



## Evolución y dinámica geomorfológica actual del río Ebro en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos (Zaragoza)

*Evolution and geomorphological dynamics in the Ebro River (Managed Natural Reserve of Sotos y Galachos, Zaragoza)*

Najes, L. <sup>(1)</sup>; Ollero, A. <sup>(1)</sup>; Sánchez Fabre, M. <sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.  
Calle Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza, España. lauranajes@yahoo.es

### Resumen

El río Ebro en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro ha generado cambios geomorfológicos notables debido a su propia funcionalidad, destacando por su dinámica fluvial muy activa en el contexto general del Ebro medio. Las imágenes aéreas de los años 1927, 1956, 1998, 2006 y 2015 han permitido cuantificar e interpretar dichos cambios. La comparación evolutiva de los cauces activos, el cálculo de superficies movilizadas y las medidas de desplazamiento de los vértices de meandro muestran una reducción progresiva en la actividad fluvial a lo largo de los últimos 90 años, debido a factores fundamentalmente antrópicos. Este hecho también se refleja en los datos obtenidos para usos de suelo. No obstante, el análisis detallado de la ortofoto de 2015 muestra la pervivencia de cierto dinamismo, asociado fundamentalmente a la crecida de ese mismo año, pero indicador también de la capacidad de trabajo geomorfológico del río Ebro en este tramo. El proceso de reducción o limitación de la dinámica parece haberse frenado en la actualidad, lo cual permitiría con las medidas de restauración fluvial adecuadas recuperar, al menos parcialmente, la movilidad geomorfológica del río.

**Palabras clave:** Río Ebro; dinámica fluvial; imágenes aéreas; crecidas; cambios geomorfológicos.

### Abstract

The Ebro River in the Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro has generated significant geomorphological changes due to its own functionality, standing out by its very active fluvial dynamics in the general context of the middle Ebro. The five aerial photographs of 1927, 1956, 1998, 2006 and 2015 years have permitted to evaluate and interpret these changes. The evolutionary comparison of active channel, the calculation of surface mobilized and the measurement of the displacement of the vertex of meander show



a progressive reduction in the fluvial activity along the last 90 years, due to anthropic factors fundamentally. This fact is also reflected in the percentages obtained for land uses. However, the detailed analysis of 2015 orthophoto shows the survival of certain dynamism, mainly associated with the flood of the same year. In the same way, it is an indication of the capacity of geomorphologic change in this stretch of the river. The process of reduction or limitation of the dynamic seems to have stopped nowadays, which would allow recovering partially the geomorphologic mobility of the river with fluvial restoration measures.

**Key words:** Ebro river; river dynamics; aerial imagery; floods; geomorphological changes.

## 1. Introducción

Los ríos meandriformes de llanura destacan por la intensa capacidad de cambio de sus cauces y llanuras de inundación, por lo que han sido objeto de estudio fundamental de la geomorfología fluvial (Lewin, 1978; Gurnell, 1997; Nádudvari y Czajka, 2014), siendo bien conocidos sus mecanismos (Leopold y Wolman, 1960; Stølum, 1996, 1998; Camporeale *et al.*, 2005; Hooke, 2007; Dépret *et al.*, 2015). Sin embargo, son escasos los tramos meandriformes libres que cuentan con figuras de protección asociadas a esta dinámica geomorfológica.

En la Península Ibérica destaca el curso medio del Ebro, que desarrolla desde Logroño, y en un total de 345 km de recorrido, un cauce muy dinámico de meandros libres en una extensa llanura de inundación (Ollero, 1992). Uno de los tramos de mayor dinámica reciente es el que corresponde al área de estudio, situada aguas abajo de Zaragoza (Figura 1). Se ha seleccionado esta área por su dinámica y por contar con una figura de protección singular desde 1991 (Figura 1A), ampliada en 2011 con un segundo tramo desconectado (Figura 1B), y actualmente denominada Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro. En 1998 se integró también en los LIC ES2430152 Galachos de la Alfranca de Pastriz y ES2430081 Sotos y Mejanas del río Ebro.

El tramo de estudio es representativo en el contexto del Ebro medio, con una anchura

media de la llanura de inundación de 4,9 km, una pendiente del valle del 0,07% y una pendiente del cauce del 0,05%. La activa dinámica del cauce menor en este tramo fue estudiada por Ollero (1995), quien explicó los cambios más significativos acontecidos en la primera mitad del siglo XX. Sin embargo, era necesario reanalizar y reinterpretar esos cambios con las nuevas herramientas actualmente disponibles, así como actualizar el estudio evolutivo incorporando al mismo los últimos 25 años.

En estas dos últimas décadas y media se han producido importantes eventos de crecida (Sánchez Fabre *et al.*, 2015). Estos fenómenos naturales son el mayor exponente del dinamismo del río, y uno de los principales agentes de cambio morfológico en el cauce y sus márgenes. La Confederación Hidrográfica del Ebro ha revisado recientemente los datos, pudiéndose contabilizar desde 1992 hasta nueve episodios con caudales superiores a 2000 m<sup>3</sup>/s en el aforo de Castejón. Seis han registrado un caudal máximo instantáneo por encima de dicho valor en Zaragoza (Tabla 1). Los caudales alcanzados durante estos eventos desbordan el cauce del río Ebro y extienden la lámina de agua por una parte de la llanura de inundación, intensificando con ello los procesos de erosión y sedimentación, así como los cambios morfológicos y la interacción con la biota.

El objetivo de este trabajo es completar y mejorar el análisis evolutivo en su morfología

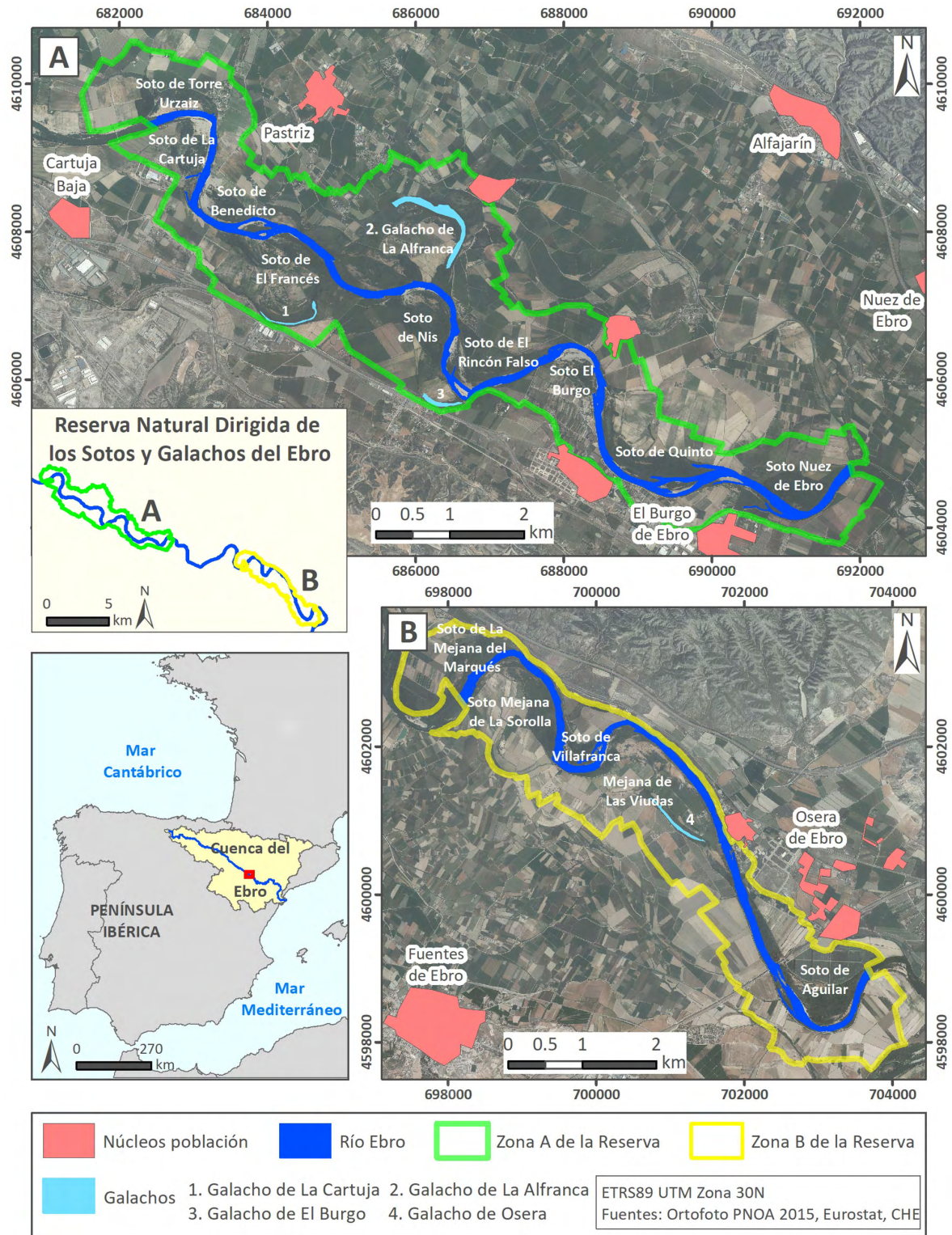


Figura 1: Localización de la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro.

Figure 1: Location of Managed Natural Reserve of Sotos y Galachos del Ebro.



Tabla 1: Fechas y caudales punta de las principales crecidas del Ebro medio en los últimos 25 años. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro. Nota: Los datos correspondientes al episodio de 2018 no están validados.

Table 1: Dates and peak flows of the main floods of the Middle Ebro in the last 25 years. Source: Confederación Hidrográfica del Ebro. Note: The data corresponding to the 2018 episode are not validated.

CASTEJÓN		TUDELA		ZARAGOZA	
Fecha episodio	Caudal m <sup>3</sup> /s	Fecha episodio	Caudal m <sup>3</sup> /s	Fecha episodio	Caudal m <sup>3</sup> /s
10/12/1992	2380			11/12/1992	2301
27/12/1993	2595			29/12/1993	2140
22/01/1997	2380			24/01/1997	2004
06/02/2003	2847			09/02/2003	2237
03/04/2007	2282	04/04/2007	2279	05/04/2007	1952
21/01/2013	2203	21/01/2013	2119	23/01/2013	1755
01/02/2015	2307	02/02/2015	2069	04/02/2015	1715
27/02/2015	2691	27/02/2015	2582	27/02/2015	2448
13/04/2018	2682	14/04/2018	2413	15/04/2018	2037

en planta de este tramo dinámico. Para ello se han analizado, cartografiado, cuantificado e interpretado los cambios que se han registrado en la geomorfología del cauce y en los usos del suelo de la llanura de inundación. El trabajo pretende también mostrar a un mayor detalle los cambios geomorfológicos derivados de la crecida e inundación de febrero-marzo de 2015, para comprobar la actividad actual del río. La mejora de conocimiento adquirida permitirá la puesta en valor de este tramo como ejemplo de dinámica meandri-forme, posiblemente el más interesante en el contexto peninsular. Esta dinámica geomorfológica es además fundamental para los ecosistemas asociados y en la gestión de este espacio fluvial protegido.

## 2. Material y método

En una primera fase se recopilaban y seleccionaron las imágenes aéreas. El desarrollo cartográfico se hizo a través del SIG ArcGIS 10.3.1. También se realizó trabajo de campo en el área de estudio identificando elementos y procesos y comprobando áreas que planteaban alguna duda en las imágenes. Se han combinado tres escalas de trabajo para

explicar la evolución, desde la general a la de mayor detalle.

### 2.1. Selección de información

Se revisaron diferentes imágenes áreas actuales e históricas de los servidores cartográficos (i) Instituto Geográfico Nacional de España (IGN), (ii) Infraestructura de Datos espaciales de Aragón (IDEAragón) y, (iii) Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Posteriormente se seleccionaron las fotos consideradas de mayor interés para el estudio por su distribución en el tiempo y su calidad.

Ya que el trabajo pretende analizar la evolución del río y los cambios experimentados con una perspectiva temporal, se han seleccionado imágenes aéreas a lo largo de nueve décadas, entre 1927 y 2015 (Tabla 2). La imagen de 1927 es previa a la regulación del río mediante embalses. La de 1956 refleja los cambios incipientes en la regulación del río tras la construcción de las primeras grandes infraestructuras. La ortofoto del SIG Oleícola de 1998 marca el último registro del siglo XX y permite visualizar los cambios acumulados durante 70 años. No se han trabajado vuelos intermedios por su inferior calidad visual.

Tabla 2: Imágenes utilizadas: procedencia y características.

Table 2: Used images: origin and characteristics.

Fecha imágenes	Organismo origen	Organismo acceso	Escala aproximada	Color imágenes
1927	Confederación Hidrográfica del Ebro	Confederación Hidrográfica del Ebro	1:10000	Blanco y Negro
1956/57	Instituto Geográfico Nacional (Vuelo Americano Serie B)	WMS IDEARagon	1:32000	Blanco y Negro
1998	Instituto Geográfico Nacional (SIG Oleícola)	WMS IDEARagon	1:10000	Blanco y Negro
2006	Varios Ministerios del Gobierno de España	Instituto Geográfico Nacional	Pixel 50 cm	Color
2015	Varios Ministerios del Gobierno de España	Instituto Geográfico Nacional	Pixel 50 cm	Color

Desde el año 2000 la disponibilidad de imágenes es mayor. Se ha optado por trabajar con las ortofotos de 2006 y 2015. La de 2006 se ha elegido porque constituye el punto intermedio entre las de 1998 y 2015 y por ser la foto disponible posterior a la crecida extraordinaria de 2003. En cuanto a la de 2015, su elección se ha hecho imprescindible, ya que en ella se recogen los cambios asociados a las crecidas de 2007, 2008, 2013 y muy especialmente al importante evento de 2015, ya que la fecha de la imagen aérea es inmediatamente posterior a la crecida.

A las fotos de 1956 y de 1998 se ha accedido a través del servicio WMS de la IDEARagón. De 2006 y 2015 se han podido descargar las ortofotos de PNOA del IGN correspondientes a la hoja 384 de Fuentes de Ebro a escala 1:50.000. Las fotografías aéreas de 1927 para la Reserva han sido facilitadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Están localizadas con una coordenada central y una georreferenciación precaria que contaba con desajustes entre los distintos fotoplanos de la Reserva. Para evitar errores derivados de este desajuste se han desechado, optándose por tomar la capa georreferenciada y publicada por Ollero *et al.* (2006). No se ha podido trabajar con el vuelo de 1946 por resultar muy

difícil la georreferenciación a partir de la calidad y escala de las imágenes.

## 2.2. Desarrollo cartográfico

Para conocer la evolución general experimentada por el cauce en su morfología en planta, se delimitaron las láminas de agua para cada año (Figura 2). Sobre esta cartografía básica se han identificado los puntos con cambios y se ha calculado la media de superficie movilizadas anualmente, siguiendo la metodología proporcionada en el trabajo de Granado *et al.* (2011), así como el desplazamiento de los vértices máximos de cada meandro o punto dinámico. Con todo ello ha sido posible cuantificar y analizar con detalle los cambios registrados entre cada fecha. La toponimia se ha retomado de los trabajos de Ollero (1992, 1995). Tanto la superficie movilizadas como el desplazamiento se han obtenido a partir de la generación de capas de polígonos y líneas con el programa ArcGIS. Posteriormente con herramientas de este mismo programa como "Calcular geometría" se han sacado las áreas y longitudes, respectivamente.

La cartografía geomorfológica de detalle, trabajada fundamentalmente con la ortofoto de 2015, representa elementos y superficies flu-

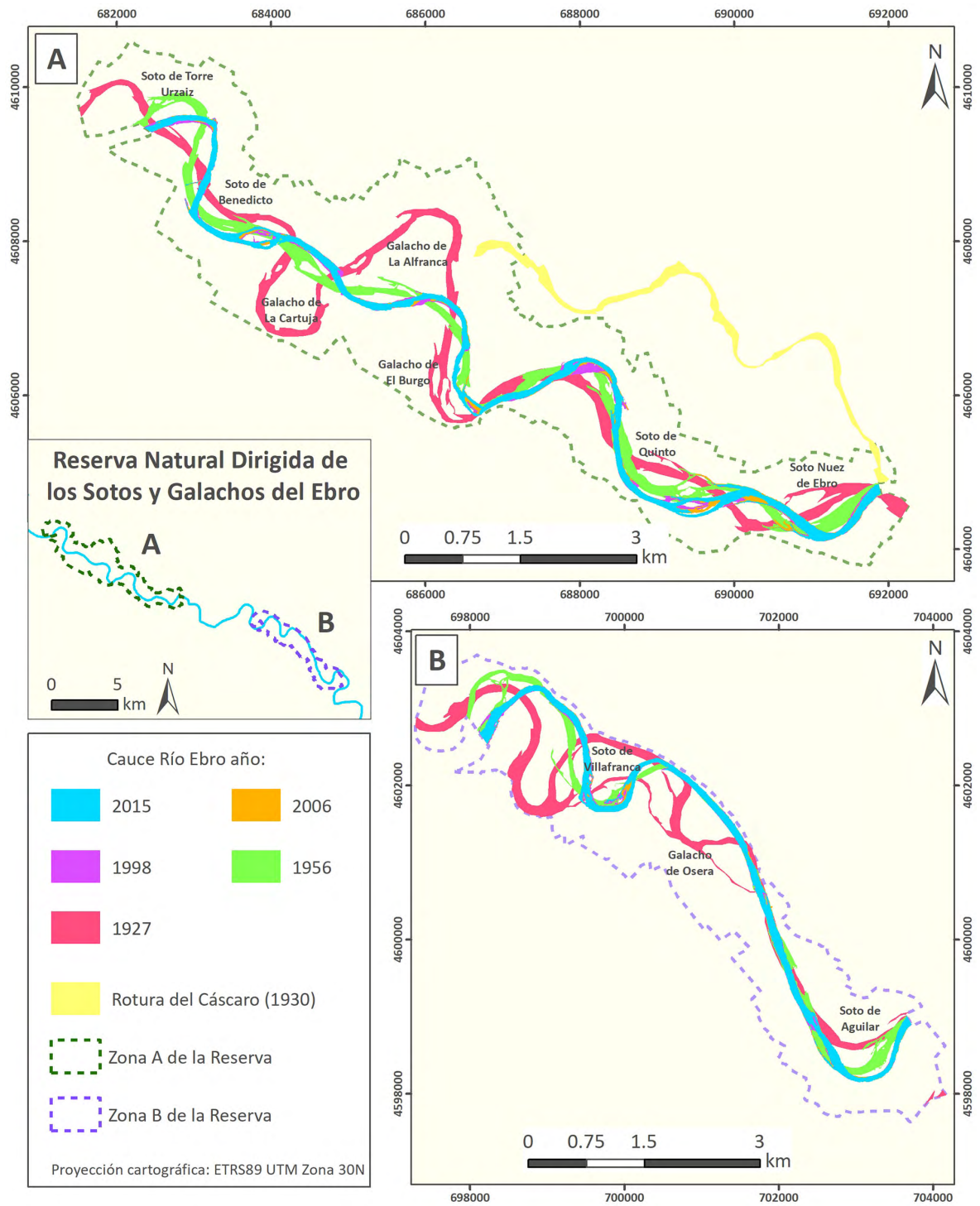


Figura 2: Evolución general de la lámina de agua en 1927, 1956, 1998, 2006 y 2015.

Figure 2: General evolution of water sheet in 1927, 1956, 1998, 2006 y 2015.

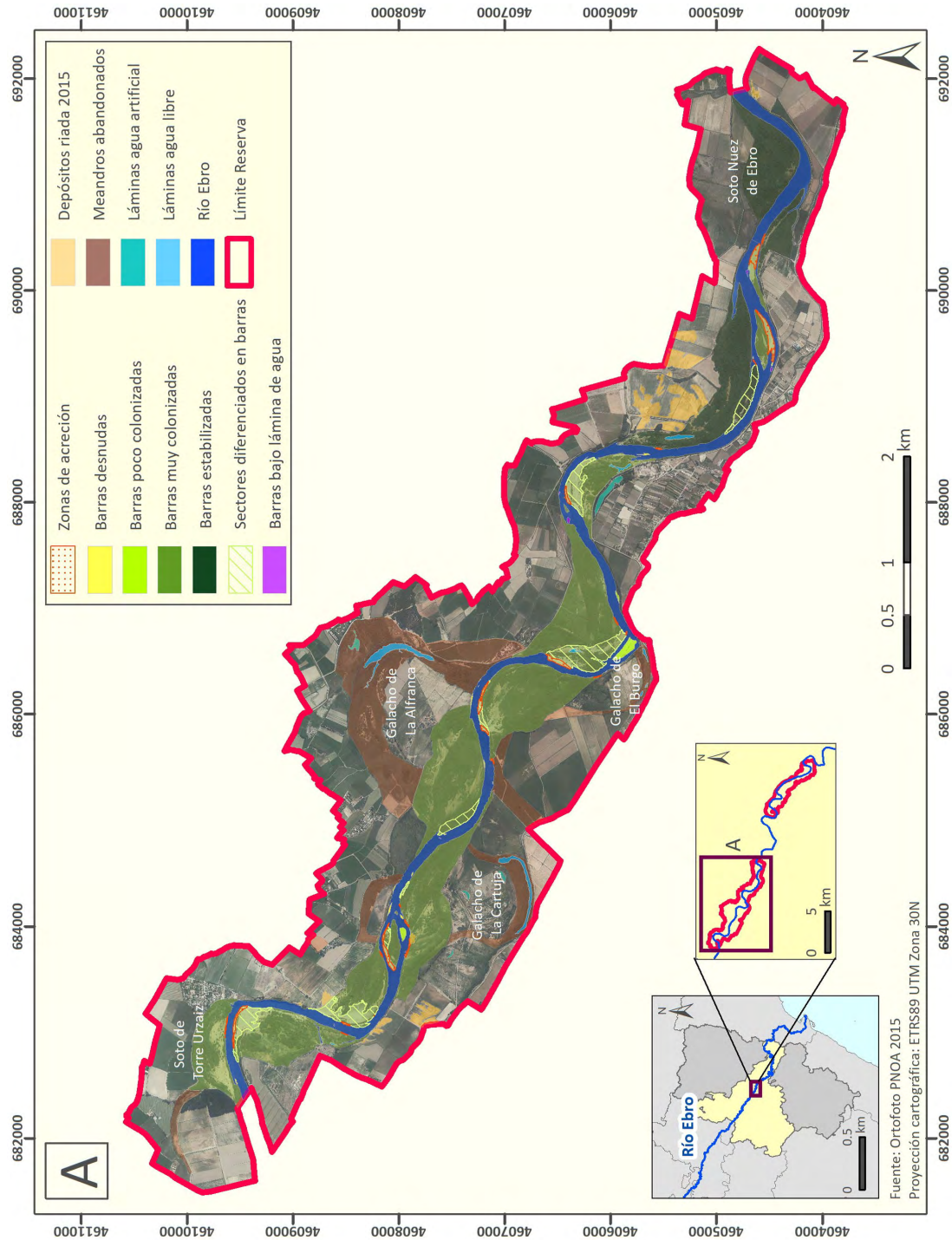


Figura 3: Cartografía geomorfológica de detalle para el primer tramo de la Reserva.  
 Figure 3: Geomorphological cartography of detail for the first stretch of the Reserve.



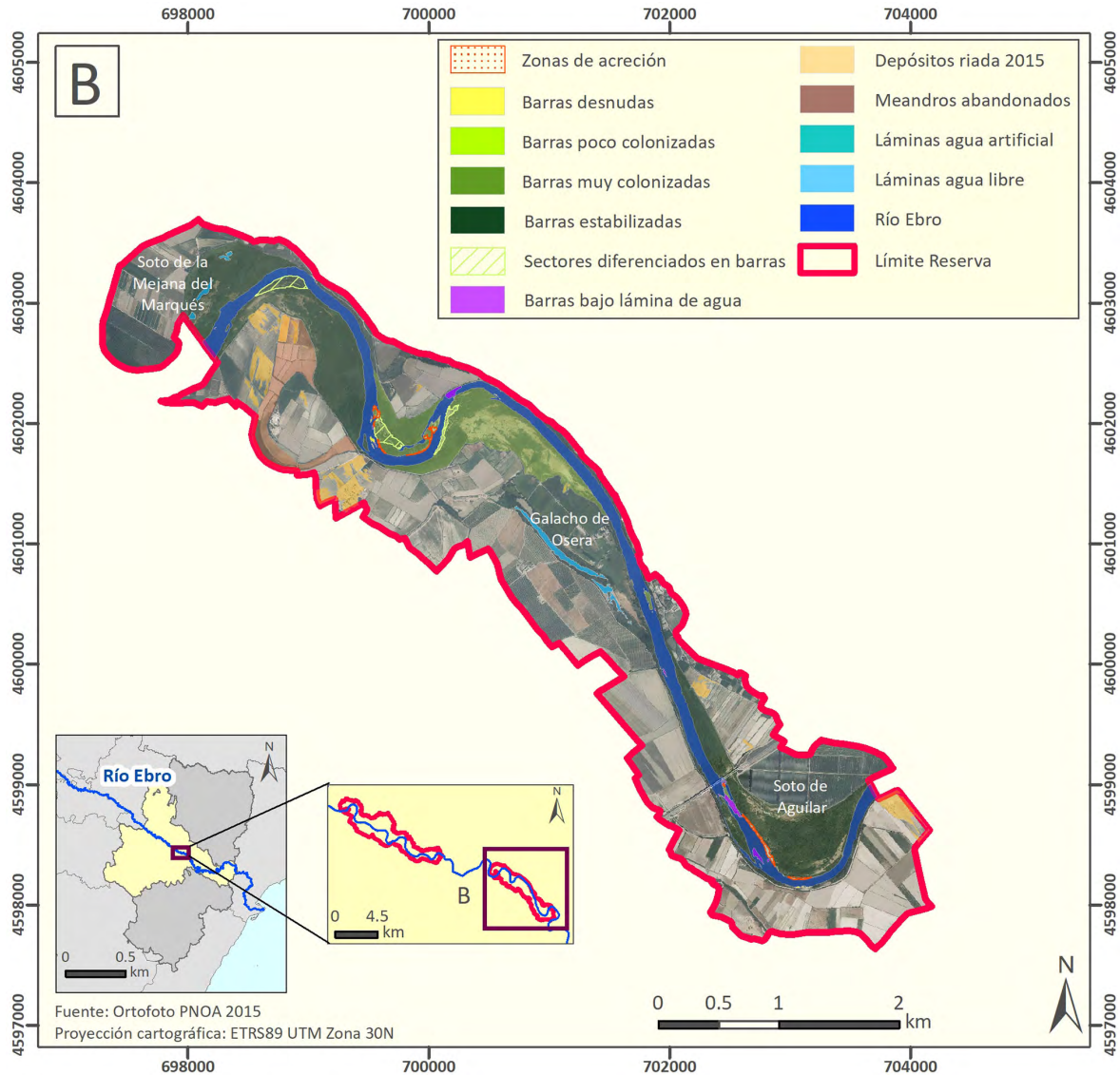


Figura 4: Cartografía geomorfológica de detalle para el segundo tramo de la Reserva.

Figure 4: Geomorphological cartography of detail for the second stretch of the Reserve.

viales naturales y requirió varias jornadas de campo para comprobar zonas de dudosa interpretación. La clasificación empleada para los distintos tipos de barras se ha basado en el porcentaje de cubierta vegetal de las mismas, siguiendo los cuatro tipos establecidos por Santana (2012). Las barras estabilizadas cuentan con una colonización total y su dinámica fluvial es poco activa. Esta categorización se completa con las barras muy colo-

nizadas, poco colonizadas y desnudas. Esta gradación implica un menor asentamiento de vegetación y un mayor aumento de la dinámica. Otros componentes de la cartografía son los sectores diferenciados y las zonas de acreción (Figuras 3 y 4). El primero de ellos representa áreas incluidas dentro de barras estabilizadas o muy colonizadas, pero con una génesis posterior al conjunto de la barra. En general, presentan una gran similitud con la



vegetación general del soto, no obstante, son las áreas más activas. El segundo (zonas de acreción) son depósitos anexados a barras de mayor entidad y que tienen el mismo aspecto en foto aérea que las barras desnudas. Su delimitación en otra capa se debe a que se han generado tras la sedimentación de eventos de crecida recientes, ya que en la ortofoto de 2009 no estaban desarrolladas. Relacionadas también con los depósitos están las barras bajo lámina de agua, elemento condicionado por el momento en el que está tomada la foto. Se han establecido otros tres elementos para caracterizar las láminas de agua, representados por el cauce menor del río Ebro, las láminas de agua libre y las láminas de agua artificial (Figuras 3 y 4). El primero de ellos se correspondería con los límites del propio río. El segundo serían las masas de agua cerradas formadas de manera natural, coincidentes primordialmente con los galachos. El último son láminas de agua construidas o favorecidas por la acción humana.

Los depósitos de riada recogen los cambios experimentados a raíz de la crecida de 2015. Son acumulaciones de sedimentos asentados sobre los campos de cultivo situados sobre la llanura de inundación. En zonas más alejadas del cauce actual, se observan antiguos meandros que se pueden reconocer por la morfología que describen los campos de cultivo, o simplemente por la coincidencia con los galachos actuales (Figuras 3 y 4).

A un tercer nivel de mayor detalle, con el fin de ilustrar aquellas zonas que han presentado más actividad reciente, se han seleccionado tres sectores (Figura 5) en los que se habían observado más cambios entre las imágenes de 2009 y 2015, y se ha presentado una comparativa entre ambas imágenes a una escala 1:7.000. La ortofoto de 2009 es un buen punto de referencia y constituyó la base de la última cartografía geomorfológica de la Reserva (Santana, 2012).

Para mejorar la comprensión de los cambios en la dinámica del río se han analizado también los cambios en los usos de suelo, integrados en una cartografía ajustada a la superficie total de la Reserva. Las categorías establecidas tratan de separar las áreas naturales de las áreas antropizadas. Aplicando ArcGIS se han obtenido datos cuantitativos sobre el área de cada categoría. Esta cartografía se ha elaborado para los años 1927, 1956, 1998, 2006 y 2015.

### 3. Resultados

#### 3.1. Evolución general

De la comparación realizada para la evolución general del trazado del cauce (Figura 2), se observa que en 1927 el río desarrollaba meandros más acusados que en los años posteriores. En 1956 se ve que muchos de ellos se han estrangulado y el cauce tiende a describir trazos más rectilíneos. A partir de 1998 existe también un ligero cambio en el curso del río con respecto a 1956. Las medidas de los desplazamientos de los meandros entre 1927 y 1956 muestran, precisamente, el gran cambio experimentado en ese intervalo, con medias de desplazamiento anual que pueden alcanzar los 52,90 m/año, como ocurre en el enclave Nis-Galacho de La Alfranca (Tabla 3). Estos valores también son importantes para el enclave de El Francés-La Cartuja (36,02 m/año), el de la Mejana de las Viudas (35,14 m/año), el de Torre Urzaiz (33,58 m/año) y el de Villafranca (29,44 m/año). Es en este periodo cuando se producen cuatro cortas de meandro en los Galachos de La Alfranca, de La Cartuja, de El Burgo y de Osera (Figura 2). Existe una correspondencia entre algunos de los mayores valores de desplazamiento anual de vértice de meandro con tres de estas cortas (La Alfranca, La Cartuja y Osera), teniendo en cuenta que esta última se correspondería con el

enclave Mejana de las Viudas (Tabla 3). La dinámica se ve reducida considerablemente en el siguiente intervalo (1956-1998), para el que estos datos son manifiestamente más bajos, con un valor mínimo de 0,38 m/año en el Enclave de Benedicto y un máximo de 8,73 m/año alcanzados en La Mejana del Marqués (Tabla 3). En la Figura 2 se ve que las diferencias entre los tres últimos años representados son mínimas. Cuentan con una superposición casi total, sin apenas diferencias entre las distintas capas (Figura 2). Esto se refleja en el desplazamiento de los meandros, siendo solo apreciable en cuatro enclaves (Benedicto con 4,64 m/año, Nis-Galacho de la Alfranca con 1,75 m/año, Quinto con 4,52 m/año y Villafranca con 1,73 m/año) (Tabla 3).

Tabla 3: Media de desplazamiento anual de los vértices de meandros en tres intervalos de tiempo (m/año).

*Table 3: Average annual displacement of meander vertices in three time intervals (m/year).*

Enclave	1927 a 1956	1956 a 1998	1998 a 2015
Torre Urzaiz	33,58	5,95	0,00
Benedicto	15,82	0,38	4,64
El Francés-La Cartuja	36,02	2,44	0,00
Nis-Galacho de la Alfranca	52,90	3,43	1,75
El Rincón Falso	11,90	0,29	0,00
El Burgo	8,99	2,42	0,00
Quinto	12,28	2,79	4,52
Nuez de Ebro	8,75	2,30	0,00
La Mejana del Marqués	11,56	8,73	0,00
Villafranca	29,44	2,61	1,73
Mejana de Las Viudas	35,14	2,27	0,00
Aguilar	11,06	2,93	0,00

Los cambios en la forma del río también se pueden ver reflejados en los datos de superficie movilizada, apreciándose una reducción con el paso de los años (Tabla 4). Por ejem-

plo, entre 1927 y 1956, la tasa de superficie movilizada para los dos tramos de la Reserva es de 13,97 ha/año y de 9,90 ha/año, respectivamente. En el siguiente periodo de tiempo (1956-1998), la tasa disminuye a 4,58 y 2,14 ha/año. Datos que apenas sufren variaciones en el siguiente intervalo (1998 a 2015) con medias de 4,49 ha/año y 2,28 ha/año. En los últimos años considerados (2006 a 2015) estos valores se reducen a 2,69 ha/año y 0,93 ha/año.

Tabla 4: Media de la superficie movilizada anualmente en los dos tramos (A y B) de la Reserva en cuatro intervalos de tiempo (ha/año)

*Table 4: Average surface mobilized annually in the two stretch (A and B) of the Reserve in four time intervals (ha/year).*

	1927 a 1956	1956 a 1998	1998 a 2015	2006 a 2015
A	13,97	4,58	4,49	2,69
B	9,90	2,14	2,28	0,93

### 3.2. Evolución de detalle

La cartografía geomorfológica pone de manifiesto un predominio de barras estabilizadas y muy colonizadas (Figuras 3 y 4), localizadas en la parte cóncava de los meandros. Por ejemplo, en el primer tramo de la Reserva las barras muy colonizadas ocupan una extensión de 347,63 ha y las estabilizadas de 103,25 ha (Tabla 5). En el segundo tramo los datos son de 67,41 ha y 152,90 ha, respectivamente (Tabla 5). La mayoría de ellas se corresponden con sotos. Dentro de estas barras se identifican sectores dinámicos con cambios a largo plazo (sectores diferenciados) y a corto plazo desde 2009 (zonas de acreción). Estas zonas de más cambio quedan reducidas al contacto entre el límite de la barra con el río (Figuras 3 y 4). Desde 2009 a 2015 los nuevos depósitos, denominados como zonas de acreción, han tapizado 7,03 ha en el primer tramo y 1,88 ha en el segundo.

Tabla 5: Superficie en hectáreas (ha) de las categorías establecidas en la cartografía geomorfológica para los dos tramos de la Reserva.

*Table 5: Surface in hectares (ha) of the established categories in the geomorphological cartography for the two sections of the Reserve.*

Tramo	A	B
Zonas de acreción	7,03	1,88
Barras desnudas	0,78	0,26
Barras poco colonizadas	2,55	0,00
Barras muy colonizadas	347,63	67,41
Barras estabilizadas	103,25	152,90
Sectores diferenciados en barras	41,17	6,54
Barras bajo lámina de agua	0,33	2,06
Depósito riada 2015	31,87	28,53
Meandros abandonados	171,36	30,16
Láminas agua artificial	3,07	0,00
Láminas agua libre	8,09	5,56
Río Ebro	131,41	87,80

Con menor tamaño aparecen barras poco colonizadas y desnudas. De hecho, las barras poco colonizadas no tienen desarrollo en el segundo tramo de la Reserva y las desnudas tienen una extensión de 0,78 ha (primer tramo) y 0,26 ha (segundo tramo) (Tabla 5). En la categorías de barras bajo lámina de agua, las superficies son parecidas a las anteriores, ocupando áreas de 0,33 ha y 2,06 ha (Tabla 5). Todas ellas son las que recogen los cambios más importantes albergados en el río, aunque la extensión de éstas es mucho menor que el de las barras estabilizadas y muy colonizadas.

De la comparación establecida entre las ortofotos de 2009 y 2015 se ha observado que los cambios más importantes se han dado en las islas centrales del río. Estas barras centrales están clasificadas como muy colonizadas, pudiendo presentar depósitos más recientes anexados. Los puntos comunes en ambas fotos (denominados puntos de cambio) reflejan la existencia de zonas de erosión y de sedimentación en el intervalo de tiempo analizado. De esta manera se puede ver la evolución

que ha experimentado la geomorfología y la capacidad de transformación de las crecidas en ese periodo. Asimismo, el grado de detalle de estos mapas permite ver aquellas áreas de mayor cambio.

En las tres zonas comparadas han aparecido nuevos depósitos, ausentes en la foto del 2009. Por ejemplo, se han desarrollado nuevas barras en el punto 4 de la Figura 5A con una superficie de 0,13 ha y en el punto 2 de la Figura 5B con 0,04 ha.

En otros sectores estos depósitos se han anexoado a otras barras ya presentes, como en el punto 1 de la primera comparativa (Figura 5A) ocupando una extensión de 0,92 ha. Esto mismo se puede ver en la Figura 5B, donde en el punto 3 la zona de acreción tiene una extensión de 1,87 ha. En la última comparación (Figura 5C) estas áreas se identifican en 2, 3 y 4, ocupando 0,18 ha, 0,12 ha y 0,47 ha, respectivamente.

En otros sectores se ven zonas de incisión entre 2009 a 2015 como en los puntos 3 del Soto de El Francés (Figura 5A), el punto 4 de la Figura 5B y el punto 1 de la Figura 5C.

### 3.3. Usos del suelo

Los porcentajes de ocupación de los diferentes usos de suelo denotan que con el paso de los años ha aumentado la superficie antrópica en detrimento de las áreas naturales (Figura 6). Así, otorgando a la superficie ocupada por elementos naturales y antrópicos en 1927 un coeficiente 100, en 2015 ese coeficiente se habría reducido para las áreas naturales al 63,36 y, por el contrario, habría aumentado a 165,22 para los usos antrópicos.

Las áreas intervenidas por la acción humana, representadas por superficies de cultivo, han aumentado su extensión pasando de un 37,84% de la superficie de la Reserva en 1927



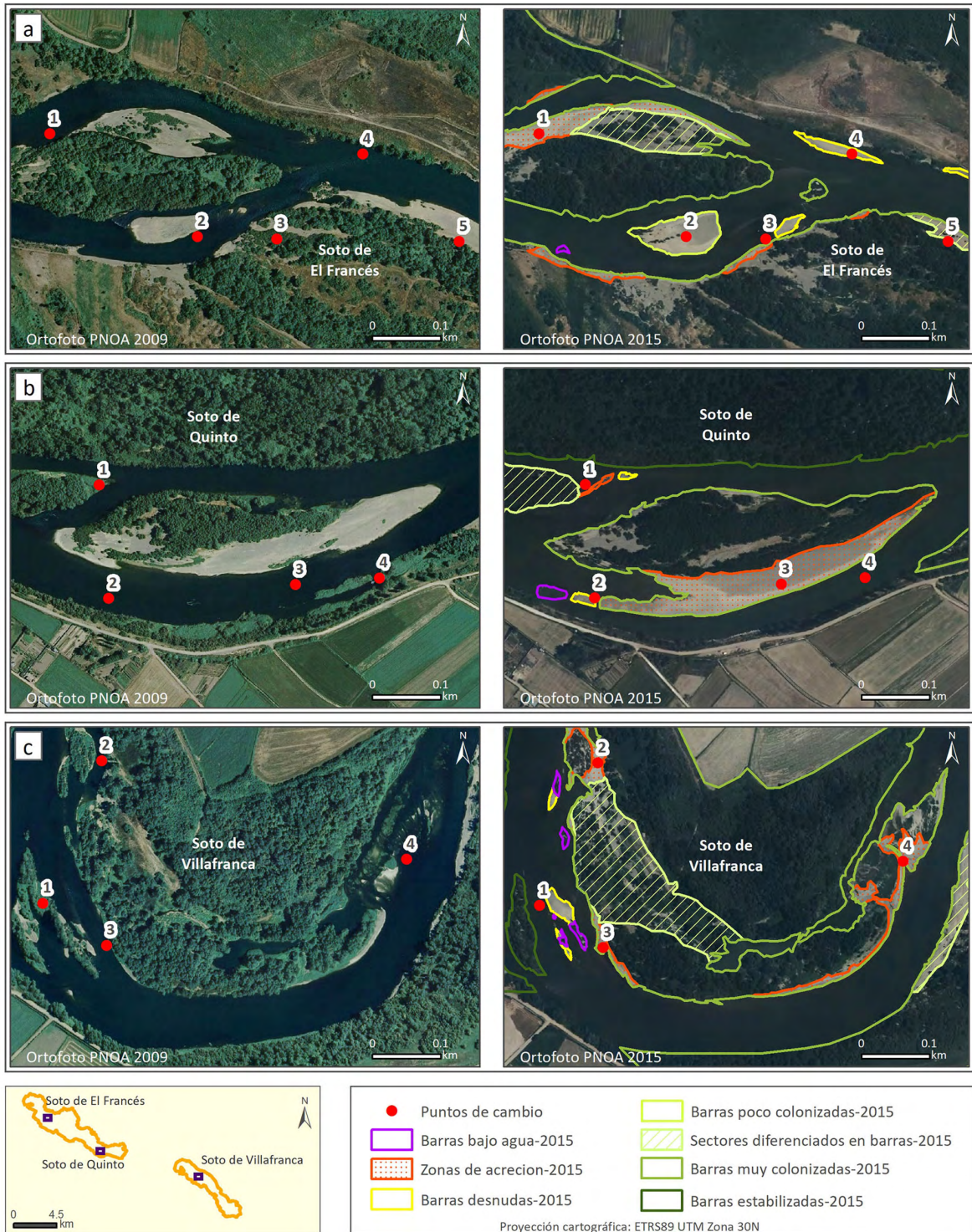


Figura 5: Comparación entre ortofotos de 2009 y 2015 en tres áreas de cambio (a: zona Soto de El Francés, b: zona Soto de Quinto, c: zona Soto de Villafranca).

Figure 5: Comparison between 2009 and 2015 orthophoto in three areas of change (a: zone Soto de El Francés, b: zone Soto de Quinto, c: zone Soto de Villafranca)

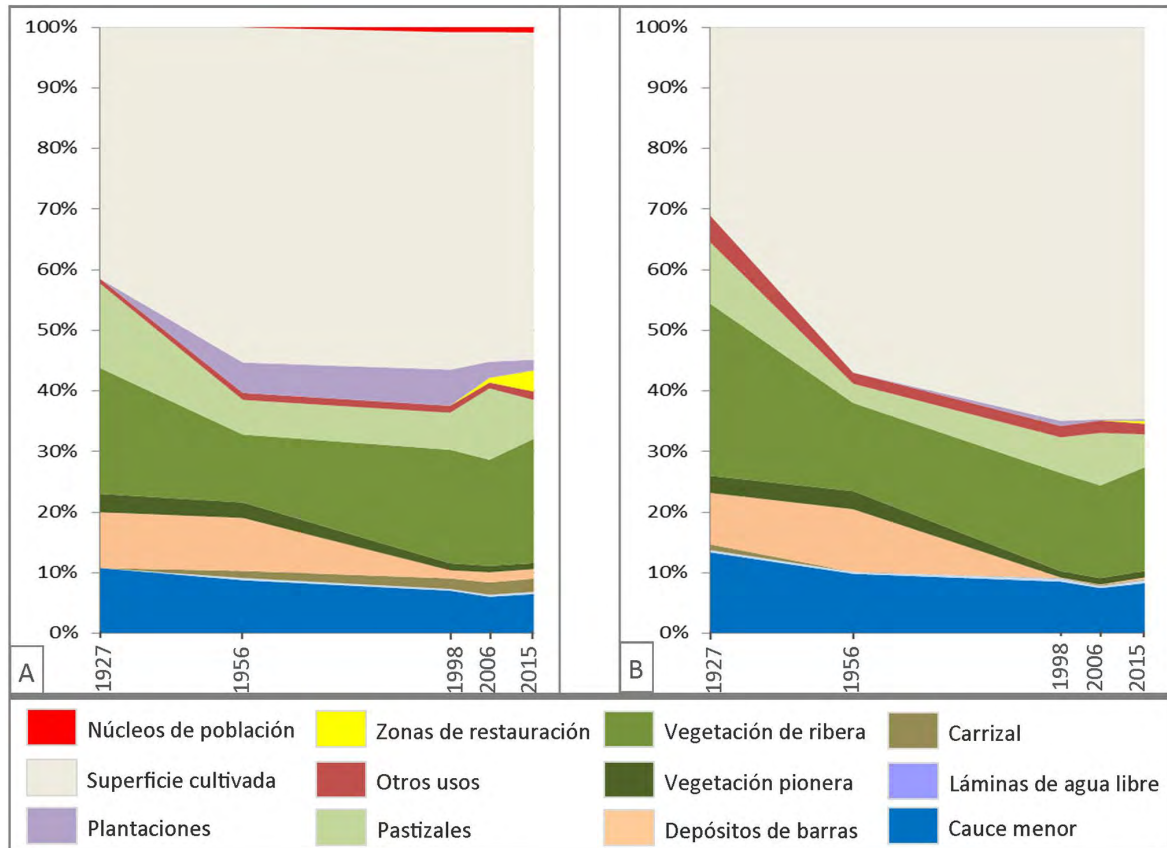


Figura 6: Evolución en porcentajes de superficies por usos de suelo para el primer (A) y el segundo (B) tramo de la Reserva.

Figure 6: Evolution in percentages of surface by land uses for the first (A) and the second (B) stretch of the Reserve.

a un 55,88% casi 30 años después. Los núcleos de población y las zonas en las que se han realizado algunos trabajos de restauración no se encuentran en las dos primeras imágenes aéreas. Es a partir de 1998 cuando aparecen los núcleos de población con un porcentaje de 0,52, cifra muy similar a la que presentará en 2015 (0,56%) y con una extensión localizada únicamente en el primer tramo de la Reserva. Las zonas de restauración aparecen a partir de 2006 (0,50%), experimentando un aumento en el 2015 (2,44%). Se han dedicado esencialmente a la experimentación científica de procesos de colonización vegetal sobre diferentes morfologías sedimentarias y en depresiones excavadas en los sedimentos. Las plantaciones de

chopos alcanzan su mayor ocupación en 1998 (4,18%), aunque ya se encuentran en 1956 con un porcentaje del 3,29%.

El cauce menor y la vegetación pionera experimentan un ligero retroceso de 1927 a 2015 (Figura 6). Esto es mucho más marcado en otros elementos naturales como los depósitos de barras, donde el área sufre una importante disminución, pasando de un 8,97% en 1927 a un 1,14% en 2015. En la vegetación de ribera de 1927 a 1998 se produce una reducción de la superficie del 23,41% al 17,86%, la cual experimenta un cierto repunte a partir de la última fecha, alcanzando en 2015 el 19,35%.



#### 4. Discusión y conclusiones

La evolución analizada y cuantificada confirma la caracterización inicial del tramo como representativo del curso medio del Ebro, pero también singular por su intensa dinámica. El modelo evolutivo ratifica las estimaciones realizadas en publicaciones anteriores (Ollero, 2010; Ollero *et al.*, 2015, 2018), y puede resumirse en las siguientes fases: (i) una enorme y continua capacidad de cambio en el cauce del Ebro en la primera mitad del siglo XX, destacando 4 cortas de meandro en el área de estudio, además de destacables procesos de migración; (ii) una ralentización progresiva de la dinámica del cauce en la segunda mitad del siglo XX, acompañada de la contracción de la banda natural fluvial a causa del incremento de usos antrópicos en el espacio fluvial; (iii) una dinámica escasa y controlada en el siglo XXI, pero todavía con pequeños cambios constatables en las barras e islas gracias a la elevada frecuencia de notables crecidas en los últimos años, que refleja la funcionalidad del sistema fluvial. Completando este modelo general, el área de estudio registró más cambios que otros tramos del Ebro medio en el pasado, y paralelamente también parece mantener más capacidad de cambio que esos otros sectores. En este sentido, sigue siendo un área de máximo interés en el contexto global del río.

En referencia a los cambios importantes de la primera mitad del siglo XX en el tramo, no estudiados en el presente trabajo, constituyen un antecedente relevante para comprender la dinámica posterior. Desde la imagen aérea de 1927 el cauce menor del Ebro asistió a una sucesión de cortas naturales o provocadas, responsables de la configuración de los “galachos” (meandros abandonados en la terminología local) de La Alfranca, La Cartuja y El Burgo (Figura 1). Estas cortas produjeron una marcada disminución de la sinuosidad después de 1927 y una reducción de la am-

plitud de onda en la banda activa de ameandramiento, así como una reactivación de la dinámica, ante la necesidad del cauce de recuperar sinuosidad después de las cortas (Ollero, 1992).

La corta que formó el galacho de La Cartuja (no se han encontrado referencias sobre si fue natural o artificial) se produjo entre 1927 y 1946, estabilizándose el cauce a continuación e iniciando un proceso de migración aguas abajo sin aumentar su amplitud (Ollero, 1995).

El meandro activo de La Alfranca había avanzado en su curvatura 380 m entre 1927 y 1939, de acuerdo con el informe de un proyecto de defensa consultado en el archivo de la Confederación Hidrográfica del Ebro (Ollero, 1992). La avenida extraordinaria de marzo de 1930 provocó, además, la “rotura del Cáscaro o Cazcarro” en el punto de máxima curvatura del meandro (en el actual galacho), produciéndose una avulsión con un cauce secundario con un desarrollo de más de 5 km de longitud (Figura 2A). Esto supuso un alejamiento de ~1500 m del cauce principal (quedando fuera del límite de la Reserva). El flujo de agua siguió un paleotrazado identificable en el “mapa de la Azequia Imperial” de 1769. Este caso de avulsión con tanto desarrollo longitudinal, es único y singular en todo el curso medio del Ebro. El brazo del Cazcarro se cortó en 1931 mediante un muro, obligando al río a circular exclusivamente por el cauce principal. Las avenidas de 1939 destruyeron el muro y el Ebro retomó el brazo secundario, hasta que en 1945 se cerró por completo este con un nuevo muro, escollera y espigones (Ollero, 1992). En ese mismo año parece que se construyó también una traviesa para favorecer la corta del meandro de La Alfranca, aprovechando un punto de debilidad conocido como “galacho del Presidiario”. En la foto aérea de 1946 esta corta es ya efectiva. Posteriormente, y antes de la foto de 1956,



se levantó un dique para consolidar la corta y que el Ebro no retomara su anterior trazado, así como para acceder a los nuevos campos de cultivo propiciados en el lóbulo del meandro cortado (Ollero, 1995).

La corta del galacho de El Burgo se produjo entre 1946 y 1956, más próxima a la primera fecha, y a diferencia de las anteriores fue una corta de canal de crecida (chute cut-off). El origen fue muy probablemente natural. Aguas abajo los cambios de trazado también fueron muy intensos en la mitad del siglo XX, pero no respondieron a cortas sino a la migración de las curvaturas en el sentido de la corriente. En el tramo inferior o ampliado de la Reserva se registró también una corta que originó el galacho de Osera (Figuras 1B y 4). Esta corta fue natural y se registró entre 1927 y 1946 (Ollero, 1992).

El modelo evolutivo dibujado es similar al de otros cursos europeos de características próximas a las del Ebro medio, como la Garona (David, 2016), el Ródano (Provansal *et al.*, 2014), el Danubio (Hohensinner *et al.*, 2004), el Po (Colombo y Filippi, 2010), el Jarama-Tajo (Uribelarrea, 2008) o el Guadalquivir (García Martínez, 2016). Aunque, en general, el Ebro presenta estos cambios dos o tres décadas más tarde que las mismas fases en los ríos europeos, y una temporalidad muy similar a la de los casos ibéricos. La dinámica residual actual del tramo de estudio es superior a la de todos los ríos mencionados.

No contar con fotografías aéreas entre 1927 y 1956 implica infravalorar la dinámica fluvial en ese periodo, que muy probablemente fue mucho mayor que la que ha podido ser registrada, con más cortas y procesos de migración que son desconocidos por falta de continuidad en las imágenes del río.

La protección del área de estudio como Reserva Natural se apoyó en el interés del tramo por su dinámica fluvial y especialmente

por los resultados de esta (galachos) y por el valor de los bosques de ribera (sotos) asociados. Sin embargo, la figura de protección no ha conseguido recuperar una dinámica fluvial activa, y no lo ha hecho porque no se han restringido usos, ni se ha dado más espacio al río ni se han eliminado los elementos antrópicos que impiden la dinámica del cauce. En suma, la gestión dentro de la Reserva ha sido muy similar a la desarrollada fuera de ella. Con ello, los objetivos de puesta en valor de la dinámica geomorfológica fluvial no se cumplen y habrá que modificar el sistema de gestión si se quiere conseguir que el Ebro vuelva a cortar y migrar, construyendo así nuevos galachos.

Ahora bien, el proceso de reducción o limitación de la dinámica parece haberse frenado, o posiblemente ha tocado fondo, de acuerdo con lo observado en la fotografía aérea de 2015. Por tanto, es un buen momento para implantar medidas de restauración fluvial, fundamentalmente eliminar y/o retranquear defensas, que permitan recuperar al menos parcialmente la movilidad geomorfológica del río. El espacio protegido incluye propiedad privada que dificulta estos objetivos, pero también ofrece, desde su Plan rector de Uso y Gestión (PRUG) en proceso de elaboración, la posibilidad de actuar en la línea propuesta.

En suma, con este trabajo se contribuye al conocimiento de ciertos aspectos asociados a la dinámica del río en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro. Todos ellos, y en especial los datos de desplazamiento máximo de vértice de meandro y de superficie movilizada, reflejan el retroceso en la actividad del Ebro desde 1927 hasta 2015. En el mismo sentido apuntan los porcentajes de usos de suelo, donde superficies naturales como los depósitos de barras han mermado considerablemente su extensión. Este hecho coincide también con el predominio de barras

ampliamente colonizadas por vegetación, tal y como se refleja en la cartografía geomorfológica realizada a partir de la ortofoto de 2015. No obstante, en esa misma cartografía se pone de manifiesto que todavía existe cierta capacidad de cambio concentrado en áreas muy concretas, como es el caso de las zonas de acreción. Este debe constituir el punto de apoyo para la restauración geomorfológica del Ebro en la Reserva Natural.

### Agradecimientos

A la sección de Espacios Protegidos dentro del Servicio Provincial de Desarrollo Rural y Sostenibilidad del Gobierno de Aragón y muy especialmente a la Jefa de Unidad de Conservación del Medio Natural, Ana María Cabanillas Saldaña, por la colaboración prestada para la realización de este trabajo. A los revisores del trabajo por sus comentarios y aportaciones.

### Bibliografía

- Camporeale, C.; Perona, P.; Porporato, A.; Rindolfi, L. (2005). On the long-term behavior of meandering rivers. *Water Resources Research*, 41, W12403. <https://doi.org/10.1029/2005WR004109>
- Colombo, A.; Filippi, F. (2010). La conoscenza delle forme e dei processi fluviali per la gestione dell'assetto morfologico del fiume Po. *Biologia Ambientale*, 24 (1), 331-348.
- David, M. (2016) *Dynamique fluviale de la Garonne à l'Anthropocène. Trajectoire d'évolution du tronçon fluviale compris entre les confluences de l'Ariège et du Tarn (Garonne toulousaine, 90 km)*. Tesis Doctoral, Université Toulouse Jean Jaurès, Toulouse, 284 pp.
- Dépret, T.; Gautier, E.; Hooke, J.; Grancher, D.; Vermoux, C.; Brunstein, D. (2015). Hydrological controls on the morphogenesis of low-energy meanders (Cher River, France). *Journal of Hydrology*, 531, 877-891. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.035>
- García Martínez, B. (2016). Cambios hidromorfológicos en el Guadalquivir y sus afluentes Guadalbarcar, Rivera de Huéznar y Rivera de Huelva (sector Palma del Río-Sevilla). Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, Sevilla, 591 pp.
- Granado, D.; Acín, V.; Díaz Bea, E.; Ibiaste, A.; Ollero, A. (2011). Análisis diacrónico de la migración de cauces fluviales mediante técnicas de SIG vectorial. I Congreso Ibérico de Restauración Fluvial Restaurarios. Centro Ibérico de Restauración Fluvial – Confederación Hidrográfica del Duero (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), León, 296-304.
- Gurnell, A.M. (1997). Channel change on the River Dee meanders, 1946-1992, from the analysis of air photographs. *Regulated Rivers: Research and Management*, 13, 13-26. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199701\)13:1<13::AID-RRR420>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199701)13:1<13::AID-RRR420>3.0.CO;2-W)
- Hohensinner, S., Habersack, H., Jungwirth, M., Zauner, G. (2004). Reconstruction of the characteristics of a natural alluvial river-floodplain system and hydromorphological changes following human modifications: the Danube river (1812-1991). *River Research and Applications*, 20, 25-41. <https://doi.org/10.1002/rra.719>
- Leopold, L.B.; Wolman, M.G. (1960). River meanders. *Geological Society of America Bulletin*, 71(6), 769-793. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1960\)71\[769:RM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1960)71[769:RM]2.0.CO;2)
- Lewin, J. (1978). Floodplain geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 2(3), 408-437. <https://doi.org/10.1177/030913337800200302>
- Nádudvari, A.; Czajka, A. (2014). Statistical calculations of the Tisza river channel changes along Vezseny and Martfú (Hungary) from 1873-2010. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(2), 57-70.
- Ollero, A. (1992). Los meandros libres del río Ebro (Logroño-La Zaida): geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1.138 pp.
- Ollero, A. (1995). Dinámica reciente del cauce del Ebro en la Reserva Natural de los Galachos (Zaragoza). *Cuaternario y Geomorfología*, 9 (3-4), 85-93.
- Ollero A. (2010). Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology*, 117, 247-260. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.015>
- Ollero, A.; Ballarín, D.; Mora, D. (2006). Cambios en el cauce y el llano de inundación del río Ebro (Aragón) en los últimos 80 años. *Geographicalia*, 50, 87-109.

- Ollero, A.; Ibisate, A.; Granado, D.; Real de Asua, R. (2015). Channel responses to global change and local impacts: perspectives and tools for floodplain management (Ebro River and tributaries, NE Spain). En: *Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe* (P.F. Hudson; H. Middelkoop, ed.). Springer, New York, 27-52. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2380-9_3)
- Ollero, A.; Ibisate, A.; Acín, V.; Ballarín, D.; Granado, D.; Horacio, J.; Mora, D.; Nadal, E.; Sánchez Fabre, M.; Sebastián, M.; Segura, F.; Valls, A. (2018). Dynamique fluviale, changement global et pression anthropique dans le bassin, le cours et le delta de l'Èbre. *Sud-Ouest Européen*, 44, 41-54.
- Provansal, M.; Dufour, S.; Sabatier, F.; Anthony, E.J.; Racasi, G.; Robresco, S. (2014). The geomorphic evolution and sediment balance of the lower Rhône River (southern France) over the last 130 years: hydropower dams versus other control factors. *Geomorphology*, 219, 27-41. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.033>
- Sánchez Fabre, M.; Ballarín, D.; Mora, D.; Ollero, A.; Serrano Notivoli, R.; Saz, M.A. (2015). Las crecidas del Ebro medio en el comienzo del siglo XXI. En: *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (J. De la Riva; P. Ibarra; R. Montorio; M. Rodrigues, ed.). Universidad de Zaragoza y Asociación de Geógrafos Españoles, Zaragoza, 1853-1862.
- Santana, I. (2012). Dinámica fluvial y de la vegetación en la Reserva Natural de los Galachos del Ebro: diagnóstico y propuestas para el plan de conservación. Trabajo fin de Máster en Ordenación Territorial y Medioambiental, Universidad de Zaragoza, 67 pp.
- Stølum, H.H. (1996). River meandering as a self-organization process. *Science*, 271(5256), 1710-1713. <https://doi.org/10.1126/science.271.5256.1710>
- Stølum, H.H. (1998). Planform geometry and dynamics of meandering rivers. *Geological Society of America Bulletin*, 1047(11), 1485-1498. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1998\)110<1485:PGADOM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1998)110<1485:PGADOM>2.3.CO;2)
- Uribelarrea, D. (2008). Dinámica y evolución de las llanuras aluviales de los ríos Manzanares, Jarama y Tajo, entre las ciudades de Madrid y Toledo. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 434 pp.

*Recibido el 11 de octubre de 2018*

*Aceptado el 29 de marzo de 2019*