/17/0001 caducado en julio de 2013 para comprobar si se adecúa a las modificaciones introducidas por la Ley 2/2013, de 29 de mayo en la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas y su Reglamento General.

Por lo tanto, el contenido del estudio pretende servir de apoyo técnico al Servicio Provincial de Costas en Girona en la toma de decisiones para la delimitación y justificación del dominio público marítimo-terrestre en el tramo de costa situado en la desembocadura del río Tordera en los términos municipales de Malgrat de Mar (Barcelona) y Blanes (Girona).

1.4. Disposiciones aplicables de la Ley de Costas.

En relación con la legislación de Costas, como disposiciones aplicables para la determinación de los bienes a deslindar se encuentran las siguientes:

- 1.- Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (BOE 29/07/1988), modificada por la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (BOE 30/05/2013).
- 2.- Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas (BOE 11/10/2014).

En virtud del artículo 3.1.a) de la Ley de Costas son dominio público marítimo-terrestre:

*“La zona marítimo-terrestre o espacio comprendido entre la línea de bajamar escorada o máxima viva equinoccial y el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, de acuerdo con los criterios técnicos que establece el artículo 4 de este reglamento o, cuando lo supere, el de la línea de pleamar máxima viva equinoccial. **Esta zona se extiende también por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas.**”*

Se consideran incluidas en esta zona las marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, las partes de los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y refluo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar.”

El artículo 4 del Reglamento General de Costas desarrolla los criterios técnicos para la determinación de la zona marítimo-terrestre

En la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa, con arreglo a las definiciones contenidas en el artículo anterior, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

a) Para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se considerarán las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas y el oleaje. Dicho límite será el alcanzado al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica existente demuestre la necesidad de utilizar otro criterio.

Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas con boyas o satélites o calculadas a través de datos oceanográficos o meteorológicos.

b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos superpuestos de las astronómicas y de las meteorológicas. No se tendrán en cuenta las ondas de mayor periodo de origen sísmico o de resonancia cuya presentación no se produzca de forma secuencial.

1.5. Metodología

Para facilitar la comprensión de la memoria del presente estudio se ha estructurado en los siguientes bloques:

a) REVISIÓN DEL EXPEDIENTE CON REFERENCIA CADUCADO EN JULIO DE 2013

Se revisa toda la información existente en el expediente de deslinde, recopilando los aspectos más destacables en cuanto a su tramitación y a los estudios técnicos realizados en relación con el objetivo de este estudio.

b) NUEVOS ESTUDIOS REALIZADOS

Con objeto de adecuar la delimitación propuesta a las disposiciones aplicables de la Ley de Costas y su Reglamento se ha considerado necesario realizar una serie de estudios que se exponen brevemente a continuación, cuyos resultados se presentan a lo largo de este documento.

Estudio del medio físico

Se recopila y estudia toda la información existente, tanto en el expediente de deslinde como en otras fuentes bibliográficas, con el fin de definir las principales características físicas y geomorfológicas de la zona de estudio observadas durante las distintas campañas de campo llevadas a cabo a lo largo de los años 2019, 2020 y 2021.

Estudio sobre la inundación natural de los terrenos

En este capítulo se analiza la cota de los terrenos de la desembocadura a partir del levantamiento topobatemétrico del cauce realizado en julio de 2021 tomando como referencia la máxima pleamar según datos extraídos de la página web de Puertos del Estado del mareógrafo de Barcelona 2.

Estudios de salinidad

Campañas de campo para la toma de muestras de agua y medición de conductividad, julio y agosto de 2021

Estos trabajos han consistido en la toma de muestras de agua para realizar mediciones de conductividad in situ mediante un medidor de conductividad portátil COND 7 VIO posicionando los puntos muestreados sobre plano.

Los valores de conductividad junto con los valores correspondientes de salinidad permiten realizar la clasificación de las aguas y elaborar una distinción básica en categorías, estableciendo distintos rangos que van desde el agua dulce al agua de mar, en el caso de la salinidad, y desde las aguas muy poco salobres hasta el agua de mar en el caso de la conductividad.

Análisis en laboratorio homologado

Los resultados de la campaña de agosto de 2021 han sido contrastados en el laboratorio homologado Eurofins, en el que también se ha analizado la concentración

de cloruros y otros aniones y cationes mayoritarios con el fin de obtener información sobre el origen marino de la salinidad.

Recopilación de datos recabados en campañas de campo de estudios existentes

Los valores de conductividad junto con los valores correspondientes de salinidad obtenidos en campañas de campo realizadas en estudio existentes y obrantes en el expediente de deslinde permiten realizar la clasificación de las aguas y elaborar una distinción básica en categorías, de la misma forma que en el apartado anterior.

Alcance del oleaje en los mayores temporales conocidos según la Normativa de Costas vigente en la fecha de redacción del presente estudio

Este estudio se centra en el análisis de los niveles de inundación y alcances máximos de niveles del mar en los episodios de los mayores temporales conocidos de acuerdo con la Ley 22/1988 de 28 de julio de Costas, tras las modificaciones introducidas por la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, y los criterios técnicos establecidos en el Reglamento General de Costas aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales.

Con el fin de calibrar los resultados teóricos obtenidos con la realidad observada y documentada durante el temporal de los días 14 y 15 de diciembre de 2009, se realiza un análisis comparativo de los resultados del estudio con la inundación observada sobre el terreno en diciembre de 2009.

Generalización cartográfica de la línea de inundación

A partir de la línea de inundación resultante del estudio de alcance del oleaje en los mayores temporales conocidos según la Normativa de Costas al que se refiere el punto anterior, los trabajos de generalización cartográfica permiten obtener una poligonal que pueda ser adecuadamente representada sobre un plano mediante un número proporcionado de vértices con un nivel de detalle adaptado a la escala y al propósito de este estudio.

Propuesta y justificación de los bienes de DPM-T

Por último, a partir de las pruebas, indicios y evidencias con base en todas las consideraciones derivadas de los puntos anteriores y atendiendo a la realidad de la zona observada en las distintas visitas de campo realizadas, se efectúa una delimitación del dominio público marítimo-terrestre coherente con las disposiciones aplicables de la Ley de Costas y su Reglamento.

2. Revisión del expediente de deslinde con referencia DES01/09/17/0001 caducado en julio de 2013

2.1. Revisión del proyecto de deslinde, febrero de 2012

Justificación de la delimitación propuesta en el proyecto de deslinde de febrero de 2012

Se delimitaron provisionalmente los terrenos con las características definidas en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas mediante una poligonal de deslinde de unos 1331 metros de longitud y 18 vértices, coincidente en todo el tramo con la ribera del mar, que se extiende “por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas”.



Ilustración 3. Delimitación propuesta en el proyecto de deslinde de 2012 sobre ortofotografía de 2015. En amarillo, línea de deslinde; en rosa, servidumbre de protección.

El límite interior aguas arriba se determinó por el alcance de la lámina de agua marina en episodio de temporal sobre el cauce del río Tordera, es decir, sobre las márgenes del río Tordera hasta los límites de máximas inundaciones del cauce en los episodios de máximos temporales (en sus secciones transversales) y prolongándose hasta el límite aguas arriba (en las secciones longitudinales del cauce) determinado por los registros de concentraciones salinas.

Para ello, se llevaron a cabo 6 campañas de campo entre 2007 y 2008 con analíticas en el cauce para la determinación de la concentración salina. No obstante, dada la irregularidad del régimen de caudal en este río en su tramo bajo próximo a la desembocadura, en el que la mayor parte del año se encuentra sin agua o con discontinuidades en su flujo hasta el mar, fue necesaria la realización de cálculos de alcance de la lámina de agua del mar en episodios de temporal, a partir del modelo digital del cauce del río Tordera, estudiándose el límite interior que alcanzaría dicho volumen de agua de mar en el cauce vacío de la desembocadura. En virtud de todo ello, la delimitación provisional incluía los terrenos con las características definidas en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas.

Tramitación del expediente de deslinde

INFORMACIÓN OFICIAL

Fecha de entrada Servicio Provincial	Organismo	Informe sobre la delimitación propuesta
17/05/2011	Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya	Favorable
09/11/2011	ACA	La delimitación propuesta coincide parcialmente con la delimitación de DPH, habría que respetar la servidumbre de paso para el mantenimiento de las infraestructuras existentes
03/06/2011	Ayuntamiento de Malgrat de Mar	Favorable
19/05/2011	Ayuntamiento de Blanes	Favorable

ACTO DE APEO (02/06/2011)

Con posterioridad al acto de apeo celebrado el 2 de junio de 2011 no fueron realizadas modificaciones en la poligonal del deslinde provisional.

TRÁMITE DE AUDIENCIA Y CADUCIDAD DEL EXPEDIENTE DE DESLINDE

Con fecha 13 de abril de 2012, se otorgó un periodo de audiencia a los interesados, concediéndoles un plazo de quince días para examinar el expediente y presentar los escritos, documentos y pruebas que estimasen convenientes.

Con fecha de registro de salida 20 de julio de 2012, el Servicio Provincial de Costas en Girona remitió el resultado del trámite de audiencia a la entonces Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, que, con fecha 5 de julio de 2013 declaró caducado el expediente de deslinde de los bienes de DPM-T del tramo de costa de unos 1331 m en el río Tordera.

ALEGACIONES PRESENTADAS DURANTE LA TRAMITACIÓN DEL EXPEDIENTE Y CONSIDERACIONES DEL SERVICIO PROVINCIAL DE COSTAS EN GIRONA

Durante la tramitación del expediente fueron presentadas 13 alegaciones cuyas declaraciones, en líneas generales, se resumen a continuación. En cada uno de los puntos se indican brevemente las consideraciones a las mismas por parte del Servicio Provincial de Costas en Girona

- *Los alegantes pretenden acreditar la inexistencia de aguas salinas por la explotación de pozos destinados a riego o instalaciones de campings. Alegan que la salinidad puede tener origen en aguas fluviales contaminadas o en la planta desaladora.*

El Servicio Provincial de Costas en Girona considera que los análisis de aguas realizados en varias campañas de campo, tanto en lo relativo a concentraciones salinas como contenido en cloruros, así como el gradiente de tendencia decreciente de desembocadura a interior, junto a la ocurrencia de temporales en los días previos a los trabajos de campo justifican inequívocamente la procedencia marina de las aguas analizadas. Asimismo, considera que los alegantes no incluyen información relativa a los posibles fallos en la desalinizadora a los que aluden.

- *Los alegantes consideran que la concentración salina se debe al agua marina que pasa la barra y se mezcla con el agua del cauce queda estancada en la barra de la desembocadura.*

El Servicio Provincial de Costas en Girona resalta la afirmación de los propios alegantes, en la que inciden en los argumentos técnicos de propagación de agua marina y concentración salina en la desembocadura.

- *Los alegantes cuestionan el estudio hidrodinámico de cálculo de volúmenes de rebase y simulación del llenado sobre la desembocadura del cauce del Tordera. En concreto, alegan que los datos de oleaje manejados proceden de boyas de registro de datos situadas a 9 y 12 kms de la costa; que los cálculos que tienen en cuenta un escalón a 650 m aguas arriba de la desembocadura son erróneos y difieren de los volúmenes e incrementos de calado calculados por los alegantes; y que no se ha tenido en cuenta que la barra de la desembocadura no puede retener el agua pues se encuentra formada por arenas con una elevada permeabilidad y su apertura parcial también incide en este sentido.*

El Servicio Provincial de Costas en Girona considera que los cálculos teóricos realizados son coherentes con los obtenidos de la observación del temporal de diciembre de 2009, no obstante, no han sido definitivos para la determinación del DPM-T, sino que la circunstancia definitiva ha sido el trabajo de campo relativo a la observación topográfica del alcance máximo interior de la lámina de agua del mar sobre el lecho del cauce, así como la realización de análisis de salinidad. De esta manera, se pudo constatar en campo el alcance real de la lámina de agua que se formó en dicho tramo de desembocadura en sus últimos 670 metros fundamentalmente por la masa de agua que penetró del mar por rebase de oleaje en episodio de temporal de diciembre de 2009. Sobre el mecanismo por el que la barra se cierra en temporal, se alude a la acumulación de agua tras la barra de la desembocadura del Tordera.

3. Estudio del medio físico

3.1. Descripción de la zona de estudio

El río Tordera nace en el Montseny y desemboca en el mar Mediterráneo donde forma un delta aluvial con una superficie aproximada de 30 km² entre los municipios de Malgrat de Mar y Blanes. En el frente litoral, el delta alcanza una anchura máxima de 6,4 kms y se extiende una longitud de unos 3 kms aguas arriba del río.

La desembocadura del río Tordera se encuentra dentro del Espacio Natural Protegido y Zona Especial de Conservación de la Red Natura 2000, “Riu i Estanys de Tordera” (ES5110007). Se trata de un espacio de alto valor ecológico que alberga una gran cantidad de hábitats y especies de flora y fauna, especialmente aves migratorias, típicas de los diversos ambientes acuáticos costeros que conforma.

El régimen del caudal del Tordera es torrencial. Presenta fuertes crecidas causadas por fuertes precipitaciones, independientemente de la época del año en que se produzcan, aunque habitualmente tienen lugar en otoño e invierno.

Los distintos factores que influyen en el desarrollo deltaico son el régimen fluvial, en este caso torrencial; los procesos costeros, el comportamiento estructural del área, su morfología y el clima. La interacción entre estos factores condiciona las características específicas del delta y su evolución.

Así, en la dinámica natural de los terrenos de la desembocadura del Tordera participan fundamentalmente agentes como las mareas, el oleaje, la filtración de agua de mar y la descarga fluvial, presentando, por tanto, una hidrodinámica mixta de tipo aluvial y marina y dependiendo del momento, la dinámica imperante será fluvial, marina o mixta.

En concreto, la barra de arena y guijarros que conecta el cauce del Tordera con el mar avanza o retrocede a golpes de inundación fluvial o marina provocando una geomorfología muy cambiante.

En estas circunstancias, uno de los rasgos principales de los terrenos de la desembocadura del Tordera está definido por su rápida evolución en el tiempo, dando lugar a la formación de distintos tipos de morfologías relacionadas directamente con los mecanismos de entrada de agua marina o de descarga fluvial.

Estos procesos condicionan la salinidad de las aguas. En épocas lluviosas en las que el aporte del caudal es mayor y existe, por tanto, mayor dominancia fluvial, la salinidad es baja. En épocas más secas, la salinidad aumenta al descender el volumen de agua dulce que el río (y otros cauces adyacentes) aportan a la desembocadura.

En periodos lluviosos o de descarga fluvial, el comportamiento de la desembocadura se caracteriza por presentar un predominio de la dinámica fluvial sobre la acción litoral. En estas circunstancias, con la barra de la desembocadura abierta, el sistema se comporta como un estuario cuya conducta se define fundamentalmente por el caudal del río, la topografía del fondo y las variaciones del nivel del mar al igual que la posición de la cuña salina o zona de intercambio de agua dulce y salada.



Ilustración 4. Vista de la desembocadura del Tordera tras el temporal Gloria con predominio de la dinámica fluvial sobre la acción litoral. Fuente: www.blanesaldia.com

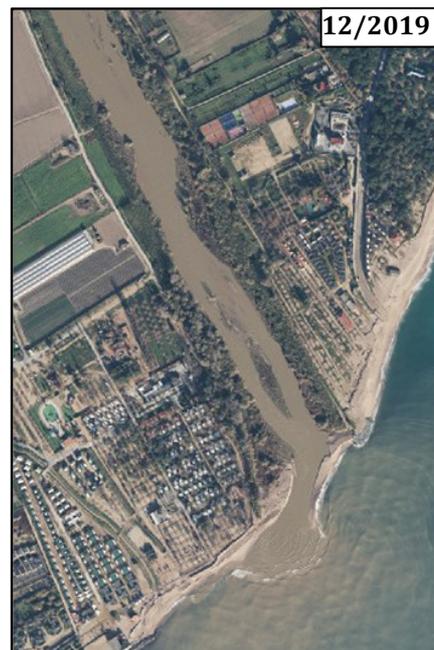
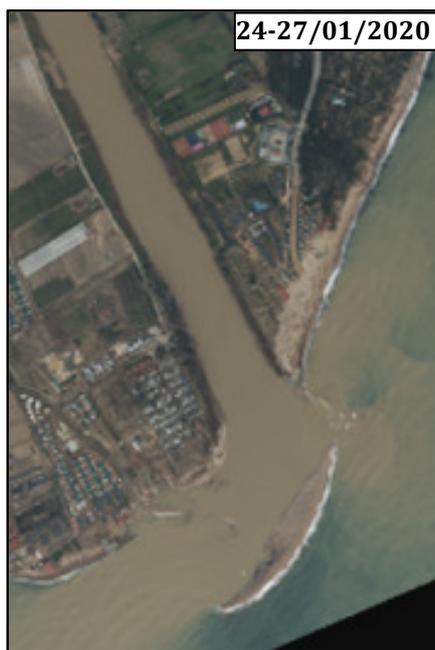


Ilustración 5. Vista de la desembocadura del Tordera con rebase total y parcial de la barra de la desembocadura.

Cuando la desembocadura presenta un predominio de la acción litoral sobre la fluvial, los factores que influyen en la entrada de agua de mar en el cauce del Tordera tienen que ver fundamentalmente con el oleaje durante temporales, la marea astronómica y/o meteorológica, la infiltración y la percolación.

Durante los temporales más fuertes se produce una comunicación directa superficial entre el cauce y el mar debido al rebase por el oleaje de la barra de arena y guijarros de la desembocadura que genera canales de conexión que pueden conectar el cauce por completo o parcialmente. A modo de ejemplo, se presentan a continuación las fotografías tomadas durante los distintos temporales acaecidos en la zona en los últimos años. La totalidad de las fotografías, así como los vídeos tomados en las mismas circunstancias pueden consultarse en el **Anejo 3**.



Ilustración 6. Temporal de 17 de febrero de 2015



Ilustración 7. Temporal de 14 de diciembre de 2016



Ilustración 8. Temporal de 25 de enero de 2019



Ilustración 9. Temporal de 4 de diciembre de 2019



Ilustración 10. Temporal de 4 de diciembre de 2019

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)

El oleaje penetra cauce arriba hasta zonas interiores favorecido por los fuertes vientos que se dan en la zona. Este proceso se evidencia en el **video número 15 del Anejo 3.2**, grabado durante el temporal del día 04/12/2019 en el que se aprecia cómo el oleaje penetra en el cauce y asciende aguas arriba empujado por el persistente viento.

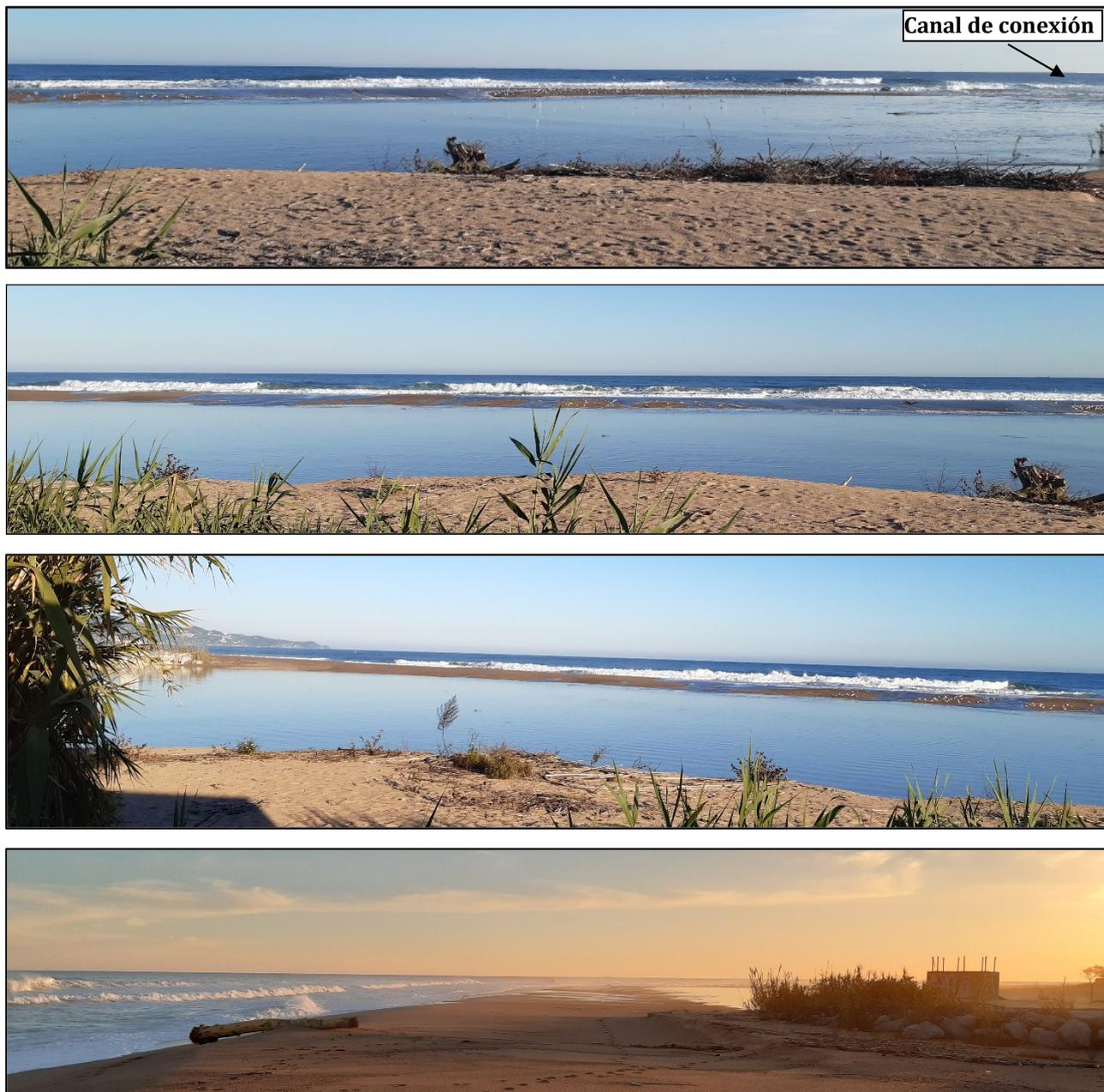


Ilustración 11. Temporal de 29 de noviembre de 2020

Los mecanismos de infiltración y percolación a través de la barra de arena y guijarros se evidencian en periodo estival o en periodos especialmente secos, sin aporte o con escasa descarga de agua dulce. En estos periodos la barra de la desembocadura se encuentra cerrada superficialmente, sin embargo, la zona conserva una lámina de agua salada y permanente, aislada del mar.

El funcionamiento hidrológico de la desembocadura se corresponde en estos periodos con un humedal costero o sistema lagunar trasplaya separada del mar por una barra de arena y guijarros. Los terrenos interiores se encuentran a cotas inferiores a las de la barra de la desembocadura y, por tanto, son susceptibles de inundación por agua de mar.

Este humedal costero o laguna litoral de aguas permanentes presenta mayor o menor envergadura dependiendo de la morfología de partida.



Ilustración 12. Comparativa entre los años 2000 y 2020 de la masa de agua permanente o laguna litoral que se forma junto a la barra de la desembocadura. Fuente: Imagen superior, fotograma del vuelo oblicuo de la entonces Dirección General de Costas del año 2000; imagen inferior, blogs.publico.es.

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)



Ilustración 13. Humedal que se forma en la desembocadura en periodos estivales o especialmente secos. De izquierda a derecha, vuelo americano serie B, 1956-57, PNOA 2005 y PNOA ortofoto expedita 2021. La desembocadura conserva siempre una lámina de agua, la cual funciona como una zona de humedal o sistema laguna trasplaya de mayor o menor envergadura dependiendo de la morfología superficial de partida.

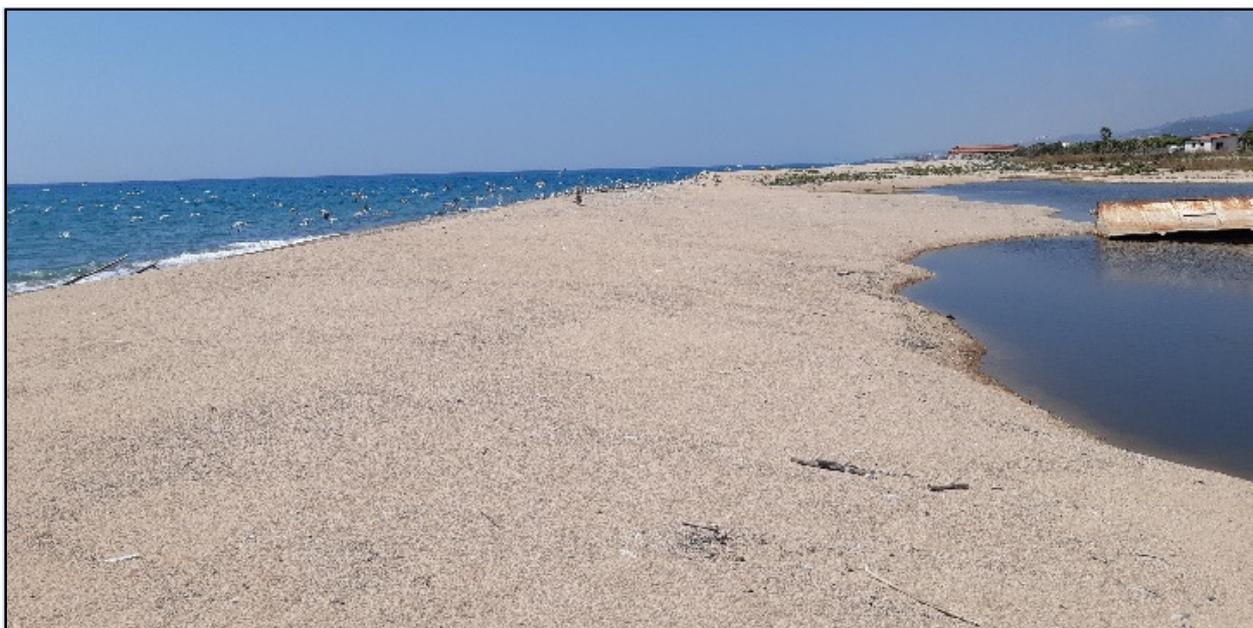


Ilustración 14. Vista de la barra de la desembocadura durante la campaña de campo de julio de 2021. Los terrenos más interiores del humedal se encuentran a cotas inferiores a las de la barra de la desembocadura y, por tanto, son susceptibles de inundación por agua de mar.

La Agencia Catalana del Agua define y delimita en la zona de estudio la masa de agua de zonas húmedas: desembocadura del riu Tordera.

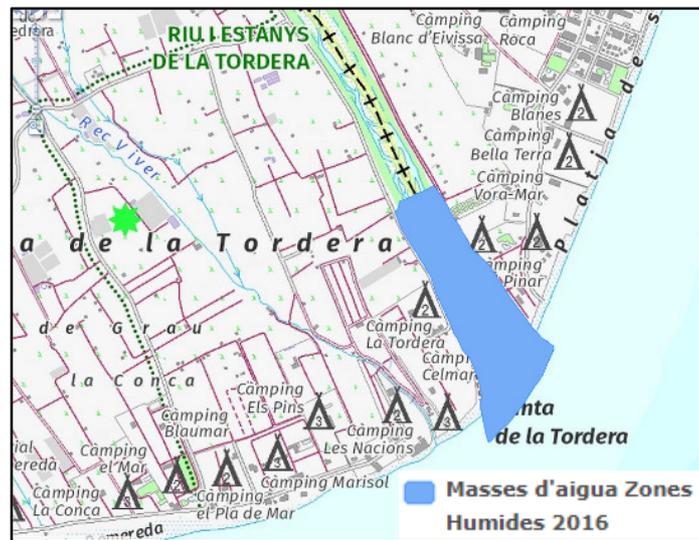


Ilustración 15. Delimitación de humedal permanente “Desembocadura del Tordera”. Fuente: Visor ACA

Según el Inventario de zonas húmedas de Cataluña, la desembocadura del Tordera se define con la tipología ZLDF o Zonas litorales ligadas a la dinámica fluvial. Además, dentro de las masas de agua que tienen una ecología determinada por las aportaciones de agua marina y, en consecuencia, son consideradas aguas de transición de acuerdo con la Directiva Marco del Agua, la zona de la desembocadura del Tordera se incluye dentro de la categoría DP: Dulces-oligohalinas permanentes o lagunas de agua dulce, litorales o no, que no se secan.

ESPAI	M. A.	TIP.	COMARCA	MUNICIPI/S		
Conca del Fluvià						
1 Basses de can Jordà	2	ZLI	Garrotxa	Santa Pau		
2 Estany d'en Broc	1	ZLI	Garrotxa	Olot		
Conca de la Tordera						
3 Bassa Gran de Can Cunill	1	ZLI	La Selva	Riudarenes		
4 Estany de Sils	2	ZLI	La Selva, Maresme	Sils, Maçanet de la Selva		
5 Aiguamolls del curs baix del Tordera	3	ZLI	La Selva, Maresme	Fogars de la Selva, Tordera, Palafròl		
6 Desembocadura del riu Tordera	1	ZLDF	La Selva, Maresme	Malgrat de Mar, Blanes		
Codi punt de mostreig						
CODI I NOM DE LA MASSA D'AIGUA	LLACUNA/BASSA	TIP.	UTM-x	UTM-y	MUNICIPI	COMARCA
40 (1)	Can Calçada	DP	475300	4629890	Riudarenes	La Selva
41 H1050030 Estanys de Tordera-Estany de la Júlia	Estany de la Júlia	DT	474309	4619314	Tordera	Maresme
42 H1050050 Estanys de Tordera-Estany de Can Raba	Can Raba	DP	476994	4617675	Tordera	Maresme
43 H1050040 Estanys de T.-Braç esquerre de l'illa del Tordera	Braç esquerre	DP	475936	4617501	Tordera	Maresme
44 H1050060 Estanys de Tordera-Estany de Can Torrent	Can Torrent	DP	476379	4617201	Tordera	Maresme
45 (1)	Gorg d'en Puigverd	DP	478690	4615003	Palafròl	Maresme
46 H2200020 Bant de l'Arç	Bant de l'Arç	DP	200586	4642848	Algarós	Sagunt
47 H1050070 Desembocadura del riu Tordera	Desembocadura Tordera	DP	481480	4611403	Blanes	La Selva

Ilustración 16. Tipologías definidas para la zona húmeda de carácter permanente “Desembocadura del río Tordera”. Fuente: “Eines d'establiment de l'estat ecològic de les zones humides de Catalunya” y Estado ecológico de las zonas húmedas, agosto 2010 Agencia Catalana de l'Aigua.

De esta manera, la zona húmeda permanente junto a la barra sobrevive en un precario equilibrio de fuerzas y su evolución en el tiempo depende de la dinámica mixta, fluvial y marina que se da en la zona de la desembocadura. Si bien, estas dinámicas se han visto

alteradas como consecuencia de las actuaciones antrópicas a las que está sometido el entorno, especialmente en las últimas décadas (explotación del acuífero, ocupaciones por campings o terrenos agrícolas, explotaciones de áridos en el cauce, presencia de motas y diques que han alterado la morfología de la desembocadura, etc.).

En los últimos ha sufrido una fuerte transformación, fundamentalmente a causa del temporal Gloria que ocurrió en el litoral catalán en enero de 2020. Las arenas y sedimentos empujados por las inundaciones del Gloria desplazaron la barra de la desembocadura más de 200 metros mar adentro y unos 400 m al suroeste.



Ilustración 17. Vista de la laguna litoral tras el paso del temporal gloria. Fuente: <https://beteve.cat/medi-ambient/delta-tordera-borrasca-gloria/>

Este cambio morfológico sumado a una menor presión antrópica como consecuencia de la pandemia favoreció la calidad de este hábitat del delta y el asentamiento de numerosas especies.

No obstante, esta situación no es una foto fija de la desembocadura, que es variable en su geomorfología. En efecto, la comparativa de las imágenes entre 2020 y 2021 demuestra como los sedimentos que conforman la barra de la desembocadura están siendo redistribuidos por acción de la dinámica litoral. Como se puede observar en la ortofoto de 2021 (**Ilustración 18**), la barra se ha desplazado hacia la costa aproximadamente 100 m, es decir, la laguna en 2021 ha visto reducida su extensión en un 50% respecto a la superficie que presentaba en 2020 tras el temporal Gloria.

Esta comparativa evidencia la acción de la dinámica marina y demuestra la influencia mareal a la que están sometidos los terrenos, poniendo de manifiesto el funcionamiento natural de la desembocadura sujeta a grandes cambios morfológicos en eventos extremos que van reconstruyéndose en situaciones ordinarias.

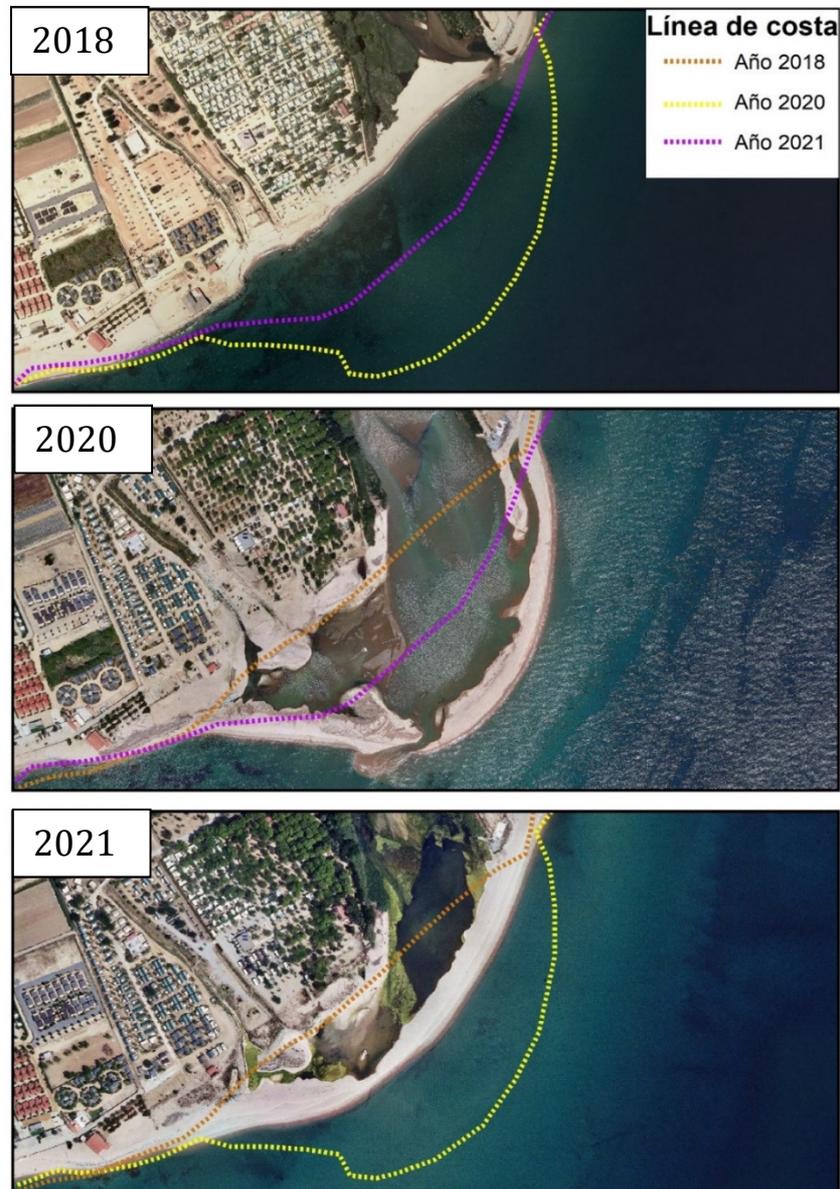


Ilustración 18. Comparativa de la desembocadura entre los años 2018, 2020 y 2021 en la que se evidencia su variabilidad geomorfológica debido a la acción de la dinámica marina y la influencia mareal a la que están sometidos los terrenos

En conclusión, la desembocadura del Tordera presenta una hidrodinámica mixta de tipo aluvial y marina y, dependiendo de los factores dominantes, la dinámica imperante será fluvial, marina o mixta.

Teniendo en cuenta el objetivo de este estudio es necesario analizar la zona desde la perspectiva de la influencia marina en la dinámica natural de los terrenos, considerando para ello aquellos escenarios en los que impera la influencia de las mareas, el oleaje o la filtración de agua de mar, siendo la salinidad del agua el factor indicador de la dominancia de estos procesos.

3.2. Geología y edafología.

De la documentación disponible en el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC) se extrae lo siguiente:

- 1) **Edafología.** Según el Mapa de Suelos de Cataluña a escala 1:250.000, la zona de estudio está formada por suelos “*Xerofluvents oxidàquics i Psammaquents oxidàquics*” (s82).

Se corresponden con suelos desarrollados a partir de sedimentos aluviales y litorales en zonas deltaicas. Caracterizados por ser suelos muy profundos, con un drenaje bueno a moderado, texturas gruesas o moderadamente gruesas, y muy pocos elementos gruesos. Además, tienen un desarrollo edáfico pobre, un pH entre neutro a ligeramente alcalinos, y un contenido de carbonato cálcico entre medio y alto.

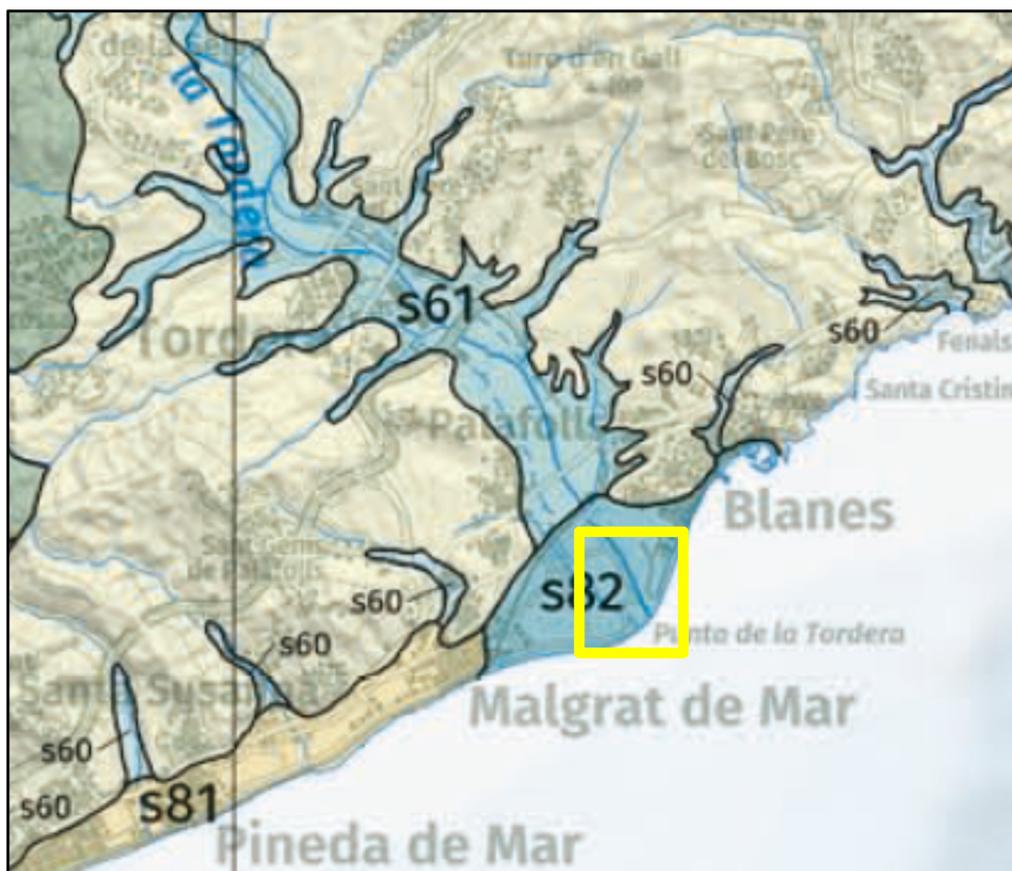


Ilustración 19.-Localización aproximada de la zona de estudio sobre el Mapa de Suelos de Cataluña a escala 1:250.000 (Fuente: ICGC).

3.3. Acuífero fluviodeltaico del río Tordera

La Agencia Catalana del Agua define y delimita en la zona de estudio el acuífero Fluviodeltaico superficial del bajo tordera asociado a la masa de agua subterránea: Aluvial del bajo tordera y delta.

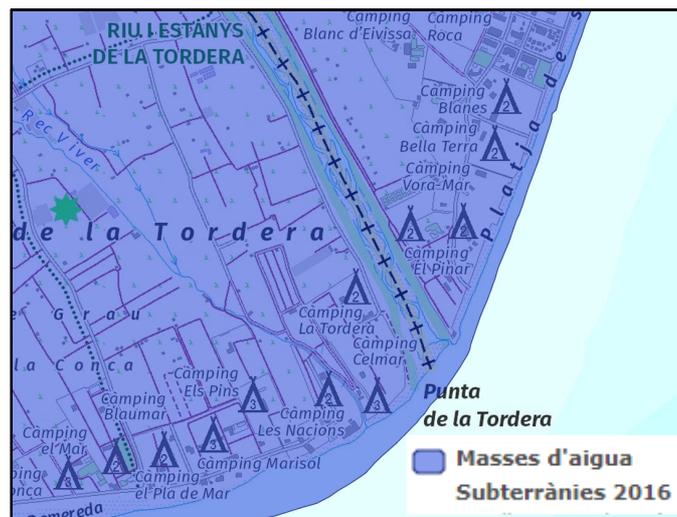


Ilustración 20. Delimitación de la masa de agua subterránea. Fuente: Visor ACA

El acuífero del Tordera, masa de agua catalogada “En peligro”, constituye un acuífero estratégico para la gestión de recursos de la costa, de gran importancia socioeconómica para el abastecimiento de poblaciones costeras de la comarca del Maresme y de la costa brava sur.

La contaminación del acuífero del delta del Tordera por intrusión marina está documentada a partir de 1970, aunque se cree que debió comenzar en la década de los 60. En la actualidad el acuífero profundo está más contaminado que el superficial. Las actividades antrópicas (aumento de extracciones debido a la intensa actividad agraria, la actividad industrial, las sequias, el crecimiento de la demanda de agua a causa del incremento turístico, etc) han favorecido y acrecentado el avance de la intrusión marina hacia el interior, requiriendo la construcción de una desalinizadora.

En el estudio “**Salinización de las aguas subterráneas en los acuíferos costeros mediterráneos e insulares españoles**” elaborado por el Grupo de Hidrología Subterránea del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña y por CETAQUA en el año 2017 se indica que:

- El delta y parte baja de La Tordera forman un importante acuífero local intensamente explotado y con problemas de intrusión marina. El agua se destina a abastecimiento e industria y en parte también al riego agrícola.
- Se trata de un típico acuífero aluvial cuaternario bicapa con estructura similar a la del delta del Llobregat y Ebro, pero en el caso de La Tordera, la cuña intermedia Holocena es de materiales más gruesos. El conjunto sedimentario es complejo ya que el zócalo tiene resaltos y la relación con el mar es variable.

- La notable intrusión marina en el delta de La Tordera se ha controlado con el aporte de una planta de desalinización de agua marina en la margen izquierda del delta. Se construyó en 2002 con capacidad nominal de 10 hm³/año. En 2008 se incrementó a 20 hm³/año.
- En el delta de La Tordera, parte de la recuperación es debida a la reducción de las extracciones por los aportes de la planta desalinizadora de agua del mar, aunque subsisten problemas.

En el estudio ***“Análisis de la salinización de un acuífero deltaico durante episodios meteorológicos en la costa brava (NE de la península ibérica)”*** realizado por Javier Rodríguez-Bocanegra y Javier Martín Vide, Universidad de Barcelona, se indica que:

- En las zonas más próximas a la costa, de forma significativa, los episodios de precipitación asociados a situaciones meteorológicas de E y NE comportan la salinización del acuífero deltaico, incluso profundo, debido al viento y consecuentemente al oleaje. La comprensión de estos procesos es fundamental en un contexto donde el cambio climático comportará el aumento del nivel del mar y los acontecimientos extremos. Esto aumentará la salinización, debido tanto a la intrusión marina como al oleaje.
- A partir de 2008, el aumento del volumen tratado por la desalinizadora (ITAM) de 10 a 20 hm³ ha permitido la recuperación, casi total, del estado ecológico hasta el punto de que la masa de agua no presenta intrusión salina, y ésta queda restringida a los primeros metros de la franja costera. Así lo indican las relaciones iónicas y la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas en diferentes puntos situados en la llanura sobre el acuífero fluviodeltaico.
- Las relaciones de las variables hidrometeorológicas (precipitación y nivel piezométrico) es notable sobre todo en el acuífero superficial, por ser la masa de agua más expuesta a las aguas meteóricas. En el acuífero profundo no presenta una relación estadística significativa ya que el nivel piezométrico depende también de otros factores no contemplados en el modelo, por ejemplo, bombeos de aguas subterráneas.
- Los episodios de levante E y NE influyen aumentando la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas del acuífero fluviodeltaico del río Tordera, sobre todo del profundo; este sería el efecto contrario de lo que cabría esperar. Durante los episodios de levante se produce la entrada de aguas marinas hacia la llanura deltaica, induciendo así los procesos de salinización.
- El cambio climático afectará a la salinidad de los acuíferos tanto por la subida del nivel del mar, como por la posible entrada de agua salada en el continente como consecuencia de la severidad de los episodios meteorológicos. Esto, teniendo en cuenta la posible disminución de recursos hídricos, podría inducir de nuevo un aumento de la intrusión salina y la salinización de los pozos de abastecimiento, así como la afectación de los ecosistemas.

3.4. Evolución histórica

La zona de estudio se sitúa sobre un tramo de costa en el que se ha producido un importante retroceso histórico de la línea de costa, como consecuencia, entre otros factores, del déficit sedimentario agravado por el menor caudal del río derivado de la sobreexplotación del acuífero (turismo, riego o industria), extracción de áridos así como la ocupación de la franja litoral y la antropización que sufre con la consecuente desaparición de las dunas del entorno, hecho que facilita la erosión ocasionada por los temporales de mar.

Esta regresión, ampliamente documentada en estudios anteriores obrantes en el expediente de deslinde, representa la fragilidad de este tramo de costa sometido a la dinámica fluvial y marina, alterando el equilibrio y la configuración del litoral.

En este sentido existen varias fuentes bibliográficas que confirman el cambio producido en la zona de estudio, como la tesis "*Consecuencias a Largo Plazo de la Gestión Desintegrada en Zonas Costeras: el Caso del Delta de la Tordera (Cataluña, España)*" *Enric Sagristà, Rafael Sardá y Jordi Serra. Diciembre de 2018* de la que se extrae que:

- Globalmente, las zonas deltaicas se encuentran actualmente en retroceso sufriendo, año tras año, grandes pérdidas de superficie emergida debido a las alteraciones humanas en las tasas de transporte de sedimentos y otros procesos a escala global. Una de estas zonas es el delta de la Tordera.
- La evolución geomorfológica del delta de la Tordera durante el período de 50 años (1957-2006) está relacionada con los cambios que ha sufrido la zona debido a la actividad humana, como la transformación de los usos del suelo o las interferencias con los procesos naturales.
- Desde 1956 hasta 2006 la línea de costa del delta de la Tordera ha retrocedido de media 22 metros en el brazo norte y 42 metros en la zona de la desembocadura del río, a la vez que ha avanzado 35 metros en el brazo sur.
- En algunas zonas, este proceso de erosión llevó a la total desaparición de la superficie de playa en el año 2006, con numerosos daños en su parte posterior y en las infraestructuras presentes (paseos marítimos, edificios o campings).
- Las instalaciones presentes en el frente litoral reciben ahora el impacto directo de los temporales marítimos debido a la pérdida de la función de la playa para proteger la costa.
- Para obtener las tasas de erosión y acreción de la línea de costa (m/año) se estudiaron 24 transectos a través de la herramienta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) para ArcGis del Servicio Geológico de Estados Unidos. (**Ilustración 21**).
- Finalmente, se crearon gráficos donde se representa la evolución positiva (color azul) o negativa (color rojo) de cada transecto. A partir de las tasas correspondientes al período de estudio más moderno (2000-2006) y siguiendo esta tendencia, se obtiene una predicción de escenarios futuros (a 5, 25 y 50 años vista) obteniendo los resultados que se muestran en la **Ilustración 22**.

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)

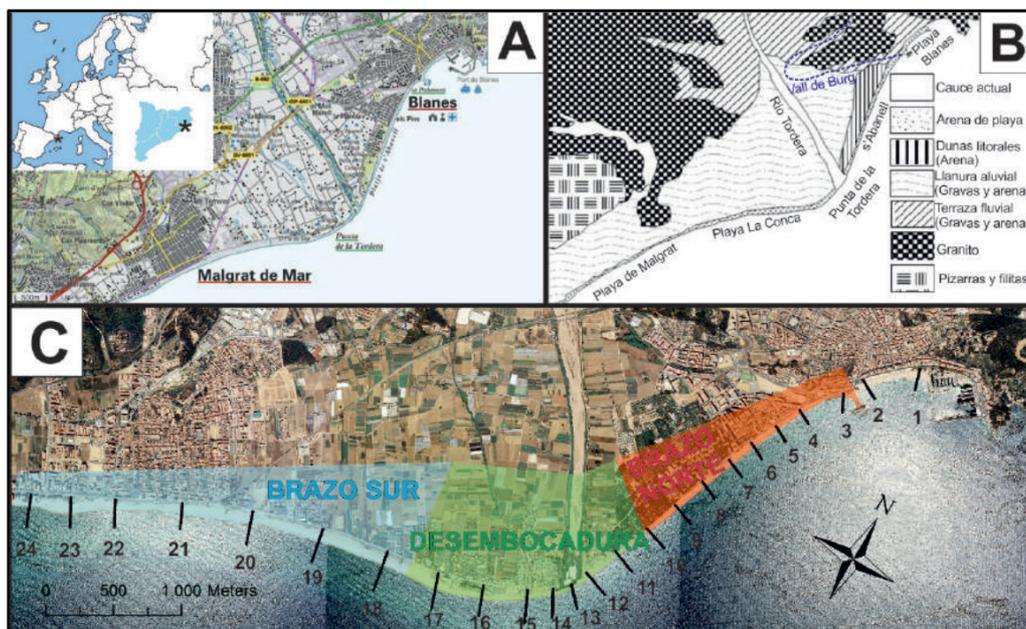


Ilustración 21. Mapa topográfico de la zona de estudio con la situación de la zona de estudio: Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya. Mapa geológico de la zona de estudio. Fotografía aérea de 2006 con los 24 transectos analizados. Fuente: *Consecuencias a Largo Plazo de la Gestión Desintegrada en Zonas Costeras: el Caso del Delta de la Tordera (Cataluña, España)* Enric Sagristà, Rafael Sardá y Jordi Serra. Diciembre de 2018.



Ilustración 22. Secuencia de fotografías con los escenarios futuros de línea de costa en base a la dinámica del año 2006 proyectados para los años 2011 (amarillo), 2031 (naranja) y 2056 (rojo) en la zona de la desembocadura del río (Delta y Punta de la Tordera). Fuente: *Consecuencias a Largo Plazo de la Gestión Desintegrada en Zonas Costeras: el Caso del Delta de la Tordera (Cataluña, España)* Enric Sagristà, Rafael Sardá y Jordi Serra. Diciembre de 2018.

4. Estudio sobre la inundación natural de los terrenos

Como se ha visto en el apartado anterior, la morfología de la barra de la desembocadura es muy variable y, especialmente tras episodios de temporal, puede presentar canales que conectan superficialmente el mar y el cauce del Tordera. En estas circunstancias, el agua de mar penetra en el cauce y avanza hacia el interior condicionada fundamentalmente por la propia topografía de los terrenos.

A partir del modelo digital del terreno resultante de los trabajos topográficos realizados en 2021, se analiza el límite de los terrenos tras la barra de la desembocadura que presentan cotas inferiores a la máxima pleamar registrada en el mareógrafo más próximo al ámbito de estudio, es decir, el límite de los terrenos susceptibles de inundación natural por el flujo y reflujo de las mareas.

Las medidas registradas por los mareógrafos de la red de Puertos del Estado relacionadas con la marea y el nivel del mar en el puerto más cercano a la desembocadura del Tordera se extraen del informe “Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria” elaborado por Puertos del Estado en marzo de 2019.

4.1. Parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea

RED DE MAREÓGRAFOS DE PUERTOS DEL ESTADO. PUERTO DE BARCELONA

El informe “**Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria**” elaborado por Puertos del Estado en marzo de 2019 presenta una serie de parámetros derivados de las medidas registradas por los mareógrafos de la red, relacionados con la marea y el nivel del mar en los puertos.

Los parámetros presentados se revisan y calculan cada cierto número de años, de forma que serán cada vez más robustos conforme crezca la longitud de las series históricas de nivel del mar disponibles.

Las series a partir de las cuales se calculan los parámetros de nivel del mar se diferencian principalmente en dos grupos según el origen del dato: series construidas a partir de niveles observados o bien series construidas a partir de la predicción de la marea astronómica. Las primeras, al ser observaciones del nivel del mar real, contienen información no solo de la marea astronómica, sino también de otros efectos como la meteorología (acción de la presión atmosférica y el viento) o las variaciones en la densidad del agua. Las segundas son series teóricas y solo incluyen la componente de variación de nivel del mar debido al efecto de la marea astronómica.

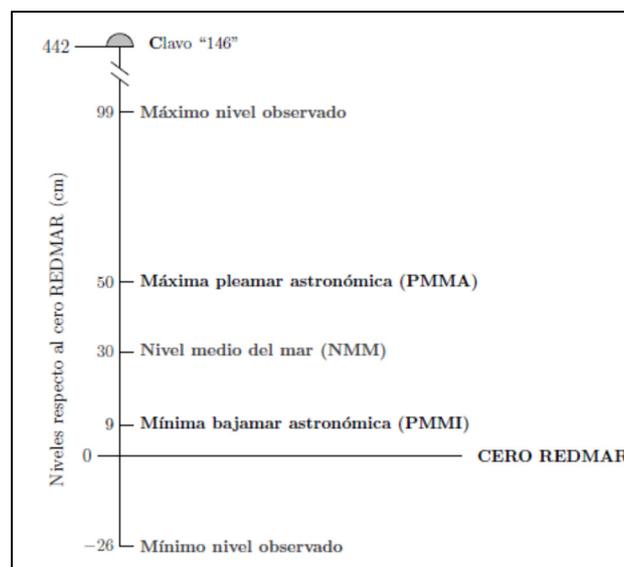
A lo largo del informe, se describen los parámetros resultantes del análisis del nivel del mar registrado por los mareógrafos y del análisis de la predicción de la marea astronómica. En la sección RÉGIMEN MEDIO Y PERCENTILES se presenta el comportamiento medio del nivel del mar y el residuo en el puerto a través de la distribución de frecuencias de las bajamares y pleamares observadas (o bien mínimos y máximos diarios en el caso de rangos mareales inferiores, aproximadamente a los 50 cm), los niveles horarios observados y el residuo. Se incluyen también los momentos muestrales de las bajamares (o mínimos) y pleamares (o máximos) observadas. Esta información se resume en una serie de tablas y figuras.

En el caso del Puerto de Barcelona los datos considerados han sido registrados en la serie histórica 1993-2017.

A continuación, se muestran, por una parte, las tablas de estadísticas de bajamares (mínimos) y estadísticas de pleamares (máximos) que recogen los extremos (mínimo y máximo) y momentos muestrales de las series de bajamares (mínimos) observadas y de las series de pleamares (máximos) observadas. Todos los niveles y alturas se muestran en centímetros y están referidas al cero del mareógrafo (cero REDMAR), que es, normalmente el cero del puerto.

Estadística Mínimos		Estadística Máximos	
Mínima (m):	-0.26	Mínima (m):	0.01
Máxima (m):	0.72	Máxima (m):	0.99
Media (m):	0.19	Media (m):	0.41
Desv.Est. (m):	0.11	Desv.Est. (m):	0.12
Moda (m):	0.18	Moda (m):	0.42
Mediana (m):	0.19	Mediana (m):	0.41
Sesgo:	-0.16	Sesgo:	0.21
Curtosis:	0.51	Curtosis:	0.70

Por otra parte, se muestran los niveles de referencia del nivel de mar calculadas sobre el total del periodo de datos disponible. La unidad de las alturas es el centímetro y están referidas al cero REDMAR.



Estos valores están referidos al cero del mareógrafo (cero REDMAR), que es, normalmente el cero del puerto. Por lo que para referirlo al NMMa tendremos en cuenta el esquema datum extraído del propio informe "Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria" elaborado por Puertos del Estado en marzo de 2019.

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)

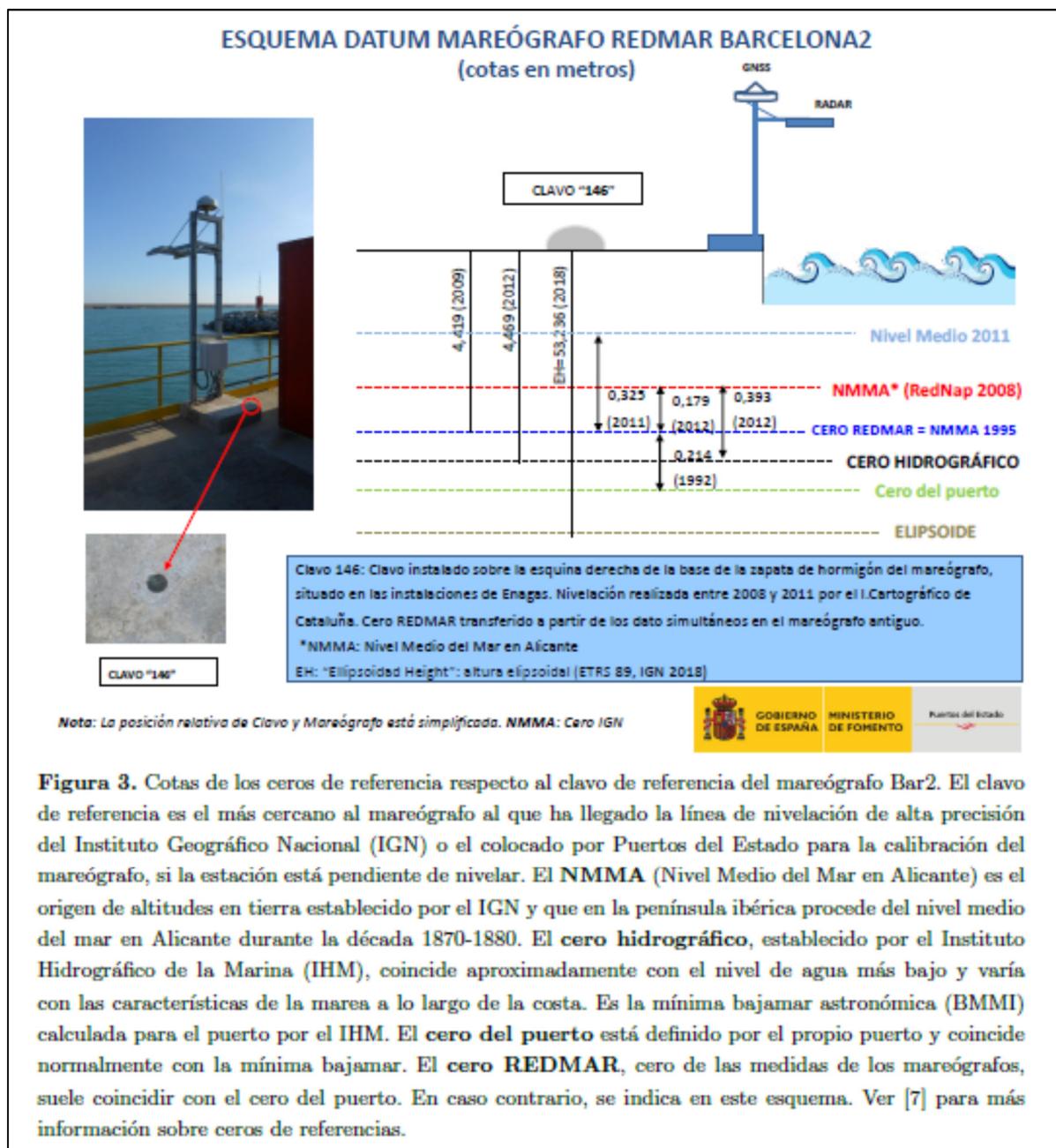


Figura 3. Cotas de los ceros de referencia respecto al clavo de referencia del mareógrafo Bar2. El clavo de referencia es el más cercano al mareógrafo al que ha llegado la línea de nivelación de alta precisión del Instituto Geográfico Nacional (IGN) o el colocado por Puertos del Estado para la calibración del mareógrafo, si la estación está pendiente de nivelar. El NMMA (Nivel Medio del Mar en Alicante) es el origen de altitudes en tierra establecido por el IGN y que en la península ibérica procede del nivel medio del mar en Alicante durante la década 1870-1880. El **cero hidrográfico**, establecido por el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), coincide aproximadamente con el nivel de agua más bajo y varía con las características de la marea a lo largo de la costa. Es la mínima bajamar astronómica (BMMI) calculada para el puerto por el IHM. El **cero del puerto** está definido por el propio puerto y coincide normalmente con la mínima bajamar. El **cero REDMAR**, cero de las medidas de los mareógrafos, suele coincidir con el cero del puerto. En caso contrario, se indica en este esquema. Ver [7] para más información sobre ceros de referencias.

En función de este esquema, los valores respecto al NMMA en la serie histórica 1993-2017 serían los siguientes:

ESTADÍSTICA MÍNIMOS		
	Respecto al cero REDMAR	Respecto al NMMA
Mínima (m)	-0,26	-0,081
Máxima (m)	0,72	0,899
Media (m)	0,19	0,369
Desv. Est. (m)	0,11	0,289
Moda (m)	0,18	0,359
Mediana (m)	0,19	0,369
Sesgo	-0,16	0,019
Curtosis	0,51	0,689

ESTADÍSTICA MÁXIMOS		
	Respecto al cero REDMAR	Respecto al NMMA
Mínima (m)	0,01	0,189
Máxima (m)	0,99	1,169
Media (m)	0,41	0,589
Desv. Est. (m)	0,12	0,299
Moda (m)	0,42	0,599
Mediana (m)	0,41	0,589
Sesgo	0,21	0,389
Curtosis	0,70	0,879

REFERENCIAS DEL NIVEL DEL MAR		
	Respecto al cero REDMAR	Respecto al NMMA
Máximo nivel observado (cm)	99	116,9
Máxima pleamar astronómica (PMMA) (cm)	50	67,9
Nivel medio del mar (NMM) (cm)	30	47,9
Mínima bajar astronómica (PMMI) (cm)	9	26,9
Mínimo nivel observado (cm)	-26	-8,1

En conclusión, según datos extraídos de la página web de Puertos del Estado del mareógrafo de Barcelona 2, la cota de la máxima pleamar es de 1,169 m relativos al NMMA.

4.2. Modelo digital del terreno, julio 2021

En julio de 2021 se realizó el levantamiento topobatimétrico del cauce de la desembocadura del Tordera. Como resultado de dichos trabajos se ha obtenido el modelo digital del terreno (MDT).

En dicho modelo se representan las cotas de los terrenos de la desembocadura tomando como referencia la cota de la máxima pleamar de 1,169 m relativos al NMMA, según datos extraídos de la página web de Puertos del Estado del mareógrafo de Barcelona 2

De esta manera, el MDT del terreno revela el límite de los terrenos tras la barra que son susceptibles de inundación natural por el flujo y reflujo de las mareas por presentar cota inferior a la de la máxima pleamar.

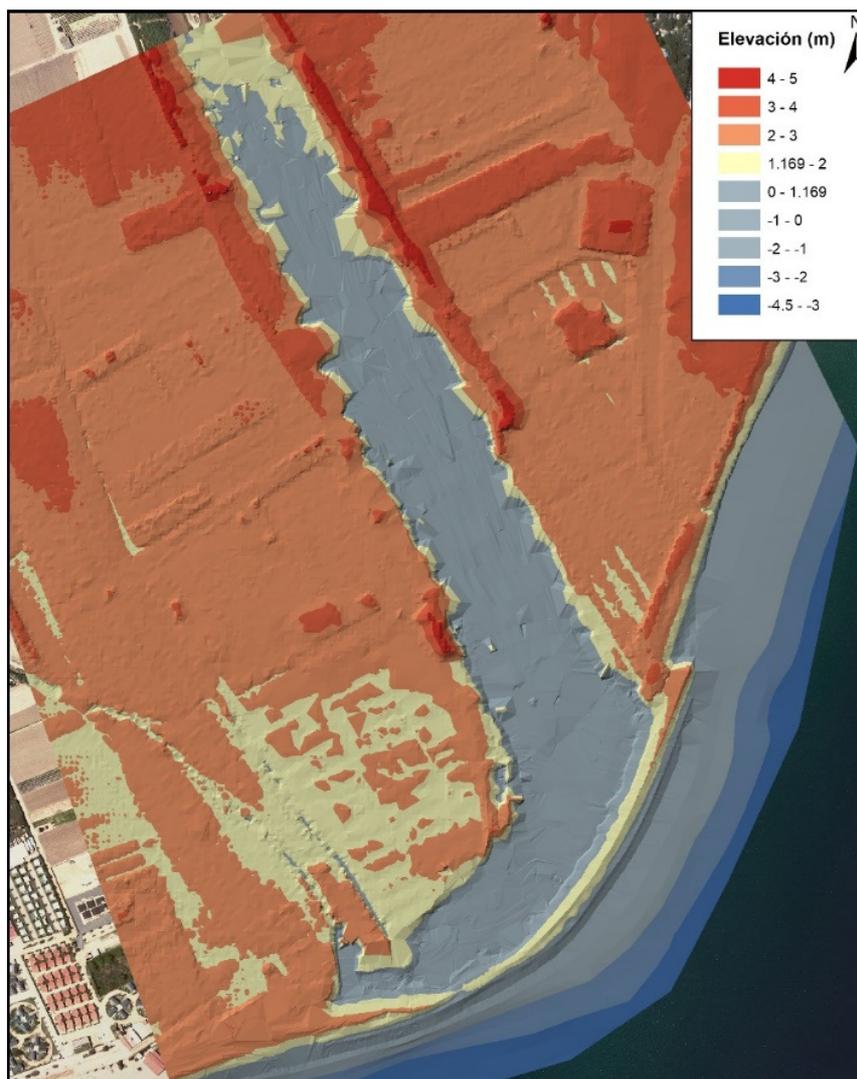


Ilustración 23. MDT resultante del levantamiento topobatimétrico realizado en julio de 2021 (Anejo 5)

5. Estudio de salinidad

5.1. Campañas de campo de julio y agosto de 2021

Durante los meses de julio y agosto de 2021 se realizaron dos visitas a campo en la desembocadura del Tordera con la consiguiente toma de muestras para la estimación de salinidad de las aguas de la zona inundada y la realización de fotografías de campo.

En concreto, las campañas de campo se llevaron a cabo los días 19 de julio de 2021 y 26 de agosto de 2021. Las mediciones in situ de las muestras de agua recogidas fueron realizadas con un medidor de conductividad portátil COND 7 VIO.

Campaña 19/07/2021	
Muestra	Conductividad (mS/cm)
A-1	18.08
A-2	17.23
A-3	16.97
A-4	16.95
A-5	18.19
A-6	16.66

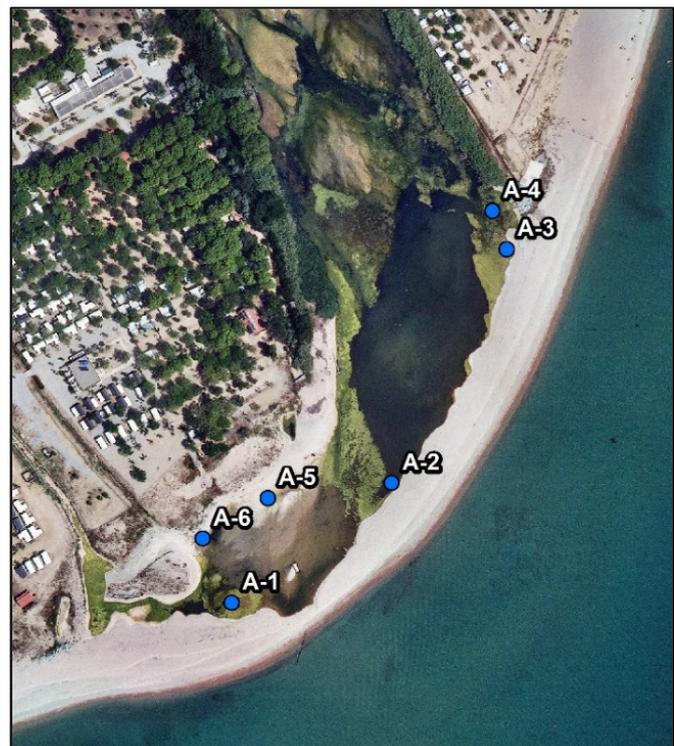


Ilustración 24. Localización de los puntos de muestreo de agua para la medición de conductividad sobre ortofotografía de 2021 del servidor WMS de OrtoXpres

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)



A-1



A-2



A-3



Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)

Campaña 26/08/2021	
Muestra	Conductividad (mS/cm)
M-1	18.05
M-2	18.98
M-3	18.66
M-4	18.33

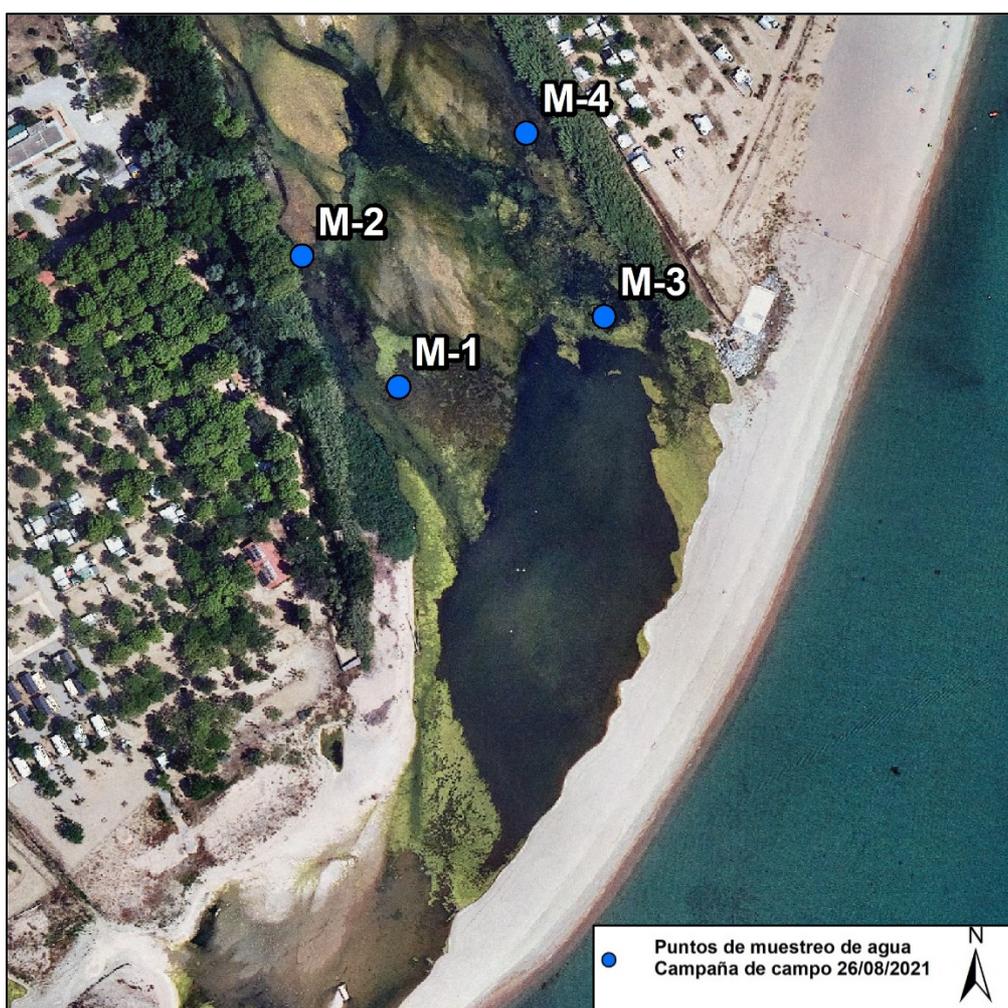
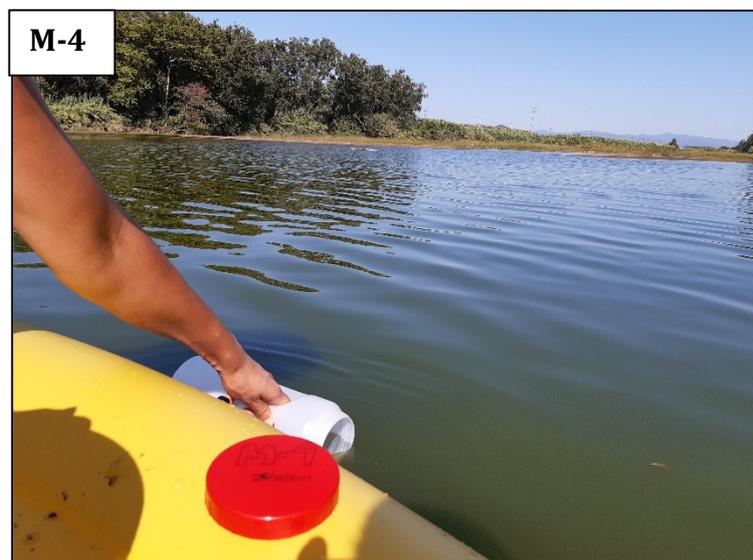


Ilustración 25. Localización de los puntos de muestreo de agua para la medición de conductividad sobre ortofotografía de 2021 del servidor WMS de OrtoXpres

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)



Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)



La conductividad o capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica aumenta rápidamente con la cantidad de iones disueltos en la misma. Es un parámetro importante y de fácil medida que indica la salinidad de las muestras.

Para transformar los valores de conductividad en valores de salinidad, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Sales disueltas (mg/L)} \approx \text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) \cdot K$$

Ilustración 26. Relación entre conductividad y salinidad. Tomado de *Técnicas y experimentos en edafología* (Jaime Porta Casanellas).

Tomando K los siguientes valores:

0,64 para aguas de conductividad $\leq 5000 \mu\text{S/cm}$

0,80 para aguas de conductividad $> 5000 \mu\text{S/cm}$

Aplicando la fórmula anterior obtenemos los siguientes resultados de salinidad para las muestras tomadas:

Muestra	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Salinidad (mg/l)
A-1	18080	14464
A-2	17230	13784
A-3	16970	13576
A-4	16950	13560
A-5	18190	14552
A-6	16660	13328
M-1	18050	14440
M-2	18980	15184
M-3	18660	14928
M-4	18330	14664

Tabla 1. Valores de conductividad y salinidad de las muestras tomadas durante las campañas de julio y agosto de 2021

Atendiendo a la conductividad del agua, se establecen distintos rangos que van desde las aguas muy poco salobres hasta el agua de mar. Cuando superan el valor de 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ las aguas son clasificadas como salmueras.

AGUAS NATURALES	CONDUCTIVIDAD
Agua de mar	$\sim 50.000 - 60.000 \mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas muy salobres	$\sim 10.000 - 15.000 \mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas salobres	$\sim 1.000 - 2.000 \mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas poco salobres	$\sim 250 - 750 \mu\text{S}/\text{cm}$
Aguas muy poco salobres	$\sim 50 - 100 \mu\text{S}/\text{cm}$

Ilustración 27. Clasificación del agua en función de la conductividad

Muestra	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Clasificación del agua
A-1	18080	Aguas muy salobres/agua de mar
A-2	17230	Aguas muy salobres/agua de mar
A-3	16970	Aguas muy salobres/agua de mar
A-4	16950	Aguas muy salobres/agua de mar
A-5	18190	Aguas muy salobres/agua de mar
A-6	16660	Aguas muy salobres/agua de mar
M-1	18050	Aguas muy salobres/agua de mar
M-2	18980	Aguas muy salobres/agua de mar
M-3	18660	Aguas muy salobres/agua de mar
M-4	18330	Aguas muy salobres/agua de mar

Atendiendo a la salinidad del agua, se puede hacer una distinción básica en categorías, estableciendo distintos rangos que van desde el agua dulce hasta el agua de mar, que contiene una salinidad en torno a los 36.000 mg/L, pudiendo variar sus concentraciones en función de la temperatura y la profundidad. Cuando superan el valor de 38.000 mg/l las aguas son clasificadas como salmueras.

Clasificación	Salinidad (mg/l)
Agua Dulce	< 1.000
Agua Levemente Salada	1.000-3.000
Agua Moderadamente Salada	3.000-10.000
Agua Altamente Salada	10.000-38.000

Tabla 2. Clasificación del agua. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR).

Aplicando la clasificación de la tabla anterior de la UCAR a los valores calculados de salinidad, obtenemos la siguiente clasificación de las aguas para las muestras tomadas en campo en función de su concentración en sales:

Muestra	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinidad (mg/l)	Clasificación del agua
A-1	18080	14464	Agua altamente salada
A-2	17230	13784	Agua altamente salada
A-3	16970	13576	Agua altamente salada
A-4	16950	13560	Agua altamente salada
A-5	18190	14552	Agua altamente salada
A-6	16660	13328	Agua altamente salada
M-1	18050	14440	Agua altamente salada
M-2	18980	15184	Agua altamente salada
M-3	18660	14928	Agua altamente salada
M-4	18330	14664	Agua altamente salada

Tabla 3. Resultados de salinidad y clasificación del agua.

Según los valores de conductividad obtenidos, todas las muestras recogidas durante las campañas de campo de julio y agosto de 2021 se encuentran entre los rangos de agua muy salobres y agua de mar.

En cuanto a la salinidad, todas las aguas analizadas y recogidas durante las campañas de campo de julio y agosto de 2021 se clasifican como aguas altamente saladas.

5.2. Otras campañas de campo: junio 2006 y diciembre 2009

Junio, 2006

En la campaña realizada en junio de 2006, la barra de la desembocadura se encontraba cerrada y el caudal del Tordera era inexistente.

Desde el punto de vista fisicoquímico, el agua muestreada puede clasificarse como “Agua moderadamente salada”, y “Agua levemente salada”, poniendo de manifiesto un gradiente de salinidad desde la desembocadura marina hacia las zonas más interiores, como consecuencia del efecto que ejercen las mareas y la infiltración marina en la zona de estudio. Los muestreos se realizaron hasta el punto en el que el cauce presentaba agua.



Ilustración 28. Puntos de medición y valores de salinidad de la campaña de campo realizada en junio de 2006 para el “Estudio de salinidad en la desembocadura del río Tordera. T.M. Blanes (Girona)” elaborado por Tragsatec.

Diciembre, 2009

En la campaña realizada en diciembre de 2009, se tomaron 4 muestras de agua tras el temporal de mar que tuvo lugar entre los días 14 y 15 de diciembre de 2009. La barra de la desembocadura se encontraba abierta y la masa de agua presente en el lecho del Tordera en conexión directa con el mar

Desde el punto de vista fisicoquímico, el agua muestreada durante la campaña de 16 de diciembre de 2009 puede clasificarse como “Agua altamente salada”, poniendo de manifiesto un gradiente de salinidad desde la desembocadura marina hacia las zonas más interiores, como consecuencia del efecto que ejercen las mareas, la infiltración marina y el rebase del oleaje de la barra de la desembocadura durante el temporal de mar.

Como se indica en el “Estudio de inundación del tramo de costa de la desembocadura del río Tordera, entre los TTMM de Malgrat de Mar (Barcelona) y Blanes (Girona)” obrante en el expediente, el valor de salinidad del punto L4 resultó muy elevado, superando a los anteriores dado su aislamiento respecto a la lámina de agua principal que se extendía desde la barra de la desembocadura, lo que propiciaba su elevación de la concentración salina.

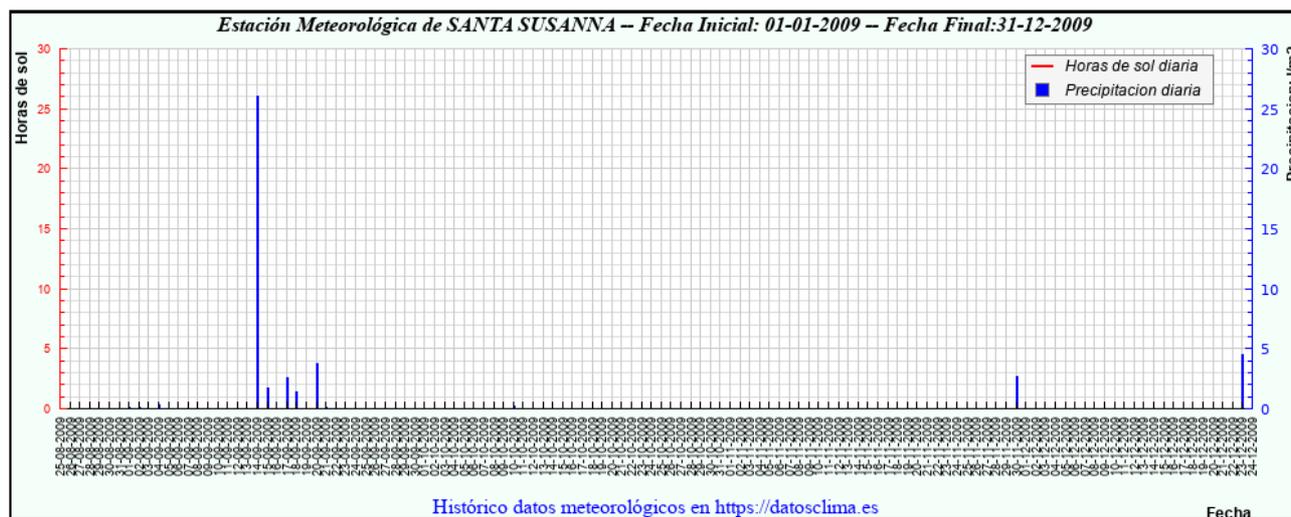


CAMPAÑA	LECTURA	SALINIDAD (g/L)	CONTENIDO (IÓN Cl ⁻) (g/L)	CONDUCTIVIDAD SUPERFICIE(microS)	CONDUCTIVIDAD PROFUNDIDAD (100 cm) (microS)
DICIEMBRE DE 2009	L1	23.89	10.75	36200	38600
	L2	15.91	7.32	24110	-
	L3	13.06	6.40	19790	-
	L4	17.19	8.08	26050	-

Ilustración 29. Extracto del “Estudio de inundación del tramo de costa de la desembocadura del río Tordera, entre los TTMM de Malgrat de Mar (Barcelona) y Blanes (Girona)”. Las muestras de agua tomadas durante la campaña de campo de 16 de diciembre de 2009 arrojan valores elevados de salinidad.

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)

Cabe indicar que la segunda mitad del año 2009 fue un periodo especialmente seco, como puede verse en el siguiente gráfico



Resumen de Valores de Precipitación e insolación a lo largo del Periodo seleccionado:

CARACTERÍSTICA	VALOR	FECHA
Máxima precipitación diaria registrada:	26.0 l/m ²	14-09-2009
Máximas horas de Sol Registradas:	h.	
Precipitación total acumulada en el período:	43.4 l/m ²	

VALORES POR AÑOS PARA LA ESTACION METEOROLÓGICA: SANTA SUSANNA

AÑO: 2009

FECHA	Precipitación: l/m ²	Horas Sol:	FECHA	Precipitación: l/m ²	Horas Sol:	FECHA	Precipitación: l/m ²	Horas Sol:
25-08-2009	0.0		10-09-2009	0.0		01-10-2009	0.0	
26-08-2009	0.0		11-09-2009	0.0		02-10-2009	0.0	
27-08-2009	0.0		12-09-2009	0.0		03-10-2009	0.0	
28-08-2009	0.0		13-09-2009	0.0		04-10-2009	0.0	
29-08-2009	0.0		14-09-2009	26.0		05-10-2009	0.0	
30-08-2009	0.0		15-09-2009	1.7		10-10-2009	0.2	
31-08-2009	0.0		16-09-2009	0.0		31-10-2009	0.0	
01-09-2009	0.1		17-09-2009	2.6		09-11-2009	0.0	
02-09-2009	0.1		18-09-2009	1.4		20-11-2009	0.0	
03-09-2009	0.0		19-09-2009	0.0		24-11-2009	0.0	
04-09-2009	0.3		20-09-2009	3.7		25-11-2009	0.0	
05-09-2009	0.0		21-09-2009	0.1		30-11-2009	2.7	
06-09-2009	0.0		22-09-2009	0.0		14-12-2009	0.0	
07-09-2009	0.0		23-09-2009	0.0		20-12-2009	0.0	
08-09-2009	0.0		24-09-2009	0.0		23-12-2009	4.5	
09-09-2009	0.0							

Ilustración 30. Información sobre precipitaciones disponible en la Estación Meteorológica Aemet más cercana a la zona en estudio (Santa Susanna). Fuente: www.datosclima.es

5.3. Datos que corroboran que la salinidad es de origen marino

Presencia de salinidad en ausencia de caudal del río Tordera

La salinidad del agua muestreada en la desembocadura del Tordera aludiendo a fuentes no marinas debería manifestarse con especial importancia en el caudal que baja por el río, sin embargo, las medidas de salinidad realizadas demuestran precisamente lo contrario, es decir, los valores más altos de conductividad y salinidad aparecen cuando el río Tordera no presenta caudal o este es escaso.

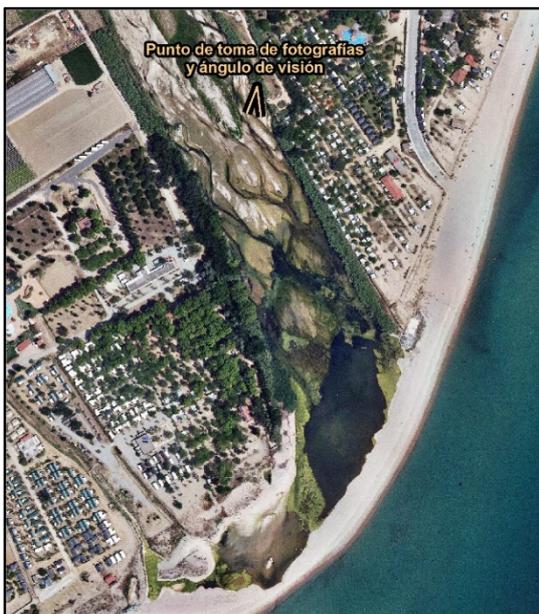


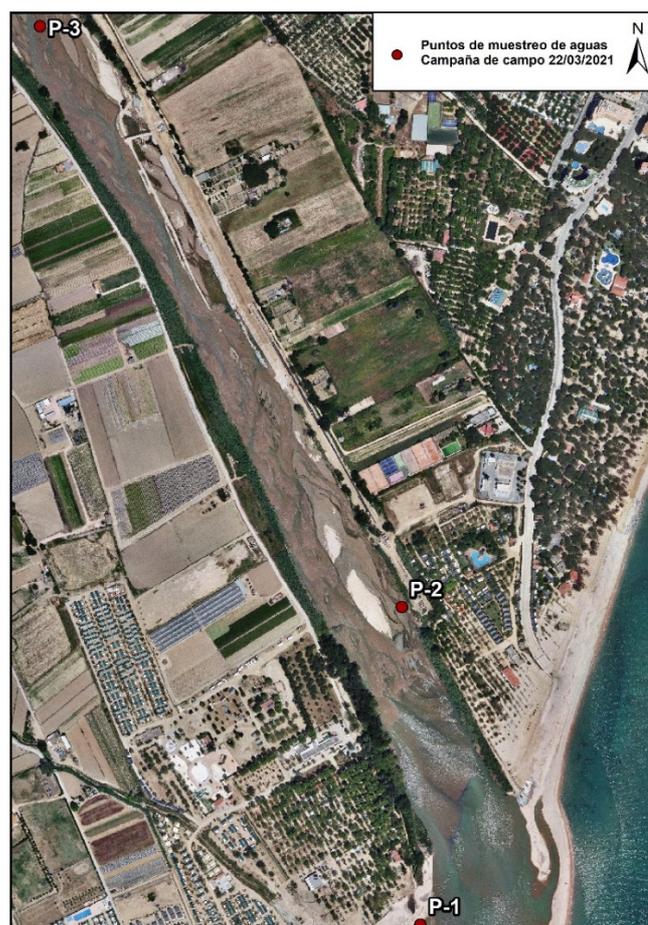
Ilustración 31. A la izquierda, punto de toma de fotografías y ángulo de visión sobre ortofoto de 2021. Fuente: OrtoXpres ICGC. A la derecha, comparativa de las fotografías del caudal del Tordera tomadas durante la campaña de campo realizada el 19 de julio de 2021 (imagen superior) y el 22 de marzo de 2021 (imagen inferior).

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)

Como puede observarse en las fotografías de la página anterior, durante la campaña de campo de julio de 2021 el caudal que baja por el Tordera es prácticamente inexistente, por lo que los terrenos de la desembocadura están sujetos a una mayor influencia mareal. Así lo demuestran los valores de conductividad del agua medida in situ que se encuentran en el rango entre 16660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 18190 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondientes a un rango de salinidad entre 14552 mg/l y 13328 mg/l. En esta campaña de julio de 2021 no fue posible tomar medidas aguas arriba del cauce del Tordera por ausencia de caudal.

Durante la campaña de marzo de 2021, el caudal que baja por el Tordera es elevado, por lo que los terrenos de la desembocadura están sujetos a una mayor influencia fluvial. Así lo demuestran los valores de conductividad medidos in situ que se encuentran alrededor de los 600-700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondientes a un rango de salinidad entre 384-448 mg/l. En esta campaña pudo medirse la conductividad aguas arriba del cauce del Tordera obteniendo los siguientes valores:

Campaña 22/03/2021		
Muestra	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinidad (mg/l)
P-1	748	478,72
P-2	684	437,76
P-3	620	396,8



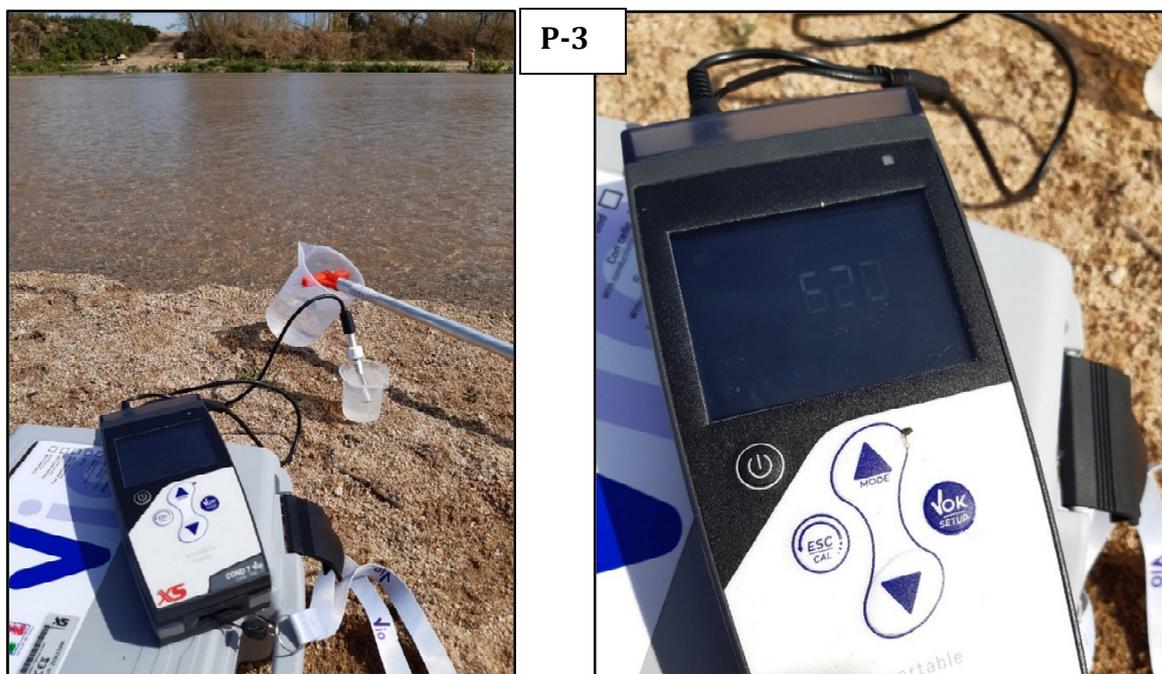
Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)

P-1



P-2





P-3

Presencia de salinidad cuando la barra se encuentra en conexión directa con el mar

Existe una relación directa entre la presencia de salinidad en las aguas de la desembocadura y la conexión directa con el mar durante episodios de temporal o en días inmediatamente posteriores.

A modo de referencia, durante la campaña de diciembre de 2009 la barra de la desembocadura se encontraba abierta tras un temporal, con conexión directa con el mar y en ausencia de caudal del tordera. Los valores de salinidad de los distintos puntos muestreados oscilan entre 13,06 y 23,89 g/l.

Distribución de salinidad decreciente aguas arriba del cauce del Tordera desde el mar

Independientemente del grado de salinidad encontrado, en todas las campañas de campo en las que se midió la conductividad en varios puntos del cauce (junio 2006, diciembre 2009 y marzo 2021), el incremento de salinidad es decreciente desde las zonas más próximas al mar hacia las zonas de influencia más directa de las aguas continentales aguas arriba del cauce del Tordera.

Esta distribución de la salinidad, decreciente desde la desembocadura hacia el interior es indicadora de una fuente de salinidad de origen marino.

Cabe mencionar que dada la morfología que presenta la desembocadura en los últimos años desde el temporal Gloria, el agua que baja por el Tordera, y por otros cauces adyacentes que aportan aguas de escorrentía, queda embalsada y se produce una mezcla de aguas dulces y saladas. Los valores de salinidad son similares en todos los puntos, pues se trata de agua de mezcla.

Presencia de cloruros

Las mediciones realizadas in situ mediante conductivímetro portátil fueron contrastados con posterioridad en laboratorio con el correspondiente análisis de cloruros que confirmó el origen marino de la salinidad.

Las muestras M-1, M-2, M-3 y M-4 recogidas durante la campaña de campo de 26 de agosto de 2021 fueron enviadas al Laboratorio Eurofins con el fin de certificar la salinidad y conductividad medida in situ y determinar algunos de los aniones y cationes mayoritarios (cloro, magnesio y calcio). El certificado correspondiente se adjunta en el **Anejo 2**.

Muestra	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinidad	Cloruros (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Calcio (mg/L)
M-1	17509	12,2	6583	393	201
M-2	17525	12,2	6572	400	205
M-3	17234	11,9	6320	389	204
M-4	16977	11,8	6242	391	203

Como muestran los resultados, las aguas tienen un elevado contenido de cloruros tal y como sucede en el agua de mar.

Esta presencia de cloruros fue también certificada en laboratorio durante la campaña de campo realizada en diciembre de 2009, en la que se obtuvieron los siguientes resultados:

CAMPAÑA	LECTURA	SALINIDAD (g/L)	CONTENIDO (IÓN Cl^-) (g/L)	CONDUCTIVIDAD SUPERFICIE (μS)	CONDUCTIVIDAD PROFUNDIDAD (100 cm) (μS)
DICIEMBRE DE 2009	L1	23.89	10.75	36200	38600
	L2	15.91	7.32	24110	-
	L3	13.06	6.40	19790	-
	L4	17.19	8.08	26050	-

Relación iónica indicadora de aguas de mezcla con agua de mar

El índice hidrogeoquímico rMg/rCa aporta información sobre la procedencia de las aguas analizadas. En aguas continentales su valor oscila entre 0.3 y 1.5 mientras que en aguas marinas su valor se encuentra en torno a 5. En aguas que presentan mezcla con agua de mar o que circulan por terrenos de formación marina, la relación crece con respecto a las aguas continentales.

Relación iónica	M-1	M-2	M-3	M-4
rMg/rCa	1,95	1,95	1,90	1,92

Por tanto, las muestras M-1, M-2, M-3 y M-4 recogidas durante la campaña de campo de 26 de agosto de 2021 se corresponden con aguas de mezcla con agua de mar.

6. Alcance del oleaje en los mayores temporales conocidos según el Reglamento General de Costas aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre

De acuerdo con la Ley 22/1988 de 28 de julio de Costas, tras las modificaciones introducidas por la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, son bienes de dominio público marítimo-terrestre estatal

La ribera del mar y de las rías, que incluye:

- a) *La zona marítimo-terrestre o espacio comprendido entre la línea de bajamar escorada o máxima viva equinoccial, y el **límite hasta donde alcancen las olas en los mayores temporales conocidos, de acuerdo con los criterios técnicos que se establezcan reglamentariamente**, o cuando lo supere, el de la línea de pleamar máxima viva equinoccial. Esta zona se extiende también por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas.*

El artículo 4 del Reglamento General de Costas aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, establece los siguientes criterios técnicos para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales:

- a) *Para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se considerarán las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas y el oleaje. Dicho límite será el alcanzado al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica existente demuestre la necesidad de utilizar otro criterio.*

Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas con boyas o satélites o calculadas a través de datos oceanográficos o meteorológicos.

- b) *Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos superpuestos de las astronómicas y de las meteorológicas. No se tendrán en cuenta las ondas de mayor periodo de origen sísmico o de resonancia cuya presentación no se produzca de forma secuencial.*

Por tanto, para saber el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, según los criterios establecidos reglamentariamente, será necesario saber cuáles son las mayores olas registradas al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años.

El estudio de los niveles de inundación y alcances máximos de niveles del mar en los episodios de los mayores temporales conocidos, según la normativa de Costas, ha sido realizado por la empresa IDYMA, con una amplia experiencia en este tipo de trabajos.

Este estudio puede consultarse íntegramente en el **Anejo 6**. No obstante, en este capítulo se reproducen los aspectos más destacables en relación con el objetivo de este documento.

6.1. Aspectos generales de la metodología aplicada

Con carácter general, para el cálculo de cota de máxima inundación sobre el relieve costero ordinario, se considera que el frente de costa está caracterizado en un instante determinado por un nivel de marea compuesto por la marea astronómica y la marea meteorológica y una batimetría. Sobre dicho nivel de marea se encuentra el oleaje que se propaga hacia la costa. Al alcanzar la costa, el oleaje rompe sobre la superficie morfológica del frente, produciéndose un movimiento de ascenso de la masa de agua a lo largo del perfil del elemento morfológico que encuentre en su avance tierra adentro por el perfil emergido que se denomina run-up.

Para la obtención de los temporales que serán objeto de propagación y cálculo del alcance de oleajes que cumplen con la condición reglamentaria, se tomarán los datos del **Punto Simar 2118140**, dada su ubicación respecto de la zona de estudio teniendo en cuenta las direcciones de procedencia de principal afectación a la zona; y del **mareógrafo de Barcelona 2 (3758)** situado en el Puerto de Barcelona.

Todos los trabajos han sido desarrollados sobre una base topobatimétrica de detalle, con un modelo digital del terreno de alta resolución obtenido a partir de un levantamiento Lidar de alta densidad Lidar (0,5-1 punto cada m²) en la parte emergida (año 2016-2017), y a partir de la batimetría de equidistancia de isobatas 1 m. de la Dirección General de la Costa y el Mar (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), ampliada en su caso con la batimetría del proveedor Navionics, Sonarchart (0,5 m. en profundidades reducidas e intermedias, 1-2 m. en intermedias e indefinidas).

6.2. Análisis de los datos de oleaje

Teniendo en cuenta los criterios técnicos para la determinación de la zona marítimo-terrestre establecidos en el artículo 4 del Reglamento General de Costas, se han recopilado los datos históricos, niveles de marea astronómica y marea meteorológica (residuo) procedentes de las fuentes indicadas en el punto anterior, a cuyo efecto se han recabado de Puertos del Estado los ficheros de bases de datos con los estados de mar del periodo comprendido entre 2015 y 2019, con un estudio sobre un total de 43.800 estados de mar caracterizados por sus parámetros de oleaje.

El periodo temporal entre los años 2015 y 2019 ha sido seleccionado con el fin de compatibilizarlo con la morfología de la desembocadura del Tordera correspondiente al levantamiento topográfico LIDAR de fecha 2016-2017, pues, a partir de enero de 2020 y de la acción del temporal Gloria, se inició un fuerte proceso de transformación y progradación deltaica.

Se ha realizado un primer filtro de los 43.800 estados de mar analizados en el periodo 2015-2019 tomando el sector direccional con principal posibilidad de afectación al tramo de estudio. En este sentido, se ha considerado el sector comprendido entre las **direcciones de procedencia 77º-206º**. Una vez realizados estos procesos e iteraciones, **los 10 estados de mar preseleccionados tienen los siguientes parámetros:**

FECHA	HORA UTC	Hm0(m)	Tp (seg.)	Dir (ºsex.)
04/12/2019	17:00	4,46	11,01	90
22/01/2017	2:00	4,36	11,44	87
01/03/2018	21:00	2,7	12,11	83
20/12/2016	12:00	3,19	11,9	77
14/10/2016	6:00	2,32	11,03	83
20/12/2019	12:00	3,43	10,01	198
01/02/2019	17:00	2,77	10,01	199
11/12/2017	13:00	2,93	9,94	197
04/03/2017	8:00	3,04	10,74	198
31/01/2015	16:00	1,44	14,23	206

Ilustración 32- Datos y parámetros de los episodios de oleajes seleccionados en el período 2015-2019

6.3. Análisis de los máximos niveles del mar

A continuación, se presentan los datos de los **incrementos mareales** en el horario en el que cada uno de los sucesos seleccionados en el apartado anterior alcanzó la costa, referidos al NMMA, de acuerdo a los registros reales del mareógrafo 3758 de Barcelona 2, ubicado en el Puerto de Barcelona, perteneciente a la Red REDMAR.

FECHA	HORA UTC	Nivel NMMA (m)
04/12/2019	17:00	0.506
22/01/2017	2:00	0.182
01/03/2018	21:00	0.518
20/12/2016	12:00	0.305
14/10/2016	6:00	0.541
20/12/2019	12:00	0.406
01/02/2019	17:00	0.476
11/12/2017	13:00	0.405
04/03/2017	8:00	0.224
31/05/2015	16:00	0.353

Ilustración 33- Incrementos mareales referidos al NMMA. Registros del Mareógrafo 3758 de Barcelona 2.

6.4. Propagación del oleaje

Se considera que los datos de los sucesos de oleajes tomados del Punto Simar 2118140, pueden ser tomados como los datos de los oleajes en profundidades indefinidas, haciendo innecesaria la primera propagación, desde profundidades intermedias hasta profundidades indefinidas.

Los cálculos de la propagación del oleaje hasta el pie de playa desde profundidades indefinidas se realizan mediante el modelo numérico Oluca-SP (espectral), que forma parte del Modelo Integral de Propagación de Oleaje, Corrientes y Morfodinámica en Playas, MOPLA, integrado en el software del Sistema de Modelado Costero (SMC 2.5).

6.5. Cálculos de run-up y cota de máxima inundación

El remonte del oleaje o run-up es la sobreelevación que alcanza el oleaje al incidir sobre una superficie respecto al nivel del mar en reposo. El modelo aplicado para el cálculo del alcance del remonte se basa en la formulación propuesta por Nielsen y Hanslow (1991)

para la obtención de los run-up significativo, del 2% (es uno de los modelos implantados en el software SMC 2.5, módulo de Run-up en playas del TIC).

Dada la morfología de playa con orientación principal de oleajes de procedencia NE-SO del tramo de costa que nos ocupa, se ha tenido en cuenta la pendiente del frente de playa (tanto en la zona de rompientes como de la playa emergida donde incide el oleaje), que ha sido obtenida del MDT generado a partir del levantamiento LIDAR de alta densidad (año 2016-2017) y de la batimetría de la Dirección General de la Costa y el Mar del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, con equidistancia de isobatas de 1 m. Para ello, se han definido, un total de **75 perfiles-transectos**.

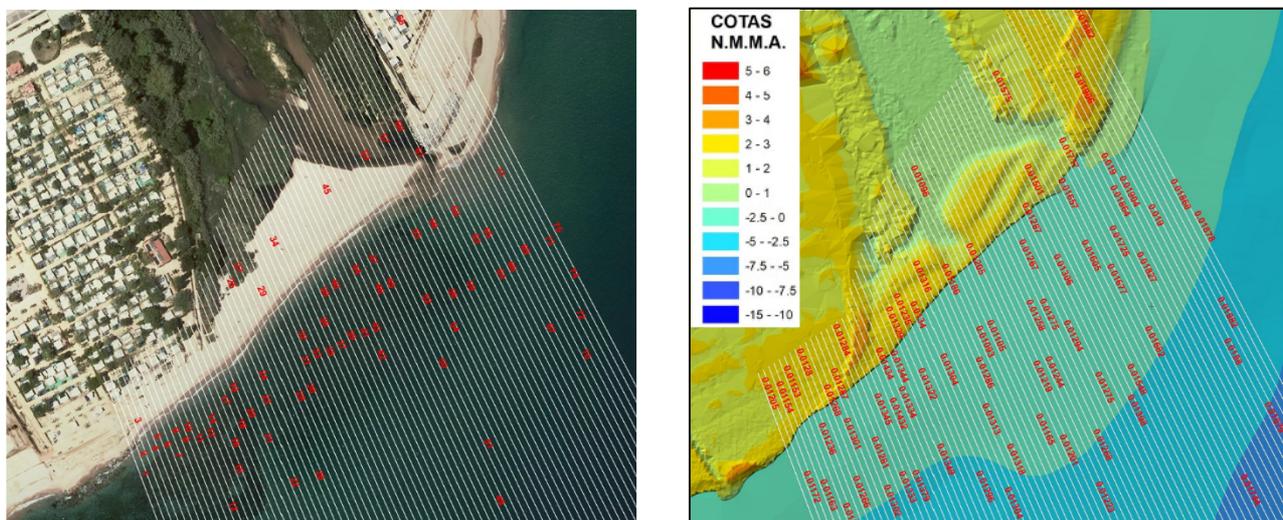


Ilustración 34. A la izquierda, extracto del plano de identificación de perfiles-transectos de incidencia de oleaje con indicación del nº de transecto. A la derecha, extracto del plano de identificación de perfiles-transectos sobre MDT con indicación del valor de la pendiente sobre el talud parcial de incidencia.

Sobre cada uno de los 75 perfiles-transectos se ejecutan los cálculos de run-up para cada uno de los 10 temporales o estados de mar seleccionados.

A estos resultados de run-up se adicionan el nivel mareal correspondiente al horario de cada temporal o estado de mar, obteniendo una cota de inundación en cada uno de los 75 perfiles para cada uno de los 10 temporales.

En consecuencia, se obtienen las quintas magnitudes de cota de alcance de oleaje calculadas en cada uno de los perfiles, obteniendo valores que oscilan entre 1.96 y 2.25.

Dado que se trata de una morfología peculiar correspondiente a la desembocadura de un río con una barra, con zonas deprimidas y brechas abiertas por las que penetra el nivel de inundación se consideran varios factores de corrección. En concreto, el factor de percolación, de rugosidad o de pendiente dependiendo de cada zona.

De esta forma, se pretende estimar la inundación de la forma más real posible, teniéndose en cuenta una pérdida en el potencial de inundación en su avance aguas arriba por

el cauce del Tordera, una vez atravesada la barra por las brechas de apertura (que se abren en los episodios de temporal).

En consecuencia, se obtienen los valores finales de inundación por perfil tras la aplicación de los factores de ponderación conjunta de percolación y pendiente, aplicados en los sectores más internos del cauce del Tordera sobre las quintas magnitudes de alcance de oleaje calculadas por perfil-transecto, obteniendo valores que oscilan entre 1.31 y 2.25.

A partir de estos valores, se obtiene una poligonal de máximo alcance de oleaje conformada por los puntos seleccionados de entre las quintas magnitudes de cota de alcance de oleaje calculadas en cada uno de los 73 perfiles-transectos de los 75 prediseñados (tras la depuración final de los perfiles 19 y 20 por desvirtuar el trazado dominante).

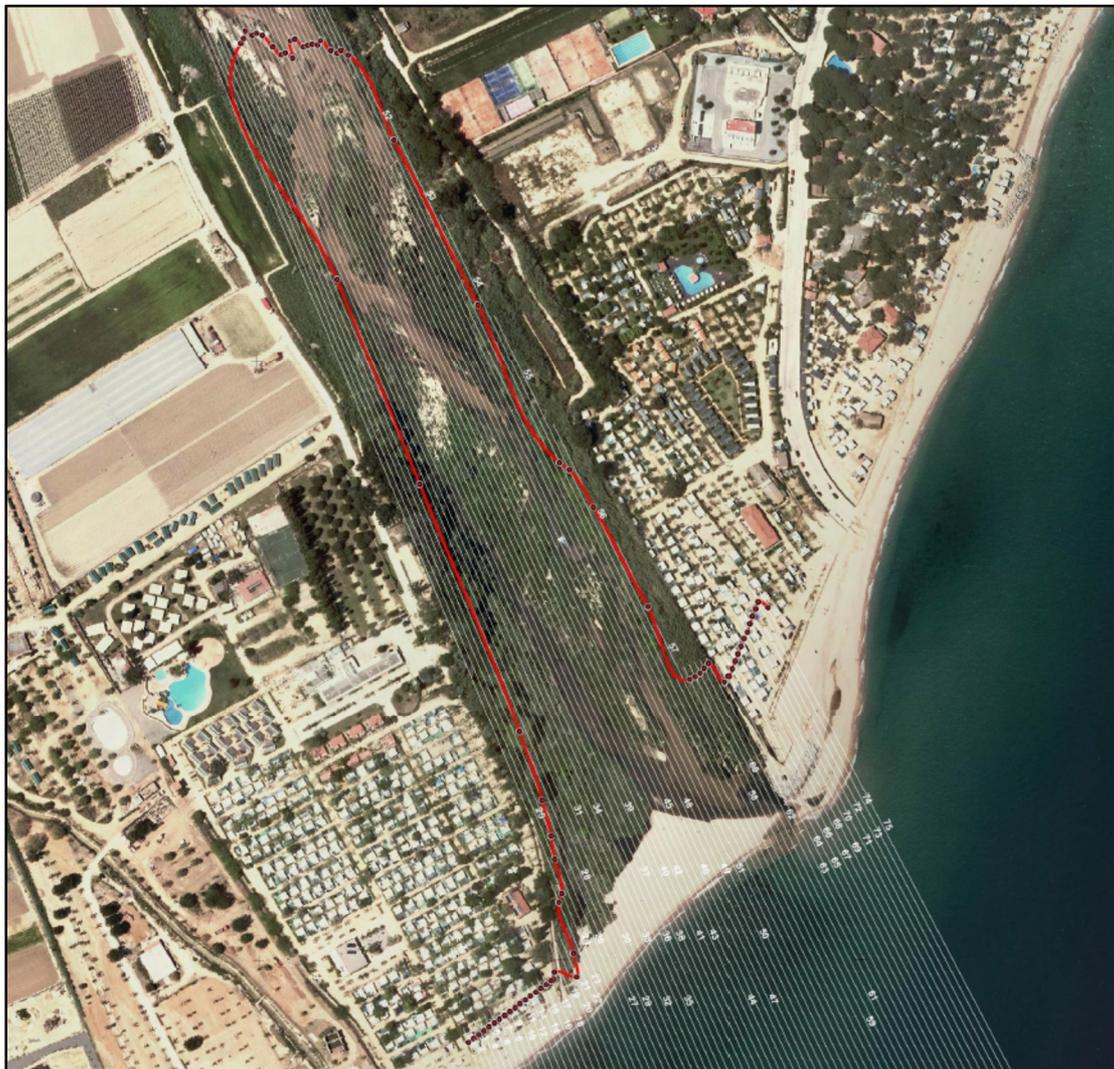


Ilustración 35. En rojo, línea de inundación conformada por las quintas magnitudes de cota de alcance de oleaje calculadas en cada uno de los 73 perfiles-transectos.

6.6. Cota de máxima inundación

La línea de máximo alcance de oleajes ha sido obtenida con los criterios establecidos en la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de Protección y Uso Sostenible del Litoral y de Modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas y con el artículo 4 a del Reglamento General de Costas (Real Decreto 876/2014) mediante una base metodológica y teórica, empleando formulaciones, así como paquetes y herramientas informáticas de SMC versión 2.5 desarrolladas por el GIOC de la Universidad de Cantabria y el anterior Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente para la simulación de la propagación del oleaje mediante modelos numéricos computacionales (MOPLA, Oluca-SP espectral), en combinación con una aplicación informática que opera en plataforma GIS sobre el MDT topobatimétrico, que aplican los modelos descritos (run-up + incremento mareal con factores de corrección en las posiciones más internas de los perfiles-transectos) y proporcionan la **línea de alcance de oleaje solución, que une la quinta cota de alcance de oleaje obtenida sobre cada uno de los 75 perfiles-transectos (finalmente 73 perfiles tras la depuración final) en los cálculos ejecutados sobre los 10 estados de mar seleccionados.**

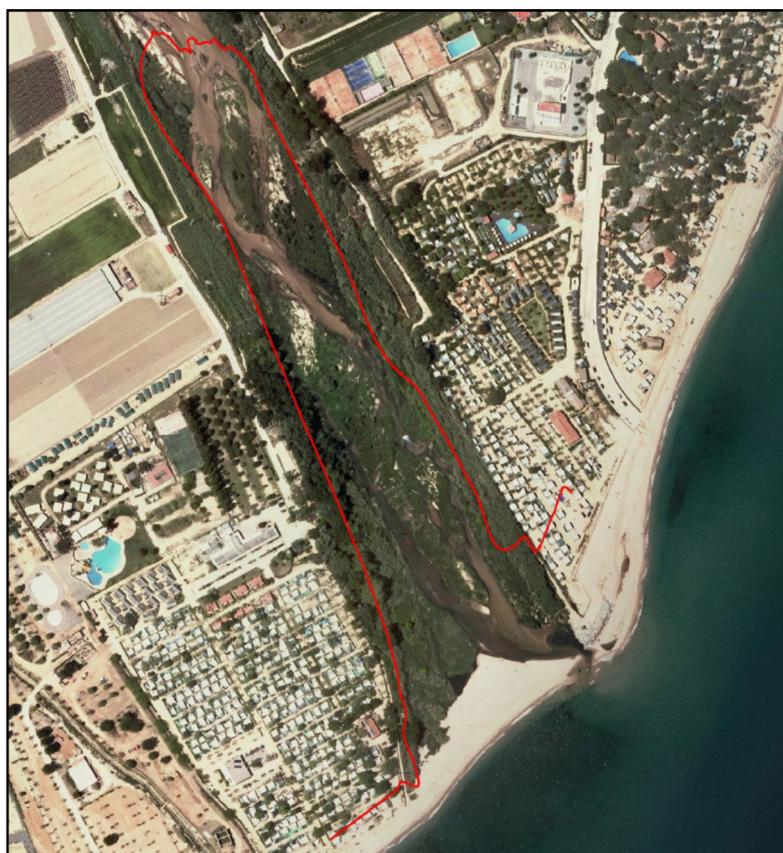


Ilustración 36. Línea de inundación resultante del estudio de los niveles de inundación y alcances máximos de niveles del mar en los episodios de los mayores temporales conocidos, según la Normativa de Costas (**Anejo 6**)

6.7. Análisis comparativo de los resultados del estudio con la inundación observada sobre el terreno en diciembre de 2009

Con el fin de calibrar los resultados teóricos con la realidad observada y documentada durante el temporal de los días 14 y 15 de diciembre de 2009, se realiza un análisis comparativo del potencial de inundación de ambos periodos.

De esta manera, si se demostrara que el potencial teórico de inundación del temporal de diciembre de 2009 fuera similar o inferior al potencial teórico de los temporales que han definido la línea de inundación resultante del estudio actual (22/01/2017, 20/12/2016 y 14/10/2016), quedaría evidenciado que el alcance constatado y documentado sobre el terreno durante el temporal de diciembre de 2009 estaría en el quinto o inferior orden de magnitud de potencial de nivel de inundación.

Durante la campaña de campo llevada a cabo del 16 de diciembre de 2009 se realizó un reportaje fotográfico de campo de las láminas de agua remanentes en el cauce del Tordera a consecuencia del temporal acaecido durante los días 14 y 15 de diciembre de 2009, de las cuales se extrajeron muestras de agua y se practicaron análisis de salinidad, así como toma de coordenadas GPS de las posiciones de las muestras tomadas. Estas ilustraciones pueden consultarse en detalle en el **Anejo 6**.

El temporal de diciembre de 2009 ha sido tratado con la misma metodología descrita en los apartados anteriores, aplicándose de forma idéntica todos los procedimientos realizados en el estudio de inundación con los criterios del Reglamento General de Costas para el período 2015-2019, es decir, se han ejecutado los mismos modelos de inundación sobre los mismos perfiles/transectos (también se omiten los resultados de los perfiles 19 y 20, para que la comparativa sea completamente simétrica) y sobre el mismo MDT de alta densidad. Todos estos procedimientos pueden consultarse en detalle en el **Anejo 6**.

Los resultados de la comparativa determinan una leve superioridad de las cotas de inundación obtenidas en el período de estudio 2015-2019. Las diferencias se encuentran acotadas en un rango cuyo valor máximo es de 17 cm, destacando asimismo que aproximadamente el 74% de los valores diferenciales se encuentran por debajo de los 10 cm de diferencia, lo que propiciaría a la escala de trabajo y con los rangos de precisión de los modelos, geometrías de las líneas de inundación muy similares.

En conclusión, se ha comprobado que el temporal de diciembre de 2009, cuyo alcance fue constatado sobre la realidad del terreno, se corresponde con un nivel de inundación igual o inferior al quinto nivel de la serie de cinco años establecida en el periodo 2015-2019, por tanto, el alcance constatado sobre el terreno aguas arriba del cauce del Tordera en diciembre de 2009 cumple con los criterios establecidos en el artículo 4 del vigente Reglamento General de Costas para la determinación del dominio público marítimo-terrestre.

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)



Ilustración 37. Primera y segunda imagen, láminas de agua remanentes en el cauce del Tordera tras el temporal acaecido durante los días 14 y 15 de diciembre de 2009.

Tercera y cuarta imagen, posiciones de las muestras de salinidad tomadas durante la campaña de 16 de diciembre de 2009 junto a los valores de salinidad obtenidos que permiten la clasificación de "Agua altamente salada" y manifiestan un gradiente de salinidad decreciente aguas arriba del cauce como consecuencia del rebase de la barra de la desembocadura por el oleaje durante el temporal de mar.

7. Generalización cartográfica de la línea de inundación

La generalización cartográfica es la selección y representación simplificada de un elemento con un nivel de detalle apropiado a la escala y al propósito de un determinado estudio.

Teniendo en cuenta que la finalidad del presente estudio es el apoyo técnico en la delimitación y justificación del dominio público marítimo-terrestre, será necesario ofrecer una poligonal que pueda ser adecuadamente representada sobre un plano mediante un número proporcionado de vértices en relación con el tramo en estudio. Por ello, se ha procedido a la generalización cartográfica de la línea de inundación resultante del estudio de los niveles de inundación y alcances máximos de niveles del mar en los episodios de los mayores temporales conocidos, según la Normativa de Costas.

Este proceso denominado filtro de línea se ha ejecutado mediante Autocad Map 3D de forma que se ha simplificado la geometría de la entidad seleccionada, es decir, de la línea de inundación, en un grado que depende de un desplazamiento y una curvatura máxima permisible dada.

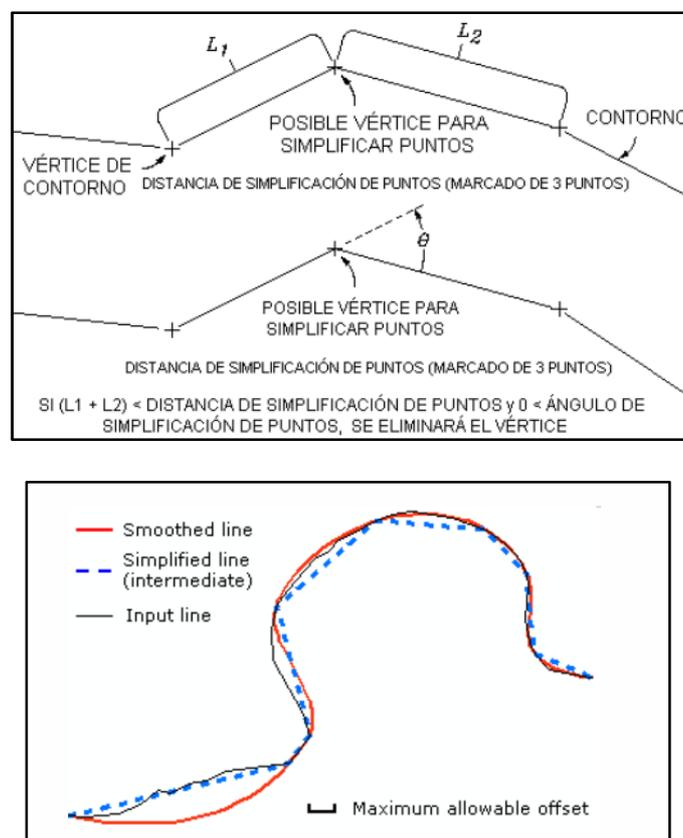


Ilustración 38. En la parte superior, parámetros del factor de filtro de línea. En la parte inferior, ejemplo de línea simplificada (en azul discontinuo) o suavizada (en rojo) respecto a una línea de partida (en negro)

8. Propuesta y justificación de DPM-T

El tramo de costa objeto de estudio correspondiente a la desembocadura del río Tordera no se encuentra deslindado. En 2011, previa autorización de la entonces Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, el Servicio Provincial de Costas incoó el expediente de deslinde de los bienes de DPM-T del tramo de costa de unos 1331 m en el río Tordera. Tras los trámites preceptivos, el Servicio Provincial remitió a la Dirección General el resultado del trámite de audiencia, si bien, con fecha 05/07/2013 se declaró caducado el expediente, se autorizó al Servicio Provincial para llevar a cabo de oficio el deslinde con la delimitación provisional tramitada, conservando los actos y trámites efectuados desde el inicio hasta la remisión del proyecto de deslinde inclusive y se ordenó al Servicio Provincial que elaborase un informe en el que se certificase si la línea de deslinde incluida en el proyecto de deslinde se consideraba válida.

Como resultado de la elaboración del presente estudio, atendiendo a la naturaleza de los terrenos y a la realidad observada en las distintas visitas de campo realizadas, se define la delimitación del dominio público marítimo-terrestre mediante una poligonal de 1244,61 m que consta de 22 vértices numerados de N-1 a N-22 y recoge los terrenos definidos como bienes demaniales de acuerdo al artículo 3.1.a) de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.



Ilustración 39. Propuesta de modificación de la delimitación del DPM-T sobre ortofotografía de junio de 2018 del PNOA

A continuación, se resumen las pruebas, indicios y evidencias que justifican la delimitación propuesta en virtud del artículo 3.1.a), que establece que la zona marítimo-terrestre se extiende por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas y que se consideran incluidas en esta zona las partes de los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua de mar.

• **Geomorfológicamente, de la bibliografía consultada y del trabajo de campo realizado se constata que:**

- En la dinámica natural de los terrenos de la desembocadura participan fundamentalmente agentes como las mareas, el oleaje, la filtración de agua de mar y la descarga fluvial del río Tordera de carácter torrencial, presentando, por tanto, una hidrodinámica mixta de tipo aluvial y marina y dependiendo del momento, la dinámica imperante será fluvial, marina o mixta.
- La barra de arena y guijarros que conecta el cauce del Tordera con el mar avanza o retrocede a golpes de inundación fluvial o marina. Esta influencia mixta asociada al régimen torrencial del río Tordera y a la dinámica marina en la costa catalana, en la que los procesos más importantes son aquellos que ocurren de una manera no periódica tal como los temporales de levante, provoca una geomorfología de la desembocadura muy cambiante definida por su rápida evolución en el tiempo y sujeta a grandes cambios morfológicos en eventos extremos que van reconstruyéndose en situaciones ordinarias.
- En periodos lluviosos o de descarga fluvial, el comportamiento de la desembocadura se caracteriza por presentar un predominio de la dinámica fluvial sobre la acción litoral. En estas circunstancias, la barra de arena y guijarros es rebasada por el caudal y el sistema se comporta como un estuario donde se intercambia agua salada y agua dulce, con predominancia de agua de origen continental
- Cuando la desembocadura presenta un predominio de la acción litoral sobre la fluvial, los factores que influyen en la entrada de agua marina en el cauce del Tordera tras la barra de la desembocadura tienen que ver con el oleaje durante temporales, la marea astronómica y/o meteorológica, la percolación y la infiltración.
 - ❖ El oleaje durante los mayores temporales de mar rebasa la barra de arena y guijarros pudiendo generar canales que conectan el cauce y el mar por completo o parcialmente. El agua de mar penetra en el cauce empujada por los fuertes y persistentes vientos que se dan en la zona. Este proceso puede observarse en el **vídeo número 15 del Anejo 3.2**, grabado durante el temporal del día 04/12/2019.
 - ❖ Los mecanismos de infiltración y percolación a través de la barra de arena y guijarros se evidencian en periodo estival o en periodos especialmente

secos, sin aporte o con escasa descarga de agua dulce, cuando la zona conserva permanentemente una lámina de agua salada de mayor o menor envergadura dependiendo de la morfología de partida

- ❖ El funcionamiento hidrológico de la desembocadura se corresponde en estos periodos con un humedal costero de aguas permanentes o sistema lagunar trasplaya separado del mar por la barra de la desembocadura. Los terrenos bajos interiores tras la misma se encuentran a cotas inferiores a dicha barra y, por tanto, son susceptibles de inundación como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas.
- En los últimos años, tras el temporal Gloria que azotó el litoral catalán en enero de 2020, la desembocadura ha sufrido una fuerte transformación con el desplazamiento de la barra de la desembocadura más de 200 metros mar adentro y unos 400 m al suroeste conformando una laguna litoral de una extensión significativa. Si bien, esta situación no es una foto fija pues, tal y como evidencia la comparativa de las imágenes entre 2020 y 2021, los sedimentos que conforman la barra de la desembocadura están siendo redistribuidos por acción de la dinámica litoral habiendo reducido su extensión en un 50% durante el 2021 (**Ilustración 18**).
- Los cambios morfológicos descritos en el punto anterior constituyen una prueba de la acción de la influencia marina en esta zona en constante cambio y ponen de manifiesto el funcionamiento natural de la desembocadura sujeta a grandes cambios morfológicos en eventos extremos que van reconstruyéndose en situaciones ordinarias.
- La bibliografía y cartografía oficial consultada, en concreto, la procedente de la Agencia Catalana del Agua y de la Red Natura 2000, identifica el área de estudio como un humedal con aguas que no se secan o permanentes y lo definen con términos que implican la influencia por ambientes litorales y costeros, con aportaciones de agua marina y con morfología bajo los efectos de las corrientes marinas.
- La zona ha sido objeto de actuaciones artificiales, especialmente en las últimas décadas (explotación del acuífero, ocupaciones por campings o terrenos agrícolas, explotaciones de áridos en el cauce, presencia de motas y diques, ocupación de la franja litoral, desaparición de los sistemas dunares, etc..). que han provocado una notable alteración de la hidrodinámica que cabría esperar. No obstante, la dinámica natural de los terrenos continúa manifestándose como se ha observado durante las campañas de campo realizadas.
- Las actividades antrópicas (aumento de extracciones debido a la intensa actividad agraria, la actividad industrial, las sequias, el crecimiento de la demanda de agua a causa del incremento turístico, etc) han favorecido y acrecentado a lo largo de las últimas décadas el avance de la intrusión marina en el acuífero del delta, masa de agua catalogada “En peligro”. Para controlar la

salinización progresiva de las aguas subterráneas, en 2002 se construyó una planta desalinizadora de agua del mar cuya capacidad se incrementó hasta 20 hm³/año en 2008. Los aportes de la planta desalinizadora han mejorado esta situación en la actualidad, aunque subsisten problemas.

- Los episodios de precipitación asociados a episodios de levante E y NE influyen aumentando la conductividad eléctrica, y, por tanto, la salinidad, de las aguas subterráneas del acuífero fluviodeltaico del río Tordera, incluso profundo, debido al viento y consecuentemente al oleaje. Durante los temporales de levante se produce la entrada de aguas marinas hacia la llanura deltaica. La comprensión de estos procesos es fundamental en un contexto donde el cambio climático comportará tanto el aumento del nivel del mar como la entrada de agua salada en el continente como consecuencia de la severidad de los episodios meteorológicos.
- **En base a los preceptos legales establecidos en la Ley de Costas y su Reglamento General, la determinación del DPM-T viene definida por la influencia marina, no siendo excluyente la dinámica mixta que es, de hecho, causante de la formación y evolución geodinámica de las distintas geomorfologías que presenta la desembocadura del Tordera y que conforman sistemas costeros que constituyen DPM-T como desembocaduras, estuarios o lagunas litorales.**
- **En este sentido, se recuerda que el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas no establece una concurrencia de carácter exclusivo del efecto de las mareas para que los terrenos pertenezcan al demanio costero, sino que basta con que, cualquiera que sea su causa o la causa que contribuya a tal resultado, el sitio sea sensible al efecto de las mareas (Sentencia AN 11/02/2004. Recurso nº 330/2000).**
- **Teniendo en cuenta el objetivo de este estudio ha sido necesario analizar la dinámica natural de los terrenos desde la perspectiva del dominio marino, teniendo en cuenta aquellos periodos o circunstancias en las que impere la influencia de las mareas, el oleaje o la filtración de del agua de mar, siendo la salinidad del agua el factor indicador de la dominancia de estos procesos.**
- **Los reportajes fotográficos y videos de temporales de mar u oleajes de tormenta realizados durante las distintas campañas de campo realizadas en los últimos años muestran como el agua de mar rebasa la barra de arena y guijarros de la desembocadura, penetra en el cauce el Tordera y avanza aguas arriba empujada por los fuertes y persistentes vientos que se dan en la zona.**

Estudio técnico para la justificación de los bienes de DPM-T del tramo de costa comprendido en la desembocadura del río Tordera, en los términos municipales de Blanes (Girona) y Malgrat de Mar (Barcelona)

- Los terrenos del cauce del Tordera tras la barra de arenas y guijarros de la desembocadura son terrenos bajos naturalmente inundables como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas por presentar cotas inferiores a los puntos de rebase de dicha barra y a la máxima pleamar (1,169 m NMMA) registrada en el mareógrafo más próximo (Barcelona 2), de acuerdo a los datos extraídos del informe elaborado por Puertos del Estado en marzo de 2019 y al modelo digital del terreno resultante del levantamiento topobatimétrico realizado en julio de 2021.

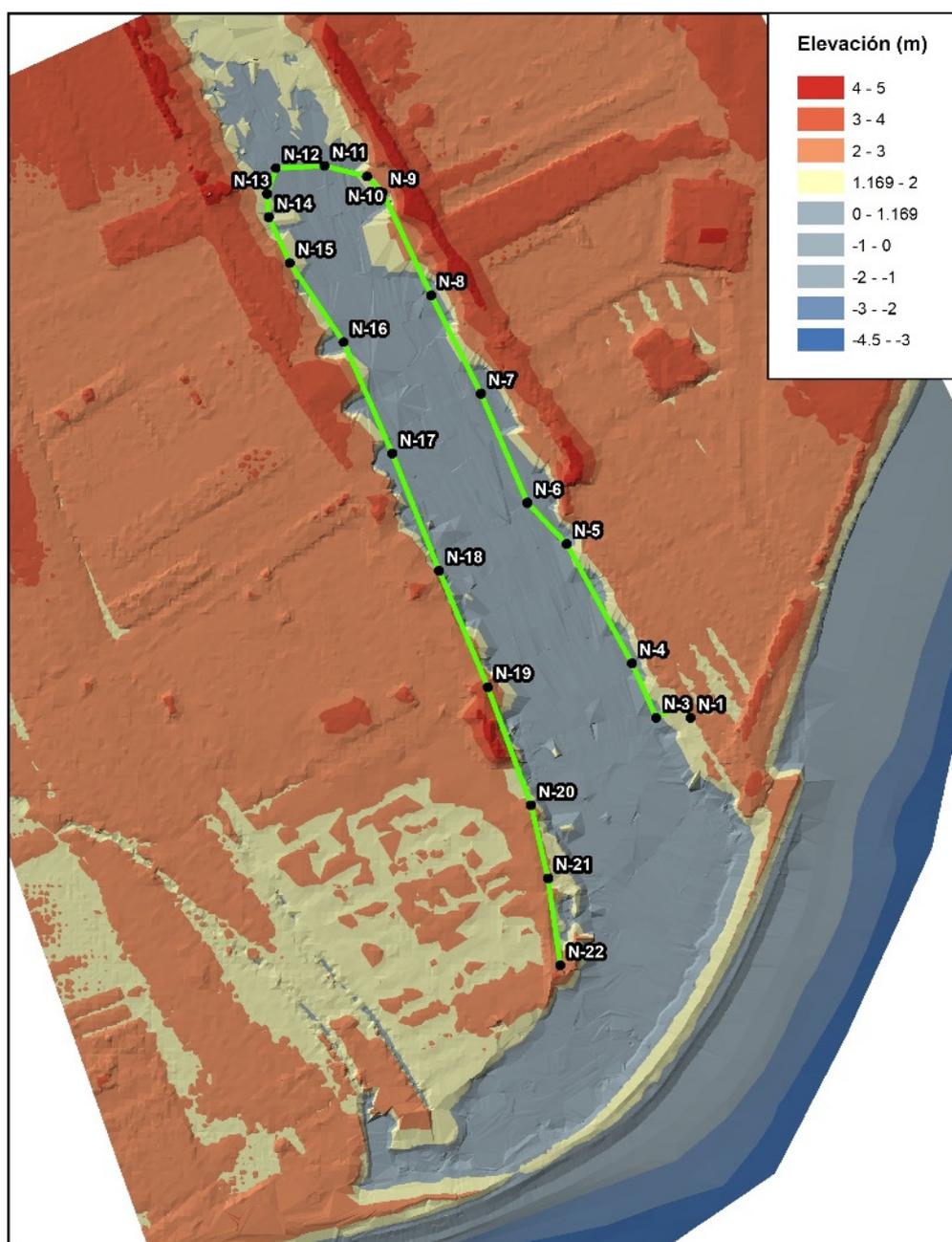


Ilustración 40. Delimitación propuesta sobre modelo digital del terreno

- Los valores de salinidad medidos durante las distintas campañas de campo llevadas a cabo constituyen una referencia comprobada de la inundación como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua de mar. Los valores de salinidad del agua muestreada durante las campañas de campo de 19 de julio de 2021, 26 de agosto de 2021 y diciembre de 2009 clasifican las aguas como altamente saladas.



Ilustración 41. Puntos de muestreo y valores de salinidad medidos en las distintas campañas de campo realizadas.

- **Cabe mencionar, en relación con varias de las alegaciones presentadas y obrantes en el expediente de deslinde archivado en las que se menciona que la salinidad puede tener origen en aguas fluviales contaminadas o en supuestos fallos de la planta desalinizadora, que la salinidad procedente de fuentes no marinas no es concluyente, teniendo en cuenta la localización junto al mar de los terrenos y la influencia marina descrita a lo largo de este documento, apoyada y documentada en el trabajo de campo. No obstante, se presentan a continuación las pruebas que corroboran que la salinidad tiene origen marino.**
 - La salinidad aumenta a medida que disminuye el caudal del río Tordera y, en caso de que la salinidad tuviese origen en la fuente fluvial, debería manifestarse con especial importancia en el cauce del Tordera. Las medidas de salinidad tomadas demuestran precisamente lo contrario, es decir, los valores más altos de salinidad aparecen cuando el río Tordera no presenta caudal. Así lo demuestran los valores de salinidad medidos in situ durante la campaña de campo de julio de 2021, con escaso o nulo caudal del Tordera, que se encuentran en el rango entre 14552 mg/l y 13328 mg/l. En ese mismo año y, por tanto, con la misma morfología de la zona, durante la campaña de campo de marzo de 2021, con presencia de caudal en el Tordera, del Rec Viver y de otro pequeño regato, los datos de salinidad medidos se encuentran entre los 384 y 448 mg/l.
 - Existe una relación directa entre la salinidad y los episodios de temporal de mar.
 - Los valores de salinidad disminuyen a medida que nos alejamos del mar, es decir, la distribución de la salinidad es decreciente desde el mar hacia el cauce del Tordera.
 - Las muestras de agua recogidas durante la campaña de campo de 26 de agosto de 2021 fueron analizadas en el laboratorio Eurofins que certificó el contenido de cloruros de las mismas tal y como sucede en el agua de mar. Los certificados correspondientes se adjuntan en el **Anejo 2**. Esta presencia de cloruros fue también certificada en laboratorio durante la campaña de campo realizada en diciembre de 2009.
 - El índice hidrogeoquímico rMg/rCA cuyo valor se obtiene de los resultados certificados por el laboratorio Eurofins, indica que todas las muestras recogidas durante la campaña de campo de 26 de agosto de 2021 se corresponden con aguas de mezcla con agua de mar. Los certificados correspondientes se adjuntan en el **Anejo 2**.

- **El artículo 3.1.a) de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, y correspondientes de su Reglamento, establece que la ribera del mar incluye el límite hasta donde alcancen las olas en los mayores temporales conocidos y que dicho límite será el alcanzado al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica existente demuestre la necesidad de utilizar otro criterio:**
 - El *“Estudio de inundación del tramo de costa de la desembocadura del río Tordera entre los términos municipales de Malgrat de Mar (Barcelona) y Blanes (Girona)”* analiza los terrenos hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos al menos en 5 ocasiones en el periodo de 5 años entre 2015 y 2019 de acuerdo con la Normativa de Costas vigente en la fecha de redacción de este estudio. Este trabajo, que puede consultarse en el **Apartado 6** de esta memoria y se adjunta íntegramente en el **Anejo 6**, ha sido realizado mediante el Sistema de Modelado Costero desarrollado por la Universidad de Cantabria proporcionando una línea de alcance de oleaje solución que une la quinta cota de alcance de oleaje obtenida sobre los 10 estados de mar seleccionados para cada uno de los perfiles o transectos en los que se ha dividido la desembocadura. Esta línea de máximo alcance de oleaje con valores que oscilan entre 1.31 y 2.25 puede consultarse en la **Ilustración 36**.
 - El análisis comparativo de los resultados teóricos del estudio mencionado en el párrafo anterior y la realidad observada y documentada durante el temporal de los días 14 y 15 de diciembre de 2009 permite confirmar que el alcance constatado sobre el terreno aguas arriba del cauce del Tordera en diciembre de 2009 cumple con los criterios establecidos en el artículo 4 del vigente Reglamento General de Costas para la determinación del dominio público marítimo-terrestre. Este análisis comparativo puede consultarse en el **Apartado 6.7** de esta memoria y se adjunta íntegramente en el **Anejo 6**.
- **Por otra parte, cabe resaltar las conclusiones del estudio de la evolución de la línea de mar en la desembocadura del Tordera (Apartado 3.4 de la presente memoria), en relación con la salvedad establecida en el artículo 3.1.a) “...en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica existente demuestre la necesidad de utilizar otro criterio”.**
 - El importante retroceso de la línea de costa en la desembocadura del Tordera se encuentra ampliamente documentado y representa la fragilidad de este tramo de costa, alterando a su vez el equilibrio y la configuración del litoral.
 - Globalmente, las zonas deltaicas y, entre ellas el delta del Tordera, se encuentran actualmente en retroceso sufriendo, año tras año, grandes pérdidas de superficie emergida debido a las alteraciones humanas en las tasas de transporte de sedimentos y otros procesos a escala global.
 - Desde 1956 hasta 2006 la línea de costa del delta de la Tordera ha retrocedido de media 42 metros en la zona de la desembocadura del río.

- En algunas zonas del entorno, este proceso de erosión llevó a la total desaparición de la superficie de playa en el año 2006, con numerosos daños en su parte posterior y en las infraestructuras presentes (paseos marítimos, edificios o campings).
- Las instalaciones presentes en el frente litoral reciben ahora el impacto directo de los temporales marítimos debido a la pérdida de la función de la playa para proteger la costa.
- A partir de las tasas correspondientes al período 2000-2006 se obtiene una predicción de escenarios futuros a 5, 25 y 50 años vista (**Ilustración 22**), estimando una regresión de la línea de costa a largo plazo de hasta 300 metros.

Por todo lo expuesto, queda justificada la propuesta de delimitación del DPM-T realizada en este estudio, quedando incluidos en ella los bienes definidos en el artículo 3.1.a) de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas y correspondientes del Reglamento General de Costas.

Cabe insistir en el papel fundamental de la defensa de la costa durante episodios extremos ante la actual evidencia científica del cambio climático cuyos efectos se relacionan con una subida del nivel medio del mar y una mayor frecuencia de los temporales más fuertes. En este sentido, se recuerda que, entre las modificaciones introducidas por la Ley 2/2013, de 29 de mayo en la Ley 22/1988 de Costas se incluye la adaptación a los efectos del cambio climático como uno de los fines que ha de perseguir la actuación administrativa para asegurar la integridad y adecuada conservación del dominio público marítimo-terrestre. En concreto, el artículo 2.a) hace referencia a determinar el dominio público marítimo-terrestre y asegurar su integridad y adecuada conservación, adoptando, en su caso, las medidas de protección y restauración necesarias y, cuando proceda, de adaptación, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático.

Por último, es importante resaltar la necesidad de protección de la ribera del mar, tanto por su fragilidad como por su inestabilidad natural consecuencia de la propia dinámica litoral.

Por Tragsatec

Noviembre de 2021

Bibliografía

- ❖ ***Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Secretaria General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente. MMA. 2004. 812 pp.***
- ❖ ***“Análisis de la salinización de un acuífero deltaico durante episodios meteorológicos en la costa brava (NE de la península ibérica)”*** Javier Rodríguez-Bocanegra y Javier Martín Vide
- ❖ ***“Salinización de las aguas subterráneas en los acuíferos costeros mediterráneos e insulares españoles”*** elaborado por el Grupo de Hidrología Subterránea del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña y por CETAQUA en el año 2017
- ❖ ***“Consecuencias a Largo Plazo de la Gestión Desintegrada en Zonas Costeras: el Caso del Delta de la Tordera (Cataluña, España)”*** Enric Sagristà^{1*}, Rafael Sardá² y Jordi Serra³. Diciembre de 2018
- ❖ ***“Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria”*** elaborado por Puertos del Estado en marzo de 2019
- ❖ ***La representación del paisaje vegetal del tramo fluvial del delta del río Tordera (Sistema Costero Catalán.*** Panareda, J.M.(1), Boccio, M. (2). Biogeografía de Sistemas Litorales. Dinámica y conservación. VIII Congreso Español de Biogeografía. Universidad de Sevilla.
- ❖ ***Estudio técnico para la justificación del dpm-t en un tramo de costa situado en la margen izquierda del Río Tordera. Playa de s’Abanell t.m. de Blanes (Girona),*** redactado por la empresa Tragsatec (2008).
- ❖ ***Mapa Geológico de España escala 1:50.000 hoja 365, 38-14 (Blanes).***
- ❖ ***BOE Núm. 181/1988, de 29/07/1988. Ley 22/1988 de 28 de julio de Costas.***
- ❖ ***BOE Núm. 129/2013, de 30/05/2013. Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.***
- ❖ ***BOE Núm. 247/2014, de 11/10/2014. Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Costas.***