

# Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)



DL-55-TA y DL-4-TA

Diciembre 2020



## Índice

1. Introducción .....	5
1.1. Localización .....	5
1.2. Antecedentes administrativos.....	6
1.3. Objetivo del estudio .....	6
1.4. Disposiciones aplicables de la Ley de Costas.....	6
2. Descripción del Delta del Ebro y de la zona de Deltebre.....	10
2.1. Descripción geomorfológica.....	13
2.1.1. Geología .....	13
2.1.2. Geomorfología.....	15
2.1.3. Formación y evolución del Delta.....	18
2.1.4. Dunas de Deltebre .....	30
2.2. Evolución histórica .....	38
2.3. Estudio de salinidad .....	48
2.4. Fotografías de campo.....	56
3. Propuesta de modificación del DPMT .....	62
4. Conclusiones.....	66
5. Bibliografía.....	68

## Anejos:

- 1- Unidades Geomorfológicas
- 2- Ortofotos históricas
- 3- Fotografías de campo
- 4- Propuesta Dominio Público Marítimo-Terrestre
- 5- Superficies incorporadas al Dominio Público Marítimo-Terrestre





## 1. Introducción

### 1.1. Localización

La zona de estudio analizada se sitúa en el hemidelta norte del delta del Ebro, cuya localización se encuentra en la desembocadura del río Ebro en el mar Mediterráneo. El delta del Ebro se trata de una formación sedimentaria situada en la zona sur del litoral de la provincia de Tarragona, en la que se localizan los términos municipales de L'Ampolla, Deltebre, Amposta, Sant Jaume D'Enveja y Sant Carles de la Ràpita, y en este estudio se analizan únicamente los terrenos correspondientes al término municipal de Deltebre.

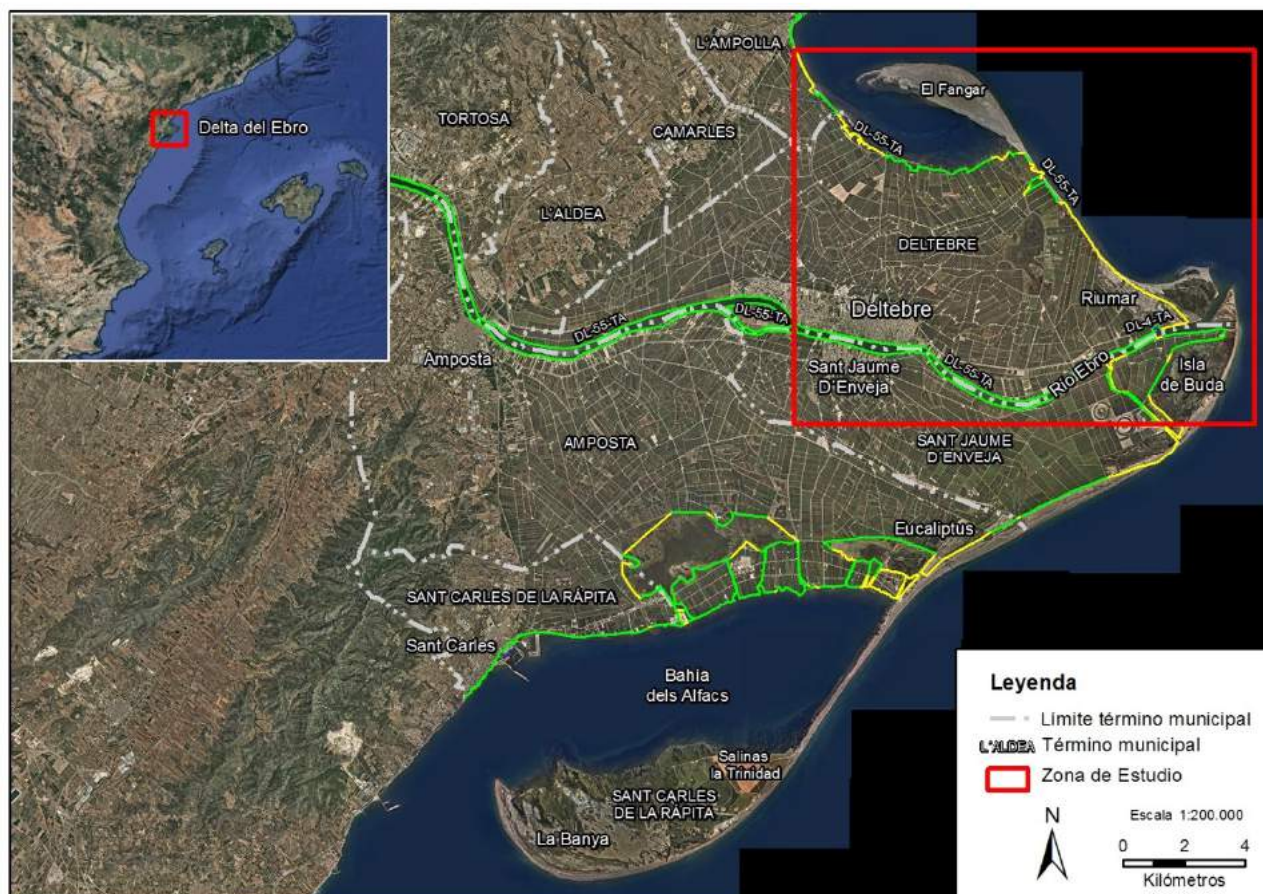


Figura 1. Situación de la zona de estudio.

Este estudio se refiere a todos los tramos de costa del término municipal de Deltebre situado en el hemidelta norte del delta del Ebro, cuyos deslindes están siendo analizados, y que corresponden principalmente a la referencia DL-55-TA, excepto un pequeño tramo del DL-4-TA situado en el puerto de Deltebre, localizado en la parte final del cauce del río Ebro.

## 1.2. Antecedentes administrativos

Los siguientes deslindes de dominio público marítimo-terrestre, fueron aprobados por Orden Ministerial en las fechas que se indican más abajo, en el tramo de costa situado en el delta del Ebro, en el término municipal de Deltebre de la provincia de Tarragona.

- DL-55-TA en tramitación
- DL-4-TA aprobado por Orden Ministerial de 25 de septiembre de 2015

Dentro de los trabajos de revisión de deslindes de la Subdirección General de Dominio Público Marítimo-Terrestre, se está llevando a cabo el estudio y análisis de este tramo de costa de la provincia de Tarragona, situado en el Delta del Ebro, correspondiente al término municipal de Deltebre.

## 1.3. Objetivo del estudio

El objetivo principal de este estudio consiste en analizar las características de los terrenos situados en el tramo de costa correspondiente al término municipal de Deltebre, dentro del delta del Ebro, en la provincia de Tarragona, para la delimitación y justificación del dominio público marítimo-terrestre en dicho término.

Las consideraciones expuestas a lo largo de este estudio tienen un carácter estrictamente técnico y su resolución es competencia de la Administración.

## 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), en adelante LC.
- 2.- Reglamento General de Costas, aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre (BOE 11/10/2014), en adelante RG.

En virtud del artículo 3.1.a) de la Ley 22/1988, de 28 de julio, **son bienes de dominio público marítimo-terrestre**

***“las marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, 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 del mar.”***

Y según el artículo 3.1.b) de esta misma Ley también **son bienes de dominio público marítimo-terrestre**

***“Las playas o zonas de depósito de materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas, estas últimas se incluirán hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa.”***

En el artículo 3.4 de la misma Ley se definen los siguientes términos como

***“Albufera: cuerpos de aguas costeras que quedan físicamente separados del océano, en mayor o menor extensión por una franja de tierra.***

*Berma: parte casi horizontal de la playa, interior al escarpe o talud de fuerte pendiente causada por el oleaje.*

***Dunas: depósitos sedimentarios, constituidos por montículos de arena tengan o no vegetación que se alimenten de la arena transportada por la acción del mar, del viento marino o por otras causas.***

*Escarpe: escalón vertical en la playa formado por la erosión de la berma.*

*Estero: caños en una marisma.*

***Marisma: terreno muy llano y bajo que se inunda periódicamente como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas o de la filtración del agua del mar.***

*Marjal: terreno bajo cubierto por un manto de agua que da soporte a abundante vegetación”.*

El artículo 4.c) del Reglamento General de Costas establece que

***“Se considerará que son necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa las dunas que estén en desarrollo, desplazamiento o evolución debida a la acción del mar o del viento marino, las dunas primarias y las dunas secundarias hasta su borde interior.***

***Se entiende que no son necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa las dunas relictas y las dunas estabilizadas, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica***

***disponible demuestre que la duna estabilizada es necesaria para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa.”***

De acuerdo al artículo 3.4.c) del citado Reglamento se definen los tipos de dunas como:

***“Duna en desarrollo o embrionaria:*** Duna con muy pequeña cobertura vegetal.

***Duna en desplazamiento o evolución:*** Duna poco o nada vegetada, formada por arena suelta, que avanza desde la costa hacia tierra adentro por la acción del viento marino.

***Duna primaria:*** Duna con cobertura parcial de vegetación.

***Duna secundaria:*** Duna no estabilizada o en desplazamiento con cobertura de vegetación herbácea que puede alcanzar hasta el cien por ciento y/o vegetación leñosa arbustiva o arbórea que puede alcanzar hasta el setenta y cinco por ciento de su superficie.

***Duna estabilizada:*** Duna estable, colonizada por vegetación leñosa arbustiva o arbórea, en más del setenta y cinco por ciento de su superficie.

***Duna relictas:*** Duna formada en otro tiempo geológico que ha quedado aislada tierra adentro o colgada sobre una costa rocosa sin vinculación ninguna con la playa.

***Para el cálculo de los porcentajes fijados se utilizará la totalidad de la superficie de la duna. El porcentaje de vegetación se entiende referido a la proyección de la parte aérea del árbol o arbusto sobre el suelo. En el cálculo del porcentaje no se computarán las revegetaciones realizadas con posterioridad a la entrada en vigor de la Ley 2/2013, de 29 de mayo.”***

A modo de resumen esquemático, se expone a continuación una tabla con la información relativa a los tipos de dunas y su pertenencia al DPM-T según lo dispuesto en la legislación de Costas.

REGLAMENTO LEY 2/2013 DE 29 MAYO		
TIPO DE DUNA	CARACTERÍSTICAS	PERTENENCIA AL DPM-T
<b>EN DESARROLLO O EMBRIONARIA</b>	Pequeña cobertura vegetal	Si
<b>EN DESPLAZAMIENTO O EVOLUCIÓN</b>	Poco o nada vegetada, de arena suelta, que avanza de mar a tierra por viento marino	Si
<b>PRIMARIA</b>	Con cobertura parcial de vegetación	Si
<b>SECUNDARIA (Cordón dunar 2º, 3º, etc)</b>	Con cobertura vegetal leñosa arbustiva o arbórea $\leq 75\%$ (*)	Si
<b>ESTABILIZADA (Cordón dunar 2º, 3º, etc)</b>	Con cobertura vegetal leñosa arbustiva o arbórea $> 75\%$ (*)	Solo si la mejor evidencia científica disponible demuestra que es necesaria
<b>RELICTA</b>	De otro tiempo geológico, aislada o colgada de costa rocosa, sin vinculación a la playa	No

(\*) Referido a la proyección sobre el suelo, de la parte aérea de arbusto o árbol. No computan las revegetaciones posteriores a la entrada en vigor de la Ley 2/2013 de 29 de mayo. Para los cálculos de % se utilizará la totalidad de la superficie de la duna. (art. 3.4.c) Reglamento Ley 2/2013 de 29 de mayo.

Los nuevos criterios recogidos en la Ley 22/1988, de 28 de julio y en su Reglamento General establecen una nueva clasificación para las dunas especificando cuáles de ellas se deben considerar necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa y, por tanto, son constitutivas de DPM-T.

Dicho Reglamento General considera necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa las dunas que estén en desarrollo, desplazamiento o evolución debido a la acción del mar o viento marino, las dunas primarias y las dunas secundarias hasta su borde interior. En cambio, considera que no son necesarias las dunas relictas y las dunas estabilizadas, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica disponible demuestre que la duna estabilizada es necesaria para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa.

Por último, según el artículo 4.8 de la misma Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal

*“Los terrenos colindantes con la ribera del mar que se adquieran para su incorporación al dominio público marítimo-terrestre.”*



## **2. Descripción del Delta del Ebro y de la zona de Deltebre**

La zona de estudio comprende el tramo de costa correspondiente al término municipal de Deltebre, que es uno de los que forman el delta del Ebro. El Delta del Ebro es una de las formaciones sedimentarias más significativas de España, no solo por ser el delta más importante de la península sino también por presentar uno de los pocos campos activos de dunas que quedan en ella. A esto se añade la relevancia de sus ecosistemas (saladares, lagunas, ojales, etc.), que generan un hábitat característico de gran riqueza natural y único, constituyendo el Parque Natural de Delta del Ebro, en la parte final de los terrenos del delta.

El Delta constituye un accidente geográfico de forma triangular originado en la desembocadura del río Ebro como consecuencia de la acumulación de sedimentos fluviales traídos por la corriente del río, que va formando distintos brazos fluviales separados por islas de sedimentos. La intensidad baja de las mareas, permite que se formen los deltas, mientras que en otros mares u océanos con mareas más fuertes suelen formarse estuarios.

El río Ebro es el eje principal de la zona, que recorre los últimos treinta kilómetros de su curso por la llanura deltaica, hasta llegar a la desembocadura donde se produce la mezcla entre agua dulce continental y salada marina, produciéndose una gradación de la salinidad en el último tramo.

Además en el delta aparecen dos ambientes marinos diferenciados, por un lado el mar abierto más expuesto y con renovación de aguas, y por otro las bahías de El Fangar al norte y Els Alfacs al sur. Estas bahías se han formado por el aislamiento parcial de un cuerpo de agua marina por una flecha litoral, y presentan aguas más tranquilas y estancadas aprovechadas por las aves marinas, y recientemente por el hombre para cultivos marinos.

Otro de los ambientes acuáticos del delta son las lagunas, denominadas balsas litorales se encuentran conectadas directamente con el mar por lo que son de naturaleza salina, sin embargo durante el ciclo productivo del arroz reciben gran cantidad de agua dulce procedente de los arrozales, que provoca oscilaciones en el nivel de salinidad.

Como morfología característica del delta aparecen los ojales, que son afloramientos de agua dulce en las zonas de turberas, procedentes de la descarga de acuíferos continentales, que chocan contra los sedimentos impermeables del delta y emergen en forma de pequeñas balsas circulares. Se sitúan en el margen interno del delta en el contacto entre la llanura deltaica y los materiales pliocuaternarios continentales.

En cuanto a las zonas emergidas las dunas y playas son el paisaje de mayor riqueza natural. El oleaje y las corrientes se encargan de redistribuir los sedimentos arenosos que originan las playas. Posteriormente los vientos se encargan de transportar tierra adentro estos sedimentos arenosos constituyendo los cordones dunares, que dan lugar al paisaje dunar más extenso de Cataluña, de gran importancia por su excepcional estado de conservación.

Situado en la zona detrás de las dunas, el salobral es un ambiente que está muy influenciado directamente por el mar. Está formado por suelos arcillosos-limosos que a menudo se encuentran inundados, lo que produce que el grado de salinidad sea muy elevado al evaporarse el agua. El delta del Ebro está considerado de importancia internacional para la conservación de este tipo de hábitats, de gran interés natural.



Figura 2. Delta del Ebro y zona concreta de estudio.



Por último, los arrozales, aunque de manera artificial, ocupan gran parte de la superficie del Delta desde hace más de 60 años. Representa un ecosistema de gran importancia ya que la necesidad de estar inundado durante el proceso productivo, hace que actúe como humedal de agua dulce temporal, con gran variedad de fauna presente tanto de aves como algas, crustáceos o insectos. La inundación se garantiza mediante una red de irrigación jerarquizada y bastante compleja que capta las aguas del río Ebro, manteniéndose los cultivos inundados con el agua circulando entre los meses de abril a septiembre, afectando también a las áreas de desagüe en las lagunas o bahías del Delta, que modifican su salinidad con la llegada de gran cantidad de agua dulce.

También existen algunas zonas de huerta, sobre todo cercanas a las orillas del río Ebro.

En cuanto a la zona concreta de estudio del término municipal de Deltebre, presenta una representación de la mayoría de los ambientes que acabamos de describir para el Delta en general.

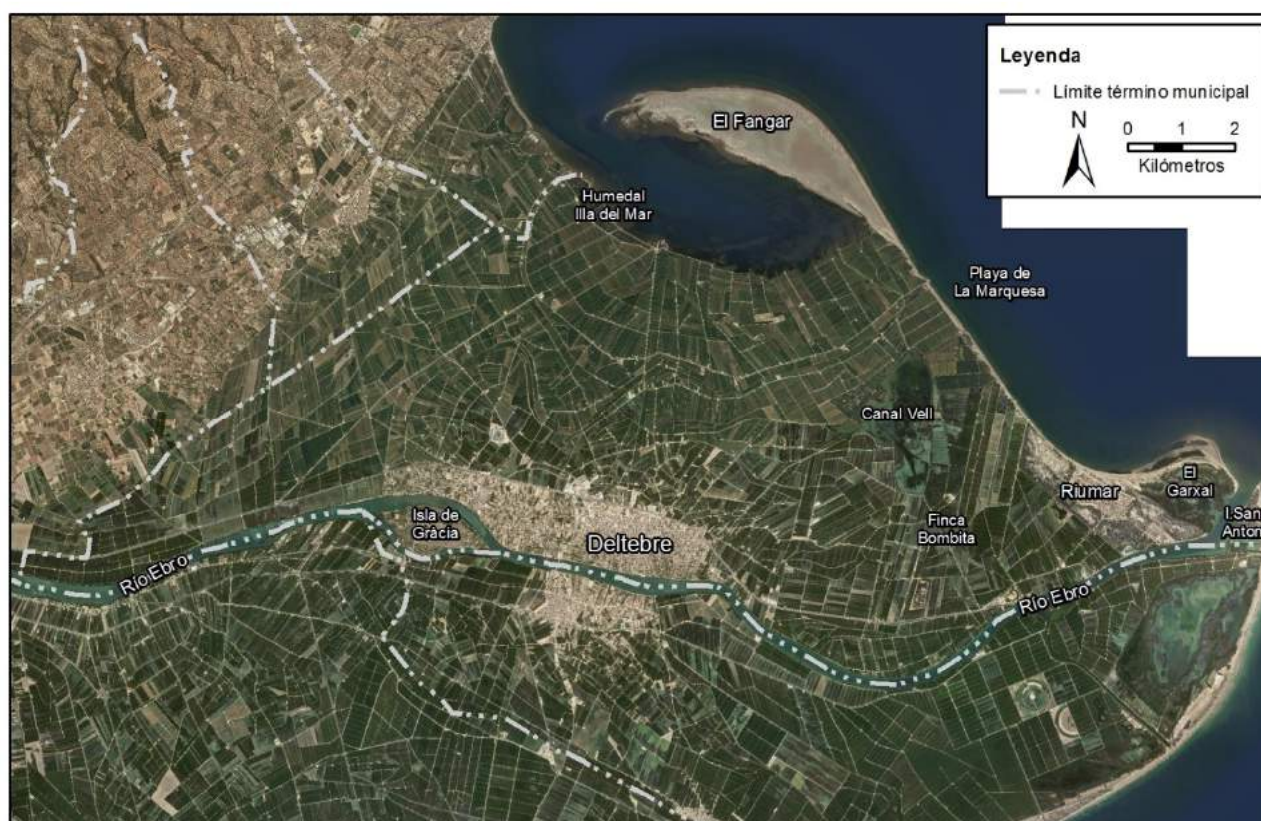


Figura 3. Delta del Ebro y zona concreta de estudio.

Así en Deltebre podemos encontrar ambientes sumergidos de diversos tipo como de mar abierto en toda la zona desde la península del Fangar a la desembocadura del Ebro, de bahía



restringida en la bahía del Fangar, y de lagunas litorales en la bassa de Canal Vell, o en la laguna del Garxal.

Además en cuanto a los ambientes emergidos en Deltebre podemos encontrar por un lado los campos dunares como el del Fangar en la península de dicho nombre, o los de Riumar situados junto a la urbanización, y por otro lado las playas, como las del Fangar, La Marquesa o Riumar.

Por último, aparecen también los arrozales que se extienden por todo el Delta del Ebro, y por lo tanto en el término municipal de Deltebre, ocupando gran parte de la llanura deltaica interior.

## **2.1. Descripción geomorfológica**

Para comprender mejor la geomorfología de la zona de Deltebre, realizaremos una breve descripción de la geología de todo el delta del Ebro y sus alrededores.

### **2.1.1. Geología**

El delta del Ebro está geológicamente situado en la terminación suroriental de las Catalánides y forma la prolongación en el mar del relleno Neógeno-Cuaternario del Bajo Ebro. Las Catalánides son cadenas montañosas constituidas por materiales del Paleozoico y Mesozoico fuertemente plegados, estas cadenas se desarrollan esencialmente paralelas a la línea de costa, alineadas en una dirección NNE-SSW.

Los materiales sedimentarios del delta están formados por una serie de 500 a 2500 m de espesor de depósitos pliocuaternarios, discordantes sobre los depósitos del Mioceno. Como sustrato de esta serie sedimentaria se encuentran las calizas, dolomías y margas del Jurásico y Cretácico, fracturadas por una densa red de fallas normales orientadas según las direcciones principales de las cadenas Ibérica y Catalánides, formando bloques estructurales tectónicos paralelos a la línea de costa actual.

La serie sedimentaria del Ebro está formada por las arcillas inferiores del Plioceno y las arenas del Plioceno-Pleistoceno, estas últimas con intercalaciones de capas de conglomerados marinos someros y arcillas margosas, formando en total una cuña sedimentaria adelgazada tierra adentro por debajo de la llanura deltaica.

En la siguiente figura se ha representado el mapa geológico de la zona de estudio en el término municipal de Deltebre, en el que aparecen las unidades geológicas concretas que constituyen esta parte del delta y las áreas continentales adyacentes, a partir del servicio wms de la página web del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (I.C.G.C.).

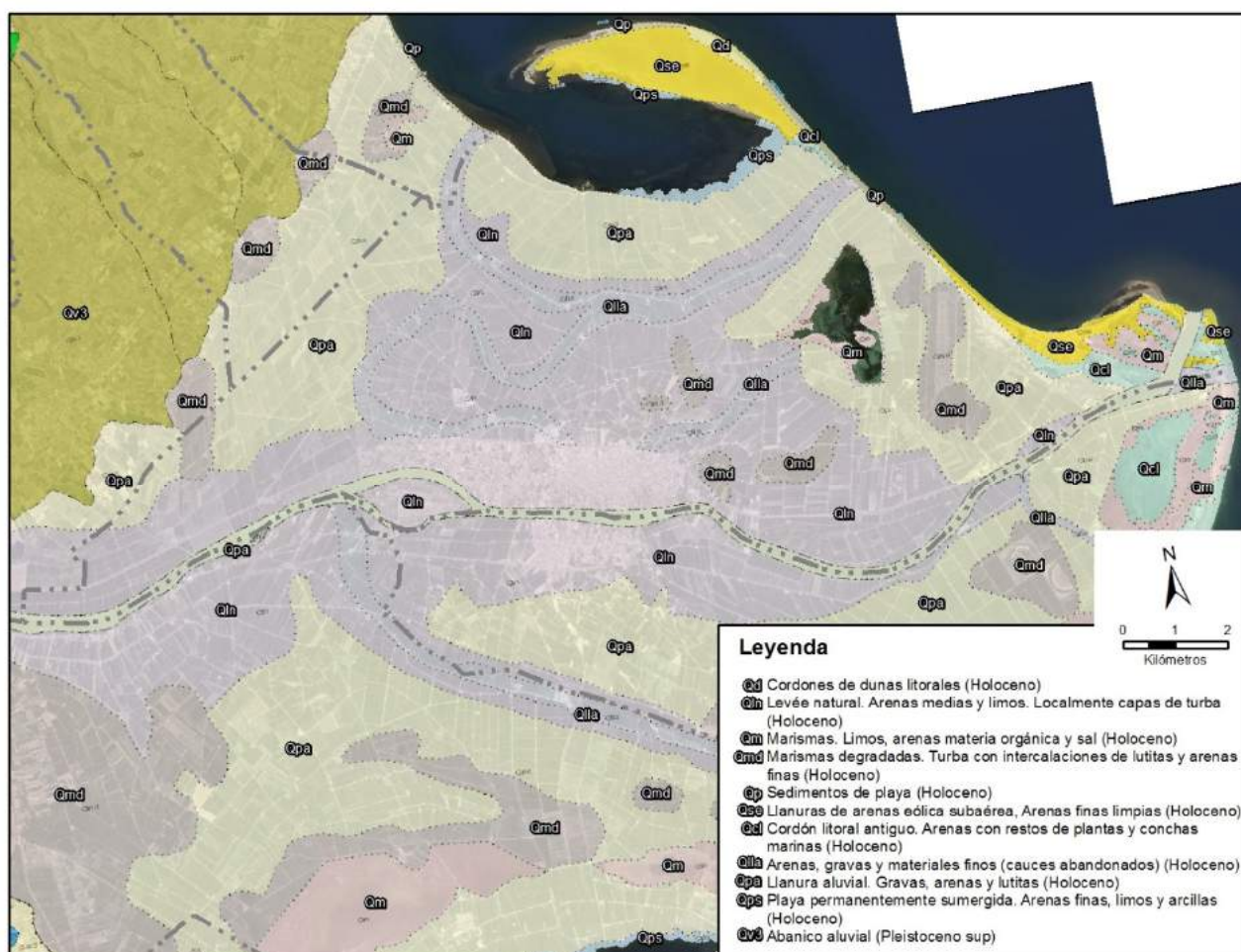


Figura 4. Mapa geológico del término municipal de Deltebre. Mapa Geològic de Catalunya I.C.G.C.

Así se pueden apreciar en la parte continental los materiales aluviales del Pleistoceno (parte superior izquierda de la figura), que se encuentran depositados sobre las rocas carbonatadas del Jurásico y Cretácico que constituyen el sustrato rocoso de las Catalánides.

Posteriormente, aparecen los materiales holocenos recientes que forman el delta propiamente dicho, con los depósitos de arenas gravas y lutitas de llanura aluvial y cauces abandonados traídos directamente por el río Ebro, junto con los levees naturales de arenas y limos correspondientes a las avenidas fluviales ocasionales.

Además, también dentro de la llanura deltaica, aparecen los depósitos con influencias marinas de playas, cordones litorales y marismas, formados por arenas, limos, sales, restos de conchas y materia orgánica, y por último los depósitos con influencia eólica de dunas, cordones dunares y llanuras de arenas eólicas subaéreas formados por arenas y limos.

### 2.1.2. Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, la zona de estudio y el Delta del Ebro en general, se encuentra influenciada por varios modelados debido a su situación de transición entre ambientes marinos y continentales, y a que está sometida a los efectos de diversos agentes.

En primer lugar el **modelado fluvial**, producido principalmente por la acción del río Ebro, que da lugar a depósitos de tipo leeves naturales y canales fluviales abandonados.

Los levees naturales están formados por los bancos que flanquean el cauce funcional del río y se desarrollan de manera natural por la sucesiva superposición de capas de sedimentos depositados por el río durante las crecidas y desbordamientos de su cauce. Varían en espesor decreciendo en la dirección de avance del río y al alejarse del cauce, entre 3,5 y 0,5 m y están formados por arenas medias y limos, y pudiendo aparecer también materia orgánica.

Los canales fluviales abandonados se desarrollan cuando el río abandona un cauce funcional a favor de un nuevo cauce de recorrido más corto hacia el mar, este fenómeno se denomina difluencia y produce la rápida colmatación del antiguo cauce. Los canales abandonados, aunque ocupan una pequeña extensión superficial, son de una gran importancia, ya que indican el desarrollo y evolución deltaicos, y están constituidos por sedimentos de tipo arena, limo, arcilla y materiales turbosos.

En cuanto al **modelado palustre**, que se produce en los ambientes lagunares y de aguas restringidas, da lugar en el delta a depósitos de tipo lagunar y marismas.

La formación de lagunas se produce por el aislamiento de una bahía o albufera por crecimiento de una barra o flecha litoral, que se cierra proporcionando un ambiente restringido que hace que se depositen los sedimentos y se desarrolle una intensa vegetación en el fondo transformando en un ambiente reductor, que en un estadio más avanzado daría lugar a las marismas con mayor desarrollo de los sedimentos orgánicos. Las lagunas del delta se caracterizan por fuertes cambios de salinidad debido a los aportes de agua dulce de los arrozales, y los sedimentos depositados son arenas y lutitas en las partes más profundas, con alto contenido en materia orgánica.

Respecto al **modelado litoral** o marino, producido por la influencia directa del mar o de procesos litorales, da lugar dentro del delta a depósitos de barras y flechas litorales, playas y salinas.

Las barras y flechas litorales, se forman como consecuencia de la resedimentación por corrientes litorales de materiales fluviales transportados hasta la boca del río, formándose primero barras sumergidas, que van creciendo y emergiendo por acumulación, y que por anexión de varias barras van dando lugar a una flecha litoral. Los sedimentos son principalmente arenas y restos de conchas.

Los depósitos de playa tienen una formación similar a las barras litorales, con las corrientes litorales y el oleaje marino depositando y redistribuyendo los sedimentos arenosos a lo largo del litoral.

En zonas al límite con la playa, en un ambiente bajo la influencia directa del mar, se sitúan el salobral o las salinas. Se trata de suelos arcillosos-limosos que se encuentran a menudo inundados, y que por evaporación del agua va aumentando la concentración salina en el suelo hasta que se forman cristales de sales de manera natural.

Por último el **modelado eólico** también aparece en el delta del Ebro, como consecuencia de la acción de los vientos litorales sobre los sedimentos, dando lugar a depósitos de campos dunares y llanuras de arenas eólicas.

Los depósitos de campos dunares se forman como consecuencia de la acción de los vientos dominantes sobre los depósitos sedimentarios arenosos de las flechas litorales y playas del delta.

En cuanto a las llanuras eólicas, ocupan la mayoría de la superficie de las flechas litorales del norte y el sur del delta, y se trata de áreas llanas ligeramente por encima del nivel medio del mar, que son inundadas parcialmente por una lámina de agua, constituidas por arenas transportadas por los vientos desde las playas y campos dunares.

A partir del análisis de la información bibliográfica, y de la fotointerpretación de las ortofotografías más recientes del año 2018, del PNOA, se ha realizado la clasificación en unidades geomorfológicas de la zona de estudio, adaptándola lo máximo posible a la normativa actual de costas.

La clasificación se ha realizado en las áreas naturales del litoral del término municipal de Deltebre, sin tener en cuenta las áreas con gran transformación artificial, como las zonas urbanizadas y los arrozales, que ocupan gran parte de la superficie del interior del delta. En la siguiente figura 5 se representan las unidades geomorfológicas identificadas y se describen a continuación.

**Marismas - lagunas litorales:** Las zonas inundadas se han agrupado todas en una misma clase que comprendería las lagunas o balsas litorales junto con las zonas de marismas presentes en las bahías. Se trata de zonas permanentemente inundadas de manera natural y poco profundas, de naturaleza salina aunque están sujetas a variaciones en la concentración de sales, debido a la descarga de aguas dulces procedentes de los cultivos de arroz del delta.

En esta clase también se han incluido áreas inundadas de antiguos arrozales abandonados, que podrían indicar la existencia de lagunas o balsas naturales previas a la instalación de los cultivos de arroz, y que están recuperando sus condiciones naturales gracias a la infiltración de las aguas saladas.



Dentro de esta clase se han incluido el Humedal de Illa del Mar, parte de la bahía del Fangar, la Bassa de Canal Vell y la laguna del Garxal junto a la desembocadura.

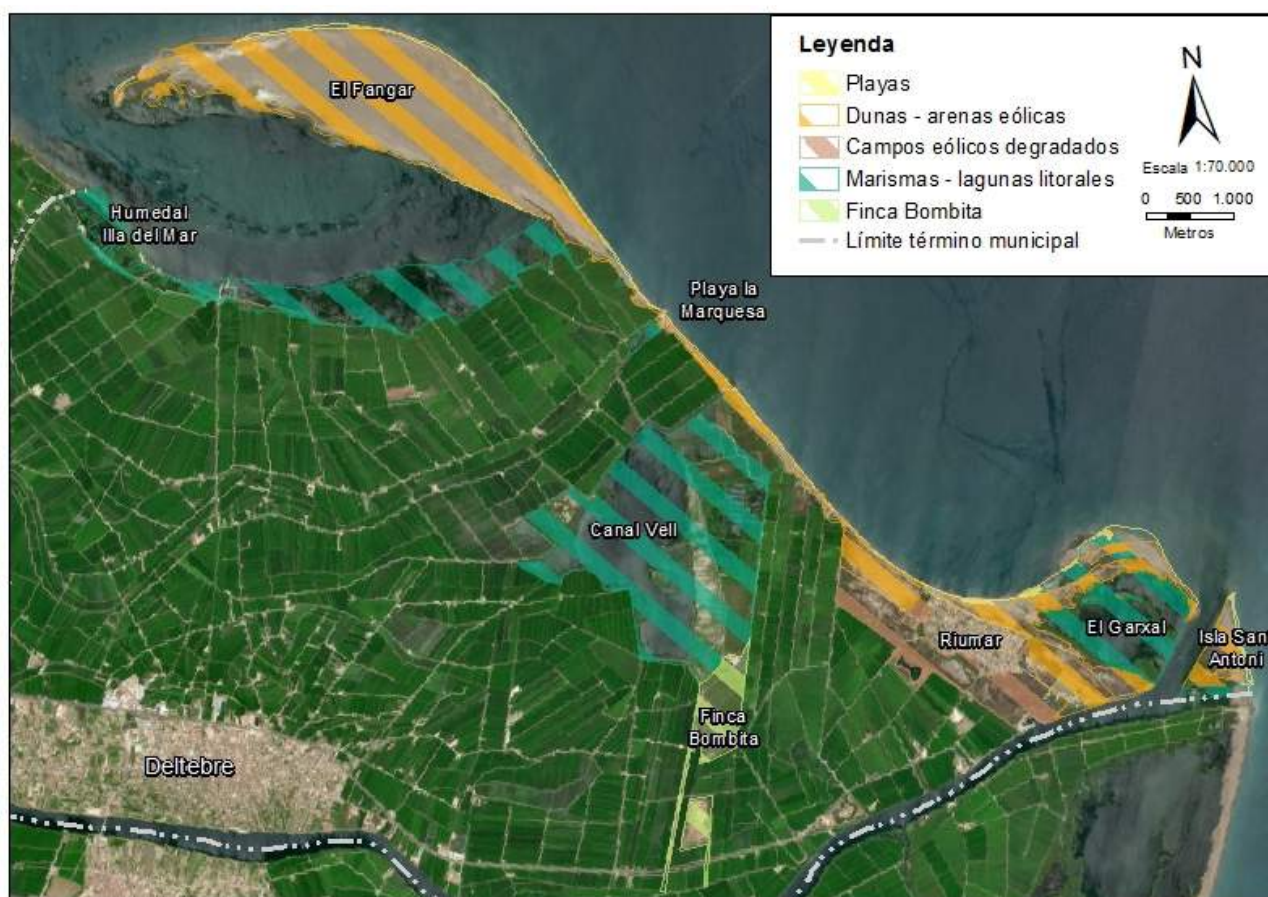


Figura 5. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

**Playas:** Situadas en la parte exterior del delta aparecen las playas, que constituyen acumulaciones arenosas procedentes de la redistribución de los sedimentos por las corrientes y el oleaje, en algunas zonas cercanas a la desembocadura presentan una mayor riqueza en limos, procedentes de los materiales transportados por el río Ebro.

De noroeste a sudeste de Deltebre, las playas más importantes que encontramos son la playa del Fangar, la de La Marquesa, la Bassa de l'Arena (o Nen Perdut) y la de Riumar.

**Dunas - arenas eólicas:** Los sedimentos arenosos depositados en las playas, son transportados tierra adentro por los vientos formando cordones dunares o campos dunares con sus morfologías características. Las dunas del Delta del Ebro constituyen el paisaje dunar más grande de Cataluña y se distribuyen por todo el delta, en la parte trasera de sus playas, presentando acumulaciones significativas en las penínsulas del Fangar al norte, y de la Banya al sur, y junto a las playas de Riumar, de Buda, de los Eucaliptos y del Trabucador. En concreto

las de la península del Fangar y las de Riumar se localizan dentro de la zona de estudio en el municipio de Deltebre.

En esta clase se han incluido las llanuras eólicas que aparecen en las flechas litorales del delta, ya que se trata de sedimentos claramente de origen eólico, aunque su morfología no presente las características típicas de una duna.

Además también se han incluido otras superficies con presencia de arenas eólicas como antiguos arrozales abandonados, que podrían indicar la existencia de campos dunares naturales previos a la instalación de los cultivos de arroz, que están recuperando sus condiciones naturales, por invasión de las arenas traídas por los vientos.

También se ha incluido en esta clase la zona de los alrededores Riumar, que está formada por las arenas de un cordón litoral antiguo (según los trabajos bibliográficos consultados como la cartografía geológica del ICGC), retrabajadas por el modelado eólico, sobre las que se construyó la urbanización actual, y las áreas adyacentes que se encuentran antropizadas tras el inicio de su urbanización parcial y su posterior abandono, incluyendo el área del camping junto al cauce del río Ebro.

**Campos eólicos degradados:** La parte más interior de la zona indicada en el párrafo anterior, se ha identificado como otra unidad diferente denominada campos eólicos degradados, constituida por los mismos sedimentos de arenas eólicas, pero antropizados de manera más intensa, como consecuencia del proceso de ampliación y urbanización del núcleo de Riumar, que posteriormente se paralizó. Las arenas se encuentran degradadas y han perdido parcialmente sus aspectos característicos del modelado eólico.

### **2.1.3. Formación y evolución del Delta**

La morfología del litoral del delta del Ebro corresponde a un frente deltaico compuesto por la desembocadura actual y dos grandes flechas litorales que cierran parcialmente dos bahías, la del Fangar al N y los Alfacs al SO. La península de la Banya al SO se encuentra unida al delta mediante la barra del Trabucador de 250 m de ancha y 6 km de larga. La desembocadura muestra un perfil submarino muy llano con muy poca pendiente, lo que favorece el desarrollo de barras litorales.

La geometría actual del delta se debe al efecto de diversos procesos, en primer lugar a la retención del flujo de sedimentos por los embalses construidos a lo largo de la cuenca del Ebro junto con el incremento en el consumo de agua para regadío, y en segundo lugar a los procesos litorales que continuamente modifican la forma del delta y alteran su configuración.

La formación de los deltas está relacionada directamente con el equilibrio entre los procesos fluviales y los marinos, y el Delta del Ebro es un caso intermedio donde la influencia fluvial está claramente marcada por la notable proyección mar afuera de la llanura deltaica (unos 26 km), y los procesos costeros están reflejados en la gran regularidad de la línea de costa, presencia de grandes flechas litorales y extensas llanuras de arena flanqueando el delta.

Según diversos autores como Molinet (2006), la formación del Delta del Ebro comienza con el fin de la última glaciación, en el que el nivel de mar se encontraba unos 100 m por debajo del actual y los aportes del Ebro se depositaban en zonas más lejanas. Empieza entonces un aumento eustático hace alrededor de unos 18.000 años, que pasa por etapas de relativa estabilización en las que se forma una planicie deltaica que posteriormente es sumergida por la elevación del nivel del mar, y sirve de base para el asentamiento de la siguiente planicie deltaica. Así se va construyendo la progradación deltaica, formándose en 5 grandes periodos desde los últimos 7.000 años, según los estudios sedimentológicos del Delta.

A partir ya de datos históricos, junto con otros de tipo sedimentológico, se ha reconstruido la evolución del Delta en periodos históricos, así autores como Canicio e Ibáñez, proponen la existencia de un cierto desarrollo en épocas romanas, localizando el frente deltaico a la altura de la actual isla de Gracia, según las hipótesis más actuales, (figura 6).

Otros autores defienden la hipótesis tradicional en la que se propone un desarrollo del Delta posterior, con la desembocadura del Ebro en el mar formando un estuario que llegaba hasta Tortosa, en época romana.

A partir del último milenio, la presencia de datos cartográficos más precisos permite una reconstrucción más fiable de la evolución del delta, con datos de geógrafos árabes que sitúan la desembocadura a 19 km de Tortosa en el siglo XII, y a 20 km en el siglo XIV, según el mismo autor anterior, Molinet (2006).

De los siglos XIV y XV en adelante es cuando se produce el mayor crecimiento del Delta, en esa época hubo una gran deforestación de la cuenca del Ebro causada por la necesidad de navíos que siguió al descubrimiento de América. Desde entonces hasta la actualidad el Delta ha cambiado varias veces de desembocadura, cosa que ha conducido a su configuración actual.

Las diferentes desembocaduras han ido desarrollando los diferentes lóbulos, así el antiguo brazo de Riet Vell dirigido hacia el Sur, fue formando el lóbulo meridional, originando la barra del Trabucador y la península de la Banya, que ya existían en el siglo XVI.

En el lóbulo norte, desarrollado por brazos que llegaban a las bocas del Goleró y de Riet Fondo, permanecen activas dichas bocas hasta los siglos XVIII o XIX, y son las responsables de la formación de la flecha del Fangar. Este lóbulo avanzó hasta la torre del Sol Riu, construida en la desembocadura principal en el siglo XVI, y que se encuentra a 3,6 km de la costa en la actualidad.

El lóbulo central aparece en el siglo XVIII, entre los dos existentes, y con dos bocas, una operativa durante un corto periodo de tiempo, que apuntaba hacia el Norte, y otra hacia el Este, que cerca de la desembocadura se dividía en la Gola del Migjorn (todavía existente) y la Gola Nord.

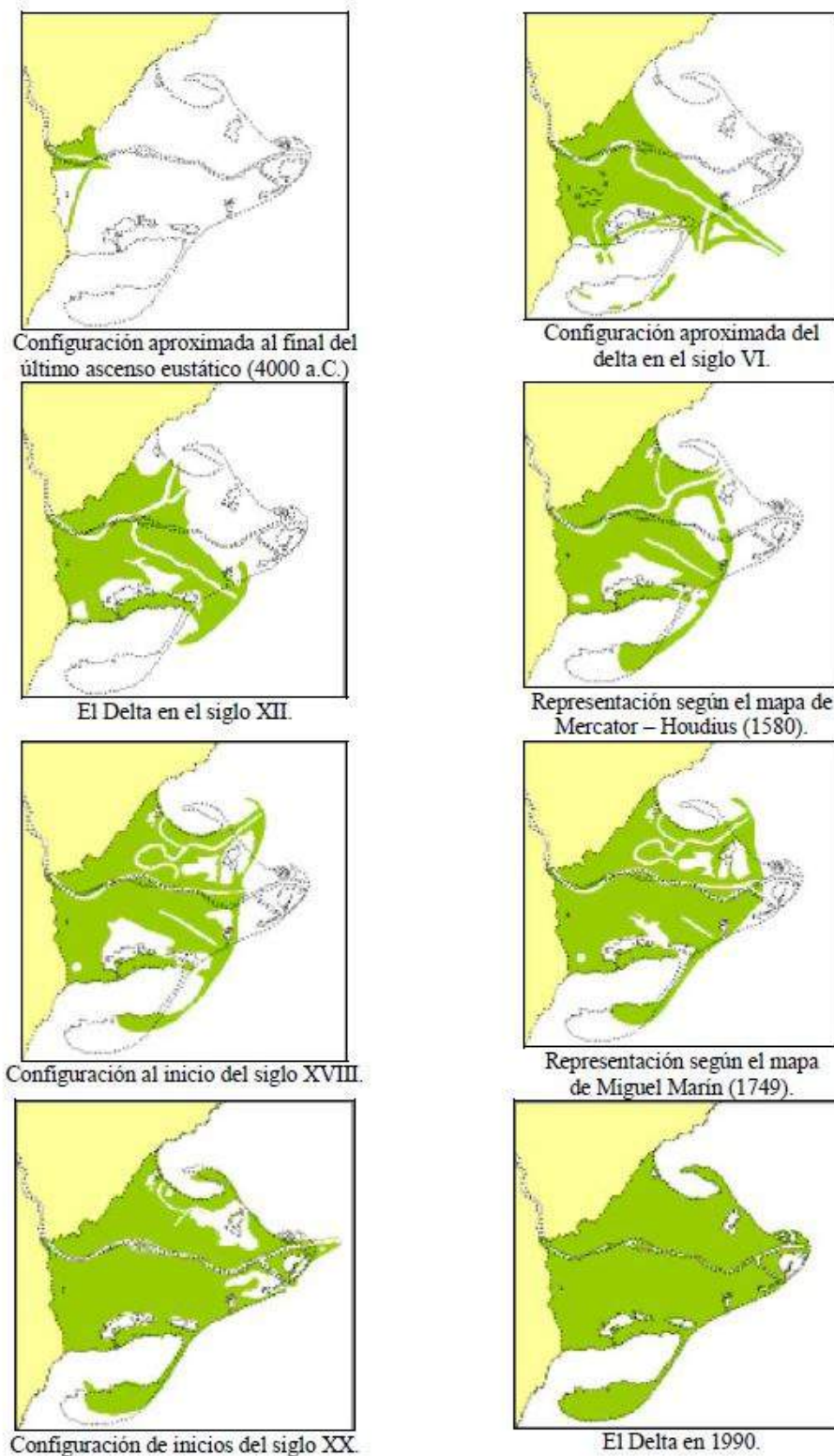


Figura 6. Evolución del Delta. Dibujos adaptados de Canicio e Ibáñez, (1999).



En el siglo XX ya tenemos las flechas del Fangar y de la Banya con una configuración muy parecida a la actual, y el único lóbulo activo es el central, que en la primera mitad de siglo continúa creciendo. La segunda mitad del siglo XX viene marcada por la reducción casi total del caudal sólido del río en la desembocadura, debido a la construcción de diversos embalses a lo largo de todo su cauce y en toda su cuenca hidrográfica, esto produce una alteración de la tendencia de crecimiento del Delta del Ebro, que pasa a ser un sistema dominado principalmente por las olas en vez de uno dominado por el río y las olas.

Si el Delta hubiera seguido su evolución sin las grandes presas en la cuenca del Ebro, hubiera seguido ganando en extensión, y las bahías del Fangar y dels Alfacs se habrían convertido en lagunas litorales al conseguir cerrarse las flechas. Debido a esta reducción en los aportes sólidos del río se ha producido un importante cambio de la línea de costa del Delta, especialmente intenso en los años 60, con la construcción de grandes presas relativamente cerca de la desembocadura como Mequinenza y Ribarroja.

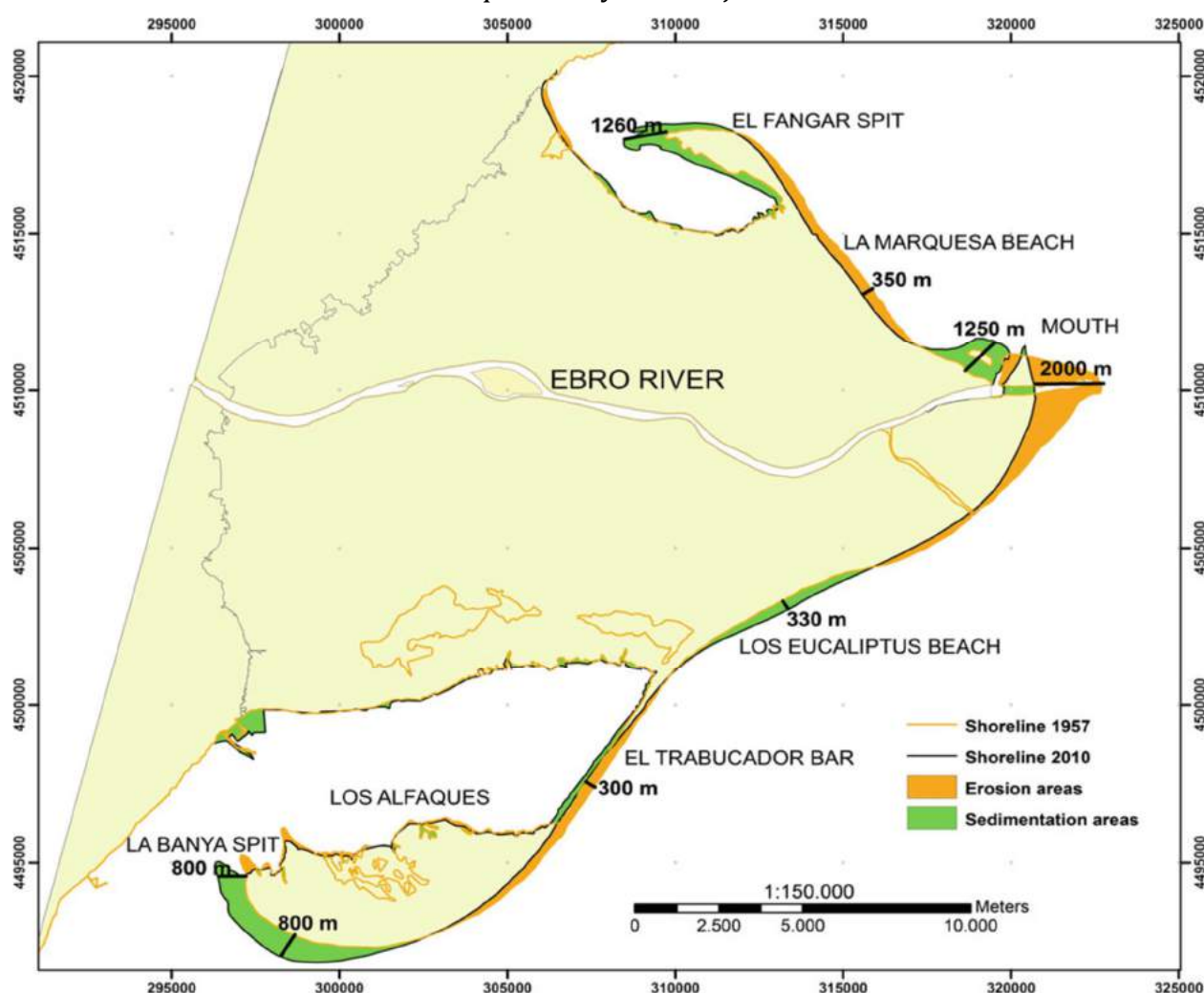


Figura 7. Distribución de las áreas de erosión y sedimentación en el periodo 1957-2010. Figura de Somoza y Rodríguez-Santalla (2014).

Así las áreas en las que se está produciendo erosión, y las que se siguen depositando sedimentos, se pueden apreciar en la figura 7, extraída de Somoza y Rodríguez-Santalla (2014).

La zona que ha experimentado la mayor erosión es la zona de Cap Tortosa, situada en las inmediaciones de la antigua desembocadura, que en el período 1957-2010 ha sufrido un retroceso de la línea de costa de unos 2.000 m. El material erosionado en esta zona, se traslada principalmente a la orilla del margen izquierdo de la nueva desembocadura, que en estos mismos años avanzó 1.250 m.

La evolución de la línea de costa en esta zona del Delta correspondiente a la desembocadura y el Cap de Tortosa, se puede ver en detalle en la siguiente figura, extraída del estudio realizado por Medina, Castanedo y Jiménez (2011), en la que se representan las líneas de costa referidas a los años 1956, 1973, 2000 y 2011, sobre la fotografía aérea de 2009, apreciándose claramente la erosión en la zona de la Isla de Sant Antoni (orilla derecha actual), y la sedimentación en la zona del Garxal (orilla izquierda actual).



Figura 8. Evolución de la línea de costa en la zona de la desembocadura y el Cap de Tortosa, en el periodo 1956-2011, sobre la fotografía aérea de 2009. Figura de Medina, Castanedo y Jiménez (2011).

Siguiendo hacia la flecha del Fangar en el norte del Delta, existe otra zona de erosión en la playa de La Marquesa, que según los autores Somoza y Rodríguez-Santalla ha retrocedido 350 m (figura 7), y cuyo material se ha depositado en la Punta del Fangar que la que se ha producido un crecimiento de 1.260 m durante el mismo periodo de tiempo.

Esta redistribución de los sedimentos, producida en la zona de la playa de La Marquesa y la península del Fangar, se puede ver más detalladamente en la siguiente figura extraída del estudio de Jiménez, Valdemoro, Alvarado y Gracia (2011), en la que se representan las líneas de costa para diferentes años entre 1957 y 2009, sobre la fotografía de 2009, y en la que se aprecia claramente la erosión en la playa de La Marquesa, y la sedimentación en la Punta del Fangar.

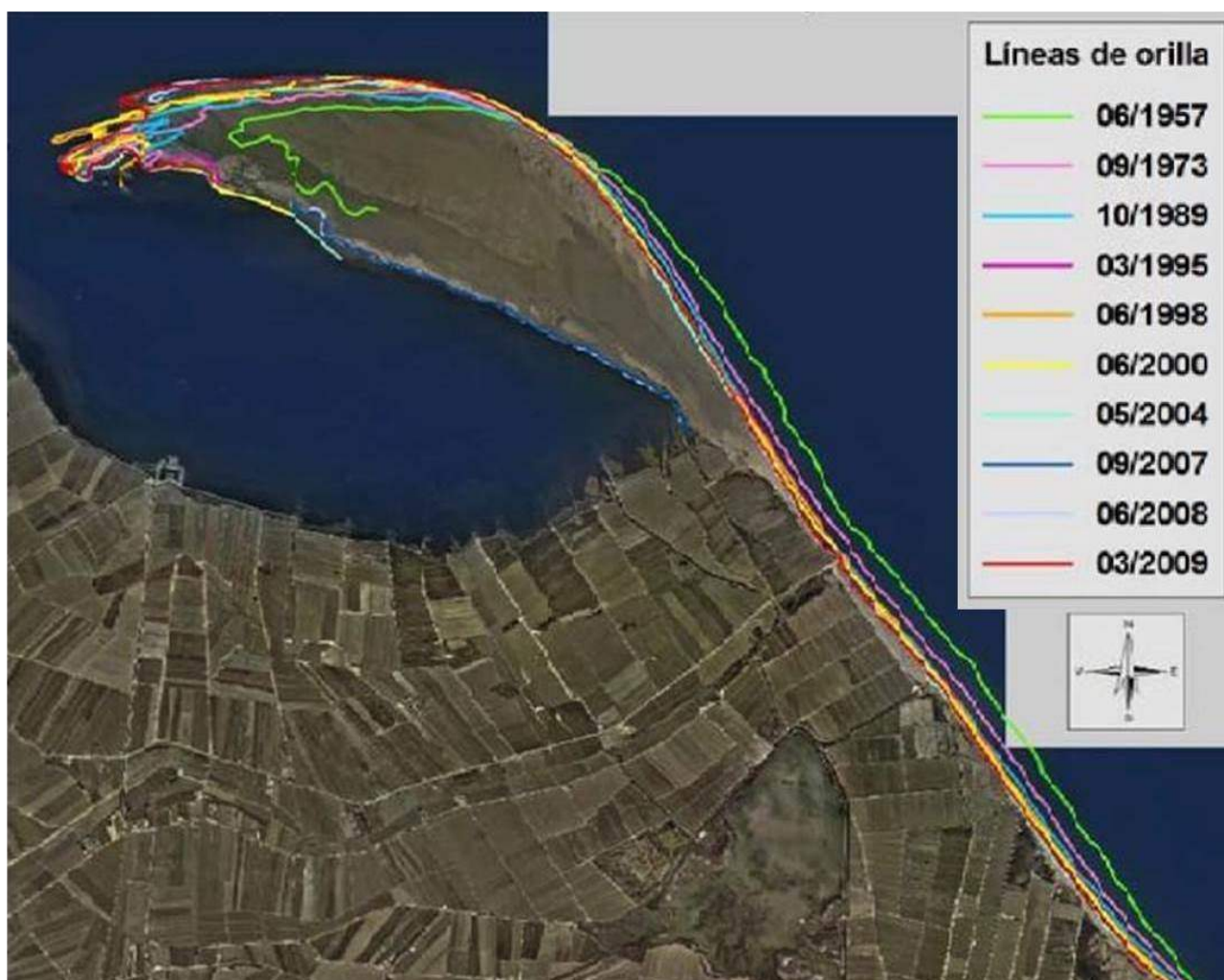


Figura 9. Evolución de la línea de costa en la zona de la península del Fangar y la playa de La Marquesa, en el periodo 1957-2009, sobre la fotografía aérea de 2009. Figura de Jiménez, Valdemoro, Alvarado y Gracia (2011).

Volviendo a la figura 7, otra parte del material erosionado en la antigua desembocadura del cap Tortosa, se ha trasladado hacia el sur, depositándose en la playa de los Eucaliptus que ha crecido unos 330 m hacia el mar en el mismo período de tiempo, según los autores de dicha figura.

Así en la siguiente figura 10, extraída del estudio de Jiménez, Valdemoro, Alvarado y Gracia (2011), aparece con más detalle la zona de la playa de los Eucaliptus, en la que se representan



las líneas de costa para diferentes años en el periodo 1957-2009, sobre la foto aérea de 2009, apreciándose claramente la sedimentación producida en esta playa durante los últimos 60 años en los que la arena ha ido ganando terreno al mar.



Figura 10. Evolución de la línea de costa en la zona de la playa de los Eucaliptus, en el periodo 1957-2009, sobre la fotografía aérea de 2009. Figura de Jiménez, Valdemoro, Alvarado y Gracia (2011).

Otra de las áreas que también ha experimentado un importante retroceso en los últimos 50 años es la zona de la barra del Trabucador, como se indica en la figura 7. Su evolución es diferente al resto del delta, ya que el Trabucador actúa como una playa barrera, y tanto su cara exterior como la interior se han desplazado hacia tierra, aunque en conjunto también se ha vuelto más estrecha.

En la siguiente figura 11, extraída también del estudio de Jiménez, Valdemoro, Alvarado y Gracia (2011), se puede apreciar con detalle esta zona del Delta, y la evolución que ha sufrido entre los años 1957 y 2009.

En dicha figura vemos que la barra arenosa se ha desplazado hacia la bahía dels Alfacs, tanto en su orilla interior que ha sufrido un retroceso, como en su orilla exterior, que además se ha erosionado a una velocidad mayor, lo que ha dado lugar también a un adelgazamiento a lo largo de este periodo de tiempo, haciendo la barra arenosa más estrecha, y ligeramente rotada en sentido horario.



Figura 11. Evolución de la línea de costa en la zona de la barra del Trabucador, entre los años 1957 y 2009. Figura de Jiménez, Valdemoro, Alvarado y Gracia (2011).

Esta barra del Trabucador es una de las áreas más sensibles del delta, ya que suele sufrir roturas durante el paso de los grandes temporales, dejando aislada la península de la Banya y transformándola en una isla, como sucedió durante el temporal de octubre de 1990 cuya rotura fue posteriormente restaurada con la fijación de la barra mediante una duna artificial. Recientemente, durante el temporal de enero de 2020, la barra volvió a romperse, como se puede apreciar en la fotografía satélite (Sentinel-2) de la figura 12.

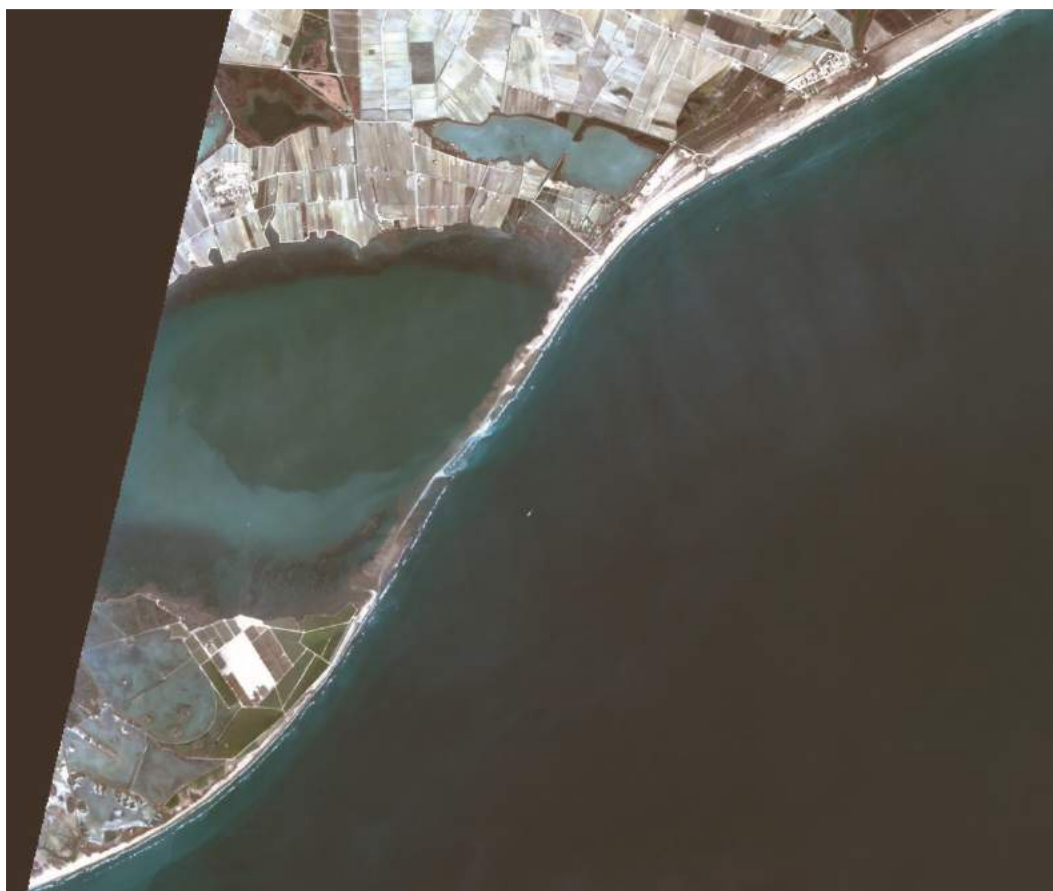


Figura 12. Foto satélite (Sentinel-2) en la zona de la barra del Trabucador, del día 27 de febrero 2020.

Finalmente, la última zona en la que la erosión y sedimentación están modificando la morfología del Delta es la península de la Banya, como también se indica en la figura 7. Gran parte del sedimento erosionado en la barra del Trabucador se deposita al final de la punta de la Banya, que ha avanzado unos 800 m hacia el suroeste en el periodo 1957-2010, acumulándose sólo en la cara externa de la punta, según los autores de esta figura.

En la siguiente figura 13, extraída también del estudio de Jiménez, Valdemoro, Alvarado y Gracia (2011), se puede apreciar esta zona en detalle, en la que se representan las líneas de costa para diferentes años en el periodo de 1957 hasta 2009, sobre la foto aérea de 2009.

En ella vemos el crecimiento hacia el exterior de la península de la Banya, por la sedimentación de sucesivos cordones arenosos, que no se produce de manera uniforme sino que es mucho mayor durante los primeros 16 años (de 1957 a 1973, en los que todavía no estaban en funcionamiento todos los embalses actuales, y el río Ebro aportaba una cantidad superior de sedimentos), que en los últimos 36 (de 1973 a 2009), en los que el crecimiento se ha ralentizado bastante.

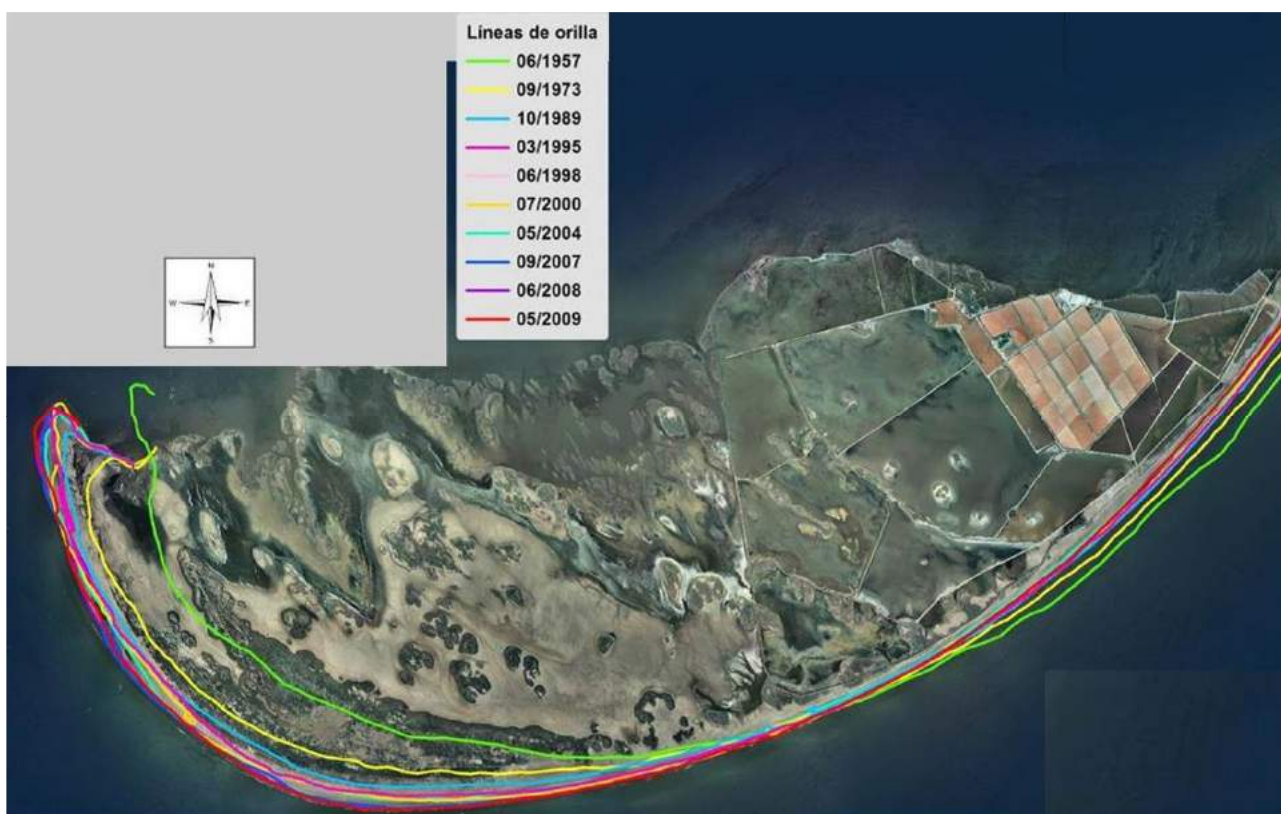


Figura 13. Evolución de la línea de costa en la zona de península de la Banya, durante el periodo 1957-2009, sobre la fotografía de 2009. Figura de Jiménez, Valdemoro, Alvarado y Gracia (2011).

En cuanto a la evolución de cara al futuro, si la situación del Delta se mantiene como en la actualidad, es de esperar que continúe el retroceso del morro central del Delta, lo que llevaría a la desaparición de la isla de Buda, y que poco a poco continuaría avanzando, llegando a afectar a urbanizaciones y campos de cultivo.

El siguiente paso sería la rotura y desaparición del istmo del Trabucador, dejando a la flecha de la Banya como una isla, que poco a poco se iría desintegrando también, y posteriormente le ocurriría lo mismo a la flecha del Fangar.

Además este proceso podría verse acelerado por el ascenso del nivel del mar debido a los procesos derivados del cambio climático, unido a una subsidencia agravada por la falta de sedimentos.



Por lo tanto, de seguir con la tendencia actual en la dinámica sedimentaria, añadiendo las previsiones referentes a los efectos del cambio climático, nos encontraríamos escenarios diferentes en función de la variación en la subida el nivel del mar, representados en las siguientes figuras extraídas del estudio del Laboratori D'Enginyeria Marítima (2018).

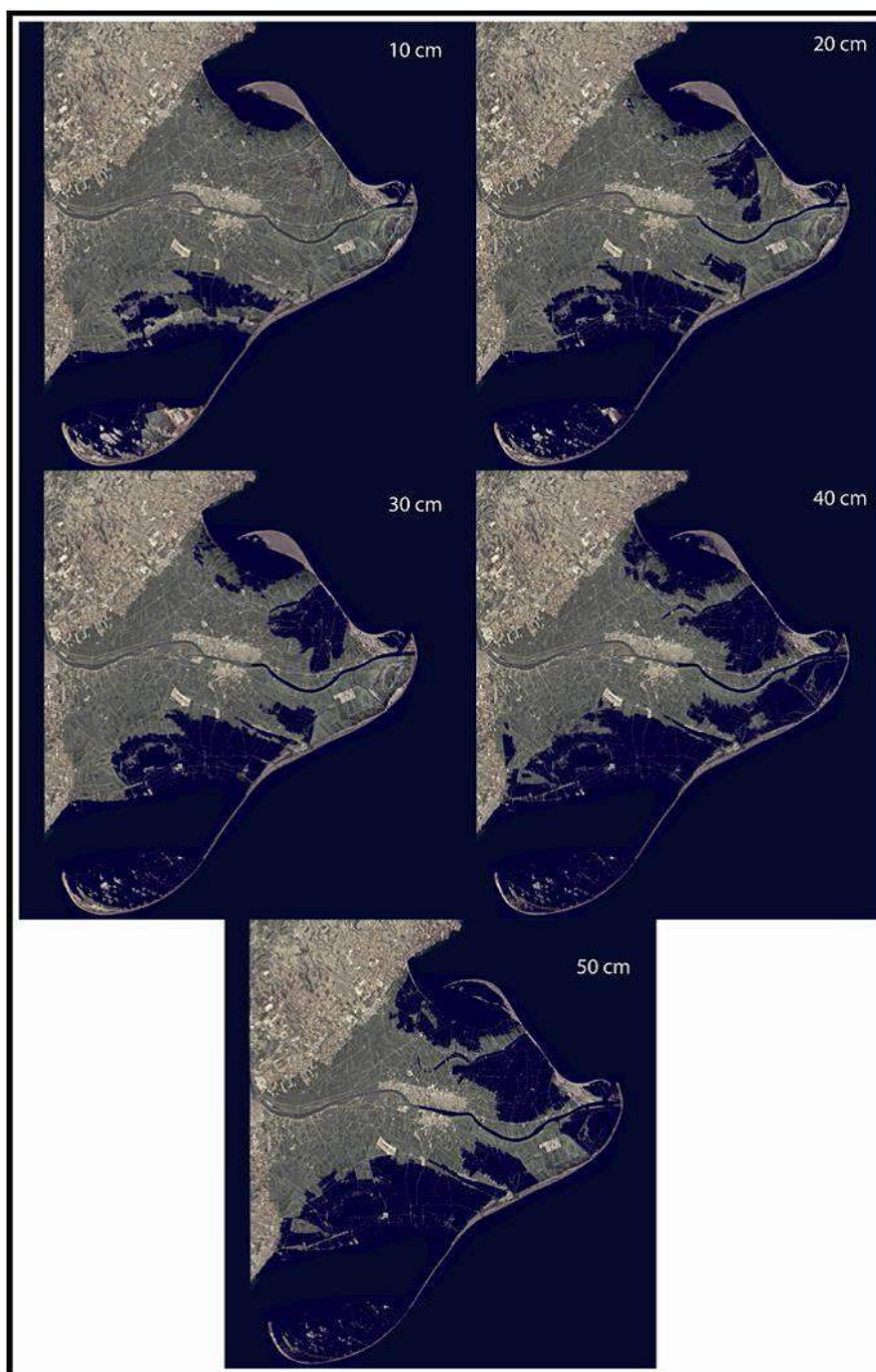


Figura 14. Zonas potencialmente inundables bajo una subida del nivel del mar entre 0,1 y 0,5 m. Figura de Laboratori D'Enginyeria Marítima (2018).



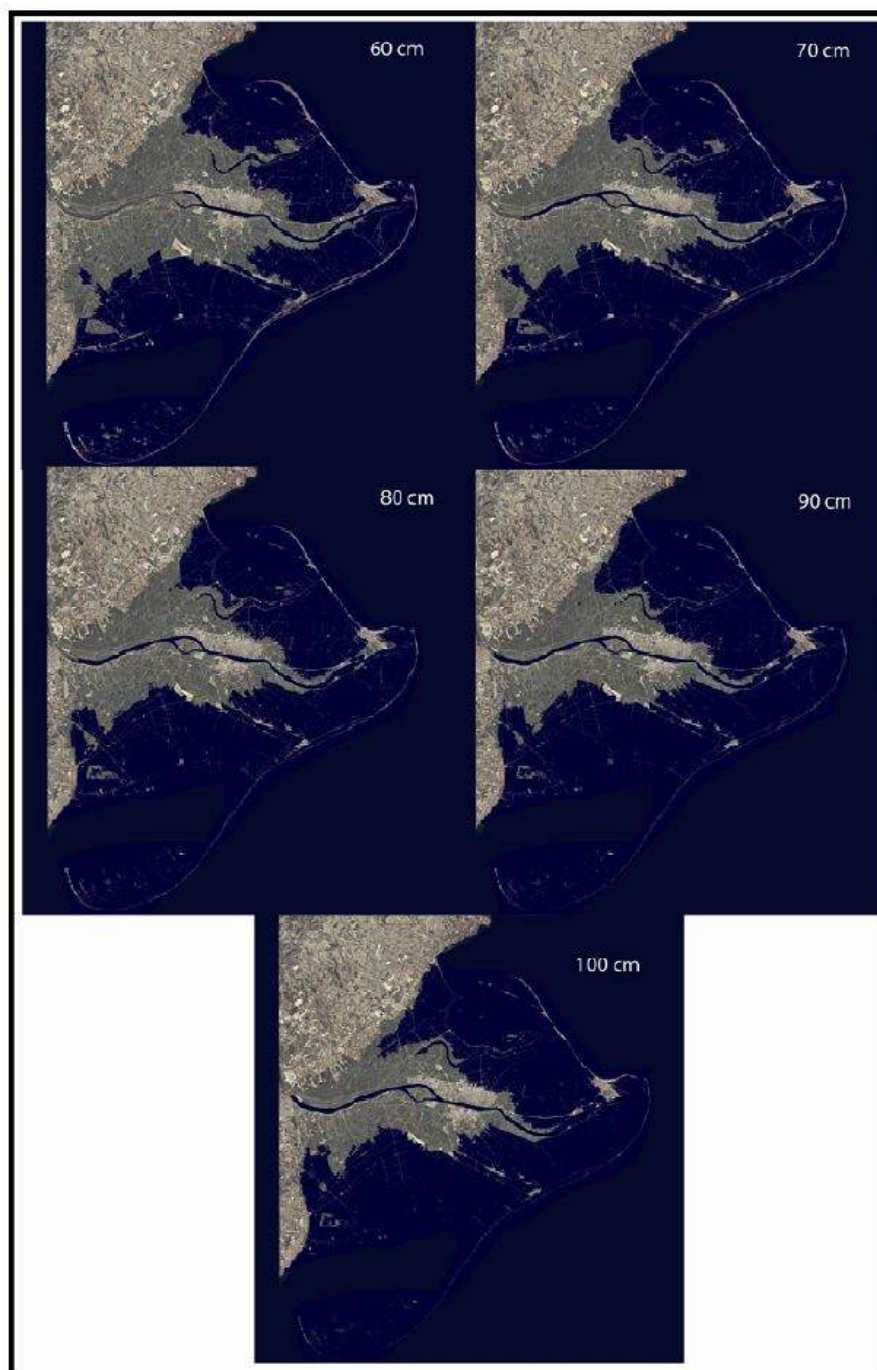


Figura 15. Zonas potencialmente inundables bajo una subida del nivel del mar entre 0,6 y 1,0 m. Figura de Laboratori D'Enginyeria Marítima (2018).

Como se puede apreciar en estas dos figuras 14 y 15, a partir de una subida del nivel del mar por encima de 0,4-0,5 m se produciría una reducción muy importante en la superficie del Delta, tanto en terrenos naturales como en los de uso agrícola, y sin tener en cuenta el

aumento de la capacidad erosiva de los temporales más intensos y frecuentes debidos al efecto del cambio climático.

#### **2.1.4. Dunas de Deltebre**

El Delta del Ebro es una de las formaciones sedimentarias más significativas de España, por presentar uno de los pocos campos activos de dunas que quedan en ella, además de por ser el delta más importante de la península.

En la última década del siglo XIX, según algunos autores (Mallada 1889), en todo el litoral del Delta del Ebro se desarrollaban campos dunares, pero la drástica reducción de los aportes sedimentarios del río, junto con los cambios producidos por el hombre, y los temporales marinos que azotan la zona, han hecho que los cuerpos dunares reduzcan su extensión, localizándose únicamente en los dos extremos del delta y en puntos aislados de su litoral. En la actualidad, los principales campos dunares se encuentran en la punta del Fangar, en la zona de Riumar, barra del Trabucador y punta de la Banya; ubicándose los dos primeros en el término municipal de Deltebre.

El origen y la evolución de los campos dunares, está directamente relacionada con la evolución del cuerpo deltaico sobre el que se asientan, explicado en el punto anterior, y con la dirección e intensidad de los vientos que actúan en la zona.

Estos campos dunares han sido descritos en trabajos bibliográficos previos como en Sánchez *et al.*, (2011), incluido en la publicación “Las dunas en España” Sanjaume y Gracia (Coords.) de la Sociedad Española de Geomorfología.

Los principales agentes que influyen en la dinámica dunar, según estos autores, son por un lado el **viento**, que tiene un doble efecto sobre los campos dunares, por una parte es el que los desarrolla y define su morfología, y por otra, es el que provoca la pérdida de sedimento.

Los vientos de componente E generan oleajes de gran altura y energía, provocando una intensa erosión costera que alcanza en ocasiones a los campos dunares. Los vientos del N o NO, aunque son el motor de la dinámica dunar del hemidelta norte, tienen un efecto negativo en los campos dunares ya que provocan una pérdida de sedimentos hacia el mar debido a la disposición de estos con respecto a la dirección del viento y a la línea de costa.

Otro de los agentes influyentes serían las **mareas**, la acción de las mareas meteorológicas es más importante, y tiene más implicaciones morfodinámicas, tanto en la costa como en los cordones dunares, que la de las mareas astronómicas.

Esta acción es mucho más peligrosa desde el punto de vista erosivo, cuando simultáneamente tenemos elevaciones del nivel del mar debidas a mareas meteorológicas y temporales marinos.

Por último el otro agente sería el **oleaje**, los oleajes debidos a los vientos del E son los que tienen efecto más dañino en el frente litoral.

La deriva litoral asociada al oleaje, tendrá dos direcciones dependiendo del hemidelta en que nos encontremos, en el norte se dirigirá hacia el NO y en el sur hacia el SO, siendo la responsable de la formación de las dos flechas arenosas que existen en ambos extremos litorales del Delta.

Según estos autores también, la situación actual es que la extensión de los campos dunares del Delta del Ebro está disminuyendo notablemente debido a la reducción de aportes sedimentarios hacia la costa, y a la intensa erosión a la que están sometidas las costas en las que se encuentran. En determinadas áreas, los campos dunares han desaparecido debido a la confluencia de la dinámica del oleaje, junto a la ocupación de la zona terrestre adyacente a la duna, lo que lleva a la disminución de la zona del litoral necesaria para asimilar los movimientos de retroceso tanto de la costa como de los campos dunares. Las ocupaciones que impiden el movimiento hacia el interior, son principalmente instalaciones artificiales como canales para el riego, arrozales, carreteras o edificios.

La distribución diferencial de los campos dunares en el delta está directamente relacionada con la orientación de la costa y con la dirección predominante de los vientos de mayor intensidad, cuya dirección es 315º.

La fuente de sedimentos para la formación de las dunas costeras del delta es doble, por una parte la transferencia litoral desde el frente deltaico, a lo largo de la línea de costa, en función de las corrientes marinas, tempestades y olas, y por otra parte, sedimentos relictos retrabajados por la erosión de los lóbulos deltaicos antiguos.

Los campos dunares más importantes situados dentro del término de Deltebre son los siguientes:

- **Dunas de la Punta del Fangar**

La Punta del Fangar se caracteriza por una llanura arenosa de gran amplitud, y por los campos dunares que se encuentran tanto en la costa externa como en la costa interna, el área fuente de ambos campos dunares es la costa norte de la flecha.

En la costa externa se encuentra el único campo de dunas móviles del delta del Ebro, que se extiende paralelo a la línea de costa hasta el extremo distal de la flecha. La morfología dunar predominante es barjana, y el campo dunar tiene unas dimensiones de unos 4 km de longitud, entre 50 - 250 m de anchura, y una altura de duna que varía, hasta alcanzar la máxima de 5-6 m en la zona intermedia. La distancia entre las dunas y la línea de playa es variable, presentando en el norte varias decenas de metros, hasta no existir prácticamente separación entre las dunas y el mar en el sur, por lo que las dunas de la zona sur son más vulnerables al efecto de los temporales que en el norte.

En la costa interna de la flecha se desarrollan varios cordones dunares con vegetación, paralelos a la línea de costa, cuyo origen está en los diques arenosos artificiales construidos en la orilla, para proteger los cultivos marinos del interior de la bahía del Fangar de los vientos del norte.

#### **- Dunas de Riumar**

Las dunas de Riumar, se extienden en la zona de la actual ubicación de la urbanización del mismo nombre, y se han desarrollado a partir de las flechas arenosas formadas en la zona apical del hemidelta norte, como consecuencia de los cambios en la desembocadura Nord del Ebro.

Hacia la parte interior de la actual playa de Riumar, se extiende un ancho campo dunar, sobre el que se urbanizó el núcleo de Riumar, que rodea por su parte oeste a la laguna del Garxal junto a la desembocadura.



Figura 16. Cordón dunar dentro del campo dunar de Riumar, (Foto 041).

En la actualidad la parte más activa se desarrolla en el área entre la playa y la urbanización, con una zona dunar de más de 200 m de anchura y una longitud de más de 2 km que se extiende a lo largo de la costa hasta la desembocadura.

Se trata de diferentes cordones dunares parcialmente vegetados, orientados oblicuamente respecto a la línea de costa según los vientos dominantes del NE, con una altura de duna que puede sobrepasar los 5 m en las partes centrales.





Figura 17. Cordón dunar con vegetación parcial del campo dunar de Riumar, (Foto 034).

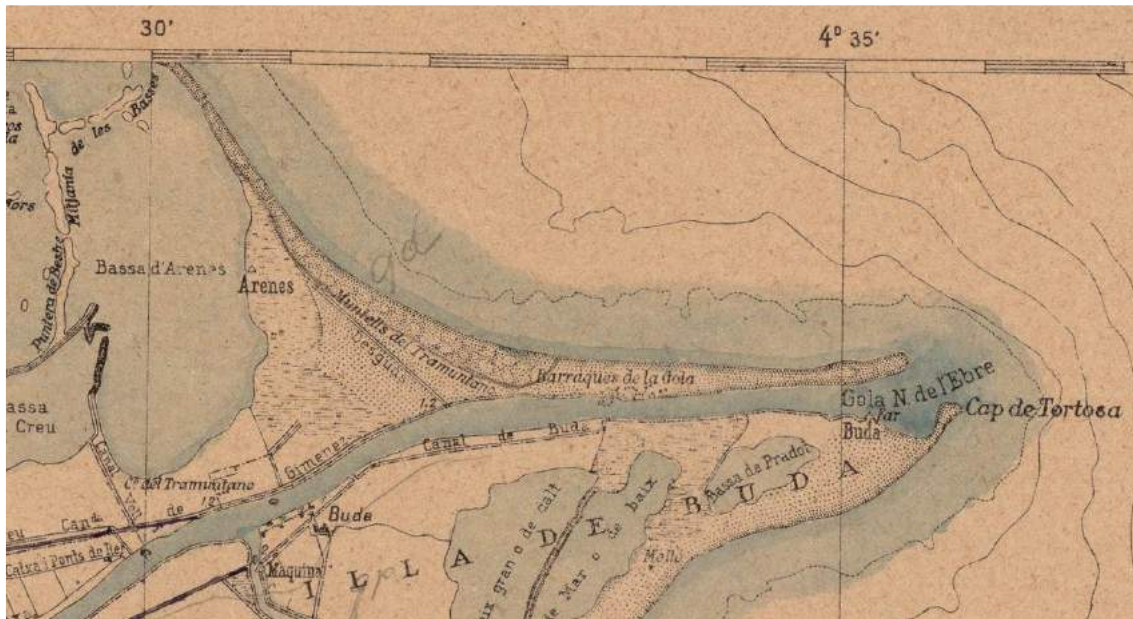
Las diferentes flechas arenosas que se han ido formando y añadiendo en la orilla izquierda de la desembocadura del Ebro, constituyen el sustrato sobre el que se han ido desarrollando los campos dunares, después de que la acción de la dinámica litoral haya hecho emerger las arenas, acumulándose en las zonas de playa.

Una vez emergidas las arenas, la acción eólica de los vientos las ha ido movilizándolo, e impulsando su avance tierra adentro, en las zonas donde han tenido espacio para hacerlo, como por ejemplo sobre las áreas de marismas de la laguna del Garxal.

Aunque en la actualidad, la parte más activa que presenta morfologías características de dunas se limita a la zona entre el paseo marítimo y el mar, se ha identificado como campo eólico una superficie más extensa en los alrededores del núcleo de Riumar, según se ha visto en el mapa de unidades geomorfológicas, de este mismo estudio.

Así se han identificado como campos eólicos todos los terrenos que se ha visto tenían características dunares o de arenas sueltas, en diversa bibliografía consultada como mapas geológicos, y en fotografías aéreas antiguas.

Algunas zonas de estos campos eólicos posteriormente, y debido a la alteración antrópica principalmente, han perdido parte de sus características morfológicas, como consecuencia del proceso de urbanización de los alrededores del núcleo de Riumar, y se han identificado como campos eólicos degradados en el mapa geomorfológico, aunque siguen conservando en parte su aspecto de sedimentos arenosos sueltos según las fotografías aéreas más antiguas.



An aerial photograph of a glacier. A yellow dashed line traces a path across the upper part of the glacier, starting from the left and curving towards the right. A red dashed line with white cross markers follows the edge of the glacier in the lower right corner. The glacier surface shows various textures and features, including a prominent linear depression on the left.

-34-



En estas otras figuras se puede ver el aspecto de la zona de Riumar ya urbanizada en las fotos aéreas de 1998, en la que a pesar de la antropización del área, todavía se observan ciertas formas dunares en las arenas, con la vegetación desarrollada formando cordones.



Figura 20. Zona de NO de Riumar urbanizado, con aspecto arenoso dunar en la foto aérea de 1998 (I.C.G.C.).



Figura 21. Zona de SE de Riumar con aspecto arenoso dunar en la foto aérea de 1998 (I.C.G.C.).



En las siguientes imágenes más actuales, se pueden observar ciertas formas dunares, a pesar de la alteración antrópica sufrida en la zona, su localización se indica en la figura 26.



Figura 22. Campo dunar del NO de Riumar, visto desde el límite con la playa, hacia el interior, imagen G-01 (Google 2013).



Figura 23. Campo dunar del SE de Riumar, visto desde el límite con la laguna hacia el interior, imagen G-02 (Google 2014).



Figura 24. Campo dunar del SE de Riumar, visto desde la carretera del camping, hacia el norte, imagen G-03 (Google 2019).





Figura 25. Campo dunar del NO de Riumar, visto desde el límite con la playa, hacia el interior, imagen G-04 (Google 2014).



Figura 26. Localización de las imágenes tomadas de Google en la zona del campo dunar de Riumar.

## Principales amenazas de los campos dunares

Las principales amenazas para los campos dunares del Delta del Ebro, según los autores Sánchez *et al.*, (2011) citados, son los efectos derivados de la disminución de aportes sedimentarios por el río, de la erosión costera, y del cambio climático.

La **disminución de la carga** de sedimentos en suspensión, ha sido debida a la alta regulación hídrica del río Ebro desde principios del siglo XX hasta la actualidad. También aunque en menor medida, las repoblaciones forestales llevadas a cabo entre 1960 y 1970 han tenido un efecto negativo en la disponibilidad de sedimentos para el transporte por el río. Con respecto

a principios del siglo XX, en la actualidad se descarga un 3% de sedimentos tanto en suspensión como en carga de fondo.

Otra de las amenazas para los campos dunares es la **erosión costera**, y en nuestro caso del término de Deltebre, el área más amenazada es la zona de la playa de La Marquesa, puesto que es una de las zonas que actualmente se encuentra en retroceso. Además ante la erosión costera, la defensa de los campos dunares es el desplazamiento tierra adentro, en los casos que no existan límites para dicho desplazamiento, como es el caso de las dunas del Fangar. Sin embargo, en otros casos como las dunas de Riumar, o las de la playa de La Marquesa, sí existen esos límites para el desplazamiento, en concreto zonas urbanizadas y campos de cultivos de arroz, y por lo tanto están condenadas a su desaparición.

Los efectos del **cambio climático**, son otra de las grandes amenazas a las que se enfrentan los campos dunares del Delta del Ebro, y en general el delta en su totalidad, y que consisten fundamentalmente en el aumento de la frecuencia e intensidad de los temporales de oleaje, y la elevación del nivel medio del mar. Según las previsiones del informe de 2007 del IPCC para el año 2100, la subida media del nivel del mar será de 0,17 a 0,6 m que conllevará un aumento en la frecuencia de las inundaciones y erosión costera debido a las tempestades.

Según algunos estudios, un aumento de 0,5 m del nivel medio del mar, supondría la desaparición de alrededor del 50% del Delta del Ebro, provocando que los campos dunares queden más expuestos al efecto del oleaje, y que sean más vulnerables ante los temporales, principalmente los que se encuentran más cercanos a la orilla, como el de la punta del Fangar o el de Riumar, dentro del término de Deltebre.

Si a este ascenso relativo del nivel del mar le unimos la subsidencia del delta, que según estimaciones directas de la tasa de subsidencia realizadas por el ITGE (1996), obtienen un valor aproximado de 0,20 cm/año, la situación del delta se agrava todavía más, y por lo tanto la estabilidad de este tramo de costa.

## 2.2. Evolución histórica

A partir de las ortofotos históricas obtenidas del visor de la web del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC Vissir v3), es posible observar la evolución del delta del Ebro en su conjunto, y de la zona de estudio en el término de Deltebre en particular, a lo largo de las últimas décadas.

A continuación se comentan las fotografías más significativas, mientras que la serie completa de ortofotografías de todos los años disponibles en el ICGC, se presenta en el anejo 2 de este estudio. Las ortofotos se han representado con los límites de los términos municipales como referencia para localizar Deltebre, incluyendo también la línea de costa reciente (línea amarillenta), para poder visualizar las variaciones de la misma a lo largo del tiempo.

En la primera fotografía de 1946 se puede apreciar cómo la desembocadura se encontraba todavía en la zona del Cap de Tortosa, en la denominada desembocadura de Buda, en el extremo este del delta. La isla de Buda se extendía mar adentro también hacia el Este, y la isla de Sant Antoni se encontraba en la orilla izquierda del río justo en la desembocadura, y con una forma alargada, paralela al cauce final del Ebro, presentando una morfología totalmente diferente a la actualidad.

En la llanura deltaica se pueden apreciar ya numerosos cultivos de arroz, aunque todavía se observan grandes zonas inundadas de lagunas y marismas en las partes más cercanas al litoral del delta, e incluso se observan claramente antiguos cauces abandonados, como el cauce de Sol de Riu en el lóbulo norte, que todavía no ha sido desecado por completo y se conserva inundado, aunque ya no funciona como salida hacia el mar.

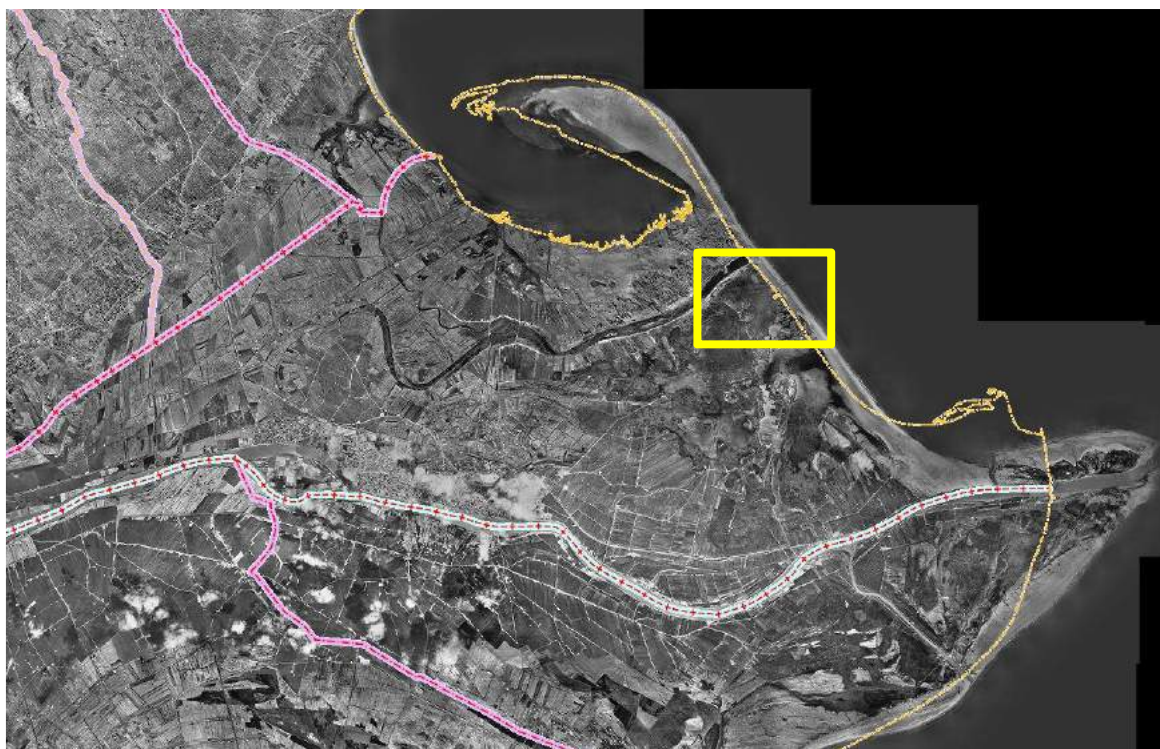


Figura 27. Ortofotografía de 1946, Ministerio defensa.

La flecha litoral del Fangar en el Norte, se encuentra totalmente desarrollada y cubierta por zonas arenosas, que interpretamos como campos dunares y arenas eólicas, aunque su forma es menos alargada que en la actualidad, y su posición se encuentra desplazada hacia el Este respecto a su posición actual. También se pueden apreciar grandes zonas arenosas que se interpretarían como campos dunares y playas en la zona de Riumar – playa de la Marquesa – isla Sant Antoni en el lóbulo norte, y en la zona de Buda – playa de L’Alfacada en los lóbulos frontal y meridional. En la zona entre Riumar y el Fangar se puede observar la posición de la línea de costa, desplazada bastantes metros hacia el mar (cuadro amarillo y figura 28).





Figura 28. Detalle del retroceso de la línea de costa en la ortofoto de 1946, (cuadro amarillo).

En cuanto a los núcleos de población y zonas urbanizadas, solamente aparece el núcleo de Deltebre dentro del mismo término municipal, ya que Riumar todavía no se ha desarrollado, permaneciendo como una zona de campo dunar y zona de marisma.

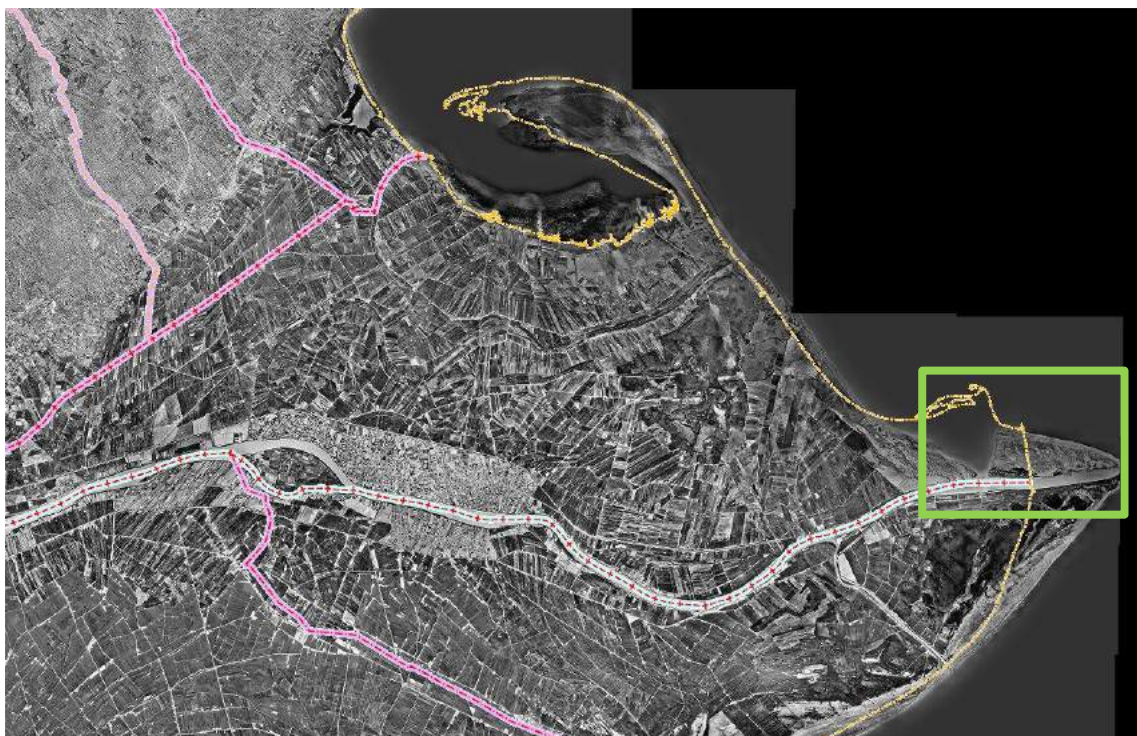


Figura 29. Ortofoto de 1956, Ministerio defensa.

La siguiente figura 29, corresponde a la imagen del vuelo americano de 1956, y en ella se puede observar en la parte derecha de la imagen, la desembocadura de Buda que continúa en



funcionamiento, aunque ya se ha ensanchado la desembocadura del Nord en la orilla izquierda, (que existía en la foto anterior aunque mucho más estrecha), y también continúa funcionando la desembocadura de Migjorn, en la parte sur de la isla de Buda, manteniéndose la morfología totalmente diferente respecto a la desembocadura actual (cuadro verde y figura 30).

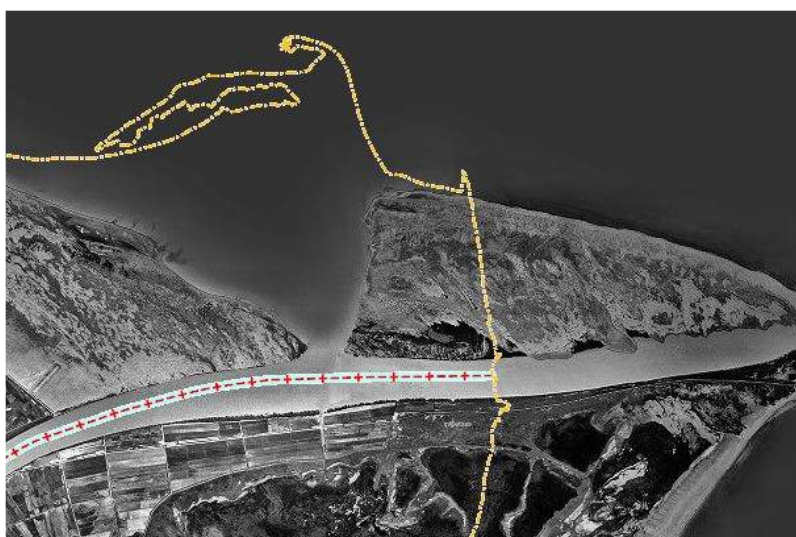


Figura 30. Detalle del cambio de morfología y posición de la desembocadura en la ortofoto de 1956, (cuadro verde).

En la llanura deltaica se puede observar cómo los cultivos de arroz han aumentado en superficie, ocupando también parte de los antiguos cauces abandonados como el de Sol de Riu, que todavía se puede intuir, pero ya se encuentra desecado, reduciéndose las áreas inundadas.

También han disminuido las áreas arenosas y de marismas en la zona de Riumar, que también se han transformado en arrozales, y ha retrocedido ligeramente la línea de costa respecto a la ortofoto anterior, en el litoral NE en la zona entre Riumar y el Fangar. En cuanto a los núcleos de población, se aprecia el gran crecimiento de Deltebre en la zona central de la llanura deltaica.

En la ortofoto de 1993 de la figura 31, se puede apreciar un cambio bastante importante, respecto a las ortofotos de años anteriores, el cambio de posición y morfología de la desembocadura. La desembocadura de Buda ha quedado abandonada y transformada en parte en arrozales, y se ha abierto completamente la desembocadura del Nord, que se va a mantener ya hasta la actualidad.

La morfología alargada en dirección Este se ha redondeado bastante, y ha retrocedido la línea de costa en toda esta zona de Illa de Buda – Illa de Sant Antoni, pasando ésta última a formar parte de la orilla derecha, en lugar de en la orilla izquierda donde se encontraba anteriormente (cuadro rojo y figura 32). La orilla izquierda de la nueva desembocadura se ha

ido rellenando con los materiales movilizados de la antigua morfología, formándose la zona de marisma del Garxal, y la extensión de la playa y dunas de Riumar.



Figura 31. Ortofoto de 1993, ICGC.



Figura 32. Detalle de la desembocadura del Nord en la ortofoto de 1993, (cuadro rojo).

También se puede observar un ligero crecimiento de la flecha del Fangar por su extremo Oeste, y su posición bastante parecida ya a la actual, consecuencia del retroceso de la línea de costa tierra adentro, en esta zona entre Riumar y el Fangar.



Además sobre la llanura deltaica han aparecido nuevos cultivos de arrozales en los alrededores de la laguna de Canal Vell, y ha comenzado a desarrollarse el núcleo urbanizado de Riumar, con la consiguiente antropización de una extensa zona de marismas y campos dunares.

En la figura 33 se representa la ortofoto del año 2004, en la que se puede apreciar la desembocadura ya consolidada en su posición actual, continuando el retroceso de la línea de costa en su orilla derecha, en la parte exterior de la Illa Sant Antoni, y aumentando el depósito de sedimentos en la orilla izquierda, donde se produce el crecimiento de la playa y dunas de Riumar, por delante de la zona de marisma del Garxal.



Figura 33. Ortofoto de 2004, ICGC.

En el extremo de la punta del Fangar se observa también un ligero crecimiento en dirección Oeste, respecto a la ortofoto anterior, y dentro de la llanura deltaica también se puede observar un aumento en la antropización y urbanización del núcleo de Riumar y sus alrededores.

En la ortofoto de la figura siguiente del año 2011, no se aprecian grandes cambios en cuanto a la dinámica sedimentaria, que continúa en la misma tendencia, la línea de costa ha retrocedido ligeramente en el extremo Este donde se encontraba la antigua desembocadura de Buda, y en la zona entre Riumar y el Fangar.

Por el contrario en el extremo de la flecha del Fangar y en la orilla izquierda de la desembocadura sigue produciéndose depósito de sedimentos y por lo tanto un ligero crecimiento del área emergida.



Figura 34. Ortofoto de 2011, ICGC.

Además se puede observar en la zona litoral en el límite noroeste del municipio, la transformación de una franja costera de cultivos de arroz en el Humedal de decantación de Illa del Mar (cuadro azul y figura 35).



Figura 35. Detalle del humedal de decantación Illa del Mar en la ortofoto de 2011, (cuadro azul).



Este humedal artificial, (aunque con anterioridad al desarrollo de los cultivos de arroz, la zona ya era un área inundada de marismas naturales), tiene la función de filtro de las aguas procedentes de los campos de cultivo de arroz, antes de su desagüe en la bahía, para que se depositen nutrientes, plaguicidas, etc., utilizados en los cultivos, y evitar la pérdida de calidad de las aguas de la bahía.

Por último, en la figura 36 se representa la ortofoto más reciente de la web del ICGC, del año 2019, en la que se puede observar la coincidencia de la línea de costa reciente con la morfología del terreno tanto en la zona de la desembocadura como en la zona de la península del Fangar.

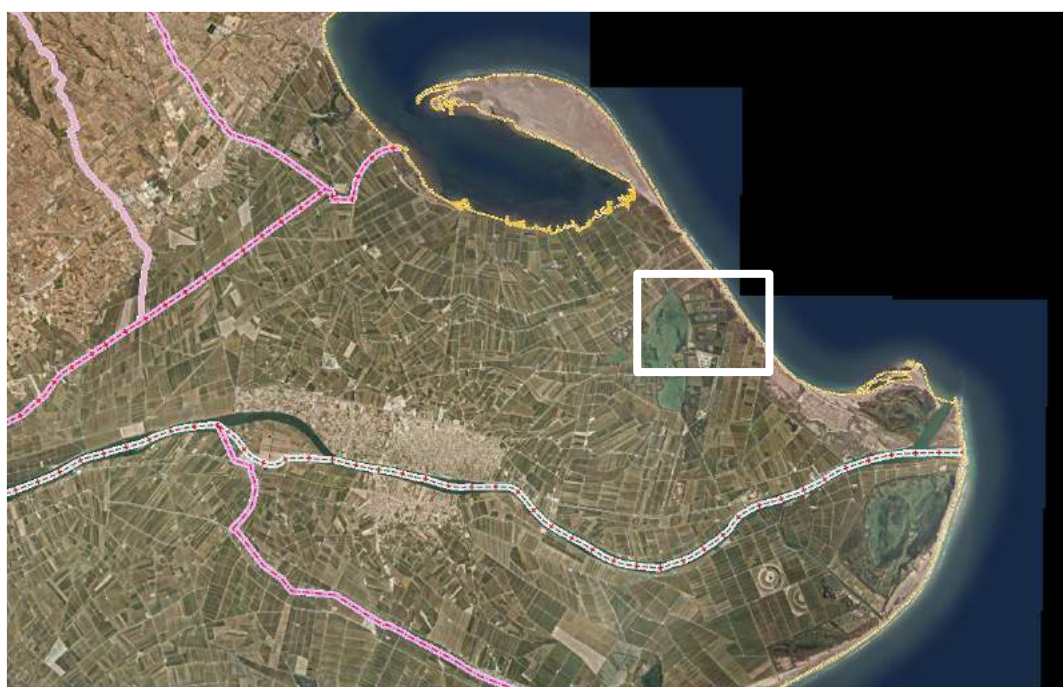


Figura 36. Ortofoto de 2019, ICGC.

En la zona de la desembocadura, la orilla izquierda sigue creciendo en extensión, superando incluso en longitud a la orilla derecha formada por la Illa de Sant Antoni, cuya línea de costa exterior sigue retrocediendo. Este crecimiento de la orilla izquierda se produce por el desarrollo de sucesivas flechas litorales que se van adosando, formándose entre ellas pequeñas lagunas litorales.

También se puede observar, en la zona entre la laguna de Canal Vell y la costa, el cambio sufrido en los campos de cultivo de arrozales (cuadro blanco y figura 37). En esta zona pegada a la laguna de Canal Vell, que fue adquirida por la administración (Finca Bombita), se ha dejado de cultivar el arroz, y ha vuelto en parte a su estado natural de zona de marisma inundada, que era su naturaleza original antes de que se implantaran y desarrollaran los campos de cultivo del arroz.

La inundación de estas zonas renaturalizadas, se produce de una manera natural, tanto por alcance del oleaje durante los episodios de temporales, como por infiltración de las aguas subterráneas saladas, a través de los sedimentos permeables que constituyen la mayor parte del sustrato del delta.



Figura 37. Detalle de los arrozales renaturalizados de la finca Bombita en la ortofoto de 2019, (cuadro blanco).

Como conclusión, se puede indicar que a lo largo de los últimos 75 años según la evolución de las ortofotos disponibles, el delta del Ebro en general, y el término municipal de Deltebre en particular, han sufrido importantes cambios tanto en su morfología como en su uso, que se pueden apreciar especialmente en zonas como en la desembocadura, que ha pasado de la anterior desembocadura de Buda, a la actual desembocadura del Nord, o en los antiguos cauces abandonados como el de Sol de Riu, que han desaparecido completamente transformados en campos de cultivos de arroz.

Además también ha sufrido una importante disminución en superficie de sus zonas naturales de dunas eólicas o de lagunas y marismas inundadas, que se han visto transformadas también en campos de cultivos de arroz, aunque en algunos casos parte de estas zonas han revertido el proceso, y en los últimos años han recuperado parcialmente sus condiciones naturales originales previas a la implantación de los cultivos de arroz.

Otros de los cambios importantes se deben a la propia dinámica del Delta, que al ser un sistema activo y en evolución, sufre por un lado procesos de erosión localizada en algunas de sus partes, y por otro lado procesos de crecimiento por depósito de materiales resedimentados, principalmente por la dinámica litoral, que en el conjunto total del delta han provocado un cambio de tendencia desde los años 60, paralizando su crecimiento en extensión debido a la alteración antrópica de la dinámica sedimentaria.

Por último, y relacionado con todos los aspectos anteriores, se observa una profunda transformación de las condiciones naturales originales del Delta, producida principalmente



por la implantación de campos de cultivos de arroz, en gran parte de su superficie, junto con el aumento de las zonas urbanizadas dentro de la llanura deltaica, (esta transformación se ha producido donde anteriormente se desarrollaban de manera natural playas, dunas, marismas y lagunas litorales, según se ha visto en las ortofotos más antiguas, y algunos trabajos bibliográficos como el antiguo Mapa Geológico del año 1923 de Faura, que se representa en la figura 38). A todo esto se añaden las modificaciones antrópicas dentro de la cuenca hidrográfica del Ebro, que repercuten directamente en la evolución general de río y por lo tanto en el desarrollo de su delta, de una manera negativa, y que producen como consecuencia la degradación y el deterioro del entorno natural del mismo.

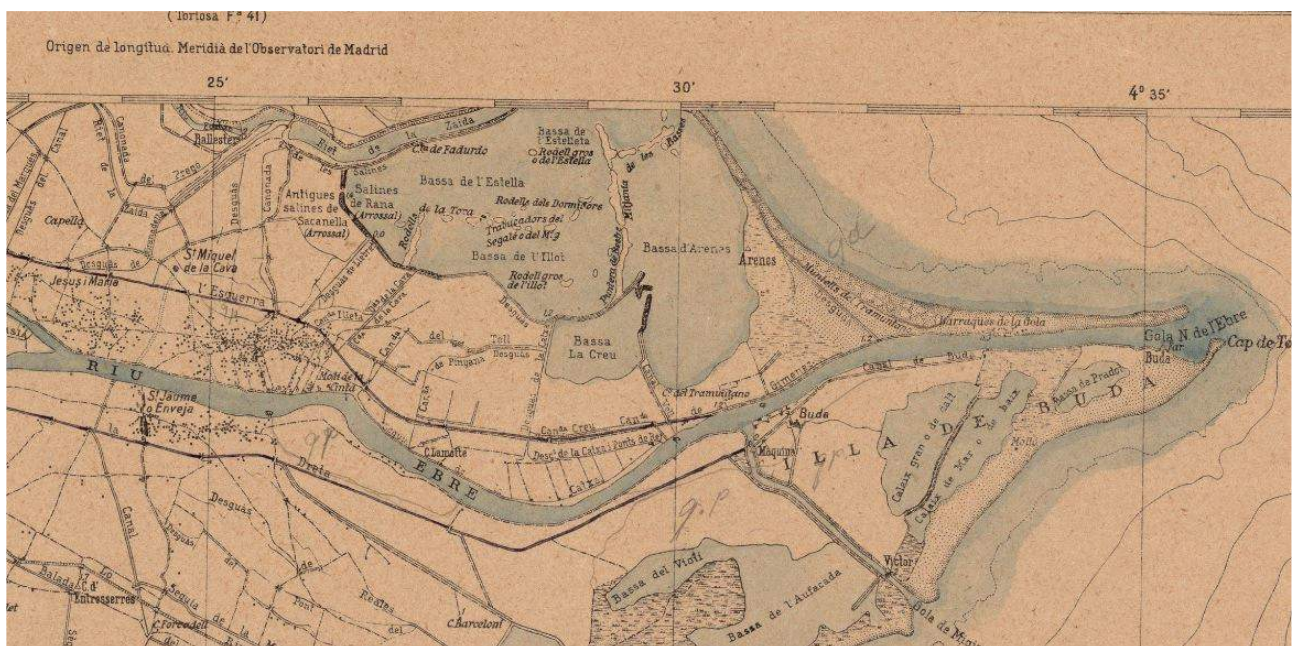
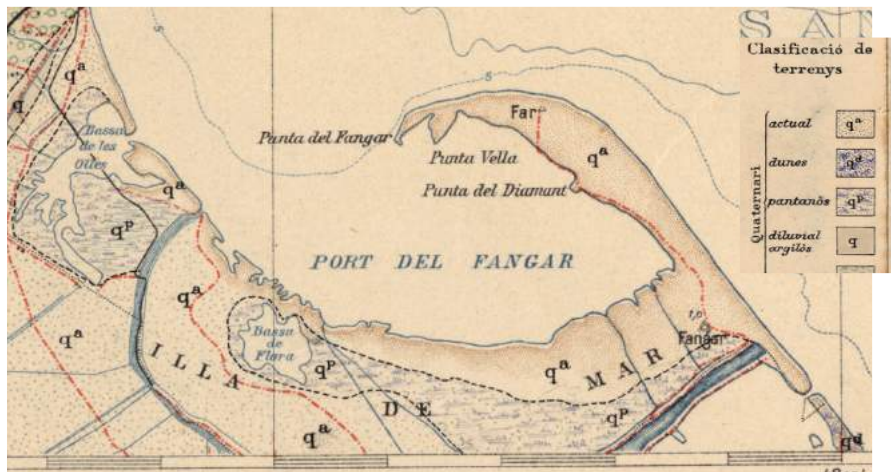


Figura 38. Imágenes del mapa geológico de 1923 de Faura, Tortosa y Goles del Ebre, en el que las lagunas o bassas muestran una superficie mucho mayor a la actual, al igual que las zonas “pantanosas” o marismas, y las dunas.

Sumados a todas estas modificaciones, habría que tener en cuenta para su futura evolución también los efectos del cambio climático, que ya se están notando a nivel global y también a nivel particular del Delta, como el aumento en frecuencia e intensidad de los temporales marinos, que afectarían directamente a la erosión del litoral del delta, o la elevación del nivel medio del mar, que de seguir la tendencia actual, llevarían a la reducción y posterior desaparición del Delta.

## 2.3. Estudio de salinidad

Durante el mes de enero de 2020 se realizó una salida a campo en el delta del Ebro, con la consiguiente toma de muestras para la estimación de la salinidad de las aguas de la zona inundada durante el temporal que azotó la costa mediterránea en esas fechas, y la realización de fotografías de campo.

La campaña de muestreo se llevó a cabo en los días 23 y 24 de enero de 2020, realizándose sobre el terreno las mediciones en las muestras de agua recogidas, con un Medidor de Conductividad portátil, y obteniéndose los valores de conductividad que se representan en la siguiente tabla.

MUESTRA	CONDUCTIVIDAD (uS/cm)
DE-01	327
DE-03	1.805
DE-04	27.650
DE-05	1.490
DE-06	13.120
DE-07	1.115
DE-08	1.349
DE-09	1.006
DE-10	576
DE-11	10.840

Tabla 1. Valores de conductividad de las muestras.

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

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

$$\text{Sales disueltas (mg/L)} = \text{Conductividad (uS/cm)} \times K$$



Tomando K los siguientes valores:

0,64 para aguas de conductividad  $\leq 5.000 \mu\text{S}/\text{cm}$

0,80 para aguas de conductividad  $> 5.000 \mu\text{S}/\text{cm}$

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

MUESTRA	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	SALINIDAD (mg/L)
DE-01	327	209,28
DE-03	1.805	1.155,2
DE-04	27.650	22.120
DE-05	1.490	953,6
DE-06	13.120	10.496
DE-07	1.115	713,6
DE-08	1.349	863,36
DE-09	1.006	643,84
DE-10	576	368,64
DE-11	10.840	8.672

Tabla 2. Valores de conductividad y salinidad de las muestras.

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.

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	10.000-35.000

Tabla 3. 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 (uS/cm)	SALINIDAD (mg/L)	CLASIFICACIÓN AGUA
DE-01	327	209,28	DULCE
DE-03	1.805	1.155,2	LEVEMENTE SALADA
DE-04	27.650	22.120	ALTAMENTE SALADA
DE-05	1.490	953,6	DULCE
DE-06	13.120	10.496	ALTAMENTE SALADA
DE-07	1.115	713,6	DULCE
DE-08	1.349	863,36	DULCE
DE-09	1.006	643,84	DULCE
DE-10	576	368,64	DULCE
DE-11	10.840	8.672	MODERADAMENTE SALADA

Tabla 4. Valores de conductividad, salinidad y clasificación del agua de las muestras

Según los valores obtenidos, las muestras recogidas se clasifican entre agua **dulce**, con escasa influencia marina (muestras DE-01, DE-05, DE-07, DE-08, DE-09 Y DE-10), agua **levemente salada** (muestra DE-03), agua **moderadamente salada** (DE-11) y agua **altamente salada** (muestras DE-04 y DE-06) con bastante influencia marina.

Estos mismos resultados trasladados al mapa del Delta del Ebro se encuentran representados en la siguiente figura 39 (y en el anejo 4), en la que se aprecia la distribución geográfica de los puntos muestreados y la distancia aproximada hasta la costa de cada uno de ellos, junto con la muestra correspondiente y su clasificación del agua en función de su salinidad, como se recoge en la tabla 4.

Para el caso particular del término municipal de Deltebre, corresponderían las cuatro muestras siguientes: DE-01, DE-03, DE-04 y DE-11

MUESTRA	CONDUCTIVIDAD (uS/cm)	SALINIDAD (mg/L)	CLASIFICACIÓN AGUA
DE-01	327	209,28	DULCE
DE-03	1.805	1.155,2	LEVEMENTE SALADA
DE-04	27.650	22.120	ALTAMENTE SALADA
DE-11	10.840	8.672	MODERADAMENTE SALADA

Tabla 5. Valores de las muestras tomadas dentro del término municipal de Deltebre.



Figura 39. Localización de las muestras y clasificación del agua para cada una de ellas.

Interpretando los resultados de una manera global sobre la extensión del delta, se puede deducir el alcance de la influencia marina durante el temporal ocurrido en las fechas previas al trabajo de campo.

Así las muestras clasificadas como agua **altamente salada** (DE-04 y DE-06), con una fuerte influencia marina, es decir presencia de agua del mar en una proporción muy alta, indicarían la entrada del oleaje de manera clara y continuada hasta su localización que se encuentra aproximadamente a 600 m (DE\_04) y 370 m (DE-06) de la orilla.

La muestra clasificada como agua **moderadamente salada** (DE-11), tendría también influencia marina importante, presentando agua marina en una proporción alta, lo que indicaría también la entrada del oleaje de manera clara, aunque no tan continuada como en el caso anterior, hasta su localización que se encuentra aproximadamente a 3.600 m de la orilla.

La muestra clasificada como agua **levemente salada** (DE-03), tendría menor influencia marina, presentando agua marina pero en menor proporción, que indicaría menor entrada del oleaje, y mayor mezcla del agua dulce procedente de los canales de los arrozales, hasta su localización aproximadamente a 1.400 m de la orilla.

Por último, el resto de las muestras clasificadas como agua **dulce**, tendrían una influencia marina escasa, aunque también podría interpretarse como una mayor influencia de las aguas de la red de canales de los arrozales procedentes del agua dulce Ebro que también sufrió en esas fechas una importante crecida por las lluvias.

En cuanto al término municipal de Deltebre, según la interpretación de los resultados realizada, se habría visto seriamente afectado por la entrada del oleaje durante el temporal de las fechas previas, sobre todo en las zonas donde se localizan las muestras DE-03, DE-04 y DE-11, siendo especialmente relevante en el área de la muestra DE-11 con un valor de **Moderadamente salada** a 3,6 km de la orilla del mar, y en el área de la muestra DE-04 con un valor de **Altamente salada** a 600 m de la orilla del mar.

Estos resultados estarían en consonancia con la información recopilada en algunos trabajos bibliográficos sobre las lagunas litorales, que señalan los valores elevados de salinidad que indicarían una clara influencia marina en su naturaleza.

Así por ejemplo López et al. (2015), realizan una clasificación de los ambientes acuáticos deltaicos con presencia de peces presentando valores medios de salinidad para las diferentes lagunas litorales (ver tabla), y también para otros ambientes acuáticos como marismas.

2007-2009	Olles	Platjola	Garxal	Alfacada	Buda	Canal Vell	Encanyissada	Tancada
Gener								
Febrer								
Març								
Abril								
Maig								
Juny								
Juliol								
Agost								
Setembre								
Octubre								
Novembre								
Desembre								
Rangs	Oligohalina 0,5-5 g/l		Mesohalina 5-18 g/l		Polyhalina 18-30 g/l		Euhalina 30-38 g/l	

Tabla 6. Valores mensuales medios de salinidad para las lagunas litorales, en el periodo 2007-2009, según López et al. (2015).

Según sus resultados tanto las marismas como la mayoría de las lagunas litorales, presentan valores de salinidad de aguas salobres o salinas en la mayor parte del año, y por lo tanto presentan clara influencia marina. En particular dentro de término municipal de Deltebre se encontraría por un lado Canal Vell, con valores altos de salinidad gran parte del año que implicarían una influencia marina, ya sea por alcance del oleaje en temporales o por infiltración de aguas del mar, y por otro Garxal, con valores algo más bajos de salinidad, debidos a la mayor influencia de las aguas del Ebro por su localización en la desembocadura.



En este mismo sentido, se ha consultado la información relativa a la salinidad de las lagunas litorales, recopilada por el Área de Protección e Investigación del Parc Natural del Delta de L'Ebre, que dispone de datos de seguimiento de diferentes parámetros tanto químicos como biológicos, de todas las lagunas litorales y otros hábitats acuáticos del Parque, de los últimos años.

A partir de esta información, se han seleccionado los datos correspondientes a las lagunas de Canal Vell y el Garxal, ambas situadas dentro del término municipal de Deltebre, recogidos a lo largo de la última década, entre los años 2010 a 2020 en diferentes meses del año, y en dos puntos de muestreo en la laguna Canal Vell, CV1 y CV2, y en otros dos puntos de muestreo para la laguna del Garxal.

Se ha tenido en cuenta en este caso únicamente el parámetro de salinidad (en g/l) de las aguas, como significativo en cuanto a la naturaleza e influencia marina en las lagunas litorales, y los datos recopilados se presentan en las siguientes tablas 7 y 8, para las dos lagunas citadas de Canal Vell y el Garxal, cuya localización exacta de los puntos de muestreo, se indica en la siguiente figura 40.

SALINIDAD CANAL VELL (g/l)																
	AÑO	2010									2011					
	MES	2	4	5	6	7	9	10	11	1	3	5	7	9	11	
PUNTOS	CV1	3,3	19,9	15,1	12,4	4,5	3,3	8,1	13,7	23,1		23				
	CV2	4,1	14,9	12,6	11,6	5,2	2,7		13,4	27,6	26,9	21,6	8,7	9,3	14,6	
	AÑO	2012									2013					
	MES	1	3	4	6	9	10	11	1	3	4	8	9	10	12	
PUNTOS	CV1	17,9	32,7	35	23,1	13,69	17,3	15,2	7,4	17,6	26,5	7,5	5,2	19,3		
	CV2				10,5	12,48							6,8		18	
	AÑO	2014									2015					
	MES	1	3	4	5	6	7	10	4	5	6	7	10	11	12	
PUNTOS	CV1	15,9	25,4	15,3	16,8	15,5	13,5	13,5	21,1	19,4	10,4	7,9	13,5	11,7		
	CV2			18,2	19,1	14,9	11,5		26,3	13,9	7,9	5,9				
	AÑO	2016						2017					2018			
	MES	1	3	4	5	6	7	2	3	3	4	5	9	11		
PUNTOS	CV1			22,1	18,7	10,5	5,9	21,58	21,5	22,8	24,8	12,68		13,17		
	CV2			21,4	15,4	14,1	5,1									
	AÑO	2019						2020								
	MES	1	2	3	10	12	12	1	3	9						
PUNTOS	CV1	9,31	15,65	12		16,6	15,16	7,95	9,2							
	CV2															

Tabla 7. Valores de salinidad (en g/l) para diferentes meses en la laguna de Canal Vell, en el periodo 2010-2020, datos aportados por el Àrea de Protecció i Recerca del Parc Natural del Delta de l'Ebre.

SALINIDAD EL GARXAL (g/l)																	
PUNTOS	AÑO	2010										2011					
	MES	2	4	5	6	7	8	9	11	12	2	3	5	7	8	9	
	GA1	1	3,5	4,4	7,2	10,3			9,2	7,7	5,3	3,4	6,9	9,1	9,1	7,6	
	GA2	2,09	E	3,6	7,1	10,9	8,3		8,7	6,2		2,5		2,7	4,5		

PUNTOS	AÑO	2012			2013							2014						
	MES	6	8	1	4	5	6	7	10	12	1	3	4	5	6	7	10	
	GA1	7	5,8	0,6	1,2	6,3	7,8	7,8	7,9	6,1	6,5	2,3	6	19,1	2,1	2,6	5,6	
	GA2	6,4	4,2			7,3	9,1	11,9					3		2,9	5,8		

PUNTOS	AÑO	2015							2016							2017			
	MES	4	5	6	7	10	12	1	3	4	5	6	7	9	2	2	3	9	
	GA1	1,1	2,1	2,9	4,1	6,6				1,5	2,2	1,9	2			6,61	4,45		
	GA2	0,5	3,1							0,8	2,7		1,8						

PUNTOS	AÑO	2018						2019					2020		
	MES	2	3	4	5	9	12	1	2	3	10	12	3	9	
	GA1	1,76	0,57	0,38	2,14		3,7	4,11	1,41	2,14		1,25	1,72		
	GA2														

Tabla 8. Valores de salinidad (en g/l) para diferentes meses en la laguna del Garxal, en el periodo 2010-2020, datos aportados por el Área de Protecció i Recerca del Parc Natural del Delta de l'Ebre.

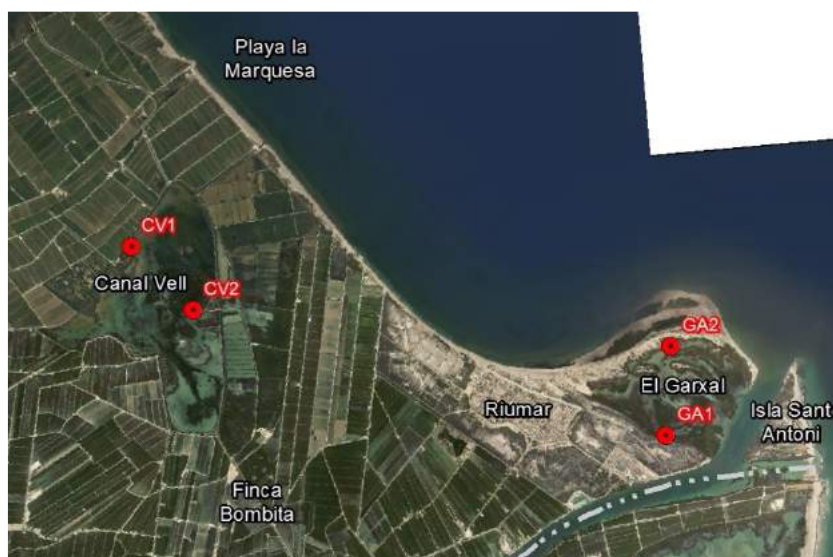


Figura 40. Localización de los puntos de muestreo del Parc Natural del Delta de l'Ebre, en las lagunas de Canal Vell y el Garxal.

Analizando los datos recogidos en las tablas, podemos observar las grandes variaciones en los valores de salinidad a lo largo del año, dependiendo del mes, y también entre los diferentes años. Esta variabilidad, como ya se ha comentado, se debe fundamentalmente a la influencia de ciclo de los cultivos de arrozales, cuyo desagüe de los campos modifica directamente la concentración de sales en las lagunas litorales, como puede ser el caso de la laguna de Canal Vell.

Por otro lado, en el caso de la laguna del Garxal, las variaciones de salinidad vendrían asociadas a los cambios en el caudal de las aguas del Ebro en su último tramo, que entraría en mayor o menor medida en la laguna, según el caudal fuese elevado o reducido, mezclando las aguas dulces del río con las de mayor concentración de sales de la laguna.

En cuanto a los valores de referencia de salinidad, como ya se ha indicado anteriormente en las tablas 3 y 6, por debajo de 1 (g/l) se considerarían aguas dulces, y por encima de 10 (g/l) se considerarían aguas saladas.

Por lo tanto según los valores de la tabla 8, en el caso del Garxal, tendríamos en general valores bajos, equivalentes a mezcla de aguas, alcanzando en algunos meses incluso valores de aguas dulces, que concuerda con la interpretación realizada para esta laguna, con gran influencia y conexión de las aguas dulces del río Ebro en su tramo final junto a la desembocadura, que es donde se localiza dicha laguna.

Del mismo modo, los valores de la tabla 7 para la laguna de Canal Vell, nos indican que en la mayoría de los meses de los últimos 10 años los valores son altos, correspondientes a aguas saladas, alcanzando incluso valores por encima de 30 g/l similares a las aguas del mar, que también estaría en consonancia con la interpretación realizada para la laguna de Canal Vell, con una clara influencia marina por alcance del oleaje durante los temporales y seguramente también debido a la infiltración de las aguas marinas bajo el sustrato sedimentario permeable de la llanura deltaica.

Por último, también se ha consultado información relativa a las lagunas litorales del Delta del Ebro en la web de la Agencia Catalana del Agua (ACA), y concretamente en su programa de seguimiento y control de las masas de agua, que se puede visualizar desde el visor de la ACA.

En este caso se ha realizado una consulta en dicho visor sobre la conductividad (parámetro relacionado directamente con la salinidad como hemos visto anteriormente, disponible entre los diferentes parámetros químicos y biológicos existentes en la red de control de la ACA), para las lagunas litorales existentes en el término municipal de Deltebre que son Canal Vell y el Garxal, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla.

<b>Resultats analítics de qualitat de les masses d'aigua</b>									
Data inici		1/1/2010 1							
Data fi		11/11/2020							
Xarxes de Control		Substàncies prioritàries i preferents							
Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura
2017/09/26	H240004000	H2400040	Delta de l'Ebre-El Canal Vell	313236	4512726	Conductivitat (camp)	-	16630	µS/cm
2018/05/15	H240004000	H2400040	Delta de l'Ebre-El Canal Vell	313236	4512726	Conductivitat (camp)	-	31760	µS/cm
2018/05/15	H240005000	H2400050	Delta de l'Ebre-El Garxal	318953	4510222	Conductivitat (camp)	-	612	µS/cm

Tabla 9. Resultados de la consulta realizada en el Programa de Seguiment i Control de la ACA.



Los datos disponibles en la ACA para estas lagunas, corresponden a los años 2017 y 2018 para el Canal Vell, y 2018 para el Garxal, y presentan unos valores que transformados a salinidad, resultan similares a los recopilados en otros organismos o trabajos, 13,3 y 25,4 (g/l) para el caso de Canal Vell y 0,4 (g/l) para el Garxal, por lo que la interpretación de la naturaleza de dichas lagunas litorales encaja, con lo expuesto anteriormente.

## 2.4. Fotografías de campo

Para completar los trabajos de campo llevados a cabo, además del estudio de salinidad de las aguas se realizaron una serie de fotografías de campo de las zonas accesibles durante los días 23 y 24 de enero de 2020 posteriores al temporal.



Figura 41. Localización de las fotografías realizadas en Deltebre.

En el anejo 3 se presentan la colección completa de las fotografías tomadas en el término municipal de Deltebre, y a continuación se ha hecho una selección con las más interesantes y una breve descripción.



Foto 031. Parte final del cauce del Ebro en primer término, detrás la zona de Illa de Buda – Illa Sant Antoni totalmente inundada, y al fondo el oleaje en los alrededores del Cap de Tortosa.



Foto 040. Cordón dunar en la zona de la playa de Riumar, con dunas bien desarrolladas de varios metros de potencia y cubiertas en parte por vegetación.



Foto 102. Alrededores de la playa de La Marquesa, en primer término zona inundada por el fuerte oleaje que penetró tierra adentro en esta zona del Delta muchos cientos de metros.



Foto 112. Campos de arroz inundados en la zona de la laguna Canal Vell desbordada por efecto de la entrada del agua del mar y el oleaje, muchos cientos de metros en esta zona del Delta.





Foto 008. Campos de cultivos de arroz inundados en la zona de Pont dels Moros, apenas quedan emergidos los montículos de separación entre los arrozales, por efecto del temporal.



Foto 113. Campos de cultivos de arroz inundados por efecto del temporal, se puede observar que el agua llega hasta borde de los montículos de separación entre los arrozales, en la zona central del hemidelta norte.

Como conclusión a las observaciones realizadas en campo y en las fotografías, junto con la interpretación del estudio de salinidad de las muestra recogidas, se puede deducir aproximadamente el alcance de los efectos del temporal y la lluvia ocurridos durante enero de 2020.

Así, el alcance del oleaje tuvo mayor repercusión en la zona de la playa de La Marquesa, en la que la rotura de los cordones arenosos de la playa propició la entrada del mar hasta al menos 3,5 km inundando la zona de la laguna de Canal Vell y los arrozales de alrededor, como se puede observar en la siguiente figura 42, que presenta una fotografía satélite Sentinel tomada el 23-01-2020.

Otra de las zonas más afectadas fue la zona de la isla de Buda y desembocadura, que también sufrió la rotura de los cordones arenosos de la playa de Buda y la entrada del mar en el Calaix Gran, que también se pudo apreciar en la fotografía satélite de la siguiente figura 42, aunque parte de esta zona se encuentra fuera de la zona de estudio del término municipal de Deltebre.

Por último, la tercera de las zonas más vulnerables del delta, la zona de la barra del Trabucador que igualmente se encuentra fuera de la zona de estudio del término de Deltebre, también sufrió las consecuencias de este temporal, rompiéndose la barra arenosa que une el Delta con la península de La Banya, como ya había ocurrido en otros temporales de años anteriores, y como se puede observar en la fotografía satélite de la figura 12 de este estudio.

Por lo tanto, de los efectos del temporal que vemos se han concentrado e intensificado fundamentalmente en tres zonas del Delta que son, la playa de La Marquesa, la isla de Buda y la barra del Trabucador, se puede deducir que se corresponden con las zonas en las que se están produciendo las mayores tasas de erosión en el conjunto de Delta, como se ha indicado en el punto 2.1.3 *Formación y evolución del Delta* de este mismo estudio.

Es decir, las zonas del Delta que están sufriendo una mayor erosión o retroceso, son las más vulnerables a los efectos de los temporales y las grandes tormentas, que previsiblemente se van a intensificar como consecuencia de los efectos del cambio climático.

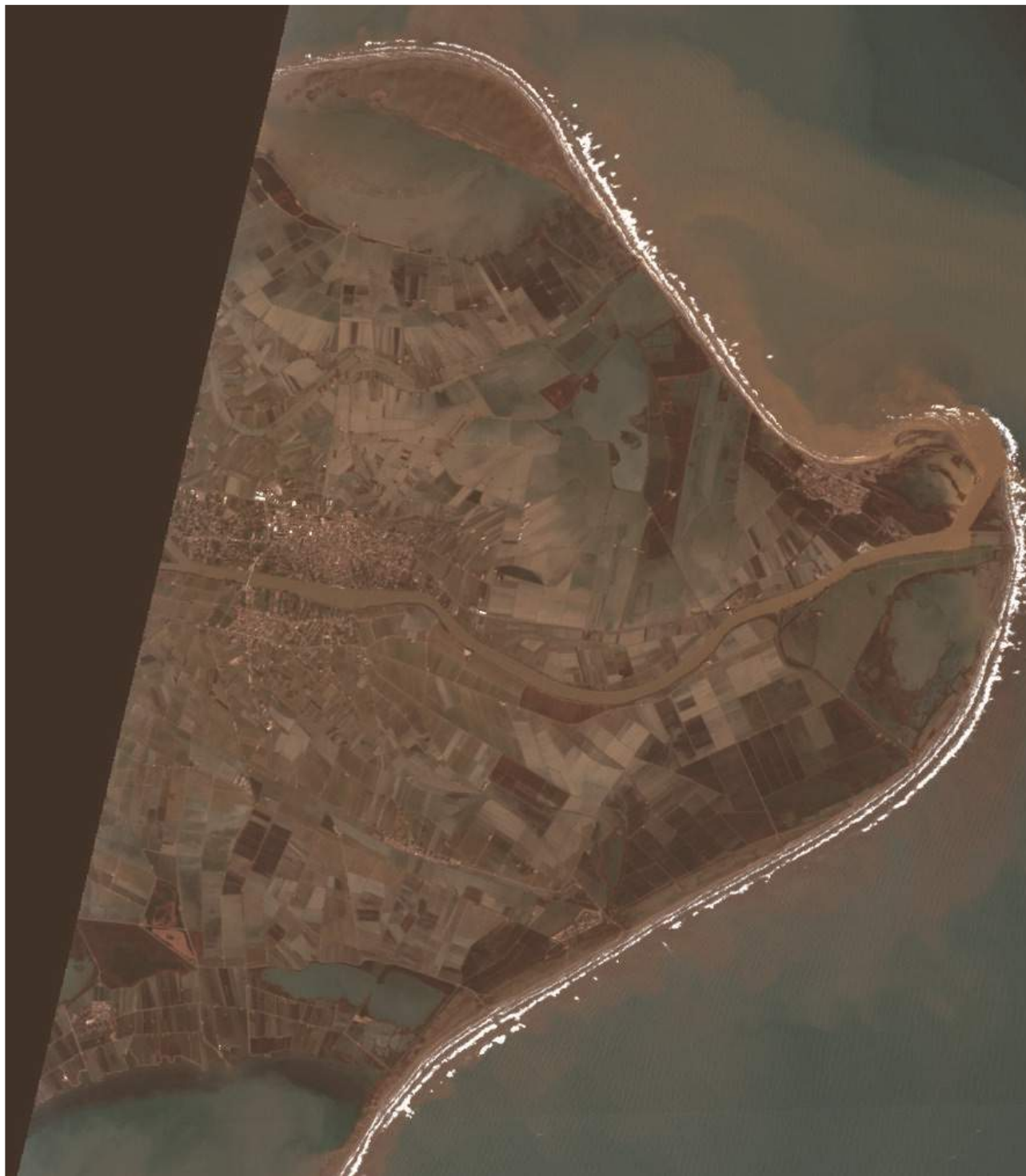


Figura 42. Fotografía satélite (Sentinel) del día 23 de enero 2020.



### 3. Propuesta de modificación del DPMT

Teniendo en cuenta la Normativa de Costas vigente en referencia a aspectos geomorfológicos del litoral, se realiza una propuesta para la incorporación al dominio público marítimo terrestre de ciertos terrenos que forman parte del término municipal de Deltebre, dentro del área del Delta del Ebro.

Analizando el Dominio Público Marítimo-Terrestre en la zona de Deltebre, junto a las características de cada uno de los terrenos incluidos en las diferentes unidades geomorfológicas identificadas para dicho término municipal, se observa a priori y sin perjuicio de posteriores estudios más detallados, que sería necesario incorporar al Dominio Público, una serie de zonas que se enumeran en la siguiente figura, dando lugar a la línea de deslinde indicada como “DPMT propuesto” (poligonal verde discontinua), que puede observarse de forma más completa en el anejo 4.



Figura 43. Propuesta de modificación del DPM-T con las zonas a incorporar.

Las zonas que se propone incorporar al DPMT, enumeradas en la figura 43, son:

- 1- **Humedal Illa del Mar.** Se trata de una zona identificada geomorfológicamente como zona de marismas – laguna litoral, debido a su naturaleza natural original, que se transformó en arrozal y posteriormente se ha vuelto a “renaturalizar” como filtro verde o humedal de decantación, en terrenos de titularidad pública propiedad de ACUAMED. Formaría parte del DPMT en virtud del artículo 3.1.a) de la Ley de Costas.
- 2- **Zona de la desembocadura del Desaigüe del Trastellador** en la bahía del Fangar. Es una pequeña zona identificada como marisma, por lo que debería pertenecer al DPMT según el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas.
- 3- **Zona junto a la playa de La Marquesa.** Se trata de una zona dunar con una pequeña área de marisma, formada por el retroceso de las arenas de la duna-playa sobre los arrozales existentes. Esta es una de las zonas más regresivas del Delta, con intensos y activos procesos erosivos de la línea de costa y su consiguiente retroceso hacia el interior del conjunto playa-duna, por lo que serían necesarios estudios más específicos con trabajos de campo y toma de muestras, para la determinación con mayor detalle del dominio público. Su incorporación al DPMT sería en función de los artículos 3.1.a) y 3.1.b) de la Ley de Costas.
- 4- **Bassa de Canal Vell.** Se trata de una laguna litoral con origen y naturaleza fuertemente influenciada por el mar, cuya inundación afectaría a algunos antiguos cultivos de arroz, “renaturalizados” en humedales, incluyendo una zona dunar entre la playa y la laguna. Se incluye también un humedal contiguo a la Estación Biológica de Canal Vell en la parte oeste de la bassa, que actualmente constituye una reserva de fauna desarrollada sobre una antigua explotación agraria y ganadera, en la que harían falta estudios más especializados con trabajos de campo y toma de muestras de aguas, para determinar con mayor detalle la posible zona marítima. Su incorporación al DPMT sería en función de los artículos 3.1.a) y 3.1.b) de la Ley de Costas.
- 5- **Finca Bombita.** Esta finca, colindante con la ribera del mar en contacto con bassa de Canal Vell, fue adquirida en el año 2010 para su incorporación al dominio público marítimo-terrestre, por lo que formaría parte del DPMT en virtud del artículo 4.8 de la Ley de Costas.
- 6- **Playa de Bassa de l’Arena o Nen Perdut.** Se trataría de una zona dunar con algunas pequeñas áreas de marismas, originada igual que la zona nº 3 por el avance tierra adentro de las arenas de la duna-playa sobre los arrozales, originado por el retroceso por erosión de la costa. Como en el caso anterior del punto nº 3, se encuentra en una de las zonas más regresivas del Delta, con intensos y activos procesos erosivos de la línea de costa que llevan asociado el retroceso hacia el interior del conjunto playa-duna, por lo que serían necesarios estudios más específicos con trabajos de campo y toma de muestras in situ, para la determinación con mayor detalle del dominio público en un área tan activa en cuanto a procesos erosivos litorales. Su incorporación al DPMT sería en función de los artículos 3.1.a) y 3.1.b) de la Ley de Costas.
- 7- **Zona de Riumar NO.** Se trata de un campo dunar de arenas eólicas asociado a la playa, sobre el que se comenzó a urbanizar la ampliación del núcleo de Riumar por su

extremo noroeste, y que posteriormente fue paralizado el proceso de urbanización, dando lugar a un campo dunar antropizado, Se han incluido las arenas eólicas que todavía conservan en parte sus características naturales originales, y se ha excluido la zona interior más antropizada, identificada como campos eólicos degradados, siendo necesarios estudios más específicos con trabajos de campo y análisis de muestras de arenas, para la delimitación con mayor precisión del dominio público. Su incorporación al DPMT sería gracias al artículo 3.1.b) de la Ley de Costas.

- 8- **Zona Riumar SE.** Se trata al igual que la zona anterior de un campo dunar de arenas eólicas, situado en este caso sobre la zona puntal del hemidelta norte del Delta, junto a la desembocadura del Ebro, formado sobre un cordón litoral antiguo. Como en el caso del punto anterior, debido al proyecto de ampliación del núcleo de Riumar hacia el sureste, sufrió en parte un proceso de urbanización, que fue paralizado y abandonado posteriormente, dando lugar a un campo dunar antropizado en el que sí se mantienen en activo las instalaciones de un camping, junto a la orilla del río Ebro. Se ha incluido en el dominio público la zona de arenas eólicas más exterior formadas sobre el cordón litoral antiguo, que todavía conserva en parte sus características naturales originales, y se ha excluido del dominio la zona interior más antropizada, identificada en el mapa como campos eólicos degradados, a falta de la realización de otros estudios más específicos con trabajos de campo y análisis de muestras de arenas, necesarios para la delimitación con mayor precisión y detalle del área demanial. Su incorporación al DPMT sería igualmente según el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas.

Por lo tanto, la propuesta incluiría dentro del D.P.M-T todos aquellos terrenos, que formando parte de las unidades geomorfológicas identificadas como playas, campos dunares - arenas eólicas, y zonas de marismas - lagunas litorales en el término de Deltebre, se considera que cumplen los criterios de la Legislación de Costas, a la vista de los datos recabados. Además, se han incluido dentro del Dominio Público Marítimo-Terrestre en la propuesta, la finca Bombita de titularidad pública, que según las ortofotos recientes se correspondería con cultivos de arrozales.

Al respecto de la zona correspondiente a los alrededores de la urbanización de Riumar, indicar que los terrenos del campo dunar existente incluidos en la propuesta, si bien deberán ser objeto de estudios más exhaustivos como análisis sedimentológicos y de vegetación con trabajos de campo y toma de muestras correspondientes, según las imágenes disponibles se observa claramente que presentan naturaleza de depósitos arenosos y que no existe suficiente grado de cobertura vegetal para considerarlos innecesarios para la protección y defensa de la costa según los criterios reglamentarios. En concreto, los terrenos incluidos en la propuesta que se localizan en el extremo SE de Riumar, que según algunos trabajos bibliográficos consultados (como la cartografía geológica del ICGC) constituyen un cordón litoral antiguo, forman parte de la zona puntal del hemidelta izquierdo del Delta, ejerciendo una función protectora y necesaria para la defensa de la costa.



Las superficies que se proponen incorporar al Dominio Público Marítimo-Terrestre, se representan de forma gráfica en la siguiente figura, y además de una manera más detallada en los mapas parciales del anejo 5.



Figura 44. Superficies incorporadas al DPMT según su unidad geomorfológica.

Y en la siguiente tabla se representan los totales de las superficies incorporadas, en función de la unidad geomorfológica a la que pertenecen:

SUPERFICIES INCORPORADAS AL DPM-T EN DELTEBRE

UNIDAD	TOTAL (Ha)
MARISMAS-LAGUNAS	561,89
DUNAS-ARENAS EÓICAS	97,99
PLAYA	1,64
FINCA (Bombita)	77,10
	<b>738,61</b>

Tabla 10. Superficies incorporadas al DPM-T por unidad geomorfológica en el término de Deltebre.

## 4. Conclusiones

Los tramos de costa del término municipal de Deltebre, correspondientes a los deslindes con referencia DL-55-TA y DL-4-TA (O.M. de 25 de septiembre de 2015), han sido objeto de un análisis para la delimitación del dominio público marítimo-terrestre en dicho término municipal, situado en el hemidelta norte del Delta del Ebro.

La zona de estudio está constituida por el tramo de costa del término municipal de Deltebre localizado en el hemidelta norte dentro del conjunto geomorfológico del Delta del Ebro, que se trata de un accidente geográfico de forma triangular originado en la desembocadura del río Ebro, como consecuencia de la acumulación de sedimentos fluviales traídos por la corriente del río, que va formando distintos brazos fluviales separados por islas de sedimentos, que luego son resedimentados y distribuidos por las mareas, oleaje, corrientes y vientos litorales, formándose playas, campos dunares, lagunas litorales y zonas de marismas.

Según el artículo 3.1.a) de la Ley 22/1988, de 28 de julio, pertenecen al dominio público marítimo-terrestre *“las marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, 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 del mar.”*

También para el artículo 3.1.b) de esta misma ley, pertenecen al dominio público marítimo-terrestre *“Las playas o zonas de depósito de materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas, estas últimas se incluirán hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa.”*

Y según el artículo 4.8 de la citada ley, pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal *“Los terrenos colindantes con la ribera del mar que se adquieran para su incorporación al dominio público marítimo-terrestre.”*

Según la evolución del Delta deducida de los trabajos bibliográficos previos, en las últimas décadas se aprecian cambios importantes en la dinámica sedimentaria, principalmente la disminución de carga sedimentaria del río, consecuencia de la actividad humana en la cuenca del Ebro, que repercuten en el Delta, y en la zona de estudio en particular, frenando la sedimentación y aumentando la erosión en zonas concretas.

En las zonas donde crece la erosión, se está produciendo un retroceso tierra adentro de las unidades geomorfológicas que formaban el paisaje natural original, playas, dunas y lagunas o marismas, y donde existen barreras artificiales se está produciendo la reducción de las mismas, principalmente de los campos dunares, como ocurre en la playa de la Marquesa, perteneciente al término municipal de Deltebre.

A partir del análisis de las ortofotos históricas, se observa un aumento de la antropización en los últimos 70 años producida principalmente por la implantación de cultivos de arroz, junto con el aumento de las zonas urbanizadas dentro de la llanura deltaica, donde anteriormente

se desarrollaban de manera natural campos dunares marismas y lagunas litorales, incrementando la degradación y el deterioro del entorno natural. Esta tendencia repercutiría negativamente en la estabilidad del Delta en general, y de la zona de estudio en particular, y se vería acelerada además por los efectos globales del cambio climático, como el aumento del nivel medio del mar, o la frecuencia e intensidad de temporales.

Además, del estudio de salinidad de las muestras de agua, y de las fotografías y los datos tomados en campo, se deduce que los efectos de los temporales se concentran en las áreas más vulnerables del delta, (en particular en la zona de estudio de Deltebre en el área de la playa de La Marquesa), que se corresponden con las áreas que más erosión o retroceso está sufriendo el delta, y que según las previsiones se verán intensificados como consecuencia del cambio climático.

Del análisis de la información de las lagunas litorales de la zona estudio, se deduce tanto por su geomorfología como por la salinidad de sus aguas, que su origen y naturaleza tienen clara influencia marina; tanto por el alcance del mar debido a las mareas u oleaje, como por infiltración de aguas marinas a través del sedimento deltaico, y por lo tanto formarían parte del dominio público marítimo-terrestre.

La justificación de la inclusión de nuevas zonas al dominio público marítimo-terrestre (enumeradas en la figura 43), que se propone, es la siguiente:

- Según el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas, las zonas Humedal Illa del Mar (1), Desagüe Trastellador (2), playa la Marquesa (3), Canal Vell (4) y playa Nen Perdut (6).
- Según el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas, las zonas de playa la Marquesa (3), Canal Vell (4), playa Nen Perdut (6), Riumar NO (7) y Riumar SE (8).
- Y según el artículo 4.8 de la citada Ley de Costas, la finca Bombita (5).

Por todo ello, de acuerdo con los criterios expresados en la en la citada Ley 22/1988, de 28 de julio y su Reglamento General, y sin perjuicio del resultado de estudios posteriores que permitan determinar con mayor precisión el alcance del dominio público marítimo-terrestre en la zona de estudio, se concluye que los deslindes aprobados en la zona de estudio no incluirían todos los terrenos demaniales presentes en el término municipal de Deltebre.



Santiago Campos García,  
Licenciado en Ciencias Geológicas – Tragsatec



## 5. Bibliografía

ACUAMED (2015). *Humedales de depuración, Humedal de Illa de Mar y humedal de l'Embut*. Acuamed, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2010). *Avaluació de l'estat ecològic de les zones humides i ajust dels indicadors de qualitat. Índexs QAELSe 2010, ECELS i EQAT*. Departament Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya. Barcelona. 209 pàg.

AURÍN, R. (2013). *Adaptación al cambio climático en el Delta del Ebro*. ROP 3545 Julio-Agosto 2013, pp. 83-90.

BAYÓ, A., LOASO, C., ARAGONÉS, J.M. & CUSTODIO, E. (1993). *Marine intrusion and brackish water in coastal aquifers of southern Catalonia and Castelló (Spain): a brief survey of actual problems and circumstances*. In: *Study and Modelling of Saltwater Intrusion in Aquifers*, pàgs. 741-766. Proceedings 12<sup>th</sup> Saltwater Intrusion Meeting, CIHS, Nov. 1992, Barcelona.

CANICIO, A. e IBÀÑEZ, C. (1999). *The Holocene evolution of the Ebre delta Catalonia Spain*. Acta Geographica Sinica, 54-5, pp. 462-469.

COMÍN, F.A., MENÉNDEZ, M. & FORÉS, E. (1987). *Salinidad y nutrientes en las lagunas costeras del delta del Ebro*. Limnética, 3: 1-8.

CURCÓ A. (2006). *Aiguamolls litorals: el delta de l'Ebre. Síntesi del medi físic d'una zona humida litoral*. L'Atzavara, 14: 55-72 pp.

CURCÓ A. (2014). *Conservación y restauración en ambientes acuáticos altamente modificados, el caso del Parc Natural de Delta de l'Ebre*. Simposi Experiències de restauració d'habitats i conservació de la biodiversitat. Parc Natural del Delta de l'Ebre. Generalitat de Catalunya.

CURCÓ, A., CANICIO, A. & IBÀÑEZ, C. (1995). *Mapa d'hàbitats potencials del delta de l'Ebre*. Butll. Parc Nat. Delta de l'Ebre, 9: 4-12.

FAURA, M. (1923). *Mapa Geològic. Full 43. Les Goles de l'Ebre*. Servei Geològic, Comunitat de Catalunya. Barcelona.

FAURA, M., FALLOT, P. & BATALLER, J.B. (1923). *Mapa Geològic. Full 41. Tortosa*. Servei Geològic, Comunitat de Catalunya. Barcelona.

GARRIDO SCHNEIDER, E.A. (2003). *Estado actual y evolución de la intrusión marina en los acuíferos costeros del litoral meridional de Tarragona (España)*. Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. IGME.

JIMÉNEZ, J.A., VALDEMORO, H.I., ALVARADO, D. y GRACIA, V. (2011). *Estudio y análisis de alternativas de actuación y gestión del frente costero del Delta del Ebro (Tarragona)*. Laboratori d'Enginyeria Marítima de la Universitat Politècnica de Catalunya.

LABORATORI D'ENGINYERIA MARÍTIMA (2018). *Análisis de la Propuesta de medidas generales en el ámbito del delta incluidas en el Informe-síntesis sobre la problemática y la vulnerabilidad del Delta del Ebro*. Laboratori D'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya.

LÓPEZ, V., FRANCH, N. POU, Q., CLAVERO, M. GAYA, N. y QUERAL, J.M. (2015). *Atles dels peixos del delta de l'Ebre*. Col·lecció Tècnica 3. Parc Natural del Delta de l'Ebre, Generalitat de Catalunya.

MALDONADO, A. (1977). *Introducción geológica al delta del Ebro*. Treb. Inst. Cat. Hist. Nat. 8: 7-45.

MEDINA, R., CASTANEDO, S. y JIMÉNEZ, M. (2011). *Estudio y análisis de alternativas de actuación y gestión de la desembocadura y cauce inferior del río en el Delta del Ebro (Tarragona)*. Instituto de Hidráulica Ambiental (IH Cantabria) de Universidad de Cantabria.

MOLINET COLL, V. (2006). *Restauración del Delta del Ebro I. Recuperación de la configuración del Delta del Ebro*. Tesina. Universitat Politècnica de Catalunya.

PALANQUES, A. y GUILLÉN, J. (1998). *Coastal changes in the Ebro delta: Natural and human factors*. Journal of Coastal Conserveation 4:17-26.

RAMÍREZ-CUESTA, J.M., RODRÍGUEZ-SANTALLA, I., SÁNCHEZ-GARCÍA, M.J., MONTOYA-MONTES, I., ROMERO-CALCERRADA, R. y GRACIA, F.J. (2011). *Análisis de las variaciones geomorfológicas ocurridas en la desembocadura del delta del Ebro mediante el empleo de técnicas de detección de cambios (período 1957-2009)*. En: Montoya-Montes I., Sánchez-García M.J. (eds.) *Avances en Geomorfología litoral*. P. 95-98. Barcelona.

RODRÍGUEZ SANTALLA, I. (2000). *Evolución geomorfológica pasada y futura del Delta del Ebro*. Geotemas 1. V Congreso Geológico de España, Alicante. S.G.E.

RODRÍGUEZ-SANTALLA, I., GÓMEZ, D. SÁNCHEZ, M.J., MONTOYA-MONTES, I., MARTÍN T., MARTÍN-VELÁZQUEZ, S., BARRIO, F., SERRA, J. y GRACIA, F.J. (2017). *Comparación de la dinámica dunar entre las formaciones situadas en los hemideltas norte y sur del río Ebro*. IX Jornadas de Geomorfología Litoral (Menorca, 2017) pp. 287-290.

RODRÍGUEZ-SANTALLA, I., SERRA-RAVENTÓS, J., MONTOYA-MONTES, I. & SÁNCHEZ, M. (2011). *The Ebro Delta: From its origin to present uncertainty*. River Deltas: Types, Structures and Ecology. 161-171.

SÁNCHEZ-ARCILLA, A., JIMÉNEZ, J.A., VALDEMORO, H.I. y GRACIA, V. (2013). *Implications of climatic change on Spanish Mediterranean low-lying coasts: the Ebro delta case*. Journal of Coastal Research, 24(2), 306-316.

SÁNCHEZ, M.J., RODRÍGUEZ, I. y MONTOYA, I. (2011). *Las dunas del Delta del Ebro*. En Sanjaume, E. y Gracia, F.J., (eds.), *Las dunas en España*. Sociedad Española de Geomorfología, pp. 207-226.

SOMOZA, L. y RODRÍGUEZ-SANTALLA, I. (2014). *Geology and geomorphological evolution of the Ebro River Delta*. In Gutiérrez, F. y Gutiérrez, M. (eds.), *Landscapes and Land-forms of Spain*, World Geomorphological Landscapes, Springer Science, pp. 213-227.

Servicios WMS, visores de cartografía digital y páginas web consultados:

<http://aca-web.gencat.cat/WDMA/wdma.jsp>

<https://eos.com/landviewer/>

[http://geoserveis.icgc.cat/icc\\_ortohistorica/wms/service?](http://geoserveis.icgc.cat/icc_ortohistorica/wms/service?)

<http://www.icc.cat/vissir3/>

<http://www.ign.es/wms/pnoa-historico?>

[http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia\\_Geologica/IGME\\_Geode\\_50/MapServer/WMSServer](http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Geologica/IGME_Geode_50/MapServer/WMSServer)

<http://parcsnaturals.gencat.cat/es/delta-ebre>

[http://siurana.icgc.cat/arcgis/services/geologic/icgc\\_mg50m/MapServer/WMSServer?](http://siurana.icgc.cat/arcgis/services/geologic/icgc_mg50m/MapServer/WMSServer?)

[http://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](http://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html)



## **ANEJO 1**

### **UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**





### Leyenda

- Playas
- Dunas - arenas eólicas
- Campos eólicos degradados
- Marismas - lagunas litorales
- Finca Bombita

— · — Límite término municipal

### Muestras agua

- Levemente salada
- Moderadamente salada
- Altamente salada

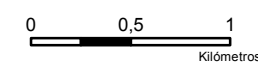
## UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



Escala: 1:38.000



Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)

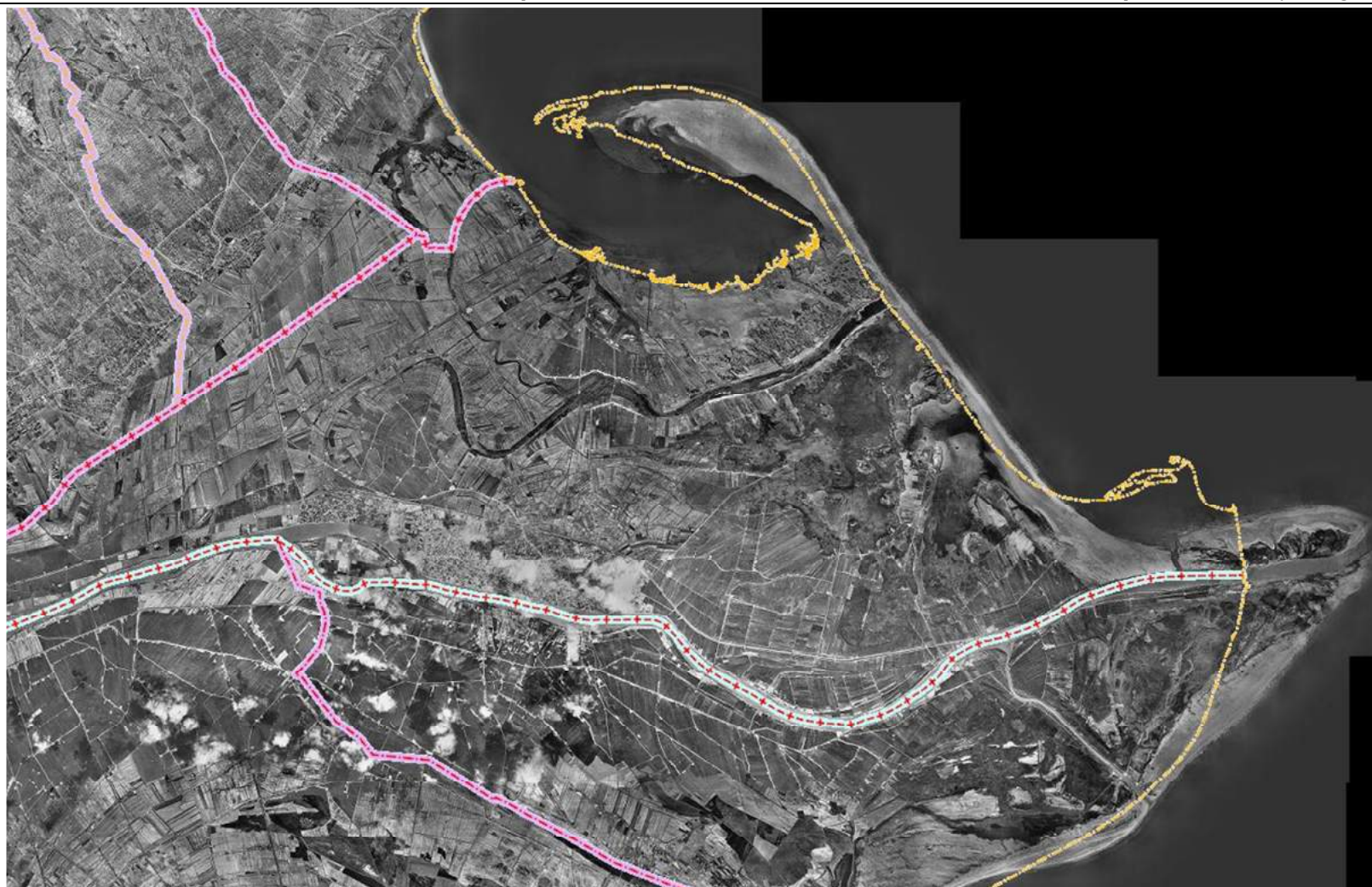




## **ANEJO 2**

### **ORTOFOTOS HISTÓRICAS**

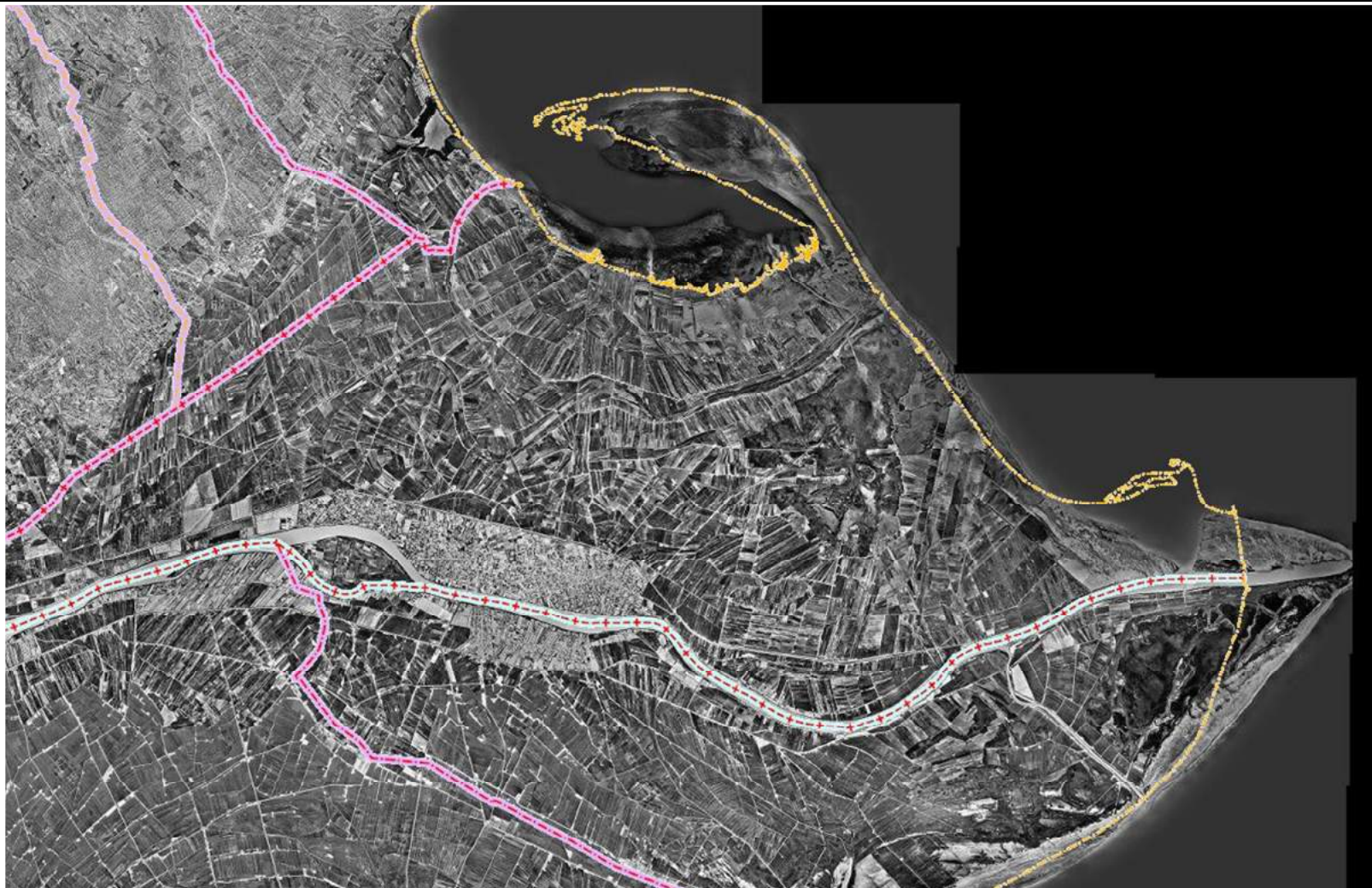
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 1946, Ministerio defensa.

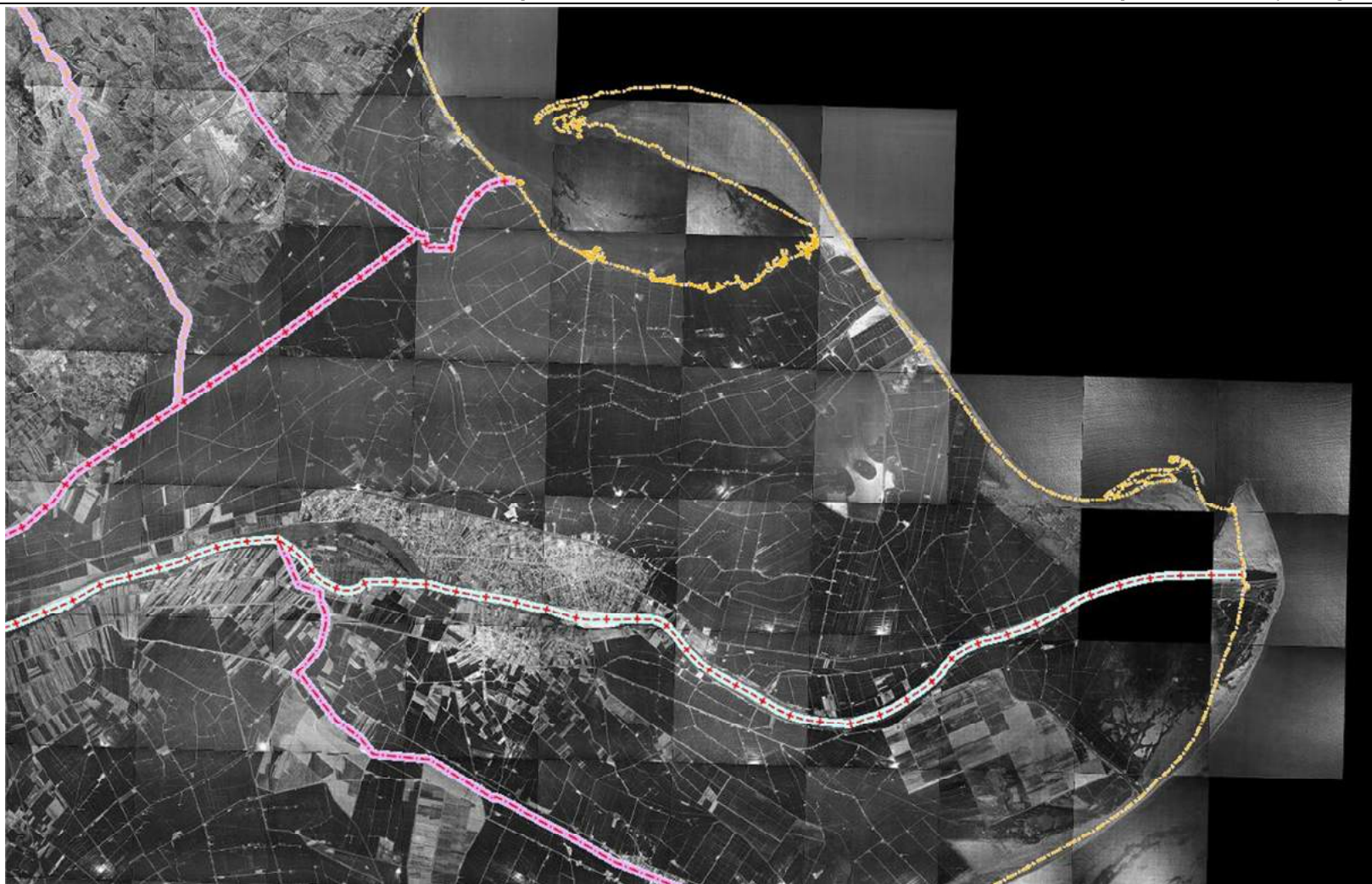


*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 1956, Ministerio defensa.

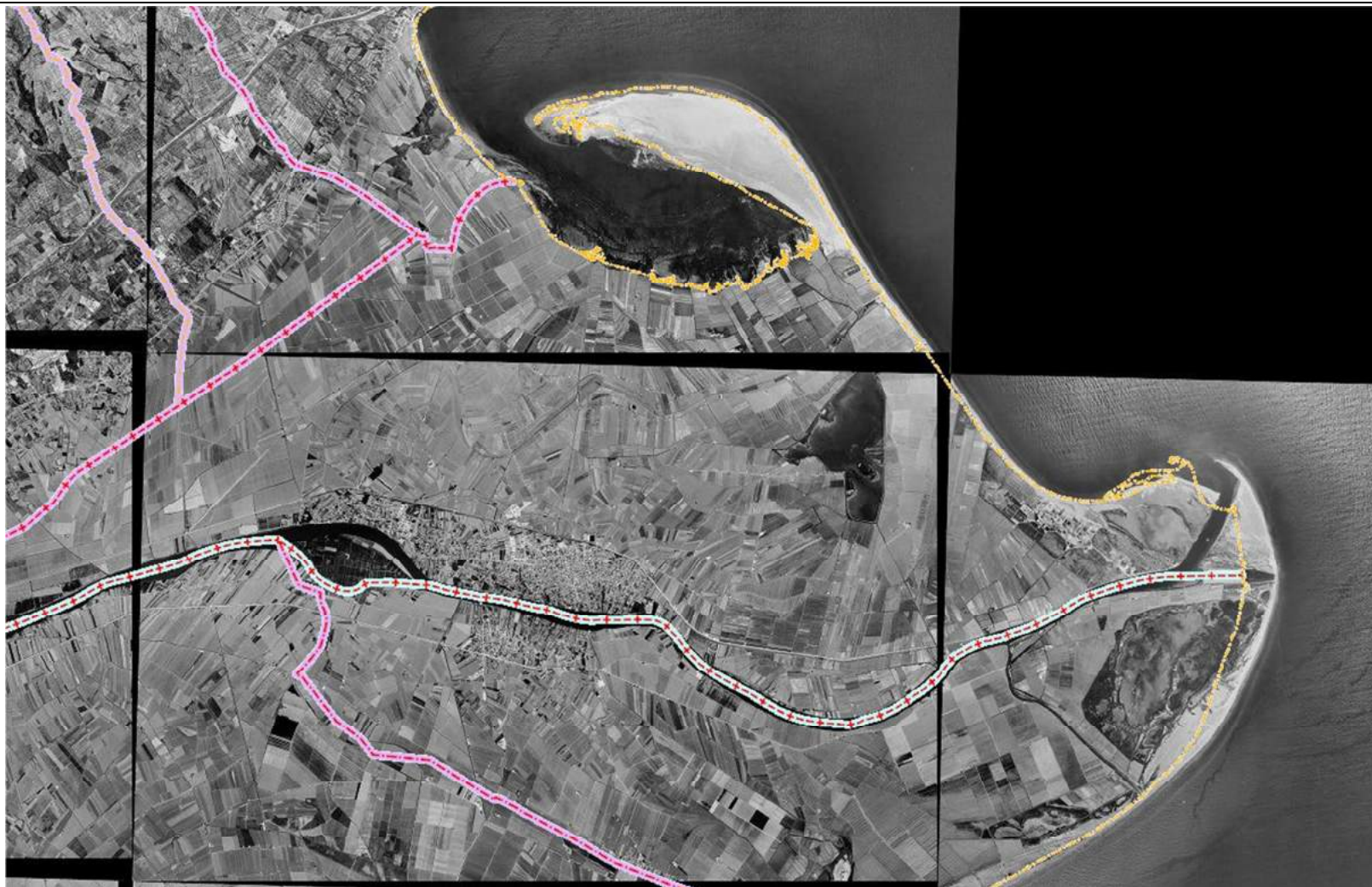
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 1983, ICGC.



*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 1990, ICGC.



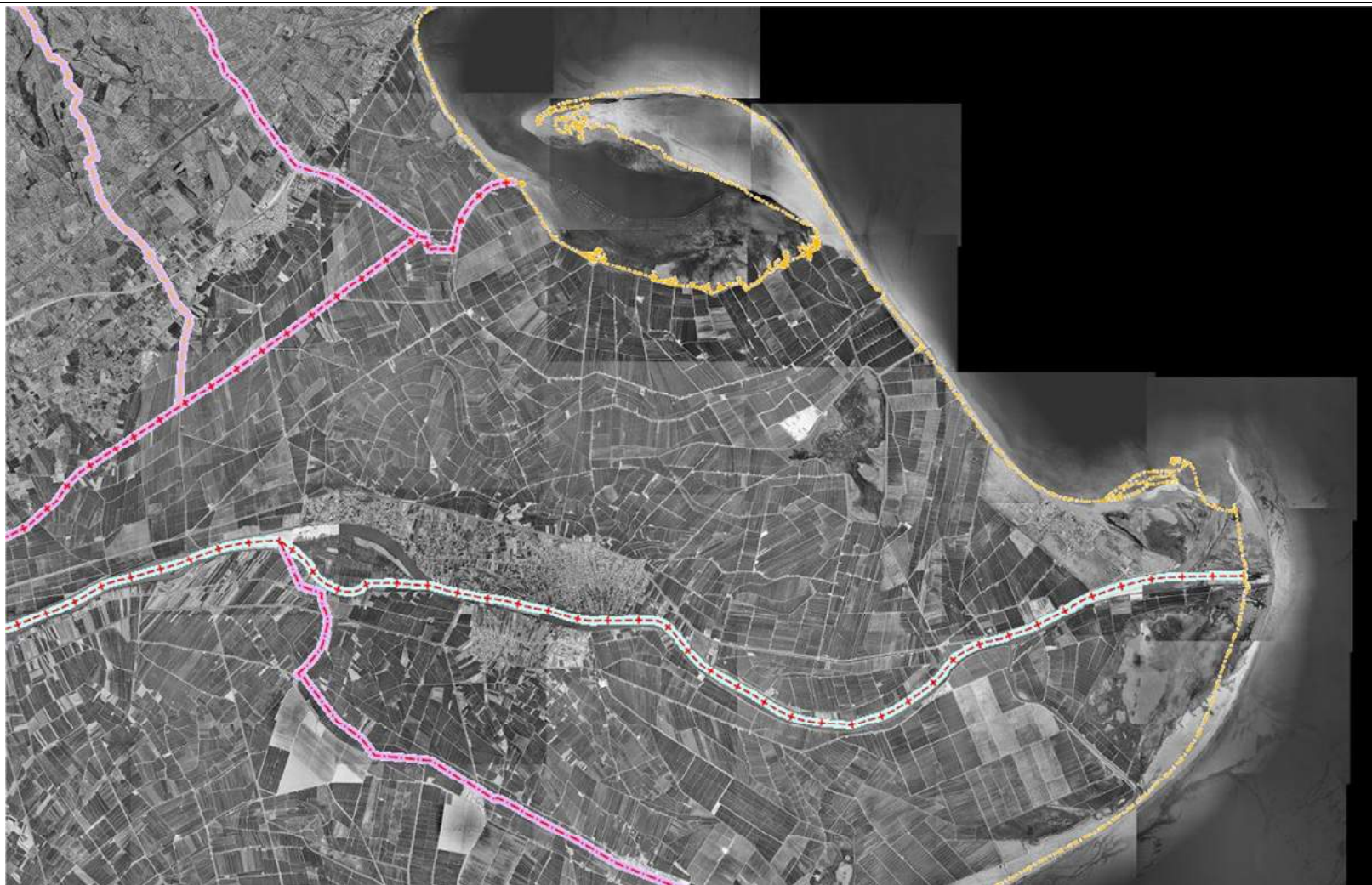
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 1993, ICGC.



*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 1994, ICGC.

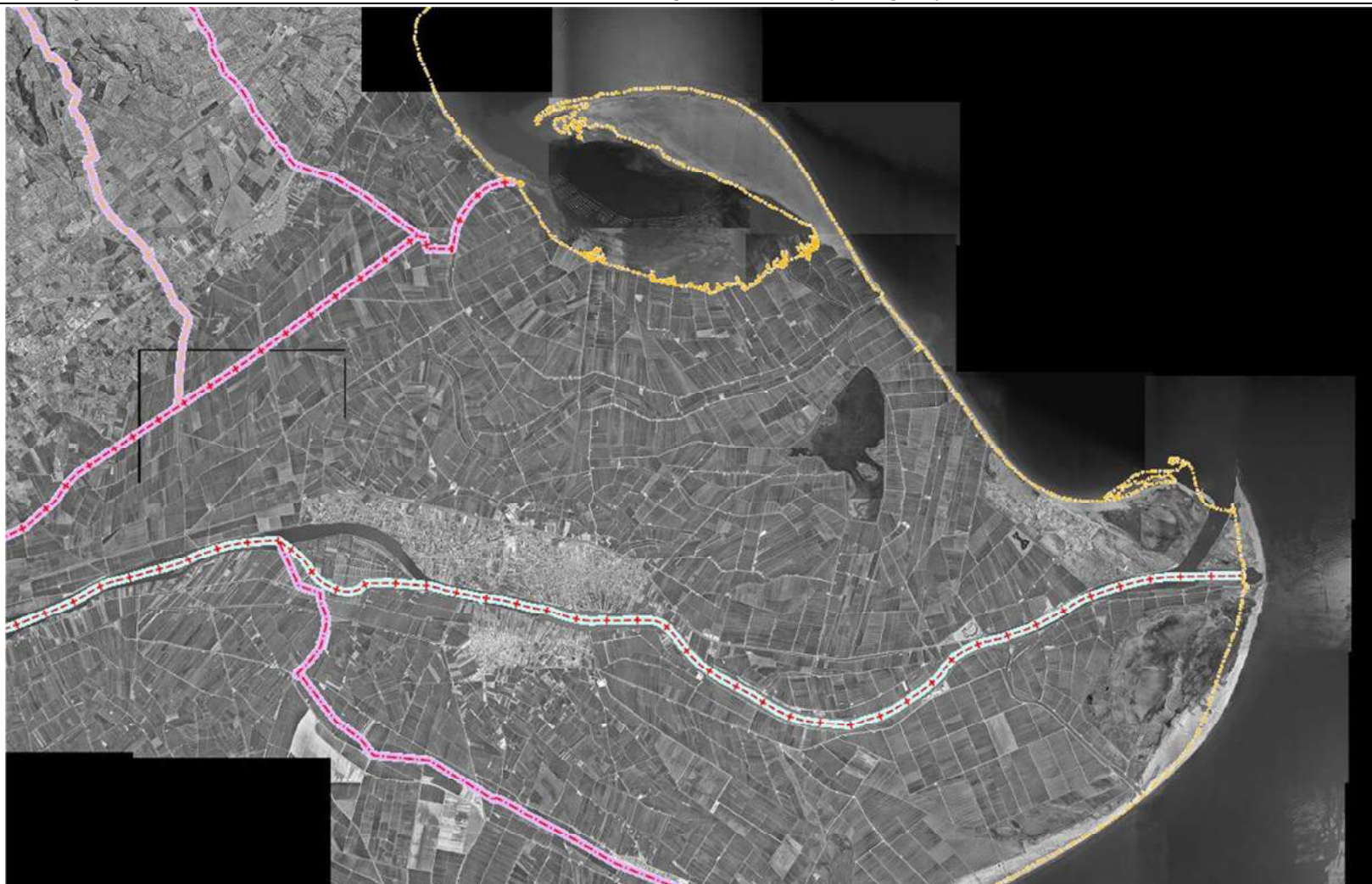
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 1996, ICGC.



*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 1998, ICGC.



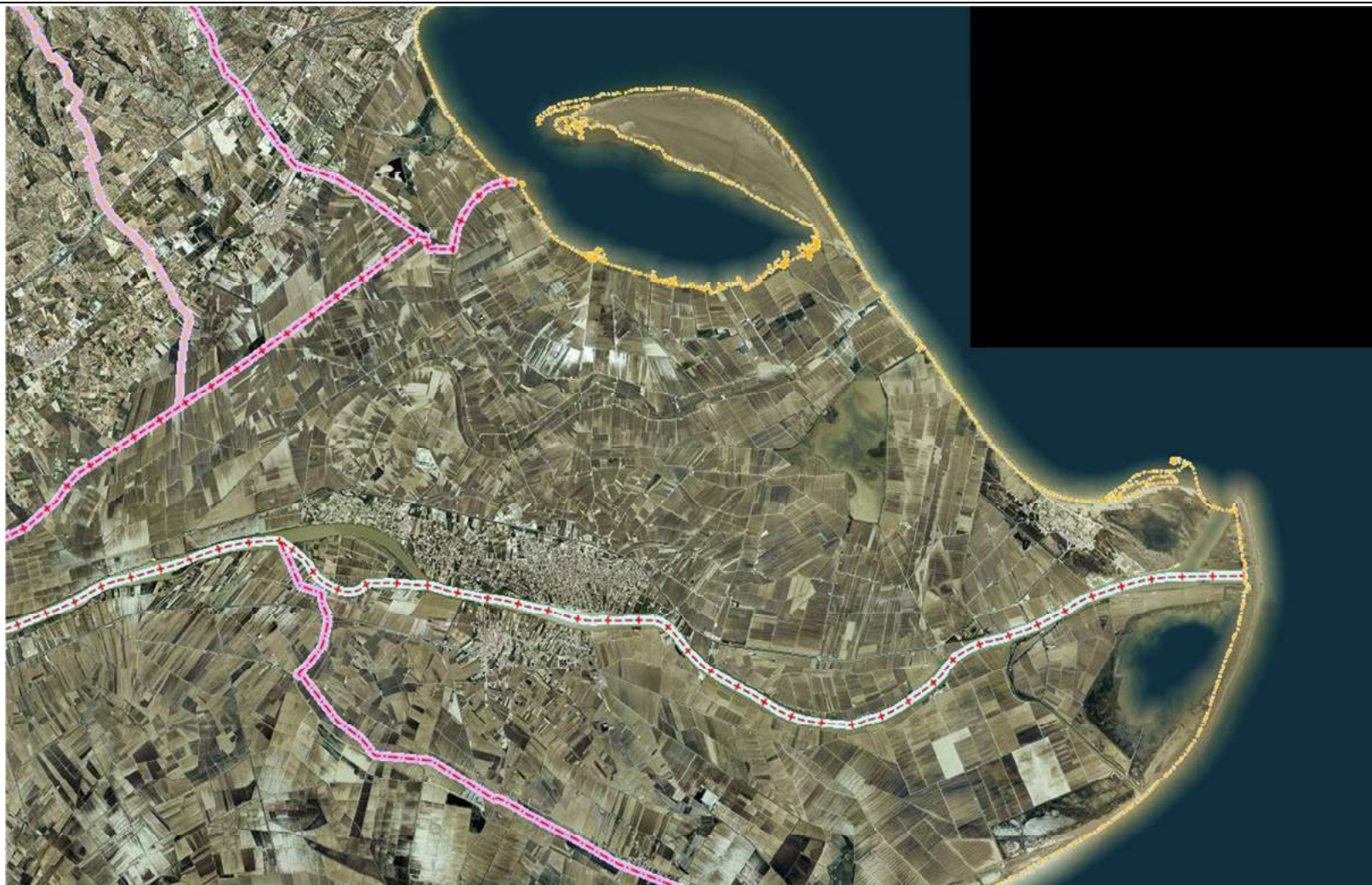
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2000, ICGC.



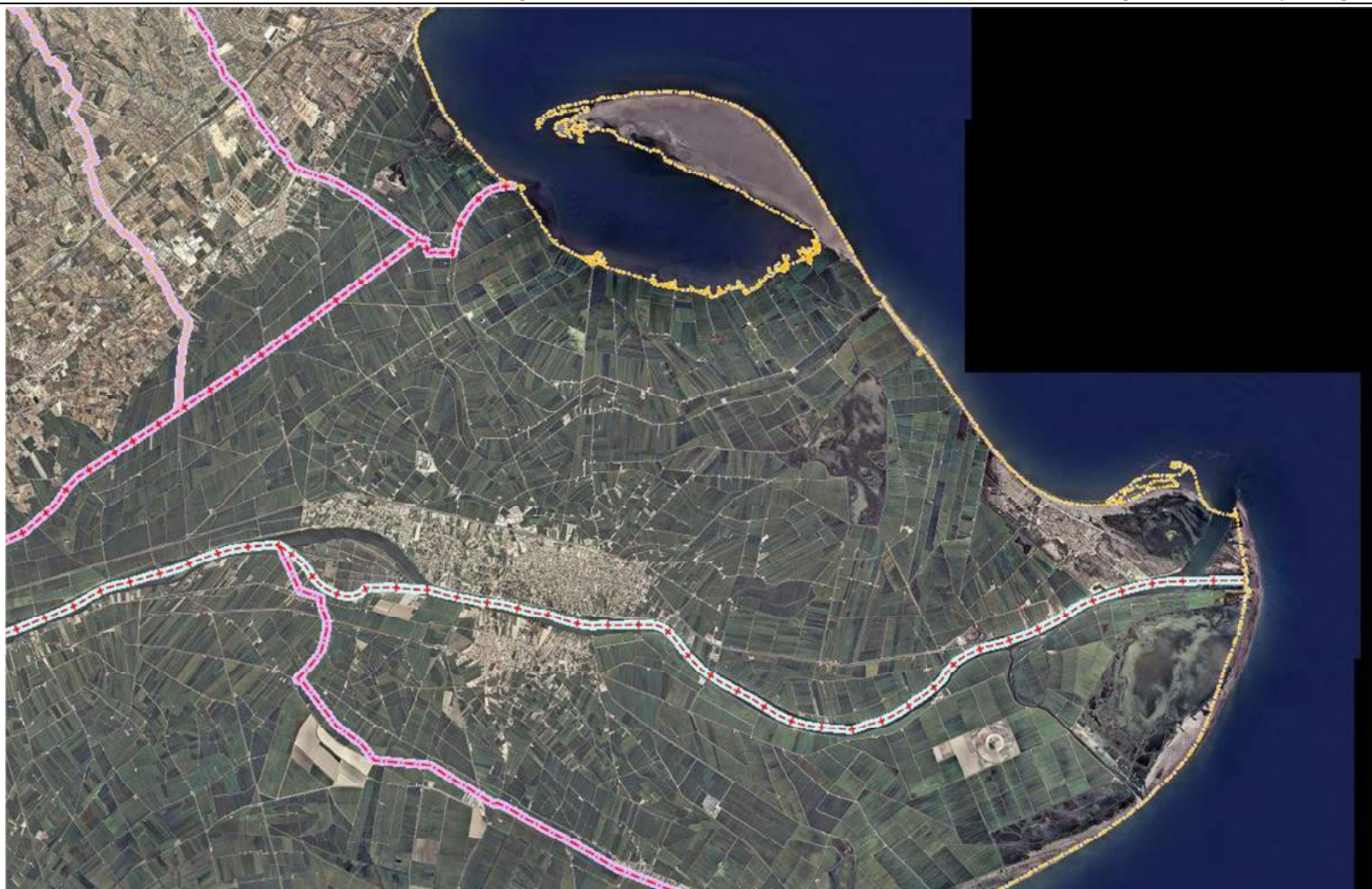
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2004, ICGC.



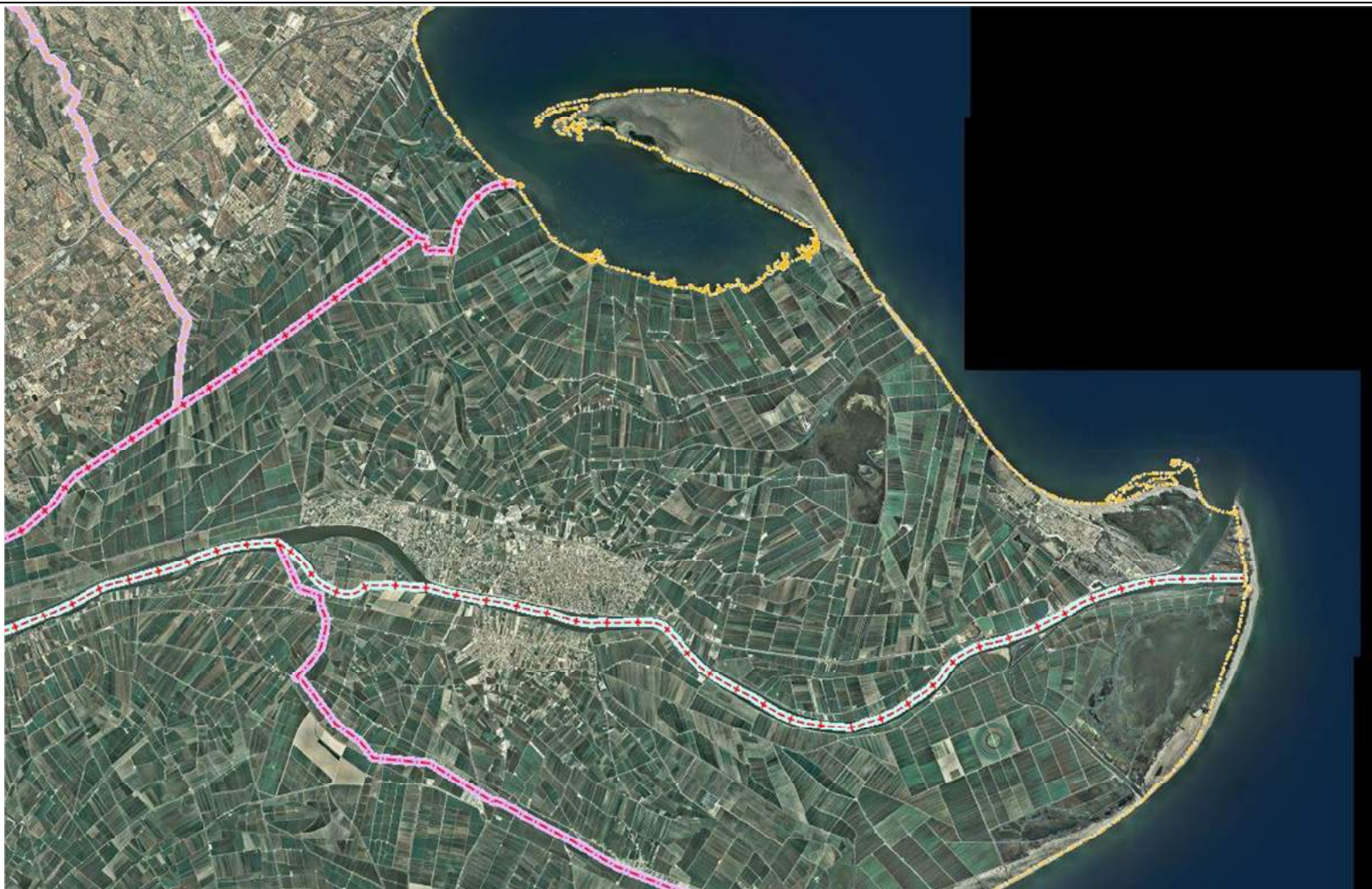
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2007, ICGC.



*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2008, ICGC.



*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2009, ICGC.

*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2010, ICGC.



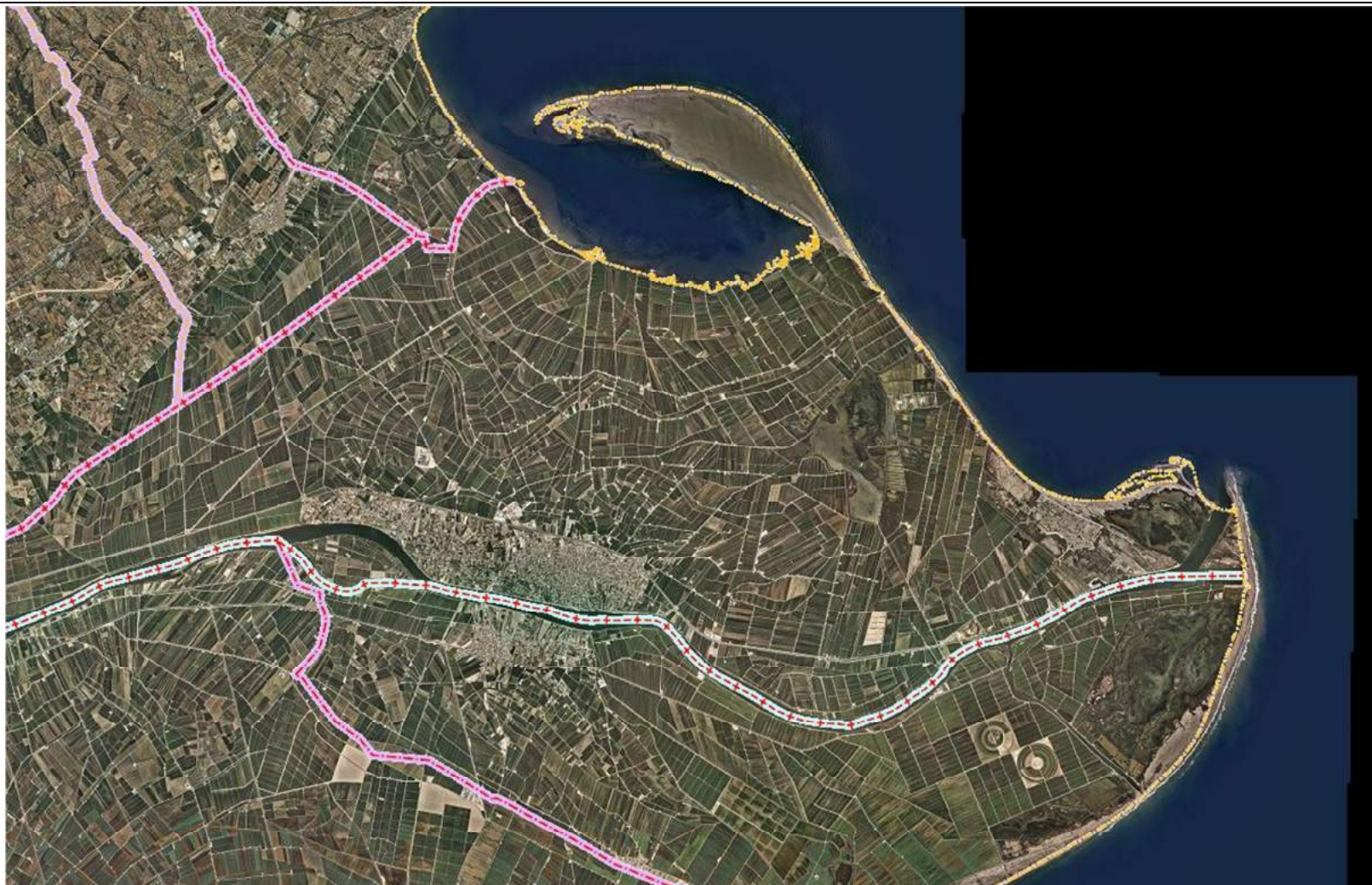
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2011, ICGC.



*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2012, ICGC.



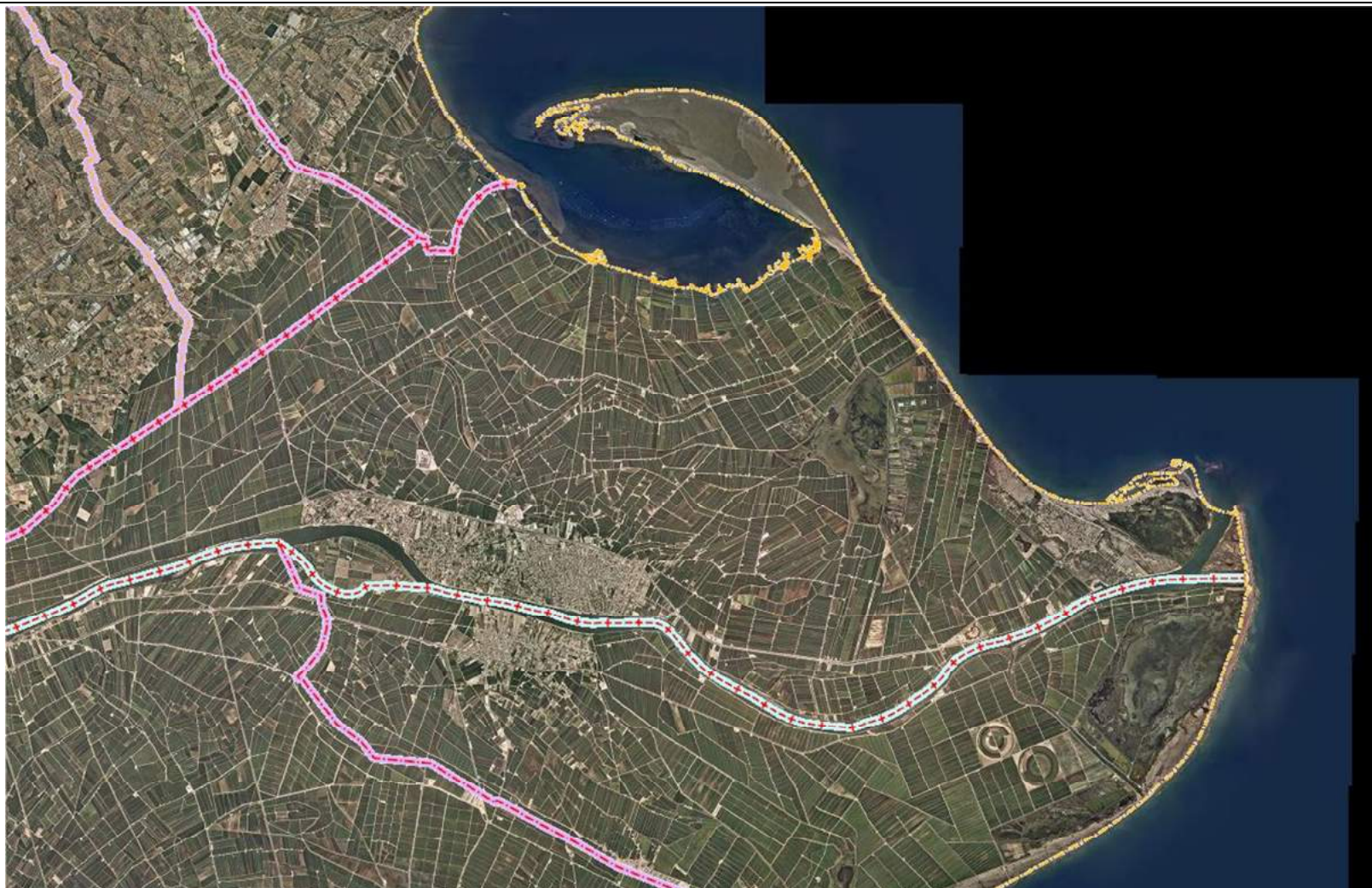
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2013, ICGC.



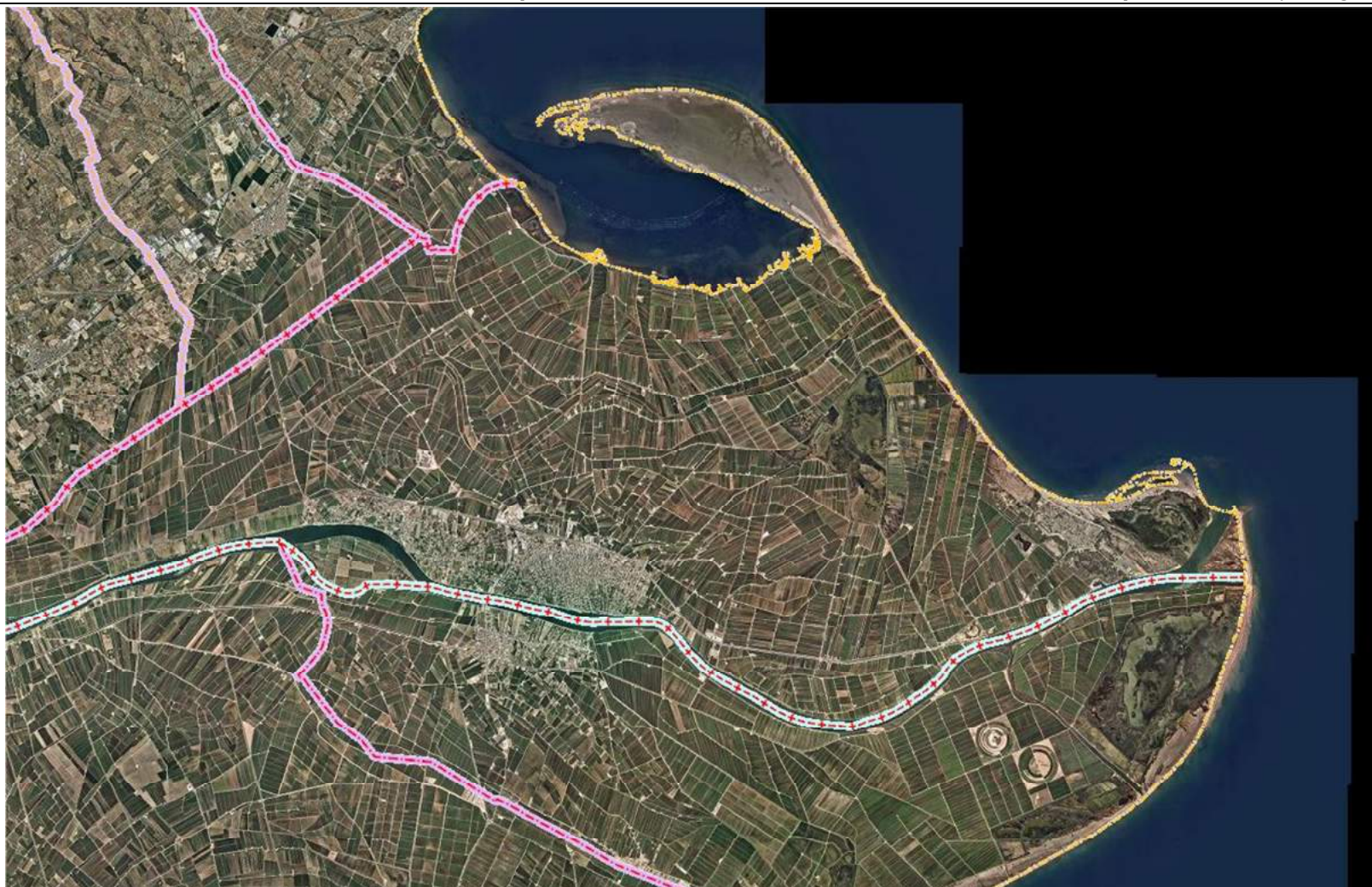
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2014, ICGC.



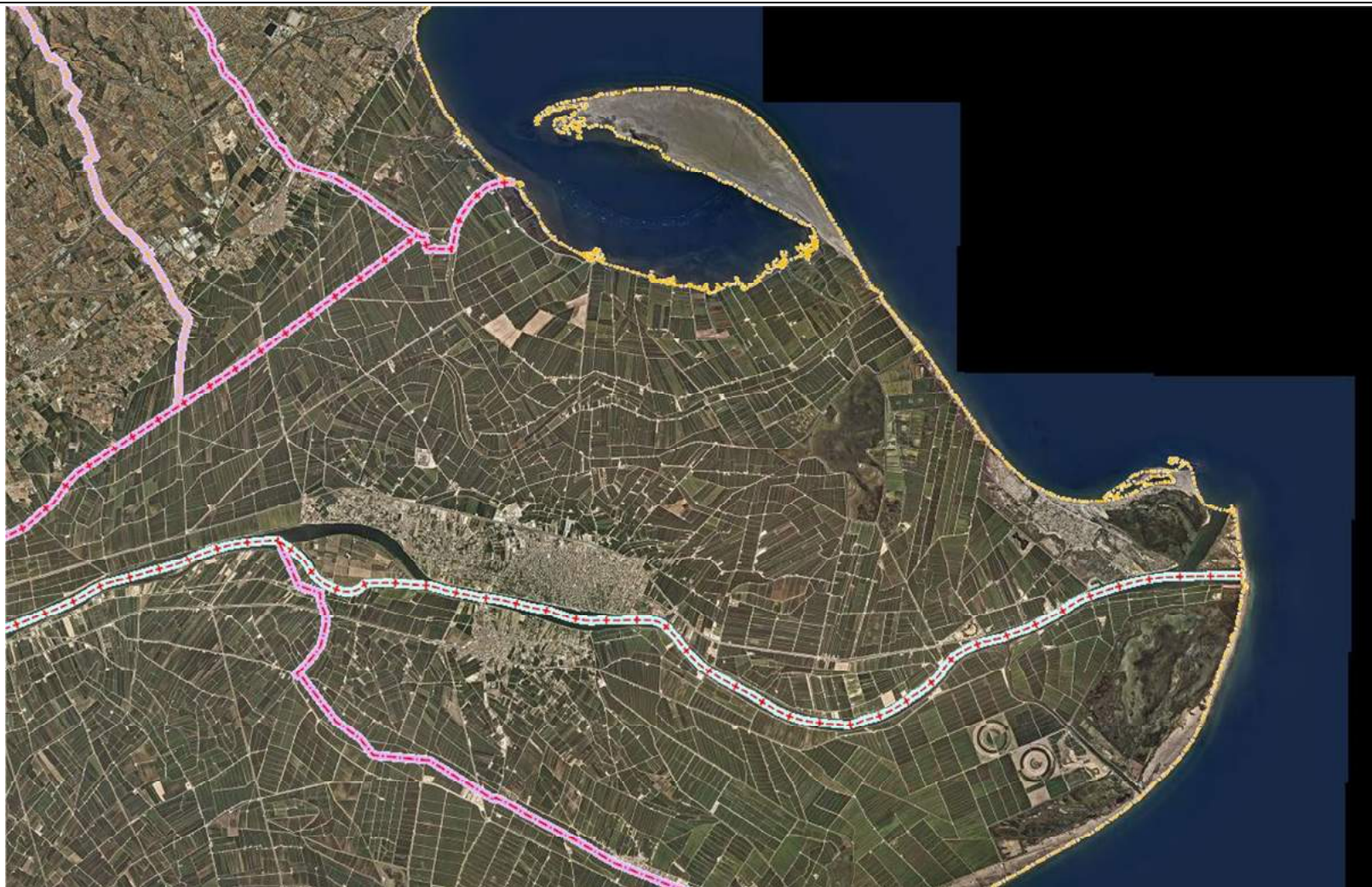
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2015, ICGC.



*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2016, ICGC.



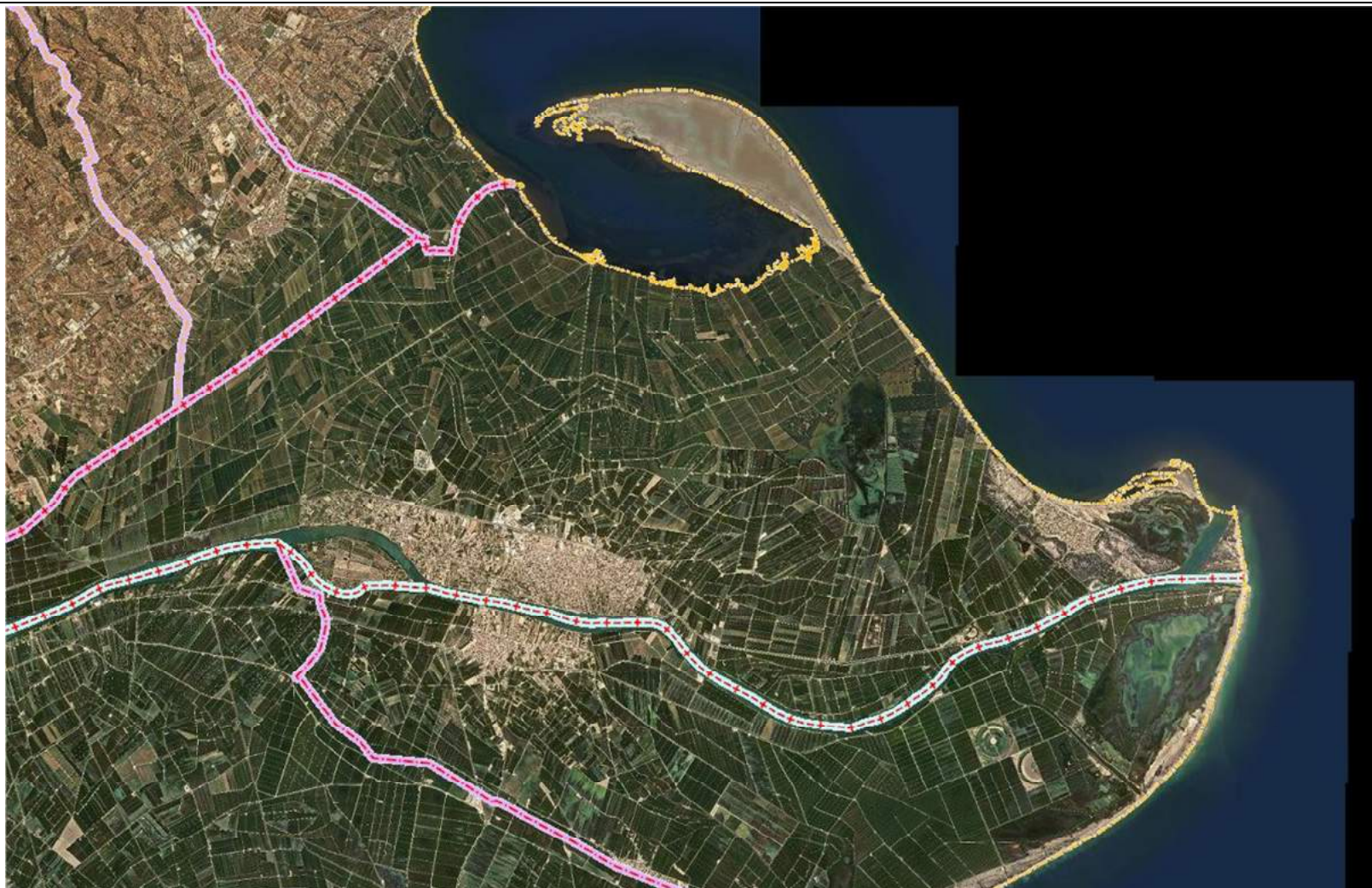
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2017, ICGC.



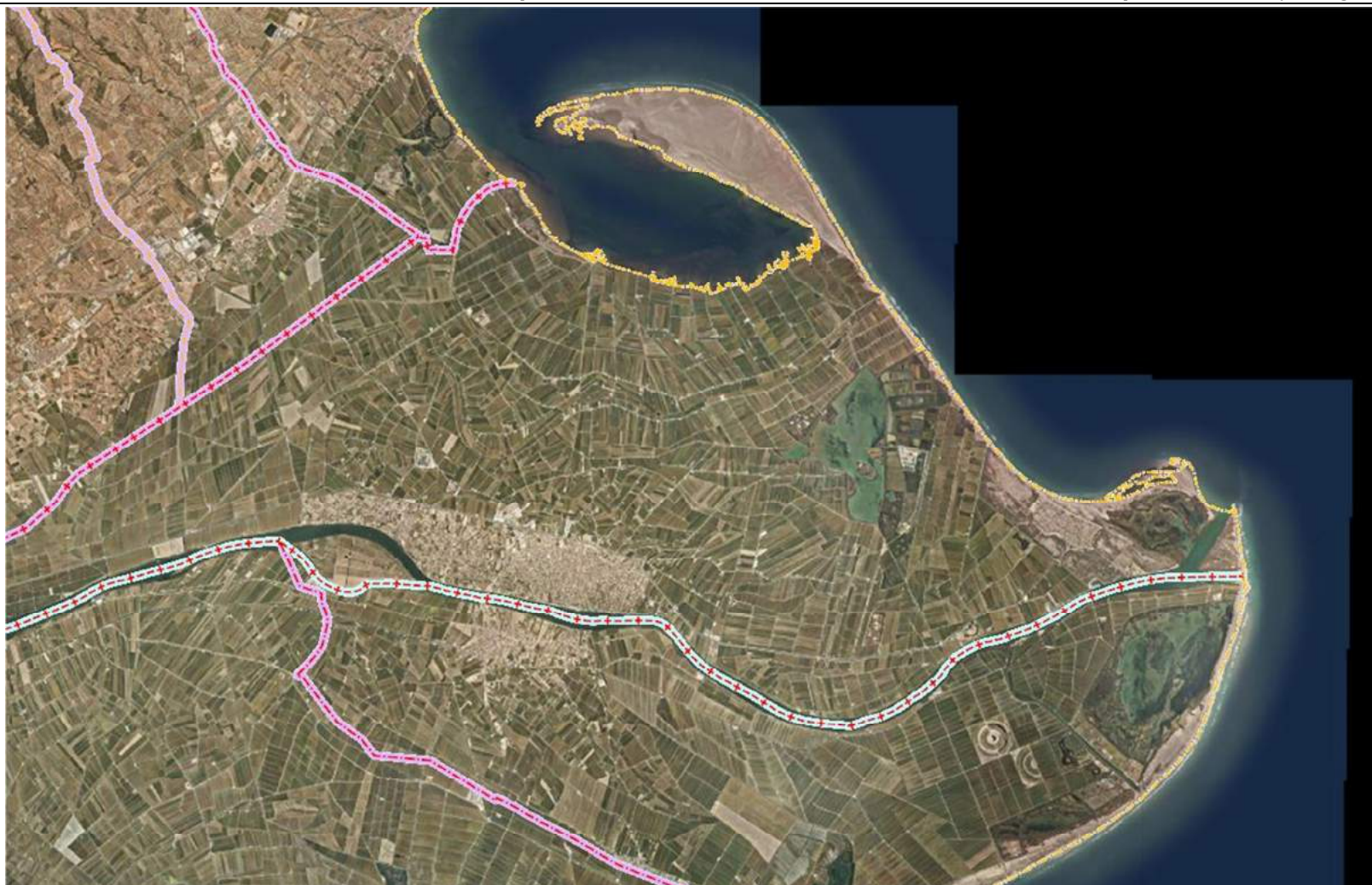
*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2018, ICGC.



*Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M-T en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)*



Ortofoto de 2019, ICGC.



## **ANEJO 3**

### **FOTOGRAFÍAS DE CAMPO**







### Leyenda

- Localización fotografías
- - - DPMT propuesto
- DPMT aprobado
- - - Límite término municipal
- Playas
- Dunas - arenas eólicas
- Campos eólicos degradados
- Marismas - lagunas litorales
- Finca Bombita



Escala: 1:40.000

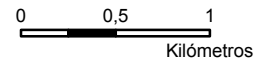






Foto 002. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal junto al núcleo urbano de Deltebre.



Foto 003. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal junto al núcleo urbano de Deltebre.



Foto 005. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal en la zona de Pont dels Moros.



Foto 006. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal en la zona de Pont dels Moros.





Foto 007. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal en la zona de Pont dels Moros.



Foto 008. Cultivos de arroz inundados en la zona de Pont dels Moros, apenas quedan emergidos los montículos de separación entre los arrozales, por efecto del temporal.



Foto 012. Pequeño puerto en la orilla del Ebro cerca de Riumar.



Foto 014. Cauce del Ebro desde su orilla izquierda, al otro lado la Isla de Buda.





Foto 016. Cauce del Ebro desde su orilla izquierda, al fondo las islas de Buda y Sant Antoni.



Foto 017. Camino a Riumar desde la orilla de Ebro inundado por efecto del temporal.



Foto 019. Cauce del Ebro en su tramo final, al fondo faro del Garxal y Zigurat de la desembocadura, en la otra orilla la Isla Sant Antoni.



Foto 020. Cauce del Ebro en su tramo final, en la otra orilla las islas de Sant Antoni y Buda.



Foto 021. El Garxal con su faro, al fondo el oleaje en la desembocadura.



Foto 023. Al fondo el Garxal, en primer plano zona arenosa cubierta de vegetación.





Foto 024. Al fondo el Garxal y el núcleo de Riumar, en primer plano zona arenosa cubierta de vegetación.



Foto 025. Cauce del río Ebro, en la otra orilla la Isla de Buda.



Foto 029. Cauce del río Ebro, en la otra orilla la Isla de Buda y el Calaix Gran inundado por efecto del temporal, y al fondo el oleaje del mar.



Foto 030. Cauce del río Ebro, en la otra orilla la Isla de Buda y el Calaix Gran inundado por el temporal, y al fondo el oleaje del mar.



Foto 031. Parte final del cauce del Ebro en primer término, detrás la Isla de Buda – Isla Sant Antoni totalmente inundada, y al fondo el oleaje en los alrededores del Cap de Tortosa.



Foto 032. Paseo marítimo de Riumar, y a la derecha la zona de cordones dunares.





Foto 034. Duna con vegetación en la zona del paseo marítimo de Riumar.



Foto 036. Zona arenosa cubierta con vegetación al fondeo cordón dunar, en la zona del paseo marítimo de Riumar.



Foto 039. Paseo marítimo de Riumar, a la derecha cordón dunar con vegetación.



Foto 040. Dunas bien desarrolladas de varios metros de potencia y cubiertas en parte por vegetación junto al paseo marítimo de Riumar.



Foto 041. Cordón dunar con vegetación en el paseo marítimo de Riumar.



Foto 043. Playa de Riumar con restos de vegetación y troncos transportados por el temporal.





Foto 045. Playa de Riumar, parte del cordón dunar erosionado por el oleaje.



Foto 047. Playa de Riumar.



Foto 048. Árbol de una calle de Riumar arrancado por los efectos del temporal.



Foto 050. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal, en las afueras de Riumar.



Foto 051. Localización de la muestra DE-03, en un arrozal inundado por el temporal a las afueras de Riumar.



Foto 053. Zona inundada en las inmediaciones de la playa de La Marquesa, al fondo la Bassa de Canal Vell desbordada por los efectos del temporal.





Foto 054. Carretera de acceso a la playa de La Marquesa, al fondo el oleaje intenso por los efectos del temporal.



Foto 055. Alrededores de la Playa de La Marquesa, arrozales inundados por la entrada del mar debido al oleaje del temporal.



Foto 057. Alrededores de la Playa de La Marquesa, arrozales inundados por la entrada del mar junto a un canal de desagüe.



Foto 059. Localización de la muestra DE-04, en un arrozal inundado por la entrada del oleaje junto a la playa de La Marquesa.



Foto 063. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal en la zona cercana a Camarles.



Foto 064. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal en la zona cercana a Camarles.





Foto 101. Cultivo de arroz inundado por la entrada del oleaje en la playa de La Marquesa.



Foto 102. Alrededores de la playa de La Marquesa, en primer término zona inundada por el fuerte oleaje que penetra tierra adentro durante el temporal.



Foto 105. Parking de la playa de La Marquesa inundado por el fuerte oleaje durante el temporal.



Foto 107. Cultivos de arroz inundados en los alrededores de la laguna Canal Vell, por entrada del oleaje desde la playa de La Marquesa, a más de 3,5 km de distancia tierra adentro.



Foto 109. Cultivos de arroz inundados en los alrededores de la laguna Canal Vell, por entrada del oleaje tierra adentro.



Foto 110. Localización de la muestra DE-11 en un cultivo de arroz inundado en los alrededores de la laguna Canal Vell.





Foto 111. Cultivos de arroz inundados en los alrededores de la laguna Canal Vell, por entrada del oleaje desde la playa de La Marquesa, a más de 3,5 km de distancia tierra adentro.



Foto 112. Cultivos de arroz inundados en los alrededores de la laguna Canal Vell, por entrada del oleaje desde la playa de La Marquesa, a más de 3,5 km de distancia tierra adentro.



Foto 113. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal, en la zona central del hemidelta norte.



Foto 114. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal, en la zona central del hemidelta norte.



Foto 115. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal, en la zona central del hemidelta norte.



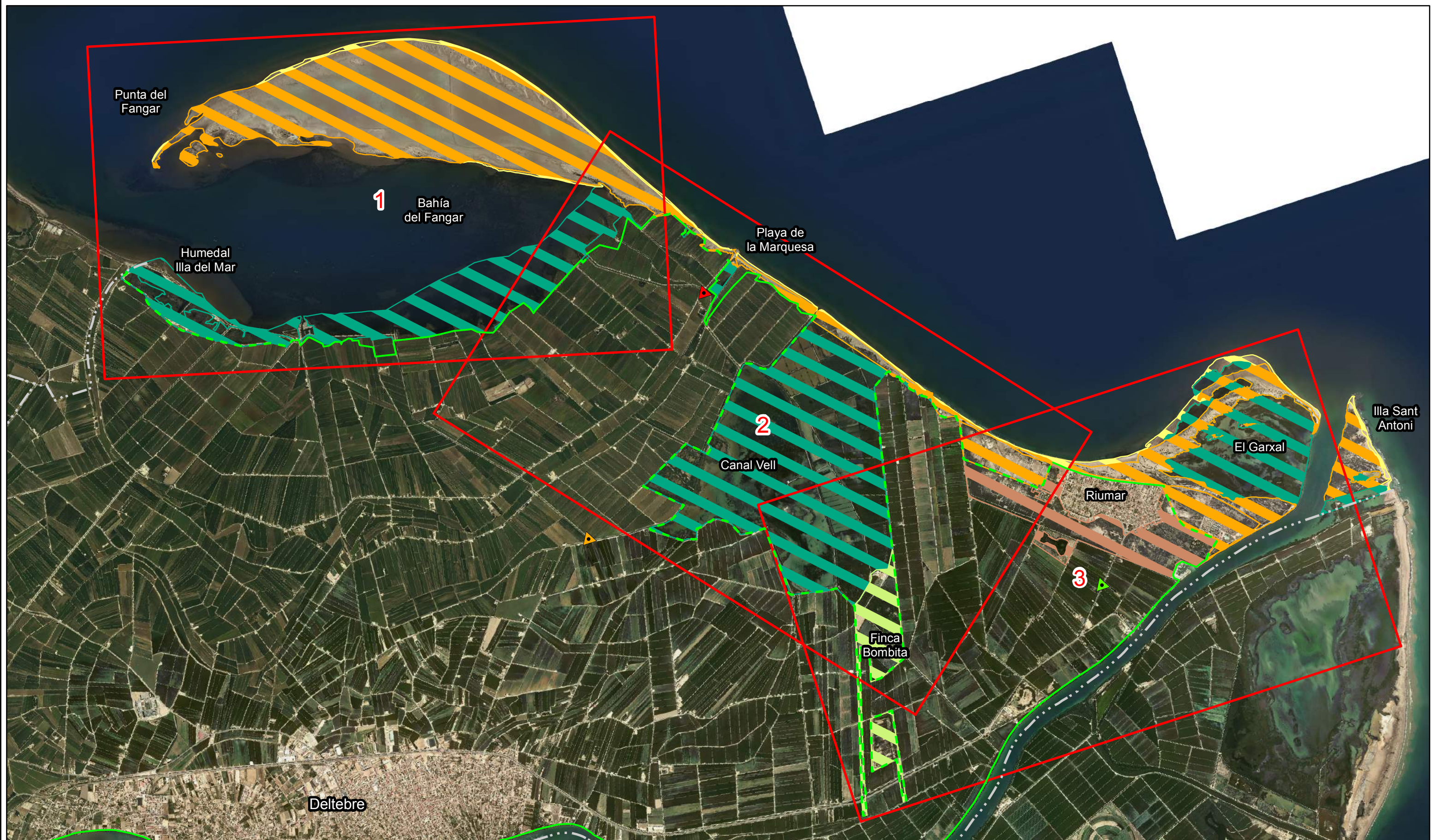
Foto 116. Cultivos de arroz inundados por efecto del temporal, en la zona central del hemidelta norte.



## **ANEJO 4**

### **PROPUESTA DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO- TERRESTRE**





### Leyenda

- |                          |                              |                      |
|--------------------------|------------------------------|----------------------|
| DPMT propuesto           | Dunas - arenas eólicas       | Muestras agua        |
| DPMT aprobado            | Campos eólicos degradados    | Levemente salada     |
| Mapas parciales          | Marismas - lagunas litorales | Moderadamente salada |
| Límite término municipal | Finca Bombita                | Altamente salada     |
| Playas                   |                              |                      |

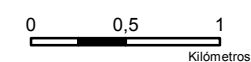
### PROPUESTA DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

#### Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



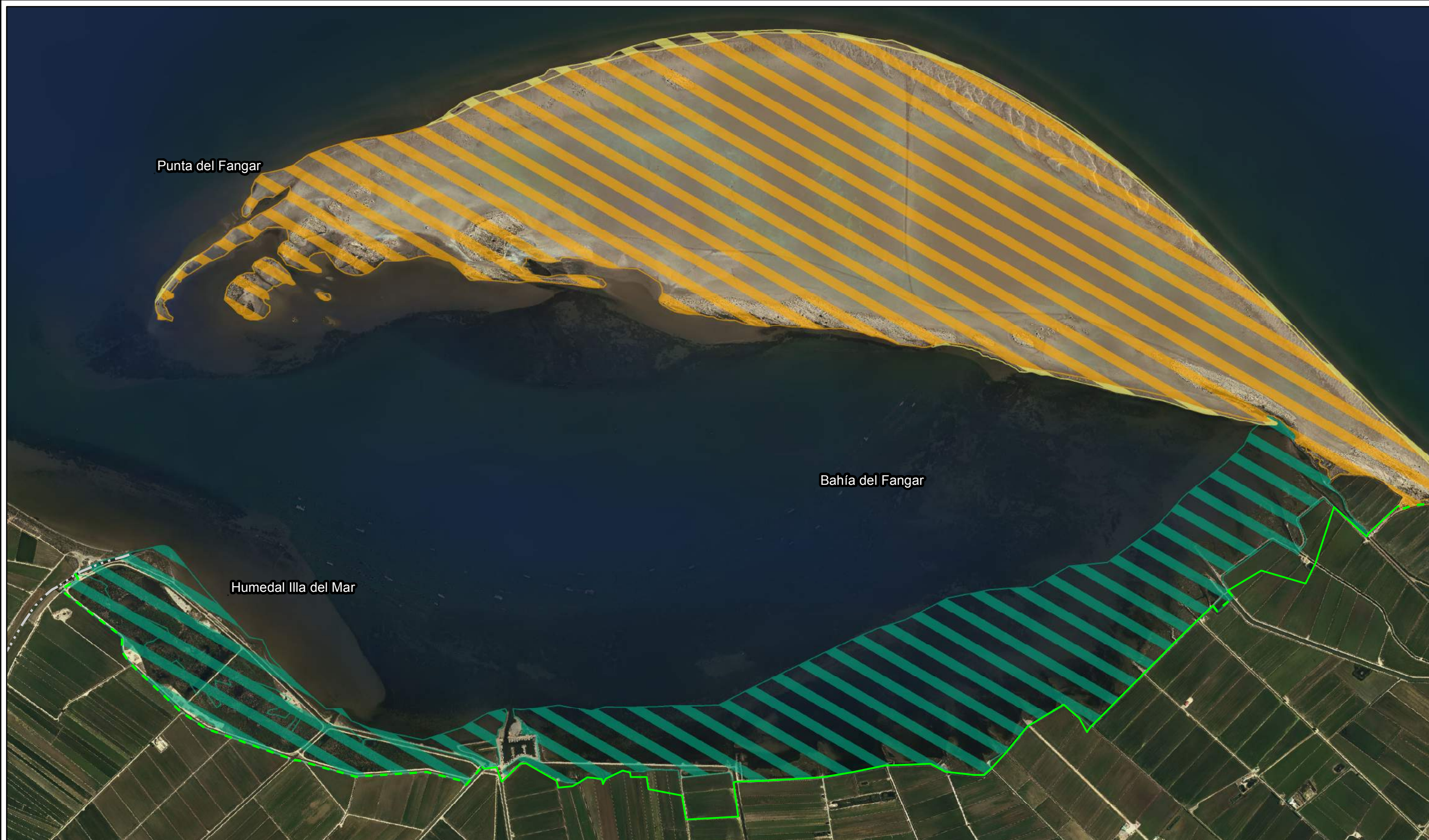
Escala: 1:40.000



Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)







#### Leyenda

- DPMT propuesto
- DPMT aprobado
- Límite término municipal
- Playas
- Dunas - arenas eólicas
- Campos eólicos degradados
- Marismas - lagunas litorales
- Finca Bombita

### PROPUESTA DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

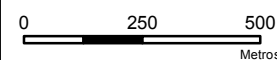
Mapa 1 de 3

#### Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



Escala: 1:16.000

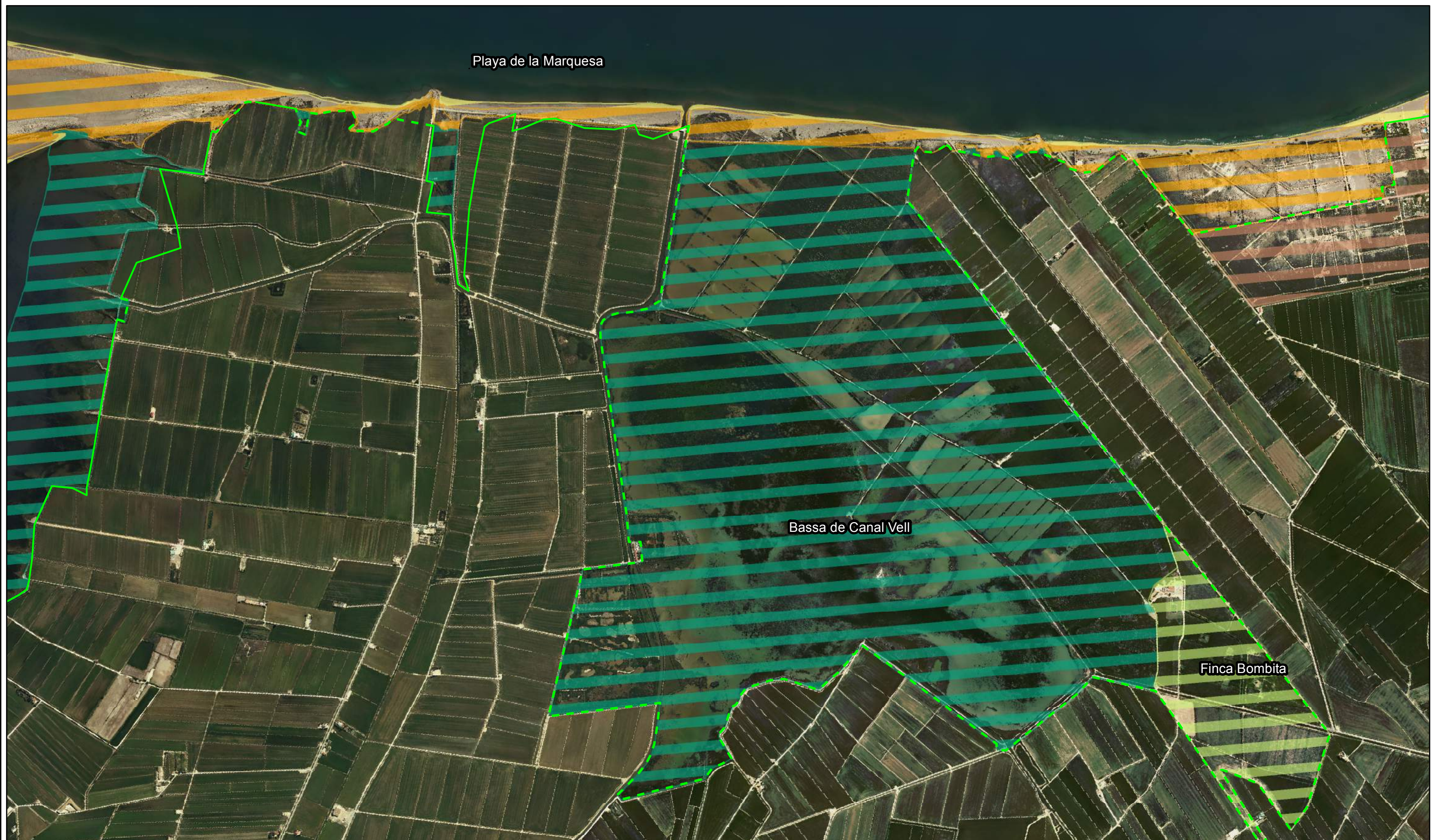


Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)



Diciembre 2020





#### Leyenda

- DPMT propuesto
- DPMT aprobado
- Límite término municipal
- Playas
- Dunas - arenas eólicas
- Campos eólicos degradados
- Marismas - lagunas litorales
- Finca Bombita

### PROPUESTA DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

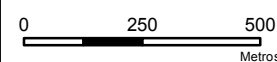
Mapa 2 de 3

#### Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



Escala: 1:16.000



Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)



Diciembre 2020





#### Leyenda

- DPMT propuesto
- DPMT aprobado
- - Límite término municipal
- Playas
- Dunas - arenas eólicas
- Campos eólicos degradados
- Marismas - lagunas litorales
- Finca Bombita

### PROPUESTA DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

Mapa 3 de 3

Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



Escala: 1:16.000

0 250 500  
Metros

Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)



Diciembre 2020



## **ANEJO 5**

### **SUPERFICIES INCORPORADAS AL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO- TERRESTRE**





### Leyenda

- DPMT propuesto
- DPMT aprobado
- Mapas parciales
- Límite término municipal

- Playas
- Dunas - arenas eólicas
- Marismas - lagunas litorales
- Finca Bombita

- Muestras agua
- Levemente salada
  - Moderadamente salada
  - Altamente salada

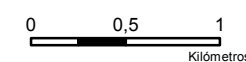
### SUPERCIFIES INCORPORADAS AL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

#### Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



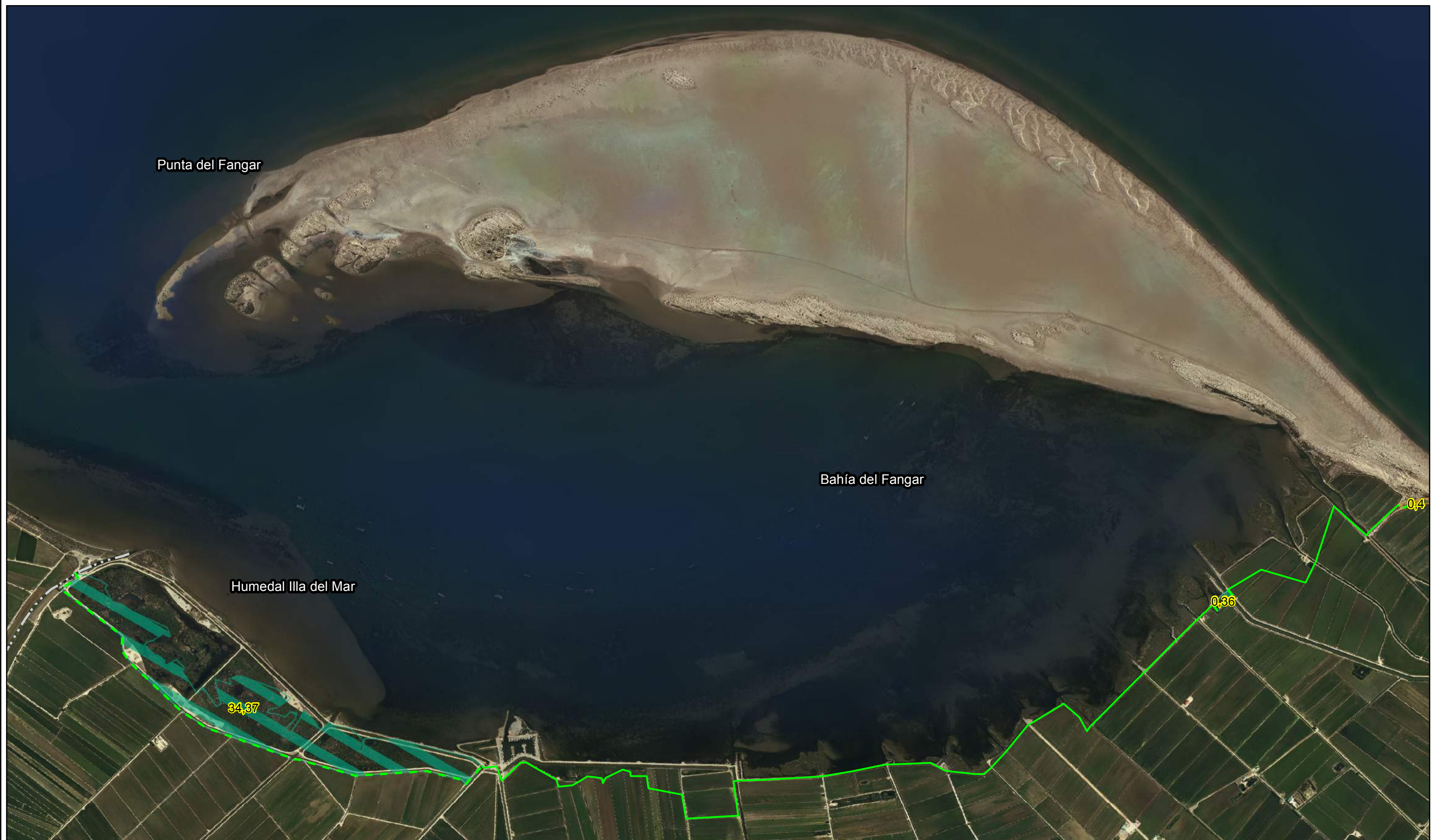
Escala: 1:40.000



Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)







### Leyenda

--- DPMT propuesto

--- DPMT aprobado

--- Límite término municipal

Playas

Dunas - arenas eólicas

Marismas - lagunas litorales

Finca Bombita

0,4 Superficie (Ha)  
incorporada

## SUPERFICIES INCORPORADAS AL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

Mapa 1 de 3

Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



Escala: 1:16.000

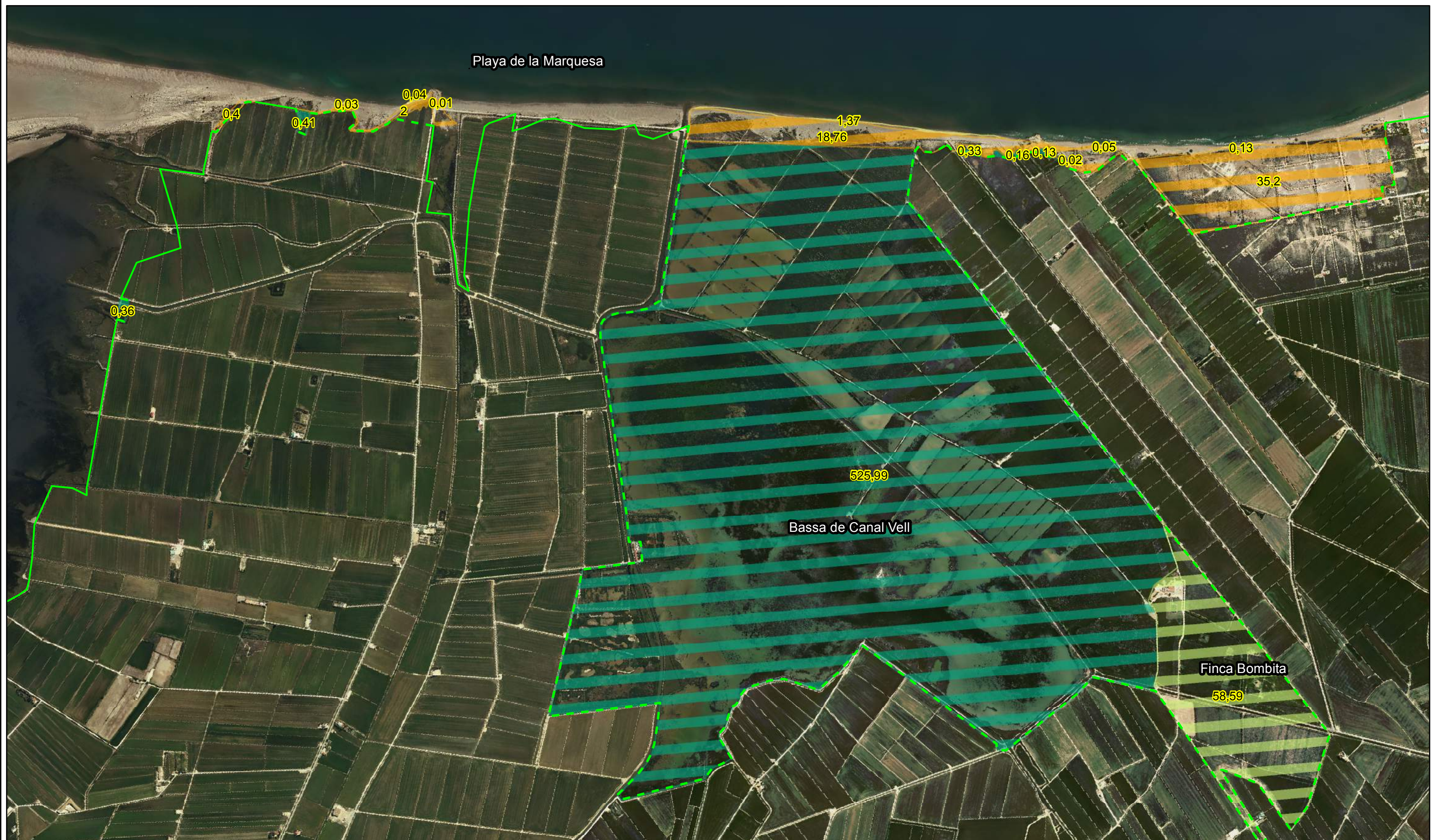
0 250 500  
Metros

Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)



Diciembre 2020





### Leyenda

- DPMT propuesto
- DPMT aprobado
- Límite término municipal
- Playas
- Dunas - arenas eólicas
- Marismas - lagunas litorales
- Finca Bombita
- 0,4 Superficie (Ha) incorporada

### SUPERFICIES INCORPORADAS AL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

Mapa 2 de 3

Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



Escala: 1:16.000

0 250 500  
Metros

Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)



Diciembre 2020





### Leyenda

--- DPMT propuesto

--- DPMT aprobado

--- Límite término municipal

Playas

Dunas - arenas eólicas

Marismas - lagunas litorales

Finca Bombita

0,4 Superficie (Ha)  
incorporada

## SUPERFICIES INCORPORADAS AL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

Mapa 3 de 3

Sistema de Coordenadas:

ETRS 1989 UTM Zone 31N  
Proyección: Transverse Mercator. Datum: ETRS 1989



Escala: 1:16.000

0 250 500  
Metros

Estudio preliminar técnico del deslinde del D.P.M.-T.  
en el término municipal de Deltebre, (Tarragona)



Diciembre 2020