

## Trabajo Fin de Máster

Aplicación de Tecnologías de la Información  
Geográfica y Teledetección para la identificación,  
caracterización y puesta en valor de humedales de  
la Depresión del Ebro

*Use of Geographic Information Technologies and Remote Sensing  
for the identification, characterization and enhancement of  
wetlands of the Ebro Depression*

Autor/es

Gonzalo Peño Gómez

Director/es

Alfredo Ollero Ojeda  
Fernando Pérez Cabello

## Resumen

El presente trabajo explora las posibilidades que ofrecen los sistemas de información geográfica y las técnicas de teledetección para el estudio de la diversidad de humedales localizados en el sector central de la Depresión del Ebro. Se han identificado un total de 152 humedales distribuidos en 5 categorías: galachos (tipo G), endorreicos (tipo E), manantiales y fuentes (tipo F), en yesos (tipo Y) y de origen antrópico naturalizados (tipo N). Esta determinación tipológica ha sido contrastada con una nueva agrupación jerárquica obtenida a partir de información espectral. Mediante el uso de imágenes Sentinel 2 se ha extraído la información espectral de los valores de NDVI, NDII y NDSI de los humedales que presentan una superficie de lámina de agua suficiente para ser captada por el sensor sin problemas de contaminación espectral (60 humedales). A partir de estos valores se ha realizado una caracterización espectral y un análisis multitemporal de cada uno de los tipos de humedal. Además, se ha desarrollado una cartografía evolutiva de los humedales más representativos de cada tipo junto con los resultados de una encuesta para figurar la percepción social de la ciudad de Zaragoza y su entorno ante estos espacios. Los resultados obtenidos aportan información útil para realizar un diagnóstico global de la situación en la que se encuentran estos humedales, así como para establecer pautas y estrategias en materia de conservación, seguimiento y puesta en valor de los mismos.

Palabras clave: humedal, Sentinel 2, NDVI, NDII, NDSI, valor ecológico.

## Abstract

The present report describes the possibilities offered by geographic information systems and remote sensing techniques for the study of the diversity of wetlands located in the central sector of the Ebro Depression. A total of 152 wetlands have been identified in 5 categories: abandoned channel (type G), endorheic (type E), sources (type F), in gypsum (type Y) and of naturalized anthropic origin (type N). This typological determination has been contrasted with a new hierarchical grouping obtained from spectral information. Through the use of Sentinel 2 images, the spectral information of the NDVI, NDII and NDSI values of the wetlands having a surface of water sheet sufficient to be captured by the sensor without problems of spectral contamination (60 wetlands) has been extracted. From these values, a spectral characterization and a multitemporal analysis of each type of wetland has been carried out. In addition, an evolutionary mapping of the most representative wetlands of each type has been developed along with the results of a survey to figure out the social perception of the city of Zaragoza and its surroundings in these spaces. The results obtained provide useful information to make a global diagnosis of the situation in which these wetlands are located, as well as to establish guidelines and strategies for conservation, monitoring and value enhancement of them.

Key words: wetland, Sentinel 2, NDVI, NDII, NDSI, ecological value.

## ÍNDICE

1. Introducción	6
1.1 Justificación del trabajo	6
1.2 Objetivos	9
1.3 Área de estudio	9
2. Materiales y métodos	11
2.1 Materiales	12
2.2 Métodos	12
2.2.1 Identificación y tipología de humedales	12
2.2.2 Aplicación de técnicas de teledetección para la cartografía y análisis de los humedales	13
- Cartografía de humedales mediante Clasificación Digital Supervisada	13
- Generación de la colección de imágenes Sentinel 2 (A, B) y derivación de índices espectrales	14
- Tratamiento estadístico aplicado a la información espectral	15
■ Caracterización espectral y análisis multitemporal de los humedales	15
■ Agrupación jerárquica de humedales a partir de índices espectrales	16
2.2.3 Cartografía evolutiva de humedales representativos	16
2.2.4 Encuestas	18
3. Resultados	19
3.1 Cartografía de humedales y tipología	19
3.2 Cartografía de humedales mediante proceso de clasificación supervisada	19
3.3 Caracterización espectral y análisis multitemporal de los humedales	19
3.3.1 Gráficos de análisis multitemporal a partir de índices espectrales	24
3.3.2 Agrupación jerárquica a partir de índices espectrales	28
3.4 Cartografía Evolutiva	29
Laguna de La Playa	29
Salada de Mediana	29
Balsa de Larralde	30
Ojos de Pontil	31
Ojo del Cura	31
Galacho de Juslibol	32
Galacho de la Cartuja y de la Alfranca	39
3.5 Encuestas	46
4. Discusión	49
4.1 Diagnóstico general	49
4.2 Propuestas y perspectivas	51
5. Conclusiones	54
6. Bibliografía	55
7. Anexos	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localización del área de estudio	9
Figura 2: Diagrama general de los métodos utilizados en el estudio	11
Figura 3: Ejemplo de representación cartográfica	17
Figura 4: Distribución de valores NDVI	20
Figura 5: Distribución de valores NDII	21
Figura 6: Distribución de valores NDSI	22
Figura 7: Evolución multitemporal NDVI	24
Figura 8: Evolución multitemporal NDII	25
Figura 9: Evolución multitemporal NDSI	27
Figura 10: Cartografía evolutiva Laguna de la Playa	29
Figura 11: Cartografía evolutiva Salada de Mediana	29
Figura 12: Cartografía evolutiva Balsa de Larralde	30
Figura 13: Cartografía evolutiva Ojos de Pontil	31
Figura 14: Cartografía evolutiva Ojo del Cura	31
Figura 15: Cartografía evolutiva Galacho de Juslibol (1927-1957)	32
Figura 16: Cambio de superficie de cada clase Galacho de Juslibol 1927 a 1957	33
Figura 17: Superficie total de cada clase Galacho de Juslibol 1927-1957	33
Figura 18: Cartografía evolutiva Galacho de Juslibol (1957-1998)	34
Figura 19: Cambio de superficie de cada clase Galacho de Juslibol 1957 a 1998	35
Figura 20: Superficie total de cada clase Galacho de Juslibol 1957-1998	36
Figura 21: Cartografía evolutiva Galacho de Juslibol (1998-2019)	36
Figura 22: Cambio de superficie de cada clase Galacho de Juslibol 1998 a 2019	37
Figura 23: Superficie total de cada clase Galacho de Juslibol 1927-2019	37
Figura 24: Superficie total de cada clase Galacho de Juslibol en toda la serie	38
Figura 25: Cartografía evolutiva Galacho de La Cartuja-Alfranca (1927-1957)	39
Figura 26: Cambio de superficie de cada clase La Cartuja-Alfranca 1927 a 1957	40
Figura 27: Superficie total de cada clase Galacho de La Cartuja-Alfranca 1927-1957	40
Figura 28: Cartografía evolutiva Galacho de La Cartuja-Alfranca (1957-1998)	41
Figura 29: Cambio de superficie de cada clase La Cartuja-Alfranca 1957 a 1998	42
Figura 30: Superficie total de cada clase Galacho de La Cartuja-Alfranca 1957-1998	43
Figura 31: Cartografía evolutiva Galacho de La Cartuja-Alfranca (1998-2019)	43
Figura 32: Cambio de superficie de cada clase La Cartuja-Alfranca 1998 a 2019	44
Figura 33: Superficie total de cada clase Galacho de La Cartuja-Alfranca 1927-2019	45
Figura 34: Superficie total de cada clase La Cartuja-Alfranca en toda la serie	45
Figura 35: Conocimiento y visita de humedales	46
Figura 36: Valores destacados de los humedales	47
Figura 37: Estado del humedal	47
Figura 38: Aspectos a mejorar en los humedales	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Materiales y métodos	12
Tabla 2: Estadísticos descriptivos de índices espectrales para cada tipo	20
Tabla 3: ANOVA NDVI	21
Tabla 4: Resumen de comparaciones por pares NDVI	21
Tabla 5: ANOVA NDII	22
Tabla 6: Resumen de comparaciones por pares NDVI	22
Tabla 7: ANOVA NDSI	23
Tabla 8: Resumen de comparaciones por pares NDVI	23
Tabla 9: Matriz de confusión para la muestra de estimación	28
Tabla 10: Cambios Galacho de Juslibol 1927-1957	33
Tabla 11: Cambios Galacho de Juslibol 1957-1998	35
Tabla 12: Cambios Galacho de Juslibol 1998-2019	37
Tabla 13: Tendencia de cada clase Galacho de Juslibol	38
Tabla 14: Cambios Galacho de La Cartuja-Alfranca 1927-1957	40
Tabla 15: Cambios Galacho de La Cartuja-Alfranca 1957-1998	42
Tabla 16: Cambios Galacho de La Cartuja-Alfranca 1998-2019	44
Tabla 17: Tendencia de cada clase Galacho de La Cartuja-Alfranca	46

# 1. Introducción

## 1.1 Justificación del trabajo

El sector central de la Depresión del Ebro es un área de condiciones semiáridas que se sitúa entre distintas alineaciones montañosas. Esta disposición atenúa la influencia marítima y potencia la aridez y la continentalidad en su interior aunque, sin embargo, este conjunto de rasgos climáticos es compensado por el río Ebro, sus afluentes y la presencia de un gran número de pequeños humedales. Este conjunto de elementos acuáticos representa un papel fundamental como ecosistema en el territorio aragonés, ya que en ellos se alberga una gran diversidad biológica, constituyendo una parte esencial del patrimonio natural y cultural del total de la región.

Esta función es conocida y apreciada por la población de la comunidad autónoma, aunque no todos los elementos son igual de distinguidos y valorados. El río Ebro actúa como columna vertebral de todo el territorio, mientras que sus afluentes hacen de extremidades que abordan la superficie comprendida entre su desembocadura y su nacimiento, el cual se encuentra localizado en zonas montañosas. Por otra parte los humedales, aun presentando un notable valor ecológico y paisajístico, no son tan conocidos y a menudo son evaluados como zonas marginadas y poco salubres, sin función ecológica aparente, siendo improductivos para la población.

Esta percepción se encuentra muy alejada de la realidad, en la que los humedales cumplen una labor ecológica fundamental, ya que en ellos se concentran gran variedad de especies de fauna y flora, algunas de ellas raras o amenazadas, siendo a su vez lugares estratégicos para que las aves descansen en sus distintas rutas migratorias. En algunos casos estos se encuentran sujetos a proyectos de protección y conciencia ambiental, aunque no todos, siendo en su gran mayoría poco conocidos y mal calificados por el grueso de la sociedad. El desconocimiento es alto tanto en zonas rurales como en Zaragoza, para cuya población todavía está por descubrir gran parte de la riqueza y singularidad de los diferentes ecosistemas acuáticos localizados en su entorno más próximo. Actualmente la información ciudadana se reduce a unos pocos humedales y la percepción social que existe hacia ellos se vuelve un elemento de análisis a tener en cuenta en el presente trabajo, donde se realiza una recogida de información a través del método de encuestas. Del mismo modo, todavía no existe un inventario de humedales de la Comunidad Autónoma de Aragón dentro del IEZH (Inventario Español de Zonas Húmedas), cuya gran diversidad hace que existan diferentes tipos de humedal en relación a su origen, características y estado ecológico.

Dentro del sector central de la depresión del Ebro el tipo de humedal más conocido es el galacho, dada la estrecha relación que tiene su origen con la dinámica fluvial del propio río, siendo habitualmente el más cercano a las localidades ribereñas. Este tipo de humedal se forma a partir de meandros abandonados en momentos de fuerte crecida, donde el río corta una curva cerrada para tomar el camino más corto. Este proceso da como resultado la modificación del trazado inicial y el acortamiento del recorrido, quedando abandonada la curva ya citada y dando lugar al humedal. En ocasiones los tramos cortados han sido colmatados y utilizados como zonas de cultivo, mientras que en los que la lámina de agua se

ha mantenido estable a lo largo del tiempo se ha establecido una variada vegetación, siendo hábitat de numerosas aves y otorgando al humedal un alto valor de biodiversidad. La evolución de este tipo de humedal consta de distintas etapas, en las que la colonización y sucesión vegetal y la reducción de la profundidad por colmatación del cauce se ven influenciados por una gran diversidad de factores, tales como la extensión de la lámina de agua, la influencia de las crecidas y la actividad antrópica (Garrido, 2007).

A lo largo del corredor del Ebro, además de los ya mencionados galachos, se encuentran otros humedales originados por circunstancias muy distintas. Ejemplo de ello son las lagunas localizadas en las terrazas del río formadas a partir de la presencia de karst aluvial. En esta ocasión la composición del terreno se vuelve fundamental para explicar su formación, ya que la presencia de una roca soluble como los yesos permite la formación de depresiones por hundimiento. Además, la existencia de aguas subterráneas favorece la disolución en el terreno, produciendo hundimientos en superficie, los cuales son denominados como dolinas, siendo más fácilmente encharcables que el resto del terreno (Castro y Torrijo, 2013). Del mismo modo, las aguas subterráneas dan lugar a otro tipo de humedal, los manantiales, surgidos del contacto geológico entre los sistemas montañosos adyacentes a la depresión del Ebro, donde el agua sale a superficie formando lagunas rodeadas de vegetación con propiedades singulares (Del Val y Viñuales, 2013).

Por otro lado, también existen láminas de agua de origen antrópico, tales como canteras y minas abandonadas que más tarde fueron inundadas, así como embalses y un gran número de pequeños estanques de riego. Estos últimos vienen derivados de la gran actividad agraria que se concentra en torno al Ebro, suministrando agua a la gran extensión de cultivos de regadío que se encuentran a lo largo de todo su trayecto. En localizaciones más alejadas de los cursos de agua, a lo largo de las distintas llanuras que se ubican en ambientes semiáridos del centro de la Depresión del Ebro, se localiza otro tipo de humedal, las saladas. Este humedal es propio de plataformas endorreicas salpicadas de depresiones que favorecen la acumulación de agua, la cual varía estacionalmente alternando entre épocas con agua y secas. Dicha variación está relacionada principalmente con factores meteorológicos, la hidrogeología y la composición química del suelo (García, 1996).

El interés ecológico que poseen los humedales en el sector central de la Depresión del Ebro no ha pasado igual de desapercibido para el mundo científico, ya que existen publicaciones en las que catalogan y caracterizan distintos tipos, pero para humedales incluidos en zonas de pequeña extensión sin abarcar la totalidad del territorio que se pretende en este trabajo: sectores como el de la Ribera Alta del Ebro (Castro y Torrijo, 2009) o la zona de Monegros (Conesa et al., 2011), o incluso para zonas más específicas, como el entorno de Casetas (Castro y Torrijo, 2013).

Uno de los problemas para la caracterización y seguimiento de los humedales es el desconocimiento de su evolución y su dinámica, la cual se representa con información geográfica sencilla, atendiendo a registros históricos de su estado hídrico y con cartografía básica fundamentada en información esencialmente temática. Al tratarse de elementos estáticos, es decir, que las variaciones que experimentan quedan reducidas a su propia superficie junto con sus inmediaciones, este método de trabajo obtiene buen resultado. Sin

embargo, en determinados casos como en los galachos se hace necesario ir un paso más allá, ya que su origen presenta una morfología cambiante relacionada con la propia dinámica del río y con los cambios de usos de suelo que se producen en su entorno. En la actualidad, los sistemas de información geográfica permiten trabajar un gran volumen de datos y realizar estudios mucho más avanzados para tratar problemas de ordenación territorial y medioambiental. Además, también tienen una gran capacidad para llevar a cabo análisis geostatísticos avanzados y poseen herramientas eficaces para la representación, edición y difusión de la información geográfica.

La teledetección se muestra como complemento perfecto para el estudio que se quiere llevar a cabo en este trabajo, ya que proporciona claves espectrales para el reconocimiento, la localización geográfica y el estado de las láminas de agua, proporcionando información útil en relación con la planificación y el seguimiento de los humedales para mejorar su gestión. Se trata de una herramienta utilizada en numerosos ámbitos científicos, dada su capacidad para la estimación, cartografía e inventario de distintas coberturas y usos de suelo. En comparación con otro tipo de métodos esta técnica presenta ciertas ventajas (Castañeda, 2002):

- Observación de grandes superficies de forma periódica con un bajo coste relativo, además de la existencia de imágenes de fechas pasadas.
- Algunos sensores permiten obtener imágenes con información de regiones del espectro no incluidas dentro del visible, útiles para la discriminación de coberturas e identificar características superficiales del terreno.
- Gran capacidad para recopilar grandes cantidades de información junto con su posterior tratamiento.
- Los datos obtenidos permiten generar modelos cuantitativos e integrar los resultados a otros datos geográficos.

Para el desarrollo de este trabajo se ha decidido utilizar imágenes correspondientes a los satélites Sentinel 2A y Sentinel 2B, del programa *Copernicus*, dado que permiten obtener imágenes multiespectrales con gran resolución de amplias extensiones de terreno. Con ambos satélites operativos el tiempo de revisita es de 5 días (sin nubes), por lo que se pueden obtener datos prácticamente semanales.

A pesar de tratarse de satélites puestos en órbita recientemente, existen numerosas investigaciones sobre la aplicación de estas imágenes al estudio de las superficies de agua, ya sea para la detección de humedales (Lee et al., 2017; Ludwig et al., 2019), clasificación (Kaplan y Avdan, 2019) y seguimiento tanto de la lámina de agua (White et al., 2018) como de la vegetación circundante (Bregoli et al., 2019; Rapinel et al., 2019). También existen estudios en el ámbito de los humedales en el que se compara el uso de las imágenes Sentinel 2 con Landsat 8 y otros sensores (Amani et al., 2018; Araya-López et al., 2018; Sánchez-Espinosa y Schröder, 2019), determinando que Sentinel 2 ofrece un grado de precisión y fiabilidad semejante con ciertas mejoras en la resolución temporal, pero principalmente en la espacial dado que es capaz de detectar superficies más pequeñas.

En definitiva, el presente trabajo estudia los humedales existentes en el entorno más próximo a la ciudad de Zaragoza, elementos con una importante labor ecológica en el ecosistema, función comúnmente olvidada o desconocida por la mayoría de la población. De

este modo, se hace indispensable llevar a cabo una investigación para conocer la diversidad de estos elementos y las características que poseen en base a la función clave que desempeñan, tanto en los propios hábitats que forman como a lo largo de todo el territorio. Los sistemas de información geográfica y las técnicas de teledetección que se aplican en este trabajo ofrecen un gran potencial para analizar y caracterizar la evolución de estos humedales, en pos de diagnosticar su estado actual y desarrollar pautas y estrategias para su seguimiento, gestión y puesta en valor.

## 1.2 Objetivos

El objetivo general de este trabajo es identificar, caracterizar y poner en valor los humedales en el entorno de Zaragoza a través de herramientas de información geográfica y teledetección. Para ello se han establecido una serie de objetivos específicos:

- Localizar y tipificar los humedales del entorno de Zaragoza.
- Evaluar la estacionalidad de los humedales a través de índices espectrales derivados de imágenes de satélite disponibles en los últimos años.
- Analizar la geohistoria de los humedales utilizando ortofotos e imágenes aéreas comprendidas entre 1927 y la actualidad, con medición de los cambios en superficies observados a través de un SIG.
- Realizar un diagnóstico global de la situación actual de los humedales para establecer una serie de pautas y estrategias en materia de seguimiento, conservación y puesta en valor de los mismos.

## 1.3 Área de estudio

El desarrollo de este trabajo se centra en el sector central de la Depresión del Ebro, más concretamente, el área de estudio incluye humedales localizados en comarcas ubicadas en el entorno de Zaragoza: Cinco Villas, Campo de Borja, Valdejalón, Campo de Cariñena, Campo de Belchite, Monegros, Ribera Alta, Ribera Baja y Zaragoza.

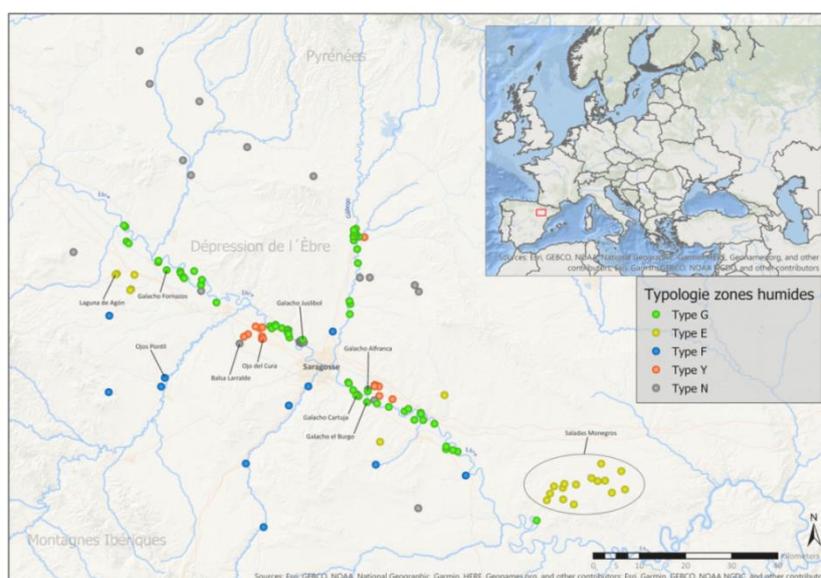


Figura 1: Mapa de localización del área de estudio. Identificación y tipología de humedales. Elaboración propia.

Detallar que el mapa de localización incluye la tipología de humedales explicada en apartados posteriores y que a su vez es resultado del método 2.2.1. Presenta gramática en francés, ya que este mapa incluyó en el poster presentado en el congreso de geohistoria de humedales celebrado en Rumania en junio de 2019 (Ollero et al., 2019) el cual puede consultarse en el Anexo I.

## 2. Materiales y métodos

En este apartado se explican las diferentes fases y tareas realizadas a lo largo del trabajo, diferenciando entre el material utilizado y los métodos que se llevan a cabo. En la figura 2 se muestra el diagrama de los métodos desarrollados en este trabajo.

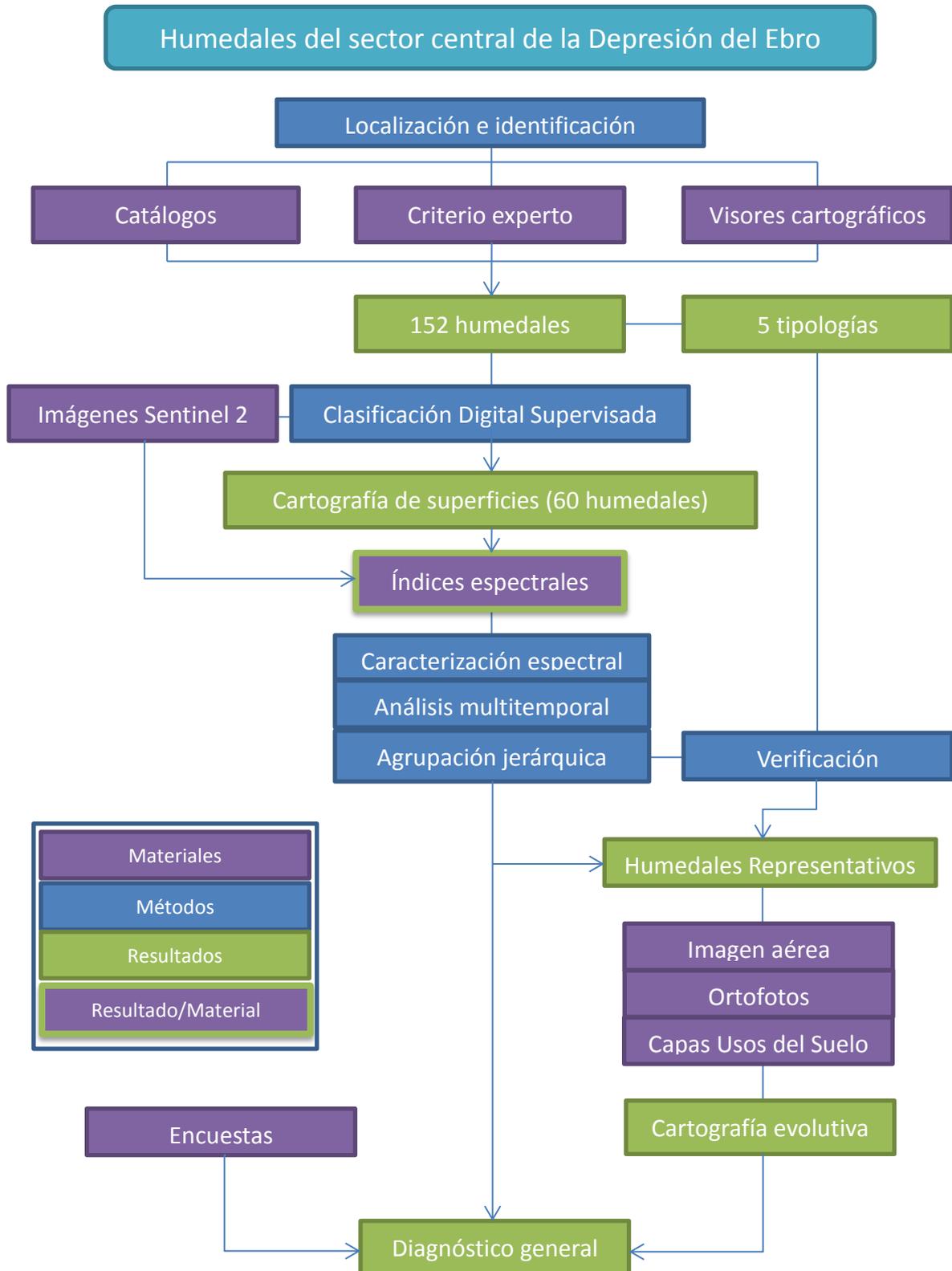


Figura 2: Diagrama general de los métodos utilizados en el estudio. Elaboración propia

## 2.1 Materiales

Los materiales utilizados quedan recogidos en la siguiente tabla junto con el procedimiento en el que se aplica y el software usado para su desarrollo:

Método	Material	Software
Identificación, tipología de humedales	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Catálogos               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Antón et al, 1990</li> <li>- Simón et al, 1998</li> <li>- Castro y Torrijo, 2009</li> </ul> </li> <li>○ Visores cartográficos               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Google Earth</li> <li>- SigPac</li> <li>- IDEAragón</li> </ul> </li> </ul>	ArcGIS ArcGIS Pro
Cartografía de humedales mediante Clasificación Digital Supervisada	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Imágenes Sentinel 2 (A, B)</li> </ul>	ERDAS Imagine ArcGIS
Obtención de índices espectrales	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Imágenes Sentinel 2 (A, B)</li> </ul>	Google Earth Engine
Caracterización espectral y análisis multitemporal	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Índices espectrales generados</li> </ul>	Microsoft Excel XLSTAT
Agrupación jerárquica	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Índices espectrales generados</li> </ul>	Microsoft Excel XLSTAT
Cartografía evolutiva de humedales representativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Imagen aérea de 1927 (CHE)</li> <li>○ Ortofotos de 1957 y 1998 (IGN)</li> <li>○ Ortofoto de máxima actualidad (IGN)</li> <li>○ Capas de usos de suelo 1927,1957 y 1998 (Plan Medioambiental del Ebro)</li> </ul>	ArcGIS
Encuestas	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Formulario online</li> </ul>	Google Forms

Tabla 1: Materiales y métodos

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Identificación y tipología de humedales

Para la identificación y tipificación de humedales a lo largo del área de estudio se han utilizado distintos catálogos ya existentes junto con la observación del territorio a través de distintos visores cartográficos. La diversidad de estos humedales es alta, ya que estos presentan diferencias en relación a su origen, características, estado ecológico, conservación y restauración aplicada (notable en algunos casos e inexistente en otros).

De este modo han sido identificados un total de 152 humedales, los cuales se clasifican en 5 tipos diferentes. La tipología propuesta se basa en las propiedades descritas en los catálogos para su identificación junto con los aspectos más relevantes en lo que refiere a geohistoria y situación actual desde el punto de vista ecológico y paisajístico. Los distintos tipos que se distinguen son los siguientes:

- Tipo G – Galachos y otras zonas húmedas de origen fluvial: humedales de gran valor, con una geohistoria asociada a la formación y ruptura de meandros, localizados en los entornos de los ríos Ebro y Gállego.

- Tipo E – Lagunas endorreicas, saladas: localizadas en ambientes semiáridos del centro de la Depresión del Ebro, caracterizada como la depresión interior más seca de Europa.
- Tipo F – Manantiales surgidos del contacto de las formaciones montañosas adyacentes con la Depresión del Ebro: dicha fricción da lugar a humedales de propiedades singulares.
- Tipo Y – Lagunas asociadas a la actividad de dolinas en zonas de yesos: ya que el entorno de Zaragoza presenta una gran presencia de karst aluvial en los distintos niveles de terrazas del río Ebro.
- Tipo N – Zonas húmedas de origen artificial naturalizadas o de interés ecológico: canteras y minas abandonadas actualmente inundadas y naturalizadas. También se han tenido en cuenta algunos embalses y pequeños estanques de riego, aunque solo se han seleccionado los más representativos debido al alto número de balsas existentes en la zona.

Una vez establecida la tipología, se procede a localizar y cartografiar cada uno de los humedales seleccionados a través de un sistema de información geográfica.

### **2.2.2 Aplicación de técnicas de teledetección para la cartografía y análisis de los humedales**

#### **Cartografía de humedales mediante Clasificación Digital Supervisada**

Las imágenes Sentinel 2 (A, B) presentan un tamaño de pixel de 10 metros para las bandas 2 (0.490  $\mu\text{m}$ ), 3 (0.560  $\mu\text{m}$ ), 4(0.665  $\mu\text{m}$ ) del visible y 8 (0.842  $\mu\text{m}$ ) del infrarrojo próximo, mientras que para el resto de bandas el tamaño es de 20 metros. Pocos sensores ofrecen tal resolución en amplias extensiones de terreno por lo que su uso es adecuado para el estudio. Sin embargo, un gran número de humedales de los ya identificados presentan una superficie menor y no son discriminados por el sensor. Es por ello que para llevar a cabo la aplicación de las correspondientes técnicas de teledetección se hace necesaria una selección de aquellos cuya superficie de lámina de agua sea acorde con la resolución espacial de las imágenes Sentinel 2 a través de una Clasificación Digital Supervisada.

Para su desarrollo se han descargado a través de *Copernicus Open Access Hub* las imágenes Sentinel 2 necesarias para abarcar el área donde se incluyen todos los humedales, captadas en junio de 2019 y sin presencia de nubes. Este tipo de clasificación requiere el conocimiento previo de la zona de estudio y permite delimitar áreas representativas de las categorías representadas y que forman parte de la leyenda. En este caso la leyenda consta de dos categorías: la categoría “Humedal”, en la que la unidad mínima será el tamaño del píxel, y la categoría “Unclassified” como resto de la imagen. El proceso se divide en varias etapas:

- Entrenamiento: identificación de áreas representativas para generar una descripción numérica de los atributos espectrales de cada categoría. Para ello se utiliza la combinación de bandas 3-4-8 y se determinan un total de 83 humedales como áreas de entrenamiento.
- Asignación: cada pixel es categorizado y asociado a una categoría de acuerdo a su mayor semejanza. El método de asignación utilizado corresponde al de máxima probabilidad, en el que cada pixel es asignado a la categoría con la que posee mayor probabilidad de pertenencia. Evalúa la varianza y covarianza de cada vector característico para atribuirlo a una categoría espectral. Como límite se establece un nivel de confianza de 0.2 (Chi-

cuadrado=6), ya que con niveles más altos el número de píxeles clasificados como “Humedal” quedaba muy reducido.

- Verificación: estimación de la exactitud de la clasificación. Se han generado tres muestras aleatorias de 25 puntos. Para ello se ha utilizado la capa de puntos generada en el método 2.2.1 seleccionando los humedales identificados en la combinación de bandas 3-4-8 (n=83).

A partir de la imagen clasificada se digitalizan las superficies de los humedales a formato vectorial. Se establece una máscara en torno a la localización de estos para eliminar los píxeles clasificados en la misma categoría pertenecientes al río Ebro y otros elementos situados en la zona. Se obtiene así una capa de polígonos con los humedales que poseen una superficie mínima hábil para su análisis mediante la aplicación de técnicas de teledetección, siendo un total de 60 humedales.

### **Generación de la colección de imágenes Sentinel 2 (A, B) y derivación de índices espectrales (NDVI, NDII, NDSI)**

El análisis multitemporal de los humedales requiere una batería de imágenes muy densa si se demanda la máxima resolución temporal posible. Si el número de imágenes requerido es alto, descargar, almacenar y preparar una a una todas las imágenes para el estudio resulta un proceso lento y costoso. Para solucionar este problema actualmente existen herramientas que permiten obtener un gran volumen de datos de una manera rápida y directa. La plataforma utilizada para ello ha sido *Google Earth Engine*, que permite analizar un gran catálogo de imágenes de satélite y datos geoespaciales. Esta herramienta se puede usar directamente desde el navegador web y permite ejecutar funciones específicas editando código en JavaScript. En este caso se ha editado un código para realizar la extracción sistemática de la información espectral contenida en una colección extensa de imágenes Sentinel.

Como elemento de extracción de datos se utiliza la capa de polígonos (60 humedales) obtenida en el punto anterior. La superficie de cada humedal abarca un conjunto de píxeles dentro de la imagen, cada uno con un valor diferente, por lo que se debe tener en cuenta que el valor obtenido en la extracción de cada humedal es la media ponderada por la superficie de los píxeles que se encuentran contenidos dentro del polígono correspondiente. De este modo, se extraen los valores de reflectividad para cada humedal a partir de todas las imágenes Sentinel 2 disponibles entre el 5 de junio de 2017 y el 31 de mayo de 2019. El código puede consultarse en los anexos (ver Anexo II).

Dada la gran extensión en la que se encuentran repartidos los humedales, la información se extrae en tres tipos diferentes según la localización, obteniendo tres bases de datos (oeste, centro y este) con información de diferentes tiles. En las bases de datos oeste y centro se toma de referencia el tile T30TXM, ya que recoge información de todos los humedales para cada una de las fechas. Sin embargo, este tile no recoge información en la base de datos de humedales este y se hace necesario elegir otro que sí tenga información disponible. No todos los tiles existentes para esta zona recogen información de todos los humedales, por lo que finalmente se elige el que mejor se adecua al sector y el que posee una mejor representación espacial, el tile T30TYL, el cual presenta datos para todas las fechas de todos los humedales recogidos en la base de datos este.

En total, los valores de reflectividad obtenidos para los humedales corresponden a 147 fechas, de las cuales se obtiene la información espectral que deriva en el producto de índices espectrales. Más concretamente, se han elegido índices altamente relacionados con las características ecológicas de los humedales. A continuación se muestran los índices analizados (*Index Data Base*) junto con la fórmula general y la fórmula específica para Sentinel 2 en cada uno de los casos:

- NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*): índice utilizado para la estimación de cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Para el cálculo de este índice es necesaria la información que se encuentra en las bandas roja e infrarroja del espectro electromagnético (Jackson y Huete, 1991).

$$\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \frac{8 - 4}{8 + 4}$$

- NDII (*Normalized Difference Infrared Index*): índice utilizado para estimar la humedad, calculado a partir de la diferencia normalizada de las regiones del espectro sensibles a los cambios en el contenido de agua de las diferentes cubiertas. Utiliza las longitudes de onda del infrarrojo y del SWIR (Yilmaz et al., 2008).

$$\frac{819nm - 1600nm}{819nm + 1600nm} \quad \frac{8 - 11}{8 + 11}$$

- NDSI (*Normalized Difference salinity index*): índice utilizado para predecir la variación espacial de la salinidad en diferentes cubiertas. Utiliza la diferencia normalizada de longitudes de onda situadas en el SWIR (Al-Khaier, 2003).

$$\frac{1600:1700 - 2145:2185}{1600:1700 + 2145:2185} \quad \frac{11 - 12}{11 + 12}$$

Obtenidos los datos de los índices espectrales para cada humedal en cada una de las fechas disponibles, se procede a realizar el tratamiento estadístico correspondiente.

### **Tratamiento estadístico aplicado a la información espectral**

- Caracterización espectral y análisis multitemporal de los humedales

Unificados todos los datos en una misma base, se procede a trabajar todo el conjunto por medio de una tabla dinámica en la que se obtienen para cada uno de los índices espectrales el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación. El promedio es la media aritmética de los datos mientras que la desviación estándar indica la dispersión de estos respecto a la media. La relación entre estos dos estadísticos se expresa con el coeficiente de variación, el cual permite comparar las dispersiones de distribuciones diferentes. De este modo se obtienen dos tablas, una con los estadísticos de cada humedal y otra con el total de cada tipo o tipo, pudiendo establecer comparaciones entre las variaciones que experimentan cada uno de ellos.

Para analizar la variación temporal de los índices espectrales se establece que la tabla dinámica muestre el valor promedio por tipos de humedales para cada una de las fechas. Con ello se obtienen tres gráficos, uno para cada índice, en los que se analiza la variación

multitemporal que presenta cada tipo en relación al NDVI, NDII y NDSI. En estos gráficos se diferencian las etapas correspondientes a las estaciones del año, concretamente para las fechas situadas entre el 5 de junio de 2017 y el 31 de Mayo de 2019.

- Agrupación jerárquica de los humedales a partir de índices espectrales

Se procede a realizar el análisis de varianza (ANOVA) para cada uno de los índices espectrales (Y=variable dependiente=índice espectral, X=Variable cualitativa=Tipos) para comparar las diferencias entre los tipos con un intervalo de confianza de 95% y con una tolerancia de 0,0001. También se realizan pruebas *post-hoc* para generar comparaciones múltiples por parejas utilizando los test de *Bonferroni* y *Friedman/Kruskal-Wallis*, éste último cuando no se cumplen los supuestos de normalidad e igualdad de la varianza.

Por otro lado, se determina una nueva agrupación jerárquica (función de árboles de clasificación y de decisión) de los humedales a partir de la distribución de los valores promedio de los tres índices espectrales. Se trata de identificar patrones espectrales para averiguar el grado de similitud entre humedales utilizando el algoritmo de árbol CHAID (*Chi-square automatic interaction detector*) que se basa en la detección automática de interacciones mediante Chi-cuadrado. El algoritmo CHAID identifica los valores de los índices que permiten dividir mejor los humedales. Mediante una matriz de confusión, que sintetiza las correspondencias entre la clasificación de humedales y la nueva agrupación de los humedales que realiza el algoritmo, podemos comprobar el grado de coincidencia entre la tipología de humedales y la derivada del algoritmo.

### **2.2.3 Cartografía evolutiva de humedales representativos**

Una vez realizado el análisis de los humedales mediante la aplicación de técnicas de teledetección se ha procedido a desarrollar una cartografía evolutiva de los casos más representativos de cada tipo de humedal. Un factor importante que se ha tenido en cuenta para realizar esta selección es el desacuerdo entre la asignación de tipos de la propuesta tipológica y la agrupación jerárquica a partir de los índices espectrales. De este modo a partir de la cartografía evolutiva se pretende, además del objetivo inicial, encontrar argumentos que expliquen las discrepancias existentes entre las dos clasificaciones desarrolladas analizando en detalle la evolución que ha experimentado el humedal.

Para el desarrollo de la cartografía evolutiva se diferencian dos métodos distintos en función del origen del humedal, por lo que el procedimiento es distinto según el tipo al que están asignados:

- Cartografía evolutiva de los tipos E, F, Y, N: humedales que presentan poca dinámica espacial en su evolución, donde los cambios que experimentan se deben principalmente a las modificaciones en sus límites, tanto por causas naturales como antrópicas.
- Cartografía evolutiva del tipo G: los galachos presentan una morfología cambiante relacionada con la propia dinámica del río y con los cambios de usos de suelo que se producen en su entorno por lo se hace necesario desarrollar una cartografía más compleja y realizar un análisis de mucho más detalle.

El punto de partida para la realización de todas las cartografías es la obtención de las ortofotos correspondientes de los años 1957, 1998 y la de máxima actualidad (IGN).

En el primer caso, se digitaliza la superficie del humedal para medir su extensión a través de un sistema de información geográfica, pudiendo comparar así las variaciones que ha experimentado la superficie del humedal entre los momentos de toma de cada ortofoto. Del mismo modo, se realiza una observación cualitativa de los usos del suelo que se localizan en torno al humedal y los cambios más importantes entre cada una de las fechas. En el caso de los galachos, el proceso es más elaborado:

- Además de las ortofotos, se adquiere la imagen aérea de 1927 (CHE) para considerar el estado de la zona antes de la formación de los galachos. También se obtienen las capas de usos del suelo de 1927, 1957 y 1998 (Plan Medioambiental del Ebro) cuya leyenda sirve como base para la cartografía final, diferenciando entre las siguientes clases: Río Ebro, Humedal, Vegetación de ribera, Primicolonizadoras, Barras, Cultivos, Degradado, Repoblación y Urbano.
- Selección del área de estudio para cada caso y extracción de la información correspondiente de las capas de usos del suelo. Además se digitaliza la ortofoto de máxima actualidad en base a las clases ya mencionadas de la leyenda. Mencionar en este punto que las capas relativas al Galacho de la Cartuja y al Galacho de la Alfranca de 1957 presentaban errores, por lo que también se digitalizó ese año desde cero tomando como referencia la propia ortofoto.
- Intersección entre clases de dos fechas consecutivas, obteniendo diferentes capas con superficies de cambio. Estos cambios se agrupan en tres cartografías diferentes para cada uno de los casos:
  - o Cambios 1927 a 1957
  - o Cambios 1957 a 1998
  - o Cambios 1998 a 2019
- Representación cartográfica de los usos de suelo del año final del intervalo junto con los cambios experimentados respecto al año inicial. Para ello se utilizan colores sólidos y tramas superpuestas para representar ambas superficies a la vez. La figura 3 muestra un ejemplo de la cartografía evolutiva del Galacho de Juslibol (1927-1957):



Figura 3: Ejemplo de representación cartográfica. Galacho de Juslibol (1927-1957). Elaboración propia

El color sólido (capa de uso de suelo) corresponde al uso de suelo de 1957, mientras que la trama (capas con superficies de cambio) al uso de suelo existente en 1927. En caso de no haber trama es que no hay cambio entre un año y otro. De este modo, la trama indica qué uso de suelo había anteriormente (también funciona como indicador de que ha habido cambio) mientras que el color sólido muestra el uso de suelo del año final del intervalo.

- En la cartografía se incluye una tabla con la medida de superficie de cada cambio. Además, esta va complementada con dos gráficos obtenidos a partir del tratamiento de los datos obtenidos en la medida de superficies.
  - o Gráfico con el cambio de superficie de cada clase: En este gráfico se muestra el total de superficie de cada clase en el año inicial. La barra se separa en dos secciones:
    - Sección con trama: Superficie de esa clase que ha cambiado a otra diferente.
    - Sección sin trama: Superficie de esa clase que no ha sufrido cambio.
  - o Gráfico de superficie total de cada clase en ambos años (inicial y final): en este gráfico se compara si la superficie total de cada clase ha aumentado o ha disminuido de un año para otro.

De este modo, con los datos de la tabla y los dos gráficos se puede determinar la superficie que ha cambiado en cada clase, la variación de la superficie total y en qué medida una clase cambia a otras diferentes.

- Una vez obtenidos los cambios de todos los años estos se reúnen en un mismo esquema para realizar un análisis global de toda la serie temporal. En este apartado se realizan otros dos gráficos: uno el que se compara la superficie total de cada clase en cada año y otro en el que se muestra el aumento o disminución de la superficie de cada clase en función de la inicial en 1927, así como la tendencia positiva o negativa entre diferentes años.

#### **2.2.4 Encuestas**

Se trata de una encuesta breve y rápida de contestar, la cual consta de 6 preguntas de respuesta abierta dirigidas a un público general (ver anexo III). El formulario es lanzado a través de la plataforma Google Forms el 17 de mayo de 2019 para recoger información sobre la percepción social de los habitantes de Zaragoza. Los resultados obtenidos se incluyen en el póster anteriormente citado y también son objeto de análisis en el presente trabajo.

### **3. Resultados**

#### **3.1 Cartografía de humedales y tipología**

Los resultados cartográficos se muestran en el apartado 1.3 en el que aparece la localización de 152 humedales junto con la tipología asignada a cada uno de ellos. El listado completo se puede consultar en el Anexo IV.

#### **3.2 Cartografía de humedales mediante proceso de clasificación supervisada**

El proceso de clasificación supervisada ha tenido como resultado la identificación de un total de 60 humedales. La superficie representada por los humedales es muy reducida en comparación con la gran extensión de terreno en la que se encuentran. Dado que el interés en aplicar este método es principalmente la obtención de superficies para el estudio posterior la cartografía se incluye junto al listado de humedales obtenidos en el Anexo V.

El proceso de clasificación no ha incluido humedales del tipo F (manantiales y fuentes) a causa de que ninguno presentaba una lámina de agua con superficie suficiente para ser captada por el sensor sin problemas de contaminación espectral con otras categorías. Debido a ello este tipo no se incluye en los resultados de los métodos donde se aplican técnicas de teledetección. Dentro del conjunto de 60 humedales el resto de tipos queda representado del siguiente modo:

- Tipo E (endorreicos): 18 humedales
- Tipo G (galachos): 28 humedales
- Tipo N (antrópicos naturalizados): 9 humedales
- Tipo Y (en yesos): 5 humedales

La fiabilidad de la clasificación a partir del proceso de verificación es aceptable a pesar de presentar errores de omisión-comisión (el mismo al existir solo dos categorías), error en cierta parte esperado, ya que existen humedales que no presentan la unidad mínima de superficie establecida. La precisión de clasificación de cada una de las tres muestras aleatorias ha sido de 88%, 76% y 80%. El resumen y la matriz de error de cada una de las muestras se pueden consultar en el Anexo VI.

#### **3.3 Caracterización espectral y análisis multitemporal de los humedales**

Se han obtenido una serie de estadísticos descriptivos en relación a cada índice espectral para cada uno de los tipos y para cada humedal en particular. El listado de humedales se hace muy extenso y difícil de representar a través de gráficos que sean legibles debido al gran número de elementos a comparar. Por lo tanto, este queda recogido en el Anexo VII como complemento para su posible consulta, así como de base de datos para analizar situaciones singulares en las que intervengan ciertos humedales en concreto. De este modo, en este apartado se analiza con más detalle los resultados obtenidos para cada tipo, los cuales se recogen en la tabla 2:

Tipo	NDVI			NDII			NDSI		
	Promedio	Desvest	Coef.Var	Promedio	Desvest	Coef.Var	Promedio	Desvest	Coef.var
E	0,127	0,128	1,007	0,024	0,154	6,514	0,165	0,061	0,370
G	0,147	0,249	1,695	0,032	0,163	5,123	0,184	0,077	0,419
N	-0,033	0,281	8,391	-0,003	0,170	63,858	0,145	0,061	0,420
Y	0,271	0,221	0,816	-0,007	0,127	17,100	0,174	0,068	0,392

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de índices espectrales para cada tipo

Cada índice espectral se complementa con la correspondiente distribución de valores en el que se resumen los principales estadísticos descriptivos y el análisis ANOVA de cada uno de ellos.

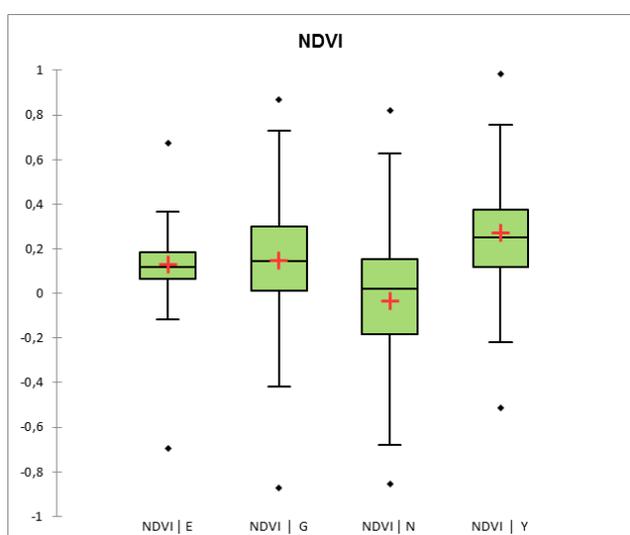


Figura 4: Distribución de valores NDVI. E (endorreicos), G (galachos), N (naturalizados), Y (en yesos)

Los valores de NDVI oscilan entre -1.0 y 1.0, donde la vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta valores de NDVI próximos a 1, el suelo desnudo por debajo de 0,15 y el agua valores negativos. Los datos recogidos en la tabla 2 y la figura 4 presentan valores bajos, obteniendo un promedio total próximo a la línea de suelo. El tipo Y es el tipo que presenta un promedio de NDVI más alto, seguido del tipo G y el tipo E, que muestran valores semejantes, mientras que el tipo N presenta un valor promedio negativo. La desviación estándar es semejante en todos los tipos mostrando valores dentro de un rango de 0,60 puntos, exceptuando el tipo E, que difiere presentando una desviación mucho menor. De este modo, a pesar de tener un valor promedio parecido, el tipo E presenta una dispersión menor que el tipo G, tal como muestra el coeficiente de variación para comparar ambas distribuciones. En lo que respecta a los otros dos tipos, el tipo Y obtiene un coeficiente de variación menor, mientras que el tipo N un valor mucho más alto, siendo con diferencia el tipo que más variabilidad presenta en comparación con el resto.

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
N vs Y	-0,304	-28,133	2,639	< 0,0001	Sí
N vs G	-0,180	-24,021	2,639	< 0,0001	Sí
N vs E	-0,161	-18,208	2,639	< 0,0001	Sí
E vs Y	-0,144	-13,802	2,639	< 0,0001	Sí
E vs G	-0,020	-2,859	2,639	0,004	Sí
G vs Y	-0,124	-13,290	2,639	< 0,0001	Sí
Nivel de significación corregido:			0,008		

Tabla 3: ANOVA NDVI

Tipo	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
N	-0,033	0,007	-0,046	-0,021	A
E	0,127	0,006	0,116	0,139	B
G	0,147	0,004	0,140	0,154	C
Y	0,271	0,009	0,254	0,288	D

Tabla 4: Resumen de las comparaciones por pares NDVI

El análisis ANOVA y las pruebas *post-hoc* por pares en relación con el NDVI muestran que existen diferencias significativas entre todos los tipos ( $p\text{-value}<0.05$ ) (Tabla 3). La Tabla 4 recoge precisamente, la identificación de cada tipo con un grupo diferente (A, B, C, D). Sin embargo, cabe destacar que la diferencia entre el tipo E-G es menor que en el resto de las comparaciones, con una diferencia estandarizada más cercana al valor crítico. De este modo, a pesar de que cada tipo se comporta de manera distinta, el límite entre estos dos tipos se encuentra mucho más próximo que en el resto.

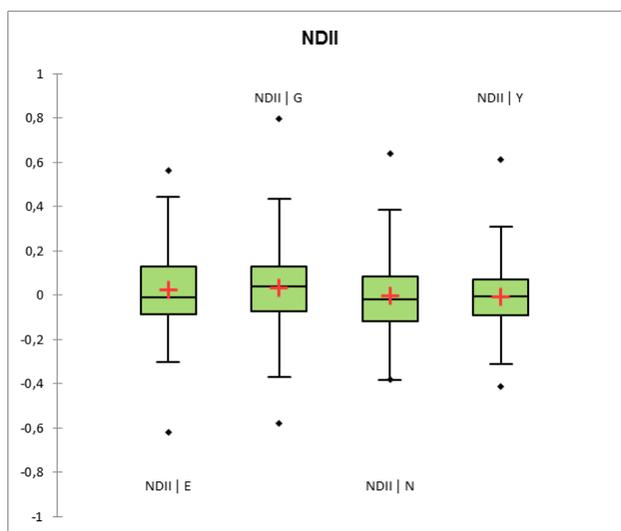


Figura 5: Distribución de valores NDII. E (endorreicos), G (galachos), N (naturalizados), Y (en yesos)

Los valores de NDII oscilan entre -1.0 y 1.0, donde valores más altos presentan mayor contenido de humedad en vegetación y suelo. La figura 5 muestra valores promedio bajos y localizados dentro de un mismo rango, mientras que en la desviación estándar (tabla 2) no se observa gran diferencia entre cada tipo. Sin embargo, la comparación de los tipos a través del

coeficiente de variación muestra diferencias notables en cuanto al comportamiento de cada uno respecto al índice espectral. Los tipos E y G presentan los valores de variación más bajos, seguidos del tipo Y, mientras que el tipo N obtiene un valor mucho más alto, mostrando de nuevo una variabilidad mucho mayor que el resto. De este modo, queda destacado el tipo N como tipo de humedal que más variabilidad presenta respecto a este índice espectral.

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Y vs G	-0,039	-6,154	2,639	< 0,0001	Sí
Y vs E	-0,031	-4,364	2,639	< 0,0001	Sí
Y vs N	-0,005	-0,644	2,639	0,520	No
N vs G	-0,034	-6,713	2,639	< 0,0001	Sí
N vs E	-0,026	-4,360	2,639	< 0,0001	Sí
E vs G	-0,008	-1,729	2,639	0,084	No

Nivel de significación corregido: 0,008

Tabla 5: ANOVA NDII

Tipo	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
Y	-0,007	0,006	-0,019	0,004	A
N	-0,003	0,004	-0,011	0,006	A
E	0,024	0,004	0,016	0,032	B
G	0,032	0,002	0,027	0,037	B

Tabla 6: Resumen de las comparaciones por pares NDII

El análisis ANOVA para el índice espectral NDII (Tabla 5) muestra que las diferencias no son significativas entre el tipo Y y el tipo N, así como entre el tipo E y el tipo G. La diferencia estandarizada se aleja más del valor crítico en el primer caso que en el segundo. De esta manera, se establece que hay semejanza en relación al NDII entre los tipos Y-N y E-G, formándose dos tipos, ya que los límites entre estos tipos se solapan (Tabla 6). En este sentido, cada letra mayúscula (última columna a la derecha) identifica a la agrupación a la que pertenecen los diferentes tipos de humedales, es este caso dos únicos tipos: A y B.

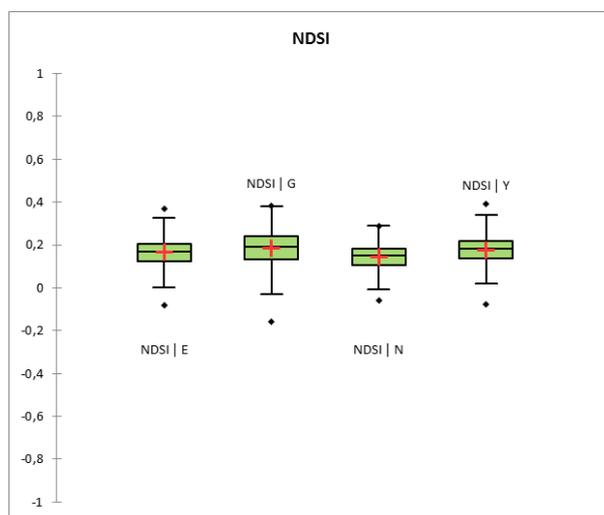


Figura 6: Distribución de valores NDII. E (endorreicos), G (galachos), N (naturalizados), Y (en yesos)

Los valores de NDSI fluctúan entre -1.0 y 1.0, los valores cercanos a 1 indican un bajo nivel de sales, mientras que los valores de -1 hasta los cercanos a 0 representan niveles elevados de sales. La figura 6 muestra que el NDSI de todos los tipos se encuentra en un rango muy pequeño, superiores a 0, así como la variación estándar (tabla 2), siendo en el caso del tipo E y el tipo N prácticamente el mismo valor. Por otro lado, a diferencia de los índices anteriores, el coeficiente de variación es muy parecido entre los distintos tipos, siendo el tipo E el que presenta menor variación, mientras que el G y el N la mayor.

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
N vs G	-0,039	-17,002	2,639	< 0,0001	Sí
N vs Y	-0,028	-8,659	2,639	< 0,0001	Sí
N vs E	-0,020	-7,322	2,639	< 0,0001	Sí
E vs G	-0,019	-9,128	2,639	< 0,0001	Sí
E vs Y	-0,009	-2,792	2,639	0,005	Sí
Y vs G	-0,010	-3,649	2,639	0,000	Sí
Nivel de significación corregido:			0,008		

Tabla 7: ANOVA NDSI

Tipo	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
N	0,145	0,002	0,141	0,149	A
E	0,165	0,002	0,161	0,168	B
Y	0,174	0,003	0,168	0,179	C
G	0,184	0,001	0,182	0,186	D

Tabla 8: Resumen de las comparaciones por pares NDSI

El análisis ANOVA para el NDSI (Tabla 7) presenta que existen diferencias significativas entre todos los tipos, por lo que cada uno muestra un comportamiento distinto. Cabe destacar que la diferencia entre los tipos E-Y es menor que en el resto de las comparaciones, con una diferencia estandarizada más cercana al valor crítico. De este modo, a pesar de que cada tipo se comporta de manera distinta, el límite entre estos dos se encuentra mucho más próximo que el resto. De este modo se asigna cada tipo a una agrupación diferente (Tabla 8).

### 3.3.1 Gráficos de análisis multitemporal a partir de índices espectrales

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en el análisis multitemporal de cada uno de los índices espectrales para cada uno de los tipos de humedal.

#### NDVI

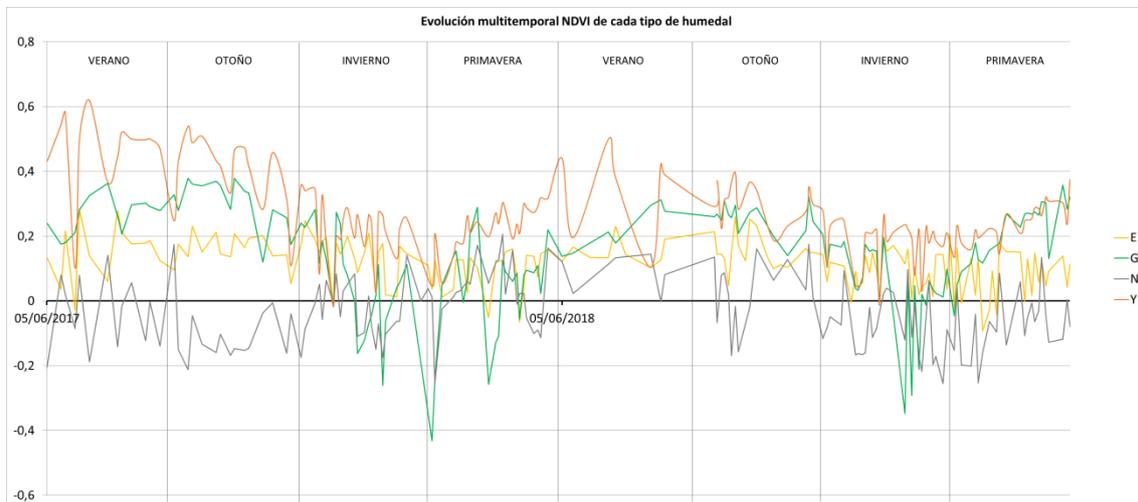


Figura 7: Evolución multitemporal NDVI

La figura 7 muestra la evolución multitemporal en los dos últimos años del valor promedio de NDVI de cada uno de los tipos de humedal. La información representada es extensa, por lo que se procede a enumerar las características observadas en diferentes secciones:

- Variación interanual (primer año: verano y otoño 2017, invierno y primavera 2018; segundo año: verano y otoño 2018, invierno y primavera 2019): ambos años presentan un comportamiento semejante en todos los tipos, aunque en el segundo año las diferencias entre tipos son más pequeñas y las variaciones intraestacionales son menos marcadas.
- Variación estacional: en verano y en otoño las diferencias entre tipos están más marcadas que en invierno y en primavera, donde los valores de NDVI oscilan en un rango mucho más pequeño. Además, la variación de este índice espectral cambia en función del tipo de humedal:
  - o Tipo E: es el tipo con la menor variación, tanto estacional como anual, ya que presenta a lo largo de todo el año valores de NDVI en un mismo rango de valores de suelo con escasa vegetación. Este resultado es acorde a las condiciones salinas que presenta este tipo de humedal.
  - o Tipo G: es el segundo tipo con valores de NDVI más altos en verano y en otoño. Sin embargo, en las otras dos estaciones experimenta un descenso marcado, llegando a presentar valores de NDVI negativos (agua), incluso los más bajos en relación con el resto de tipos para determinadas fechas. Los picos negativos más destacados coinciden con distintos eventos de crecida del río Ebro.
  - o Tipo N: en general es el tipo con valores NDVI más bajos, oscilando entre valores negativos y valores de suelo a lo largo de todo el año. Presenta una

variación estacional más estable que el tipo G e Y, pero con oscilaciones más marcada que el tipo E. Este comportamiento guarda relación con el origen antrópico de este tipo de humedal.

- Tipo Y: se trata del tipo que presenta valores de NDVI más altos a lo largo de todo el año. Presenta grandes diferencias entre las épocas verano-otoño e invierno-primavera.

## NDII



Figura 8: Evolución multitemporal NDII

En la figura 8 se observa la variación del valor promedio de NDII de cada tipo de humedal a lo largo de los dos últimos años. En comparación con el NDVI, los tipos presentan comportamientos más semejantes entre ellos, a excepción del tipo E, que describe una pauta diferente. Los valores positivos muestran el nivel de humedad existente en cubiertas vegetales y suelo. Los máximos destacados, de todos los tipos al principio de la serie y para tipos concretos en otros periodos, corresponden a valores obtenidos tras episodios de lluvia persistente, con duración de entre tres y cinco días (datos contrastados con SIAR - Sistema de Información Agroclimática para el Regadío, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).

- Variación interanual: existe menos variación interanual que en el caso del NDVI pero con variaciones intraestacionales mucho más marcadas. Además, se puede observar un cambio en la dinámica anual en el segundo año respecto al primero. En el primer año la variación en verano y otoño se mantiene estable, en invierno desciende y en primavera aumenta a valores similares a las dos primeras estaciones. Sin embargo, en el segundo el otoño funciona como transición de bajada entre el verano y el invierno, siendo este último menos acusado que el año anterior, al igual que el ascenso de nuevo en primavera.
- Variación estacional: en general, las épocas de verano y otoño presentan valores de NDII más altos, en invierno experimentan una bajada que oscila en torno a valores negativos y en primavera los valores del índice vuelven a subir.

- Tipo E: este tipo presenta un comportamiento diferente a los otros tres y se trata del único tipo cuya variación estacional no se asemeja a la explicada anteriormente. Mantiene una sucesión constante de subidas y bajadas a lo largo de todo el año con los valores más altos en otoño e invierno, normalmente con los valores más altos exceptuando fechas determinadas en el que es superado por el tipo G. Por otro lado, en verano y primavera difiere según el año: en el primero se asemeja al resto de tipos mientras que en el segundo presenta los valores más bajos en verano y un descenso con oscilaciones menos acusadas en primavera. Dada la localización y condiciones en las que se encuentran estos humedales el valor de este índice se hace sensible a los eventos meteorológicos que se dan en la zona. La sucesión de lluvias ha sido menor este último año por lo que el cambio sufrido puede explicarse por largos periodos de sequía, sobre todo a partir del descenso, tanto del valor como de las oscilaciones, en los últimos periodos del año.
- Tipo G: este tipo de humedal muestra una variación semejante a la general ya explicada anteriormente pero con un aumento relativo del índice en el segundo año respecto al primero. Los valores negativos recogidos en invierno se explican por la presencia de agua dentro de la superficie estudiada. Por otro lado, El descenso de precipitaciones en el último año deriva en el descenso de esta lámina y en el asentamiento de la vegetación, lo cual se observa en el gráfico con el aumento de valor de NDII en este tipo al final de la serie.
- Tipo N: junto con el tipo Y es el tipo que más se asemeja a la descripción general realizada al principio de este apartado. En general, describe el comportamiento del tipo G pero con valores de NDII normalmente más bajos. En el primer año en verano y otoño presenta oscilaciones en torno a cero, disminuyendo en invierno a valores negativos y aumentando de nuevo en primavera a valores ligeramente más altos situados entre 0 y 0,1. En el segundo año el cambio general descrito es latente, ya que en verano el valor aumenta para en otoño disminuir progresivamente a los valores negativos pero menos acusados de invierno, mientras que en primavera el ascenso es menos gradual.
- Tipo Y: presenta una variación muy parecida al tipo N, difiriendo algo más en el segundo año en los máximos de verano y en los mínimos de invierno.

## NDSI

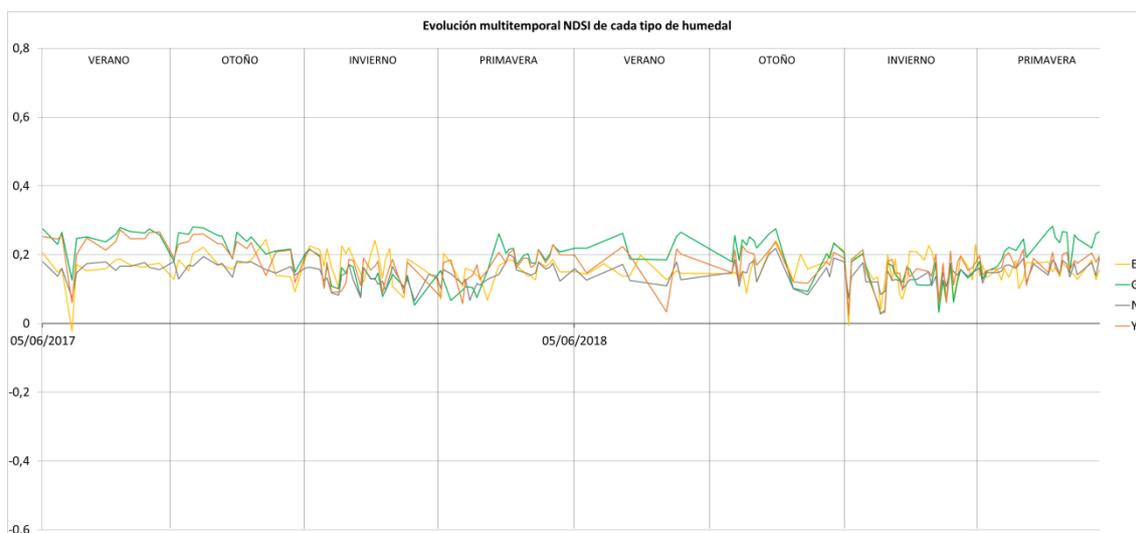


Figura 9: Evolución multitemporal NDSI

En la figura 9 se muestra la variación temporal en los dos últimos años del valor promedio de NDSI de cada uno de los tipos de humedal. El rango de valores obtenidos para este índice es mucho menor que en casos anteriores. En todos los tipos se observa un mínimo acusado que difiere del periodo al principio de la serie, coincidiendo con el máximo identificado en el NDII.

- Variación interanual: en líneas generales el comportamiento de cada tipo es semejante al del índice anterior, el NDII. Por un lado, los tipos G, N e Y presentan sus valores más altos en las etapas de verano y otoño, disminuyendo en invierno para volver a subir en primavera. En el segundo año se repite esta pauta pero se observan cambios: en verano y otoño hay un descenso de valores, sobre todo en el tipo Y, mientras que en primavera el tipo G experimenta un ascenso más acusado. Por otro lado, el tipo E vuelve a mostrar una pauta diferente, siendo más constante a lo largo de toda la serie temporal.
- Variación estacional: exceptuando el tipo E, las estaciones de verano y otoño son las que presentan valores de NDSI más altos, mientras que en invierno los valores descienden, en diferente medida según el tipo de humedal, para en primavera volver a subir.
  - Tipo E: como ya se ha citado anteriormente, este tipo vuelve a presentar un comportamiento diferente al resto. Más concretamente, este tipo mantiene una sucesión constante de subidas y bajadas a lo largo de todo el año, siendo estas más acusadas en otoño e invierno, mientras que en verano el rango de variación es menor. Además, es el tipo con valores más altos en invierno.
  - Tipo G: En general, este tipo muestra un comportamiento parecido al ya visto en el índice anterior: valores altos en verano y otoño, disminuyendo en invierno siendo el tipo que más varía en la transición entre estos periodos, para volver a subir en primavera. En el segundo año el ascenso en esta época es más acusado y los valores llegan a igualarse a los de verano y otoño.
  - Tipo N: Este tipo presenta una variación más suave que el resto de tipos, siendo más constante pero con los mismos cambios de tendencia que el tipo

anterior. Los valores son bajos en verano y en otoño, donde presente una gran similitud con el tipo E, bajando un poco en invierno para en primavera volver a establecerse en rangos de las dos primeras estaciones.

- Tipo Y: La distribución de los valores en la gráfica de este tipo de humedal muestra una gran similitud con el tipo G, sobre todo en el primer año. En el segundo cambia y la variación estacional se vuelve menos acusada, presentando una evolución más constante, donde los valores de verano y otoño no son tan altos y la subida de primavera no es tan acusada. Por otro lado, a pesar de presentar menos cambios entre estaciones, en el segundo año las variaciones intraestacionales se vuelven más pronunciadas.

### 3.3.2 Agrupación jerárquica de los humedales a partir de índices espectrales

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en la nueva agrupación jerárquica derivada del algoritmo CHAID. Con este algoritmo se ha establecido una nueva clasificación a partir de la distribución de los valores promedio de los tres índices espectrales para los 60 humedales obtenidos en el proceso de clasificación. En la siguiente matriz de confusión se sintetizan las correspondencias entre la clasificación de humedales establecida en la tipología y la nueva agrupación de humedales derivada del algoritmo CHAID estableciendo cuatro tipos de salida:

from \ to	E	G	N	Y	Total	% correct
E	16	2	0	0	18	88,89%
G	4	24	0	0	28	85,71%
N	0	1	8	0	9	88,89%
Y	0	1	1	3	5	60,00%
Total	20	28	9	3	60	85,00%

Tabla 9: Matriz de confusión para la muestra de estimación

El grado de coincidencia entre la tipología de humedales y la derivada del algoritmo es de un 85%, clasificando un total de 51 humedales con el mismo tipo que el propuesto en la tipología inicial. Las filas son los tipos originales y las columnas los nuevos tipos, por lo que a través de la matriz se resume:

- Tipo E: 16 coinciden, 2 son transferidos al tipo G.
- Tipo G: 24 coinciden, 4 son transferidos al tipo E.
- Tipo N: 8 coinciden, uno es transferido al tipo G.
- Tipo Y: 3 coinciden, uno es transferido al tipo G y otro al N.

De este modo se determina que la clasificación propuesta en la tipología inicial es bastante afín a la nueva que establece el algoritmo. Por otro lado, la variable predictiva con mayor capacidad de clasificación, en términos de número de observaciones, es el NDSI y, en concreto, dos intervalos específicos 0.168-0.181 y 0.181-0.189. El listado con la clasificación de cada humedal, junto con la correspondiente comparación con la clasificación inicial, puede consultarse en el anexo VIII.

### 3.4 Cartografía Evolutiva

#### Laguna de la Playa (Tipo E)

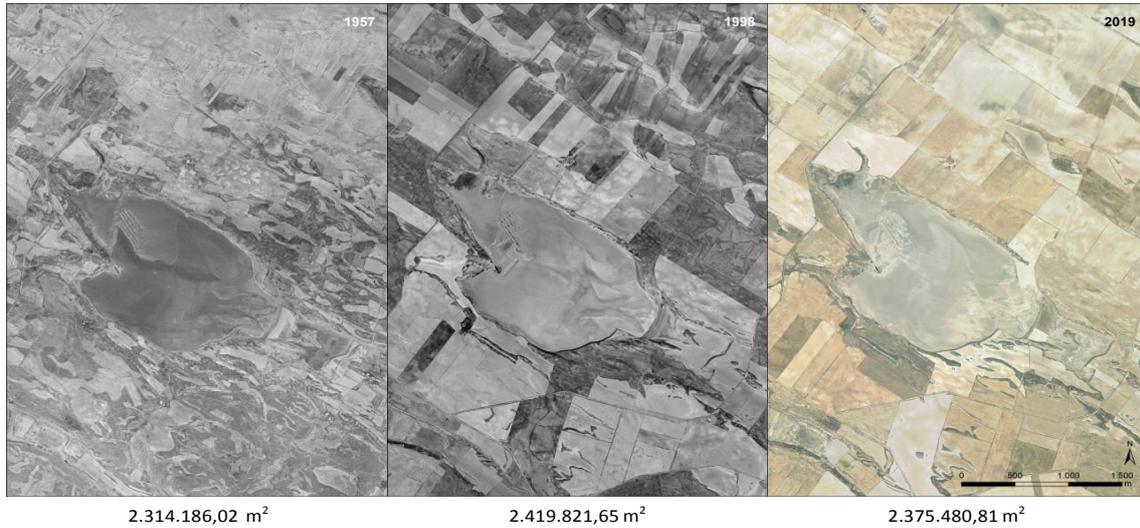


Figura 10: Cartografía evolutiva Laguna de la Playa. Elaboración propia

La superficie de este humedal se mantiene relativamente constante a lo largo de todo el periodo, con un ligero aumento hacia 1998 y una pequeña disminución posterior, pero manteniendo una mayor superficie total que en el momento inicial. Además, se observa un cambio importante en los usos del suelo situados en torno a la laguna, cuya vegetación esteparia ha sido sustituida en gran medida por cultivos. En el momento actual esta vegetación ha sido reducida a pequeñas manchas aisladas en el territorio y en el límite inmediato de la laguna.

En la figura 10 también se incluye la Laguna de Pueyo (tipo E), situada al Sureste de la Laguna de la Playa, la cual se encuentra entre los humedales que la nueva agrupación jerárquica ha cambiado de tipo, concretamente al tipo G. Esta condición puede deberse a un nivel de salinidad diferente o a la participación de la vegetación presente dentro de la superficie del humedal en los valores de los distintos índices.

#### La Salada de Mediana (Tipo E)



Figura 11: Cartografía Evolutiva de la salada de Mediana. Elaboración propia

La evolución de este humedal muestra una superficie constante a lo largo de toda la serie temporal. En 1998 presenta un pequeño descenso para aumentar ligeramente hasta el momento actual pero sin llegar al valor inicial. Los usos del suelo que se encuentran en el entorno más próximo al humedal son cultivos. Su disposición no cambia a lo largo de los años por lo que la presión antrópica sobre el humedal se mantiene constante y no se observan cambios importantes que hayan afectado al humedal, manteniendo la vegetación esteparia situada en el entorno más próximo a la lámina de agua.

#### Balsa de Larralde (Tipo N)



Figura 12: Cartografía Evolutiva Balsa de Larralde. Elaboración propia

El origen de esta balsa es discutido, ya que en algunos casos se le atribuye al hundimiento de la superficie por disolución y en otros como consecuencia de actividades antrópicas relacionadas con la extracción de arcillas (Casas, 2004; Mora, 2003). En este mismo sentido la superficie del humedal es mayor de lo normal para ser del primer tipo (tipo Y), por lo que esto puede deberse al abandono de una antigua extracción de áridos que contribuyó a su creación y expansión hasta adoptar su morfología actual (Moreno et al., 2008), factor clave para su inclusión en el tipo N.

La superficie del humedal se mantiene constante a lo largo de todo el periodo pero se observan cambios importantes, tanto en el entorno próximo como en el interior de su superficie. La barriada de Torre Medina, asentamiento que limita al norte con el humedal, ha crecido desde el inicio de la serie, derivando en una mayor exposición del humedal a diferentes actividades antrópicas, lo que se suma a la ocupación agrícola de la zona.

La disposición interna del humedal ha cambiado considerablemente, ya que al inicio de la serie se observa una isleta en la lámina de agua que más tarde desaparece. En lo que refiere al entorno de la lámina de agua, este humedal destaca por conservar un bosque de ribera con predominio de álamos y chopos. Sin embargo, esta chopera ha sufrido un retroceso dando paso a formaciones de carrizales y juncos a causa de la inundación del terreno en épocas estivales (Mora, 2003).

### Ojos de Pontil (Tipo F)



Figura 13: Cartografía Evolutiva Ojos de Pontil. Elaboración propia

Dado que para el tipo F la Clasificación Digital Supervisada no identificó ningún humedal se ha seleccionado los Ojos de Pontil como representación del tipo dentro de este apartado. Se trata de un humedal altamente representativo dentro del tipo y con un gran valor ecológico, siendo además uno de los más conocidos por la población.

Cabe destacar que este humedal experimenta un gran aumento de superficie desde el momento inicial de la serie. El contraste entre los cultivos y la vegetación característica de este humedal muestra claramente el avance de este sobre el terreno de diversas zonas agrícolas, sobre todo en el sector norte. Sin embargo, este avance se ha visto repercutido por la construcción de distintas vías de comunicación, las cuales ejercen distintas presiones además de cortar la continuidad de la superficie total. La lámina de agua apenas se percibe, ya que esta se encuentra en gran medida cubierta por la vegetación, principalmente por carrizal y formaciones pratenses (Del Val y Viñuales, 2013).

### Ojo del Cura (Tipo Y)



Figura 14: Cartografía evolutiva Ojo del Cura. Elaboración propia

La superficie de este humedal presenta una evolución constante y se observan diferencias significativas entre cada uno de los momentos en los que han sido realizadas cada una de las ortofotos.

En un primer momento el humedal se distingue como una depresión en el terreno en la que no se aprecia una lámina de agua estable, con unos límites marcados por los cultivos que se encuentran alrededor. En 1998, hay definida una lámina de agua rodeada de carrizales en lo que anteriormente estaba ocupaba la depresión. Por otro lado, los límites avanzan ganando superficie a los cultivos, en donde se instalan praderas de juncos, matorrales y plantas ruderales, sobre todo en los límites norte y oeste. En la actualidad la superficie de la lámina de agua ha aumentado pero gran parte de la superficie ganada en el sector norte ha sido sustituida por repoblación.

Por otro lado, también cabe destacar el desarrollo antrópico de la zona, el cual ha pasado de estar formado por actividades agrícolas al emplazamiento de construcciones, fábricas y vías de comunicación en el entorno más próximo al humedal. Esto ha supuesto la afección de este en los últimos años aunque del mismo modo también ha sido causa de acciones de restauración y conservación para mantener su valor ecológico.

### Galacho de Juslibol (Tipo G)

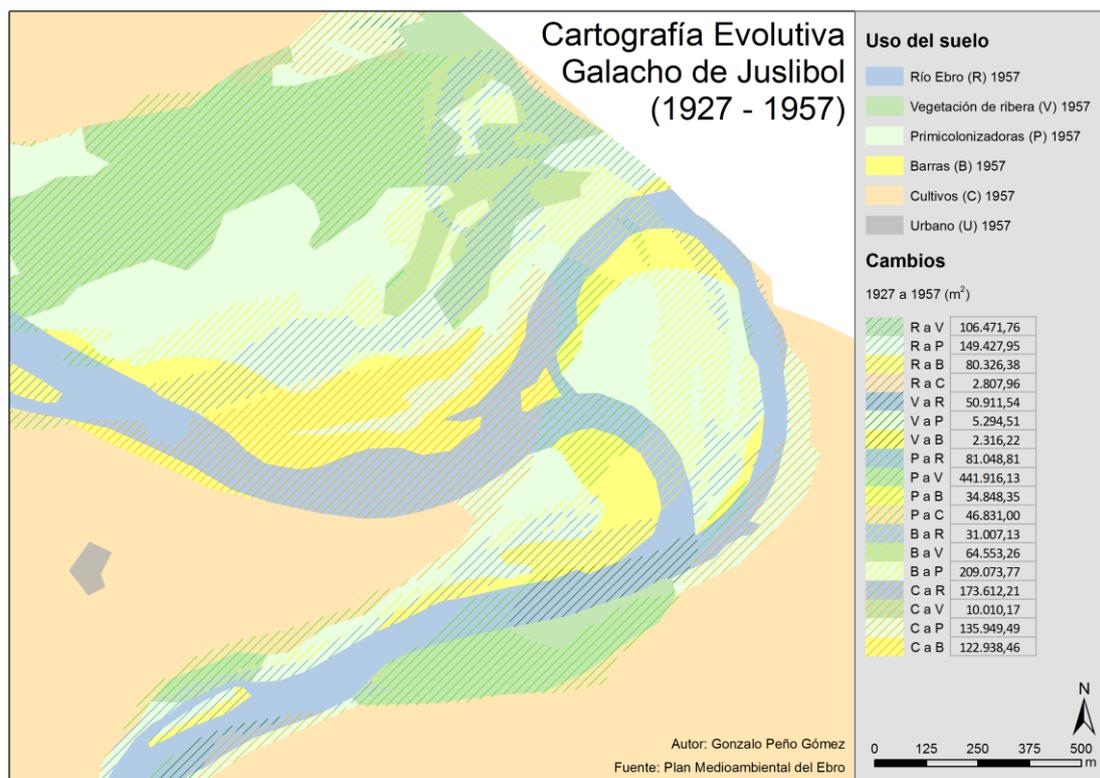


Figura 15: Cartografía evolutiva Galacho de Juslibol (1927-1957). Elaboración propia

La figura 15 muestra los cambios de uso de suelo en el entorno del Galacho de Juslibol de 1927 a 1957. En esta época el Galacho aún no se ha formado y en su lugar se encuentra el transcurso del río Ebro. Los cambios más importantes se encuentran relacionados directamente con el cambio de trazado del río, más concretamente con los usos que han ocupado el antiguo curso y las zonas de barras correspondientes, así como otros usos que han sido sustituidos por el nuevo paso del río y la formación nuevas barras. Por otro lado también destaca el cambio de primicolonizadoras a vegetación de ribera en el sector norte.

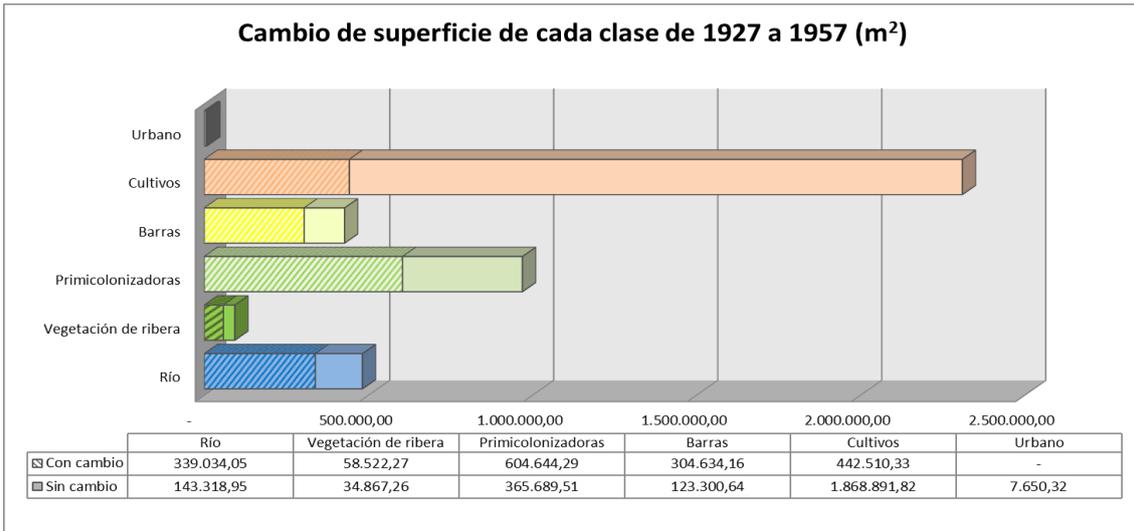


Figura 16: Cambio de superficie de cada clase Galacho de Juslibol 1927 a 1957

Cambio	Superficie (m <sup>2</sup> )
Río a Vegetación de ribera	106.471,76
Río a Primicolonizadoras	149.427,95
Río a Barras	80.326,38
Río a Cultivos	2.807,96
Vegetación de ribera a Río	50.911,54
Vegetación de ribera a Primicolonizadoras	5.294,51
Vegetación de ribera a Barras	2.316,22
Primicolonizadoras a Río	81.048,81
Primicolonizadoras a Vegetación de ribera	441.916,13
Primicolonizadoras a Barras	34.848,35
Primicolonizadoras a Cultivos	46.831,00
Barras a Río	31.007,13
Barras a Vegetación de ribera	64.553,26
Barras a Primicolonizadoras	209.073,77
Cultivos a Río	173.612,21
Cultivos a Vegetación de ribera	10.010,17
Cultivos a Primicolonizadoras	135.949,49
Cultivos a Barras	122.938,46

Las clases donde más superficie varía en función del total que ocupa en el primer año son el río, las barras, la vegetación de ribera y las primicolonizadoras. El curso antiguo del río cambia principalmente a vegetación de ribera y primicolonizadoras, mientras que las barras se convierten mayoritariamente en estas últimas. Por otro lado, el mayor porcentaje de cambio sufrido por las primicolonizadoras es a vegetación de ribera, mientras que el cambio en los cultivos se distribuye entre el nuevo curso del río, sus barras y primicolonizadoras.

Tabla 10: Cambios Galacho de Juslibol 1927 a 1957

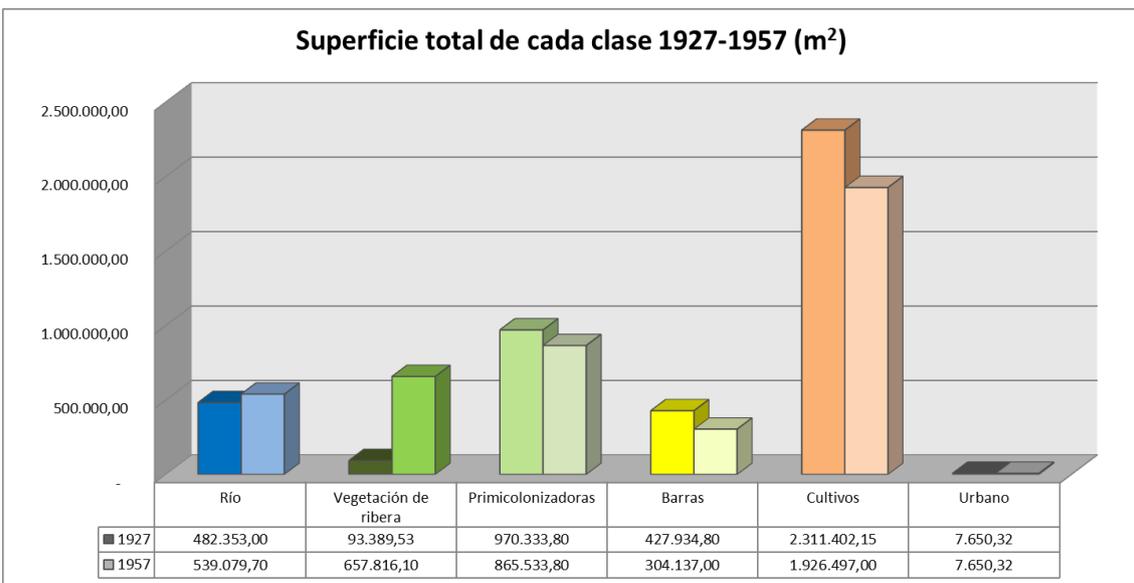
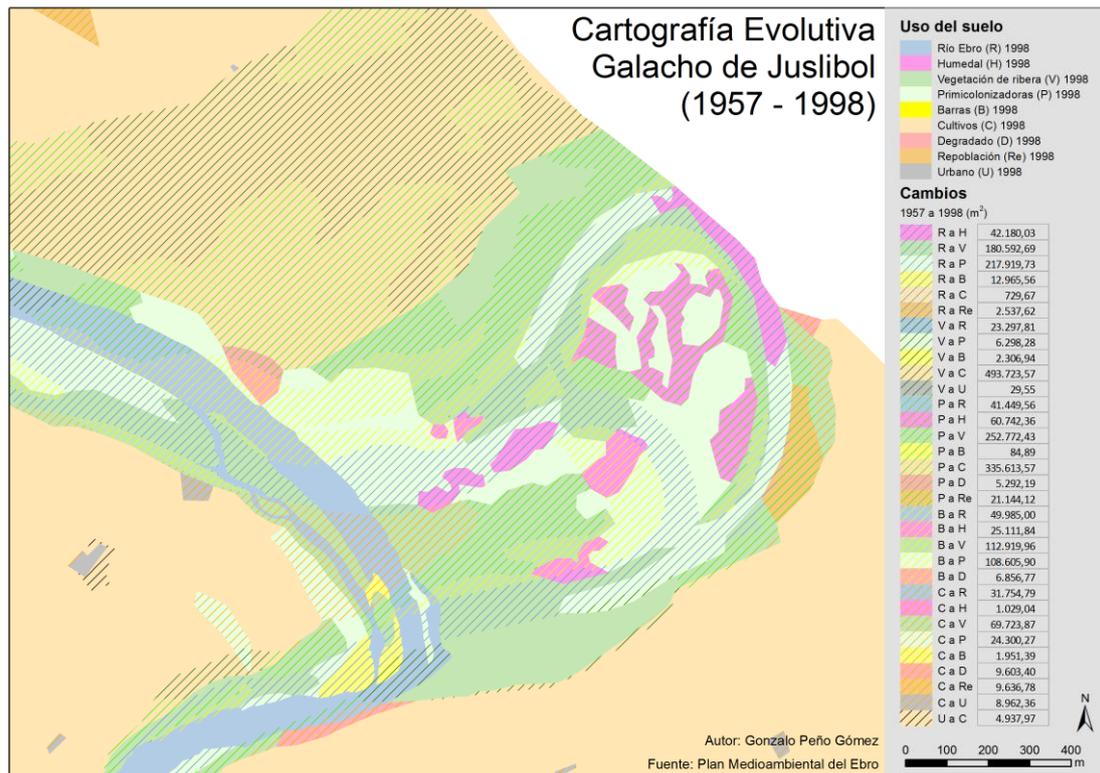


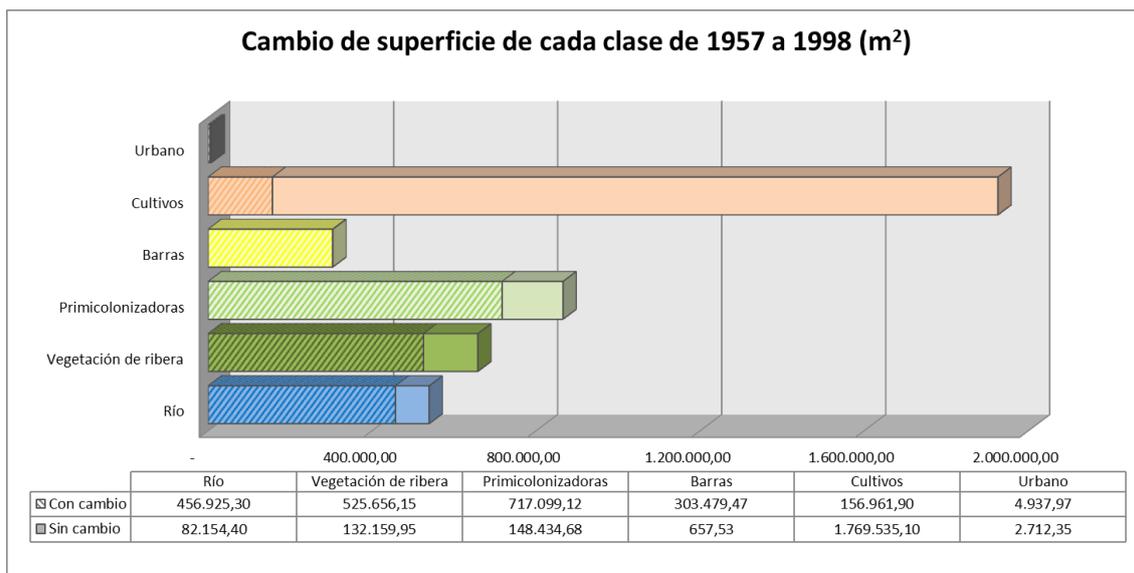
Figura 17: Superficie total de cada clase Galacho de Juslibol 1927-1957

El cambio de transcurso del río presenta un balance positivo en cuanto a superficie ocupada por éste aunque, por el contrario, la extensión de barras disminuye. La vegetación de ribera experimenta un gran aumento en cuanto a superficie ocupada, principalmente ocupando zonas donde anteriormente se encontraban primicolonizadoras. Esta última clase presenta una tendencia negativa pero consigue compensar el descenso con la ganancia de superficies anteriormente ocupadas por el río, barras y cultivos. La superficie total de cultivos disminuye principalmente a causa del nuevo trazado del río y a la formación de nuevas barras, así como la ocupación de primicolonizadoras en nuevas zonas. Por otro lado, la superficie ocupada por elementos urbanos no experimenta cambios.



**Figura 18: Cartografía Evolutiva Galacho de Juslibol (1957-1998). Elaboración propia**

La figura 18 muestra los cambios en los usos de suelo del entorno del Galacho de Juslibol entre los años 1957 y 1998. Este periodo se caracteriza por el cambio de trazado del río Ebro y la consiguiente formación de los galachos, así como el gran descenso en la presencia de barras. Además de humedal, la superficie ocupada inicialmente por el río y las barras torna principalmente a vegetación de ribera y primicolonizadoras. Por el contrario, estas dos clases también sufren un importante deterioro de superficie debido al avance de los cultivos en el sector norte. A su vez, la superficie de cultivo correspondiente al año inicial apenas experimenta cambios en su extensión y a raíz de la actividad antrópica aparecen dos nuevas clases, el degradado y la repoblación. Del mismo modo, se observa un ligero aumento de superficies de la clase urbano localizadas en el interior de la gran extensión de cultivos.



**Figura 19: Cambio de superficie de cada clase Galacho de Juslibol 1957 a 1998**

Cambio	Superficie (m <sup>2</sup> )
Río a Humedal	42.180,03
Río a Vegetación de ribera	180.592,69
Río a Primicolonizadoras	217.919,73
Río a Barras	12.965,56
Río a Cultivos	729,67
Río a Repoblación	2.537,62
Vegetación de ribera a Río	23.297,81
Vegetación de ribera a Primicolonizadoras	6.298,28
Vegetación de ribera a Barras	2.306,94
Vegetación de ribera a Cultivos	493.723,57
Vegetación de ribera a Urbano	29,55
Primicolonizadoras a Río	41.449,56
Primicolonizadoras a Humedal	60.742,36
Primicolonizadoras a Vegetación de ribera	252.772,43
Primicolonizadoras a Barras	84,89
Primicolonizadoras a Cultivos	335.613,57
Primicolonizadoras a Degradado	5.292,19
Primicolonizadoras a Repoblación	21.144,12
Barras a Río	49.985,00
Barras a Humedal	25.111,84
Barras a Vegetación de ribera	112.919,96
Barras a Primicolonizadoras	108.605,90
Barras a Degradado	6.856,77
Cultivos a Río	31.754,79
Cultivos a Humedal	1.029,04
Cultivos a Vegetación de ribera	69.723,87
Cultivos a Primicolonizadoras	24.300,27
Cultivos a Barras	1.951,39
Cultivos a Degradado	9.603,40
Cultivos a Repoblación	9.636,78
Cultivos a Urbano	8.962,36
Urbano a Cultivos	4.937,97

**Tabla 11: Cambios Galacho de Juslibol 1957 a 1998**

Entre el momento de inicio de 1957 y el final de 1998 todas las clases experimentan grandes cambios en su superficie inicial, exceptuando la clase cultivos, en la cual solo hay cambio en una porción pequeña de la extensión total. El cambio en el curso del río y la formación de los humedales deriva directamente en el cambio prácticamente total de la superficie de barras, la cual pasa a ser ocupada por vegetación de ribera y primicolonizadoras. Sin embargo, estas dos últimas también presentan cambios respecto al origen, ya que gran parte de su superficie pasa a la clase cultivos, fruto del avance mencionado anteriormente en el sector norte.

De este modo, la aparición de los humedales y el nuevo trazado hacen descender a la mitad la superficie ocupada por el propio río, así como la casi desaparición de barras en la zona de estudio. La superficie de cultivos aumenta considerablemente a costa de la vegetación de ribera y las primicolonizadoras. La primera de estas compensa el descenso con superficie del río, barras y de las propias primicolonizadoras, consiguiendo una tendencia positiva, mientras que la segunda, a pesar de ganar superficie de río y barras, no consigue recuperar la sustracción y muestra en este periodo una tendencia negativa.

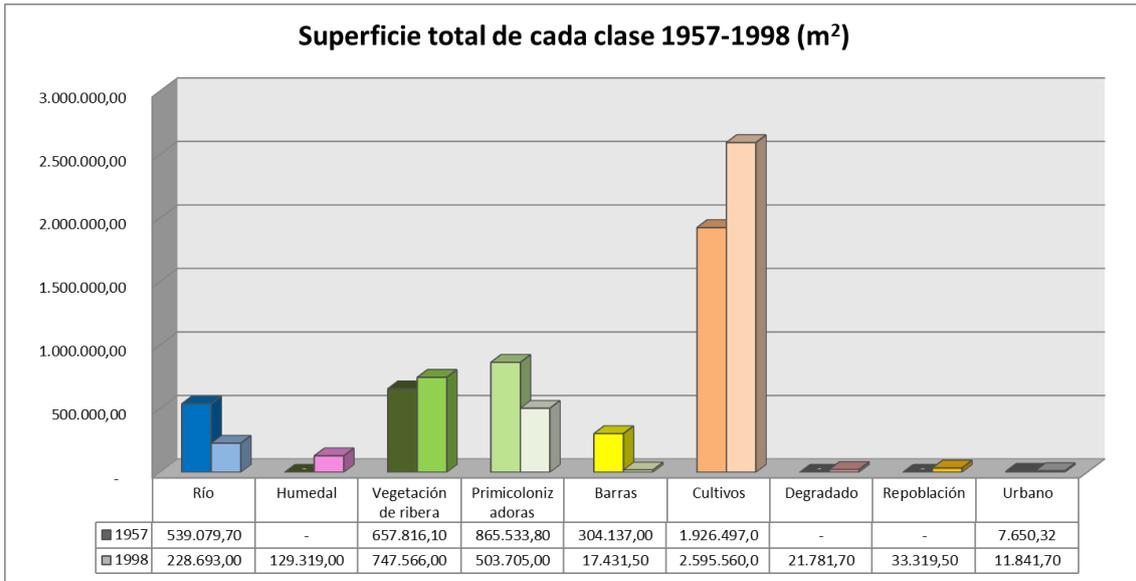


Figura 20: Superficie total de cada clase Galacho de Juslibol 1957-1998

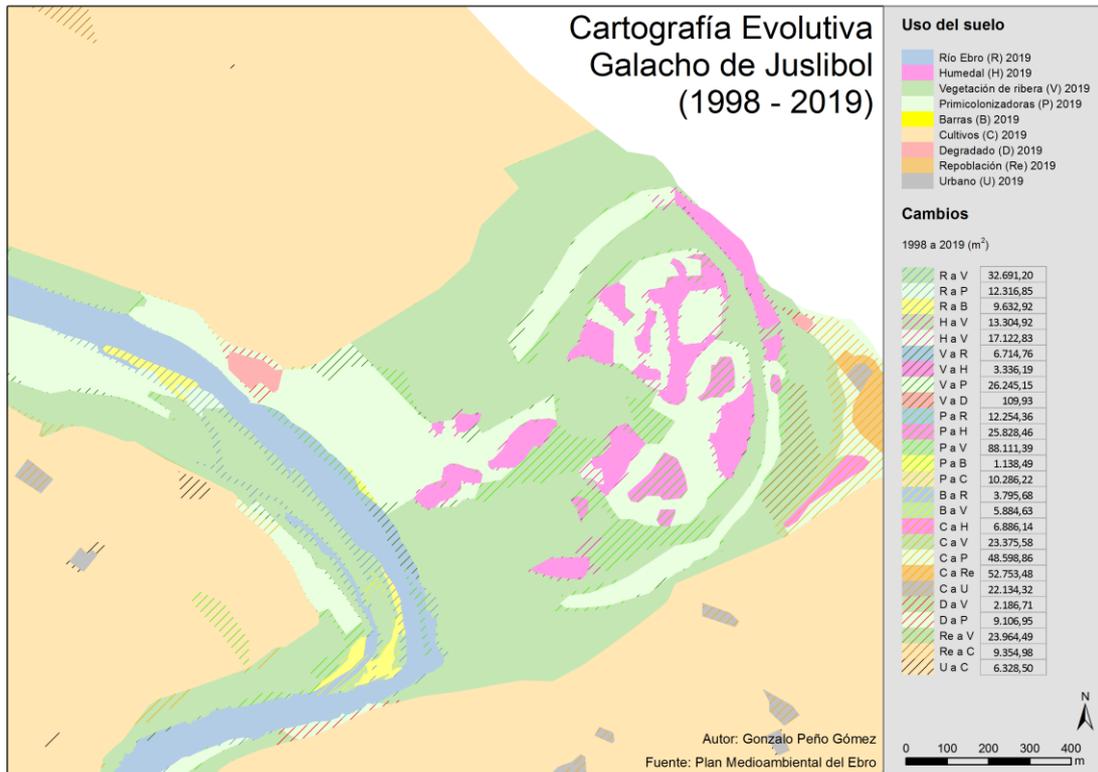


Figura 21: Cartografía evolutiva Galacho de Juslibol (1998-2019). Elaboración propia

La figura 21 muestra el cambio en los usos de suelo en el entorno del Galacho de Juslibol entre el año 1998 y la actualidad. Con el establecimiento de los galachos en el periodo anterior, esta etapa muestra cambios de superficie mucho más pequeños, reduciéndose a cambios en los límites entre clases y a superficies derivadas de actividades antrópicas, como la construcción del Centro de Visitantes del Galacho de Juslibol al este y la aparición de nuevas edificaciones rurales representadas a modo de archipiélago en el interior de las extensas zonas de cultivo.

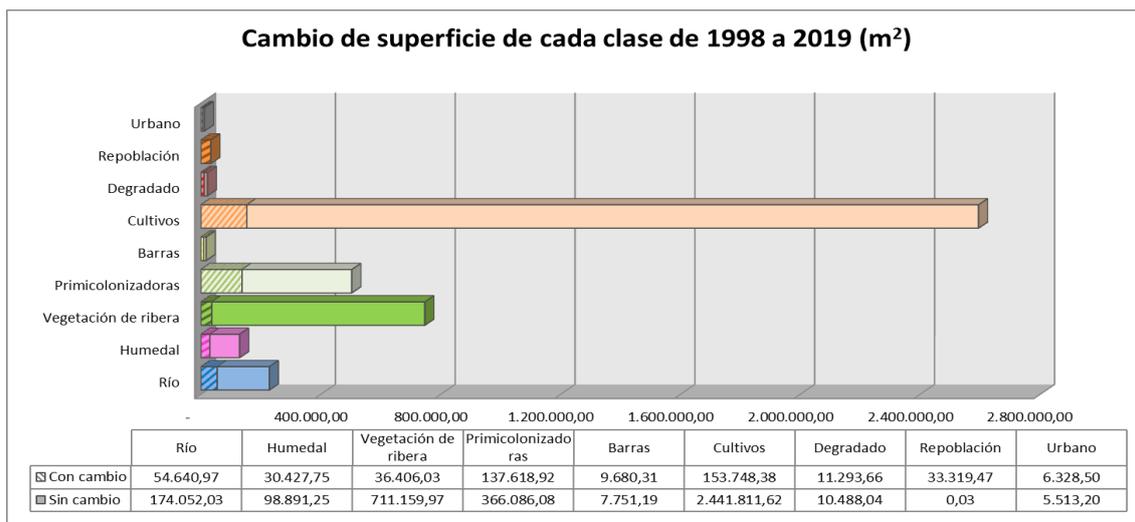


Figura 22: Cambio de superficie de cada clase Galacho de Juslibol 1998 a 2019

Cambio	Superficie (m <sup>2</sup> )
Río a Vegetación de ribera	32.691,20
Río a Primicolonizadoras	12.316,85
Río a Barras	9.632,92
Humedal a Vegetación de ribera	13.304,92
Humedal a Primicolonizadoras	17.122,83
Vegetación de ribera a Río	6.714,76
Vegetación de ribera a Humedal	3.336,19
Vegetación de ribera a Primicolonizadoras	26.245,15
Vegetación de ribera a Degradado	109,93
Primicolonizadoras a Río	12.254,36
Primicolonizadoras a Humedal	25.828,46
Primicolonizadoras a Vegetación de ribera	88.111,39
Primicolonizadoras a Barras	1.138,49
Primicolonizadoras a Cultivos	10.286,22
Barras a Río	3.795,68
Barras a Vegetación de ribera	5.884,63
Cultivos a Humedal	6.886,14
Cultivos a Vegetación de ribera	23.375,58
Cultivos a Primicolonizadoras	48.598,86
Cultivos a Repoblación	52.753,48
Cultivos a Urbano	22.134,32
Degradado a Vegetación de ribera	2.186,71
Degradado a Primicolonizadoras	9.106,95
Repoblación a Vegetación de ribera	23.964,49
Repoblación a Cultivos	9.354,98
Urbano a Cultivos	6.328,50

Tabla 12: Cambios Galacho de Juslibol 1998 a 2019

Entre el año 1998 y el 2019 no se observan grandes cambios en comparación con periodos anteriores. En lo que refiere a valores totales los cambios más importantes se muestran en primicolonizadoras, donde ciertas zonas han evolucionado a vegetación de ribera, y en la clase cultivos, cuyo cambio a primicolonizadoras, repoblación y urbano se debe principalmente a la construcción del Centro de Visitantes y sus alrededores, donde se ha establecido un parque con distintas zonas de ocio. Cabe destacar que la superficie ocupada por repoblación en 1998 ha progresado casi en su totalidad a vegetación de ribera. De este modo, los cambios más significativos son el aumento de vegetación de ribera y de repoblación y el descenso de cultivos y una vez más del propio río, siendo esta vez no atribuido a un cambio de trazado.

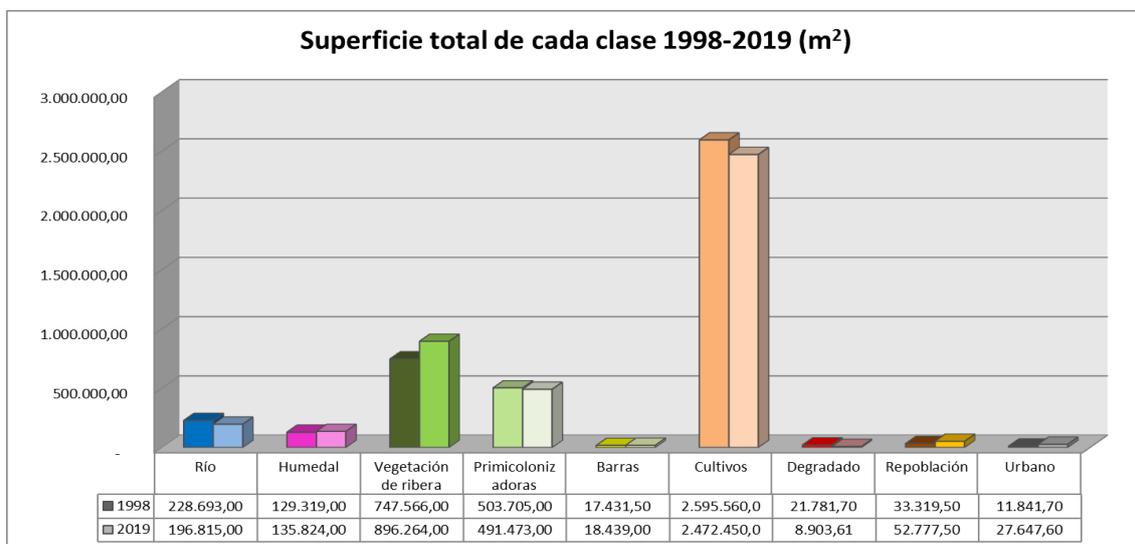
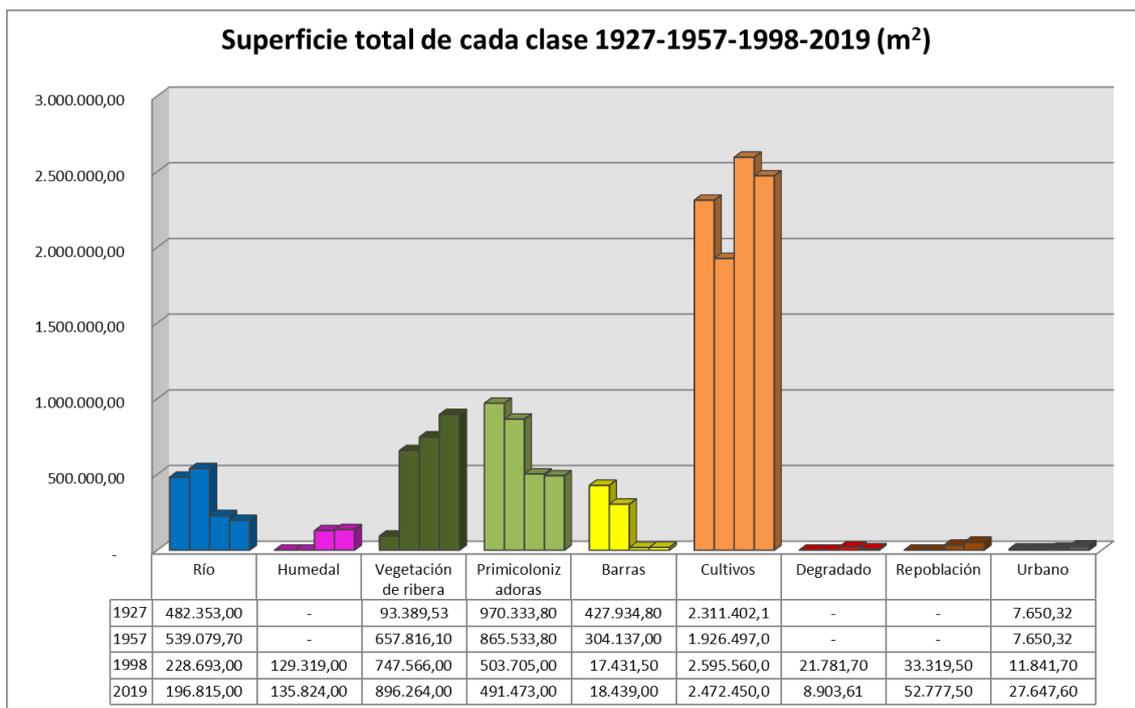


Figura 23: Superficie total de cada clase Galacho de Juslibol 1998-2019.



**Figura 24: Superficie total de cada clase Galacho de Juslibol en toda la serie**

	Río	Humedal	Vegetación de ribera	Primicolonizadoras	Barras	Cultivos	Degradado	Repoblación	Urbano
1927	100%	-	100%	100%	100%	100%	-	-	100%
1957	112%	-	704%	89%	71%	83%	-	-	100%
1998	47%	100%	800%	52%	4%	112%	100%	100%	155%
2019	41%	105%	960%	51%	4%	107%	41%	158%	361%

**Tabla 13: Porcentaje de superficie total respecto al inicial, tendencia de cada clase Galacho de Juslibol**

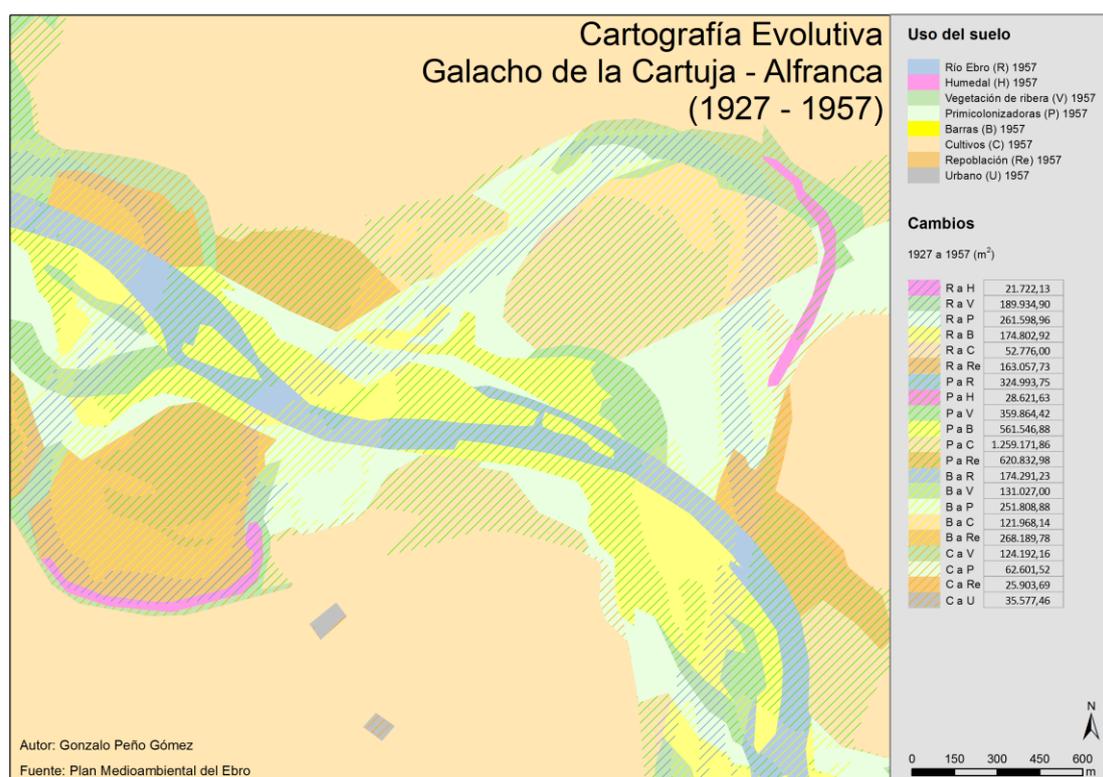
La figura 24 muestra la superficie total de cada una de las clases recogiendo los valores obtenidos en cada uno de los años de estudio. Complementando esta figura la tabla 13 muestra la tendencia positiva (verde) o negativa (rojo) con el porcentaje de superficie respecto al valor del año inicial de la serie.

La superficie ocupada por el río, a pesar de presentar un aumento en el primer intervalo, muestra una tendencia negativa viéndose reducida su extensión a más de la mitad. Las barras presentan una evolución muy parecida, quedando representadas en la actualidad con una superficie ínfima respecto a la original. Ambos procesos están derivados de la formación de los humedales aunque, sin embargo, la superficie ocupada por estos es menor a la pérdida experimentada por estas dos clases.

De este modo se han visto beneficiadas la vegetación de ribera y las primicolonizadoras, clases que se han establecido en la superficie no ocupada por las láminas de agua. La primera de ellas muestra una tendencia positiva en toda la serie y un gran aumento de superficie, no solo por la pérdida de las dos clases mencionadas, sino también de la segunda beneficiada, las primicolonizadoras. Esta clase presenta una tendencia negativa en toda la serie y una disminución de superficie a la mitad, debido principalmente al avance de los cultivos en el sector norte, la cual aún sería más drástica si esta no hubiera pasado a ocupar las zonas circundantes a los humedales donde anteriormente se encontraba el curso del río y sus barras.

Por otro lado, los cultivos experimentan una bajada en el primer intervalo pero vuelven a subir en el segundo, estableciéndose en áreas de extensión considerable antes ocupadas por primicolonizadoras y vegetación de ribera. Destacar que el degradado decrece desde su aparición y que la repoblación pasa a ocupar más superficie pero en diferente lugar debido a las actividades antrópicas mencionadas anteriormente. De la misma manera, el urbano presenta una tendencia positiva, ocupando una superficie de casi cuatro veces más grande que en el punto inicial.

### Galachos de la Cartuja y de la Alfranca (Tipo G)



**Figura 25: Cartografía Evolutiva Galacho de la Cartuja - Alfranca (1927-1957). Elaboración propia**

La figura 25 muestra los cambios de uso de suelo en el entorno del Galacho de la Cartuja y de la Alfranca de 1927 a 1957. El cambio en el trazado del río transforma de manera importante los usos de suelo que se encuentran a su alrededor ya que los antiguos meandros y barras, además de por el humedal, pasan a estar ocupados principalmente por vegetación de ribera, primicolonizadoras y repoblación. Por otro lado, la rectificación del cauce deriva en la formación de nuevas barras, en el avance de los cultivos en ambos márgenes del río y la aparición de zonas con repoblación, ganando grandes superficies de terreno que antes estaban ocupadas por primicolonizadoras.

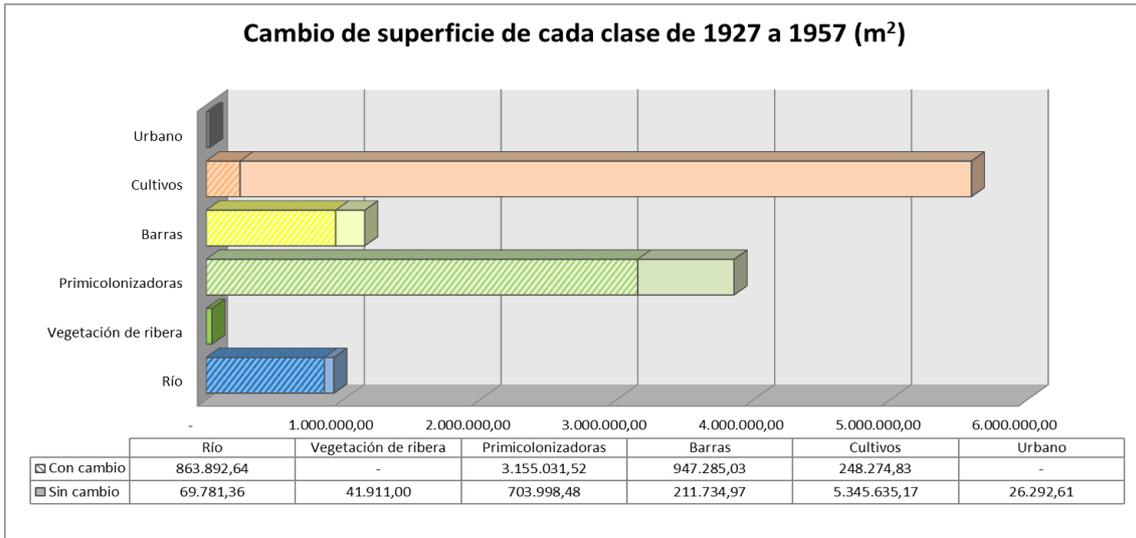


Figura 26: Cambio de superficie de cada clase Galacho de la Cartuja - Alfranca 1927 a 1957

Cambio	Superficie (m <sup>2</sup> )
Río a Humedal	21.722,13
Río a Vegetación de ribera	189.934,90
Río a Primicolonizadoras	261.598,96
Río a Barras	174.802,92
Río a Cultivos	52.776,00
Río a Repoblación	163.057,73
Primicolonizadoras a Río	324.993,75
Primicolonizadoras a Humedal	28.621,63
Primicolonizadoras a Vegetación de ribera	359.864,42
Primicolonizadoras a Barras	561.546,88
Primicolonizadoras a Cultivos	1.259.171,86
Primicolonizadoras a Repoblación	620.832,98
Barras a Río	174.291,23
Barras a Vegetación de ribera	131.027,00
Barras a Primicolonizadoras	251.808,88
Barras a Cultivos	121.968,14
Barras a Repoblación	268.189,78
Cultivos a Vegetación de ribera	124.192,16
Cultivos a Primicolonizadoras	62.601,52
Cultivos a Repoblación	25.903,69
Cultivos a Urbano	35.577,46

Las clases que más cambios presentan respecto a la superficie inicial son el río Ebro, las barras y las primicolonizadoras. Esto es debido directamente al cambio de trazado del río, en el que la superficie de los meandros y las barras antiguas pasan a formar parte de otras clases. Al mismo tiempo, el nuevo trazado y sus barras pasan a ocupar grandes extensiones de primicolonizadoras, las cuales presentan una gran disminución de superficie en pos del aumento de la vegetación de ribera, el avance de los cultivos y la instalación de zonas de repoblación a causa de la sucesión de distintos eventos de crecida dados en la zona.

Tabla 14: Cambios Galacho de la Cartuja - Alfranca 1927 a 1957

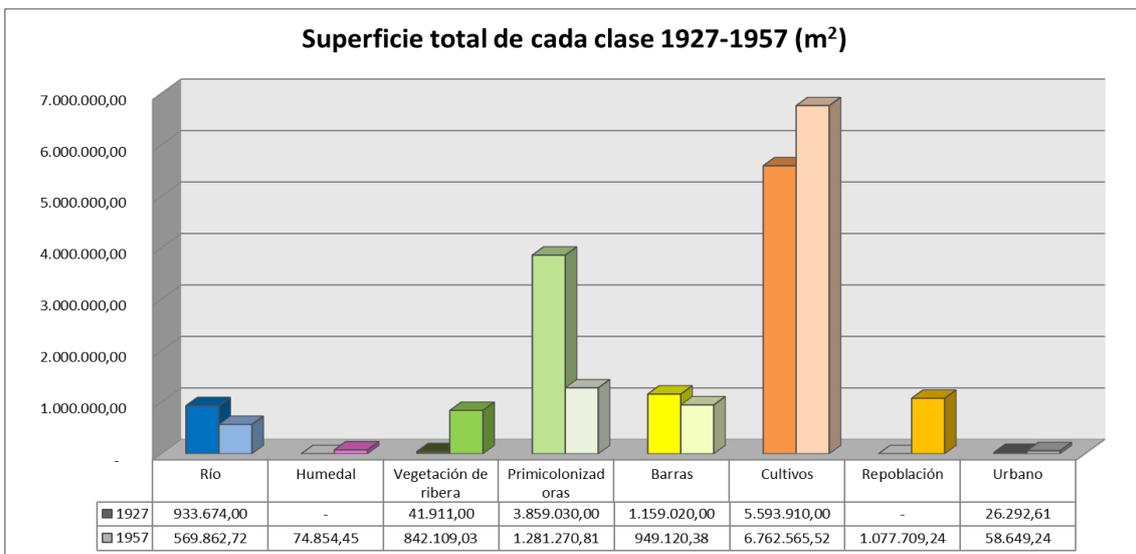
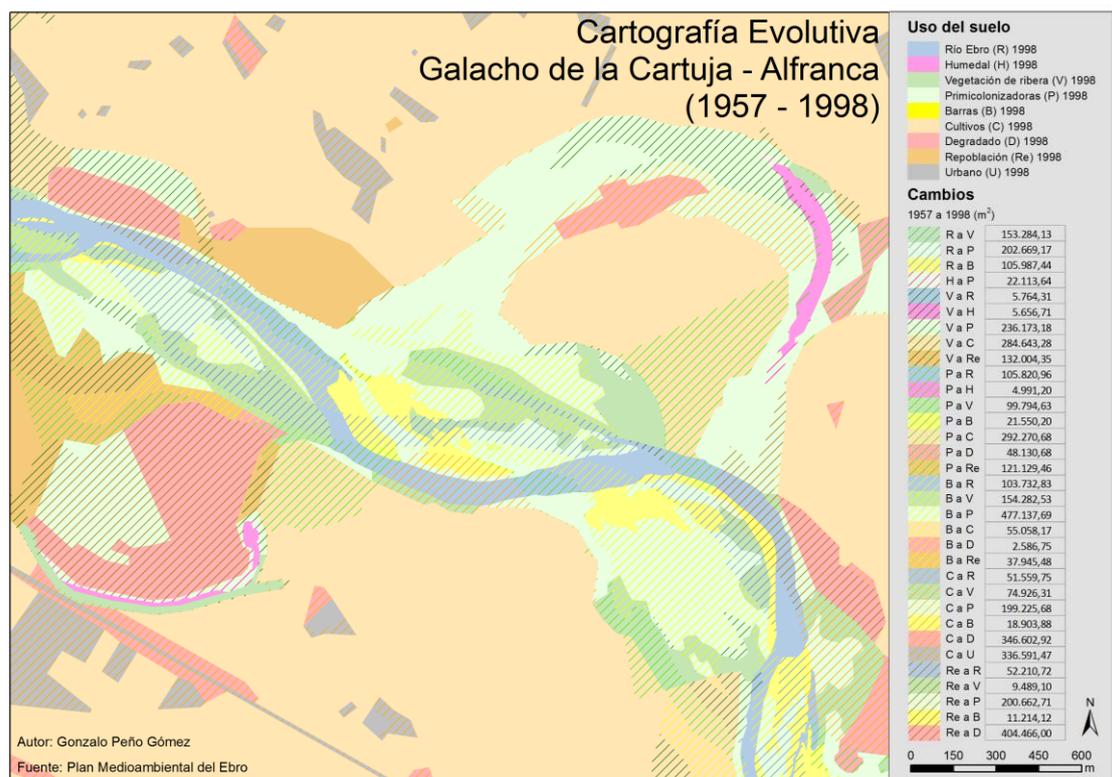


Figura 27: Superficie total de cada clase Galacho de La Cartuja-Alfranca 1927-1957

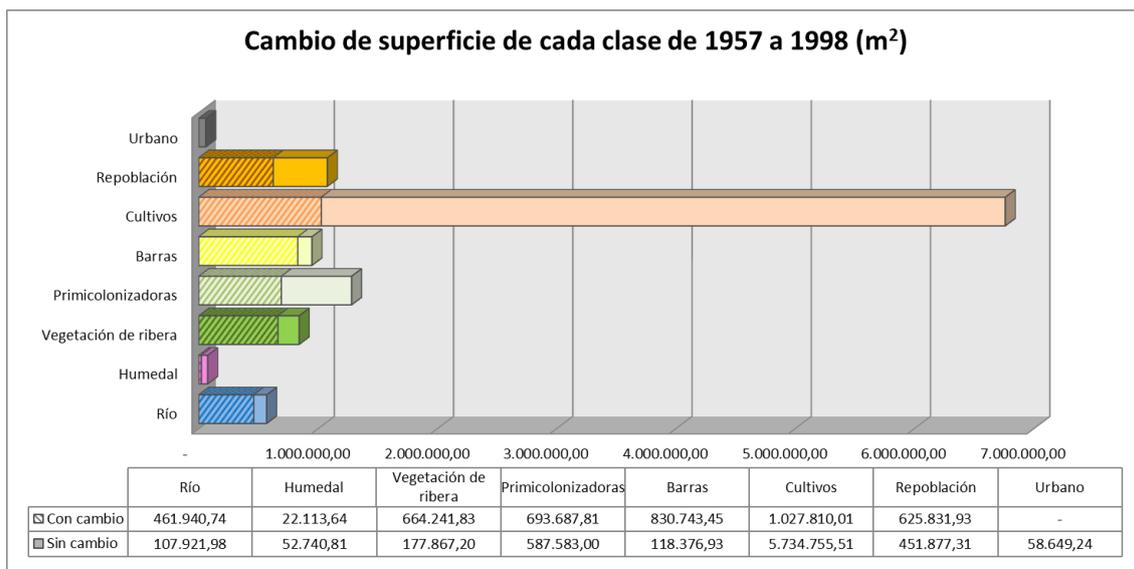


**Figura 28: Cartografía Evolutiva Galacho de la Cartuja - Alfranca (1957-1998). Elaboración propia**

La figura 28 muestra los cambios en los usos de suelo del entorno de los Galachos de la Cartuja y de la Alfranca entre los años 1957 y 1998. En este periodo el río también ha sufrido cambios en su trazado pero en menor medida que la anterior. Como en casos anteriores, este proceso ha afectado a las clases que se encuentran localizadas en los límites inmediatos del río, como las barras, la vegetación de ribera y las primicolonizadoras. Del mismo modo, los cultivos vuelven a avanzar hacia el río y ocupan superficies de vegetación de ribera y primicolonizadoras aunque, sin embargo, este proceso se invierte en el entorno próximo del Galacho de la Alfranca. Destacar además que la superficie establecida por barras disminuye transformándose principalmente en superficies ocupadas por primicolonizadoras.

Las zonas degradadas que aparecen presentan un gran peso dentro de la superficie total del área de estudio. Estas zonas se han formado por diversas razones en función del uso de suelo que presentaban anteriormente: por un lado, las establecidas en zonas de repoblación se deben al fallo de estas en su cometido, ya sea por una mala gestión de la actuación o por la exposición de esta zona a inundaciones y crecidas; y por otro, en zonas de cultivo, las cuales pueden haber sido abandonadas por su cercanía al cauce o por el desarrollo de distintas infraestructuras en la zona.

Al mismo tiempo la cartografía muestra el gran crecimiento urbano que ha experimentado la zona, presentando un archipiélago de moteado urbano en el que destaca la construcción de una vía de comunicación junto a un polígono industrial en el sector suroeste de la zona de estudio.



**Figura 29: Cambio de superficie de cada clase Galacho de la Cartuja - Alfranca 1957 a 1998**

Cambio	Superficie (m <sup>2</sup> )
Río a Vegetación de ribera	153.284,13
Río a Primicolonizadoras	202.669,17
Río a Barras	105.987,44
Humedal a Primicolonizadoras	22.113,64
Vegetación de ribera a Río	5.764,31
Vegetación de ribera a Humedal	5.656,71
Vegetación de ribera a Primicolonizadoras	236.173,18
Vegetación de ribera a Cultivos	284.643,28
Vegetación de ribera a Repoblación	132.004,35
Primicolonizadoras a Río	105.820,96
Primicolonizadoras a Humedal	4.991,20
Primicolonizadoras a Vegetación de ribera	99.794,63
Primicolonizadoras a Barras	21.550,20
Primicolonizadoras a Cultivos	292.270,68
Primicolonizadoras a Degradado	48.130,68
Primicolonizadoras a Repoblación	121.129,46
Barras a Río	103.732,83
Barras a Vegetación de ribera	154.282,53
Barras a Primicolonizadoras	477.137,69
Barras a Cultivos	55.058,17
Barras a Degradado	2.586,75
Barras a Repoblación	37.945,48
Cultivos a Río	51.559,75
Cultivos a Vegetación de ribera	74.926,31
Cultivos a Primicolonizadoras	199.225,68
Cultivos a Barras	18.903,88
Cultivos a Degradado	346.602,92
Cultivos a Urbano	336.591,47
Repoblación a Río	52.210,72
Repoblación a Vegetación de ribera	9.489,10
Repoblación a Primicolonizadoras	200.662,71
Repoblación a Barras	11.214,12
Repoblación a Degradado	404.466,00

**Tabla 15: Cambios Galacho de la Cartuja - Alfranca 1957 a 1998**

En este intervalo se observan cambios importantes en la superficie inicial de todas las clases en relación a la superficie absoluta de cada una de ellas. Tal y como se ha observado en casos anteriores, el cambio de trazado, a pesar de ser menos acusado en el territorio, deriva en cambios de superficie importantes entre río, barras y todo tipo de vegetación situada cerca de sus márgenes. Por otro lado, la vegetación de ribera ha cambiado principalmente a cultivos y primicolonizadoras, mientras que estas últimas han cambiado en mayor parte a cultivos. Por otro lado, la superficie de cultivos con cambios evoluciona principalmente a zonas urbanas y degradadas, mientras que grandes extensiones de repoblación no cumplen su cometido y en vez de evolucionar a bosques de ribera estas se convierten en más zonas degradadas u ocupadas por primicolonizadoras.

De este modo, el cambio de trazado vuelve a reducir las superficies de las clases más relacionadas con la dinámica del río, tanto el río, los humedales, la vegetación de ribera y las barras muestran tendencias negativas, siendo esta última clase la que sufre el descenso más drástico. Las primicolonizadoras son las beneficiadas de esta situación, ya que estas pasan a ocupar gran parte de la superficie perdida por anteriores clases. Por otro lado, el aumento de superficie de zonas urbanas viene dado por la pérdida de zonas agrícolas, mientras que la aparición de una gran extensión de zonas degradadas deriva de superficies que en inicio estaban ocupadas principalmente por repoblación y cultivos.

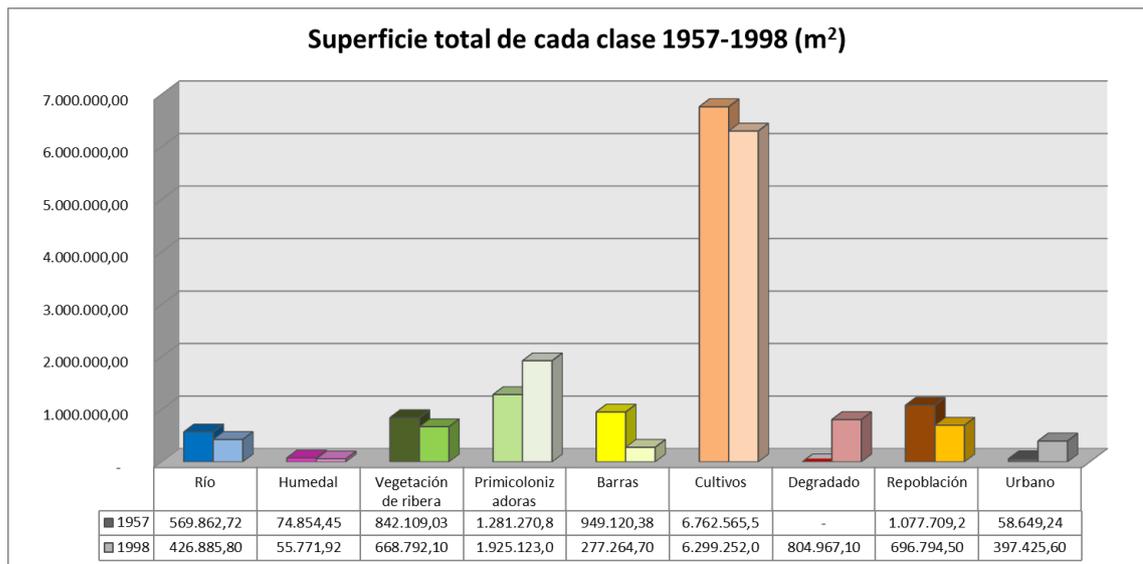


Figura 30: Superficie total de cada clase Galacho de La Cartuja-Alfranca 1927-1957

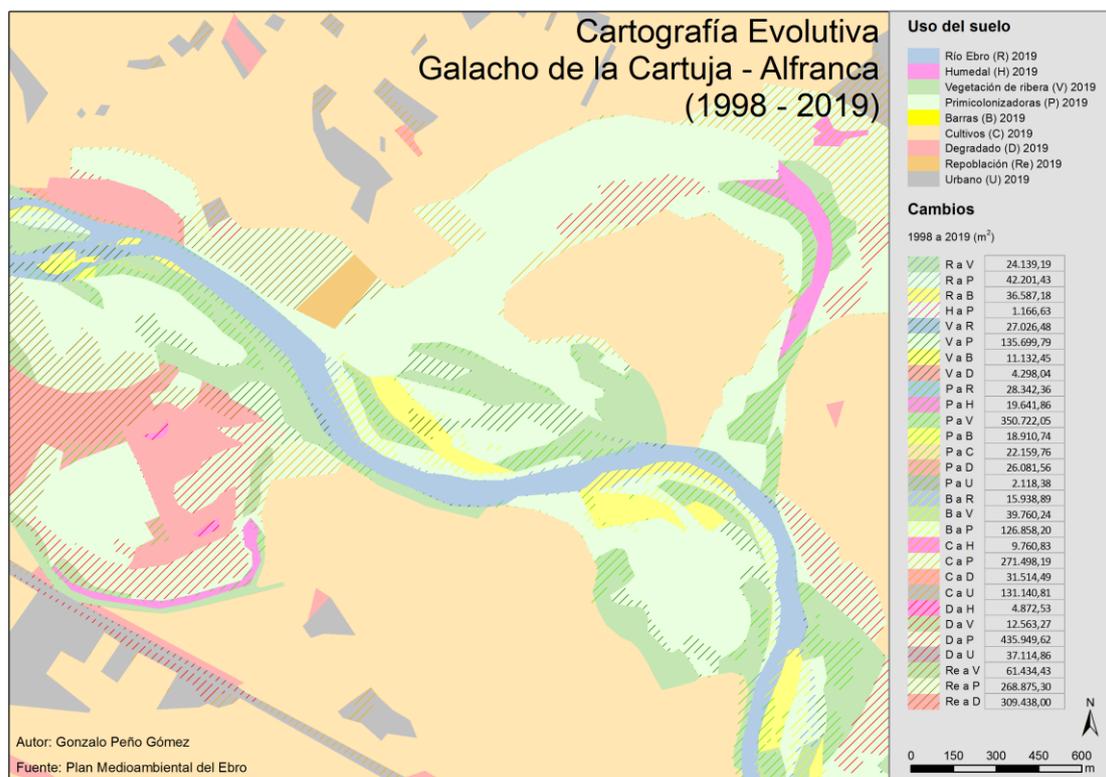
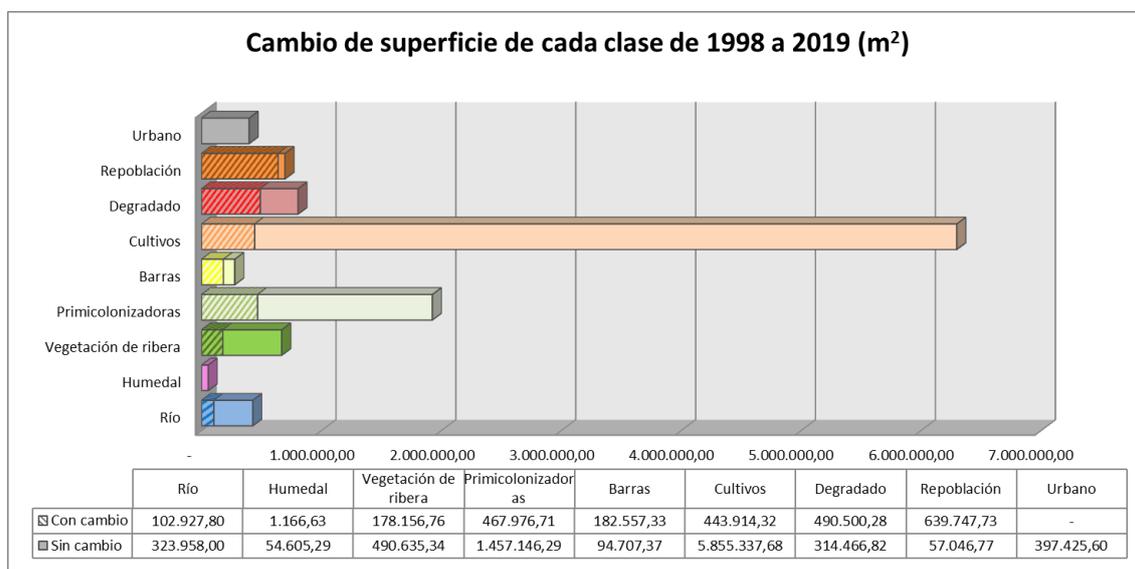


Figura 31: Cartografía Evolutiva Galacho de la Cartuja - Alfranca (1998-2019). Elaboración propia

La figura 31 muestra los cambios en los usos de suelo del entorno de los Galachos de la Cartuja y de la Alfranca entre el año 1998 y la actualidad. Los cambios más destacados en torno al río se encuentran en los cambios de superficie entre las dos clases de vegetación y el descenso de barras que pasan a ser ocupadas por primicolonizadoras. Por otro lado se observa la formación de pequeñas zonas de humedal, destacando la Balsa del Cazcarro, al noreste del Galacho de la Alfranca. Los cultivos que antes ocupaban esta zona han sido sustituidos por primicolonizadoras y superficies urbanas derivadas del crecimiento y desarrollo del espacio de la finca de La Alfranca. Gran parte del degradado observado en el periodo anterior ha

evolucionado a primicolonizadoras, aunque esta clase sigue teniendo gran presencia en la zona, sobre todo en el sector oeste, debido al deterioro de repoblaciones establecidas en periodos anteriores.

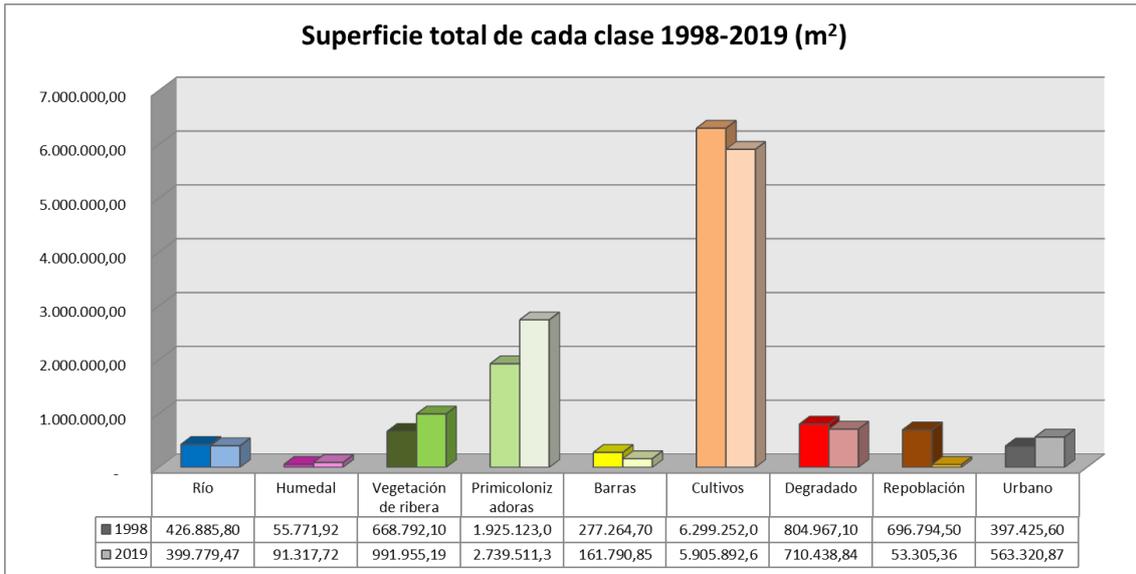


**Figura 32: Cambio de superficie de cada clase Galacho de la Cartuja - Alfranca 1998 a 2019**

Cambio	Superficie (m <sup>2</sup> )
Río a Vegetación de ribera	24.139,19
Río a Primicolonizadoras	42.201,43
Río a Barras	36.587,18
Humedal a Primicolonizadoras	1.166,63
Vegetación de ribera a Río	27.026,48
Vegetación de ribera a Primicolonizadoras	135.699,79
Vegetación de ribera a Barras	11.132,45
Vegetación de ribera a Degradado	4.298,04
Primicolonizadoras a Río	28.342,36
Primicolonizadoras a Humedal	19.641,86
Primicolonizadoras a Vegetación de ribera	350.722,05
Primicolonizadoras a Barras	18.910,74
Primicolonizadoras a Cultivos	22.159,76
Primicolonizadoras a Degradado	26.081,56
Primicolonizadoras a Urbano	2.118,38
Barras a Río	15.938,89
Barras a Vegetación de ribera	39.760,24
Barras a Primicolonizadoras	126.858,20
Cultivos a Humedal	9.760,83
Cultivos a Primicolonizadoras	271.498,19
Cultivo a Degradado	31.514,49
Cultivos a Urbano	131.140,81
Degradado a Humedal	4.872,53
Degradado a Vegetación de ribera	12.563,27
Degradado a Primicolonizadoras	435.949,62
Degradado a Urbano	37.114,86
Repoblación a Vegetación de ribera	61.434,43
Repoblación a Primicolonizadoras	268.875,30
Repoblación a Degradado	309.438,00

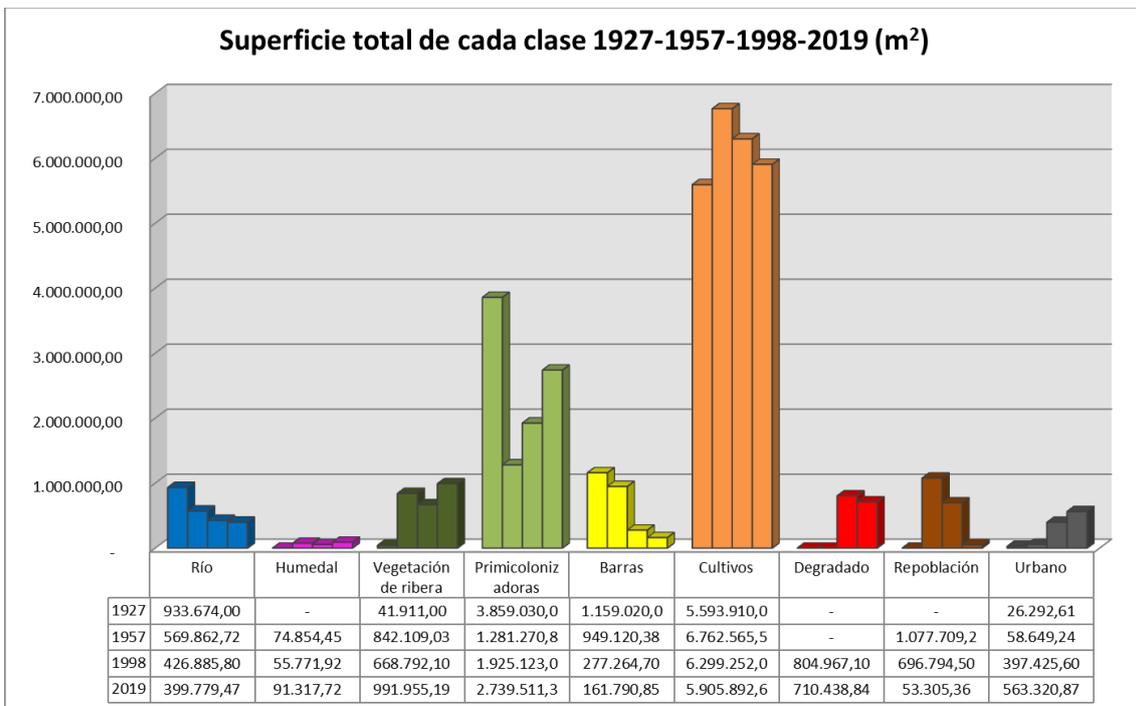
**Tabla 16: Cambios Galacho de la Cartuja - Alfranca 1957 a 1998**

En esta ocasión los cambios más importantes no se observan en torno a elementos naturales sino a las clases derivadas de actividades antrópicas. En lo que refiere a la dinámica fluvial del río las barras son las que sufren mayor cambio relativo en cuanto a superficie total inicial. Estas pasan a ser ocupadas principalmente por la clase primicolonizadoras, la cual intercambian superficies con la vegetación de ribera. El cambio en cultivos viene dado principalmente por la formación del humedal ya citado anteriormente, donde las clases que ocupan esa superficie son las primicolonizadoras circundantes al humedal y el urbano de la finca adyacente. Por otro lado, el degradado formado en el periodo anterior evoluciona a primicolonizadoras, mientras que la superficie de repoblación cambia casi en toda su totalidad, pasando a ser ocupado por primicolonizadoras y formando nuevas zonas degradadas.



**Figura 33: Superficie total de cada clase Galacho de La Cartuja-Alfranca 1998-2019**

El cauce del río no sufre cambios importantes en su trazado por lo que la vegetación que se encuentra en ambos márgenes se asienta y gana superficie a costa de las barras, la cual disminuye en este periodo todavía más. La clase primicolonizadoras es la que presenta un mayor aumento en este intervalo ya que, como se ha visto anteriormente, ha ocupado grandes extensiones de cultivos, degradado y repoblación. La primera de estas clases presenta una pequeña disminución, mientras que la segunda la atenúa ganando la mitad de la superficie pérdida por la tercera, quedando esta última reducida a un área de pequeña extensión. Por otro lado, el urbano presenta un aumento de superficie total con la ocupación de parte de la superficie perdida de los cultivos.



**Figura 34: Superficie total de cada clase Galacho de la Cartuja - Alfranca en toda la serie**

	Río	Humedal	Vegetación de ribera	Primicolonizadoras	Barras	Cultivos	Degradado	Repoblación	Urbano
1927	100%	-	100%	100%	100%	100%	-	-	100%
1957	61%	100%	2009%	33%	82%	121%	-	100%	223%
1998	46%	75%	1596%	50%	24%	113%	100%	65%	1512%
2019	43%	122%	2367%	71%	14%	106%	88%	5%	2143%

Tabla 17: Porcentaje de superficie total respecto al inicial, tendencia de cada clase Galacho de la Cartuja-Alfranca

La superficie ocupada por el río muestra una tendencia negativa en la que su extensión se reduce a más de la mitad a lo largo de todo el periodo. Las barras presentan una evolución parecida, aún más drástica, quedando representada en la actualidad con una superficie mucho más pequeña respecto a la inicial. Ambos procesos están derivados de la formación de humedales aunque, sin embargo, la superficie que estos ocupan es mucho menor, viéndose beneficiadas otras clases que se localizan en torno a ellos.

La vegetación de ribera experimenta un gran aumento de superficie en el primer intervalo, baja un poco en el segundo para volver a subir definitivamente en el tercero estableciendo su máximo en el momento actual. Por otro lado, las primicolonizadoras muestran una tendencia diferente, ya que en el primer intervalo la superficie disminuye en gran medida, quedando reducida a un tercio de la superficie inicial, para volver a subir en los dos siguientes pero sin llegar a alcanzar el valor inicial de toda la serie.

Por otro lado, los cultivos presentan un aumento de superficie en el primero intervalo para luego descender, tanto en el segundo como en el tercero, pero manteniendo valores más altos que en el momento inicial. El degradado y la repoblación entran en escena con valores totales de superficie altos con una representatividad importante dentro del territorio pero, sin embargo, ambas quedan mermadas en momentos posteriores por lo que sus tendencias son negativas. De este modo, el urbano es la única clase que mantiene una tendencia positiva en toda la serie, aumentando en gran medida su superficie respecto al momento inicial.

### 3.5 Encuestas

El total de respuestas recogidas en el formulario es de 62 personas, cifra baja dado el reducido intervalo de tiempo hábil entre el lanzamiento de la encuesta y la publicación del póster. De este modo no se busca representar unos resultados significativos sino utilizar como complemento de resultados anteriores la participación ciudadana y la percepción social de los humedales existente en la actualidad. La información obtenida se representa a través de los gráficos que se muestran a continuación:

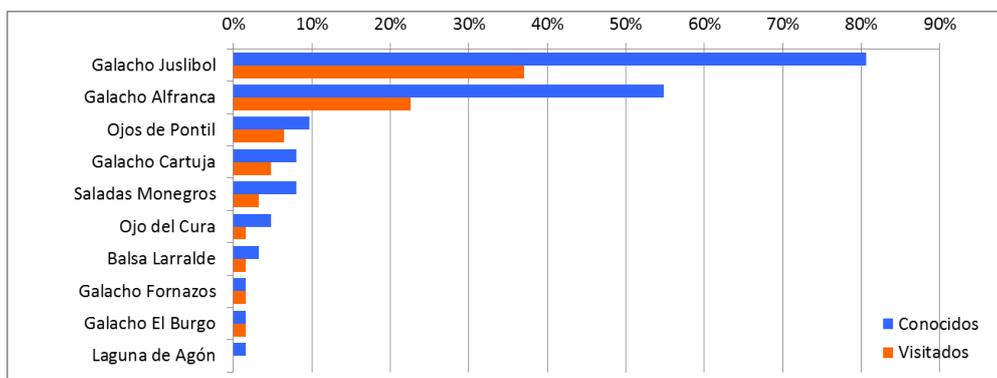


Figura 35: Conocimiento y visita de humedales

En la figura 35 se observan los humedales referidos en la cuesta donde solamente son conocidos 10 humedales (9 de ellos visitados) de los 152 identificados inicialmente en este trabajo. Los humedales más conocidos son el Galacho de Juslibol y el Galacho de la Alfranca.



Figura 36: Valores destacados de un humedal

La figura 36 muestra diversidad de opinión pero en líneas generales los valores más destacados de un humedal son aquellos relacionados con elementos naturales. También se valoran aspectos relacionados con la accesibilidad, el buen estado del humedal y la posibilidad de desarrollar actividades en dichos espacios.

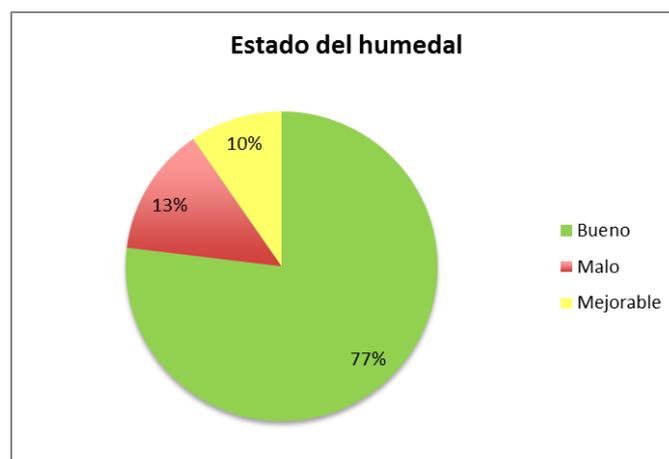
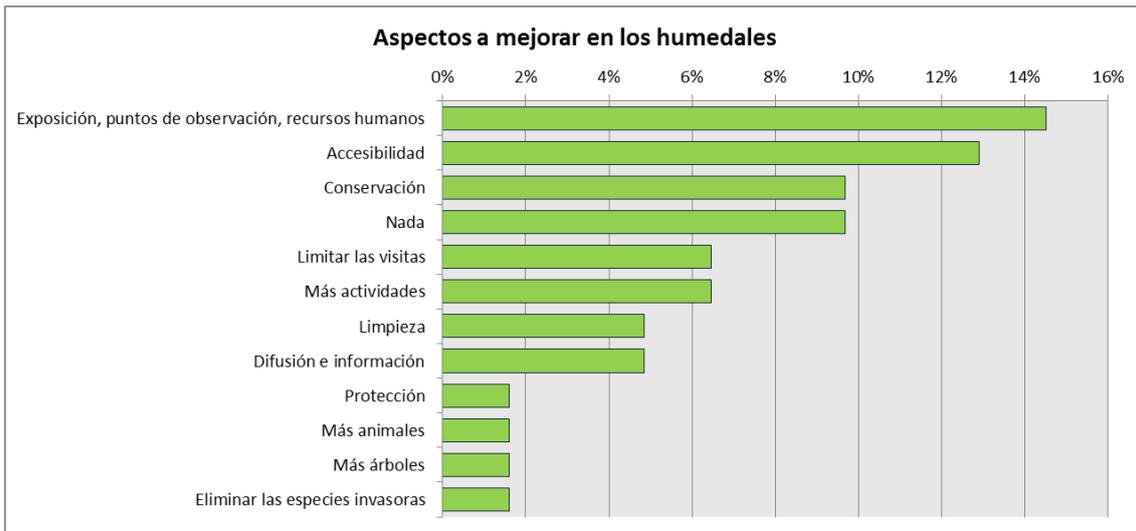


Figura 37: Estado del humedal

El figura 37 presenta una respuesta concentrada, en la que el 77% de los encuestados considera que el estado en el que se encuentran los humedales que conoce es bueno.



**Figura 38: Aspectos a mejorar en los humedales**

La figura 38 muestra variedad en la distribución de respuestas aunque los porcentajes más altos corresponden a aspectos relacionados con la gestión, accesibilidad y mantenimiento de estos espacios. Por otro lado, la inexistencia de aspectos a mejorar también presenta un porcentaje importante mientras que los relacionados directamente a elementos naturales obtienen los valores más bajos.

## 4. Discusión

Este apartado se divide en dos subapartados: el primero expone un diagnóstico general de los resultados obtenidos mientras que el segundo presenta distintas propuestas en relación a las perspectivas que ha planteado el desarrollo de este trabajo.

### 4.1 Diagnóstico general

El valor promedio de NDVI de todos los humedales es bajo ( $\sim 0.15$ ), valor característico de superficies de suelo desnudo. Esto es debido a la variación estacional que presentan las láminas de agua, ya que en muchos casos la superficie permuta entre las categorías agua, suelo y vegetación. De este modo, los valores obtenidos en momentos de colonización vegetal (valores NDVI más altos) son compensados por valores recogidos con una lámina de agua estable (valores NDVI negativos), promediando en valores característicos de suelo. Los valores promedio de NDVI obtenidos para cada tipo son *a priori* valores cercanos pero existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que cada tipo presenta un comportamiento diferente ante este índice. En lo que se refiere al NDII el valor obtenido también es bajo, próximo a 0, propio de superficies con agua ya que ésta presenta una diferencia muy pequeña entre las longitudes de onda del infrarrojo y del SWIR. El análisis de varianza para este índice establece que existe semejanza entre el comportamiento de los humedales en yesos (tipo Y) y los naturalizados (tipo N), así como entre los endorreicos (tipo E) y los galachos (tipo G). Respecto al NDSI, los valores promedio obtenidos se sitúan ligeramente por encima de 0, registrándose diferencias significativas entre los diferentes tipos, lo que puede interpretarse como que, dentro de escenarios de salinidad media-baja, los humedales son claramente diferenciables entre sí a partir de este parámetro.

En los humedales endorreicos (tipo E) se han registrado el NDVI más estable con valores cercanos a suelo desnudo durante la mayor parte del año, mientras que por otro lado los valores NDII y NDSI presentan oscilaciones marcadas con subidas y bajadas a lo largo de toda la serie temporal. Este resultado es acorde a las condiciones salinas y al ambiente árido en el que se encuentra este tipo de humedal, siendo muy sensible a los eventos meteorológicos. De este modo, la sucesión de lluvias y periodos de sequía explica las variaciones observadas, donde la vegetación se dispone en torno a la lámina de agua y en caso de que ésta disminuya queda al descubierto suelo desnudo o vegetación halófila. Dicha disposición deriva de la presión antrópica que ejerce la actividad agrícola en las proximidades, donde superficies de vegetación endémica han sido transformadas para ser aptas para el cultivo. Los procesos físicos que se desarrollan en este tipo de humedal lo dotan de características naturales singulares y albergan una diversidad de seres vivos muy particular. El interés científico-cultural que lo envuelve ha fomentado el conocimiento y valor por parte de la población aunque este reconocimiento recae principalmente en complejos lagunares y no en humedales aislados, siendo estos últimos relegados a un segundo plano.

Los galachos (tipo G) experimentan un aumento en los tres índices en primavera y verano para volver a disminuir en otoño, siendo el invierno la estación con valores más bajos. Esta variación está relacionada con la dinámica fluvial, ya que este tipo de humedal se encuentra en llanuras de inundación para formar sistemas complejos en los que se combinan ecosistemas

terrestres y acuáticos. La disminución de los índices se vincula a un mayor contenido de agua por la aportación de lluvias y deshielo, mientras que cuando la lámina de agua disminuye la superficie es ocupada por vegetación haciendo que el valor del índice aumente en periodos estivales. Por otro lado, el asentamiento de vegetación de ribera que han experimentado los entornos de estos humedales ha permitido la formación de condiciones microclimáticas particulares, generando excelentes corredores ecológicos para la fauna y flora procedente de otras zonas hacia espacios más áridos y esteparios (Montes, 2003). Este tipo de humedal es el más conocido y apreciado por la población. Su estrecha relación con el río y la proximidad a la que se encuentran de distintas localidades lo han dotado de especial atención por parte de la sociedad en comparación con el resto de tipos.

Los humedales de origen artificial naturalizados (tipo N) presentan los valores más bajos de NDVI, NDII, junto con los humedales en yesos (tipo Y) y NDSI. Este resultado guarda relación con el origen antrópico de este tipo de humedal, ya que la formación de un gran número de ellos es debida al abandono de minas y canteras, configurando humedales con láminas de agua profundas. De esta manera, la respuesta del sensor en estos humedales es menos sensible al descenso de la lámina de agua, la cual presenta profundidad suficiente para que el sensor no capte valores mezclados entre agua, suelo o vegetación a lo largo del año. A pesar de tener un origen antrópico estos humedales tienen un valor ambiental considerable ya que por sus características constituyen hábitats esenciales para la conservación de determinados grupos de especies. Sin embargo, la percepción social ante este tipo de humedal dista en gran medida de la realidad. La causa es el mal estado en el que se encuentran, ya que muchos de ellos se utilizan como basureros o escombreras, razón por la que se les etiqueta de zonas poco salubres sin ninguna función ecológica.

Los humedales en yesos (tipo Y) presentan los valores más altos de NDVI y los más bajos de NDII, mientras que para el NDSI obtiene valores parecidos a los galachos (tipo G), en los que presenta diferencias entre las épocas verano-otoño e invierno-primavera. La formación por subsidencia de este tipo de humedal explica esta variación, ya que esta responde a la variación estacional entre épocas secas y lluviosas. En épocas de lluvia, la cuenca se rellena y los valores disminuyen, mientras que en épocas de sequía la lámina de agua desaparece y se asientan distintas comunidades vegetales. Estos humedales se localizan a lo largo de todo el corredor del Ebro y, por consiguiente, próximos a distintas localidades. La afección producida por distintas actividades antrópicas se hace notable, sobre todo en los de reducido tamaño, que han llegado incluso a ser colmatados por escombros o cubiertos de tierra para transformarlos en campos de cultivo. Respecto a la opinión pública este tipo de humedal se encuentra en una posición muy parecida al anterior, aunque su disposición en el territorio, sobre todo en humedales cercanos a alguna localidad, ha mejorado la situación de algunos de ellos gracias a la acción vecinal.

En el caso de las fuentes y los manantiales (Tipo F) no ha sido posible obtener valores de los distintos índices espectrales al no presentar una superficie suficiente para ser discriminada por el sensor. Este tipo de humedal se encuentra en una posición difusa, ya que todo el mundo entiende que existen manantiales de agua pero el pensar general es que estos se encuentran en zonas de alta montaña o en zonas recónditas alejadas de la población. Solo algunos casos,

como los Ojos de Pontil, se encuentran reconocidos y dotados del aprecio general de la población.

## **4.2 Propuestas y perspectivas**

La clasificación o agrupación de humedales en distintos tipos es un propósito que lleva desarrollándose en un gran número de trabajos. La multitud de propuestas existentes se debe a la gran complejidad que muestran estos elementos en cuanto a las variaciones temporales que experimentan, así como a la gran diversidad con la que se manifiestan en la naturaleza (Borja y Borja, 2002). En términos generales, la condición genética del humedal es la clave más utilizada para su caracterización aunque, sin embargo, dicha función recae en factores diferentes según el criterio del autor. De este modo, algunas propuestas se fundamentan principalmente en el sistema de alimentación hídrica del humedal (Brinson, 1993; Brinson et al., 1995), mientras que otras suman la configuración geomorfológica y la hidrodinámica que presenta la lámina de agua (Wilder y Roberts, 2002). La determinación tipológica de este trabajo ha tenido en cuenta estos factores a través de los catálogos utilizados más la variante genética desde un punto de vista ecológico y paisajístico. Además, esta tipología ha sido contrastada con una nueva agrupación jerárquica a partir de la distribución de valores de los índices espectrales obtenidos para la superficie de cada humedal identificado, en la que se ha obtenido una correspondencia del 85%. De este modo, la fiabilidad de la clasificación a partir del proceso de verificación es aceptable.

Hoy en día los humedales localizados en la Depresión del Ebro no ocupan una posición importante en el contexto de conservación y responsabilidad ambiental, o por lo menos no tanto como otros elementos naturales como los ríos, los glaciares o las grandes extensiones de bosques. Sin embargo, los humedales responden del mismo modo a las fluctuaciones que experimenta todo el ecosistema. Más concretamente, los galachos se muestran como extensiones de los propios sistemas fluviales, contribuyendo a enriquecer la presencia de más especies de fauna y flora, y son sensibles a los cambios producidos en el corredor fluvial derivados de la sucesión de periodos de crecida y sequía (Dufour et al., 2015). Estas variaciones del cauce del río, así como las aguas subterráneas y los eventos meteorológicos, dan forma a la variabilidad que experimentan los humedales. En otras palabras, los humedales sirven como indicador para analizar los sistemas fluviales, tanto de condiciones pasadas como de punto de referencia para la medición de cambios futuros (Rasmussen y Mossa, 2011; Dépret et al., 2017). A su vez, los otros tipos de humedal no se encuentran directamente ligados a la dinámica fluvial pero sí dependen de las aguas subterráneas y de las precipitaciones, siendo sensibles a las fluctuaciones que éstas presentan. Por lo tanto, los humedales responden a fenómenos que se encuentran estrechamente relacionados con el cambio climático, proporcionando información que refleja el estado del medio ambiente en un momento y espacio determinado. Como se ha visto en puntos anteriores del trabajo, la teledetección permite obtener información de grandes superficies de forma periódica con un bajo coste relativo, haciendo viable el seguimiento continuo de su evolución. De este modo, se idea la posibilidad de que los humedales puedan funcionar a modo de indicador, a través de distintos puntos de observación, en los procesos de evaluación y de toma de decisiones sobre problemas ambientales en relación al cambio climático.

Existe un debate sobre la función de estos espacios en relación a la sociedad, ya que en las últimas décadas algunos de ellos han pasado de ser espacios improductivos a altamente funcionales, ya no solo desde el punto de vista urbanístico, sino también de la gran variedad de usos que pueden desarrollar, especialmente los relacionados con las actividades turísticas y recreativas. El turismo y uso público son conceptos que están separados por líneas que no acaban de estar bien definidas para el conjunto de la población (Viñals et al., 2011). Los resultados obtenidos en la encuesta disponen una percepción orientada a la preservación de las características naturales de los humedales al mismo tiempo que se pone en valor la accesibilidad y el desarrollo de actividades en estos espacios. He aquí el dilema, ya que un elevado número de visitantes puede suponer un impacto grave, interfiriendo con los objetivos de conservación a los que puede estar sujeto el humedal y haciendo necesarias herramientas de gestión más específicas para cada tipo. Estas herramientas deben ser capaces de establecer sinergias con el progreso de estas actividades, definiendo bien los límites entre la conservación y el uso público, ya que, como se ha observado a lo largo del trabajo, no todos los humedales son iguales y, por consiguiente, no todos son aptos para el desarrollo de las mismas ni con la misma magnitud.

El contexto actual de la restauración ecológica de humedales requiere la percepción social de estos, ya que la adhesión de la participación pública incrementa el éxito de este tipo de proyectos (Cottet et al., 2010). Para ello se vuelve fundamental su puesta en valor en la ciudad de Zaragoza y en su entorno a través de programas de educación ambiental, tanto a nivel escolar como en formaciones académicas y profesionales de la población en general. Esta correlación no debe ser pasada por alto, ya que ofrece un abanico de posibilidades para la integración de problemas sociales en los proyectos de restauración y conservación de los humedales. Las posibilidades no se reducen solo a las grandes ciudades sino a los espacios rurales, donde se ubican la mayoría de los humedales identificados en este trabajo. La creación de una nueva figura de protección basada en una red de humedales podría suponer el acceso a fondos económicos privados y públicos desde locales a supranacionales, derivando en una diversificación de usos y la inmigración de población joven a estas zonas (Comín, 1997). De este modo, la conservación activa y la restauración de los humedales remodelaría la distribución demográfica suponiendo un impulso potencial del desarrollo del territorio.

A través del Convenio Ramsar sobre Humedales se adoptó el Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de Humedales. Este documento pone especial énfasis en la consideración de los humedales dentro de la planificación y la toma de decisiones, pero a efectos prácticos no se trata de una figura de protección como tal. El sector central de la Depresión del Ebro es un área de condiciones semiáridas en la que se asienta una red de humedales de características singulares. Esta disposición necesita de medidas especiales de protección, tal como se ha llevado a cabo con otros elementos naturales como los glaciares, en las que se trate a la red como conjunto y no como recintos individuales a modo de parque natural. Para ello es necesario consolidar tareas de conservación en los distintos municipios en los que se encuentran, fomentando el voluntariado y la participación ciudadana. Por otro lado, también se cree necesario el apoyo de otras instituciones a la Confederación Hidrográfica del Ebro, organismo competente en materia de restauración de humedales, como el Gobierno de Aragón y la Diputación Provincial de Zaragoza, para favorecer la implicación de los agentes sociales en este tipo de acciones. Del mismo modo se propone la posibilidad de solicitar

financiación europea a través del programa LIFE, la cual supone un 55% de la contribución total que se plantea destinar a la conservación de estos humedales.

En lo que respecta al ámbito científico los humedales localizados en el entorno de Zaragoza han ocupado una posición humilde en materia de investigación de medio ambiente ya que en su gran mayoría los trabajos existentes presentan una función más divulgativa que estrictamente científica. De esta manera se hace necesario fomentar la investigación a través de cátedras o proyectos que asienten a investigadores que trabajen en esta línea. En lo que respecta a este trabajo, cada tipo de humedal ha presentado diferencias significativas con el resto, haciendo viable el desarrollo de estudios más detallados en el que se analicen los procesos de cada uno de ellos. Del mismo modo, la teledetección y los sistemas de información geográfica han demostrado ser herramientas eficaces para el seguimiento estacional y evolutivo de los humedales, lo cual puede ser complementando con trabajo de campo y la instalación de estaciones experimentales u observatorios en los que se tomen muestras y se hagan mediciones periódicas. Por tanto, esta línea de investigación cuenta con una base metodológica y debería ser promocionada con proyectos, equipamiento científico y personal investigador.

## 5. Conclusiones

El uso de sistemas de información geográfica y técnicas de teledetección para identificar, caracterizar y poner en valor los humedales en el entorno de Zaragoza ha obtenido resultados positivos, resolviendo de manera efectiva los distintos objetivos específicos planteados en este trabajo:

- Se han identificado un total de 152 humedales distribuidos en cinco categorías de los cuales 60 han presentado una superficie hábil para su estudio mediante el uso de imágenes Sentinel 2. Esta determinación tipológica ha sido contrastada con una nueva agrupación jerárquica a partir de la distribución de valores de distintos índices espectrales obtenidos para la superficie de cada humedal, alcanzando una correspondencia del 85%. De este modo, los índices espectrales utilizados permiten categorizar los tipos de humedales de una manera similar a la obtenida mediante criterio experto y conocimiento de campo.
- En líneas generales, los valores obtenidos de NDVI, NDII y NDSI para cada tipo de humedal son bajos, debido a la influencia espectral de las láminas de agua que aparecen en la mayoría de los casos. Estos valores presentan máximos en las épocas de verano y otoño, disminuyen en invierno y vuelven a subir en primavera. Por otro lado, el tratamiento estadístico aplicado a la información espectral ha concluido que existen diferencias estadísticamente significativas entre las distribuciones de valores de cada tipo de humedal, exceptuando el caso del NDII que ha establecido que hay semejanzas entre los humedales en yesos (tipo Y) y los naturalizados (tipo N), así como entre los endorreicos (tipo E) y los galachos (tipo G).
- La evolución de cada tipo de humedal es diferente y se encuentra derivada principalmente de su condición morfogenética. Los galachos (tipo G) presentan una morfología cambiante sujeta a la dinámica de los sistemas fluviales y a los usos del suelo que se van sucediendo en el entorno. La superficie ocupada por el río y las barras han disminuido drásticamente a lo largo del último siglo, ya no solo por la creación del humedal, sino por el establecimiento de distintos tipos de vegetación en torno a ellos y el exponencial crecimiento de uso urbano del suelo. El resto de tipos muestran poca dinámica espacial en su evolución, donde los cambios que experimentan se reducen a las modificaciones originadas en sus límites, a causa principalmente de actividades antrópicas relacionadas con la construcción y el desarrollo agrícola.
- La disposición de los humedales a lo largo del sector central de la Depresión del Ebro hace necesario el establecimiento de medidas especiales de protección en las que se trate a la red como conjunto y no como recintos individuales. Esta nueva figura de protección podría suponer el acceso a fondos económicos, impulsando el desarrollo de estas zonas. La participación pública es un factor fundamental en este tipo de proyectos, por lo que es fundamental la puesta en valor de los humedales del centro de la Depresión del Ebro tanto en la ciudad de Zaragoza como en su entorno. Además, las herramientas utilizadas deben ser capaces de establecer sinergias entre la

conservación de las características naturales de los humedales y una buena gestión de la accesibilidad y el desarrollo de actividades en estos espacios.

## 6. Bibliografía

- Al-Khaier, F. (2003, March). Soil salinity detection using satellite remote sensing. ITC.
- Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., & Brisco, B. (2018). Spectral analysis of wetlands using multi-source optical satellite imagery. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 144, 119-136.
- Antón, A., Ballester, C., Cabrero, P., & Ollero, A. (1990). *Inventario de espacios naturales del Municipio de Zaragoza*. 309 pp. Inédito. Ayuntamiento de Zaragoza.
- Araya-López, R.A., Lopatin, J., Fassnacht, F.E., & Hernández, H.J. (2018). Monitoring Andean high altitude wetlands in central Chile with seasonal optical data: A comparison between Worldview-2 and Sentinel-2 imagery. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 145, 213-224.
- Borja, C., & Borja, F. (2002). Contribución a la clasificación genética de los humedales de Andalucía. Tipos genéticos y complejos palustres. *Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*, 25-30.
- Bregoli, F., Crosato, A., Paron, P., & McClain, M.E. (2019). Humans reshape wetlands: Unveiling the last 100 years of morphological changes of the Mara Wetland, Tanzania. *Science of the Total Environment*, 691, 896-907.
- Brinson M.M. (1993) *A hydrogeomorphic classification for wetlands*. Washington (D.C.): US Army Corps of Engineers. WRP-DE-4. 103 p.
- Brinson, M.M., Hauer, F.R., Lee, L.C., Nutter, W.L., Rheinhardt, R.D., Smith, R.D., & Whigham, D. F. (1995). *A guidebook for application of hydrogeomorphic assessments to riverine wetlands*. Vicksburg: US Army Corps of Engineers, Wetlands Research Program, Technical Report WRP-DE-11. 112 pp. + appendix
- Casas, M.P., (2004). *Aproximación histórica a la Balsa de Larralde y núcleo rural de Torre Medina (Garrapinillos, Zaragoza)*. 46 pp. Inédito. Asociación Naturalista de Aragón. Zaragoza.
- Castañeda del Alamo, C. (2002). *El agua de las saladas de Monegros sur estudiada con datos de campo y de satélite*. Zaragoza. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.
- Castro, J.P., & Torrijo, O. (2009). *Inventario de humedales del aluvial del Ebro*. Informe inédito. Asociación Naturalista de Aragón. Se puede descargar de internet a través de la página: <https://jolube.wordpress.com/2010/04/05/inventario-de-humedales-del-aluvial-del-ebro/humedales-aluvial-ebro-ansar-2009/>

- Castro, J.P., & Torrijo, O. (2013). *Las balsas de Casetas y otros humedales del aluvial del Ebro*. Zaragoza. Consejo de protección de la Naturaleza de Aragón.
- Comín, F. (1997). Hacia una integración de la conservación de los humedales en el desarrollo del medio rural. *Xiloca*, 20: 241-253.
- Comité de Humedales, Ministerio de Medio Ambiente (2001). *Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de los Humedales, en el marco de los ecosistemas acuáticos de que dependen*.
- Conesa Mor, J.A., Castañeda del Álamo, C., & Pedrol Solanes, J. (2011). *Las saladas de Monegros y su entorno: hábitats y paisaje vegetal*. Zaragoza. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.
- Cottet, M., Rivière-Honegger, A., & Piégay, H. (2010). Mieux comprendre la perception des paysages de bras morts en vue d'une restauration écologique: quels sont les liens entre les qualités esthétique et écologique perçues par les acteurs?. *Norois. Environnement, aménagement, société*, (216), 85-103.
- Del Val, R., & Viñuales, E. (2013). *Los Ojos de Pontil, un valioso humedal recuperado en Rueda de Jalón*. Zaragoza. Ayuntamiento de Rueda de Jalón.
- Dépret, T., Riquier, J., & Piégay, H. (2017). Evolution of abandoned channels: Insights on controlling factors in a multi-pressure river system. *Geomorphology*, 294, 99-118.
- Dufour, S., Hayden, M., Stella, J., Battles, J., & Piegay, H. (2015). Maintaining channel abandonment processes increases riparian plant diversity within fluvial corridors. *Ecohydrology*, 8(5), 780-791.
- García, M.A. (1996). *Hidrogeología de zonas endorreicas en climas semiáridos, aplicación a Los Monegros (Zaragoza y Huesca)*. Zaragoza. Consejo de protección de la Naturaleza de Aragón.
- Garrido, J. (2007). *Los Galachos del Ebro, análisis y propuestas de restauración en la Ribera Alta*. Zaragoza. Geodesma.
- Jackson, R.D., & Huete, A.R. (1991). Interpreting vegetation indices. *Preventive veterinary medicine*, 11(3-4), 185-200.
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2019). Evaluating the utilization of the red edge and radar bands from sentinel sensors for wetland classification. *Catena*, 178, 109-119.
- Lee, S., Yeo, I.Y., Lang, M.W., McCarty, G.W., Sadeghi, A.M., Sharifi, A., ... & Liu, Y. (2017). Improving the catchment scale wetland modeling using remotely sensed data. *Environmental Modelling & Software*.
- Ludwig, C., Walli, A., Schleicher, C., Weichselbaum, J., & Riffler, M. (2019). A highly automated algorithm for wetland detection using multi-temporal optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 333-351.

- Maltby, E., & Acreman, M.C. (2011). Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8), 1341-1359.
- Montes, C. (2003). Criterios ecológicos para el deslinde de humedales ribereños. *Ecología, manejo y conservación de los humedales* (pp. 61-76). Instituto de Estudios Almerienses.
- Mora, T.A. (2003). Balsa de Larralde: restauración de un humedal en el entorno de Zaragoza. *Naturaleza aragonesa: revista de la Sociedad de Amigos del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza*, (11), 94-99.
- Moreno, L., Garrido, E., Azcón, A., & Durán, J.J. (2008). *Hidrogeología urbana de Zaragoza*. Madrid. IGME.
- Ollero, A., Peño, G., Valette, P. (2019) Géohistoire, diversité et restauration des zones humides autour de Saragosse (NE Péninsule Ibérique). *Rencontres internationales "Géohistoire des zones humides d'ici et d'ailleurs"*, Tulcea, 3-8 junio 2019.
- Rapinel, S., Mony, C., Lecoq, L., Clément, B., Thomas, A., & Hubert-Moy, L. (2019). Evaluation of Sentinel-2 time-series for mapping floodplain grassland plant communities. *Remote sensing of environment*, 223, 115-129.
- Rasmussen, J., & Mossa, J. (2011). Oxbow lakes as indicators of river channel change: Leaf River, Mississippi, USA. *Physical Geography*, 32(6), 497-511.
- Sánchez-Espinosa, A., & Schröder, C. (2019). Land use and land cover mapping in wetlands one step closer to the ground: Sentinel-2 versus landsat 8. *Journal of Environmental Management*, 247, 484-498.
- Simon, J.L., Soriano, M.A., Arlegui, L., & Caballero, J. (1998). *Estudio de riesgos de hundimientos kársticos en el Corredor de la Carretera de Logroño*. 59 pp. Informe inédito. Ayuntamiento de Zaragoza.
- Viñals, M.J., Blasco, D., & Morant, M. (2011). *Los humedales mediterráneos: el contexto ambiental y social*. Ed. Fundación Biodiversidad. 266 pp.
- Whyte, A., Ferentinos, K.P., & Petropoulos, G.P. (2018). A new synergistic approach for monitoring wetlands using Sentinels-1 and 2 data with object-based machine learning algorithms. *Environmental Modelling & Software*, 104, 40-54.
- Wilder, T.C., & Roberts, T.H., 2002. *A Regional Guidebook for Applying the Hydrogeomorphic Approach to Assessing Wetland Functions of Low-Gradient Riverine Wetlands in Western Tennessee*. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, ERDC/EL TR-02-6.
- Yilmaz, M.T., Hunt Jr, E.R., & Jackson, T.J. (2008). Remote sensing of vegetation water content from equivalent water thickness using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2514-2522.

# 7. Anexos

Anexo I "Póster: Ollero, A., Peño, G., Valette, P. (2019) Géohistoire, diversité et restauration des zones humides autour de Saragosse (NE Péninsule Ibérique)."

## Géohistoire, diversité et restauration des zones humides autour de Saragosse (NE Péninsule Ibérique)

Alfredo Ollero<sup>1</sup>, Gonzalo Peño<sup>1</sup> et Philippe Valette<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpt. de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Saragosse, aollero@unizar.es  
<sup>2</sup> GEODE UMR 5602 CNRS, Université Toulouse Jean Jaurès.

---

### CONTEXTE

Le secteur central de la Dépression de l'Èbre est une zone de conditions semi-arides, en raison de son enclavement entre plusieurs alignements montagneux qui séparent l'ensemble de l'influence maritime. Cependant, la continentalité climatique et l'aridité sont compensées par le fleuve Èbre, ses affluents et la présence de nombreuses petites zones humides. Celles-ci ont une importance écologique et paysagère remarquable, pas toujours valorisées.

Dans certains cas, elles font l'objet de protection et de projets de sensibilisation environnementale, bien que toutes ne sont pas connues et appréciées de la population concentrée à proximité du grand centre urbain de Saragosse (700 000 habitants). Les zones humides de ce territoire n'ont pas été encore toutes inventoriées et cataloguées, alors que leur grande diversité implique des situations très différentes en termes d'étude, d'évaluation et de fréquentation.

Sur le territoire d'Aragón, la zone d'étude comprend un ensemble de comarcas (districts ou cantons) situés à proximité de Saragosse: Cinco Villas, Campo de Borja, Campo de Cariñena, Campo de Belchite, Moncayo, Ribera Alta, Ribera Baja, Valdejalón et Campo de Saragosse.

### ABONDANCE ET DIVERSITÉ

Il est possible d'évaluer d'un seul coup d'œil sur la carte l'abondance et la diversité des zones humides autour de Saragosse.

**La Salada de Mediana (Type E)** a une grande valeur naturelle et culturelle mais n'a pas été mentionnée comme connue ou visitée par les personnes enquêtées. Elle est à 20 km de Saragosse mais son accessibilité est faible.

**La source Ojos de Pontil (Type F)** montre le contraste des zones humides avec le milieu aride.

### TYPOLOGIE

151 zones humides ont été identifiées et cartographiées dans la zone d'étude. La diversité de ces zones humides est forte, à la fois liée à leur origine, à leurs caractéristiques, à leur état écologique, aux stratégies de conservation et de restauration appliquées (très remarquables dans certains cas, inexistantes dans d'autres).

La typologie proposée se base sur l'étude de cas concrets les plus pertinents à travers leur géohistoire, leur valeur écologique et paysagère. Il est possible de distinguer cinq grands groupes de zones humides:

<b>G</b>	<b>Galachos et autres zones humides d'origine fluviale.</b> D'une grande valeur, avec une géohistoire associée à la coupure des méandres (fleuve Èbre et rivière Gállego).	69 cas
<b>E</b>	<b>Lagunes endorhiques, certaines salées, de l'environnement semi-aride du centre de la Dépression de l'Èbre.</b> C'est la dépression intérieure la plus sèche en Europe. Saladas (lagunes salées) de Mediana et de Moncayo.	22 cas
<b>F</b>	<b>Sources de contact des Montagnes Ibériques avec la Dépression de l'Èbre.</b> Elles génèrent quelques zones humides intéressantes. Parmi elles, la source des Ojos (yeux) de Pontil est remarquable.	11 cas
<b>Y</b>	<b>Lagunes associées à des dolines et effondrements dans des gypses.</b> Elles sont abondantes près de Saragosse dans les terrasses de l'Èbre (karst alluvial sur gypse).	15 cas
<b>N</b>	<b>Zones humides d'origine artificielle naturalisées ou d'intérêt écologique.</b> Anciennes carrières et mines actuellement inondées et naturalisées comme la Balsa Larralde. On trouve aussi quelques réservoirs et des petits étangs d'irrigation ou pour le bétail.	34 cas

---

### RECHERCHE

L'objectif général de ce travail est d'identifier, caractériser et mettre en valeur les zones humides dans un rayon de 50 km autour de Saragosse, mais aussi de réaliser une cartographie et d'établir un diagnostic de leur état actuel.

Objectifs spécifiques	Méthodologies
Identification et classification des zones humides	Photo-interprétation, établissement d'une typologie et attribution de chaque élément à un type
Localisation et cartographie des zones humides identifiées	Traitement GIS
Caractérisation hydrogéomorphologique et écologique de chaque zone humide dans sa situation actuelle	Mesure des dimensions principales sur photographie aérienne, vérification sur le terrain, prise de photographies et description des caractéristiques hydrologiques, géomorphologiques et écologiques
Analyse géohistorique de chaque zone humide	Cartographie évolutive, en utilisant des cartes anciennes et des images aériennes depuis 1927, et en mesure des changements observés
Évaluation de la saisonnalité de chaque zone humide	Analyse et cartographie basées sur des techniques de télédétection dans les zones humides où des variations saisonnières sont observées
Évaluation globale de la diversité des zones humides à proximité de Saragosse	Analyse statistique simple et représentation graphique
Identification des connaissances sociales sur les zones humides à proximité de Saragosse	Questionnaire public en ligne
Valeur de chaque zone humide en fonction de sa représentativité, de son caractère unique, de son état environnemental et de son accessibilité sociale	Conception et application d'un indice de valorisation et sélection de cas de référence pour chaque type
Proposition de mesures de conservation, de restauration et de mise en valeur	Sur la base des résultats de l'application de l'indice, discussion pour l'approche des mesures

Table: objectifs spécifiques et méthodologies du projet. En vert achevés, en jaune en cours, en orange pas commencés.

### CONNAISSANCE ET DIAGNOSTIC SOCIAL

Le questionnaire en ligne est ouvert et est en cours. Seules les 62 réponses du 17 mai 2019 sont représentées ici.

**Zones humides connues et visitées par des personnes de Saragosse (% de réponses).**  
Séulement 310 zones humides sont connues et 9 visitées entre les 151 identifiées.

**Quel est l'état des zones humides?**

- bon
- mauvais
- améliorable

**Valeurs des zones humides (% de réponses)**

- flune
- biodiversité
- PAYSAGE écosystème
- végétation
- proximité et accessibilité
- conservation
- nature
- sport
- recre
- culture
- dynamique fluviale
- santé
- tranquillité
- bon état
- propre
- actives
- gébiodiversité

**Aspects à améliorer dans les zones humides (% de réponses)**

- améliorer l'exposition, observations, plus de personnel
- accessibilité
- conservation
- ne rien faire
- limiter les visites
- plus d'actives
- nettoyage
- diffusion, information
- protection
- plus de faune
- plus d'arbres
- éliminer les espèces envahissantes

---

### GÉOHISTOIRE DES « GALACHOS »

Les galachos correspondent aux bras morts de l'Èbre. Ce sont les zones humides les plus connues et les plus appréciées des environs de Saragosse. Le Galacho de Juslibol a été créé par coupe naturelle de méandre pendant la grande crue de janvier 1961.

L'approche géohistorique est nécessaire car elle permet de mieux connaître l'évolution de ces zones humides à travers une cartographie évolutive (cartes anciennes et images aériennes depuis 1927). La temporalité de ces espaces est très diverse, tant au niveau global que dans ses changements saisonniers remarquables, analysés et cartographiés à l'aide de techniques de télédétection.

### Réserve Naturelle des Sotos et Galachos de l'Èbre

### RESTAURATION

Certaines initiatives sont financées par la Confédération Hydrographique (Agence de bassin) et avec la participation de volontaires locaux: nettoyage périodique, contrôle de plantes envahissantes et conditionnement pour les visiteurs. Il n'y a pas de programme de restauration spécifique dans les zones protégées.

**Balsa Ojo del Cura**  
**Balsa Larralde**  
**Ojos de Pontil**

---

### CONCLUSION

L'ensemble des zones humides constituent un patrimoine peu connu (sauf les galachos de Juslibol et Alfranca) qu'il est important de valoriser. Leur abondance et leur diversité dans les alentours de Saragosse, devraient faire l'objet de programmes plus ambitieux de conservation, de restauration et de diffusion, dans le cadre de la trame verte et bleue de la ville et de son territoire.

### DOCUMENTATION ET TRAVAUX PRÉCÉDENTS

Castro, J.P., Torrijos, O. (2008) Inventario de humedales del valle del Ebro. Asociación Naturalista de Aragón, Zaragoza.  
 Castro, J.P., Torrijos, O. (2011) Los bolanos de Cuartera y otros humedales del valle del Ebro. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.  
 Comín, F.A. (1997) Hacia una integración de la conservación de los humedales en el desarrollo del medio rural. Xibea, 20: 241-253.  
 Comín, F.A., Castellón, C., Pedrol, L. (2011) Los sotos y riberos del Ebro en el término municipal de Zaragoza. Ayuntamiento de Zaragoza.  
 Díaz, L., Miralles, O., Zúñiga, J. (2018) Plan Director de Conservación y Gestión de Zaragoza. Ayuntamiento de Zaragoza.  
 Garrido, J. (2007) Los galachos del Ebro. Análisis y propuestas de restauración en la Ribera Alta. Geodoma, Zaragoza.  
 Gobierno de Aragón (2012) Decreto 204/2012, de 2 de noviembre, por el que se crea el inventario de humedales singulares de Aragón y se establece su régimen de protección. Boletín Oficial de Aragón, 230: 23989-24000.  
 Ruita, F., Ruiz, A. (2008) Fuentes azules de Zaragoza. Naturaleza mágica. Centro de Documentación del Agua y del Medio Ambiente, Ayuntamiento de Zaragoza.  
 Meliá, M., Lucas, M., Granado, D., Martín, D. (2011) Los sotos y riberos del Ebro en el término municipal de Zaragoza. Ayuntamiento de Zaragoza.  
 Nave, L., Otero, A., Sánchez-Rodríguez, M. (2018) Biodiversidad y dinámica geomorfológica actual del río Ebro en la Reserva Natural Original de los Sotos y Galachos (Zaragoza). Cuaternario y Geomorfología, 31(1): 21-43-59.  
 Ollero, A. (1992) Los meandros del río Ebro (Diagnóstico Zoológico geomorfológico/fluvial, etnográfico y lingüístico). PhD Thesis, Universidad de Zaragoza.  
 Vihela, M., Bascos, D., Marant, M. (Eds.). (2011) Los humedales mediterráneos: el contexto ambiental y social. Afectaciones por su estudio y gestión eficaz. Fundación Biodiversidad, Valencia.  
 Vihuela, E., Val, R. (Eds.). (2013) Los Ojos de Pontil. Un valioso humedal recuperado en Ruada de Jabón. Ayuntamiento de Ruada de Jabón e institución Fernando el Católico, Zaragoza.

## Anexo II “Código JavaScript para la extracción de información espectral a partir de superficies digitalizadas como polígonos”

```
Map.addLayer(majadas.draw('red'));
print(majadas);
Map.centerObject(majadas,15);
function maskS2clouds(image) {
    var date = image.date().millis();
    var qa = image.select('QA60');
    var cloudBitMask = ee.Number(2).pow(10).int();
    var cirrusBitMask = ee.Number(2).pow(11).int();
    var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).and(
        qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
    return image.updateMask(mask).divide(10000).set('system:time_start', date);
}
var addNDVI = function(image){
var NDVI = image.normalizedDifference(['B8','B4']).rename('NDVI');
return image.addBands(NDVI);
};
var imagenes_s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
    .filterBounds(majadas)
    .filterDate('2017-06-01', '2019-06-01')
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 70))
    .map(addNDVI)
    .select('B2','B3','B4','B5','B6','B7','B8','B8A','B9','B11','B12','NDVI');
var sentinel_collection = imagenes_s2.map(function(image){
    var data = image.reduceRegions(majadas,ee.Reducer.mean(),20)//Calcular media ponderada de bandas/indices y resolución final (20 m)
    .map(function(feet){
        return ee.Feature(feet).set(
            'date', ee.Date(image.get('system:time_start')).format('YYYY-MM-dd'));//Obtener la fecha de la colección
    });
    return data;
}).flatten();
Export.table.toDrive(sentinel_collection,
'Extraccion_Sentinel_2', //Descripción del task
'Majadas', //Carpeta de destino en Google Drive
'Extraccion_Sentinel2_FINAL',//Nombre del archivo
'CSV');//Formato
```

### Anexo III “Encuesta Google Forms”

¿Qué humedales conoces en el entorno de Zaragoza? (aunque no hayas estado) \*

Tu respuesta

¿Qué humedales visitas y con qué frecuencia? \*

Tu respuesta

Selecciona un humedal, el que mejor conozcas: \*

Tu respuesta

¿Qué valores destacarías en este humedal?

Tu respuesta

¿En qué estado se encuentra? \*

Tu respuesta

¿Qué aspectos mejorarías en este humedal? \*

Tu respuesta

**Enviar**

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google. [Notificar uso inadecuado](#) - [Condiciones del servicio](#) - [Política de privacidad](#)

Google Formularios

Anexo IV “Listado de humedales identificados en el método 2.2.1”

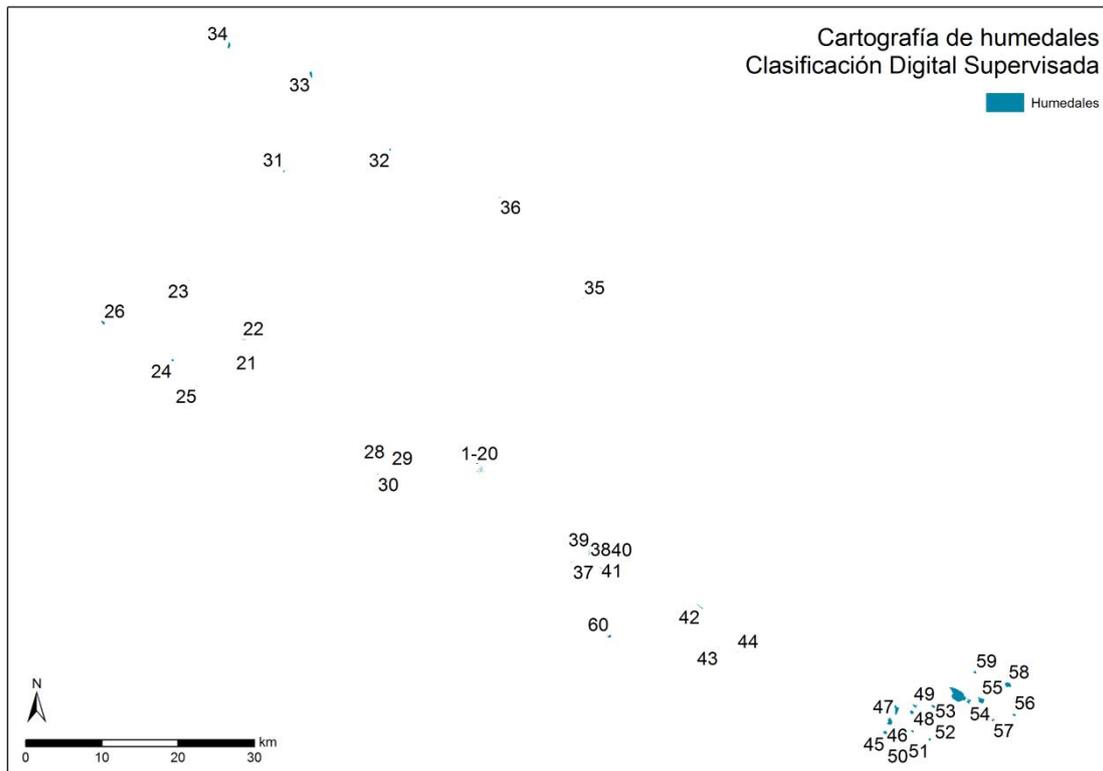
	Nombre	Tipo
1	Albercón	Y En yesos
2	Agón	E Lagunas endorreicas y saladas
3	Aguada Vieja	G Galachos
4	Agustín	E Lagunas endorreicas y saladas
5	Alcabones 1	G Galachos
6	Alcabones 2	G Galachos
7	Alcabones 3	G Galachos
8	Alcabones 4	G Galachos
9	Alcabones 5	G Galachos
10	Alcabones 6	G Galachos
11	Alcabones 7	G Galachos
12	Alcabones 8	G Galachos
13	Alfocea	G Galachos
14	Aljeces	E Lagunas endorreicas y saladas
15	Arenales	G Galachos
16	Balsón	Y En yesos
17	Barragán	Y En yesos
18	Bolaso	N Naturalizados o de interés ecológico
19	Bonastre	G Galachos
20	Boquiñeni	G Galachos
21	Burdelico	G Galachos
22	Camarón	E Lagunas endorreicas y saladas
23	Carrizal del Saso de Osera	E Lagunas endorreicas y saladas
24	Casa de Quinto	G Galachos
25	Cazcarro	N Naturalizados o de interés ecológico
26	Chopar	G Galachos
27	Contiendas	G Galachos
28	Corona	G Galachos
29	El Burgo	N Naturalizados o de interés ecológico
30	El Piojar	G Galachos
31	Escobar	G Galachos
32	Escorón	N Naturalizados o de interés ecológico
33	Espalavera	G Galachos
34	Esponera	G Galachos
35	Esponera 2	G Galachos
36	Esponera 3	G Galachos
37	Estanca Villaré	N Naturalizados o de interés ecológico
38	Farnaca	E Lagunas endorreicas y saladas
39	Francés 1	N Naturalizados o de interés ecológico
40	Francés 2	N Naturalizados o de interés ecológico
41	Fuente del Baño	F Fuentes y manantiales
42	Galacho de El Burgo	G Galachos

43	Galacho de la Alfranca	G Galachos
44	Galacho de la Cartuja	G Galachos
45	Galacho de los Fornazos	G Galachos
46	Galacho de Osera	G Galachos
47	Galacho de Soto Benedicto	G Galachos
48	Gallur 1	G Galachos
49	Gallur 2	G Galachos
50	Ginestral	Y En yesos
51	Gramenosa	E Lagunas endorreicas y saladas
52	Guallar	E Lagunas endorreicas y saladas
53	Guillén	Y En yesos
54	Hospitalico	G Galachos
55	Insula	N Naturalizados o de interés ecológico
56	Juslibol 1	G Galachos
57	Juslibol 2	G Galachos
58	Juslibol 3	G Galachos
59	Juslibol 4	G Galachos
60	Juslibol 5	G Galachos
61	Juslibol 6	G Galachos
62	Juslibol 7	G Galachos
63	Juslibol 8	G Galachos
64	Juslibol 9	G Galachos
65	Juslibol 10	G Galachos
66	Juslibol 11	G Galachos
67	Juslibol 12	G Galachos
68	Juslibol 13	G Galachos
69	Juslibol 14	G Galachos
70	Juslibol 15	G Galachos
71	Juslibol 16	G Galachos
72	Juslibol 17	G Galachos
73	Juslibol 18	G Galachos
74	Juslibol 19	G Galachos
75	Juslibol 20	G Galachos
76	La Badina	G Galachos
77	La Barca	G Galachos
78	La calera	G Galachos
79	La Codera	Y En yesos
80	La Consejera	Y En yesos
81	La Junquera	F Fuentes y manantiales
82	Lagunazo de Moncayuelo	N Naturalizados o de interés ecológico
83	Lamuel	G Galachos
84	Larralde	N Naturalizados o de interés ecológico
85	Las Pedrosas	N Naturalizados o de interés ecológico
86	Leciñena	N Naturalizados o de interés ecológico

87	Lisonfer	E Lagunas endorreicas y saladas
88	Los Baños	F Fuentes y manantiales
89	Loteta	E Lagunas endorreicas y saladas
90	Luceni 1	G Galachos
91	Luceni 2	G Galachos
92	Madraza	G Galachos
93	Magdalena	F Fuentes y manantiales
94	Mascarada	N Naturalizados o de interés ecológico
95	Matamala	Y En yesos
96	Matilla	G Galachos
97	Mejana Cartujos	G Galachos
98	Mejana del Marqués	G Galachos
99	Mejana Grande	G Galachos
100	Mejana Redonda	G Galachos
101	Montler	G Galachos
102	Muel	F Fuentes y manantiales
103	Muerte	E Lagunas endorreicas y saladas
104	Novillas	G Galachos
105	Ojo del Cura	Y En yesos
106	Ojo del Fraile	Y En yesos
107	Ojos de Pontil	F Fuentes y manantiales
108	Olivares	Y En yesos
109	Pez	E Lagunas endorreicas y saladas
110	Piñol	E Lagunas endorreicas y saladas
111	Picatiel	G Galachos
112	Pina	G Galachos
113	Pito	E Lagunas endorreicas y saladas
114	Planerón	N Naturalizados o de interés ecológico
115	Plantados	E Lagunas endorreicas y saladas
116	Playa	E Lagunas endorreicas y saladas
117	Pozuelo	F Fuentes y manantiales
118	Pradillo	Y En yesos
119	Prado	G Galachos
120	Pueyo	E Lagunas endorreicas y saladas
121	Puilatos	Y En yesos
122	Puy	G Galachos
123	Rebollón	E Lagunas endorreicas y saladas
124	Remolinos	G Galachos
125	Rinconilla	Y En yesos
126	Rodanas	F Fuentes y manantiales
127	Rollico	E Lagunas endorreicas y saladas
128	Sabinar	N Naturalizados o de interés ecológico
129	Salinas	G Galachos
130	San Mateo	N Naturalizados o de interés ecológico
131	San Miguel	F Fuentes y manantiales

132	San Sebastián	E Lagunas endorreicas y saladas
133	Santa Catalina	G Galachos
134	Santa Fé	F Fuentes y manantiales
135	Soto del Francés	G Galachos
136	Soto Letosa	G Galachos
137	Sulfúrica o Mediana	E Lagunas endorreicas y saladas
138	Talavera	G Galachos
139	Tejar	Y En yesos
140	Toroñel	F Fuentes y manantiales
141	Turrullón	G Galachos
142	Urzaiz	G Galachos
143	Utebo	G Galachos
144	Valcardera	E Lagunas endorreicas y saladas
145	Valcarrera	G Galachos
146	Valsalada	N Naturalizados o de interés ecológico
147	Vedado	N Naturalizados o de interés ecológico
148	Venta de la Virgen	G Galachos
149	Villafranca 1	G Galachos
150	Villafranca 2	G Galachos
151	Villagrasa	N Naturalizados o de interés ecológico
152	Viudas	G Galachos

Anexo V “Cartografía y listado de humedales identificados mediante Clasificación Digital Supervisada”



ID	Nombre	Tipo
1	Juslibol 1	G
2	Juslibol 2	G
3	Juslibol 3	G
4	Juslibol 4	G
5	Juslibol 5	G
6	Juslibol 6	G
7	Juslibol 7	G
8	Juslibol 8	G
9	Juslibol 9	G
10	Juslibol 10	G
11	Juslibol 11	G
12	Juslibol 12	G
13	Juslibol 13	G
14	Juslibol 14	G
15	Juslibol 15	G
16	Juslibol 16	G
17	Juslibol 17	G
18	Juslibol 18	G
19	Juslibol 19	G
20	Juslibol 20	G
21	Fornazos	G

22	Gallur1	G
23	Venta de la Virgen	G
24	Agón	E
25	San Sebastián	E
26	Estanca Villaré	N
27	Ojo del cura	Y
28	Ginestral	Y
29	Barragán	Y
30	Larralde	N
31	Sabinar	N
32	Villagrasa	N
33	Bolaso	N
34	Laguna de Moncayuelo	N
35	Puilatos	Y
36	Las Pedrosas	N
37	Galacho de la Cartuja	G
38	Galacho de la Alfranca	G
39	Cazcarro	N
40	La Codera	Y
41	El Burgo	N
42	Galacho de Ósera	G
43	Corona	G
44	Pina	G
45	Rebollón	E
46	Rollico	E
47	Camarón	E
48	Muerte	E
49	Piñol	E
50	Pez	E
51	Aljeces	E
52	Guallar	E
53	Playa	E
54	Pueyo	E
55	Pito	E
56	Gramenosa	E
57	Lisontes	E
58	Agustín	E
59	Farnaca	E
60	Mediana	E

## Anexo VI "Resultados de la verificación, Clasificación Digital Supervisada"

### Muestra aleatoria 1

ERROR MATRIX

Classified Data	Unclassifi	Reference Data		Row Total
		1_Hunedal		
Unclassified	0	3	0	3
1_Hunedal	0	22	0	22
Column Total	0	25	0	25

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Unclassified	0	3	0	0.00%	0.00%
1_Hunedal	25	22	22	88.00%	100.00%
Totals	25	25	22		

Overall Classification Accuracy = 88.00%

----- End of Accuracy Totals -----

### Muestra aleatoria 2

ERROR MATRIX

Classified Data	Unclassifi	Reference Data		Row Total
		1_Hunedal		
Unclassified	0	6	0	6
1_Hunedal	0	19	0	19
Column Total	0	25	0	25

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Unclassified	0	6	0	0.00%	0.00%
1_Hunedal	25	19	19	76.00%	100.00%
Totals	25	25	19		

Overall Classification Accuracy = 76.00%

----- End of Accuracy Totals -----

### Muestra aleatoria 3

ERROR MATRIX

Classified Data	Unclassifi	Reference Data		Row Total
		1_Hunedal		
Unclassified	0	5	0	5
1_Hunedal	0	20	0	20
Column Total	0	25	0	25

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Unclassified	0	5	0	0.00%	0.00%
1_Hunedal	25	20	20	80.00%	100.00%
Totals	25	25	20		

Overall Classification Accuracy = 80.00%

----- End of Accuracy Totals -----

Anexo VII "Caracterización espectral de cada humedal"

Nombre	Tipo	NDVI			NDII			NDSI		
		Promedio	Desvest	Coef.Var	Promedio	Desvest	Coef.Var	Promedio	Desvest	Coef.var
Agón	E	0,028	0,196	7,034	0,161	0,175	1,091	0,145	0,070	0,484
Agustín	E	0,146	0,049	0,336	0,027	0,083	3,037	0,176	0,057	0,321
Aljeces	E	0,284	0,130	0,457	-0,122	0,123	1,007	0,134	0,037	0,281
Barragán	Y	0,366	0,210	0,573	0,014	0,121	8,688	0,195	0,075	0,386
Bolaso	N	-0,340	0,319	0,939	-0,075	0,136	1,822	0,119	0,038	0,318
Camarón	E	0,091	0,049	0,542	0,041	0,137	3,357	0,177	0,050	0,283
Cazcarro	N	0,068	0,097	1,421	-0,016	0,124	7,753	0,200	0,063	0,317
Corona	G	0,216	0,151	0,699	-0,058	0,152	2,627	0,185	0,067	0,363
El Burgo	N	0,246	0,137	0,556	0,003	0,141	54,663	0,180	0,068	0,381
Estanca Villaré	N	0,060	0,125	2,069	0,021	0,115	5,544	0,142	0,052	0,368
Farnaca	E	0,202	0,069	0,341	-0,111	0,074	0,669	0,118	0,028	0,239
Fornazos	G	0,044	0,187	4,252	-0,063	0,207	3,265	0,186	0,074	0,400
Galacho de Ósera	G	0,301	0,193	0,642	0,156	0,115	0,738	0,203	0,075	0,371
Galacho de la Alfranca	G	-0,006	0,172	27,651	0,058	0,133	2,287	0,187	0,069	0,371
Galacho de la Cartuja	G	0,370	0,213	0,578	0,073	0,134	1,848	0,209	0,077	0,370
Gallur1	G	0,112	0,203	1,808	0,099	0,143	1,446	0,162	0,068	0,420
Ginestral	Y	0,371	0,230	0,621	0,035	0,123	3,550	0,186	0,079	0,425
Gramenosa	E	0,263	0,079	0,301	-0,089	0,082	0,918	0,139	0,032	0,230
Guallar	E	0,095	0,043	0,453	0,061	0,107	1,741	0,187	0,058	0,307
Juslibol 1	G	0,101	0,207	2,042	0,048	0,135	2,807	0,183	0,067	0,364
Juslibol 10	G	0,071	0,203	2,871	0,023	0,148	6,515	0,186	0,085	0,456
Juslibol 11	G	-0,008	0,211	27,417	0,051	0,157	3,080	0,172	0,072	0,419
Juslibol 12	G	0,331	0,262	0,792	0,122	0,163	1,340	0,207	0,098	0,475
Juslibol 13	G	0,249	0,346	1,388	0,116	0,178	1,533	0,194	0,092	0,477
Juslibol 14	G	0,083	0,216	2,614	0,020	0,169	8,519	0,181	0,076	0,417
Juslibol 15	G	0,133	0,204	1,542	-0,015	0,177	11,728	0,178	0,073	0,408
Juslibol 16	G	0,334	0,210	0,629	0,017	0,154	9,047	0,191	0,077	0,405
Juslibol 17	G	0,162	0,189	1,165	-0,010	0,173	17,001	0,191	0,086	0,448
Juslibol 18	G	0,185	0,285	1,544	0,074	0,168	2,272	0,196	0,088	0,446
Juslibol 19	G	0,251	0,310	1,236	0,084	0,159	1,884	0,201	0,088	0,438
Juslibol 2	G	0,212	0,234	1,104	0,006	0,147	25,054	0,187	0,083	0,442
Juslibol 20	G	-0,085	0,215	2,529	0,035	0,150	4,272	0,174	0,075	0,432
Juslibol 3	G	-0,059	0,197	3,333	-0,021	0,171	8,311	0,174	0,073	0,421
Juslibol 4	G	-0,004	0,174	39,969	0,020	0,148	7,322	0,163	0,067	0,413
Juslibol 5	G	0,148	0,197	1,330	-0,028	0,144	5,185	0,172	0,075	0,434
Juslibol 6	G	0,145	0,186	1,283	-0,014	0,155	11,123	0,176	0,073	0,413
Juslibol 7	G	0,057	0,198	3,497	-0,034	0,154	4,571	0,164	0,064	0,392
Juslibol 8	G	0,178	0,109	0,609	0,023	0,081	3,444	0,180	0,059	0,326
Juslibol 9	G	-0,013	0,231	17,947	-0,026	0,151	5,779	0,157	0,060	0,384
La Codera	Y	0,251	0,119	0,476	-0,043	0,124	2,890	0,165	0,059	0,356
Laguna de Moncayuelo	N	-0,189	0,328	1,738	-0,043	0,149	3,481	0,130	0,049	0,378
Larralde	N	0,206	0,182	0,880	-0,023	0,159	7,067	0,162	0,070	0,435
Las Pedrosas	N	-0,040	0,129	3,255	-0,068	0,090	1,314	0,142	0,034	0,241
Lisontes	E	0,223	0,082	0,368	-0,086	0,089	1,035	0,126	0,032	0,253
Mediana	E	0,045	0,038	0,840	0,230	0,101	0,437	0,170	0,065	0,380
Muerte	E	0,107	0,046	0,431	0,059	0,096	1,636	0,190	0,055	0,292
Ojo del cura	Y	0,053	0,133	2,482	0,006	0,125	20,259	0,143	0,052	0,363
Pez	E	0,090	0,044	0,495	0,006	0,118	21,283	0,173	0,052	0,300
Piñol	E	0,106	0,047	0,438	0,001	0,122	90,065	0,165	0,048	0,293
Pina	G	0,364	0,231	0,636	0,068	0,178	2,600	0,211	0,083	0,396
Pito	E	0,050	0,079	1,594	0,061	0,137	2,248	0,217	0,062	0,287
Playa	E	0,068	0,046	0,674	0,062	0,113	1,821	0,217	0,074	0,340
Pueyo	E	0,092	0,045	0,494	0,017	0,108	6,413	0,187	0,055	0,295
Puilatos	Y	0,312	0,217	0,695	-0,049	0,125	2,552	0,179	0,060	0,337
Rebollón	E	0,131	0,052	0,395	-0,053	0,107	2,011	0,145	0,049	0,336
Rollico	E	0,107	0,043	0,406	0,012	0,105	8,834	0,191	0,056	0,296
Sabinar	N	-0,080	0,248	3,113	-0,068	0,119	1,743	0,150	0,042	0,279
San Sebastián	E	0,261	0,152	0,582	-0,081	0,115	1,422	0,142	0,052	0,362
Venta de la Virgen	G	0,243	0,132	0,543	0,066	0,102	1,538	0,178	0,065	0,367
Villagrasa	N	-0,174	0,146	0,838	0,258	0,181	0,699	0,082	0,031	0,384

Anexo VIII “Comparación de agrupación jerárquica a partir de índices espectrales con la propuesta de tipología inicial”

Humedal	Inicial	Posterior
Agón	E	E
<b>Agustín</b>	E	<b>G</b>
Aljeces	E	E
<b>Barragán</b>	Y	<b>G</b>
Bolaso	N	N
Camarón	E	E
Cazcarro	N	N
Corona	G	G
<b>El Burgo</b>	N	<b>G</b>
Estanca Villaré	N	N
Farnaca	E	E
Fornazos	G	G
Galacho de Ósera	G	G
Galacho de la Alfranca	G	G
<b>Galacho de la Cartuja</b>	G	<b>E</b>
<b>Gallur1</b>	G	<b>E</b>
Ginestral	Y	Y
Gramenosa	E	E
Guallar	E	E
<b>Juslibol 1</b>	G	<b>E</b>
Juslibol 10	G	G
Juslibol 11	G	G
Juslibol 12	G	G
Juslibol 13	G	G
Juslibol 14	G	G
Juslibol 15	G	G
Juslibol 16	G	G
Juslibol 17	G	G
Juslibol 18	G	G
Juslibol 19	G	G
Juslibol 2	G	G
Juslibol 20	G	G
Juslibol 3	G	G
Juslibol 4	G	G
Juslibol 5	G	G
Juslibol 6	G	G
Juslibol 7	G	G
Juslibol 8	G	G
Juslibol 9	G	G
La Codera	Y	Y
Laguna de Moncayuelo	N	N

Larralde	N	N
Las Pedrosas	N	N
Lisontes	E	E
Mediana	E	E
Muerte	E	E
<b>Ojo del cura</b>	Y	<b>N</b>
Pez	E	E
Piñol	E	E
<b>Pina</b>	G	<b>E</b>
Pito	E	E
Playa	E	E
<b>Pueyo</b>	E	<b>G</b>
Puilatos	Y	Y
Rebollón	E	E
Rollico	E	E
Sabinar	N	N
San Sebastián	E	E
Venta de la Virgen	G	G
Villagrasa	N	N

---