

# **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

## **ACTIVIDAD DE GEORREFERENCIACIÓN DEL VUELO HISTÓRICO DE LA CSHE DE 1927 Y ANÁLISIS TERRITORIAL CON VUELOS POSTERIORES**

***Autor: Eduardo Maestro Monzón***

***Profesor: Alfredo Ollero Ojeda***  
***Tutor de Prácticas: José Ángel Losada García***

**Máster Universitario en**  
**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del**  
**territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

**Día 18 de Diciembre de 2014**



**Universidad**  
Zaragoza

**Departamento de Geografía  
y Ordenación del Territorio**



## Resumen

*El Delta del Ebro es un espacio dinámico, en constante cambio debido a diversos factores y elementos. Este trabajo se estructurará en dos grandes apartados: la georreferenciación de los fotoplanos de 1927, tarea imprescindible para trabajar con ellos posteriormente, y el estudio del cambio que el Delta ha sufrido entre 1927 y 2012 tanto desde el punto de vista morfológico como desde el de aprovechamiento del suelo en él. Además, se intentará dar respuesta a la pregunta de cómo va a evolucionar esta gran masa de terreno que poco a poco va perdiendo superficie con respecto al Mar Mediterráneo.*

*Palabras clave: Delta del Ebro, georreferenciación vuelo 1927, evolución morfológica, usos del suelo.*

## Abstract

*The Ebro Delta is a dynamic area, constantly changing because of several factors and elements. This work will be organized in two main sections: the georeferencing of the 1927's photoplans, essential task to work with them later, and the study of morphological point of view and from the use its land. Also, it will try to answer the question of how it's going to involve this great mass of land that is slowly losing surface in relation to the Mediterranean Sea.*

*Keywords: Ebro Delta, flight 1927 georeferencing, morphological evolution, land uses.*

## Índice

1.	Confederación Hidrográfica del Ebro. Contexto de realización de las prácticas de Máster .....	pág. 2
1.1.	Confederación Hidrográfica del Ebro. Historia y funciones .....	pág. 2
1.2.	Prácticas del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica para la Ordenación del Territorio: SIG y Teledetección .....	pág. 4
2.	Proceso de georreferenciación .....	pág. 6
2.1.	Evolución de la cartografía en la CHE .....	pág. 6
2.2.	Proceso de georreferenciación del vuelo de la CETFA de 1927 ....	pág. 8
3.	La evolución del Delta del Ebro. ....	pág. 21
3.1.	Introducción.....	pág. 21
3.2.	Elementos y factores.....	pág. 21
3.3.	Introducción al Delta del Ebro .....	pág. 23
3.4.	Evolución histórica del Delta del Ebro .....	pág. 24
3.5.	Evolución reciente y problemas del Delta del Ebro.....	pág. 26
3.6.	Consecuencias.....	pág. 27
3.6.1.	Consecuencias evolutivas y ambientales.....	pág. 27
3.6.2.	Consecuencias socioeconómicas .....	pág. 33
3.7.	Soluciones de organismos y del mundo científico .....	pág. 33
3.7.1.	Soluciones ambientales .....	pág. 33
3.7.2.	Soluciones técnicas y constructivas.....	pág. 34
4.	Usos y coberturas del suelo en el tramo final del Río Ebro y en el Delta del Río Ebro.....	pág. 35
4.1.	Introducción.....	pág. 35
4.2.	Utilización de la fotografía aérea para la clasificación y el estudio de la evolución de los distintos usos y coberturas del suelo en el tramo final del río Ebro y el Delta del Ebro.....	pág. 35
5.	Conclusiones .....	pág. 47
6.	Bibliografía .....	pág. 48
7.	Anexos .....	pág. 49

# **1. CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO.**

## **CONTEXTO DE REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE MÁSTER**

### **1.1. Confederación Hidrográfica del Ebro. Historia y funciones**

Como respuesta al proceso de creación de una política hidráulica generado años atrás en nuestro país, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), al igual que otras Confederaciones Hidrográficas, fue constituida el día 5 de marzo de 1926, siendo su primer Director Técnico, Manuel Lorenzo Pardo, gran impulsor de la misma. Pero como se ha comentado, ya anteriormente se había avanzado en cuestiones hidráulicas en Aragón que fueron sembrando el germen para el futuro nacimiento de la CHE:

- En 1913 se celebró en Zaragoza el Primer Congreso Nacional de Riegos, en el que en una de sus comunicaciones se expuso la idea de configurar una agrupación comunitaria de carácter económico y supra-regional por federación de las asociaciones agrarias, comerciales e industriales de toda la zona sometida a la influencia del río Ebro.
- En 1915 se aprueba el Plan de Riegos del Alto Aragón, en el que el Estado asume la ejecución de las obras con dos aspectos esenciales: la planificación global de todas las obras públicas necesarias y su referencia a una cuenca hidrográfica natural.
- Dos años más tarde, en 1917, se crea el Sindicato de Riegos del Alto Aragón, a quien se le encomienda la realización del Plan, con una Junta de Obras en la que participen los usuarios.

Como función general, la CHE tiene que velar por el control hidrológico de la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Esta cuenca tiene una superficie de 85.569 km<sup>2</sup> y acoge a una población de 3.226.921 personas, repartidas en 9 Comunidades Autónomas (Aragón, Cataluña, Navarra, Castilla y León, La Rioja, País Vasco, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y Cantabria). Este control hidrológico lo hace a través de sus diferentes redes de medida:

- Hidrológica e hidrogeológica: 322 puntos de control de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) y 317 puntos de observación de la Red Piezométrica básica.
- Nieve: 110 pértigas para el Estudio de Recursos Hídricos producidos por la Innivación (ERHIN)
- Información automática: 609 estaciones de aforo en ríos, embalses y canales de riego así como 373 medidas de precipitación para el Servicio Automático de Información Hidrológica (SAIH) Y 27 estaciones de calidad del agua para el Sistema Automático de Información de Calidad del Agua (SAICA).

Aparte, la CHE desarrolla otras funciones de acuerdo a lo establecido en la Ley de Aguas. Las más importantes se recogen a continuación:

- La elaboración del Plan Hidrológico de cuenca, así como su seguimiento y revisión. Actualmente se encuentran en la fase de redacción del Plan Hidrológico del Ebro 2016-2021.
- La administración y control del dominio público hidráulico.
- La administración y control de los aprovechamientos de interés general o que afecten a más de una Comunidad Autónoma.
- El proyecto, la construcción y explotación de las obras realizadas con cargo a los fondos propios del Organismo, y las que sean encomendadas por el Estado.
- Así como las que se deriven de los Convenios con las Comunidades Autónomas, Corporaciones Locales y otras Entidades públicas o privadas, o los suscritos con los particulares.

La forma de organización de la CHE se divide en 4 Unidades Administrativas, las cuáles se pueden ver en la Figura 1:



Figura 1. Organigrama administrativa de la CHE.

La Unidad Administrativa donde he realizado el trabajo de prácticas es la de la Oficina de Planificación Hidrológica, cuyos objetivos se pueden resumir en tres:

- La recopilación y, en su caso, la realización de los trabajos y estudios necesarios para la elaboración, seguimiento y revisión del Plan Hidrológico de la cuenca, de acuerdo con lo establecido en la Ley de Aguas. Actualmente se encuentran en la fase de redacción del Plan Hidrológico del Ebro 2016-2021.
- Informar de la compatibilidad con el Plan Hidrológico de cuenca de las actuaciones propuestas por los usuarios.
- La redacción de los planes de ordenación de las extracciones en acuíferos declarados sobreexplotados o en riesgo de estarlo y de aquellos otros en proceso de salinización.

Esta Oficina de Planificación Hidrológica se estructura a través del siguiente organigrama:



Figura 2. Organigrama de la Oficina de Planificación Hidrológica.

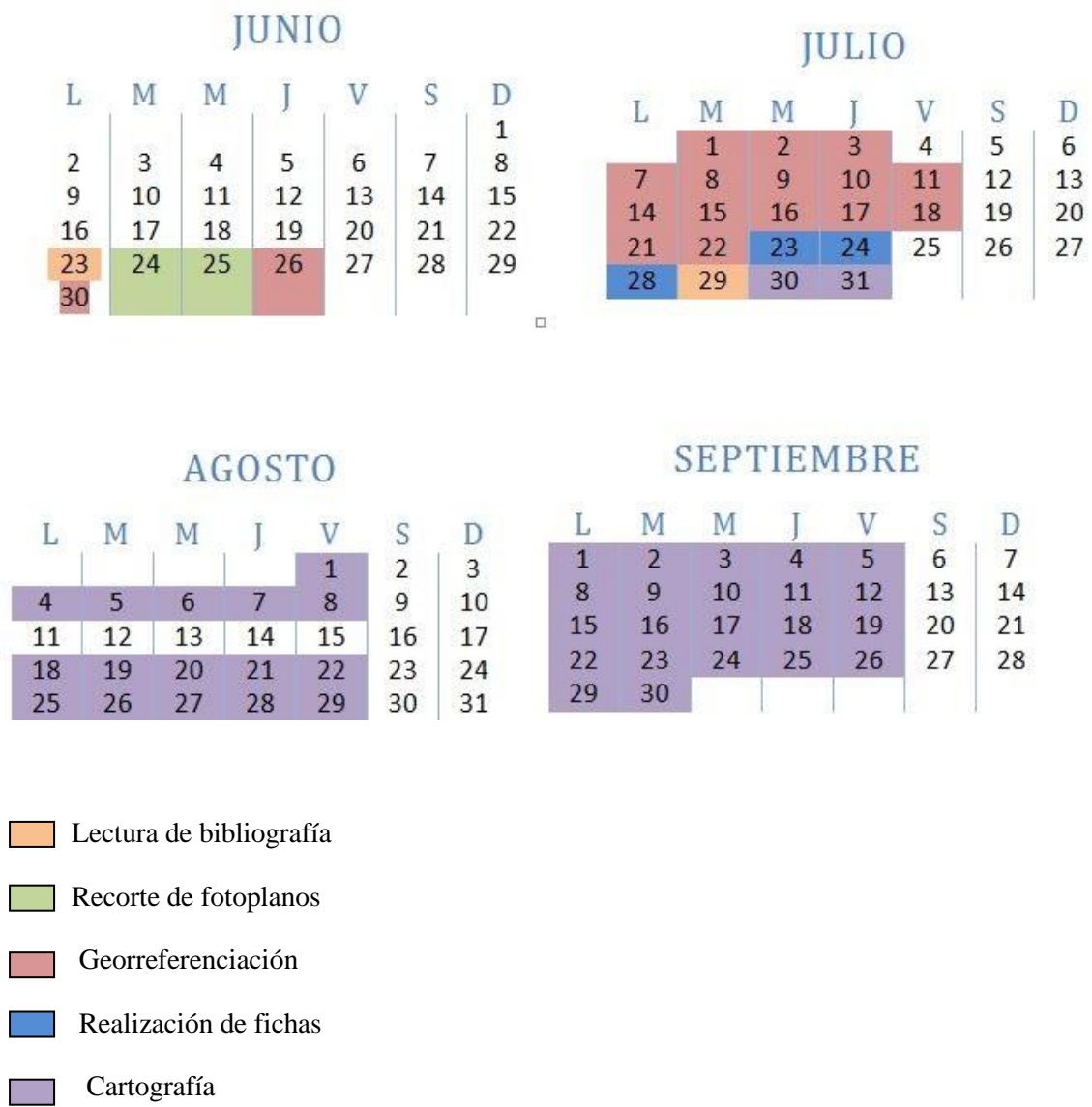
## **1.2. Prácticas del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica para la Ordenación del Territorio: SIG y Teledetección**

El periodo de prácticas asociadas al Proyecto de Fin de Máster ha sido de 300 horas repartidas entre los días 23 de junio y 1 de octubre de 2014, realizando en este periodo de tiempo el trabajo de georreferenciación de los fotoplanos del vuelo de 1927 que llevó a cabo la Compañía Española de Trabajos Fotogramétricos Aéreos (CETFA) en parte de la cuenca del Ebro, centrándonos en este caso en la zona del Delta del Ebro, así como la cartografía asociada al trabajo:

1. Mapa de coberturas del suelo en los años 1927 y 2012
2. Mapa de las vías de comunicación en los años 1927 y 2012
3. Mapa de las infraestructuras hidráulicas en los años 1927 y 2012
4. Mapa de la extensión del Delta del Ebro en los años 1927, 1956 y 2012
5. Mapa del perímetro del Delta del Ebro en los años 1927, 1956 y 2012
6. Mapa del cauce del Río Ebro en los años 1927, 1956 y 2012

Los mapas resultantes del año 1956 y 2012 corresponden al trabajo llevado a cabo sobre las fotografías aéreas del vuelo americano de 1956 (serien B) en el primer caso y de las ortofotos actuales (2012) del vuelo del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del Instituto Geográfico Nacional en el segundo. En ambos casos, los productos generados de esos vuelos ya estaban georreferenciados en la zona de estudio del trabajo.

Las 300 horas han estado repartidas de la siguiente manera:



## **2. PROCESO DE GEORREFERENCIACIÓN**

### **2.1. Evolución de la cartografía en la CHE**

En 1926 se creó la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro (CSHE), con el objetivo de sumar esfuerzos en un organismo participativo de nuevo cuño para aprovechar el potencial de la cuenca del Ebro en sus dos principales vertientes, regadío e hidroelectricidad, como fuerza impulsora del desarrollo de estas tierras.

En esta misión, la cartografía como plasmación del territorio en un mapa, tenía una importancia capital en la planificación y ejecución de las actuaciones de toda índole que la recién nacida Confederación soñaba con realizar. Por eso, desde el primer momento se puso de relieve la necesidad de disponer de una adecuada cartografía, que le permitiera cumplir con sus objetivos de planificación y aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

Esta necesidad de conocer profundamente el territorio, de obtener datos físicos y socioeconómicos, se concreta en aquel momento en la creación de un pujante Servicio de Cartografía desde el que se impulsan importantes y novedosos proyectos cartográficos empleando las mejores tecnologías del momento.

Apropiadamente, la Confederación dirige su mirada a una nueva tecnología que está dando sus primeros pasos en España: la fotografía y cartografía aérea. La única compañía que en aquellos años trabajó sobre fotografía aérea en España era la Compañía Española de Trabajos Fotogramétricos Aéreos (CETFA), fundada en 1927 por varios pioneros de la aviación en España (Julio Ruiz de Alda, Augusto Aguirre, José María Ansaldi y Jorge Löring) y que estuvo funcionando hasta hace poco más de una década.

El principal objetivo de esta Compañía era participar en las tareas de confección del Catastro, pero ante las reticencias iniciales del Ministerio de Hacienda y del Instituto Geográfico y Catastral, se ocupó en los primeros años de su existencia en realizar trabajos fotográficos y cartográficos para las Confederaciones Hidrográficas, entre otras la del Ebro.

El trabajo encargado a la CETFA por parte de la Confederación consistía en la realización de un vuelo fotogramétrico y su posterior elaboración de la cartografía en positivos a escala 1:10.000 de una extensa zona de la cuenca del Ebro.

Aunque parece ser que las pruebas se llevaron a cabo en 1927, los vuelos principales se desarrollaron durante 1928, 1929 y 1930, como se desprende de algunas fechas grabadas en los negativos y positivos originales, de elementos identificables en las propias fotos y de referencias en publicaciones de la época.

La cobertura del vuelo es de unos 12.300 km<sup>2</sup> (13.430 km<sup>2</sup> según documentos de la época) frente a los aproximadamente 85.000 km<sup>2</sup> que abarca la cuenca del Ebro. Concretamente hacen un reconocimiento aerofotográfico de la cabecera del Ebro, del cauce y regadíos del Aragón, de la zona afectada por el embalse de Yesa y del cauce y regadíos del Ebro, desde la localidad riojana de Alfaro hasta la desembocadura en el Delta del Ebro.

Superpuesto a la retícula del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000, el ámbito de vuelo cubre, completa o parcialmente según las zonas, un total de 49 hojas de las 217 en que se inscribe la cuenca hidrográfica del Ebro, que suman la cobertura de vuelo anteriormente descrita de unos 12.300 km<sup>2</sup>.



Imagen 1. Retícula de distribución de las hojas de fotoplanos del vuelo de 1927 en la Cuenca del Ebro.

Como aspectos técnicos destacables dentro del vuelo de 1927 podemos decir que la CETFA utilizó una cámara Zeiss de gran formato (24 x 30 cm) y distancia focal de 50 cm para la adquisición de las tomas, siendo considerada en 1927 como dijo Sada (1927) “la máquina que mejor satisface nuestro objeto de formación de planos parcelarios a gran escala y de grandes extensiones”.

Pero ante todo, se quiso asegurar la creación de un producto netamente cartográfico, que sirva a las necesidades de conocimiento geográfico que requería la institución, y que permita la medición exacta del parcelario de las tierras sobrevoladas como dijo Sada (1927): “Por la falta de estabilidad del avión, se comprende que las vistas obtenidas necesitarán corregirse antes de su utilización, previniéndose de la deformación que la imagen del terreno ha sufrido por la falta de paralelismo entre la placa sensible y el suelo”. Se trata de conseguir, en suma, la deformación que el relieve introduce en todo vuelo fotogramétrico convencional.

Por ello, dada su fecha de obtención, los fotoplanos unen a su carácter pionero un valor cartográfico y fotogeográfico excepcional, lo que les convierte en una importante fuente documental directamente aplicable a la investigación ambiental y territorial (dinámicas de procesos, evolución del paisaje, cambios de ocupación y usos del suelo, etc.) en estudios diacrónicos y multitemporales.



Hasta aproximadamente mediados del siglo XX, los fotoplanos prestan el valioso servicio para el que originariamente fueron obtenidos, salvo durante el fatal paréntesis de la Guerra Civil, 1936-39, en que se convierten en un “arma para la guerra”, sobre la que se diseñan múltiples acciones bélicas y estrategias militares; en particular parece que jugaron su papel durante las operaciones de la batalla del Ebro.

Posteriormente a 1950, los fotoplanos caen en desuso superados por ediciones cartográficas más modernas; en especial por los vuelos fotográficos de los años 40 y 50 realizados por los norteamericanos. Actualmente, desde la Confederación Hidrográfica del Ebro, y gracias a las posibilidades de análisis y gestión territorial que brindan las nuevas tecnologías de la información geográfica, se ha visto el interés de incorporar al repositorio de datos del GIS-Ebro, Sistema de Información Geográfica de la cuenca del Ebro, hecho que se desarrollará más adelante en este trabajo.

Centrándonos en nuestra zona de estudio, los fotoplanos correspondientes al Delta del Ebro son un total de 41, desde el norte de Tortosa hasta la desembocadura del río en el Cabo de Tortosa en el eje O-E, y desde La Ampolla hasta el límite provincial entre las provincias de Tarragona y Castellón en el eje N-S. Esta distribución se puede observar en la siguiente imagen:



Imagen 2. Retícula de distribución de las hojas de fotoplanos del vuelo de 1927 en la zona de estudio.

Estos 41 fotoplanos corresponden con gran parte de las hojas 522, 523 y 547 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

## **2.2. Proceso de georreferenciación del vuelo de la CETFA de 1927**

La **georreferenciación** se refiere al posicionamiento en el que se define la localización de un objeto espacial a una posición en la superficie de la Tierra, con un sistema de coordenadas y datum determinado.

Con este proceso, podremos implementar cualquier fotoplano a un programa SIG y trabajar sobre ella, sabiendo en todo momento en que coordenadas nos encontramos.

El proceso de georreferenciación seguido en este trabajo de prácticas ha seguido los siguientes pasos:

### 1º - Obtención de los fotoplanos

Los 41 fotoplanos objetos de estudio en este trabajo se encontraban dentro de la colección de fotoplanos del vuelo de 1927 en el archivo fotográfico de la Sección de Medio Gráficos y Audiovisuales de la CHE. Una vez escaneados y convertidos a imagen .jpg, se me suministraron para comenzar el trabajo con ellos.

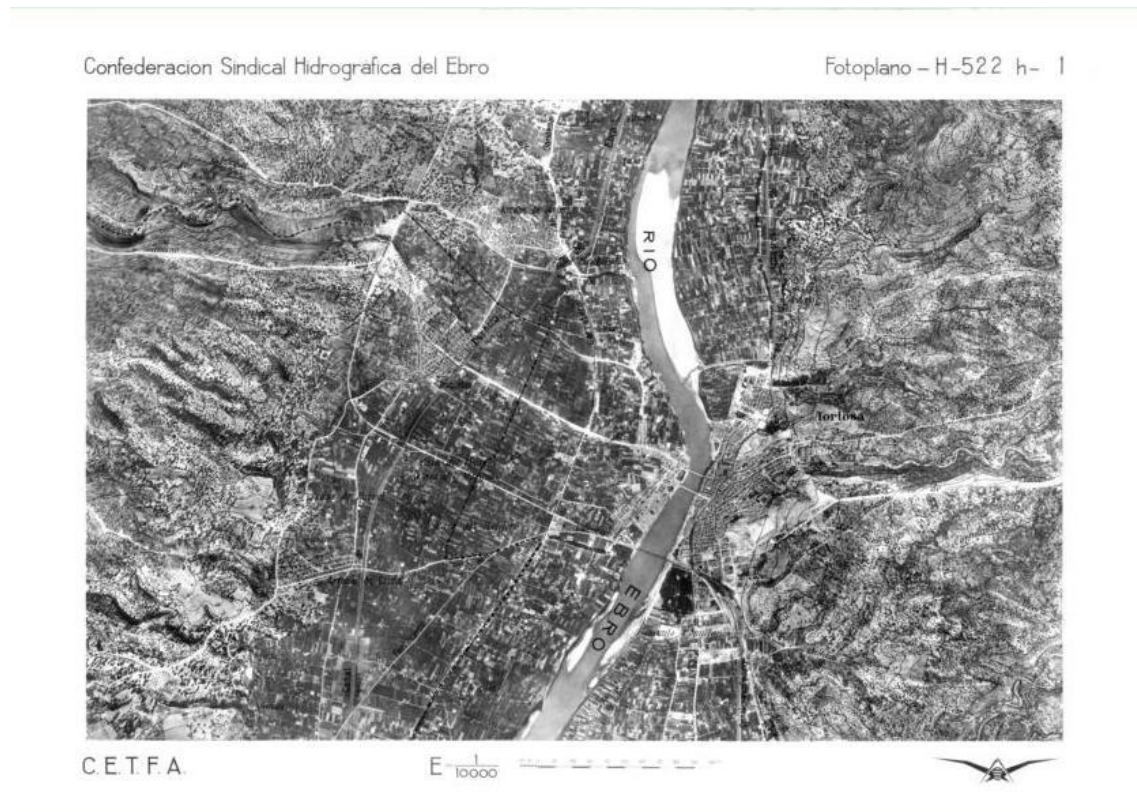


Imagen 3. Hoja de un fotoplano completo de la zona de estudio.

### 2º - Recorte de los márgenes de los fotoplanos

Como se puede observar en la imagen anterior, cada fotoplano tiene una zona alrededor del fotoplano en sí en la que se contiene cierta información del mismo: número de fotoplano y hoja correspondiente al Mapa Topográfico Nacional, nombre de la Institución y de la Compañía realizadora del vuelo y la escala.

Por tanto, para trabajar correctamente con el fotoplano se realizó un recorte de los márgenes blancos del fotoplano a través de la herramienta *Crop* del programa Adobe Photoshop.

En este recorte, quedaron zonas del fotoplano en los márgenes recortados debido a la forma paralelepípeda de la imagen, por lo que se perdieron algunas filas y columnas de píxeles en dicho recorte.



Imagen 4. Hoja de un fotoplano completo de la zona de estudio recortada por los márgenes.

### **3º - Eliminación del ruido de los fotoplanos**

Una vez recortada, se eliminaron las zonas de ruido que se produjeron por la toma de datos de la cámara ubicada en el aeroplano que realizó el vuelo. Estas zonas de ruido están situadas en los márgenes de los fotoplanos debido a la verticalidad de la toma de los datos durante la realización del vuelo.

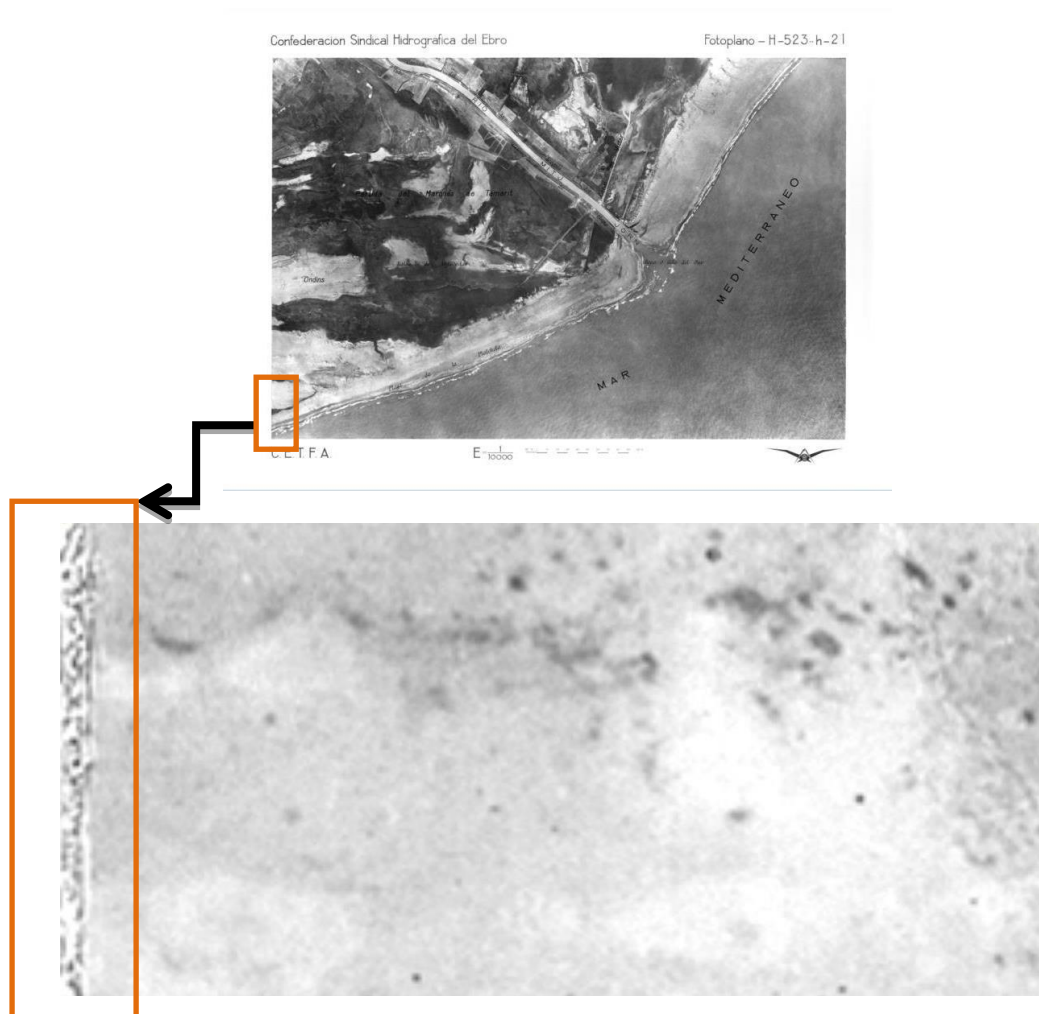
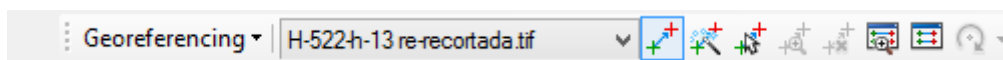


Imagen 5. Detalle de la zona de ruido en uno de los fotoplanos de la zona de estudio.

#### 4º - Toma de punto de control (GCP) en los fotoplanos

El trabajo de toma de puntos de control en los fotoplanos se realizó a través de la extensión “Georeferencing” de la versión 10.1 de ArcGis.

En esta extensión tendremos diferentes herramientas, siendo las más importantes: el desplegable donde elegiremos el fotoplano a georeferenciar, la pestaña de añadir puntos de control, el visor de la capa a georeferenciar junto con la capa con la que realizaremos este proceso y la tabla de resultados en donde iremos viendo el error residual que nos genera el proceso de la georeferenciación.



Una vez se tuvieron las dos imágenes en el mismo visor se comenzó con el proceso de georeferenciación. Primero, nos ubicamos en el fotoplano que quisimos georeferenciar, en este caso el de 1927, e intentamos encontrar puntos que sean visibles en ambas fotos y que no hayan sufrido cambios durante este período. Los mejores lugares para esto son: los edificios en las poblaciones, los cruces de caminos, los puentes sobre acequias, las separaciones entre campos, etc.



Cuando se encuentra un punto, se le clicla en la imagen de 1927 para acto seguido, clicar en el mismo punto del fotoplano ya georreferenciado, en este caso el PNOA de 2012.

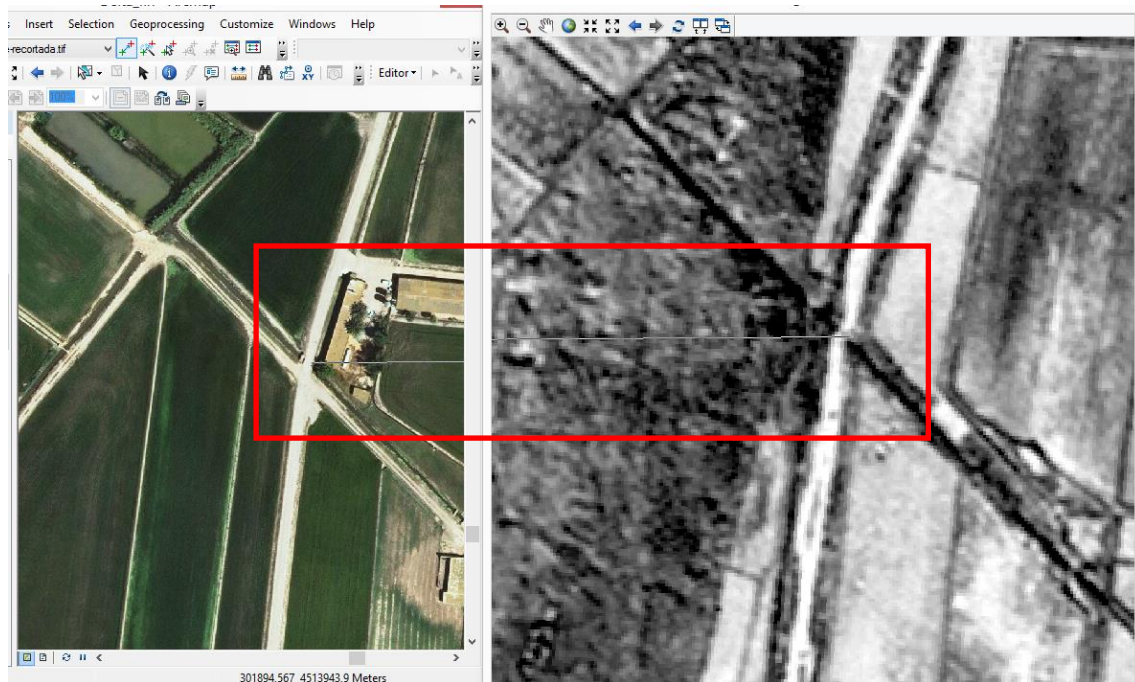


Imagen 6. Comparativa en el momento de toma del primer punto de control entre los dos fotoplanos.

Con este primer punto, el fotoplano ya se va ubicando en sus coordenadas verdaderas.

A partir del tercer punto, al clicar en el fotoplano a georreferenciar en el punto que se decide, automáticamente sale una cruz de color verde en el fotoplano ya georreferenciado, que es dónde el programa calcula que son sus coordenadas aproximadas. A continuación, se tiene que hacer un segundo click (cruz roja) en el lugar donde se considere que es la coordenada exacta con respecto al fotoplano de 1927. Al hacer este paso, la cruz verde se ajusta de nuevo.

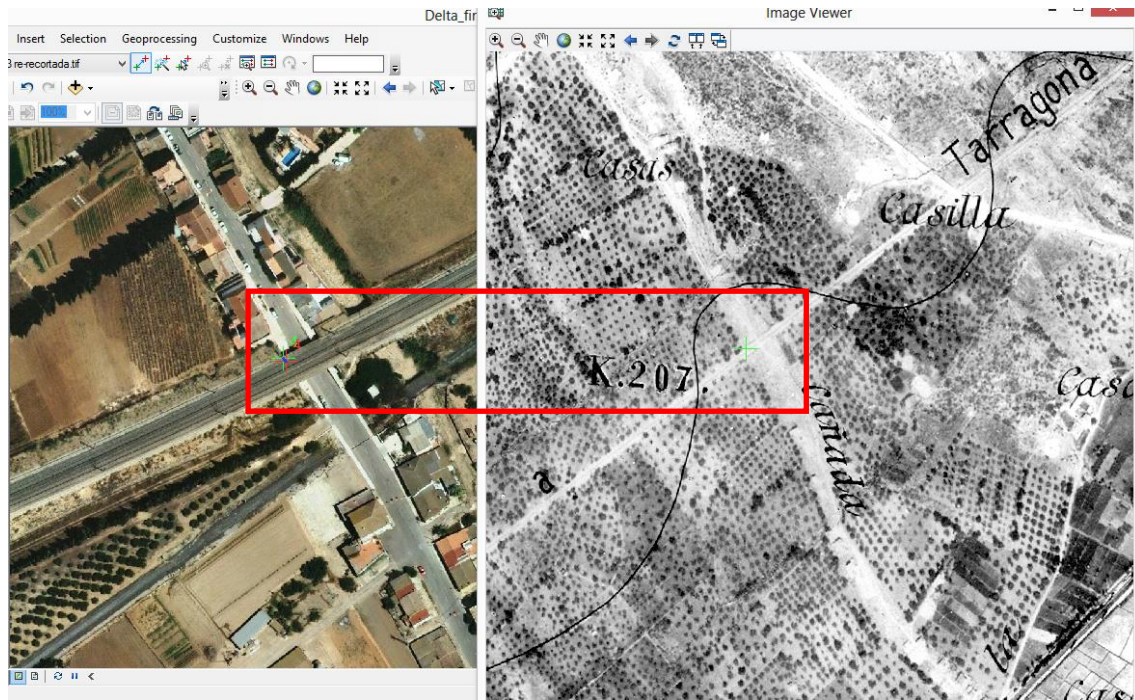


Imagen 7. Señalización del punto de control tomado entre los dos fotoplanos.

Se fueron tomando puntos de control hasta un número que se considere oportuno.

En este caso práctico, se han tomado por cada fotoplano una media de entre 8 y 12 puntos de control. No se han podido tomar más, debido a la complejidad de la imagen y a las limitaciones técnicas durante la realización del vuelo. Es por este último aspecto, el que se hayan tomado puntos de control de la zona central de los fotoplanos ya que las imágenes de éstos están tomadas de forma vertical, por lo que en las márgenes de los fotoplanos se presenta cierto grado de deformación del territorio, y al tomarse puntos de control de estas zonas, el error residual subía mucho.





Imagen 8. Puntos de control tomados en uno de los fotoplanos de la zona de estudio para la georreferenciación del mismo.

Otro de los aspectos esenciales en el proceso de georreferenciación es el del error residual, que hace que un fotoplano esté bien o mal georreferenciado.

Como norma general, el error residual mínimo (RMS) aceptable para la georreferenciación de un fotoplano debería de ser de 1 píxel. Pero en este caso, por lo antiguo de los fotoplanos y sus limitaciones técnicas ha sido imposible obtener este RMS.

El RMS medio de los 31 fotoplanos que se han podido georreferenciar a partir de puntos de control sobre el territorio ha sido de 4,26 píxeles.

Link								
Total RMS Error: Forward:2.88581								
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	8.517976	7.821345	288737.132154	4492009.389308	-4.14689	-2.49843	4.84137
<input checked="" type="checkbox"/>	2	9.547931	9.337854	289031.334416	4492394.988538	2.07651	0.95211	2.28439
<input checked="" type="checkbox"/>	3	12.605114	6.220719	289807.766454	4491559.557275	-1.91978	-1.44875	2.40509
<input checked="" type="checkbox"/>	4	8.835013	4.294905	288793.396904	4491098.342623	2.45431	0.00684632	2.45432
<input checked="" type="checkbox"/>	5	11.868052	3.988462	289591.880080	4490988.405951	-0.524388	-2.93158	2.97811
<input checked="" type="checkbox"/>	6	15.801831	9.511809	290687.662084	4492380.394661	-2.01656	-1.10718	2.30051
<input checked="" type="checkbox"/>	7	10.897909	5.893649	289353.981170	4491493.667955	0.289894	1.43754	1.46648
<input checked="" type="checkbox"/>	8	14.375190	7.698186	290293.457612	4491928.479783	-0.128744	2.20654	2.21029
<input checked="" type="checkbox"/>	9	14.247799	9.231324	290278.469920	4492324.010622	3.70539	0.661878	3.76404
<input checked="" type="checkbox"/>	10	9.505162	3.781067	288963.880589	4490962.210711	0.210252	2.72104	2.72915

☒ Auto Adjust  
☐ Degrees Minutes Seconds

Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)  
 Forward Residual Unit : Unknown

Imagen 9. Tabla con el listado de puntos de control tomados en un fotoplano, error residual de cada uno y error residual total de la imagen.

Los restantes 10 fotoplanos (fotoplanos que son de zonas de humedales o únicamente de agua y arena) se decidió georreferenciarlos a partir de las coordenadas correspondientes a las esquinas coincidentes con los fotoplanos contiguos.

Esto se ha pudo conseguir partiendo de la georreferenciación de un fotoplano, a partir de puntos sobre el territorio, con un error lo más bajo posible. A partir de ésta se georreferenciaron las contiguas sin posibilidad de toma de contacto de puntos de tierra.



Imagen 10. Fotoplano con imposibilidad de toma de puntos de control en el terreno.

Por último, a la mayoría de los fotoplanos georreferenciados se les aplicó durante este proceso un orden polinomial 1, debido a lo llano del terreno. Pero hay 3 fotoplanos, que debido a la presencia de zonas montañosas de cierta elevación, se les aplicó un polinomio de orden 2, haciendo que se ajusten mejor las coordenadas a la realidad del terreno.

Una vez ya se tuvieron los puntos de control considerados como suficientes para cada fotoplano y se consiguió un error residual mínimo se procedió a guardar el fotoplano georreferenciado. Esto se hace a través de la pestaña desplegable Georeferencing (Update Georeferencing). Hecho este paso, el fotoplano ya estará georreferenciado con las coordenadas de la imagen auxiliar en el proceso de georreferenciación y ya se podrá implementar a un SIG y trabajar con él.



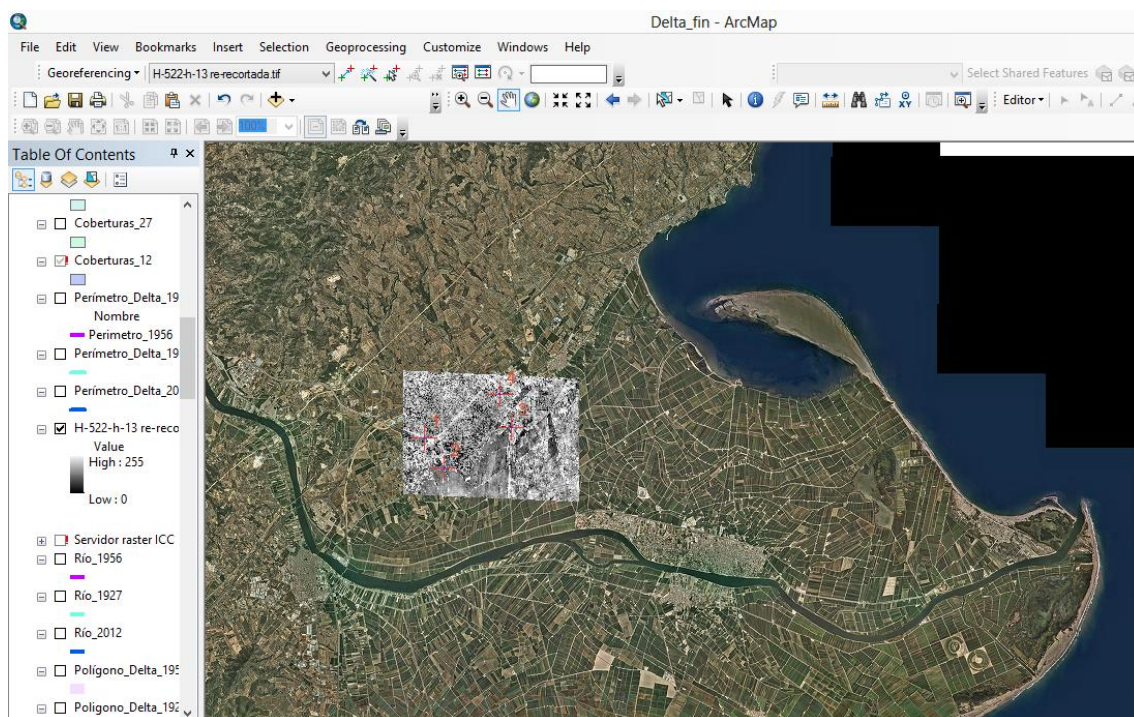


Imagen 11. Fotoplano de 1927 georreferenciado en el PNOA de 2012.

## 5º - Realización de fichas

Cada fotoplano del vuelo de 1927 está complementado con una ficha en la que se especifica los puntos de referencia tomados para su georreferenciación, con sus coordenadas en el fotoplano y una explicación de qué se ha georreferenciado (una casa, un cruce de caminos, un cruce de calles, etc.)

Además, se expone la tabla con el error residual de dicho fotoplano, y de todos los distintos puntos de referencia, a través de un pantallazo con la ventana generada en el programa de ArcMap 10.1. Se añade una pequeña explicación en los fotoplanos en los que no ha sido posible tomar puntos de referencia en tierra, sobre el motivo y la solución adoptada.

Por último, en el recuadro de observaciones se muestran las coincidencias del fotoplano georreferenciado con las hojas 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y con las hojas del vuelo de 2012 del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), así como la existencia o no de núcleos de población importantes dentro de los límites de cada uno de ellos.

Link

Total RMS Error: Forward:2.88581

	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	8.517976	7.821345	288737.132154	4492009.389308	-4.14689	-2.49843	4.84137
<input checked="" type="checkbox"/>	2	9.547931	9.337854	289031.334416	4492394.988538	2.07651	0.95211	2.28439
<input checked="" type="checkbox"/>	3	12.605114	6.220719	289807.766454	4491559.557275	-1.91978	-1.44875	2.40509
<input checked="" type="checkbox"/>	4	8.835013	4.294905	288793.396904	4491098.342623	2.45431	0.00684632	2.45432
<input checked="" type="checkbox"/>	5	11.868052	3.988462	289591.880080	4490988.405951	-0.524388	-2.93158	2.97811
<input checked="" type="checkbox"/>	6	15.801831	9.511809	290687.662084	4492380.394661	-2.01656	-1.10718	2.30051
<input checked="" type="checkbox"/>	7	10.897909	5.893649	289353.081170	4491493.667955	0.289894	1.43754	1.46648
<input checked="" type="checkbox"/>	8	14.375190	7.698186	290293.457612	4491928.479783	-0.128744	2.20654	2.21029
<input checked="" type="checkbox"/>	9	14.247799	9.231324	290278.469920	4492324.010622	3.70539	0.661878	3.76404
<input checked="" type="checkbox"/>	10	9.505162	3.781067	288963.880589	4490962.210711	0.210252	2.72104	2.72915

☒ Auto Adjust

Transformation: 

1st Order Polynomial (Affine)

Degrees Minutes Seconds

Forward Residual Unit : Unknown

ID

COORD X

COORD Y

LUGAR

1

288737

4492009

Curva de camino

2

289031

4492394

Cruce de caminos

3

289807

4491559

Cruce de caminos

4

288793

4491098

Cruce de caminos

5

289591

4490988

Casa

6

290687

4492380

Cruce camino – Barranco de las Casas

7

289353

4491493

Curva de camino

8

290293

4491928

Cruce de caminos – La Virol

9

290278

4492324

Cruce camino – Carretera de Vinaroz a la Venta Nueva

10

288963

4490962

Cruce Camino del Pou – Carretera de Vinaroz a la Venta Nueva

OBSERVACIONES:

Hoja 547-3 (ALCANAR) según IGN (1:50.000)

Núcleos de población más importante: Alcanar

Coincide con Hoja 0547 – h50 – HU31 – ETRS89 (PNOA 2012)

Imagen 12. Comparativa del listado de puntos de control en ArcMap 10.1 y la fiche realizada a posteriori.

## 6º - Generar el mosaico de la zona de estudio

Una vez que se georreferenciaron los 41 fotoplanos, se realizó un mosaico de los mismos para presentarlos en una sola capa (*ArcToolBox/Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Mosaic To New Raster*). Con esto realizado, se pudo trabajar sobre la evolución del Delta desde 1927 hasta la actualidad.

Los huecos que se pueden observar entre los distintos fotoplanos mosaicados son producidos por la eliminación de ciertas filas y columnas en el segundo y tercer paso del proceso de georreferenciación: recorte de los márgenes y eliminación de zonas de ruido del fotoplano.

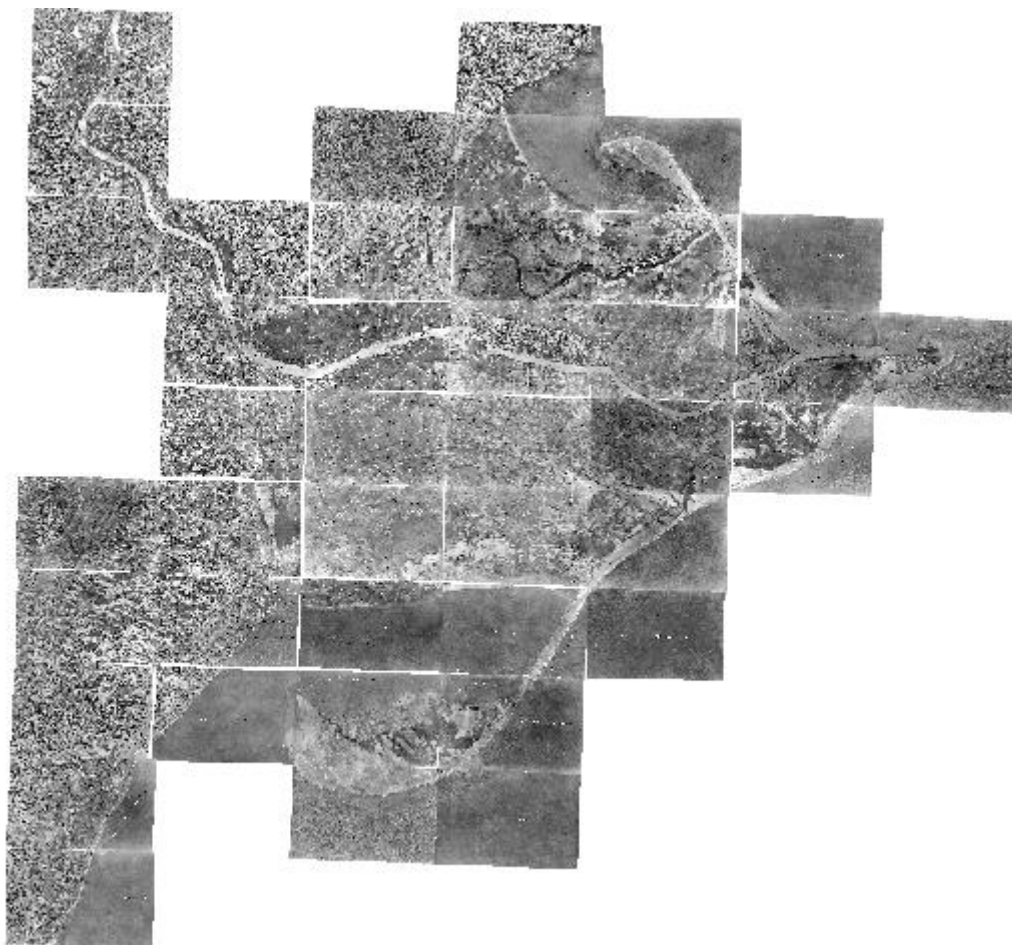


Imagen 13. Mosaico de los fotoplanos georreferenciados de 1927 de la zona de estudio.

### **7º - Implementación de los fotoplanos georreferenciados al SIT-Ebro**

Actualmente desde la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE, y gracias a las posibilidades de análisis y gestión territorial que brindan las nuevas tecnologías de la información geográfica, se ha visto el interés de incorporar al repositorio de datos del SITEbro, Sistema de Información Geográfica de la Cuenca del Ebro, las colecciones de cartografía histórica existentes en los archivos y fondos documentales de la CHE. Por tanto, una vez georreferenciados de forma conveniente y mosaicados todos los fotoplanos del vuelo de 1927, es posible la integración de éstos en una aplicación o proyecto SIG.

En una primera etapa, se procedió al escaneo de la totalidad de originales en papel positivo pancromático que arman los fotoplanos de 1927 a escala 1:10.000. Desde ese momento, y a través de la Red de Información del Agua de la CHE, se puede acceder, de manera libre y gratuita para todos los ciudadanos, a más de 600 fotoplanos escaneados (en formato .jpg).

En una segunda etapa, se georreferenciaron los fotoplanos correspondientes a la zona central del valle del Ebro (entorno de la ciudad de Zaragoza) y fueron incorporados al SIT-Ebro. Esta es la única zona de toda la Cuenca que en estos momentos está

georreferenciada y mosaicada del vuelo de 1927, a la espera de añadir la zona del Delta del Ebro realizada en este trabajo de prácticas.

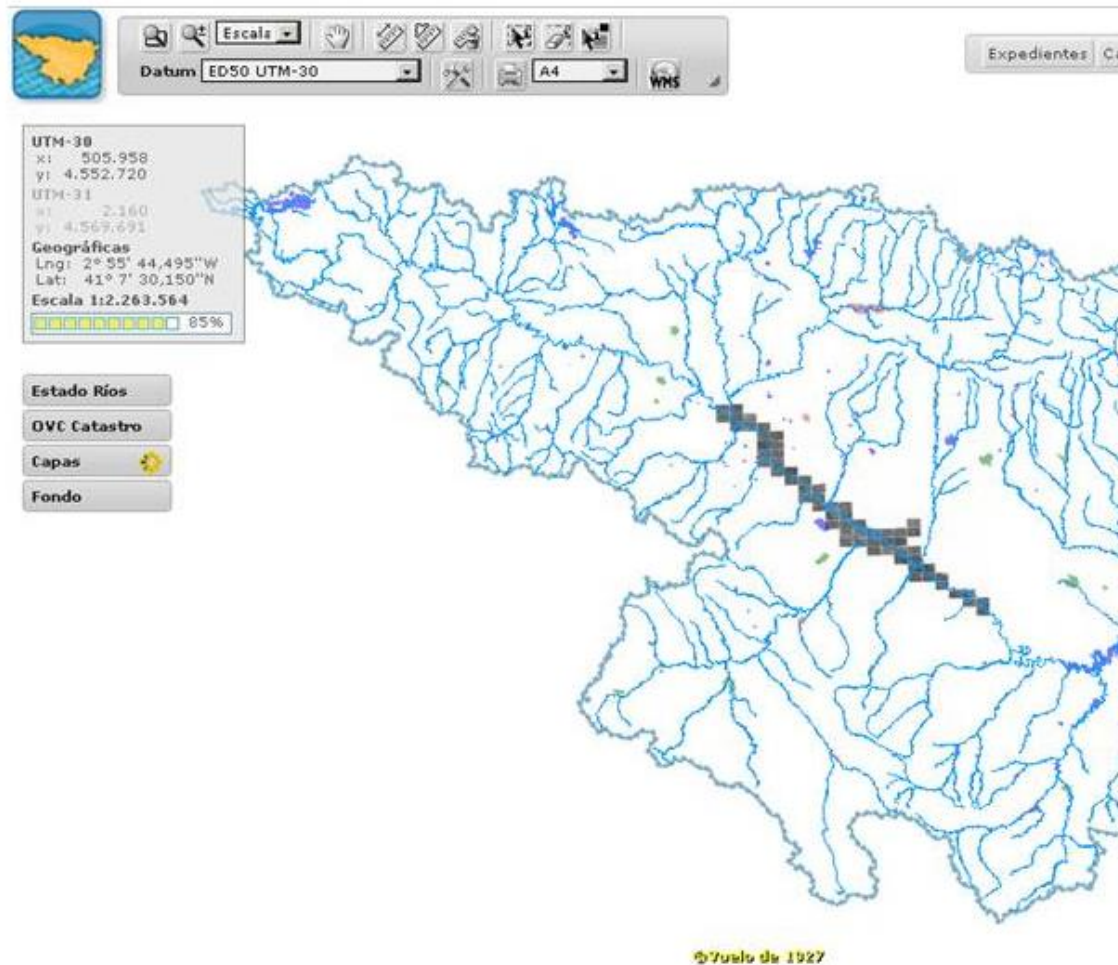


Imagen 14. Registro de los fotoplanos georreferenciados de 1927 integrados dentro de la plataforma de SITEbro.

## 8º - Generación de metadatos de las capas resultantes

Como bien hemos visto en las diferentes asignaturas del Máster cursado, toda la información geográfica que se genere ha de tener presente en su base los datos asociados a la misma, serán los llamados metadatos. Cada capa será un recurso de información geográfica, en la que a través de estos metadatos se identificarán los usos y beneficios que pueda presentar dicho recurso. Los principales beneficios de la presencia de estos metadatos serán:

- Organizar y mantener la inversión de una organización de datos
- Proporcionar información para catálogos de datos geográficos
- Proporcionar información para la transferencia de los datos

Por ello, una vez acabado todo el trabajo de georreferenciación y de clasificación de los elementos de las diferentes capas, se llevó a cabo el cumplimiento de los metadatos de éstas.

Se hizo a través del programa CatMDEdit trabajando con el estándar ISO19115 - INSPIRE, ya que es a través de este estándar con el que se han realizado anteriormente procesos de generación de metadatos en la CHE. Todo encaminado a un propósito de convergencia entre la información.

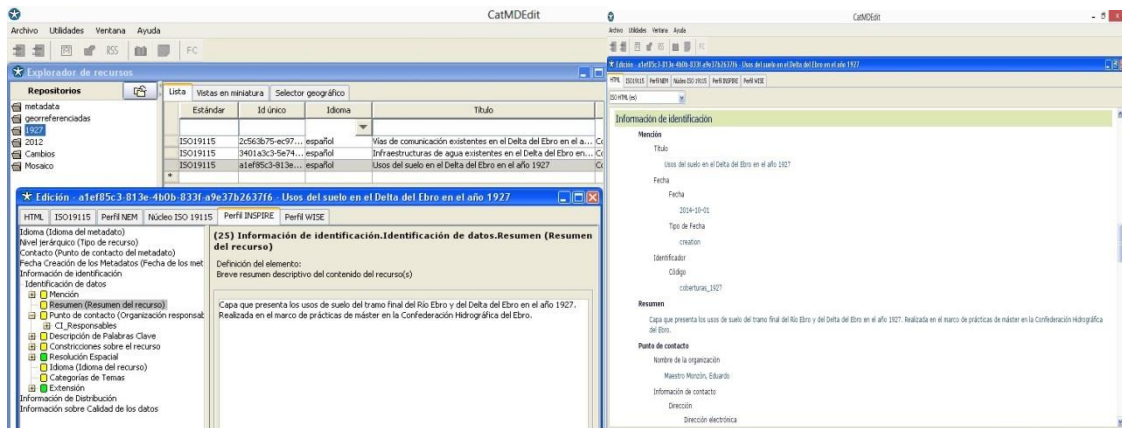


Imagen 15. Capturas de pantallas del proceso de generación de metadatos en el programa CatMDEdit.

### **3. LA EVOLUCIÓN DEL DELTA DEL EBRO**

#### **3.1. Introducción**

Desde el punto de vista genético podemos considerar un **delta** como el edificio o acumulación sedimentaria que se produce en la desembocadura de un río, que se rige por una serie de procesos derivados de los cambios energéticos de los dos medios: el fluvial y el marino. La erosión natural de las cuencas fluviales y el transporte del material erosionado, como fracción sólida del caudal de los ríos, constituye el aporte sedimentario fundamental a la zona marítima litoral. Una vez en la costa, la fracción arenosa del caudal fluvial sólido es transportada a lo largo del litoral, por la acción del oleaje y las corrientes, alimentando las sucesivas playas y fondos marinos costeros. Cuando en el entorno de la desembocadura del río el volumen de los aportes sólidos fluviales es mayor que el volumen que el mar es capaz de erosionar y transportar se produce una acumulación de sedimentos, el llamado delta, que avanza progresivamente mar adentro, hasta que la aportación fluvial sólida y la erosión marina lleguen a equilibrarse.

#### **3.2. Elementos y factores**

Entre los elementos que influyen en la formación de un delta podemos citar como fundamentales por parte de la cuenca fluvial:

1. La extensión de la cuenca.
2. Las proporciones de los distintos materiales que integran dicha cuenca.
3. El clima de los distintos sectores de la cuenca. Especialmente la pluviometría, y sobre todo su grado de torrencialidad.

Los principales elementos marinos que influyen en la formación de un delta son:

1. El régimen de mareas ya que las mareas amplias dificultan la presencia de deltas y en todo caso los condicionan fuertemente.
2. El régimen de oleajes, sus direcciones y consecuentemente los regímenes de las distintas direcciones de vientos, en función de la orientación de las costas.
3. La batimetría o profundidad de la zona marítima litoral sobre la que avanza el delta.

Los materiales que forman un delta son principalmente arcillas, limos y arenas derivadas de todos y cada uno de los parajes de la cuenca fluvial. Estos materiales, retransportados por el río y por el mar, dan lugar a un gran número de ambientes deltaicos como pueden ser:

1. Llanura deltaica: es la parte emergida del Delta y en ella se encuentran dos tipos de ambientes:
  - Fluviales: son los cauces y levées.
  - Palustres: son las zonas marismales y las lagunas.



2. Ambientes fluvio-marinos: es la zona de contacto entre los agentes marinos y fluviales. Se dividen en:
  - Frente deltaico: es la zona de la salida del río.
  - Ambientes holomarinicos: son las zonas donde los sedimentos son transferidos por la corriente de deriva litoral (playas y flechas litorales).
3. Ambientes marinos: es la parte sumergida del Delta y en ella se produce una lenta deposición de los materiales finos. Hay tres zonas encuadradas dentro de este ambiente:
  - Prodelta: parte sumergida del delta progresivo (proximal, medio y distal).
  - Plataforma: es la superficie de la plataforma externa.
  - Bahías interiores: son la del Fangar (Norte) y la de Los Alfaques (Sur) y su creación se debe al avance de las flechas litorales.

La mayoría de todos estos ambientes los encontraremos en el Delta del Ebro. Además, todo este conjunto de ambientes deltaicos es esencialmente dinámico, evolutivo a corto, medio y largo plazo, como podremos ver en nuestro caso de estudio. Los cursos fluviales se desplazan meandreando, las costas pasan a ser espacios interiores diversos y las lagunas varían de salinidad en función de sus conexiones con el mar y con el río pudiendo encenagarse y desaparecer. Por otro lado, la compactación y asentamientos de los sedimentos blandos que forman el delta pueden acabar dando lugar a nuevas lagunas y bahías al hundir, por debajo del nivel del mar, los espacios que han dejado de recibir sedimentos. Todos estos procesos deltaicos que se manifiestan en el Delta se pueden resumir en:

1. Salida del río:

La desembocadura es la zona de más movilidad del Delta. En el movimiento de la masa fluvial intervienen tres fuerzas fundamentales: su inercia, la fricción del flujo de salida con el fondo y la flotabilidad del agua del río sobre la del mar por sus distintas densidades.
2. Salida de sedimentos:

Los sedimentos finos entran, al abandonar el cauce del río, en el sistema general de corrientes del medio marino. Los gruesos son inmediatamente depositados en la boca de salida y más tarde se trasladarán a los márgenes de la desembocadura.
3. Los agentes de transporte más importantes:
  - Oleaje: es el agente más activo de la dinámica sedimentaria costera salvo en la zona de la desembocadura.
  - Viento: Recoge material de la llanura deltaica y lo transporta a la superficie del mar.
  - Deslizamientos gravitacionales (*slumps*): la excesiva acumulación de material en un área provoca un desprendimiento de la parte inestable. Actúa en la plataforma continental.

#### 4. Fuentes de aporte sedimentario:

- Fluviales: es la fuente más importante con un orden de magnitud de 1.000.000 toneladas/año. En la época del régimen normal del río los aportes sedimentarios estarán formados por 80-90% de limo-arcilla y 10-20% de arena.
- Torrenciales: son los aportes de las lluvias torrenciales que arrastran sedimento muy heterométrico al mar.
- Marinos: son de origen orgánico y son transportados desde otras zonas costeras adyacentes.
- Eólicos: es una fuente a considerar cuando el viento es intenso y persistente.

### 3.3. Introducción al Delta del Ebro

El Delta del Ebro tiene una superficie total estimada en 2.170 km<sup>2</sup>, de los cuales aproximadamente el 15% (en 2012, 319 km<sup>2</sup>) corresponden al delta emergido o llanura deltaica. El volumen de sedimentos almacenados a lo largo del tiempo es de 65 km<sup>3</sup>. En términos específicos se puede decir que el Delta se ha formado por la erosión de una capa de 77 centímetros de espesor medio en toda la cuenca del río Ebro.

Dentro de las clasificaciones de los diferentes deltas del mundo la más significativa es la de Galloway (1975), indicándose en ella el agente modelador o acción dominante en los deltas (oleaje, mareas o componente fluvial). Atendiendo a la misma el Delta del Ebro se encuentra dominado tanto por el oleaje como por los procesos fluviales, con una ligera mayor influencia del segundo agente (Figura 3).

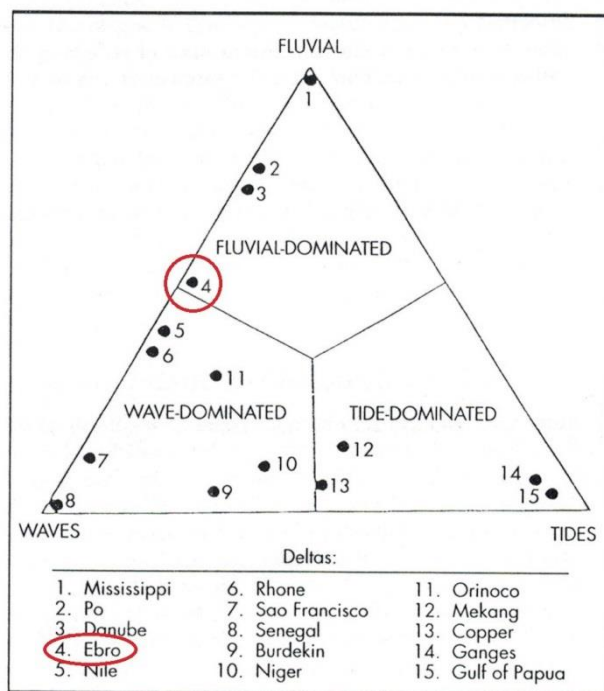


Figura 3. Ubicación del Delta del Ebro en la Clasificación de Galloway (1975).



### **3.4. Evolución histórica del Delta del Ebro**

El Delta actual inició un rápido desarrollo a partir de la última estabilización del nivel del mar, hace aproximadamente 4.000 años. Los desarrollos deltaicos de los milenios anteriores al presente se hallan actualmente, en parte, enterrados bajo los sedimentos recientes, hundidos progresivamente por la subsidencia propia de los deltas hasta formar parte del zócalo deltaico. Otra parte de los sedimentos antiguos han sido erosionados por el mar y en mayor o menor grado, resedimentados en el complejo actual.

A partir de la morfología del fondo marino y de las cartografías mínimamente fiables existentes a partir del siglo XVI se puede reconstruir con considerable detalle la evolución del delta durante los últimos 1.000 años. Aproximadamente entre el siglo VI y el siglo X adquirió su máximo desarrollo el lóbulo dirigido hacia el SE, penetrando unos 8 kilómetros mar adentro de la costa actual de Eucaliptus. El desvío del río, partir de la rotura de un meandro de la parte interna del delta, produjo el rápido abandono de aquel cauce fluvial, la remodelación marina del lóbulo deltaico SE y el desarrollo de un nuevo cauce y lóbulo deltaico hacia el NE. A finales del siglo XVI (1580), la configuración del mapa de Mercator indica que la superficie de esta llanura era aproximadamente un 75 % de la que tiene actualmente y que el desarrollo del lóbulo NO se situaba aproximadamente al nivel de la actual línea de costa de la playa de La Marquesa. Una excavación realizada durante la segunda mitad del siglo XVII en el margen externo de un meandro en el entorno del actual núcleo poblacional de La Cava (Deltebre) favoreció un nuevo desvío del río, con el consiguiente abandono y remodelación marina del lóbulo NE y el inicio de la formación del actual lóbulo central, dirigido hacia el Este. El crecimiento de este nuevo lóbulo fue muy rápido hasta mediados del siglo XIX, pero desde 1880 el avance de la desembocadura mar adentro fue ya prácticamente nulo, porque se enfrentaba a un mar cada vez más profundo y enérgico, de modo que los aportes terrígenos fluviales eran mayoritariamente trasladados por el oleaje a otras zonas costeras del delta más favorables a la sedimentación. A finales de la década de los años 20 (fecha del primer fotoplano de este trabajo) el río hizo los primeros ensayos de abrir una nueva desembocadura por un camino más favorable, rompiendo su margen izquierdo por diversos puntos situados entre la desembocadura principal y varios kilómetros aguas arriba. El resultado final de este proceso fue la consolidación, como consecuencia de una avenida en 1937, de una nueva desembocadura hacia el Norte, llamada “Garratxo de Sorrapa”, y el abandono y cierre de la anterior desembocadura principal. Todo ello implicó la remodelación del entorno, con erosión de la zona de la desembocadura cerrada y resedimentación de lo erosionado en otras zonas, como por ejemplo el área de la nueva desembocadura (isla de San Antoni y el Garxal).

A pesar de que las secuencias cartográficas evidencian que la dinámica de las costas es muy notable, la escasa elevación de las llanuras deltaicas hace que el mantenimiento del equilibrio de la dinámica vertical (de elevación) sea aún más importante, porque afecta al conjunto de toda la llanura en cuanto a su posible submersión frente a la “subida relativa del nivel medio del bar”, entendiendo como tal, la suma de la subsidencia o

hundimiento de la llanura deltaica más la elevación real del nivel medio del mare. En condiciones absolutamente naturales, la elevación relativa del nivel del mar es compensada mediante los desbordamientos fluviales y la consecuente sedimentación de limos y arcillas sobre la llanura manteniendo la elevación de los deltas sobre el nivel del mar. Desafortunadamente, la mayor parte de los deltas no presenta ya esta dinámica natural.

Durante la edad moderna los deltas se han gestionado como si fueran un medio rígido y estático, ignorando que son sistemas dinámicos a escala humana. Esto ha llevado a un notable cúmulo de problemas para gran parte de los deltas, que amenaza su supervivencia a medio plazo, y que obviamente amenaza también la supervivencia de la actividad socioeconómica establecida sobre ellos. El Delta del Misisipi está perdiendo anualmente entre 60 y 100 km<sup>2</sup> por submersión. El Delta del Po tiene ya el 90% de su llanura deltaica, protegida por diques, por debajo del nivel medio del mar con zonas por debajo de 2 y 3 metros. Holanda (en dónde se encuentra el Delta del Rhin) tiene en proyecto abandonar 2.400 km<sup>2</sup> de terrenos protegidos de mar mediante diques ya que su mantenimiento se ha hecho económicamente inviable.

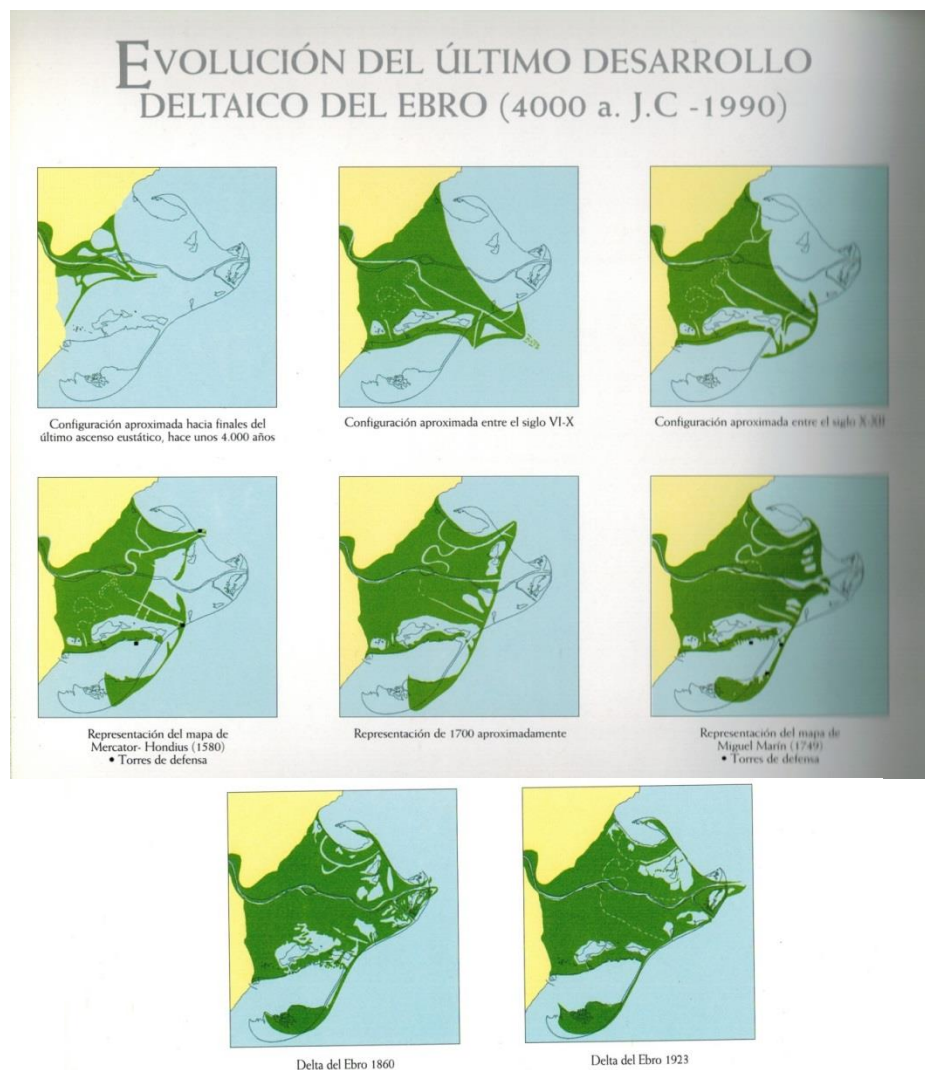


Figura 4. Evolución del Delta del Ebro (4000 a.C-1923). Fuente: Antoni Canicio.

### **3.5. Evolución reciente y problemas del Delta del Ebro**

Se considera evolución reciente a la experimentada desde finales del siglo XIX hasta la actualidad.

Entre 1915 y 1920 se produce un significativo aumento de la capacidad del embalse en la cuenca del Ebro que pasa de 80 a 450 Hm<sup>3</sup>. Hasta aproximadamente estos años el Delta según todos los testimonios había sido claramente progresivo con acreción de superficie. La desembocadura se produce por la llamada gola del Este presentándose en esta parte un apuntamiento que indicaba que el material sólido proporcionado por el río en su fracción arenosa superaba en cantidad a la capacidad movilizadora de la deriva litoral. Un aspecto significativo de la evolución hasta los años 20 es la movilidad como conjunto del lóbulo inferior del Delta (playa del Trabucador) que aparentemente retrocedía hacia el Este conservando su forma.

En 1937 se produce el primer hecho destacable en la evolución reciente del Delta del Ebro. Se produce una importante avenida que provoca el cambio de la situación de la desembocadura que pasa a tener salida hacia el Norte. Esto en sí tuvo importantes consecuencias sedimentarias ya que incidió en que el flujo sedimentario se desplazara hacia el lóbulo Norte aumentando comparativamente el sedimento disponible en el hemidelta Norte que por oblicuidad se desplaza en dirección NO. Con el cambio de la desembocadura el río muestra una importante inercia en recuperar el ritmo normal de entrega de sedimentos. La zona de la desembocadura precisa de un cierto tiempo y material sedimentario para estabilizarse y poder entregar arena para la deriva litoral de forma estacionaria. Los efectos de este cambio son la disminución del material transportado por la corriente longitudinal y el progresivo desmantelamiento del lóbulo deltaico del Este. Por otra parte, fue beneficioso para una progresión uniforme del sistema deltaico, ya que la única manera de enviar sedimento a la zona septentrional profunda es que una boca del río se enfrente directamente a las líneas de flujo de la corriente de circulación general. Por supuesto el antiguo morro deltaico desaparece casi completamente desarrollándose como nuevo alrededor del nuevo cauce. Las variaciones experimentadas en esta zona de la punta son importantísimas desde el punto de vista costero con movimientos de la línea de costa de varios kilómetros.

A mediados de los años 40 se construye el embalse de Flix. Entre 1923 y 1946 se observa un movimiento del lóbulo sur realmente espectacular, pero en sentido contrario al señalado anteriormente, es decir sentido Este-Oeste, probablemente debido al cambio de flujo sedimentario indicado con anterioridad. Entre 1946 y 1957 parece alcanzarse una situación de equilibrio, aunque la Punta del Delta sigue disminuyendo a un ritmo incomparablemente mayor que la mayoría de las playas.

Además, esta progresiva construcción de embalses en la cuenca del Ebro a lo largo del siglo XX modificó el régimen hidrológico de la parte final de la misma, reduciendo los desbordamientos (las crecidas más frecuentes, por ejemplo Q2 a Q25, han sido reducidas en un 25%) y el caudal sólido del río, pero el simultáneo desarrollo de los arrozales y su red de canales de riego ofrecieron un sistema alternativo artificial de

distribución de sedimentos fluviales sobre la llanura deltaica. Esta alternativa sedimentaria artificial fue suficiente para compensar la subsidencia y la elevación del mar hasta que la construcción de embalses se hizo abusiva a finales de la década de los 60 años.

En esta década de los años 60 se produce la construcción de los embalses de Mequinenza (entre 1964-1966) y Ribarroja (1969), ambos situados en el propio río Ebro. Con ello podemos decir que en este punto se completa la disminución de los aportes sólidos, en la fracción arenosa, al Delta del Ebro, ya que este conjunto de dos embalses es el que más han influido en el cambio de tendencia sedimentaria del Delta del Ebro. El primero de ellos comenzó a embalsar en 1966 y presenta una cuenca vertiente de 57.444 km<sup>2</sup>, lo que supone el 68% del total. Por su parte el de Ribarroja, situado aguas debajo de Mequinenza, comenzó a embalsar en 1969 y tiene una cuenca vertiente de 81.914 km<sup>2</sup>, que representa el 97% del total de la cuenca. Así pues, solamente un 3% de la cuenca hidrográfica del Ebro se encuentra libre de regulación. Se puede considerar que este conjunto impide el paso de prácticamente todo el arrastre por fondo y del 85% de los sólidos en suspensión, cifra que llegaría al 94% al considerar también la regulación hecha en la vertiente pirenaica del Ebro.

Actualmente los más de 170 embalses de la cuenca provocan que la reducción del arrastre de sedimentos o caudal sólido sea del 99% en relación al caudal sólido que recibía el delta a finales del siglo XIX, estimado en el orden de 20-30 millones de toneladas anuales de sedimentos y que se han reducido actualmente a unos 0,15 Tm/año.

### **3.6. Consecuencias**

#### **3.6.1. Consecuencias evolutivas y ambientales**

Como consecuencia de todo ello, el equilibrio de la dinámica vertical entre el hundimiento y sedimentación se ha roto y el delta se hunde en el mar, por falta de compensación de materiales. La construcción de las presas ha alterado radicalmente el equilibrio fluvio-marino responsable de la existencia del Delta, favoreciendo claramente a los agentes marinos, los cuales son erosivos. El efecto de los mismos está resultando más pernicioso en la zona profunda que en el litoral. El delta sumergido ha dejado de progresar para entrar en un proceso regresivo submarino total, ayudado por la paulatina compactación y subsidencia de los sedimentos depositados. Entre 1927 y 2012 el Delta del Ebro ha perdido un 1,21% de su superficie emergida (4 kilómetros cuadrado en términos absolutos), lo que equivale a un volumen de más de 20.000.000 m<sup>3</sup> de sedimentos. Por tanto, cabe esperar que a medio y largo plazo se produzca un notable retroceso de la línea costera y el aumento de la superficie deltaica localizada bajo el nivel del mar por el déficit de sedimentos en el tramo bajo del Ebro a no ser que los procesos de subsidencia y el aumento del nivel del mar sean compensados por la aportación de sedimentos durante diferentes crecidas.

**Tabla 1.** Superficie del Delta del Ebro en los años 1927, 1956 y 2011

Año	Superficie (en km <sup>2</sup> )	Variación	
1927	323,28		
1956	320,65	- 0,81 %	
2012	319,38	- 1,21 % (desde 1927)	- 0,40 % (desde 1956)

Elaboración propia.

Tras realizar una medición del perímetro del Delta del Ebro en los años 1927, 1956 y 2012, se pueden extraer las siguientes **consecuencias evolutivas** en el mismo a partir de la fotografía aérea:

- Retracción de la punta de la desembocadura (Cabo Tortosa) debido al nacimiento de una nueva desembocadura en dirección Norte al producirse una importante avenida en 1937. Creación de dos nuevas zonas de alto valor ecológico: la Isla de San Antonio y el Garxal.

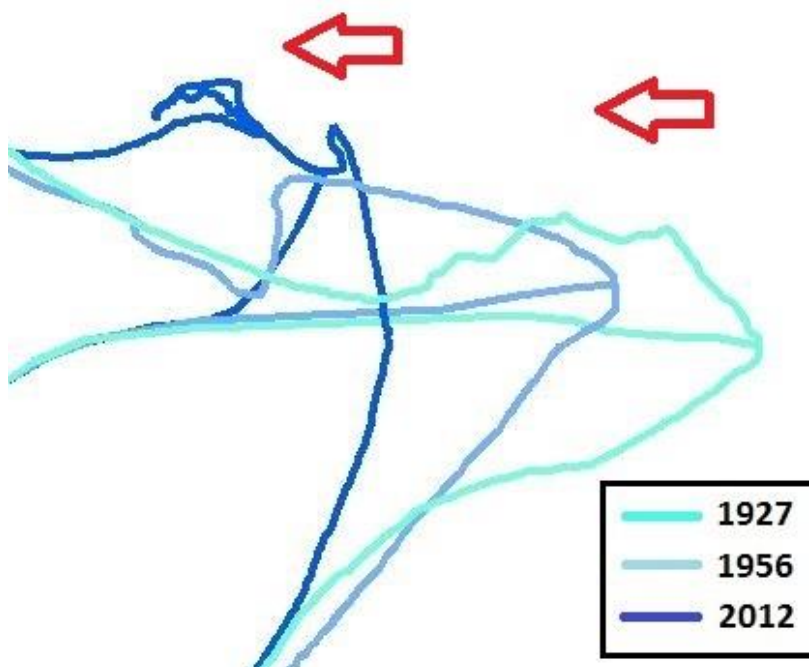


Imagen 16. Evolución de la desembocadura del Río Ebro.

- Acreciones de las dos Flechas del Delta del Ebro, las cuales migran hacia el Sur-Suroeste la Punta de la Banya y hacia el Oeste la Punta del Fangar. Los dos lóbulos presentan zonas de acreción en su parte occidental, coincidiendo con el cambio de curvatura y alineación respecto al transporte sedimentario. El lóbulo sur crece más rápido que el norte, beneficiándose también de la acción de la corriente litoral que asciende Sur-Norte aportando más sedimentos.

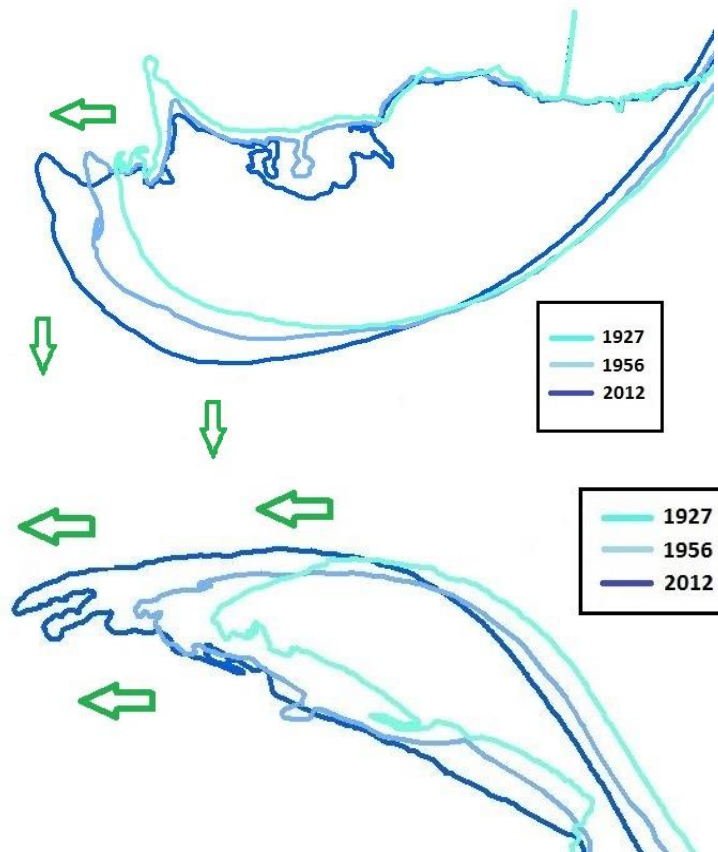


Imagen 17. Evolución de las flechas de La Banya y la del Fangar.

- Retracción de la línea de costa entre Lo Goleró y el municipio de La Ampolla (Playa del Arenal).

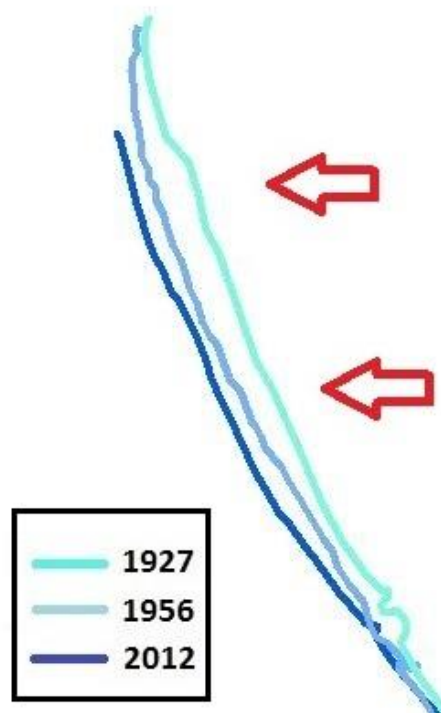


Imagen 18. Evolución de la Playa del Arenal.

- Retracción de la línea de costa en la Playa de la Marquesa.

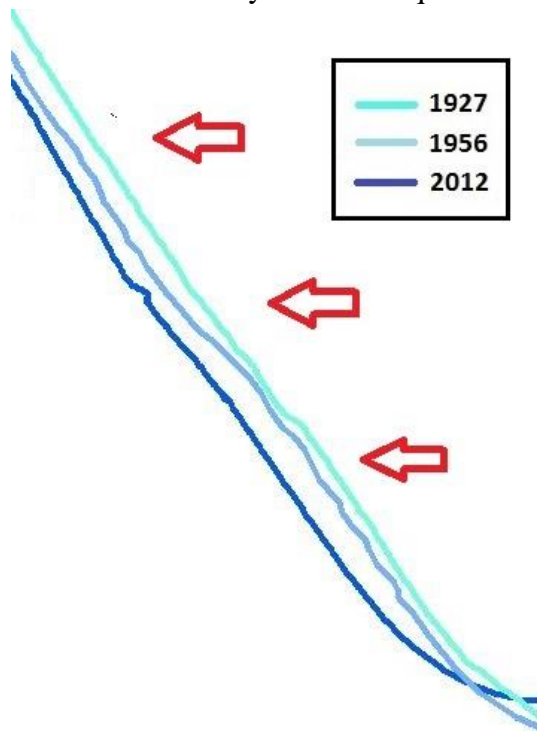


Imagen 19. Evolución de la Playa de La Marquesa.

- Retracción de la línea de costa en la Gola de Migjorn, producida por la obstrucción por una barra de arena del Río Migjorn y acreción de la línea de costa en la zona sur de la Gola de Migjorn (Playas de la Platjola y de Serrallo).

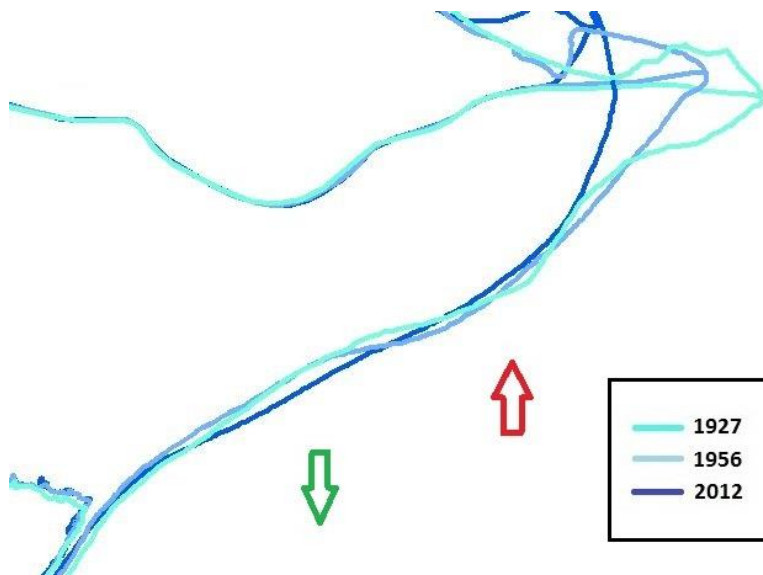


Imagen 20. Evolución del entorno del Río Migjorn.

- Retracción de la línea de costa en la Playa del Trabucador, lo que produce un estrechamiento en la barra que une el hemidelta Sur con la Flecha de la Banya. Esta Barra del Trabucador, junto con el Cap Tortosa, es una de las zonas más frágiles del



conjunto del Delta, debido al efecto que tienen sobre ella los temporales y los vientos del Este. En octubre de 1990 un temporal de gran magnitud produjo la rotura de la Barra del Trabucador, desplazando cerca de 70.000 m<sup>3</sup> de sedimento, cuya mayor parte fue depositado en la Bahía de los Alfacs.

Para evitar nuevas roturas de la barra se realizó una obra de ingeniería destinada a crear una duna artificial de 1km de long y 1,5 m de altura, con 12 m de anchura en la coronación y 24 m en la base que se prolongaba a lo largo de todo el borde interior de la Barra para evitar así el rebase del mar. La duna se fijó con vegetación para ayudar a proteger aún más esta delicada zona.

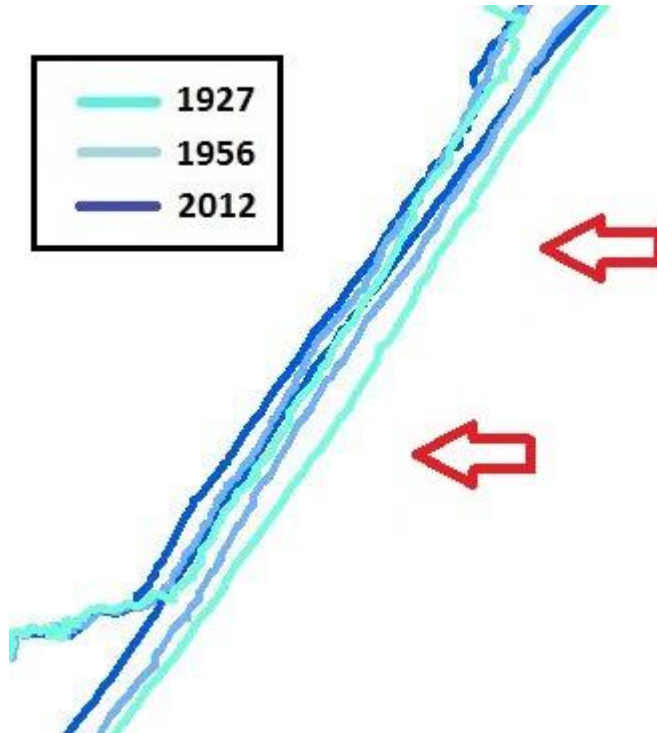


Imagen 21. Evolución de la barra de la Playa del Trabucador.

- Ligera retracción de la línea de costa en la zona de la Punta del Racó (se observa claramente este hecho en la localización de la Torre de Sant Joan).

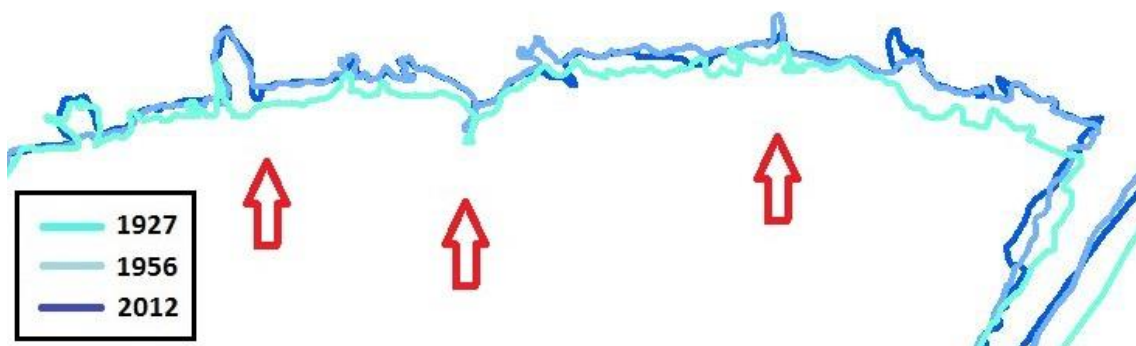


Imagen 22. Evolución de la zona de la Punta del Racó.



De forma general se pueden resumir estas evoluciones en la siguiente figura, en la que se establecen las acreciones y retracciones que se están produciendo en la actualidad.

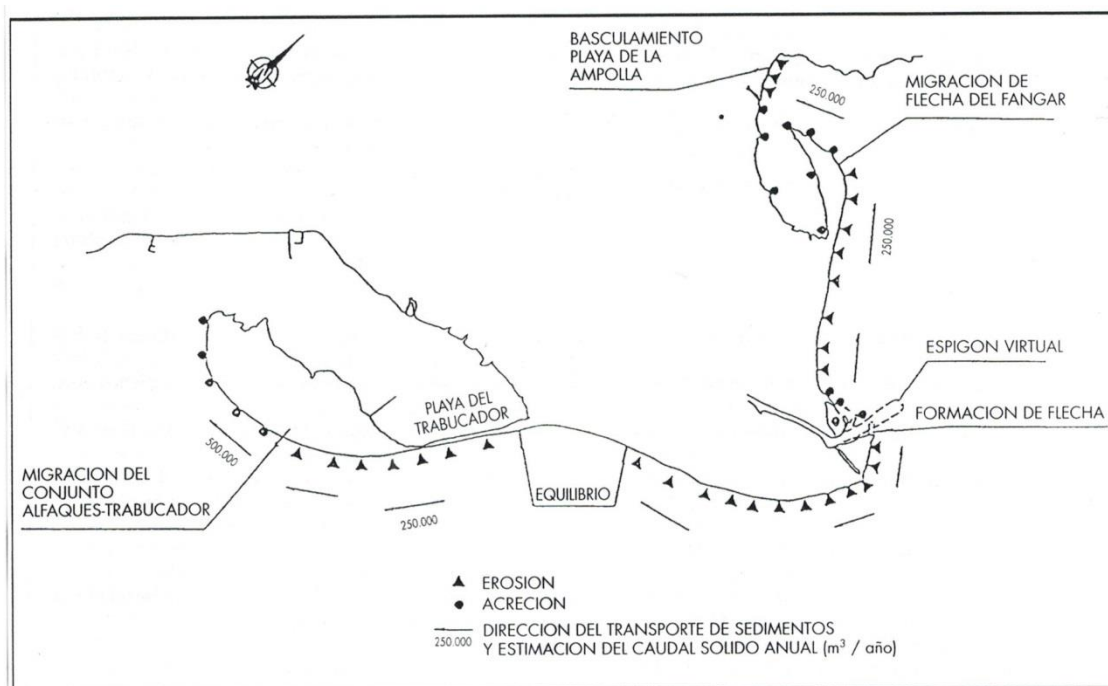


Figura 5. Esquema de la situación actual del Delta del Ebro. Fuente: IBERINSA

Como se ha comentado, a la falta de sedimentos fluviales se une el ascenso relativo del nivel del mar. A nivel científico este concepto se define como la suma del ascenso eustático (absoluto) del nivel del mar y la subsidencia (hundimiento) de la superficie de la llanura deltaica. Los estudios de los expertos mundiales del Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC) prevén una subida total del nivel medio del mar, de aquí al año 2100, de 50 centímetros, los cuales sumados a una subsidencia media del Delta del Ebro de 3,5 mm/año o lo que es lo mismo 35 cm en 100 años –la tasa de subsidencia en el mismo oscila entre 1 y 6 mm/año, aunque en muchas zonas se estima en 2-3 mm/año– provoca una pérdida total de elevación respecto al mar de 85 centímetros en los próximos 100 años. Esto significaría que dentro de 100 años más de la mitad de la llanura deltaica del Ebro estaría por debajo del nivel del mar. Hay que comentar que la subsidencia de la llanura deltaica se produce como resultado del hundimiento tectónico y de la compactación de los sedimentos depositados. Esta compactación tiene diversas causas, unas espontáneas y otras inducidas por el hombre. Como causa espontánea está la compactación por el propio peso de los sedimentos. Como inducidas tenemos la extracción de fluidos subterráneos (agua, petróleo o gas), la desecación superficial de zonas inundadas que provoca una compactación y oxidación de materia orgánica, el uso de maquinaria agrícola y la descomposición de la materia orgánica del suelo. Hay que comentar que la subsidencia de la llanura deltaica se produce como resultado del hundimiento tectónico y de la compactación de los sedimentos depositados. Esta compactación tiene diversas causas, unas espontáneas y otras inducidas por el hombre. Como causa espontánea está la compactación por el propio peso de los sedimentos. Como inducidas tenemos la extracción de fluidos subterráneos (agua, petróleo o gas), la

deseccación superficial de zonas inundadas que provoca una compactación y oxidación de materia orgánica, el uso de maquinaria agrícola y la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Por último, la erosión costera no ha comportado, hasta el momento, una reducción de la superficie emergida, sino más bien una remodelación de la costa, aunque sí ha comportado que el Delta deje de ganar superficie. Las predicciones para los próximos 50 años indican, al igual que comentábamos anteriormente, una pérdida moderada de superficie en la Isla de Buda que se recuperaría en la Punta de La Banya, siendo éste el fenómeno más destacado. En el tramo del hemidelta Norte comprendido entre la urbanización Riumar y la flecha del Fangar, la regresión secular de la costa debido a la erosión natural del antiguo lóbulo Norte está causando la desaparición de la franja costera debido a la presencia de propiedades agrícolas.

### 3.6.2. Consecuencias socioeconómicas

Por otra parte, las **consecuencias socioeconómicas** de la pérdida de elevación del Delta del Ebro de cara a los próximos decenios son graves y muy diversas. Por un lado, está la necesidad de construir diques a lo largo de la costa para impedir la inundación marina directa de las zonas bajas del delta. No obstante, el hecho de que además del “hundimiento” exista regresión de la costa y de que la costa será arenosa, sin un zócalo firme, permite el socavamiento de los diques y hace inestables, a medio plazo, este tipo de costosas obras.

Por otro lado, está toda una serie de problemas tales como: la necesidad de combatir los riesgos de salinización de una hipotética llanura por debajo del nivel del mar, los problemas de elevación de grandes volúmenes de retornos de riego mediante bombeo hasta nivel de mar, los problemas de vertido de las aguas tóxicas de los drenajes profundos, etc., y el aumento de costes que todo ello genera sobre la producción agraria, reduciendo sus márgenes comerciales, en un contexto competitivo en el cual la reducción de costes es una necesidad prioritaria.

## 3.7. Soluciones de organismos y del mundo científico

### 3.7.1. Soluciones ambientales

El Delta del Ebro es pues un entorno condenado a una degradación lenta pero imparable, tanto en los aspectos físico-ambientales como en el socioeconómico si no se recupera natural o artificialmente el caudal fluvial sólido mínimo necesario para garantizar su mantenimiento, retenido actualmente en los embalses. Con respecto a este tema es conveniente tener presente dos aspectos que se establecen desde el mundo científico:

- Que este caudal mínimo imprescindible es menos del 5% del caudal sólido que recibía el Delta a principios del siglo XX.
- Que técnicamente la recuperación de este caudal sólido es posible. El coste, no evaluado aún, habría que contrastarlo con el coste, también muy alto, que

conllevarían las graves consecuencias físicas, ambientales, económicas y socioeconómicas de no poder recuperar el mencionado caudal sólido.

Para ello se ha propuesto la elaboración de un Plan de Acción por parte del Ministerio de Medio Ambiente mediante el cual se realicen estudios detallados que valoren la viabilidad de trasvasar, transportar y distribuir sedimentos desde los embalses de Mequinenza y Ribarroja hacia el Delta del Ebro, tanto para la plana deltaica como para la costa. Estos estudios deberán precisar los volúmenes de sedimentos disponibles, así como sus principales características y composición.

Además deberán definir y valorar los métodos posibles de extracción, transporte y redistribución de los sedimentos y muy especialmente sus repercusiones medioambientales. En este contexto, el trasvase de sedimentos desde los embalses de Mequinenza y Ribarroja hasta la zona deltaica y fondo marino precisa del control permanente del caudal sólido (tanto en suspensión como en arrastre) para el estudio de la transferencia y difusión de la ola de sedimento liberado desde los embalses hacia el mar; para la evaluación de la respuesta del río y del ecosistema frente a la recuperación del balance sedimentario y, para el análisis de la efectividad y viabilidad de los métodos de trasvase utilizados.

El embalse de Ribarroja reúne características apropiadas para considerarlo como un embalse donde la operación de arrastre controlado puede tener buenos resultados ya que:

- Es relativamente estrecho (la anchura del embalse es del mismo orden que la anchura de la presa)
- Su tamaño en sentido hidrológico (cociente entre volumen útil y aportación anual) es pequeño. Además, la existencia de la presa de Mequinenza aguas arriba, permite un control casi absoluto de los caudales utilizados en la operación.

### 3.7.2. Soluciones técnicas y constructivas

Desde el punto de vista puramente técnico, se han propuesto otros diversos proyectos y actuaciones para evitar la regresión del Delta por distintos grupos de investigadores:

- Construcción de espigones: tienen el objetivo de reducir los gradientes de transporte. Pueden ser de retención total o parcial.
- Alimentación artificial: no modifica el sistema de transporte de sedimentos responsable de la erosión. Se puede combinar con la construcción de espigones.
- Diques exentos: el objetivo es el mismo que con la construcción de espigones.
- Diques mixtos: unión de espigones con un dique exento en el morro del espigón. El objetivo es análogo al anterior.
- Revestimiento: protegen la superficie de la costa contra la erosión. Se trata de una solución “dura” debido a que rigidiza totalmente el litoral donde se realiza la actuación.

## **4. USOS Y COBERTURAS DEL SUELO EN EL TRAMO FINAL DEL RÍO EBRO Y EN EL DELTA DEL EBRO**

### **4.1. Introducción**

Es evidente que los usos del suelo y la presencia de diferentes coberturas vegetales en el Delta del Ebro y su entorno han variado desde la primera fecha de estudio del trabajo (1927) y la actualidad (2014). Este es un hecho que no ha afectado sólo a esta zona, sino que la dinámica paisajística ha afectado a todo el país, debido a la industrialización y, sobre todo, al desarrollo del turismo como motor de desarrollo del país y, más concretamente de la zona mediterránea que ha ocurrido a lo largo del siglo XX y principios del XXI. Este último hecho es el más característico de la zona de estudio como se podrá comprobar más adelante.

**- Tabla 2. Variación de la superficie de las coberturas del suelo entre 1927 y 2012**

<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Variación</b>	<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Variación</b>
Zonas industriales	+ 11.625%	Lagunas costeras	- 19,09 %
Puerto	+ 5.525 %		
Zonas urbanas	+ 496,40 %	Acantilados	- 20 %
Mosaico de cultivos	+ 106,74 %	Ríos	- 23,71 %
Vegetación de ribera	+ 52,67 %	Humedales	- 48,33 %
Salinas	+ 47,73 %	Playas y arenales	- 48,46 %
Arrozales	+ 35,84 %	Olivares	- 71,38 %
Matorral mediterráneo	+ 15,45 %	Barras e islas	- 82,67 %

Elaboración propia.

Para clasificar las distintas coberturas presentes en la zona de estudio se han trabajado con dos imágenes completamente distintas. Para catalogar el territorio en el año 1927, se han usado los fotoplanos del vuelo de 1927 de la CSHE mientras que para las coberturas que se encuentran en la actualidad se han usado las imágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del año 2012, las cuáles son las más recientes de la zona de estudio. Como ayuda externa para la clasificación de las diferentes coberturas, se ha utilizado el Corine Land Cover del año 2006, el cual puede servir de consulta cuando no se pueda distinguir entre varias coberturas en una zona concreta del territorio a través del simple reconocimiento visual del fotoplano.

### **4.2. Utilización de la fotografía aérea para la clasificación y el estudio de la evolución de los distintos usos y coberturas del suelo en el tramo final del río Ebro y el Delta del Ebro.**

Son varios los campos en los que la fotografía aérea resulta de utilidad para analizar las transformaciones espaciales que se han producido en nuestra zona de estudio:

En el campo de los estudios del **medio natural**, el uso de la fotografía aérea para analizar la dinámica del paisaje aparece limitado por la propia naturaleza de las transformaciones. La mayor parte de los procesos del medio físico tienen unos periodos

de desarrollo que exceden, por lo general de forma muy amplia, el lapso que media entre el nacimiento de la fotografía aérea y la actualidad. El uso de imágenes aéreas para el estudio dinámico del paisaje se restringe, pues, a aquellos fenómenos de ciclo corto, cuya evolución puede ser claramente perceptible en las imágenes como son la dinámica de vertientes, cambios en el paisaje vegetal, o como en el caso del Delta del Ebro, la dinámica fluvial. Este es el hecho que hemos comentado en el punto anterior del trabajo.

Los resultados que se obtienen con el uso de la fotografía aérea en el estudio del proceso de **construcción de paisajes por parte del hombre** son mucho más evidentes, ya que fue a lo largo del siglo XX cuando la capacidad de hombre para generar o transformar paisajes ha alcanzado sus mayores dimensiones. En nuestra zona, es evidente la destrucción de masas de olivares (pérdida del 71% de su superficie – más de 100 km<sup>2</sup> - en la zona de estudio) para convertirlas en una colección de mosaicos de cultivos, un uso del suelo con mayores beneficios para el hombre ya que le sirve tanto de sustento económico como alimenticio. Con este drástico cambio de uso del terreno, se puede afirmar que el paisaje de la zona ha pasado de ser una zona de olivares a un terreno profundamente agrícola, aunque con un importante peso de las zonas urbanas.



Imagen 23. Evolución de los olivares entre los municipios de Tortosa y Amposta.

Además, y como veremos a continuación, el hombre también ha modificado estos mismos paisajes de olivares en otros urbanos e industriales, así como espacios de humedales en zonas agrícolas.

Dentro de los límites del Delta del Ebro, el paisaje original de éste está muy transformado a causa de los aprovechamientos agrícolas que se vienen realizando desde mediados del siglo XIX, aunque esta transformación no se observa en este trabajo debido a que la primera imagen de referencia es de 1927, cuando los **arrozales** ya eran el paisaje habitual del Delta.

El arroz es sin duda el cultivo preferente en la zona de estudio (más de 22.400 hectáreas dedicadas a este cultivo), ocupando por tanto los arrozales la práctica totalidad de la superficie cultivada dentro de los límites del Delta del Ebro, ya que los entornos de los asentamientos urbanos tienen una pequeña concentración de mosaico de cultivos.

El desarrollo de los arrozales en esta zona no se ha producido ni mucho menos en el periodo de tiempo en el que se enmarca el trabajo, ya que proviene de siglos atrás. Aunque hemos de decir, que en estos 80 años ha seguido creciendo en extensión este cultivo, concretamente unos 60 kilómetros cuadrados.

El cultivo de arroz en la zona del Delta del Ebro, es un cultivo tradicional, muy ligado a la formación y transformación física y geológica del Delta del Ebro. Las características peculiares de la zona del Delta del Ebro han servido para la difusión de este arroz. Incluso este arroz es de tal extraordinaria calidad que aproximadamente el 70% de la superficie de arrozales del Delta están integradas en la Denominación de Origen Arroz del Delta del Ebro.



Imagen 24. Evolución de los arrozales en el Delta del Ebro.

Existen numerosas referencias escritas que dan testimonio de esta vinculación existente entre el tradicional cultivo del arroz y la zona del Delta del Ebro. Como ya exponían Solé y Sabaris (1958), *"en el siglo XV tenemos noticias de unos intentos de cultivo de arroz en el Delta del Ebro", sin embargo el máximo desarrollo de este cultivo llegó en el siglo XIX*".

Una de las primeras referencias de las que se dispone data del año 1697, en la que los monjes cistercienses del convento de Benifassar, que tenían propiedades en aquel lugar, llevaron a cabo un ensayo de cultivo de arroz. A pesar de los buenos resultados obtenidos, el cultivo no tuvo continuidad en los años siguientes, pues la falta de un sistema de acequias que permitiera la inundación de terreno no lo hacía posible.

No fue hasta el año 1857 cuando el agua del Canal de la Derecha llega a Amposta, lo cual posibilitó el cultivo del arroz a niveles importantes, ya que hasta entonces solo existían unas parcelas en la orilla derecha del Delta donde se cultivaba arroz. Sin embargo, este cultivo se llevaba a cabo en unas condiciones muy desfavorables pues el

agua estancada provocaba la proliferación de enfermedades y además los rendimientos productivos eran muy bajos.

Más adelante, a partir de 1867, es cuando se inicia realmente la colonización del delta derecho. Grandes propietarios de Tortosa y Amposta obtuvieron la concesión de las tierras, y ellos serían quienes realizaron los primeros intentos de cultivo del arroz, tarea difícil y costosa en todos los sentidos.

En el año 1872 se realizó el proyecto del Canal de la Izquierda, siendo acabado totalmente en mayo de 1912.

El funcionamiento de los dos Canales, permitió la transformación agrícola de la zona, con un fuerte aumento de la superficie de cultivo del arroz y, asociado a esto, un fuerte incremento de la población, en los asentamientos establecidos en las orillas del río y también de una inmigración temporal que en muchos casos daba lugar al establecimiento definitivo en la zona.

En 1930, como consecuencia de la crisis mundial y una fuerte emigración hacia los centros industriales, se inició una época de estabilidad demográfica en el Delta. Una vez acabada la guerra civil, el arroz se convirtió en un elemento esencial en la dieta alimentaria del país, por lo que, se incrementó su demanda y su precio, y el Delta triplicó su población en un periodo de veinte años. A partir de los años 70, cuando el nivel de vida mejoró, bajó la demanda de arroz y con ésta, disminuyó el número de puestos de trabajo necesarios.

Sin embargo, no se produjo ninguna pérdida demográfica, puesto que se realizaron intentos de diversificación agrícola y se ejecutaron numerosas obras públicas importantes en la zona (variante de la N-340, nuclear de Vandellòs, etc.). Esto hizo que se creasen nuevos puestos de trabajo, lo que mantuvo la población en el territorio.

De todo lo anteriormente expuesto, se extrae que la superficie destinada al cultivo del arroz en el Delta del Ebro y la evolución de su población van ligadas proporcionalmente.

Lo que sí se ha visto afectado en este período de tiempo entre las dos fechas de estudio son las zonas de vegetación natural, las cuáles se han visto reducidas de forma importante. Aun así, en el Delta todavía quedan extensas zonas de vegetación natural, últimos reductos en el litoral mediterráneo-ibérico de este tipo de ambientes. Las más importantes son los saladares y las salinas, los arenales litorales y las bahías, las lagunas y sus carrizales, los arrozales, los ullals, y el río franqueado por un bosque de ribera y cañaverales.

La fotointerpretación ofrece también posibilidades para el análisis de la evolución reciente de estos **espacios naturales**, particularmente de aquellos que han estado sometidos a una gran presión como consecuencia de las operaciones realizadas para tratar de convertirlos en espacios aptos para la realización de prácticas agroganaderas. Este hecho se visualiza en nuestra zona de estudio, con el cambio dentro del propio



delta de terreno ocupado por **humedales** a extensas áreas de monocultivos, principalmente dedicadas al cultivo del arroz. Las dos zonas más afectadas por este cambio de uso de suelo han sido la zona del Fangar y toda la zona sur y sureste del Delta (humedales asociados a lagunas costeras –La Encañizada, La Tancada y Platchola-). Esta cobertura ha perdido en estos 90 años un 48% de la extensión que presentaba en 1927, es decir, prácticamente la mitad de los humedales han desaparecido, que en términos absolutos suponen 54 kilómetros cuadrados.

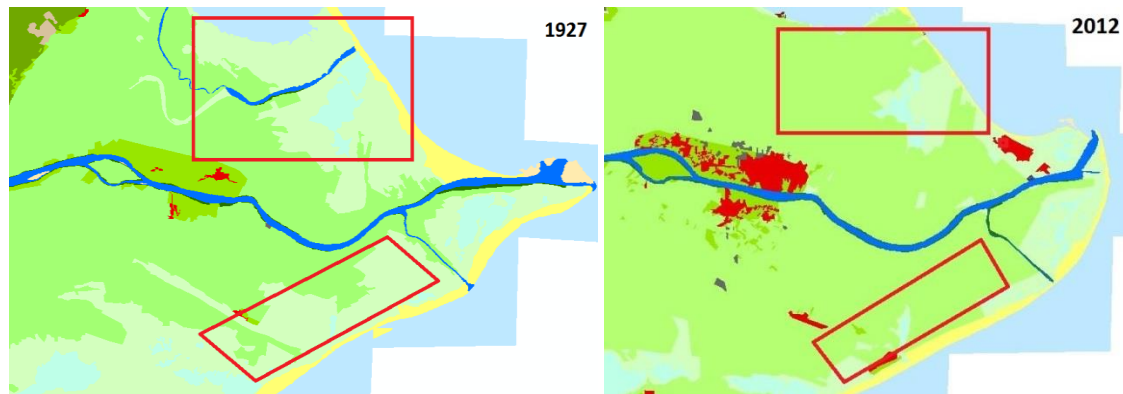


Imagen 25. Evolución de las zonas de humedales dentro de los límites del Delta.

Las **lagunas costeras** también han visto reducida su extensión en un 19% (más de dos kilómetros cuadrados) en este período de tiempo, motivado por la presión agrícola del entorno, que prácticamente ha dejado un pequeño corredor de humedal asociado a cada una de ellas. Incluso, en algunos casos, las lagunas costeras han llegado a desaparecer completamente bien por la retracción del Delta haciendo que ese espacio ahora lo ocupe el mar (Laguna Pradot, en la Isla de Buda) o bien por la pérdida de agua y la conversión en zona de humedal (Balsa de las Ollas, en el norte del Delta).

Aunque parezca contradictorio, algunas de las lagunas costeras existentes en el Delta han aumentado su tamaño en este periodo de tiempo, concretamente las de La Encañizada y Platchola. Esto es debido a la desaparición de la vegetación alrededor de las mismas ganando así terreno el agua y al mayor aporte de agua que suministran los diferentes canales, acequias y desagües a algunas de estas lagunas. La laguna de la Encanyissada, hoy en día, es la más grande del Delta con una superficie de 5 km<sup>2</sup> y está declarada reserva de caza.





Imagen 26. Evolución de la extensión de la laguna de Canal Vell entre 1927 y 2012

Como hemos visto, en algunos casos, los espacios naturales llegaron a desaparecer totalmente, con lo que la fotografía aérea se convierte prácticamente en el único testimonio visible de su existencia. En otros casos, en los que estos espacios aún no han desaparecido, lo que permite la fotografía aérea es tener una dimensión precisa de cuál ha sido el proceso de ocupación y de degradación, por tanto, del espacio natural.

- **Tabla 3.** Superficie y variación de la misma en las lagunas costeras en 1927 y 2012

Nombre	Superficie 1927 (en km <sup>2</sup> )	Superficie 2012 (en km <sup>2</sup> )	Variación
<b>Encanyissada</b>	3,15	5	+ 58,73 %
<b>Platjola</b>	0,18	0,22	+ 22,22 %
<b>La Tancada</b>	1,92	1,83	- 4,69 %
<b>Anfacadas</b>	0,20	0,16	- 20 %
<b>Canal Vell</b>	3,41	1,35	- 60,41 %
<b>Calaix de la Mar</b>	2,68	0,80	- 70,15 %

Elaboración propia.

En los márgenes del río, en suelos de textura franca, donde la influencia del agua marina es escasa, a causa de la elevación del terreno por el efecto de las riadas y las filtraciones de agua dulce son constantes, se producen las condiciones idóneas para el establecimiento de las únicas comunidades forestales naturales del Delta. Actualmente el **bosque de ribera** está muy degradado y sólo queda un pequeño reducto, en vías de desaparición, en los márgenes de la isla de Gracia, en el municipio de Deltebre. Las causas son fundamentalmente agrícolas, ya que las tierras ocupadas por estas comunidades son muy fértiles y han sido sistemáticamente transformadas en huertas y

frutales. En los tramos finales del río, donde el agua salada empieza a notarse, el bosque de ribera se empobrece y es sustituido por tarayales.

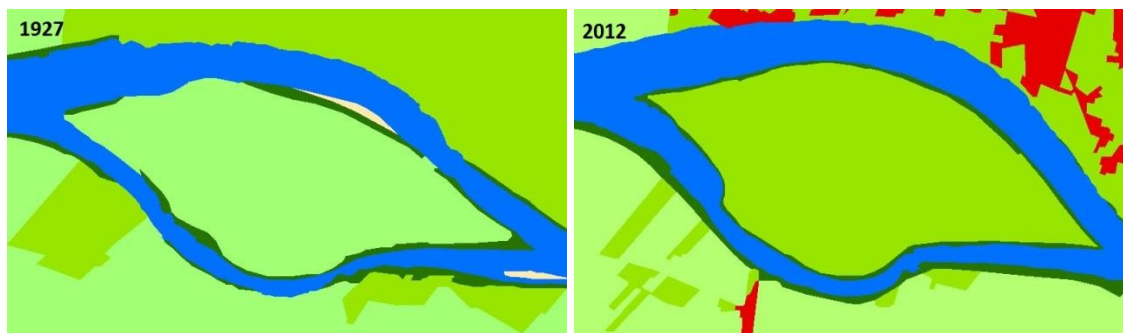


Imagen 27. Evolución de la vegetación de ribera en la Isla de Gracia (Deltebre).

Por último, los cauces fluviales también han visto reducido su extensión en este periodo de tiempo, concretamente casi un 24% menos, ocupando en la actualidad prácticamente 10 kilómetros cuadrados en la zona de estudio. Esto es debido a la desecación de algunos cauces, como el del Río Fondo en la margen izquierda del Delta, siendo ocupados los mismos por arrozales o humedales. Además, la reducción del caudal por la construcción de embalses o por la reducción de las precipitaciones ha hecho que otros cauces tengan en la actualidad tramos secos con lo que obtienen la categoría de barranco. Este hecho ocurre en el Río Cenia, la frontera natural entre las provincias de Tarragona y Castellón. Por último, la dinámica costera también afecta a los cauces fluviales del Delta. Es el caso del río Migjorn, que se sitúa al sur de la isla de Buda, en el que se ofrece la posibilidad de ver un antiguo brazo del río que actualmente está obstruido por una barra de arena.



Imagen 28. Evolución del cauce del Río Fondo entre 1927 y 2012

También a través de la fotografía aérea es posible seguir la evolución de los **paisajes rurales**, predominantes en su mayoría en la zona del Delta de Ebro, y comprobar cuál ha sido la magnitud de los cambios acaecidos. Así pues, la pervivencia en España hasta mediados del siglo XX de unos paisajes agrarios de corte tradicional, convierten a

la fotografía aérea en un instrumento de gran utilidad para el estudio de los paisajes agrarios tradicionales.

En lo que concierne a los **paisajes urbanos**, es posible hacer un seguimiento bastante detallado de lo que ha sido el crecimiento espacial de las ciudades. Antes del siglo XX el crecimiento de las ciudades españolas había sido muy moderado, por lo que en los primeros vuelos del siglo se puede reconocer casi toda su “historia urbana”, mientras que en los más recientes se reconocerán las nuevas áreas periurbanas y metropolitanas. En este caso de estudio, la población prácticamente se ha duplicado en este periodo de 90 años pasando de 57.000 habitantes en 1927 a 106.500 en 2013. En la actualidad, hay dos localidades que podrían ser consideradas como pequeñas ciudades por su número de habitantes, que son Tortosa (33.992 a 1 de enero de 2013 según el INE) y Amposta (21.511 habitantes a 1 de enero de 2013 según el INE), por lo que será muy visible su desarrollo urbanístico en los distintos vuelos.

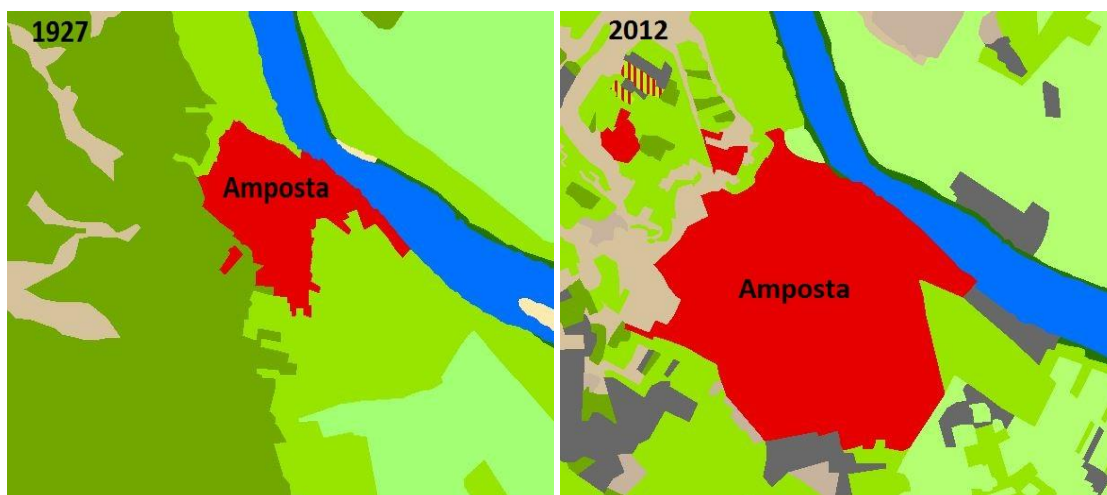


Imagen 29. Evolución del casco urbano de Amposta.

En esta zona hay que destacar el fenómeno de la diseminación de las edificaciones por dos motivos concretos: por la construcción de viviendas de pequeña altura en los pequeños municipios y por la construcción de decenas de urbanizaciones a lo largo de la línea de costa, que provoca un práctico continuo urbano en determinadas zonas como se observa en la Imagen X. Además, debido a esa diseminación urbanística, más de 2 kilómetros cuadrados del terreno se han catalogado como zonas mixtas entre espacios urbanos y otras coberturas como cultivos, matorral u olivares.

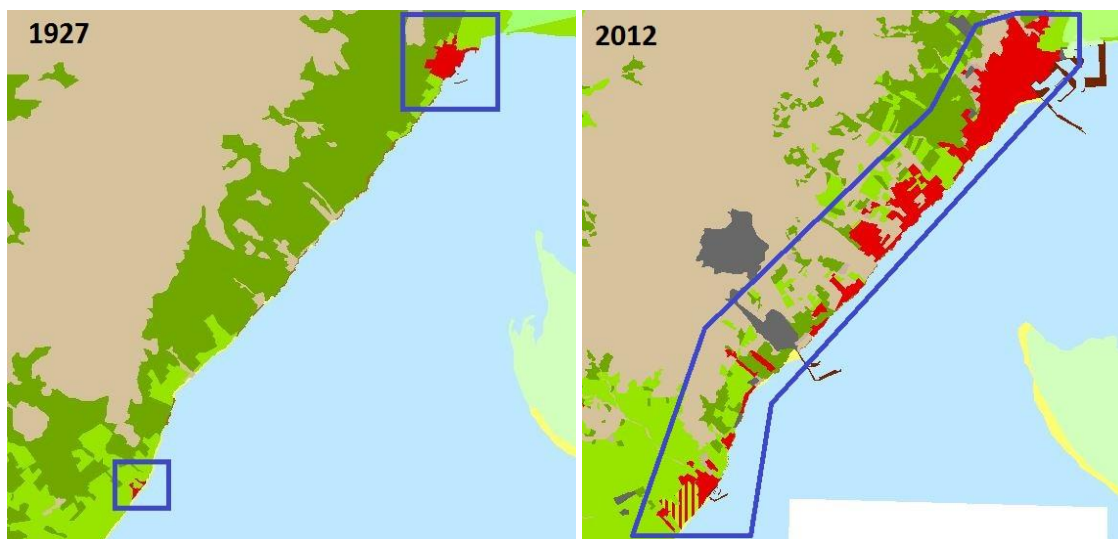


Imagen 30. Evolución del crecimiento urbano en la costa mediterránea entre San Carlos de la Rápita (Norte) y las Casas de Alcanar (Sur).

Esto provoca que como se observa en la Tabla X, tanto los municipios que se encuentran dentro de los límites del Delta como los que se encuentran en la línea de costa son los que mayor crecimiento en cuanto su extensión se refiere. Por su parte, los tres mayores municipios del interior (Tortosa, Amposta y Roquetes) tengan un crecimiento en superficie menor debido al mayor desarrollo de viviendas de mayor altura en un ámbito de ciudad consolidada.

Como hecho curioso y que confirma el desarrollo poblacional de esta zona es la creación en este periodo de tiempo de varios asentamientos de población, destacando los de Riumar (en una zona que en 1927 era una gran zona de arenales) y Poblenou (en donde en 1927 se establecía un gran humedal).

- **Tabla 4.** Superficie y variación de la misma en los municipios del Delta en 1927 y 2012

Municipio	Superficie 1927 (en km <sup>2</sup> )	Superficie 2012 (en km <sup>2</sup> )	Variación
<b>Deltebre</b>	0,27	3,44	+ 1.174,07 %
<b>La Ampolla</b>	0,09	1,07	+ 1.088,89 %
<b>Casas de Alcanar</b>	0,03	0,23	+ 666,67 %
<b>Sant Jaume de Envenja</b>	0,13	0,90	+ 592,31 %
<b>San Carlos de la Rápita</b>	0,28	1,84	+ 557,14 %
<b>Camarles</b>	0,06	0,34	+ 466,67 %
<b>La Aldea</b>	0,13	0,70	+ 438,46 %
<b>Amposta</b>	0,52	2,14	+ 311,54 %
<b>Tortosa</b>	0,85	2,05	+ 141,18 %
<b>Roquetes</b>	0,18	0,43	+ 138,89 %
<b>Riumar</b>	-	0,69	-
<b>Poblenou</b>	-	0,12	-

Elaboración propia.

Dentro de este ámbito es muy destacable el estudio de los **paisajes industriales** ya que será posible documentar con imágenes aéreas la aparición de los nuevos espacios industriales (grandes áreas industriales, polígonos, etc.) que se han desarrollado desde la práctica inexistencia en 1927 en nuestra zona de estudio. Este desarrollo ha provocado que sea la cobertura que mayor variación ha sufrido en este periodo creciendo un 11.000 % y ocupando casi 10 kilómetros cuadrados en todo el territorio estudiado. Desatan la existencia de grandes polígonos industriales en Tortosa, Amposta, La Aldea o Deltebre o la presencia de una cementera de grandes dimensiones (1, 33 km<sup>2</sup>) en el término municipal de Alcanar.

Además dentro de este ámbito industrial podríamos incluir una cobertura que por su importancia en la zona de estudio se ha mantenido independiente, las salinas. Existen dos grandes complejos de salinas en el Delta del Ebro, las Salinas de la Trinidad (en la Punta de la Banya) y las antiguas Salinas de La Tancada (junto a la laguna homónima), aunque estas últimas solo tienen función recreativa y no de explotación en estos momentos. Actualmente, las salinas ocupan una extensión de 1,95 kilómetros cuadrados, incrementando su extensión en un 47% desde 1927, hecho que reafirma la importancia de este tipo de industria en el Delta, ya que las de la Trinidad son las únicas salinas marinas que existen en toda la Comunidad Autónoma de Cataluña con una producción media de 25.000 toneladas de sal al año. Como hemos dicho anteriormente la sal ha sido uno de los motores económicos de la zona de estudio, incluso remontándonos algunos siglos atrás. Y esto se confirma por el hecho de la existencia de otras varias salinas que desaparecieron antes de 1927, fecha de la primeras imágenes aéreas de este trabajo.

Relacionado también con el desarrollo urbano e industrial está el cambio experimentado por los **espacios portuarios**. Los puertos marítimos tenían a comienzos del siglo XX unas dimensiones reducidas, pero éstos han cambiado sus dimensiones a lo largo de los años. En nuestra zona de estudio este hecho se demuestra en el crecimiento de los mismos, principalmente puertos de uso recreativo con pequeñas embarcaciones, aunque también existe un puerto de uso pesquero como es el de San Carlos de la Rápita (más de 300.000 m<sup>2</sup>) o de uso industrial como el de la cementera de Alcanar. Además, en muchos de ellos, se han construido diferentes espigones de grandes dimensiones, lo que produce consecuencias en la dinámica marítima en esas zonas cercanas a la costa, así como en la evolución de las distintas playas del entorno.

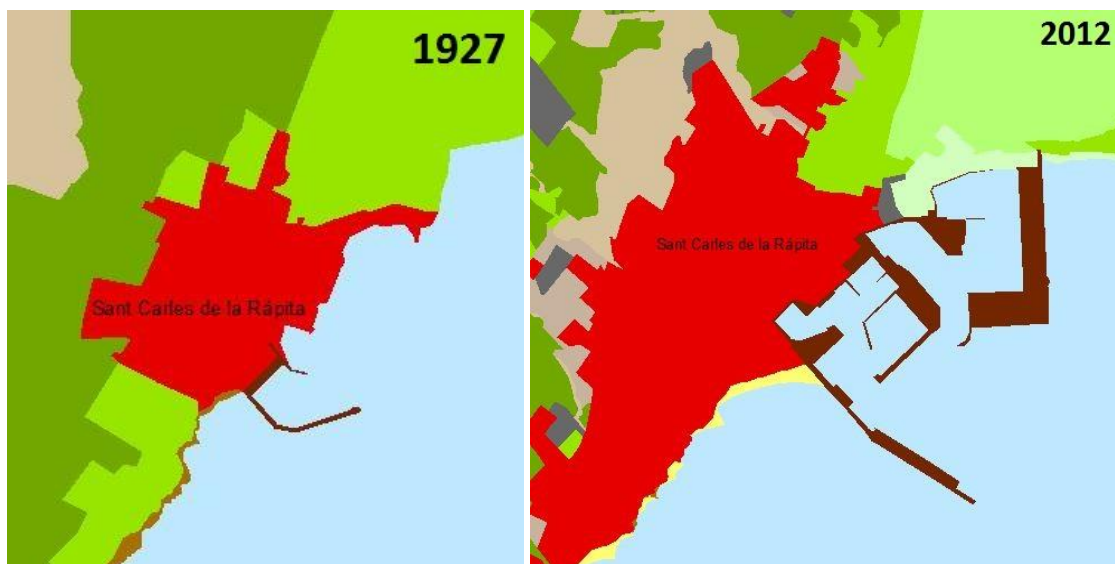


Imagen 31. Evolución de la zona portuaria de San Carlos de la Rápita.

Por último, en el caso del **transporte terrestre**, las distintas series de fotografías aéreas sirven de gran ayuda para analizar los cambios experimentados en carreteras, autovías y autopistas (nuevos trazados, modificación de los antiguos para adaptarlos a las nuevas necesidades del tráfico, construcción de rondas de circunvalación de los núcleos urbanos, etc.), así como en los ferrocarriles, tanto por la existencia de nuevos trazados como por las modificaciones experimentadas en sus trazados y en las estaciones.

En nuestro caso de estudio, en 1927 eran dos las carreteras principales que recorrían la zona: la carretera de Castellón a Tarragona, cruzando Tortosa (actuales T-331 y C-42) y la de Vinaroz a La Venta Nueva, la cual transitaba por San Carlos de la Rápita y Amposta (actual N-340). Además de ésta última, que ha usado el trazado de la carretera antigua exceptuando las trazados nuevos de autovía de las variantes de las dos localidades anteriores, se trazó por la zona una de las vías con más tránsito de nuestro país, así como posiblemente la autopista más importante de España, la AP-7. Hay otras dos vías que vertebran la zona de estudio, la C-12, la cual une Tortosa y Amposta y la TV-3454, que recorre la zona central del Delta del Ebro hasta llegar a su población más importante, Deltebre.

Por su parte, el transporte en ferrocarril en la zona se ha modificado de forma sustancial. Obviamente, el trazado y las condiciones de la infraestructura han mejorado en estos casi 90 años. Se ha aprovechado gran parte del trazado existente en 1927 de la línea Valencia a Tarragona, aunque en 1997 se construyó un nuevo trazado lineal que pasase por el norte de Amposta, abandonando de esta forma el ramal que llegaba a Tortosa. La estación ferroviaria de la zona se centralizó en La Aldea, a pocos kilómetros de ambas poblaciones, existiendo desde esta estación un ramal en la margen izquierda del Ebro que llega a Tortosa. Actualmente por estas vías no circula el Tren de Alta Velocidad (AVE) sino que lo hace el EUROMED.



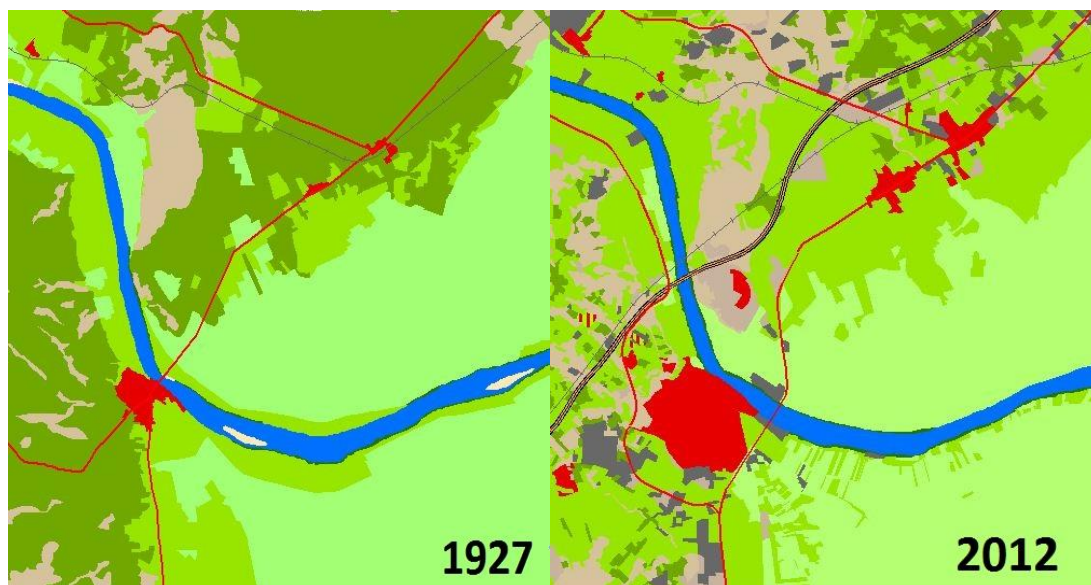


Imagen 32. Evolución de la red viaria y ferroviaria en el entorno de Amposta.

## **5. CONCLUSIONES**

- Hay que seguir profundizando en el trabajo de georreferenciación de los fotoplanos del vuelo de 1927. Esto supondría una riqueza incalculable en futuros trabajos del ámbito geográfico ya que se podría trabajar conjuntamente con capas de diferentes épocas y así realizar estudios de evolución de muchos ámbitos de nuestro entorno más cercano.
- El Delta del Ebro es una de las mayores riquezas ecológicas que tenemos en nuestro país, de ahí que tenga que ser cuestión general su conservación para que las generaciones venideras puedan seguir disfrutándolo.
- Para ello, el Estado ha de protegerlo evitando su degradación así como desechando obras que puedan afectarle como nuevos embalses en el tramo final del Río Ebro o la realización de trasvases que redujesen su caudal y su aporte de sedimentos en mayor medida que en la actualidad.
- Ante la irreparable pérdida de superficie que está sufriendo el Delta, se ve como aspecto positivo las posibles actuaciones que se puedan dar en él, como la alimentación artificial de sedimentos de la llanura deltaica. Aunque como en toda obra hidráulica que se premie, hay que ser muy cuidadoso en la realización de una actuación de tal envergadura.
- Mientras tanto, como se ha podido confirmar con este trabajo, el Delta del Ebro se está retrayendo hacia la línea primigenia de costa, mientras que las dos Puntas tienen un comportamiento similar: la del Norte se acerca de modo constante a la costa e igualmente la del Sur aunque de un modo menos progresivo, además de desplazarse también hacia el sur.
- Además, debido a la construcción de embalses aguas arriba a las de la zona de estudio las barras, islas y playas que se encontraban en el cauce del Ebro han ido perdiendo superficie dejando su lugar a la proliferación de mayor masa de vegetación de ribera en los márgenes del río.
- Por último, hay que destacar el enorme cambio de usos de suelo que ha sufrido la zona de estudio, debido a los cambios que ha experimentado tanto la economía como la sociedad española. El monocultivo del arroz es de vital importancia en el Delta, de ahí que sea el uso de suelo predominante en él. Otras zonas de policultivo han surgido en antiguas zonas de olivares, que han perdido su importante peso en la zona. El desarrollo turístico en todo el arco mediterráneo también llegó a la zona del Delta mostrándose en el crecimiento espectacular de las zonas urbanas, industriales y portuarias, así como el desarrollo de nuevas y modernas infraestructuras de comunicación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Dirección General de Alimentación, Calidad e Industrias Agroalimentarias (2012): “Pliego de Condiciones de Denominación de Origen Protegida Arroz del Delta del Ebro o Arròs del Delta del L’Ebre”. Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 22 pp.
- Batalla, R.J.; Kondolf, G.M.; Gómez, C.M. (2004): “Reservoir induced hydrological changes in the Ebro River basin, NE Spain. *Journal of Hydrology*, 290, 117-136”.
- Fernández García, F. (2000): *Introducción a la fotointerpretación*, Editorial Ariel, Barcelona, 253 pp.
- Galván Plaza, R.; Losada García, J.Á. (2007): “El vuelo fotográfico de 1927 de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro”. *Cimbra*, 373: 50-53.
- Galván Plaza, R.; Losada García, J. Á. (2004): “Importancia de la cartografía histórica en el análisis del territorio y el medio ambiente: los fotoplanos del vuelo de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro de 1927”. *Naturaleza Aragonesa*, 12: 47-54.
- IBERINSA, S.A. (1992): *Estudio de la regresión del Delta del Ebro y propuesta de alternativas de actuación*. Madrid.
- Instituto Geográfico Nacional (2010): “Metodología de Producción de la Base de Datos. Corine Land Cover-Change 2000-2006”. Madrid, 30 pp.
- Lechuga Álvaro, A.; López Gutiérrez, J.S. (1997): “Evolución reciente del Delta del Ebro. Aporte de sedimentos por el río. El oleaje y el transporte sólido litoral”. *Ingeniería Civil*, 104: 99-107.
- López Gutiérrez, J.S. (1996): “Recopilación y análisis de la información existente sobre el Delta del Ebro”. *Ingeniería Civil*, 103: 113-121.
- Marruedo, I. (2011): “Evolución temporal del conjunto sedimentario del Delta del Ebro entre los años 1989 y 2005”, *Revista de Didáctica Ambiental*, 9: 27-40.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2006): “Plan Integral de Protección del Delta del Ebro”. Madrid, 92 pp.
- Muñoz, J.C. (1997): *El Delta del Ebro*. Ediciones Jaguar, Madrid, 191 pp.
- Página Web de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Origen e Historia de la CHE:  
<http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=2509&idMenu=2081>. (Sección Descargas, vínculo “Imágenes y fotoplanos” : <http://iber.chebro.es/geoportal/>)
- Sada, M. (1927): “La topografía terrestre y aérea en la Confederación”. *Revista Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro*. Año 1, 1.
- Serra Raventós, J. (1997): “El sistema sedimentario del Delta del Ebro”. *Revista de Obras Públicas*, 3368: 15-22.
- Vericat, D.; García, C.; Batalla R.J. (2006): “Variaciones temporales y espaciales en la granulometría del tramo bajo del Ebro. *Revista. C. & G.*, 20, 47-60.

## 7. ANEXOS

- Tabla 5. Superficie de las coberturas del suelo en el año 1927 en la zona de estudio

Tipo de cobertura	Superficie (km <sup>2</sup> )	Tipo de cobertura	Superficie (km <sup>2</sup> )
Arrozales	164,97	Lagunas costeras	12,47
		Zonas urbanas	3,06
Olivares	141,51	Barras e islas	2,02
Humedales	110	Vegetación de ribera	1,50
Matorral mediterráneo	81,47	Salinas	1,32
Mosaico de cultivos	58,89	Acantilados	0,30
Playas y arenales	15,60	Zonas industriales	0,08
Ríos	12,82	Puerto	0,008

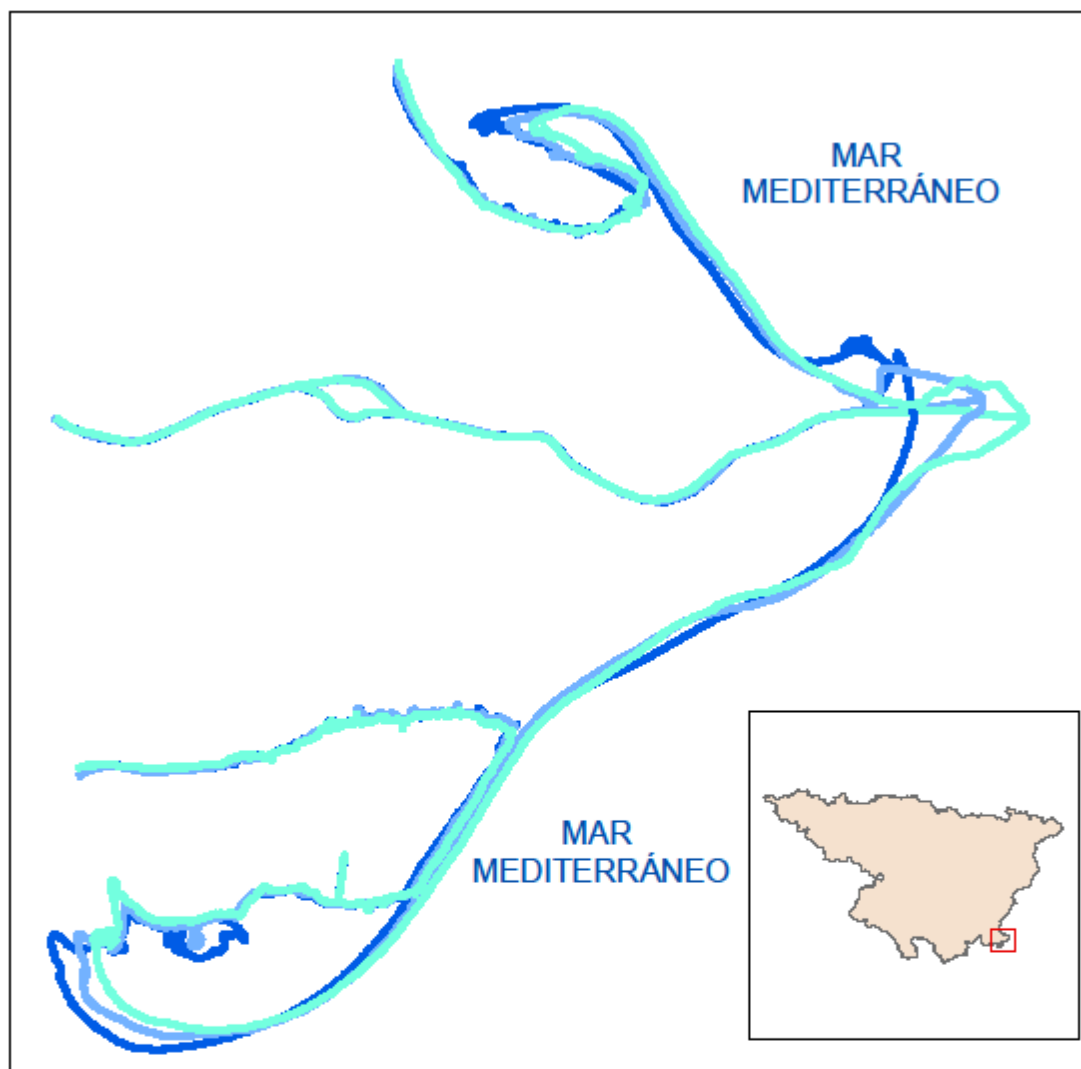
Elaboración propia.

- Tabla 6. Superficie de las coberturas del suelo en el año 2012 en la zona de estudio

Tipo de cobertura	Superficie (km <sup>2</sup> )	Tipo de cobertura	Superficie (km <sup>2</sup> )
Arrozales	224,10	Playas y arenales	8,04
		Suelo desnudo	4,90
Mosaico de cultivos	121,75	Vegetación de ribera	2,29
Matorral mediterráneo	94,06	Salinas	1,95
Humedales	56,84	Mixto Urbano – Matorral mediterráneo	1,03
Olivares	40,50	Mixto Urbano – Policultivo	0,81
Zonas urbanas	18,25	Puerto	0,45
Lagunas costeras	10,09	Barras e islas	0,35
Ríos	9,78	Acantilados	0,24
Zonas industriales	9,38	Mixto Urbano – Olivares	0,16

Elaboración propia.

## EVOLUCIÓN DEL PERÍMETRO DEL DELTA DEL EBRO. AÑOS 1927, 1956 Y 2012



### Leyenda

- Río Ebro 1927
- Río Ebro 1956
- Río Ebro 2012
- Perímetro 1927
- Perímetro 1956
- Perímetro 2012

N



0 1,5 3 6 9 Kilómetros

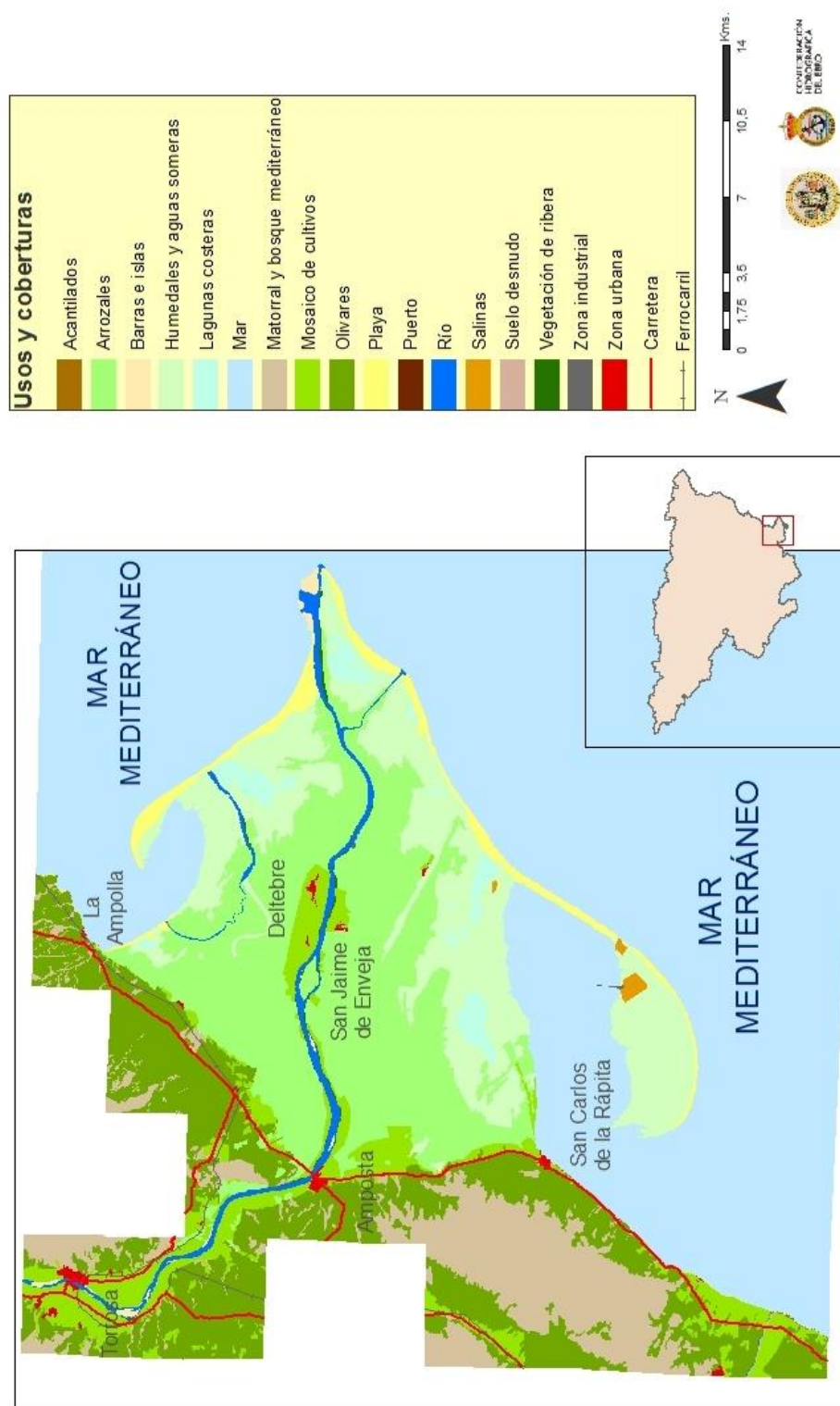


CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL EBRO

Elaboración propia

# USOS Y COBERTURAS DEL SUELO EN EL TRAMO FINAL DEL RÍO EBRO. AÑO 1927

- Mapa 2. Usos y Coberturas del Suelo en el tramo final del Río Ebro. Año 1927.



Elaboración propia



# USOS Y COBERTURAS DEL SUELO EN EL TRAMO FINAL DEL RÍO EBRO. AÑO 2012

