

Evolución de las zonas riparias de los ríos
Trabancos, Zapardiel, Adaja y Guareña (cuenca del
Duero) entre 1956 y la actualidad

Trabajo Fin de Máster

Directora: Marisol Manzano

Codirectora: Virginia Robles

Lucille Porée

Máster en Ciencia y Tecnología del Agua y del Terreno

2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a Marisol Manzano, mi directora de Trabajo Fin de Máster (TFM), por supervisar este proyecto y compartir sus conocimientos.

También me gustaría agradecer a Virginia Robles, mi codirectora de TFM, por su apoyo en las diversas tareas de trabajo que se llevaron a cabo utilizando el software y por su disponibilidad. Así pude descubrir cómo funciona un sistema de información geográfica.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS	12
3. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	13
3.1 Localización geográfica.....	13
3.2 Marco geológico	14
3.3 Climatología.....	17
3.4 Aspectos socioeconómicos.....	17
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1 Métodos	19
4.2 Materiales.....	20
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1 Cartografía de vegetación de ribera y su evolución temporal	26
5.2 Cartografía de láminas de agua y evolución de su superficie	31
5.3 Cartografía de cauces con flujo activo	33
6. CONCLUSIONES	35
7. RECOMENDACIONES Y LINEAS DE TRABAJO FUTURAS	36
8. BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFÍA.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cuenca del Duero y su localización	13
Figura 2: Cartografía del marco geológico de la cuenca del Duero.....	15
Figura 3: Mapa físico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero	16
Figura 4: Segmento del río Zapardiel (2017)	21
Figura 5: Segmento del río Zapardiel con la capa Copérnico (2017).....	21
Figura 6: Segmento del río Zapardiel con la zona riparia (2017)	21
Figura 7: Segmento del río Trabancos (1956-57)	21
Figura 8: Segmento del río Trabancos con la capa Copérnico (1956-57).....	21
Figura 9: Segmento del río Trabancos con la zona riparia (1956-57).....	21
Figura 10: Segmento del río Guareña (2017)	22
Figura 11: Segmento del río Guareña con la zona riparia (2017).....	22
Figura 12: Segmento del río Guareña con la zona riparia y los cultivos (2017)	22
Figura 13: Segmento del río Zapardiel (2017)	23
Figura 14: Segmento del río Zapardiel con la zona arbolaría (2017)	23
Figura 15: Segmento del río Zapardiel con zona riparia y arbolada (2017)	23
Figura 16: Segmento del río Zapardiel (1956-57).....	23
Figura 17: Segmento del río Zapardiel con la zona arbolaría (1956-57)	23
Figura 18: Segmento del río Zapardiel con las zonas riparia y arbolaría (1956-57)	23
Figura 19: Humedal predefinido superpuesto a la imagen satelital de 2017	24
Figura 20: Humedal predefinido superpuesto a la imagen satelital de 1956-57	24
Figura 21: Humedal eliminado tras el análisis de la imagen satelital de 2017	24
Figura 22: Área del humedal modificada tras el análisis de la imagen satelital de 1956-57	24
Figura 23: Representación de la zona riparia del río Guareña en 1956-57	26
Figura 24: Representación de la zona riparia del río Guareña en 2017	26
Figura 25: Representación de la zona riparia del río Trabancos en 1956-57	27
Figura 26: Representación de la zona riparia del río Trabancos en 2017	27
Figura 27: Representación de la zona riparia del río Zapardiel en 1956-57.....	28
Figura 28: Representación de la zona riparia del río Zapardiel en 2017	28
Figura 29: Representación de la zona riparia del río Adaja en 1956-57	29
Figura 30: Representación de la zona riparia del río Adaja en 2017	29
Figura 31: Cartografía de los humedales (>0,5ha) en 1956-57	31
Figura 32: Cartografía del humedal (>0,5ha) en 2017	31
Figura 33: Cauces existentes (amarillo) y tramos con flujo activo de agua (azul) en verano de 2017...33	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características principales de los 4 ríos estudiados	14
Tabla 2: Resumen de las principales características litológicas e hidrogeológicas de la Demarcación Hidrográfica del Duero	16
Tabla 3: Superficies de cultivos (ha) calculadas para cada año y río.....	30
Tabla 4: Superficies de las zonas riparias y arbolarías (ha) calculadas para 2017 y 1956-57	30
Tabla 5: Evolución estimada de la superficie de las franjas de vegetación entre 1956-57 y 2017	30
Tabla 6: Número y superficie total de los humedales de más de media hectárea para los años 1956-57 y 2017	32
Tabla 7: Evoluciones del número y de la superficie total de los grandes humedales entre 1956-57 y 2017.....	32
Tabla 8: Longitud de los cauces con flujo activo en 2017	34
Tabla 9: Cuantificación de la longitud de cauce con flujo activo comparado a la longitud total de los ríos.....	34

RESUMEN

Los ríos Guareña, Trabancos, Zapardiel y Adaja se encuentran en la cuenca del río Duero y son afluentes del mismo por la orilla sur. Los cuatro ríos nacen en el Sistema Central y hace unos 60 años eran permanentes debido a que recibían descarga de agua subterránea a lo largo de todo su recorrido. En la actualidad únicamente es permanente el Adaja.

Los cuatro ríos discurren por una zona de intensa actividad agrícola, dedicada tradicionalmente al cultivo en secano de cereales pero que en las últimas tres décadas ha ido incrementado el uso de agua subterránea para riego. La explotación intensiva de agua subterránea ha inducido el descenso regional del nivel freático entre unos pocos metros y algo más de una decena, ocasionando la desconexión de los cauces de la zona saturada regional y la inversión de la relación hidráulica entre los mismos y el acuífero. Este cambio de régimen, junto con cambios en el uso del terreno como la pavimentación, la urbanización o la roturación de terreno silvestre para su conversión en tierras de cultivo, ha supuesto la disminución de la superficie de ecosistemas riparios de los ríos.

Este Trabajo Fin de Máster consiste en analizar la evolución temporal de la extensión de las zonas riparias entre 1956-57, cuando el régimen debía ser próximo al natural, y la actualidad. El análisis de superficies riparias realizado consiste en identificar los límites de las mismas sobre fotos aéreas y planimetrarlas. Luego, se analizan los cambios producidos en las superficies de vegetación riparia entre 1956-57 y la actualidad. Además, se compara la evolución de los grandes humedales de la zona de estudio para los mismos periodos mencionados. Por último, se proponen medidas plausibles para restablecer y proteger los ecosistemas existentes de bosques de ribera en los ríos Guareña, Trabancos, Zapardiel y Adaja.

Se ha encontrado que todas las superficies, es decir las de las zonas riparias, las de las zonas con plantas de porte arbóreo dentro de esas zonas riparias, así como las de lagunas sobre la Masa de Agua Subterránea de Medina del Campo, han disminuido entre los años 1956-57 y la actualidad, excepto la superficie de la zona arbolada del río Adaja.

ABSTRACT

The rivers Guareña, Trabancos, Zapardiel and Adaja are located in the Duero River basin and are tributaries of the same on the south bank. The four rivers are born in the Central System Range and some 60 years ago they were permanent because they received underground water discharge along their entire length. Currently only the Adaja River is permanent.

The four rivers run through an area of intense agricultural activity, traditionally dedicated to the dry cultivation of cereals, but in the last three decades has increased the use of groundwater for irrigation. Intensive exploitation of groundwater has led to a regional drop in the water table of between a few meters and a little more than ten meters, causing the disconnection of the watercourses from the region's saturated zone and the inversion of the hydraulic relationship between them and the aquifer. This change of regime, together with changes in land use such as paving, urbanization or ploughing of wild land for conversion to farmland, has led to a decrease in the surface area of river riparian ecosystems.

This Master Final Work consists of analyzing the temporal evolution of the extension of the riparian zones of the four rivers between 1956-57, when the regime should be close to natural conditions, and today. The analysis of riparian surfaces performed consists of identifying their limits on aerial photographs and planimetering them. Then, the changes produced in riparian vegetation surfaces between 1956-57 and today are analyzed. In addition, the evolution of the large wetlands in the study area are compared for the same periods mentioned above. Finally, plausible measures are proposed to restore and protect the existing riverside forest ecosystems in the rivers Guareña, Trabancos, Zapardiel and Adaja.

It has been found that all the surfaces, that is those of the riparian zones, those of zones with trees within the riparian zones, and those of wetlands on the Medina del Campo Groundwater Body, have diminished between the years 1956-57 and the present time, except the surface of the wooded zone in the Adaja River.

1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de este Trabajo Fin de Máster sobre la evolución de las zonas ribereñas de los ríos Guareña, Trabancos, Zapardiel y Adaja y los humedales de la Masa del Agua Subterránea de Medina del Campo entre 1956 y la actualidad, se enmarca dentro del proyecto del programa H2020 de la Unión Europea NAIAD (Nature Insurance value: Assessment and Demonstration; grant agreement No 730497). Este proyecto tiene por objeto hacer operativo el valor de los ecosistemas para mitigar los riesgos de inundaciones y sequías mediante el desarrollo de conceptos y herramientas que se están ensayando y aplicando en nueve sitios de demostración en Europa bajo el concepto común de soluciones basadas en la naturaleza (SBN; NBS en Inglés, de Nature Based Solutions).

El análisis físico y socioeconómico de los sitios de demostración es el núcleo del proyecto. Este análisis se apoya en complejas actividades de modelización y previsión, enfocadas a proponer SBN en cooperación con el sector de los seguros. Las SBN presentadas se consideran una opción técnicamente sólida y financieramente viable para los inversores locales y de alto nivel, en particular en el sector de los seguros. Las SBN concretas son acciones inspiradas en la naturaleza, algunas de las cuales implican el uso y la mejora de las soluciones naturales existentes para hacer frente a los desafíos, mientras que otras exploran soluciones más innovadoras, por ejemplo, imitando la forma en que los organismos no humanos y las comunidades hacen frente a los extremos del medio ambiente.

El proyecto NAIAD también tiene como objetivo proporcionar métodos replicables para su aplicación, así como trabajar en el desarrollo de instrumentos financieros y nuevos modelos de negocio para apoyar su aplicación. Además, este proyecto pretende contribuir al conocimiento académico sobre la planificación de las SBN, aumentar la capacidad de los responsables políticos para integrar las NBS en la planificación del desarrollo y contribuir a la concienciación general sobre la necesidad de las NBS y las oportunidades socioeconómicas derivadas de su aplicación a nivel local, regional o europeo [1].

Uno de los nueve sitios de demostración corresponde, por tanto, al área de estudio de este Trabajo Fin de Máster, el de la Masa de Agua Subterránea de Medina del Campo, situada en la cuenca del río Duero, en el noroeste de España. El propósito del proyecto NAIAD en este sitio es analizar y evaluar el papel de los servicios de los ecosistemas relacionados con las aguas subterráneas como un seguro natural para la mitigación de riesgos en un contexto de creciente variabilidad climática y proponer opciones de negocio viables para la financiación pública/privada de medidas de gestión que aumenten la prestación de servicios de los ecosistemas relacionados con las aguas subterráneas.

El aumento del riego y del uso del agua en las zonas urbanas ha conducido a un grave deterioro de la prestación de servicios de los ecosistemas en la región. La disminución de los niveles piezométricos en los acuíferos, la contaminación agrícola difusa y los altos niveles de arsénico y nitratos son las principales amenazas identificadas. Otro servicio ecosistémico del agua subterránea

que ha resultado afectado es la generación de flujo de base (descarga de agua subterránea) a ríos y humedales, que se ha deteriorado drásticamente como consecuencia del descenso regional y sostenido en el tiempo del nivel freático y de los niveles piezométricos más profundos. Esta disminución de la descarga ha originado que muchos ríos dejen de ser permanentes y ahora sean esporádicos; que se pierdan o deterioren (que pierdan su estructura habitual) los bosques de ribera y que desaparezcan muchos humedales. Esta última situación es la que ha dado lugar a este TFM.

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, el CEDEX [2] describe la vegetación ribereña como probablemente la más intensamente transformada por la actividad humana y la menos conocida. En casi todos los valles donde la accesibilidad es suficiente, los bosques de ribera han sido eliminados, fragmentados o profundamente modificados y reducidos a una estrecha franja a lo largo del lecho del río.

Existen varias amenazas para la conservación de estos bosques. Las principales son su sustitución por cultivos agrícolas y forestales, el encauzamiento de los tramos sobre los que se asientan, la construcción de infraestructuras hidráulicas y la contaminación por especies invasoras. La estrecha relación que la vegetación ribereña tiene con el estado del medio fluvial transforma los cambios de estos sistemas en serios problemas para mantener las dimensiones y la diversidad de las arboledas.

La conservación de estos bosques ribereños es tanto más importante cuanto que poseen una alta diversidad biológica, una alta productividad y un alto dinamismo de los hábitats que sustentan. Por eso, es necesario y urgente adoptar medidas para proteger y regenerar estos medios. También es esencial tener un conocimiento real del estado de la vegetación fluvial.

El trabajo realizado en este TFM se usó ya para otros lugares. A través de una búsqueda y una lectura de información bibliográfica sobre esos trabajos similares, se pudo identificar las diferentes metodologías usadas para desarrollar los proyectos.

El trabajo de Clerici et al. [3] implementa la modelización paneuropea de la distribución de las zonas ribereñas a partir de datos de observación de la Tierra procedentes de múltiples fuentes. Para ello, la metodología utilizada fue la detección geoespacial de áreas ribereñas por método difuso. Una serie de atributos descriptivos relevantes se seleccionan primero de la literatura existente para describir la presencia de áreas ribereñas. Las estimaciones espacialmente explícitas de estos atributos se obtienen a partir de los datos de observación de la Tierra y de los conjuntos de datos temáticos paneuropeos disponibles. Finalmente, las capas de información se combinan mediante un sistema de agregación que asigna un grado de pertenencia a la clase de zona ribereña utilizando dos funciones de pertenencia difusa para evaluar la influencia del agua y la presencia de vegetación natural, respectivamente.

El trabajo de Henshaw et al. [4] revela otro método. Este documento proporciona una evaluación de la medida en que los datos de Landsat Thematic Mapper (Landsat TM) pueden apoyar la evaluación de la dinámica de los ríos, según lo revelan los cambios en la extensión de la vegetación

y la posición del canal a lo largo de un río importante. Las escenas de Landsat TM se utilizan para determinar las tendencias espaciales y temporales de la cubierta vegetal y la posición de los canales en seis sitios con condiciones ambientales contrastantes a lo largo del río. Estas tendencias se interpretan en combinación con una serie de conjuntos de datos hidrogeomorfológicos adicionales antes de la comparación con las características biogeomorfológicas conocidas de los sitios de estudio, como lo revelan investigaciones de campo y análisis previos de conjuntos de datos de teledetección de alta resolución.

Mirela et al. [5] utilizaron datos estacionales continuos de Landsat TM y modelos forestales aleatorios genéricos para trazar un mapa sinóptico de la extensión y la dinámica de las aguas superficiales y las inundaciones para su trabajo sobre la dinámica subcontinental de la extensión de las aguas superficiales en una región semiárida, comenzando con las tres décadas de series temporales continuas estacionales de Landsat.

Finalmente, para monitorear los cambios en los bosques fluviales, Siddiqui et al. [6] han optado por el uso de tecnologías de teledetección por satélite (SRS) y sistemas de información geográfica (SIG). Los datos digitales de Landsat TM fueron procesados y analizados digitalmente en el sistema de procesamiento de imágenes ER Mapper-PC. Las imágenes ráster se mejoraron mediante la mejora del contraste y se visualizaron como composiciones en color. Luego, se realizó una georeferenciación para eliminar los errores geométricos y proyectar las imágenes en sistemas de coordenadas del mundo real. Las imágenes rectificadas se mosaico utilizando un proceso de mosaico de imagen y el equilibrio de color se aplicó para equilibrar los colores de las imágenes satelitales de mosaico para crear juntas continuas entre ellos.

Después esta búsqueda de información bibliográfica sobre trabajos similares, se eligió un método para el desarrollo del proyecto de este Trabajo Fin de Máster. Luego, se descargó el software y varias informaciones cartográficas necesarias para el proyecto. El paso siguiente fue la planimetría de las superficies riparias, arboladas y de los humedales, en las fechas indicadas, para poder obtener datos.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este TFM es conocer cómo ha cambiado la superficie de las zonas ocupadas por vegetación de ribera en los ríos Guareña, Trabancos, Zapardiel y Adaja, entre el año 1956 y la actualidad, considerando que en 1956 el funcionamiento de los ríos era cercano al natural mientras que en la actualidad está significativamente influenciado por el uso intensivo del terreno para múltiples actividades humanas como por ejemplo la agricultura, la urbanización, o la industria. Se querrá conocer también la evolución de la zona arbolada de los cuatro ríos y la evolución de los humedales de grande superficie entre los años 1956-57 y la actualidad.

Además, este proyecto tiene como objetivo contribuir a generar datos y conocimiento útiles para apoyar tareas de gestión en la zona, relacionadas con el objetivo 6.6 del ODS 6 Agua limpia y saneamiento: "De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos".

3. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 Localización geográfica

El área de estudio forma parte de la cuenca del Duero. La cuenca del Duero es la mayor de las cuencas hidrográficas de la Península Ibérica, con una extensión de casi 100.000 km². Administrativamente, se comparte entre dos países, España, con el 80% del territorio, y Portugal, con el 20% restante (Figura 1). La cuenca del Duero afecta a ocho comunidades autónomas diferentes de España. Sin embargo, el 98,2% de la parte española cubre el territorio de la región de Castilla y León [7].

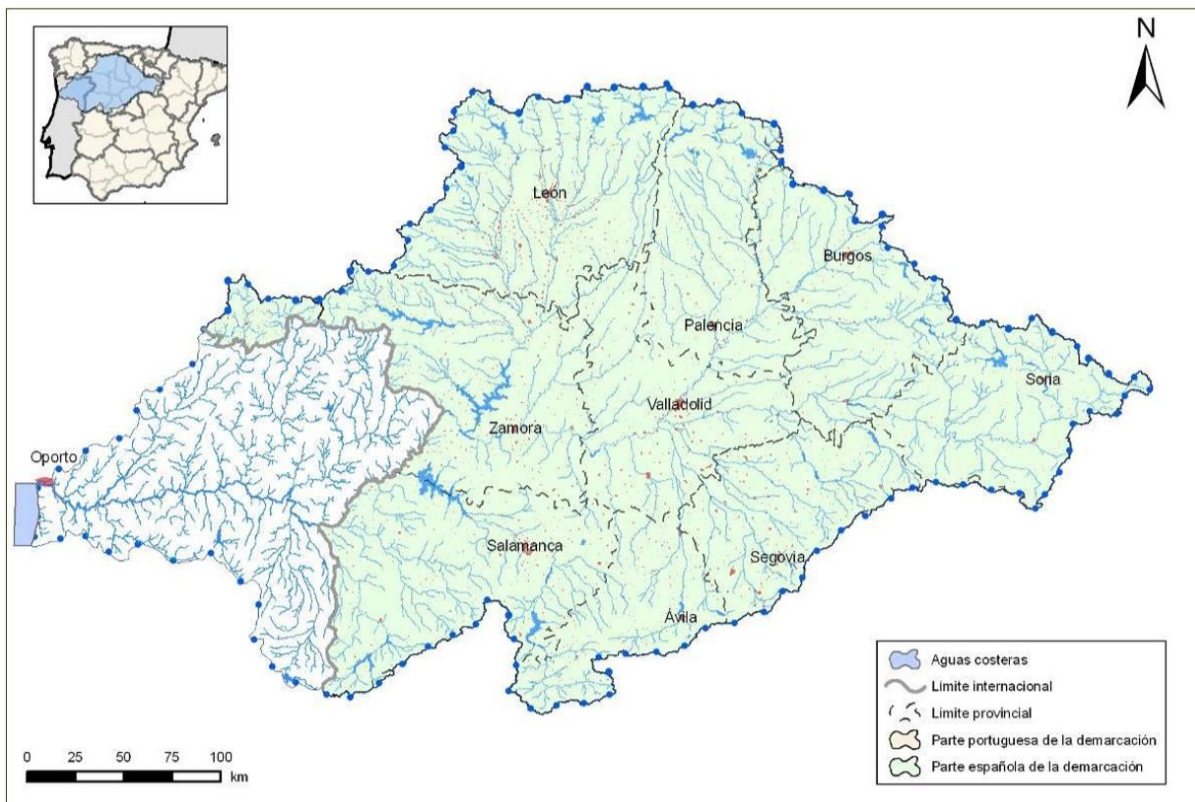


Figura 1: Cuenca del Duero y su localización. Fuente: [8]

En cuanto a la parte española, se han identificado, caracterizado y clasificado 773 masas de agua en diferentes categorías (lagos y ríos; naturales, modificados o artificiales). Se han definido 14 lagos y se han designado unas 2.000 zonas como humedales. Toda la cuenca está cubierta por 64 masas de agua subterránea. Además, se ha definido una red de drenaje de longitud aproximada de 83.200 km, de los cuales 13.491 km han sido identificados como masas de agua [7].

La mayor parte de los ríos de la cuenca tienen su origen en las sierras que la bordean y bajan al eje principal del Duero. Así, se puede distinguir una margen derecha o septentrional con dos grandes subredes de afluentes. La margen izquierda o meridional incluye los ríos menores que descienden

desde el Sistema Central al Duero, como el Adaja y otros ríos menores (Zapardiel, Trabancos, Guareña, etc.) [9]. En la Tabla 1 se encuentran las principales características de los ríos estudiados en este proyecto.

Tabla 1: Características principales de los 4 ríos estudiados. Fuente: elaboración propia con datos de [9]

	Guareña	Trabancos	Zapardiel	Adaja
Longitud (km)	65,12	81,65	105,10	176,26
Cuenca (km²)	1.007	708	1.456	5.304
Nacimiento	T.M. de Orbada (Salamanca)	La Moraña. T.M. de Blascomillán (Ávila)	Laguna de San Martín de las Cabezas. T.M. de El Parral (Ávila)	Fuente del Ortigal. T.M. de Villatoro (Ávila)
Desembocadura	El Guejo. M.I. del río Duero. T.M. de Toro (Zamora)	M.I. del río Duero. T.M. de Pollos (Valladolid)	M.I. del río Duero. T.M. de Tordesillas (Valladolid)	M.I. del río Duero. T.M. Villanueva de Duero (Valladolid)
Aportación media (hm³/año)	63,7	77,1	44,6	412,5
Aportación específica (hm³/km²/año)	0,06	0,11	0,03	0,08
Afluentes	-	-	-	Eresma (M.D.)

Además, los recursos naturales totales de la cuenca se han estimado en unos 13.000 hm³/año. Son aguas con baja mineralización donde predominan las facies de bicarbonato cálcico. La revisión del Plan Hidrológico actual [8] tuvo en cuenta el efecto del cambio climático al aplicar una reducción fija de las contribuciones del 7% de las contribuciones totales de la cuenca para 2027.

3.2 Marco geológico

La cuenca del río Duero está formada por una unidad geológica bien definida, la Depresión del Duero y por los bordes de la misma: las Cordilleras Cantábrica, Ibérica y Central y los Montes Galaico-Leonés. Esta depresión se configura como una cubeta de sedimentos terciarios y cuaternarios, lacustre y continental, resultantes del desmantelamiento de las cadenas periféricas y que alberga los mayores acuíferos de la demarcación. En la Figura 2 se puede ver dónde se sitúa la zona de estudio,

correspondiente a la Masa de Agua Subterránea de Medina del Campo (rayas rojas), en la Cuenca del Duero y que es parte de la Cuenca Terciaria del Duero [9].

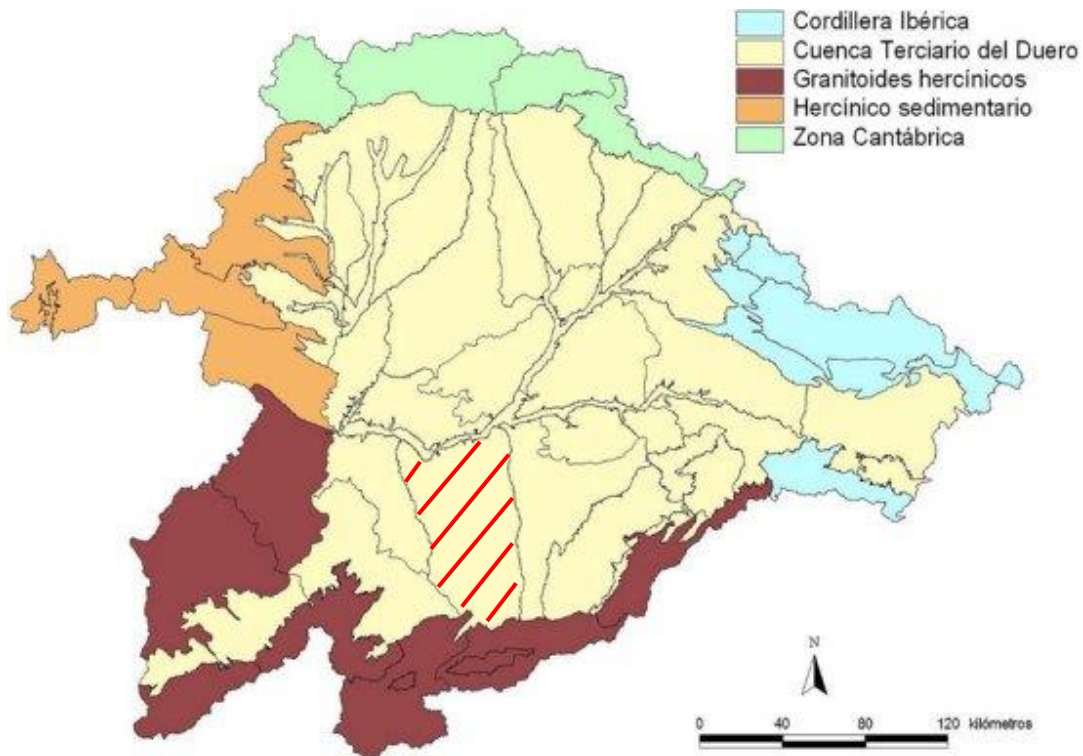


Figura 2: Cartografía del marco geológico de la cuenca del Duero. Fuente: [9]

La cuenca del Duero tiene una orografía esencialmente plana y alta, bordeada por sierras. Se distinguen tres zonas: el arco montañoso periférico, la llanura central y las tierras bajas portuguesas. En el arco montañoso se encuentran los Montes de León, la Cordillera Cantábrica, los Pirineos Occidentales, el Sistema Ibérico y el Sistema Central con el Pico del Moro Almanzor y sus 2.592 m de altitud, el más alto de la cuenca.

Luego, se encuentra la llanura central, correspondiente a la meseta norte, que ocupa la mayor parte de la cuenca, donde existen algunos cerros y páramos. La llanura se encuentra entre los 600 y 1000 m snm. Por último, las tierras bajas portuguesas se extienden desde la cota 200 m y descienden hasta el nivel del mar.

El río Duero, que describe la frontera entre España y Portugal, excava el espectacular cañón de Los Arribes sobre las rocas graníticas y metamórficas del Macizo Ibérico. En la Figura 3 se puede ver lo descrito anteriormente.

La cuenca del Duero presenta una gran variedad geológica y una amplia representación litológica. La mayoría de los pisos que componen la tabla crono-estratigráfica, están representados en los materiales que aparecen en la parte española de la demarcación. Además, es necesario combinar

un alto grado de complejidad tecto-estructural debido a la superposición de varias orogenias y sus fases, lo que da como resultado una geología muy compleja con un amplio espectro de variedades [9].

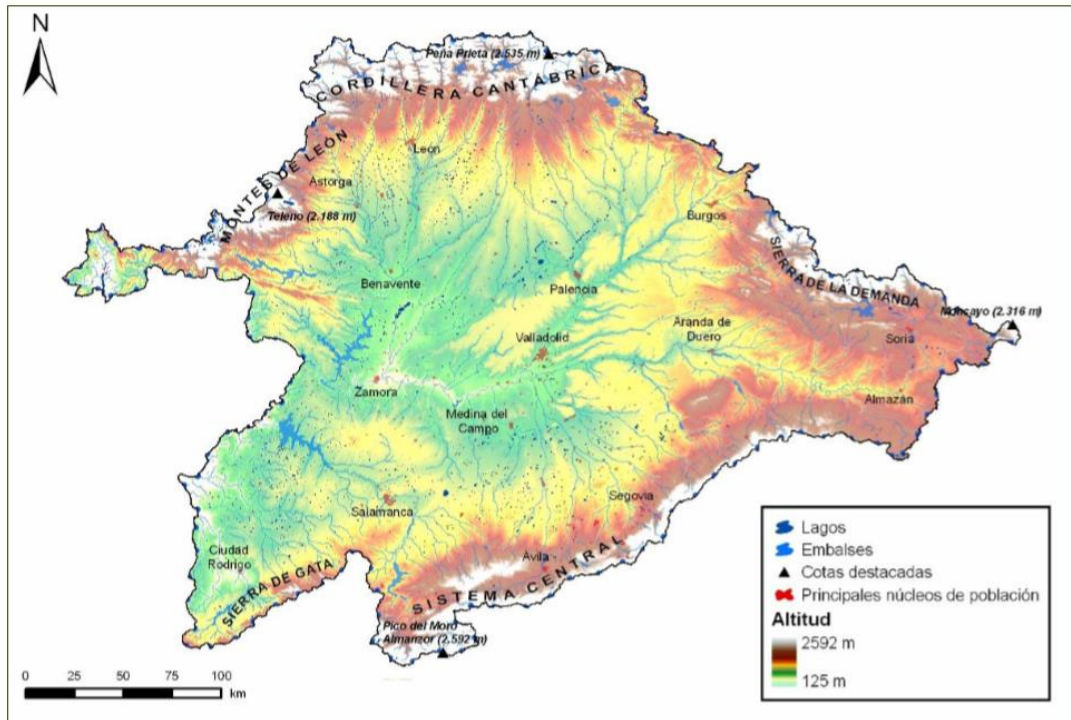


Figura 3: Mapa físico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero. Fuente: [8]

Las principales características geológicas de la Demarcación española de la cuenca se pueden ver en la Tabla 2. Se ha dividido en seis unidades y para cada una de ellas se puede encontrar una breve descripción litológica e hidrogeológica.

Tabla 2: Resumen de las principales características litológicas e hidrogeológicas de la Demarcación Hidrográfica del Duero Fuente: [8]

Unidad	Características Litológicas	Características Hidrogeológicas
Cordillera Cantábrica	Alternancia de rocas silíceas y calcáreas en la parte oeste (Hercínico), dominio de rocas carbonatadas hacia el este (Alpino)	Acuíferos cársticos, de mayor interés hacia la zona oriental
Cordillera Ibérica	Núcleo silíceo (Demanda-Moncayo) rodeado de rocas carbonatadas (Mesozoico)	Grandes acuíferos cársticos de naturaleza carbonatada, con importantes recursos hídricos
Sistema Central	Dominio de rocas silíceas ígneas, con un gran batolito granítico	Rocas de baja permeabilidad, importancia local. Pequeños acuíferos locales asociados a rellenos y fisuras
Penillanuras zamorano-salamantinas	Dominio de rocas silíceas, alternancia de granitos y rocas metamórficas	Rocas de baja permeabilidad. Pequeños acuíferos locales asociados a rellenos y fisuras
Montes de León	Dominio de rocas silíceas sedimentarias y metamórficas	Rocas de baja permeabilidad. Pequeños acuíferos locales asociados a rellenos y fisuras y niveles de cuarcitas fracturadas
Cuenca cenozoica del Duero	Depósitos terrígenos margoevaporíticos y calizas de los páramos	Gran desarrollo de acuíferos, asociados a diversas tipologías. Constituye un gran conjunto hidrogeológico.

3.3 Climatología

La cuenca del Duero tiene un clima predominantemente mediterráneo y continentalizado debido a su aislamiento orográfico. Solo en la región de Los Arribes, la más occidental, el clima es más suave. Esto se debe a la influencia del océano Atlántico y a la disminución de la altitud. Esta característica condiciona el clima mediterráneo de la cuenca. Por este motivo, el 90% de la superficie de la cuenca del Duero está afectada por la sequía estival. El clima es muy cambiante, ya que, por el contrario, se suceden ocasionalmente frentes atlánticos cálidos y fríos, lo que puede producir grandes episodios de inundaciones e inundaciones.

Los inviernos son largos y fríos, principalmente en las parameras leonesas, en las montañas del norte y noreste de la cuenca y en el sistema central. La temperatura media en enero es de 2º C. Los veranos, en cambio, son cortos y suaves, sobre todo en la parte norte de la frontera.

En la cuenca del Duero, la variabilidad territorial de la precipitación anual es de 612 mm. Los valores más altos se registran en las montañas que rodean la cuenca, que van desde más de 1.800 mm en la Tera hasta más de 1.500 mm en la Sierra de León. Los valores de precipitación más bajos se encuentran en el Sistema Central y en el Sistema Ibérico. La zona con los valores más bajos se encuentra en el bajo Duero, entre Salamanca, Zamora y Valladolid, dentro de la isoyeta de los 400 mm.

En toda la cuenca del Duero, el volumen medio anual de precipitaciones es de unos 50.000 hm³, la mayoría de los cuales, 35.000 hm³, se evaporan o son utilizados directamente por la vegetación. Los 15.000 hm³ restantes son la escorrentía y el flujo natural total a través de cursos de agua superficiales, o infiltrados en acuíferos y, por lo tanto, forman parte de la red de aguas subterráneas. Cabe destacar que la cuenca del Duero es la mayor en términos de superficie terrestre con capacidad para contener acuíferos (> 50.000 km²), que es la mayor unidad acuífera española y una de las mayores de Europa [9].

3.4 Aspectos socioeconómicos

La población de la parte española de la Demarcación del Duero ha estado en continuo declive desde principios de los años sesenta. Sin embargo, este descenso ha ido disminuyendo desde los años ochenta del siglo 20. Según el censo de población de 2001, la población real de este territorio se limitaba a 2.153.471 habitantes, mientras que el padrón municipal del año 2006 sitúa la población de la parte española de la cuenca del Duero en 2.210.541 habitantes.

El territorio español del Duero está dividido en 1.972 municipios, que incluyen un total de 4.359 núcleos urbanos habitados, 4.000 de los cuales tienen menos de 500 habitantes. Por el contrario, las

nueve capitales de provincia, así como Aranda de Duero, Laguna de Duero, Medina del Campo y San Andrés del Rabanedo, son los únicos 13 núcleos urbanos con más de 20.000 habitantes.

Para obtener las densidades de población, las cifras anteriores de población se dividen por la superficie total del territorio. Esto da una densidad de población de 28,1 habitantes/km², muy por debajo de la media nacional de unos 88 habitantes/km². Los únicos 8 núcleos urbanos con más de 50.000 habitantes representan el 47% de la población total. Los 1.749 núcleos urbanos de menos de 1.000 habitantes cubren el 75% del territorio español del Duero, pero tienen una densidad media de sólo 7,5 habitantes/km², lo que los clasifica en la categoría de desierto demográfico.

Hay algunos movimientos estacionales de la población. Esto es particularmente evidente en las zonas rurales y durante los períodos de vacaciones. Sin embargo, esto no representa realmente un aumento significativo de la población.

Los cálculos de las tendencias de población para escenarios futuros indican que los valores están estancados. A medida que la población envejece gradualmente en la dirección opuesta, no se espera que continúe la recuperación debida a la inmigración. Sin embargo, los sistemas de abastecimiento se verán modificados por un cambio en la tipología de las viviendas, con un aumento significativo de las viviendas secundarias y una disminución del número medio de habitantes por vivienda ocupada.

Además, el proceso migratorio que sufre la mayor parte del territorio de la cuenca del Duero se traduce en una disminución global de la productividad agrícola, pero no en un abandono. Lo mismo ocurrió con el resto de los sectores productivos. Esta es la consecuencia del éxodo rural. Sin embargo, se observa un crecimiento en el sector servicios, siendo el único sector productivo con expectativas de mejora y niveles de producción en torno al 65%, muy cercanos a los del sector nacional [9].

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Métodos

En primer lugar, se realizó una búsqueda bibliográfica de métodos existentes para diseñar las zonas ribereñas utilizando programas informáticos y para conocer los métodos que en otras zonas geográficas ya se han aplicado.

Tras esta investigación bibliográfica y el material disponible, se optó por dibujar zonas ribereñas a partir de imágenes satelitales y capas de información hidrológica preexistentes. Se utilizaron dos centros de descarga para obtener las imágenes aéreas:

- A partir del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León se pudo obtener las fotografías aéreas de 1956 (ftp://ftp.itacyl.es/cartografia/01_Ortofotografia/1956/).
- Las ortofotos más actualizadas, se han descargado desde la página web del Centro Nacional de Información Geográfica (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>).

El software utilizado para la gestión de la información ha sido QGIS. Es una aplicación profesional de SIG basada en software libre y abierto. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se utilizan para capturar, procesar, analizar y presentar información geográfica. El uso de un SIG es esencial cuando un componente geográfico está presente en los datos. De hecho, la noción de geografía no puede tenerse en cuenta adecuadamente sólo en forma de atributos [10].

Para poder dibujar correctamente las diferentes zonas ribereñas, fue necesario obtener información más precisa sobre la definición, composición, etc. de una zona ribereña. Esto fue posible gracias a las explicaciones proporcionadas por el CEDEX [2]. Describen la estructura vertical de una zona riparia. Los bosques de ribera presentan una organización compleja, formada en su máximo desarrollo por diferentes estratos.

Primero, existe el estrato arbóreo, que según [2] “Es habitualmente pluriespecífico, pero está frecuentemente dominado en cada formación por una sola especie. Está formado generalmente por árboles o arbolillos planocaducifolios y es típicamente cerrado, por lo que proporciona una intensa sombra a los estratos inferiores. Alisos, fresnos, álamos y chopos, olmos y diversos sauces, son algunos de los árboles más importantes de estos bosques en España”.

Después viene el estrato arborescente. Está “formado por individuos jóvenes de los árboles de los estratos superiores, a los que se añaden otras leñosas de talla elevada, como sauces, arraclanes, brezos, tarayes, saúcos, etc.”

Luego, se encuentra el estrato arbustivo. “El carácter predominante heliófilo de los arbustos asociados a las riberas hace que este estrato sea más importante en los claros y en los bordes exteriores del bosque, donde forma una característica orla”.

Hay también un estrato herbáceo que está “generalmente bien desarrollado en el interior del bosque y formado por plantas nemorales, con abundancia de geófitos de fenología precoz. Debido al continuo aporte de materiales arrastrados por el río, es frecuente que exista también un importante contingente de especies nitrófilas”.

Existen dos últimos estratos que son los estratos lianoide y epifítico. El lianoide es “muy característico de los bosques riparios por su notable desarrollo, sobre todo en las áreas españolas más térmicas.” En cuanto al estrato epifítico, “por lo general, está constituido únicamente por musgos, hepáticas y líquenes, casi siempre abundante y diverso” [2].

En las fotos aéreas se puede diferenciar la vegetación de la zona riparia del resto por el tipo de vegetación, las especies, como está explicado arriba, pero también por la disposición de los árboles y los arbustos. Cuando son plantados (reforestación) se puede observar fácilmente, ya que están dispuestos en línea.

4.2 Materiales

Como se ha mencionado anteriormente, las fotos aéreas utilizadas, que representan los años 1956-57, están disponibles en el sitio web del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Sin embargo, las fechas exactas en las que se tomaron las imágenes no están disponibles.

En cuanto a las ortofotos más actualizadas, han sido tomadas del Centro Nacional de Información Geográfica. Las fechas del mes están disponibles en el mismo sitio web. Como resultado, las fotos de más de la mitad de la zona geográfica a estudiar datan de julio de 2017. Gran parte de las fotos restantes datan de agosto de 2017 y las demás de septiembre de 2017. En resumen, las fotos de máxima actualidad se tomaron durante el verano de 2017, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

Como base para la delimitación de las zonas de vegetación de ribera se empleó la información digital disponible en el sitio web de Copérnico (programa de la Unión Europea para monitorear la Tierra utilizando una combinación de sensores satelitales y terrestres -in situ-). En concreto se trabajó con la información disponible en la sección “Riparian Zones / Delineation of Riparian Zones” (<https://land.copernicus.eu/local/riparian-zones/riparian-zones-delineation?tab=download>). La capa disponible fue creada entre los años 2011 y 2013 para toda Europa. Tuvo que ser recortada para disponer de un polígono para cada uno de los ríos en estudio.

En las siguientes imágenes se muestra un tramo del río Zapardiel en 2017 (Figura 4), este mismo segmento de río pero con la capa descargada de Copérnico (Figura 5) y, finalmente, la capa resultado de este trabajo, donde el polígono se ajusta a la zona con vegetación del río (Figura 6).



Figura 4: Segmento del río Zapardiel (2017)



Figura 5: Segmento del río Zapardiel con la capa Copérnico (2017)



Figura 6: Segmento del río Zapardiel con la zona riparia (2017)

Las siguientes imágenes representan, como en el ejemplo anterior, un tramo de río, en este caso del Trabancos, pero sobre ortofotografía aérea de 1956. La Figura 7 muestra el cauce del río sin capas superpuestas, la Figura 8 lo muestra con la capa de Copérnico y la Figura 9 lo hace con la capa resultado de este trabajo.



Figura 7: Segmento del río Trabancos (1956-57)



Figura 8: Segmento del río Trabancos con la capa Copérnico (1956-57)



Figura 9: Segmento del río Trabancos con la zona riparia (1956-57)

En algunas partes de la zona ribereña se pueden encontrar zonas de cultivo. Por lo tanto, estas áreas deben ser restadas al calcular el área total de la zona con vegetación riparia. Por este motivo, se han creado capas para dibujar los polígonos que representan estas áreas.

En las siguientes imágenes se muestran dos áreas de cultivo que han modificado la vegetación de ribera para el río Guareña. La Figura 10 representa el área del río tomada como ejemplo, mientras que la Figura 11 muestra el área ribereña en azul, previamente dibujada, de este fragmento del río. La última imagen (Figura 12) utilizada para ilustrar este ejemplo distingue dos capas, la zona ribereña en azul y los cultivos en naranja, cuya superficie se restará del área de la zona ribereña del río. Esto proporcionará un valor más apropiado para el área de la zona ribereña.



Figura 10: Segmento del río Guareña (2017)



Figura 11: Segmento del río Guareña con la zona riparia (2017)



Figura 12: Segmento del río Guareña con la zona riparia y los cultivos (2017)

En un segundo paso, se han examinado las áreas boscosas de cada zona ribereña para ambos años, para conocer la superficie de las zonas ribereñas, pero también la superficie que representa los árboles en estas zonas. Esto nos permitió tener un análisis más preciso sobre la evolución de las zonas riparias.

Para diseñar estas zonas boscosas se han creado nuevas capas en el software QGIS, una para cada año y para cada río. Luego, los polígonos que representan las áreas boscosas se dibujaron a mano utilizando las herramientas del programa.

Las siguientes seis imágenes (figuras 13 a 18) corresponden a un segmento del río Zapardiel. Las tres primeras imágenes ilustran el año 2017, mientras que las tres últimas ilustran los años 1956-57. Las imágenes de la izquierda (figuras 13 y 16) muestran sólo la foto aérea. En las imágenes centrales (figuras 14 y 17) se superpuso la capa del área boscosa. Finalmente, en las imágenes de la derecha (figuras 15 y 18) podemos ver la zona boscosa y la zona ribereña (en violeta para 2017, en rojo para 1956-57).



Figura 13: Segmento del río Zapardiel (2017)



Figura 14: Segmento del río Zapardiel con la zona arbolaría (2017)



Figura 15: Segmento del río Zapardiel con zona riparia y arbolada (2017)



Figura 16: Segmento del río Zapardiel (1956-57)



Figura 17: Segmento del río Zapardiel con la zona arbolaría (1956-57)

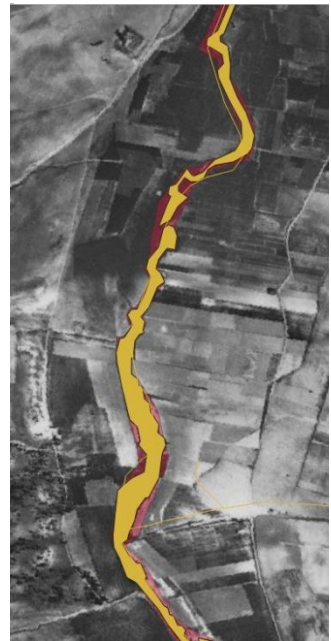


Figura 18: Segmento del río Zapardiel con las zonas riparia y arbolaría (1956-57)

En cuanto a las láminas de agua, el trabajo se ha realizado utilizando la capa disponible en la aplicación Mírame de la web de la Confederación Hidrográfica del Duero, que contiene los humedales denominada “Lagos_HumedalesPolygon” y fue realizada a fecha 30-12-2007.

A continuación, se procedió a su recorte con la poligonal de la Masa de Agua Subterránea de Medina del Campo, para mantener sólo los humedales del área de estudio. Después se realizó una clasificación para mantener solamente humedales de más de media hectárea, resultando un total de 296 polígonos, que fueron analizados con imágenes satelitales de 2017 y 1956-57. Estos polígonos fueron eliminados si el humedal no se reconoció en la imagen, o modificados atendiendo a la imagen que ofrecen las fotos de los años estudiados.

Para ilustrar este proceso, se puede ver un ejemplo específico en las figuras 19 a 22. Después de superponer la capa correspondiente a los humedales descargada de Mírame sobre imágenes aéreas y satelitales, se observa un polígono que representa un humedal intacto (figuras 19 y 20). Tras el análisis de las imágenes de satélite, se pueden ver las modificaciones realizadas en las capas. Para el año 2017 se reconoce que el humedal ya no está presente, por lo que el polígono se elimina (Figura 21). En el caso de los años 1956-57, se observa la presencia de un lago, por lo que se modifica la forma del polígono para que se ajuste a la forma de la lámina de agua (Figura 22).



Figura 19: Humedal predefinido superpuesto a la imagen satelital de 2017

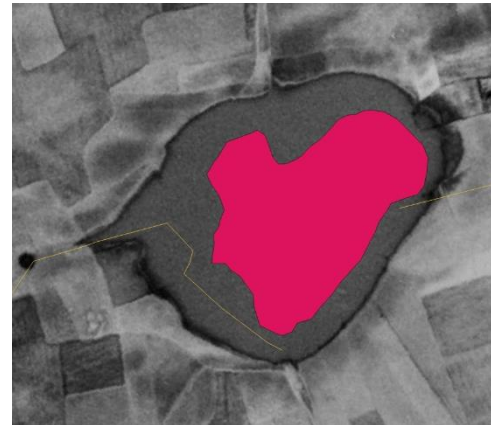


Figura 20: Humedal predefinido superpuesto a la imagen satelital de 1956-57



Figura 21: Humedal eliminado tras el análisis de la imagen satelital de 2017

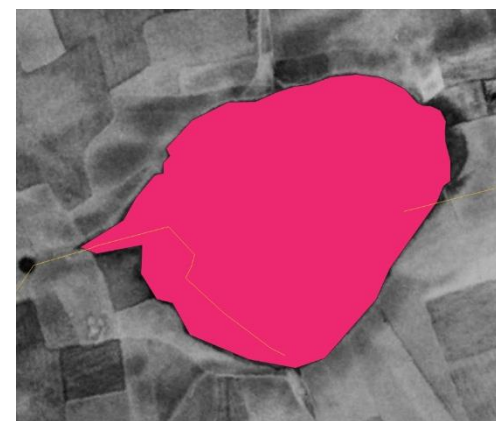


Figura 22: Área del humedal modificada tras el análisis de la imagen satelital de 1956-57

El último parámetro a determinar es la longitud de los ríos con flujo activo, es decir, se trata de comprobar desde dónde y hasta dónde el río tiene agua mediante las imágenes satélites. Se crearon capas para cada río y se dibujaron líneas para identificar los tramos de los ríos donde hay agua. Solo ha sido posible hacerlo para las imágenes de 2017, ya que la calidad de las fotos aéreas de los años 1956-57 no es suficientemente para poder identificar la longitud de los ríos con flujo activo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Cartografía de vegetación de ribera y su evolución temporal

En las figuras 23 a 30 se puede observar las zonas riparias de los cuatro ríos en 1956-57 y en 2017.

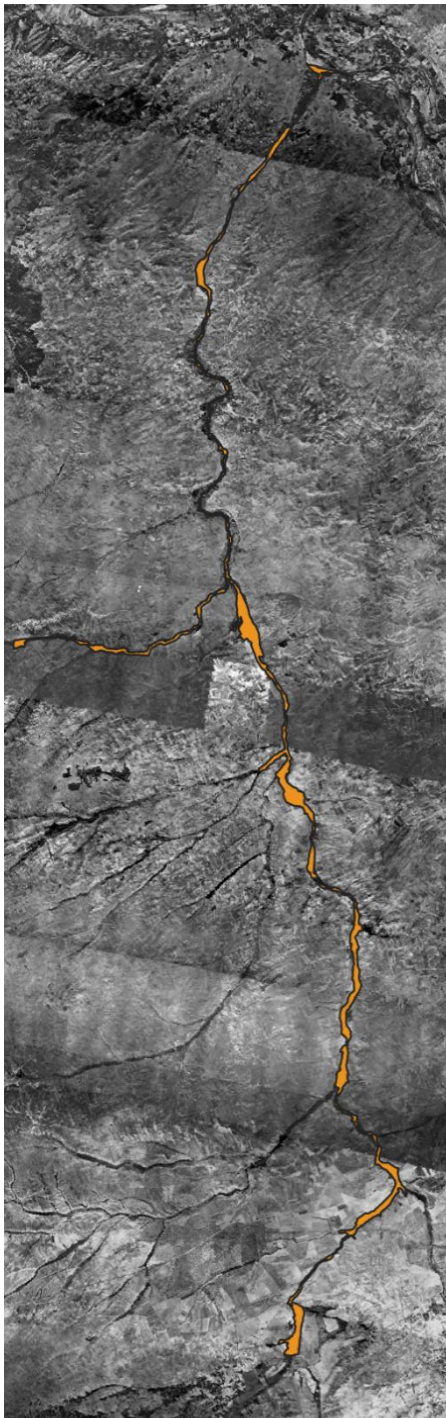


Figura 23: Representación de la zona riparia del río Guareña en 1956-57

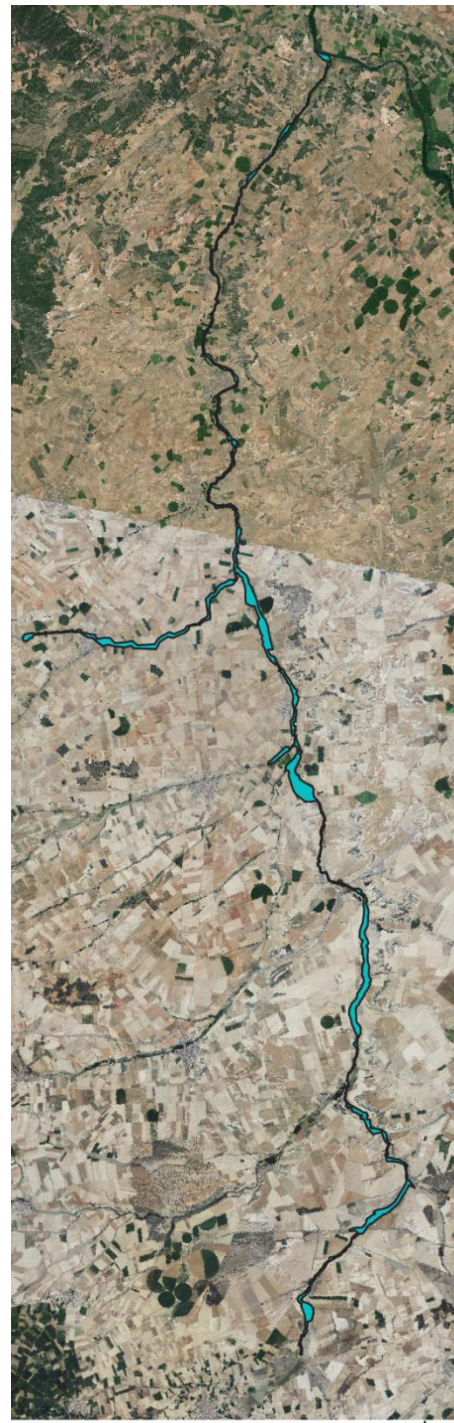


Figura 24: Representación de la zona riparia del río Guareña en 2017

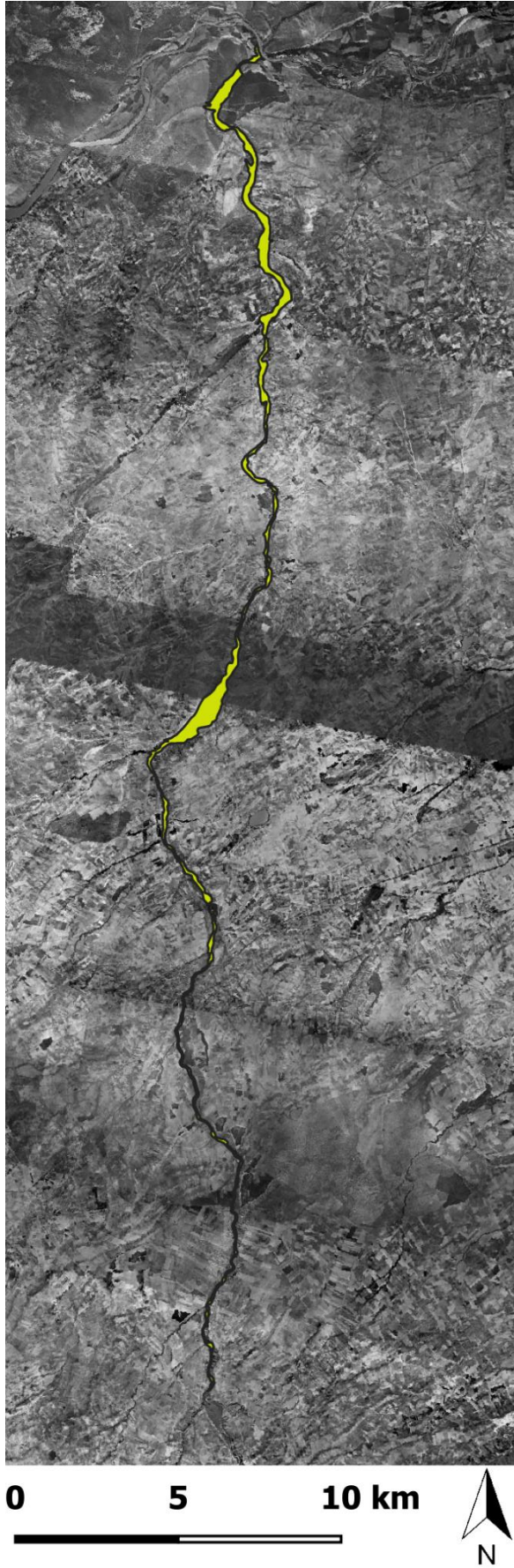


Figura 25: Representación de la zona riparia del río Trabancos en 1956-57



Figura 26: Representación de la zona riparia del río Trabancos en 2017

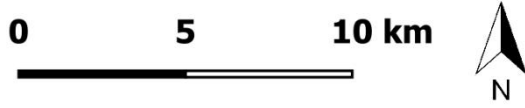
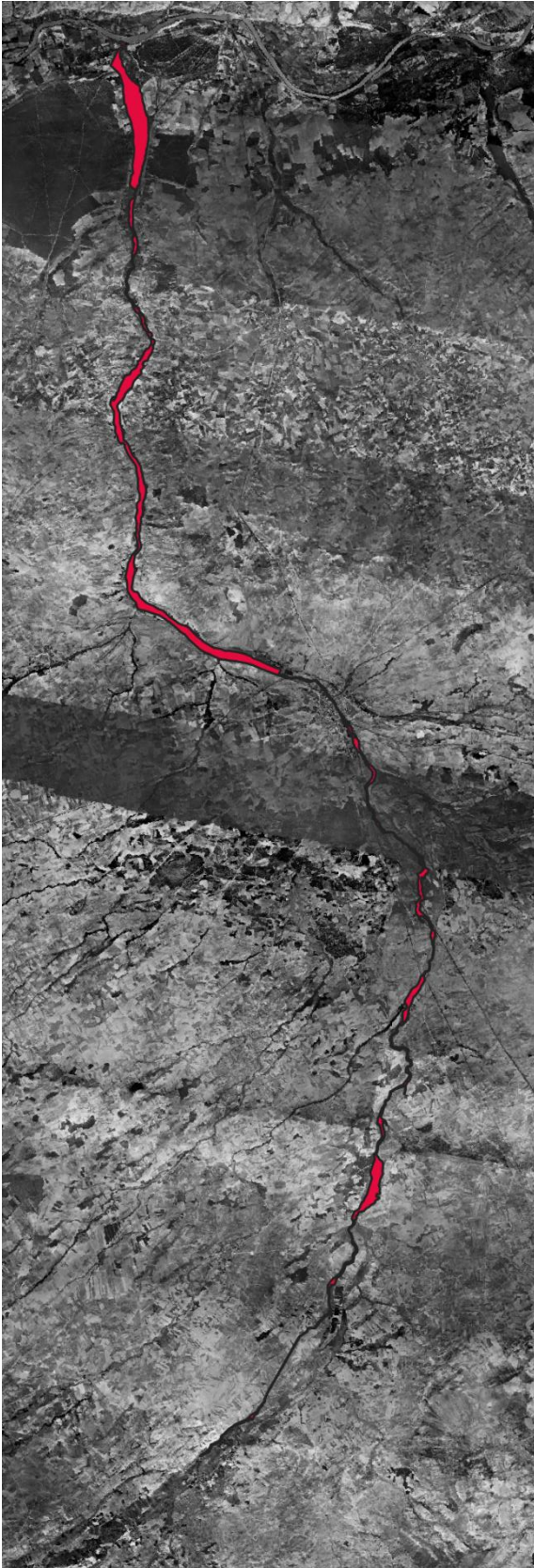


Figura 47: Representación de la zona riparia del río Zapardiel en 1956-57

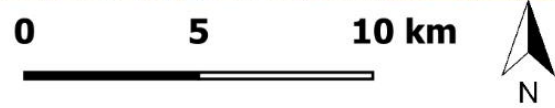


Figura 28: Representación de la zona riparia del río Zapardiel en 2017

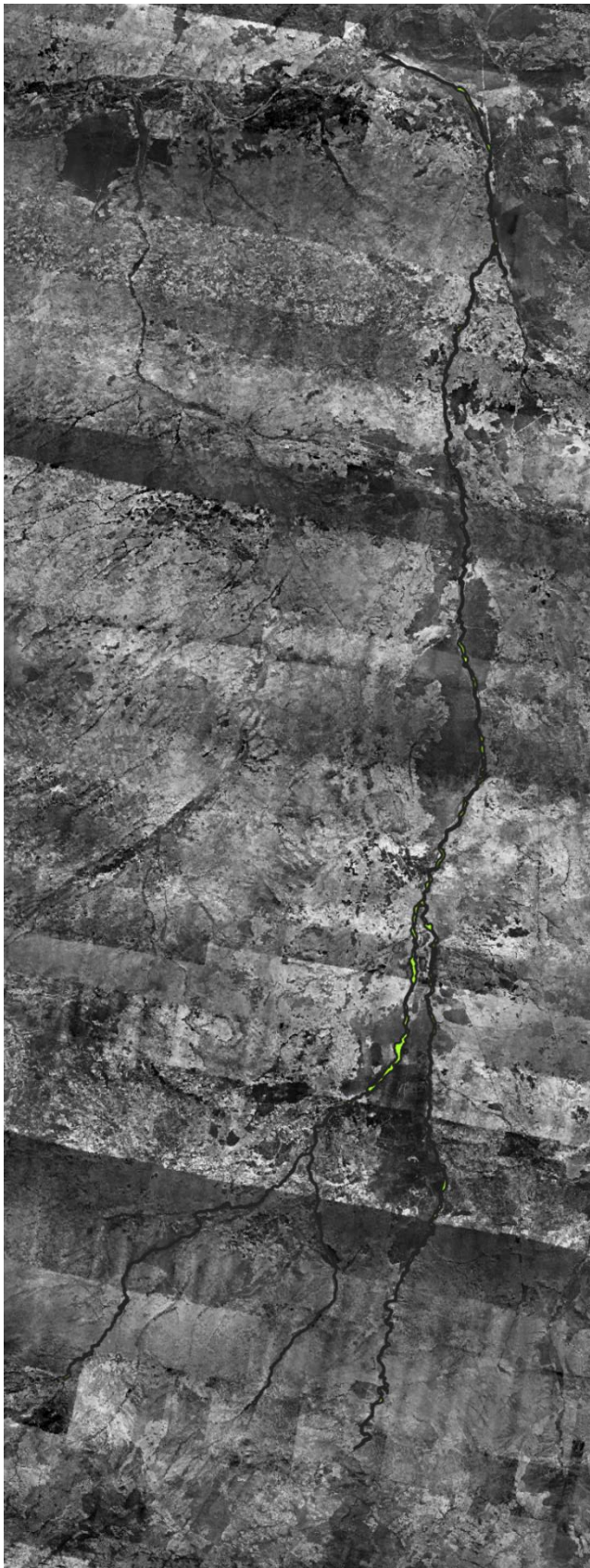


Figura 29: Representación de la zona riparia del río Adaja en 1956-57



Figura 30: Representación de la zona riparia del río Adaja en 2017

Una vez dibujadas todas las zonas ribereñas de los diferentes ríos y años, se tomaron los datos de áreas disponibles en las correspondientes tablas de atributos, a las que se les restó las áreas correspondientes a zonas riparias ocupadas por cultivos. Los resultados se muestran en las tablas 3 y 4. Esta última, también incluye el dato de superficie ocupada por árboles.

Tabla 3: Superficies de cultivos (ha) calculadas para cada año y río

	Superficie cultivos 2017 (en ha)	Superficie cultivos 1956-57 (en ha)
Guareña	1,92	17,86
Trabancos	2,26	-
Zapardiel	16,46	14,73
Adaja	15,30	-

Tabla 4: Superficies de las zonas riparias y arboladas (ha) calculadas para 2017 y 1956-57

	Superficie de zona riparia en 2017 (en ha)	Superficie de zona arbolada en 2017 (en ha)	Superficie de zona riparia en 1956-57 (en ha)	Superficie de zona arbolada en 1956-57 (en ha)
Guareña	727,30	124,87	977,06	199,17
Trabancos	411,77	46,68	647,32	135,82
Zapardiel	420,55	4,66	734,9	57,92
Adaja	1630,61	391,33	1799,24	228,05

La Tabla 5 muestra los porcentajes de vegetación de ribera existen en 2017 con respecto a la de la década de 1950.

Tabla 5: Evolución estimada de la superficie de las franjas de vegetación entre 1956-57 y 2017

	Guareña	Trabancos	Zapardiel	Adaja
Porcentaje de la zona riparia en 2017 respecto a la superficie de 1956-57	73%	64%	58%	91%
Porcentaje de la zona arbolada en 2017 respecto a la superficie de 1956-57	63%	34%	8%	172%

Los resultados son claros, el área ocupado por la zona riparia para los cuatro ríos en estudio han disminuido entre la década de 1950 y la actualidad. En cuanto a la evolución de vegetación de ribera, en todos casos es también menor. Además, se observa una disminución de las superficies más significativa en los ríos Trabancos y Zapardiel. Para todos los ríos, ya sea la zona riparia o la zona arbolada, los cambios se localizan a lo largo de toda la longitud de los ríos. Al respecto de las zonas con plantas de porte arbóreo cartografiadas llama especialmente la atención el porcentaje de cambio para

el río Adaja, siendo drásticamente superior para 2017. Esto se atribuye a actuaciones de reforestación no directamente relacionadas propiamente con actuaciones en riberas entre este periodo. Ahora forman en parte la zona riparia del río y en muchos casos hacen parte de la zona arbolada del Adaja.

Las posibles causas de los cambios observados podrían ser el aumento de los usos de la tierra, el cultivo intensivo, las tomas de aguas subterráneas concentradas en los aluviales y, probablemente, el calentamiento global. La consecuencia directa es el aumento de la evaporación del agua superficial y subterránea poco profunda, el descenso del nivel freático y la modificación de los componentes del suelo. Eso tiene un impacto directo sobre la zona riparia de los ríos, que permanece seca la mayor parte del año, y la vegetación de gran tamaño disminuye.

5.2 Cartografía de láminas de agua y evolución de su superficie

Se han cartografiado las lagunas de la Masa del Agua Subterránea de Medina del Campo que presentan una poligonal con un área de media hectárea o superior. En la Figura 31 se muestra la poligonal de la Masa del Agua Subterránea de Medina del Campo y todas las lagunas identificadas dentro de la misma para el periodo 1956-57 y en la Figura 32 se muestran las lagunas cartografiadas para el año 2017.

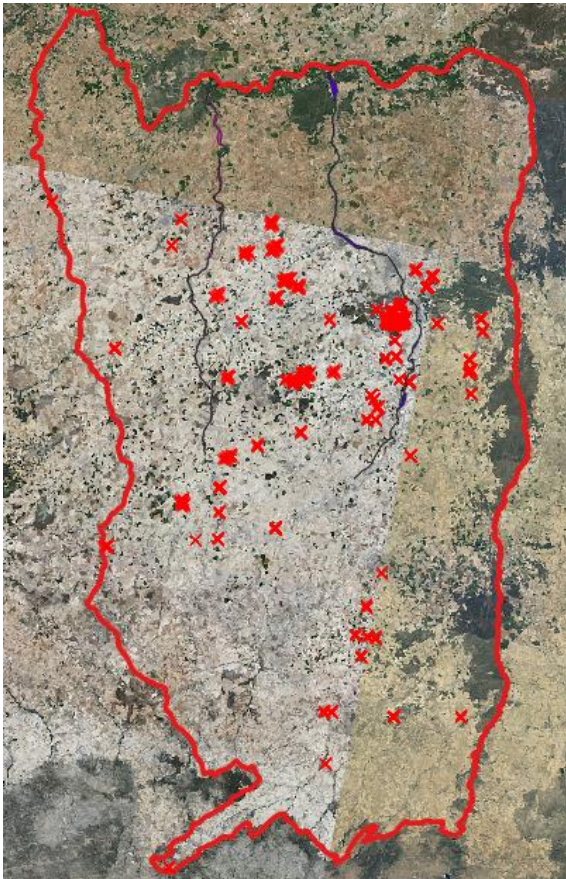


Figura 31: Cartografía de los humedales (>0,5 ha) en 1956-57



Figura 32: Cartografía del humedal (>0,5ha) en 2017

La Tabla 6 sintetiza el número de humedales y el área total ocupada por estas láminas de agua de más de media hectárea para los dos períodos de estudio. En la Tabla 7 se relaciona el número de humedales y la superficie total de los mismos en 2017 con respecto a la década de 1950, siendo nuevamente el cambio una disminución alarmante.

Tabla 6: Número y superficie total de los humedales de más de media hectárea para los años 1956-57 y 2017

	2017	1956-57
Número de humedales	1	88
Superficie total de los humedales (en ha)	1,41	305,17

Tabla 7: Evoluciones del número y de la superficie total de los grandes humedales entre 1956-57 y 2017

	Entre 1956-57 y 2017
Diferencia del número de los humedales	87 humedales es decir 99%
Porcentaje de la superficie total de humedales en 2017 respecto a la de 1956-57	0,5%

Se observa que casi todos los humedales de 1956-57 han desaparecido en 2017, queda uno solo en toda la Masa de Agua Subterránea. Se han secado completamente y en algunos casos se encuentran ocupados por cultivos.

Las posibles causas de los cambios observados podrían ser las mismas dichas en la parte 5.1 en cuanto a la evolución de la zona riparia, es decir el aumento de los usos de la tierra, el cultivo intensivo, las tomas de aguas subterráneas intensas y el calentamiento global.

En cuanto a la localización de los humedales con respecto a la Masa de Agua Subterránea de Medina del Campo, se puede observar en las figuras 31 y 32. La línea roja representa el contorno de la Masa de Agua Subterránea y las cruces rojas indican el lugar de los humedales.

En los años 50, los humedales se sitúan principalmente en la parte superior central de la Masa de Agua Subterránea de Medina del Campo, entre el río Trabancos, al oeste, y el río Zapardiel, al este. En cuanto al imagen satélite de 2017, se observa una única cruz roja correspondiente al único humedal que queda en este año. Este humedal está situado al este del Trabancos y en la parte superior central de la Masa de Agua Subterránea.

5.3 Cartografía de cauces con flujo activo

Dada la calidad de las imágenes, solo ha sido posible determinar la longitud del flujo activo para las imágenes de satélite del año 2017 (Figura 33). En gris, se puede observar la superficie de la Masa de Agua Subterránea de Medina del Campo. Además, la red hidrográfica de la zona de estudio está representada en amarillo. El azul indica el flujo activo de los cuatro ríos.

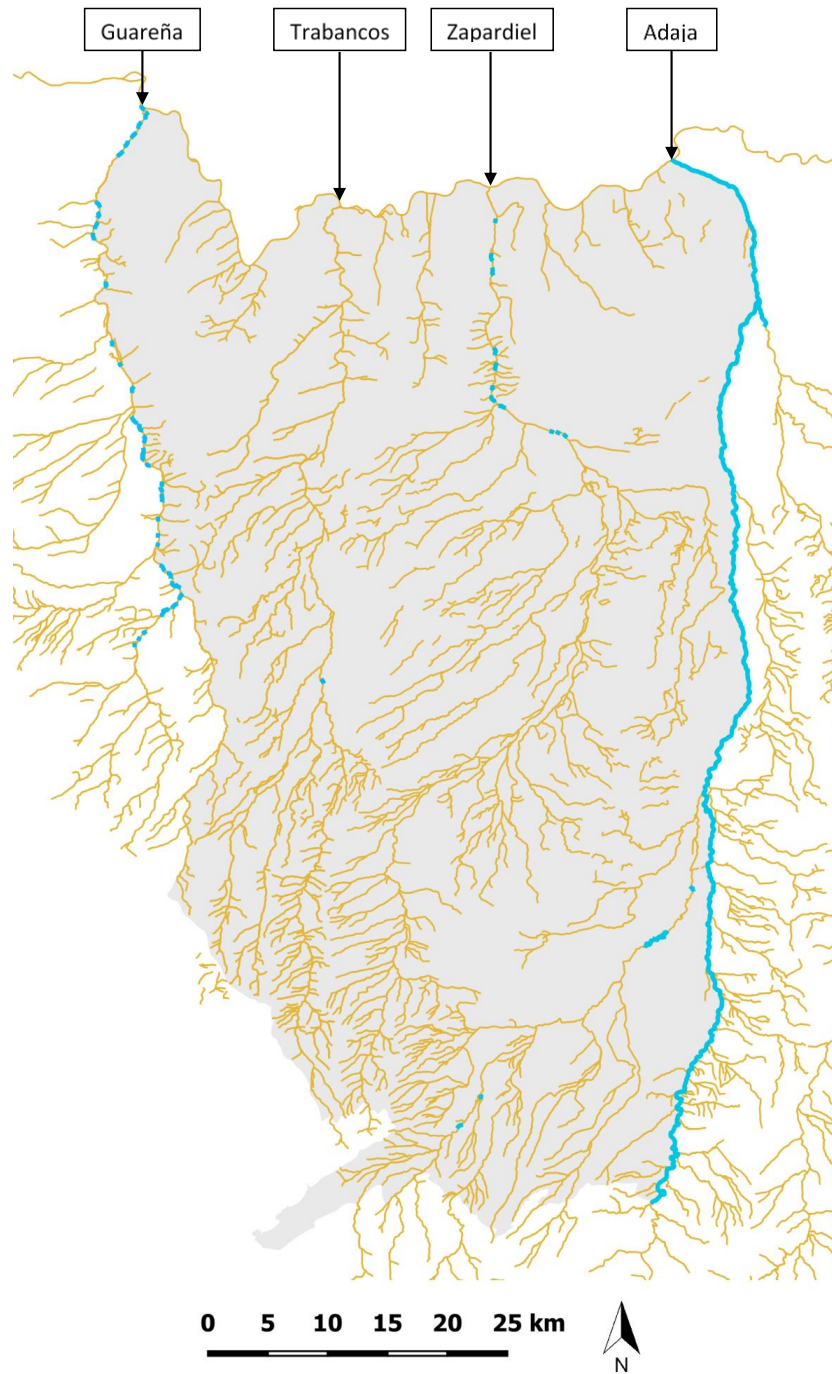


Figura 33: Cauces existentes (amarillo) y tramos con flujo activo de agua (azul) en verano de 2017

Los valores de la longitud de cauce con flujo activo se indican en la Tabla 8.

Tabla 8: Longitud de los cauces con flujo activo en 2017

	Guareña	Trabancos	Zapardiel	Adaja
Longitud del cauce con flujo activo en 2017 (en m)	22.491	93	5.311	116.637

La Tabla 9 permite conocer el porcentaje de la longitud total de los ríos que tiene agua. Para eso, se tomaron los datos de longitud de los ríos de la Tabla 1.

Tabla 9: Cuantificación de la longitud de cauce con flujo activo comparado a la longitud total de los ríos

	Guareña	Trabancos	Zapardiel	Adaja
Longitud total del río (en m)	65.120	81.650	105.100	176.260
Porcentaje de longitud de cauce con flujo activo en 2017 respecto a la longitud total	35%	0,1%	5%	66%

El caso del río Adaja es singular porque su régimen hidráulico está regulado por la presencia de varias presas, y entre ellas la presa del Castro de las Cogotas construida en 1994 (59 hm³). Los ríos Trabancos y Zapardiel están casi totalmente secos en verano de 2017. En cuanto al río Guareña, es complicado determinar el flujo activo debido a que los árboles no permiten ver el agua. Sin embargo, se ha estimado que un tercio de su longitud total tiene agua. Se puede observar en la Figura 33 que hay varios tramos del río Guareña con agua, tanto río arriba como río abajo o a mitad del río. Esto sugiere que el río gana y pierde agua subterránea a lo largo de su recorrido, posiblemente controlado por la ubicación de los pozos que extraen agua subterránea del aluvial del río.

6. CONCLUSIONES

El Trabajo Fin del Máster realizado en el marco del proyecto NAIAD permitió conocer la evolución de las zonas ribereñas de cuatro ríos, Guareña, Trabancos, Zapardiel, Adaja y los grandes humedales (>0,5 ha) presentes en el área de estudio de la Masa de Agua Subterránea de Medina del Campo entre los años 1956-57 y 2017. Gracias a las imágenes satelitales de estos diferentes años, el software QGIS así como la capa de Copérnico, las zonas ribereñas de estos ríos, las zonas arboladas, el flujo activo y los grandes humedales pudieron ser cartografiados.

Todas las áreas de zonas ribereñas disminuyeron entre los años 1950 y 2017. Sin embargo, para dos ríos, el Trabancos y el Zapardiel, la disminución es significativamente mayor que para los ríos Guareña y Adaja. Luego, en cuanto a los humedales de más de media hectárea en la Masa del Agua Subterránea de Medina del Campo, la diferencia es tal que los humedales han desaparecido casi todos en 60 años, había 88 lagunas en 1956-57 y hay sólo una en 2017. Además, sólo el Guareña y el Adaja tienen un tramo con flujo activo bastante largo en 2017, sabiendo que el Adaja está hoy controlado por varias presas. Los ríos Trabancos y Zapardiel están casi completamente secos.

Las razones de estas disminuciones están probablemente relacionadas, por ejemplo, con el aumento del uso de la tierra, la agricultura intensiva, la extracción intensiva de aguas subterráneas y el calentamiento global. Esto conduce a un aumento de la evaporación de las aguas superficiales y subterráneas, a un descenso del nivel freático, a la modificación de los componentes del suelo, etc. Eso tiene un impacto directo sobre la zona riparia de los ríos, que permanece seca la mayor parte del año, y la vegetación de gran tamaño disminuye.

En cuanto a la zona arbolada de las zonas ribereñas de los cuatro ríos, también han disminuido por las mismas razones, excepto en el caso del río Adaja, donde se ha producido un claro incremento. Esto puede explicarse por la reforestación entre los años 50 y hoy, así como por la construcción de varias presas.

Desde el punto de vista académico, la autora destaca que ha aprendido el manejo de una herramienta informática de tratamiento de datos muy útil, el QGIS; ha conocido cuáles son las principales fuentes de información pública sobre la gestión del territorio y el agua y de imágenes aéreas del territorio europeo, ha aprendido a obtener dicha información, a realizar cálculos espaciales sobre ella y cuantificar cambios temporales, y a proponer hipótesis para explicar los cambios observados.

7. RECOMENDACIONES Y LINEAS DE TRABAJO FUTURAS

Con el fin de validar los resultados obtenidos durante este proyecto, sería bueno visitar el área de estudio para realizar observaciones en cuanto a la máxima actualidad. En efecto, por ejemplo, para los tramos de río con flujo activo, en varios lugares de las imágenes de satélite no es posible identificar con certeza la presencia de agua o no porque los árboles lo impiden.

Además, sería interesante comparar las diferentes áreas de estudio según las diferentes estaciones del año.

Para compensar esta disminución de la superficie ribereña, de la vegetación ribereña y del flujo activo de los distintos ríos, sería imperativo cambiar los comportamientos de la población local relativos a la gestión del terreno, el agua y la agricultura.

En primer lugar, los cultivos deben adaptarse al clima de la zona en la que se cultivan. Si la zona tiene pocos recursos hídricos, es necesario, por lo tanto, planificar los cultivos en consecuencia. Por lo tanto, es necesario supervisarlos y gestionarlos. Debemos optar por una agricultura más sostenible, es decir, debemos utilizar tecnologías y prácticas que no tengan efectos perjudiciales sobre los recursos naturales. Hay que acompañar los agricultores en este tipo de proceso.

En segundo lugar, para ayudar a conservar la vegetación ribereña, sería posible replantar árboles que podrían resistir al clima. Su conservación es tanto más importante cuanto que alberga una gran diversidad biológica.

8. BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFÍA

- [1] NAIAD. NAIAD 2020 Nature Insurance value: Assessment and Demonstration. [<http://naiad2020.eu/>] (consultado el 7 de octubre de 2019)
- [2] CEDEX, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Guía visual interactiva de la vegetación de ribera española. [<http://vegetacionderibera.cedex.es/intro.php>] (consultado el 12 de julio de 2019)
- [3] Clerici, N.; Weissteiner, C. J.; Paracchini, M. L.; Boschetti, L.; Baraldi, A.; Strobl, P. Pan-European distribution modelling of stream riparian zones based on multi-source Earth Observation data. *Ecological Indicators* 24 (2013) 211-223.
- [4] Henshaw, A. J.; Gurnell, A. M.; Bertoldi, W.; Drake, N. A. An assessment of the degree to which Landsat TM data can support the assessment of fluvial dynamics, as revealed by changes in vegetation extent and channel position, along a large river. *Geomorphology* 202 (2013) 74-85.
- [5] Tulbure, M. G.; Broich, M.; Stehman, S. V.; Kommareddy, A. Surface water extent dynamics from the three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region. *Remote Sensing of Environment* 178 (2016) 142-157.
- [6] Siddiqui, M.N.; Jamil, Z.; Afsar, J. Monitoring changes in riverine forests of Sindh-Pakistan using remote sensing and GIS techniques. *Advances in Space Research* 33 (2004) 333-337.
- [7] Confederación Hidrográfica del Duero (2015) Plan Hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero. 25 pp. [<http://www.chduero.es/Inicio/Planificación/Planhidrológico20152021/PlanHidrológico/tabid/734/Default.aspx>]
- [8] Confederación Hidrográfica del Duero (2015) Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero (2015-2021). 486 pp. [<http://www.chduero.es/Inicio/Planificación/Planhidrológico20152021/PlanHidrológico/tabid/734/Default.aspx>]
- [9] Confederación Hidrográfica del Duero. Características generales de la cuenca del Duero [<http://www.chduero.es/Inicio/LacuencadelDuero/Característicasgenerales/tabid/86/Default.aspx>] (consultado el 5 de septiembre de 2019)
- [10] Camptocamp (consultado el 7 de octubre de 2019) Systèmes d'Information Géographique (SIG) [<https://www.camptocamp.com/solution/sig-qgis-udig/>]