

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO Y SEGUIMIENTO DE LA DINÁMICA DE INDÍ- CADORES HIDROMORFOLÓGICOS DEL CAUCE DEL BAJO GÁLLEG

Autor: Juan Lasala Ordovás

***Director: Alfredo Ollero Ojeda
Daniel Ballarín Ferrer***

**Máster Universitario en
Ordenación Territorial y Medioambiental**

Noviembre de 2013



Resumen

El cauce Bajo del río Gállego en la actualidad muestra una dinámica muy activa, pese a ser un cauce muy regulado y no sufrir suficientes crecidas. Una de las últimas crecidas tuvo lugar en octubre de 2012, lo que ha permitido el análisis posterior de las secciones del cauce y de las barras sedimentarias originadas por la misma. Tomando como origen el Estudio Hidrológico y Geomorfológico realizado en 2005, se ha actualizado el mismo analizando las variaciones del espacio fluvial natural hasta el 2009, a través de mapas de usos del suelo y de fotografía aérea.

Palabras Clave: Río Gállego, sección, dinámica fluvial, usos del suelo, barra sedimentaria

Abstract

In spite of presenting several reservoirs along its upper and middle course, and not suffering too many floods, Gállego River is nowadays characterized by a very active dynamics in its lower course. One of the last floods occurred in October of 2012. Such a flood has become in this study the point of departure for the analysis of both the different sections of its course and the resulting fluvial sediment bars. Since a Hydrologic and Geomorphologic Study was made in 2005, a new version of it has been undertaken throughout the present analysis. In order to develop such a study, different land use maps and orthophotographs have become very useful tools to analyze the variations of the land uses until 2009.

Key Words: Gállego river, section, channel changes, land uses, sediment bar

Índice (estilo “**Titulo_indice**”)

1. Justificación	pág. 3
2. Objetivos.....	pág. 3
3. Contexto	pág. 3
4. Metodología aplicada	pág. 5
4.1. Elección de enclaves dinámicos y puntos de muestreo	pág. 5
4.2. Observación preliminar de los puntos de muestreo	pág. 5
4.3. Trabajo de campo.....	pág. 5
4.3.1.Toma de muestras y caracterización de las barras sedimentarias.....	pág. 5
4.3.2.Secciones transversales y pendiente local del cauce	pág. 7
4.4. Granulometría de la subcoraza	pág. 8
4.4.1.Granulometría.....	pág. 8
4.4.2.Cálculo de la subcoraza y del índice de acorazamiento.....	pág. 8
4.5. Trabajo de gabinete.....	pág. 9
4.5.1.Representación de la sección transversal del cauce	pág. 9
4.5.2.Cálculo de parámetros básicos del cauce	pág. 10
4.5.3.Cálculo de índices morfométricos de los sedimentos superficiales.....	pág. 11
4.5.4.Representación de la granulometría de la fracción gruesa (Wolman)	pág. 11
4.5.5.Estimación de la competencia de la corriente fluvial y del transporte de sedimentos	pág. 11
4.5.6.Cartografía de usos del suelo del Bajo Gállego (2009)	pág. 12
4.5.7.Georreferenciación de ortofotos de la zona de estudio: 1957, 1984 y 2006	pág. 13
5. Desarrollo analítico	pág. 14

5.1. Evolución de los usos del suelo en los enclaves dinámicos seleccionados	pág. 14
5.1.1. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Las Lomas..	pág. 15
5.1.2. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Torre Hos-	
pitalico-La Mejana	pág. 18
5.1.3. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Peña El	
Cuervo.....	pág. 21
5.1.4. Evolución de los usos del suelo del Gállego en San Juan-	
Montaña (T. Los Ajos)	pág. 24
5.1.5. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Sta. Isabel .	pág. 27
5.1.6. Síntesis de la evolución de los usos del suelo del Gállego	
en el tramo Las Lomas-Zaragoza	pág. 30
5.2. Evolución de la dinámica fluvial del Gállego en los cuatro enclaves seleccionados	pág. 31
5.2.1. Evolución de la dinámica fluvial del Gállego en Las Lomas .	pág. 32
5.2.2. Evolución de la dinámica fluvial del Gállego en San Juan-	
Montaña	pág. 34
5.2.3. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Sta. Isabel .	pág. 36
5.3. Análisis de los datos de los enclaves dinámicos obtenidos en campo.....	pág. 38
5.3.1. Secciones transversales y parámetros del cauce	pág. 39
5.3.2. Análisis de las barras sedimentarias y de la capacidad de	
transporte	pág. 47
6. Conclusiones	pág. 57
Bibliografía	pág. 59

1. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto pretende realizar un análisis exhaustivo de cuatro enclaves dinámicos del tramo bajo del Gállego, en los que poder caracterizar los sedimentos depositados por la reciente crecida de octubre de 2012, así como realizar secciones del cauce en esos puntos que permitan observar las variaciones en el futuro mediante trabajos similares.

El interés del tramo bajo del Gállego para este estudio tiene su razón de ser en su gran dinamismo, a pesar de la gran regulación que sufre y de la presión antrópica que ha recibido durante décadas.

Para este fin se utilizarán diversos indicadores hidromorfológicos para conocer el estado del cauce, además se evaluará su evolución más reciente partiendo de un estudio realizado en la zona en 2005.

2. OBJETIVOS

Los objetivos que persigue este trabajo son los siguientes:

- Caracterización de las barras sedimentarias tras la última crecida de octubre de 2012.
- Realizar las secciones del cauce de un modo que sean reproducibles en un futuro para su comparación.
- Evaluar el estado del cauce a través de indicadores hidromorfológicos.
- Conocer la evolución del río hasta la actualidad intentando acercarnos a su comportamiento futuro.

3. CONTEXTO

El río Gállego es uno de los principales afluentes del Ebro por la margen izquierda, aunque como es una cuenca alargada destaca más por su longitud (200 km) que por su superficie de cuenca (4020 km²). En su descenso hasta el Ebro el Gállego cruza todas las unidades morfoestructurales del Pirineo. La pendiente media del curso es de 1,02%. A continuación se describen los principales rasgos del tramo bajo del Gállego.

El tramo bajo del Gállego puede dividirse en dos sectores bien diferenciados, uno de Zuera a Peñaflor y el otro desde Peñaflor hasta la desembocadura.

En el primer sector el río atraviesa potentes depósitos aluviales y terrazas encajadas. En cuanto a la hidrogeología el río está conectado con un potente y extenso acuífero aluvial.

En este sector, la pendiente media del cauce es de 0,21% y la sinuosidad tiene un elevado valor (1,555). La presión de los campos de cultivo limita el desarrollo de las riberas en la margen izquierda a unos 20 m de ancho, riberas que están conformadas por una primera banda de carrizal, y una segunda con chopos, álamos y zarzas. En la margen opuesta dominan las barras sedimentarias con colonización incipiente (juncos y carrizal).

El segundo sector desde Peñaflor a la desembocadura tiene una longitud de 13 km, una pendiente algo mayor (0,34%) que el tramo anterior y una sinuosidad menor (1,23). El origen del aumento de la pendiente en este sector hay que buscarlo en las alteraciones antrópicas registradas.

El modelo de cauce de este sector es próximo a una transición trenzado-meandriforme con las alteraciones mencionadas, presentando algún tramo canalizado. Tanto las defensas como la extracción de áridos han contribuido al desarrollo de incisión y de cauces más rectilíneos. Este sector se caracteriza por su heterogeneidad.

En la figura 1 se observa la localización de la zona de estudio, que abarca desde 1 km al norte de la urbanización Las Lomas hasta la desembocadura del Gállego en el Ebro.

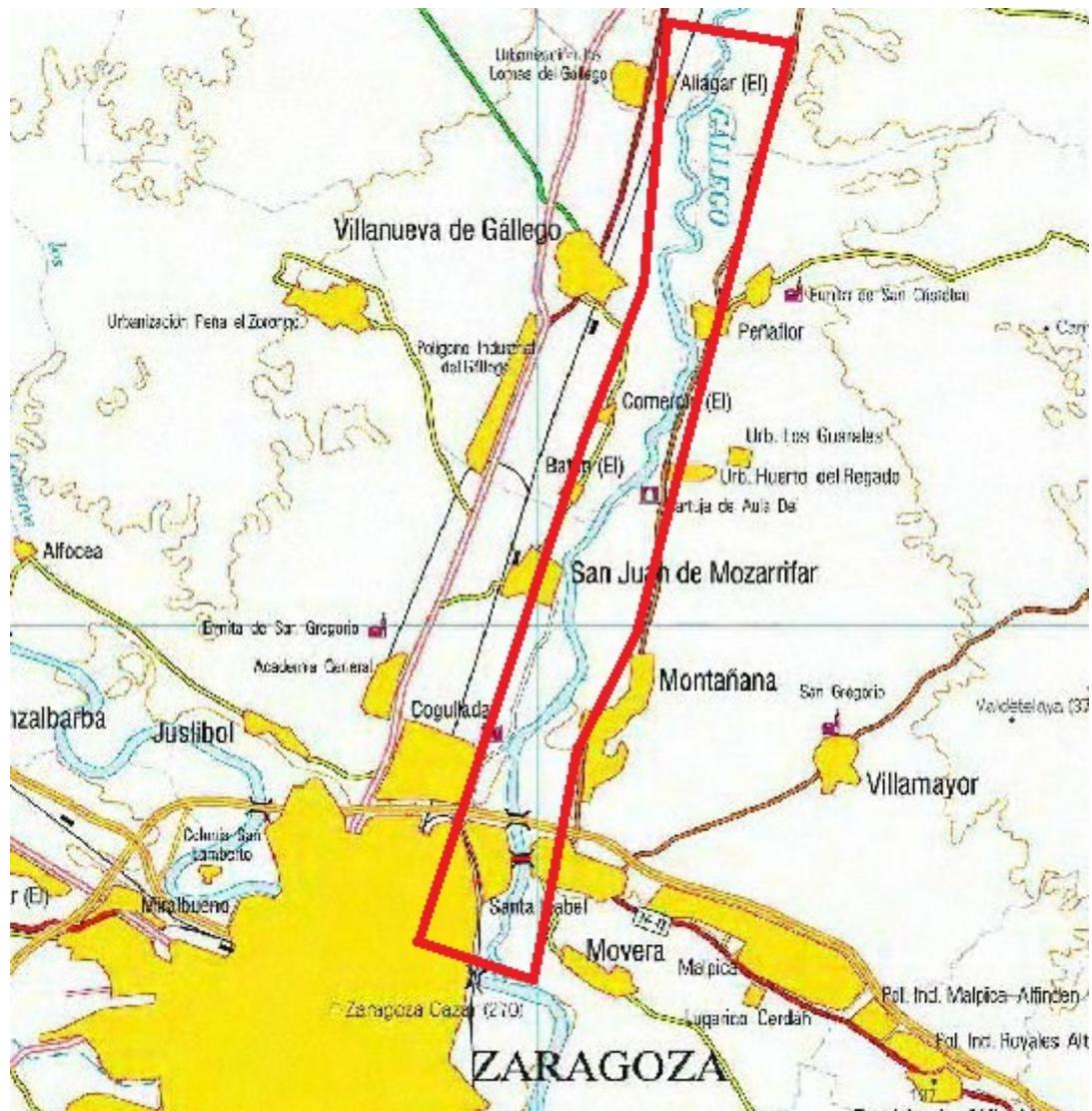


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

4. METODOLOGÍA APLICADA

La metodología del presente proyecto se divide en cinco fases: Elección de enclaves dinámicos y puntos de muestreo, Observación preliminar de los puntos de muestreo, Trabajo de campo, Granulo-

metría de la subcoraza y Trabajo de gabinete. En cada uno de estos apartados se detallan todos los procesos que se han realizado.

4.1. Elección de enclaves dinámicos y puntos de muestreo

La elección de los enclaves del tramo bajo del Gállego que presentan una mayor variabilidad en la evolución de su dinámica fluvial se ha realizado mediante la comparación de los siguientes recursos cartográficos:

- Fotoplanos de 1927 (Confederación Hidrográfica del Ebro)
- Ortofotos Vuelo Americano de 1956-57.
- Ortofotos PNOA 2006.
- Ortofotos PNOA 2009.

Se han seleccionado un total de seis enclaves dinámicos para el estudio que son los siguientes:

- Las Lomas
- Torre Hospitalico – La Mejana
- Peña del Cuervo
- San Juan de Mozarrífar
- Montañaña – Torre Los Ajos
- Santa Isabel

Según su accesibilidad se han considerado cuatro de ellos para muestrear las barras de sedimentos y caracterizar la sección del cauce, siendo los seleccionados: Las Lomas, San Juan de Mozarrífar, Montañaña – Torre Los Ajos y Santa Isabel.

4.2. Observación preliminar de los puntos de muestreo

Tras seleccionar estos cuatro puntos de muestreo se han visitado, tomando fotografías de los depósitos de barras y de los posibles perfiles por los que trazar la sección transversal al cauce.

En San Juan de Mozarrífar, Montañaña-Torre Los Ajos y Santa Isabel se observan dos niveles de barras de sedimento, uno topográficamente inferior y cercano al cauce activo en la época de estiaje y otro superior más alejado. Se decide estudiar los dos niveles por separado en cada punto de muestreo.

4.3. Trabajo de campo

El trabajo de campo ha constado de dos partes, una primera consistente en la toma de muestras y caracterización de las barras sedimentarias y una segunda dedicada a las secciones transversales del cauce, ambas en los cuatro puntos de muestreo antes mencionados.

4.3.1. Toma de muestras y caracterización de las barras sedimentarias

Las mediciones y muestreos descritos a continuación, se han llevado a cabo tanto para las barras sedimentarias del nivel inferior como para las del superior.

Granulometría de la fracción gruesa

Para conocer la evolución granulométrica de la fracción gruesa de las barras se han trazado dos líneas paralelas de 50 m longitudinales a éstas. Una de estas líneas discurre por el centro de la barra sedimentaria y la otra en la parte más cercana a la lámina de agua del río; dichas líneas estarán separadas por una distancia de entre 5 y 8 m. De este modo también se podrá estudiar si existen variaciones laterales del tamaño de grano.

Esta granulometría se basa en el método Wolman (1954), para ello se ha extendido una cinta métrica de 50 m, recogiéndose muestras cada 50 cm y midiendo con un calibre su lado menor (Fig. 2). De este modo se garantiza la aleatoriedad de la recogida de estas 100 muestras.



Figura 2. Medición del lado menor de un canto.

Muestreo para índice de acorazamiento

Este muestreo se lleva a cabo delimitando en la barra sedimentaria un cuadrado de 50x50 cm (Fig. 3). En primer lugar se retira la capa superficial de cantes (en verde) que constituye la coraza, midiendo el lado menor de cada muestra. A continuación se retira el material subsuperficial (subcoraza), recogiendo una muestra de entre 4 y 6 kg, que se tamizará en el laboratorio.



Figura 3. Punto de muestreo de coraza y subcoraza.

Análisis morfométrico de sedimentos superficiales

Se han seleccionado 25 muestras de idéntica litología y con un lado menor comprendido entre 20 y 80 mm. Con el calibre en cada muestra se ha medido el eje menor (l), el eje mayor (L), el espesor (E) y el radio menor de curvatura (R) (Fig. 4).

Muestreo para estimación de competencia y del transporte de sedimentos.

La estimación de la competencia y del transporte de sedimentos vendrá dada por los cinco mayores bloques encontrados en la barra sedimentaria y por el mayor bloque, que se denomina centilo.

Pendiente de la barra sedimentaria

La medición de la pendiente de la barra sedimentaria se ha efectuado por la parte central de la misma, mediante un nivel topográfico Leica y una mira, lanzando dos visuales sucesivas.

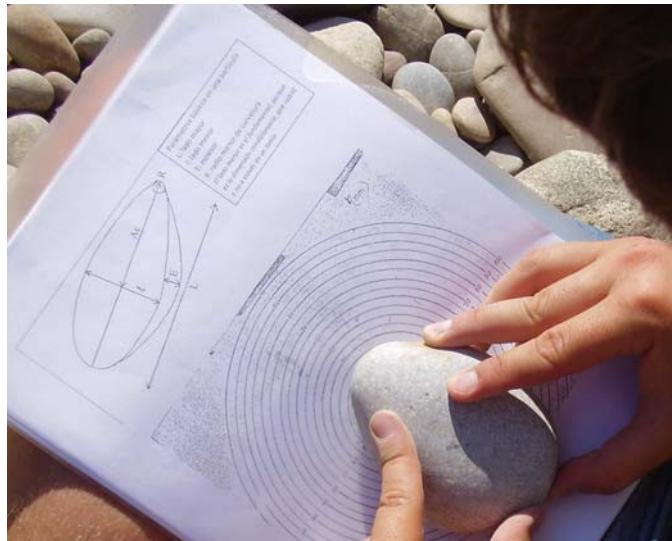


Figura 4. Medición del radio menor de curvatura.

4.3.2. Secciones transversales y pendiente local del cauce

Elaboración de la sección del cauce

Antes de elaborar la sección hay que determinar la línea de bankfull, es la línea que une la parte más alta de las dos orillas; cabe señalar que en alguna de las secciones se han considerado dos bankfull diferentes, uno para el cauce principal y otro para el secundario.

Para elaborar la sección del cauce se ha utilizado un nivel topográfico Leica, una mira telescopica y una cinta métrica de 50 m. Siempre que sea posible el nivel topográfico se coloca en una orilla por encima del nivel de bankfull y se extiende la cinta a lo largo de la sección. Se han tomado puntos (distancia-profundidad) dónde aparecían variaciones significativas de la pendiente, cambios importantes en el material superficial del lecho y también en los puntos que limitan láminas de agua (Fig. 5). Con un GPS se han tomado las coordenadas del punto de inicio y final del perfil, cabe indicar que la precisión de este GPS es de entre 4 y 6 m.

También se ha detallado la presencia y tipo de vegetación en el cauce así como la granulometría de los materiales del lecho presente en cada tramo de la sección.



Figura 5. Toma de puntos para la sección del cauce.

A partir de los datos de la sección se podrán obtener otros parámetros en el trabajo de gabinete.

Medida de la pendiente local del cauce

La pendiente local del cauce se mide sobre la lámina de agua, para ello se ha tomado una distancia de 20-25 m aguas arriba y aguas abajo del punto donde se ha colocado el nivel topográfico; en otros puntos se ha medido colocándolo entre dos rápidos consecutivos. Se ha utilizado el mismo material que para elaborar la sección.

4.4. Granulometría de la subcoraza

4.4.1. Granulometría

Hay que recordar que para estudiar las muestras (Fig. 6), éstas deben estar totalmente secas. En primer lugar se retiran todos los cantos ($> 64 \text{ mm}$) y las gravas mayores de 16 mm, se mide el lado menor de cada partícula y se pesan estas dos clases granulométricas. El lado menor se mide para conocer el tamaño medio de cada clase granulométrica.

El tamaño medio de las arenas ($< 2 \text{ mm} - 63 \mu$) y los finos ($< 63 \mu$) es estimado y siempre se considera el mismo, 0,5 y 0,005 mm respectivamente. En cuanto al tamaño medio de la gravilla ($< 16 \text{ mm} - > 2 \text{ mm}$) teniendo en cuenta los límites de esta clase, se le ha asignado un valor de 8 mm.



Figura 6. Muestras de la subcoraza de las barras.

El resto de la muestra se tamiza (Fig. 7) mediante una torre con dos tamices de luz de malla 2 y 0,062 mm, quedando en el primer tamiz la fracción gravilla, en el segundo la fracción arena y por último los finos en el recipiente inferior. La fracción recogida en cada tamiz se pesa en una balanza.



Figura 7. Tamizado de la muestra.

4.4.2. Cálculo de la subcoraza y del índice de acorazamiento

Para calcular la subcoraza se multiplica el peso de cada fracción de la muestra (en gramos) por el tamaño medio de partícula (en mm) de esa fracción y después se divide el total de la suma de esos productos entre el peso total de sedimento de la muestra (fracciones desde cíntos a finos).

El índice de acorazamiento se calcula dividiendo el tamaño medio de los materiales de la coraza entre el tamaño medio de los materiales de la subcoraza.

4.5. Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete ha comprendido varias tareas:

- Representación de la sección transversal del cauce
- Cálculo de parámetros básicos del cauce
- Cálculo de índices morfométricos
- Representación granulometría fracción gruesa (Wolman)
- Estimación de la competencia de la corriente fluvial y del transporte de sedimentos
- Cartografía de usos del suelo del Bajo Gállego (2009)
- Georreferenciación de ortofotos de la zona de estudio: 1957, 1984 y 2006.

4.5.1. Representación de la sección transversal del cauce

La sección transversal se ha representado mediante el programa Autocad, con este mismo programa se ha obtenido el área de la sección y el perímetro mojado. En la sección se señala la línea de bankfull, así como el nivel de la lámina de agua en el momento de la medición; también se indica la granulometría de los materiales superficiales del lecho y la vegetación herbácea, arbustiva y arbórea.

El inicio y el final de la sección está marcado por las coordenadas UTM expresadas en el sistema de proyección ETRS89, en el campo se han marcado estos puntos en verde (Fig. 8) generalmente en troncos y ramas.



Figura 8. Marcaje del inicio de la sección del Gállego en Santa Isabel.

El perfil se acompaña de una foto panorámica de la sección y de la localización de la sección en la ortofoto del PNOA 2009.

En cuanto a la escala utilizada, para observar bien la topografía del relieve se ha exagerado dos veces la escala vertical.

4.5.2. Cálculo de parámetros básicos del cauce

En lo referente a los parámetros del cauce hay algunos que se obtienen directamente mediante la lectura de la sección del cauce como son la profundidad máxima en bankfull y la anchura en bankfull. Para obtener otros parámetros como la rugosidad, la profundidad media en bankfull, el caudal bankfull y la potencia específica es necesario realizar los cálculos y estimaciones que se detallan a continuación:

Estimación de la rugosidad

La rugosidad (n) se ha estimado mediante el coeficiente de rugosidad de Cowan (1956), que contempla todos los efectos perturbadores relacionados con la morfología del cauce. Este coeficiente se calcula a través de la siguiente tabla (Tabla 1) y aplicando una vez seleccionados los valores la fórmula: $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$

Tabla 1. Factores asociados a la rugosidad del canal.

Efecto perturbador	Tipo	Valor
n_0 (material del lecho):	Material fino	0,02
	Arena gruesa y gravilla	0,025
	Gravas	0,028
n_1 (grado irregularidad superficie)	Débil	0,005
	Mediana	0,01
	Fuerte	0,02
n_2 (variaciones forma secc. transversal)	Graduales	0
	Alternancia ocasional	0,005
	Alternancia frecuente	0,01-0,015
n_3 (efecto obstrucción:puentes)	Despreciable	0
	Débil	0,01-0,015
	Apreciable	0,02-0,03
	Fuerte	0,04-0,06
n_4 (presencia de vegetación)	Débil	0,005-0,01
	Media	0,01-0,025
	Importante	0,025-0,05
	Muy importante	0,05-0,1
m_5 (grado de sinuosidad del canal)	Débil	1
	Apreciable	1,15
	Fuerte	1,3

Profundidad media en bankfull (D_b)

Se calcula dividiendo el área de la sección (A_b) entre la anchura bankfull (W_b):

$$D_b = A_b/W_b$$

Caudal bankfull

A partir de la fórmula de Manning (1891) (entre corchetes en la fórmula) que facilita la velocidad del caudal en m/s en función del radio hidráulico (R_h), la pendiente del cauce (S , slope) y de su rugosidad (n) y multiplicando dicha fórmula por la sección se obtiene el caudal bankfull Q_b .

$$Q_b = A[(R^{2/3} S^{1/2})/n]$$

Potencia específica

La potencia específica (Ω), resulta al aplicar la siguiente fórmula, siendo ρ la masa volumétrica del agua (1000 kg/m³), g la aceleración de la gravedad (9,8 m/s²), Q_b el caudal bankfull (m³/s), S la pendiente (m/m) y W la anchura bankfull (m). Se expresa en W/m².

$$\Omega = (\rho g Q_b S)/W$$

4.5.3. Cálculo de índices morfométricos de los sedimentos superficiales

Se trata de tres índices, el de desgaste, el de aplanamiento y el relativo a la esfericidad.

Índice de desgaste (I_d)

Es el resultante de dividir el doble del radio menor de curvatura (R) entre el eje mayor (L).

$$I_d = 2R/L$$

Índice de aplanamiento (I_a)

Se calcula dividiendo la suma de la longitud de los ejes mayor (L) y menor (l) entre dos veces el espesor del canto (E). Este índice aumenta parejo a la disminución de espesor de los cantos.

$$I_a = (L + l) / 2E$$

Índice de esfericidad (I_e)

En esta fórmula participan el lado menor (l), el espesor (E) y el lado mayor (L). Hay que resaltar que los valores cercanos a 1 representarán formas muy esféricas.

$$I_e = [(l E L^2)]^{0,33}$$

4.5.4. Representación de la granulometría de la fracción gruesa (Wolman)

Se ha representado en un gráfico la distribución de tamaños a lo largo de la barra de aguas arriba a aguas abajo, siguiendo la línea de 50 m antes mencionada. En el eje de abcisas se ha representado la distancia (m) y en el eje de ordenadas el tamaño de partícula (mm). Se ha agregado una línea de tendencia para observar la evolución del tamaño de grano a lo largo de la barra.

4.5.5. Estimación de la competencia de la corriente fluvial y del transporte de sedimentos

Además del centílo y de los cinco mayores bloques del sitio, para estimar la competencia y el transporte de sedimentos se van a usar tres parámetros: la fuerza de tracción, velocidad de circulación de los bloques mayores y el transporte sólido de fondo.

Fuerza de tracción (T_0)

Para calcularla se necesita conocer ρ la masa volumétrica del agua (1000 kg/m³), g la aceleración de la gravedad (9,8 m/s²), R_h el radio hidráulico, y S la pendiente local. Se mide en N/m².

$$T_0 = \rho g R_h S$$

Velocidad de circulación bloques mayores (V)

Para calcular la velocidad a la que comienzan a movilizarse los bloques se ha utilizado la fórmula de Costa (1983), siendo D , la longitud media en milímetros del lado menor de los cinco mayores bloques del sitio.

$$V = 0,18 D^{0,487}$$

Transporte sólido de fondo (Q_s)

Se ha utilizado una simplificación de la fórmula de Meyer-Peter y Müller (1948):

$$Q_s = 32,17 (T_0 - 0,047)^{3/2} D_{50}^{3/2}$$

Siendo T_0 la tracción o tensión cortante sobre el fondo, D_{50} el valor medio de la granulometría de los cantes correspondientes a la coraza expresado en metros. Se expresa en $m^3/s/m$.

4.5.6. Cartografía de usos del suelo del Bajo Gállego (2009)

Para realizar la cartografía de usos del suelo del Bajo Gállego con las ortofotos de mayor actualidad disponibles, se descargaron las ortofotos del PNOA del 2009 del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Estas ortofotos se localizan en la Hoja 355-Leciñena del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000.

El límite norte de la zona cartografiada se encuentra a 1,27 km al norte de la Urbanización Las Lomas y el límite sur viene marcado por la desembocadura del río Gállego.

Esta cartografía se ha realizado con el programa ArcGIS 10.1.

Las categorías de usos del suelo utilizadas en esta cartografía son las mismas que en el mapa de usos del suelo del Bajo Gállego del año 2004 incluido en el “Estudio hidrológico, geomorfológico, hidráulico y ecológico del bajo Gállego en el término municipal de Zaragoza para su gestión como espacio fluvial”, realizado mediante un convenio entre el Ayuntamiento y la Universidad de Zaragoza.

Estas categorías son las siguientes:

- Río Gállego
- Barras
- Praderas y primicolonizadoras
- Bosque de ribera
- Repoblaciones
- Carrizal-comunidades de acequias
- Tamarizales
- Cultivos
- Laguna interior
- Improductivo

Respecto a la categoría improductivo cabe indicar que además de zonas no cultivadas incluye núcleos urbanos y vías de comunicación. Y en lo referente a la categoría carrizal-comunidades de acequias, en las comunidades de acequias también habrá vegetación ruderal.

Tras la realización de esta cartografía de usos del suelo del 2009, ésta se comparará con los mapas de usos del suelo de la misma zona de los años 1927, 1957 y 2004, incluidos todos ellos en el Estudio antes mencionado.

4.5.7. Georreferenciación de ortofotos de la zona de estudio: 1957, 1984 y 2006

Se han georreferenciado mediante ArcGIS las ortofotos de 1957 y 1984 correspondientes a los cuatro puntos de muestreo: Las Lomas, San Juan de Mozarrífar, Montaña-Torre Los Ajos y Santa Isabel. Esta georreferenciación se ha llevado a cabo a partir de la ortofoto del PNOA 2009.

Hay que señalar que la ortofoto del 2006 se descargó georreferenciada del SITAR. Se decidió utilizar las ortofotos del PNOA del 2006 y no las ortofotos del 2004 (realizadas para el estudio del bajo Gállego mencionado en el apartado 4.5.6) ya que en esos dos años el cauce no sufrió variaciones significativas y la escala de las ortofotos del 2006 se ajusta mejor a los objetivos del presente trabajo.

Tras la georreferenciación se ha estudiado la evolución de la dinámica fluvial en los cuatro puntos de muestreo, mediante la comparación de las ortofotos de 1957, 1984, 2006 y 2009.

5. DESARROLLO ANALÍTICO

5.1. Evolución de los usos del suelo en los enclaves dinámicos seleccionados

En este apartado se realiza un análisis de la evolución de los usos del suelo en los cinco enclaves dinámicos seleccionados (Fig. 9) que se citan a continuación:

- Las Lomas
- Torre Hospitalico – La Mejana → *Hospitalico*
- Peña el Cuervo
- San Juan de Mozarrifar – Montañana (Torre Los Ajos) → *San Juan – Torre Los Ajos*
- Santa Isabel

Hay que señalar que en algunos casos se han acortado las denominaciones de los enclaves dinámicos en el título de los mapas, por ello se ha señalado en cursiva los nombres utilizados.



Figura 9. Localización de los enclaves dinámicos.

La evolución de los usos del suelo en cada enclave dinámico se ha dividido en tres etapas:

- 1927-1957
- 1957-2004
- 2004-2009

En los mapas de usos del suelo se ha medido la anchura media del espacio fluvial natural que se compone de las siguientes categorías: el río, las barras, praderas y primicolonizadoras, bosque de ribera, carrizal, tamarizales. En el caso de Santa Isabel y Montañana aparecen repoblaciones, y éstas tam-

bién se han incluido. Para ello se han medido cuatro líneas transversales al cauce, y después se ha tomado la media de estos valores.

5.1.1. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Las Lomas

Primera etapa: 1927-1957

En esta etapa un proceso fundamental es la corta del meandro *A* situado en la parte más meridional del enclave. Se trata de un desplazamiento lateral del cauce de más de 300 m. El meandro situado en esta zona (*F*) en 1957 es de gran longitud, este nuevo meandro presenta una barra en su margen de acreción con una anchura máxima de 150 m.

La migración de este canal hacia el oeste ha supuesto el aumento de la superficie de depósitos sedimentarios, como se observa en 1957 si bien gran parte de estos depósitos ya han sido colonizados por praderas y primicolonizadoras.

Ya en el límite sur del enclave, al final del meandro *F* hay bosque de ribera en ambas márgenes, en la derecha una estrecha franja y en la opuesta una mancha de tamaño medio.

Si se observa en detalle el punto *B* en 1927, se aprecia un brazo ciego de un antiguo canal secundario. En este giro del cauce hay dos grandes islas formadas por barras con un pequeño canal entre ellas; el río se divide en dos canales que rodean estas islas. En este punto el cauce tiene la mayor anchura de todo el enclave. Como en 1957 el cauce se simplifica, ya no hay canales secundarios ni estas islas.

En la zona central es donde se han producido menores variaciones. En 1927 en esta zona el cauce es bastante rectilíneo apareciendo en la orilla derecha una franja de barras y una muy estrecha de pradera y hasta la Acequia del Rabal hay cultivos. Estos cultivos en 1956 han sido ocupados por praderas y primicolonizadoras.

Este cauce rectilíneo de la zona central, en 1956 ha aumentado ligeramente su sinuosidad con el desarrollo de una pequeña inflexión *D*, migrando hacia el este; esta inflexión hace que haya sedimentación en *D* y *E*. Las curvas del río en estos puntos son de poca amplitud.

En la orilla izquierda en 1956 entre *C* y *D* ha disminuido la extensión de bosque de ribera y también de praderas.

En la zona septentrional (*C*) el cauce en 1956 se ha estrechado. Este meandro *C* en 1927 presenta una gran barra sedimentaria en su margen cóncava; en 1956 más de la mitad de esta barra ha sido ocupada por praderas y primicolonizadoras, incluso aparece una mancha de bosque de ribera.

En toda la superficie del enclave hay mayor presencia de vegetación (praderas) en las márgenes en 1957, lo que indica un aumento de la estabilidad del cauce.

En 1927 el espacio fluvial natural tenía una anchura media de 285 m y en 1957 de 394 m. Por tanto en 1957 había ganado 109 m.

Segunda etapa: 1957-2004

En esta etapa se ha estrechado el cauce de modo general en todo el enclave.

Uno de los mayores desplazamientos del cauce en esta etapa es el del meandro *C* de 1956. Este meandro que en 2004 ha migrado hacia el sureste y el giro que el río tomaba en 1956 (casi de 90°) ha disminuido su curvatura. Dicha curva se ha desplazado hacia el suroeste hasta el punto *H* presentando dos pequeñas barras en ambas orillas. Como resultado de este proceso el trazado del cauce en este punto se hace casi rectilíneo.

La curva que hay justo aguas abajo de *H* presenta una barra sedimentaria en su margen convexa en todo su recorrido. En su margen cóncava sólo aparece un pequeño depósito al final de la curva.

Al final de esta etapa, en 2004 en la zona *I* ha aumentado la sinuosidad, desarrollándose tres pequeñas curvas con baja amplitud y longitud de onda, en las márgenes de acreción de estas curvas se han formado barras con muy poca extensión.

En lo referente a la vegetación en 2004 ha aumentado en gran medida la extensión de bosque de ribera, apareciendo de manera continua en la margen izquierda en el tramo norte como una fina franja, y en el sur como una banda más amplia.

Donde en 1956 se encontraba el meandro *C*, en 2004 se ha desarrollado un bosque de ribera de gran extensión, llegando a alcanzar esta mancha (*K*) más de 300 m de anchura.

En el punto *D* de 1957 que presentaba una amplia barra sedimentaria, la vegetación primicolonizadora ha ocupado la mayor parte de estos sedimentos.

En los meandros *C* y *F* y en la curva de la zona *E* de 1957 es el bosque de ribera el que ha ganado extensión a las barras.

En 2004 cabe señalar que la Acequia del Rabal está dominada por carrizal y por vegetación ruderaria.

Uno de los puntos más estables de este enclave es el meandro *J*, junto con el tramo del cauce situado en la gran mancha de bosque de ribera localizada al norte del sector.

De 1957 a 2004 el espacio fluvial natural ha pasado de tener 394 m de anchura a 300 m, se trata de una pérdida significativa de 94 m.

Tercera etapa: 2004-2009

En 2009 se observa que en el margen norte del enclave el cauce ha migrado ligeramente hacia el sureste (*K*). En esta zona en la orilla derecha ha aumentado más el bosque de ribera ocupando zona de pradera.

Las barras sedimentarias del punto *H* en 2009 han sido ocupadas en la orilla derecha por primicolonizadoras y en la izquierda por bosque de ribera. La barra sedimentaria que en 2004 ocupaba la orilla derecha del meandro situado aguas abajo de *H* está conectada con los depósitos de gravas existentes en la orilla cóncava del siguiente meandro. En la margen opuesta en 2009 se aprecia un ligero crecimiento de la barra.

En la mitad sur del enclave en el punto *I* en 2009, de las tres curvas presentes en 2004 la que está aguas arriba ha aumentado bastante su amplitud, la tercera sólo ligeramente y la segunda se mantiene igual. En el primer meandro del punto *I* se ha desarrollado una mancha importante de bosque de ribera, que en 2004 presentaba una extensión ínfima. Las tres curvas se han desplazado hacia aguas abajo.

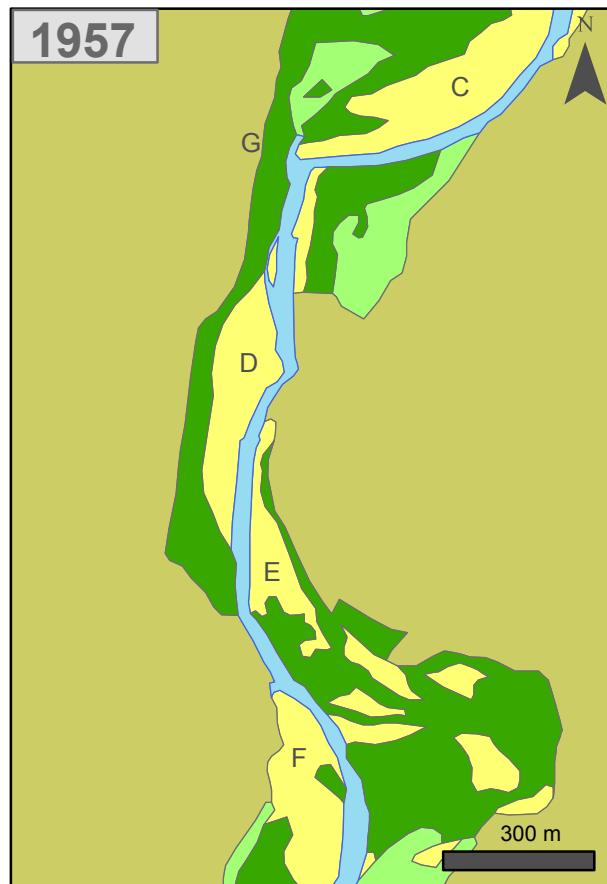
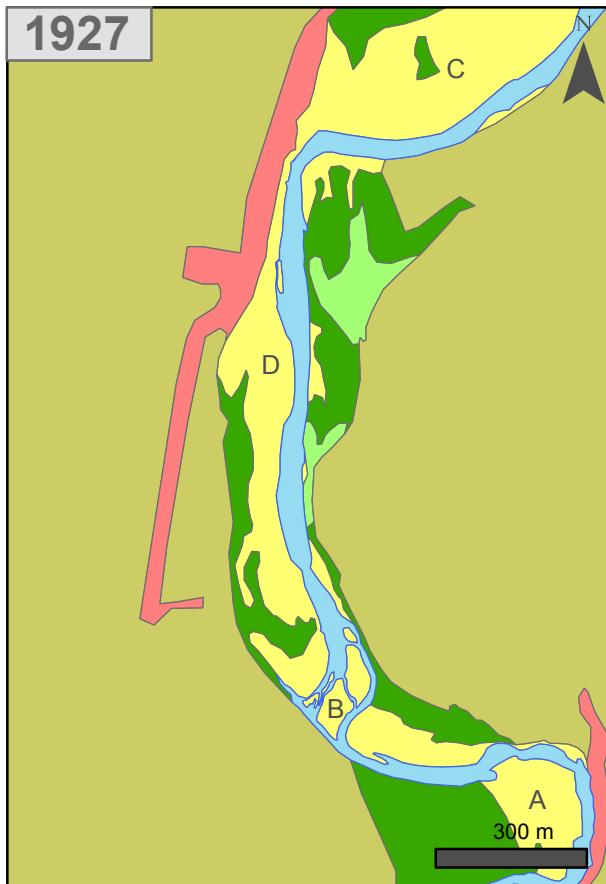
En el límite sur de este enclave, en el último meandro de 2004 había una barra en el margen de acreción, que en 2009 ha sido ocupada por primicolonizadoras y bosque de ribera.

La zona de primicolonizadoras y bosque de ribera que aparece en la región sureste, rodeada de cultivos en 2004 se mantiene en 2009 sin variaciones.

En el meandro *J* en 2009 dentro del bosque de ribera ha aumentado la extensión de primicolonizadoras.

La anchura del espacio fluvial natural no ha tenido variaciones apreciables entre 2004 y 2009.

Evolución usos del suelo - Gállego en Las Lomas



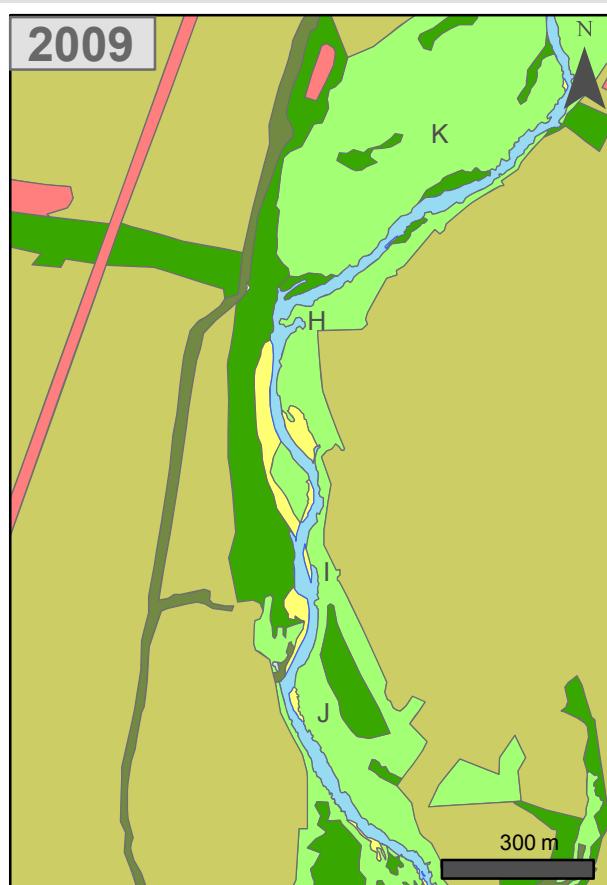
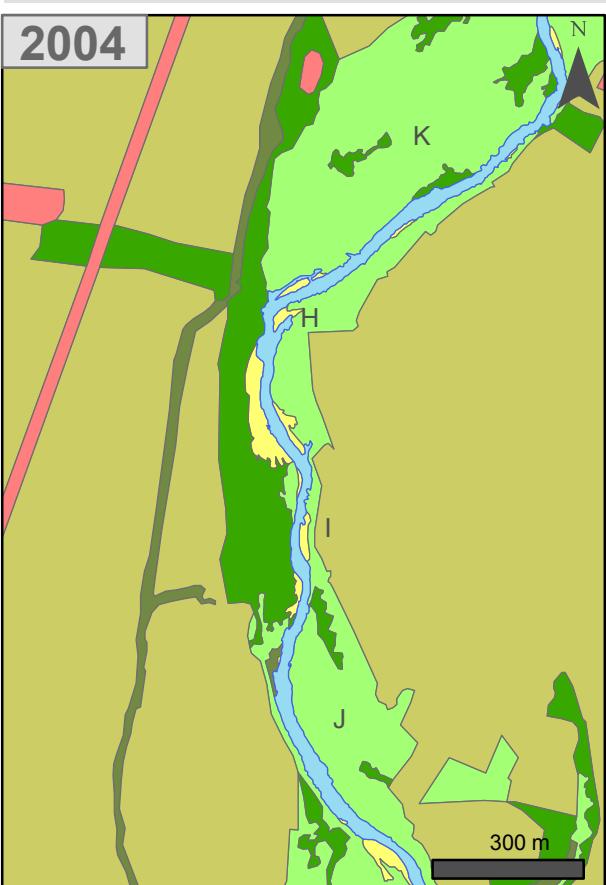
LEYENDA

Río Gállego
Barras

Praderas y primicolonizadoras
Bosque de ribera
Carrizal-Comunid. acequias

Repoplaciones
Tamarizales

Cultivos
Improductivo



Mapa de usos del suelo de 1927, 1957 y 2004: Estudio hidrológico, geomorfológico, hidráulico y ecológico del bajo Gállego (2005)
Elaboración Mapa de usos del suelo de 2009: Juan Lasala Ordovás, Zaragoza, 2013

5.1.2. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Torre Hospitalico – La Mejana

Primera etapa: 1927-1957

En la parte sur de este tramo se observan dos meandros en 1927 (*A* y *B*), los dos sufrirán un estrangulamiento, pasando a ser un cauce rectilíneo en 1957. El brazo ciego que hay al lado del meandro *A* indica que se está produciendo su estrangulamiento.

En cambio, el tramo central de este enclave dinámico está caracterizado por su morfología rectilínea en el mapa de 1927. En 1956 el río en esta zona se ha desplazado hacia el este formando el meandro *E*, de gran amplitud, casi toda la margen convexa de dicho meandro está limitada por cultivos

Si comparamos los meandros más septentrionales de 1927 (*C*) y de 1957 (*D*) se observa que este meandro ha migrado hacia el oeste y hacia aguas abajo, aumentando su amplitud y su longitud.

Tras valorar estos aspectos queda patente que en esta etapa el río ha tenido una movilidad muy activa.

Las barras sedimentarias aparecen como una franja relativamente estrecha en el meandro *C* de 1927. En la zona central del mapa las barras aparecen en ambas márgenes del cauce como bandas, flanqueadas por manchas lineares de praderas y primicolonizadoras.

Los cultivos ocupan una gran extensión en 1927, quedando a poca distancia del cauce y llegando a estar en contacto con él en las márgenes convexas de los meandros. Si bien en 1957 los depósitos de gravas han ganado espacio a los cultivos en los meandros *D* y *E*, cubriendose parcialmente estas barras por praderas y primicolonizadoras. Esta vegetación se ha extendido mucho en la zona sur en una amplia mancha alrededor del antiguo meandro *M*.

La franja de bosque de ribera subparalela al cauce que se observa en 1927, ha desaparecido en 1957 siendo sustituida por barras sedimentarias y praderas, aunque cerca ha aparecido una mancha aislada de bosque de ribera.

Entre 1927 y 1957 el espacio fluvial natural en este enclave ha ganado 80 m, pasando de un valor de 270 a 350 m.

Segunda etapa: 1957-2004

En el mapa de 2004 el bosque de ribera ocupa una extensión muy importante, lo que indica que las márgenes se han estabilizado, también hay un incremento de la sinuosidad.

En la margen derecha al final de esta etapa el cordón ribereño es continuo, alcanzando su máxima extensión en los meandros *F* e *I*. En la margen izquierda el bosque de ribera ocupa mayor superficie desde el meandro *G* hasta el *I*. En esta orilla al noreste del meandro *G*, hay dos bandas paralelas de repoblaciones.

En cuanto a los cultivos, ya no hay ninguna zona del cauce en contacto directo con éstos.

Tanto el meandro *G* como la pequeña inflexión en el cauce que representa *H* poseen franjas de sedimento en sus márgenes de acreción, en el caso de *H* la barra es lobulada. En este punto se observa un pequeño canal secundario.

En la zona noreste del enclave el cauce tiene su margen izquierda acotada por un escarpe, estrechándose mucho el cauce en ese tramo. En esta zona (*F*) es donde se ha formado un meandro al desplazarse el cauce hacia el sureste.

El río ha cambiado su trazado en la mitad sur migrando hacia el oeste, cortando así el meandro *I*, se trata de un desplazamiento lateral muy importante de al menos 250 m hacia el oeste. Se observa un depósito linear de barras que sigue el antiguo cauce, que será activo en las crecidas. En el nuevo canal rectilíneo por el que discurre el río, hay una pequeña barra fragmentada, que es atravesada por un canal; más al sur aparece una barra con más desarrollo.

El último tramo del río en la mitad sur del mapa de 2004 presenta dos curvas de baja amplitud con depósitos de barras en la margen izquierda primero y después en la derecha. En este tramo el cauce ha

migrado lateralmente hacia el oeste formando un meandro, siendo muy escasa la vegetación en esta margen convexa.

Cabe señalar que en los meandros *G* y *J* en la margen derecha los cultivos están muy próximos al cauce.

Entre 1957 y 2004 el espacio fluvial vuelve a aumentar su anchura, en este caso en 65 m, pasando de los 350 m a los 415 m.

Tercera etapa: 2004-2009

En esta etapa las principales variaciones de usos del suelo afectan al trazado del río y a los depósitos de barras. La superficie de bosque de ribera y cultivos no varía, aunque hay alguna ligera pérdida de bosque de ribera a favor de praderas y primicolonizadoras. Tanto las dos bandas de repoblaciones de la mitad norte, como la situada al sur en la margen izquierda se mantienen.

Al norte del enclave, en *F* se ha producido un estrechamiento del cauce y la margen erosiva se ha acercado más al escarpe, reduciendo la banda de praderas y primicolonizadoras.

En el meandro *G* de 2009, en la parte norte de su margen convexa aún se observan vestigios de un antiguo trazado del cauce. Este trazado enlazaría con la masa de agua situada más al norte; este aspecto también es visible en 2004.

Este meandro *G* ha aumentado ligeramente la anchura de su barra sedimentaria. En la parte sur de este meandro se ha producido un avance de la margen erosiva hacia el sur ensanchando el canal en este punto, donde ha aparecido una barra en mitad del cauce con un pequeño canal en la margen izquierda.

Los depósitos de gravas presentes en 2004 en torno a *H* han sido cubiertos parcialmente por primicolonizadoras.

Ya en 2004 se observa una pequeña inflexión (*H*) a la que suceden dos curvas una hacia el SE y otra hacia el SW. Este conjunto de tres curvas se ha desarrollado mediante una migración de todo el conjunto hacia el sur, y erosionando la primera y la tercera curva hacia el este, y la segunda en sentido contrario. El resultado es un incremento muy importante de la amplitud de estas tres curvas dando tres meandros. La primera y la tercera han desarrollado barras sedimentarias de extensión importante.

El meandro que se estranguló en 2004 sigue estando conectado al río solamente en su extremo sur, aunque el cauce es muy estrecho. En su extremo norte la vegetación ha colonizado un segmento importante del cauce, y en la orilla izquierda del antiguo meandro el bosque de ribera tiende a aumentar. Tanto en 2004 como en 2009 en la margen cóncava hay pequeñas manchas de carrizal.

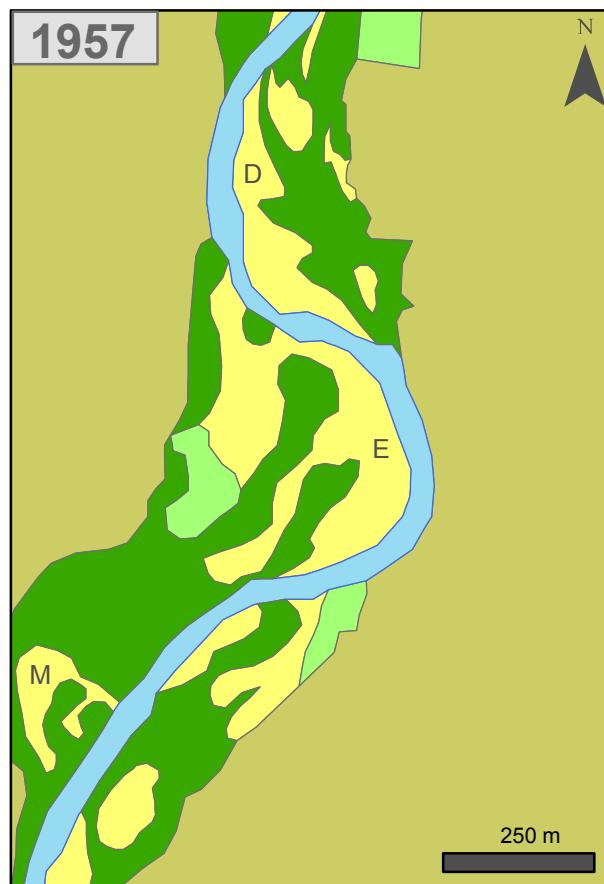
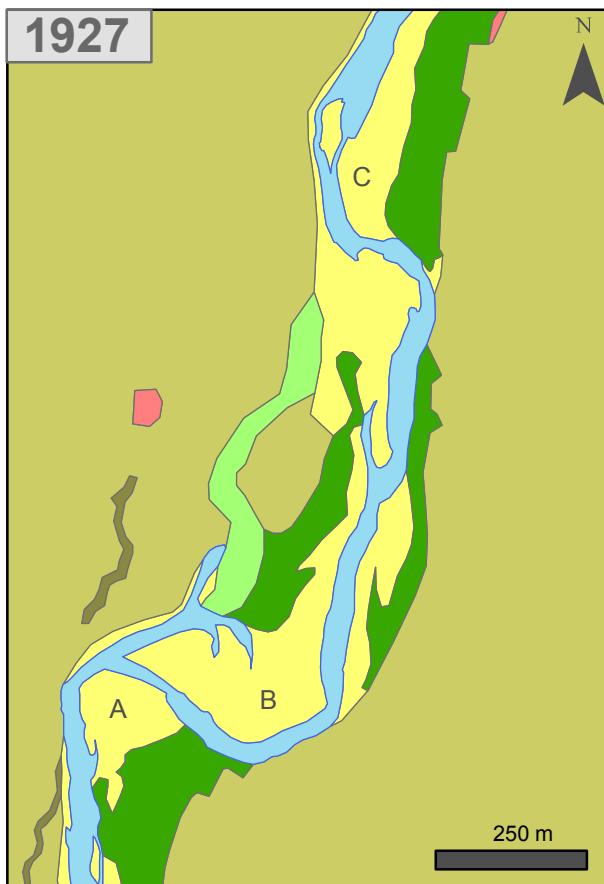
En 2009 en la orilla opuesta al antiguo meandro se ha formado una barra sedimentaria de gran extensión, con más de 60 m de anchura.

En cuanto a las dos curvas de baja amplitud situadas al sur de la zona (*J*) en 2004 la primera se ha perdido, y la barra que llevaba asociada ha sido colonizada por primicolonizadoras. En cuanto a la última curva, ésta ha aumentado su curvatura presentando en 2009 un giro de 90° y apareciendo en la orilla izquierda una barra más ancha y de menor longitud que en 2004.

Según esta evolución cabe señalar que el río ha sido muy dinámico en este sector en estos 5 años.

No se observan variaciones significativas en la anchura del espacio fluvial natural entre 2004 y 2009.

Evolución usos del suelo - Gállego en Hospitalico

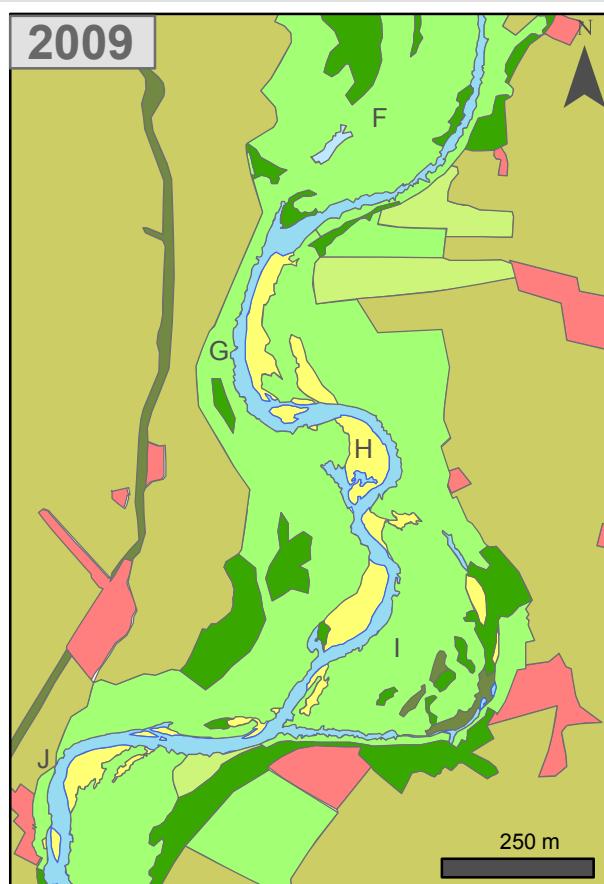
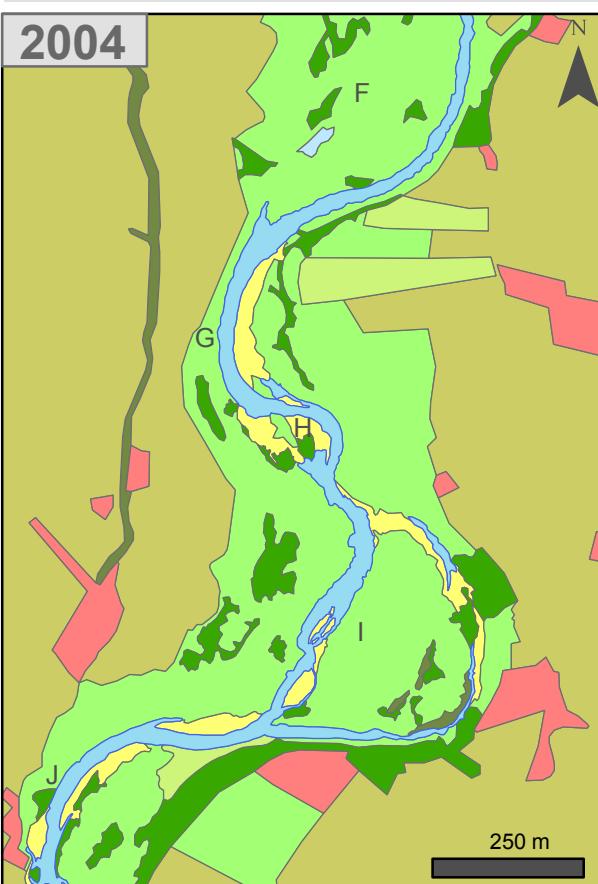


LEYENDA

Río Gállego
Barras

Praderas y primicolonizadoras
Bosque de ribera
Carrizal-Comunid. acequias

Repoblaciones	Cultivos
Tamarizales	Improductivo
Laguna interior	



Mapa de usos del suelo de 1927, 1957 y 2004: Estudio hidrológico, geomorfológico, hidráulico y ecológico del bajo Gállego (2005)
Elaboración Mapa de usos del suelo de 2009: Juan Lasala Ordovás, Zaragoza, 2013

5.1.3. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Peña el Cuervo

Primera etapa: 1927-1957

En esta etapa domina la erosión, siendo el proceso más importante la corta del meandro (A) y, posteriormente el aumento de la sinuosidad hasta alcanzar la que presenta el curso fluvial en el mapa de 1957. El estrangulamiento del meandro es indicativo de la alta movilidad del cauce.

En el mapa de 1927 ya se observa un indicio claro de que va a acontecer la corta del meandro, ya que al norte en la margen derecha hay un brazo ciego del río, que antes formaba parte del cauce principal. Este proceso contribuye a que el río presente en 1957 un trazado rectilíneo en su sector norte. Este tipo de trazado hace que el cauce sea más estrecho. En ese sector el cauce es paralelo al escarpe, ubicado al este del mismo.

En el meandro A la margen de acreción presenta una gran extensión de depósitos de barras, con franjas de primicolonizadoras. Esta zona dominada por depósitos de barras se mantiene en 1957, si bien hay una menor superficie de praderas y primicolonizadoras.

En 1957 además del cauce rectilíneo mencionado se observan tres curvas caracterizadas por una alta longitud y baja amplitud de onda.

Mientras en 1927 en ambas márgenes hay un dominio claro de los depósitos de barras, en 1957 ha aumentado mucho la vegetación en las márgenes, principalmente se trata de praderas y plantas primicolonizadoras.

En cuanto a los cultivos cabe señalar que en 1927 ya estaban presentes con una extensión importante, si bien en 1957 en la mitad sur la han aumentado ocupando zonas de depósito de barras; al sur de estos cultivos la vegetación ha colonizado las barras. En la mitad norte en el margen este del mapa de 1927 se observan unos cultivos próximos al escarpe, que en 1957 han sido ocupados por el cauce y por praderas y primicolonizadoras.

Entre 1927 y 1957 el espacio fluvial natural en este sector ha ganado 45 m de anchura, pasando de los 430 a los 475 m.

Segunda etapa: 1957-2004

En esta etapa hay un aumento muy importante de la sinuosidad, en el 2004 el meandro que ocupa la zona central (D) ha incrementado mucho su amplitud de onda, lo mismo ocurre en el pequeño meandro (C) que le precede.

El mapa de 2004 muestra un incremento muy fuerte de la vegetación en las orillas. En la mitad sur (E), se observa una franja de bosque de ribera, que en la orilla derecha de este meandro llega a alcanzar los 150 m de anchura. Este bosque de ribera tiene una orla de praderas y vegetación primicolonizadora. Precisamente las praderas y la vegetación primicolonizadora ocupan la mayor superficie del meandro D. La gran extensión de depósitos aluviales existente en la zona noroeste en 1957 ha dado paso a cultivos y bosque de ribera.

Si se comparan los depósitos aluviales de estos dos mapas, se observa que en 2004 estos depósitos son mucho más pequeños en comparación con los de 1957. En el mapa de 2004 se puede apreciar como en la mitad sur un meandro se ha ido encajando en el escarpe.

De 1957 a 2004 el espacio natural fluvial de este enclave sufre una pérdida muy relevante, ya que pierde 133 m de anchura, quedándose en un valor de 342 m.

Tercera etapa: 2004-2009

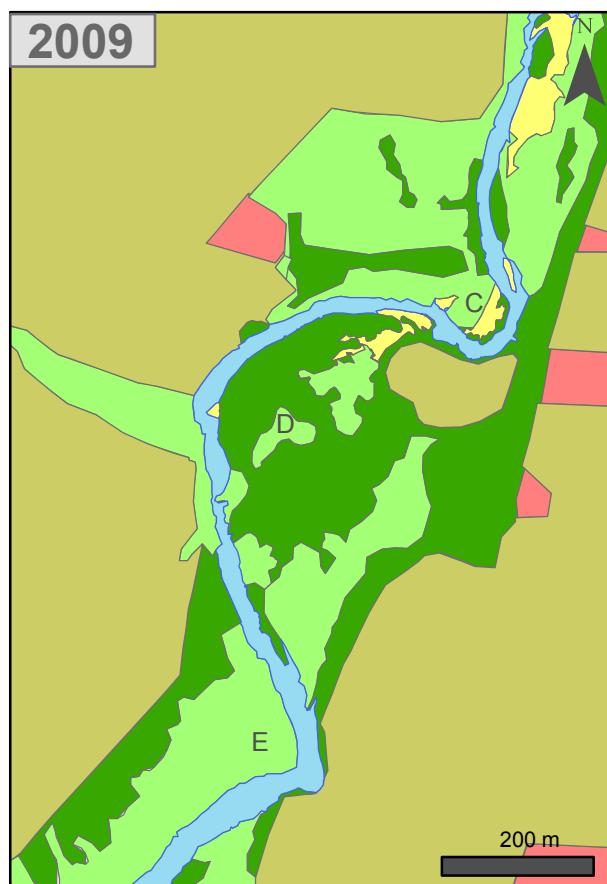
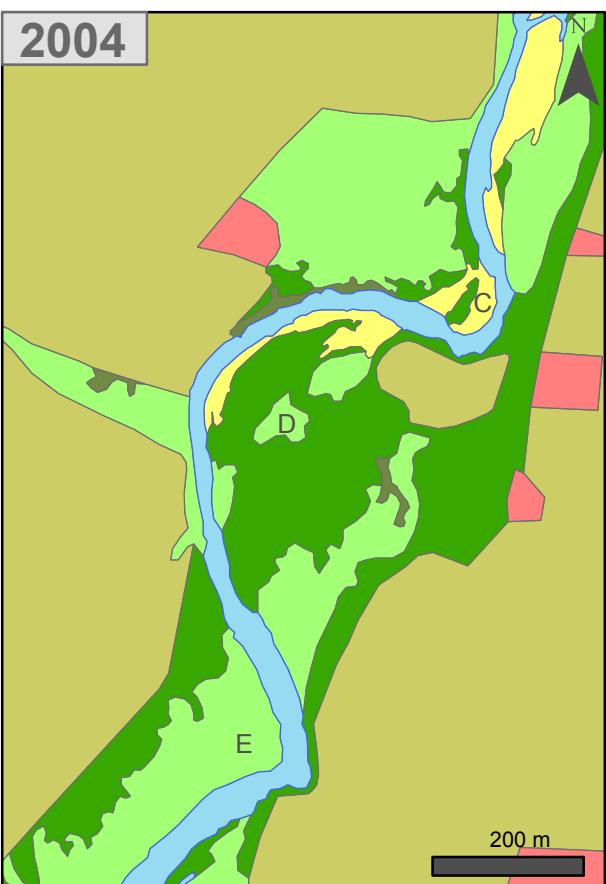
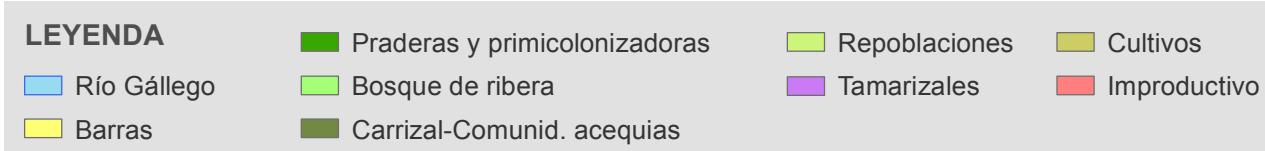
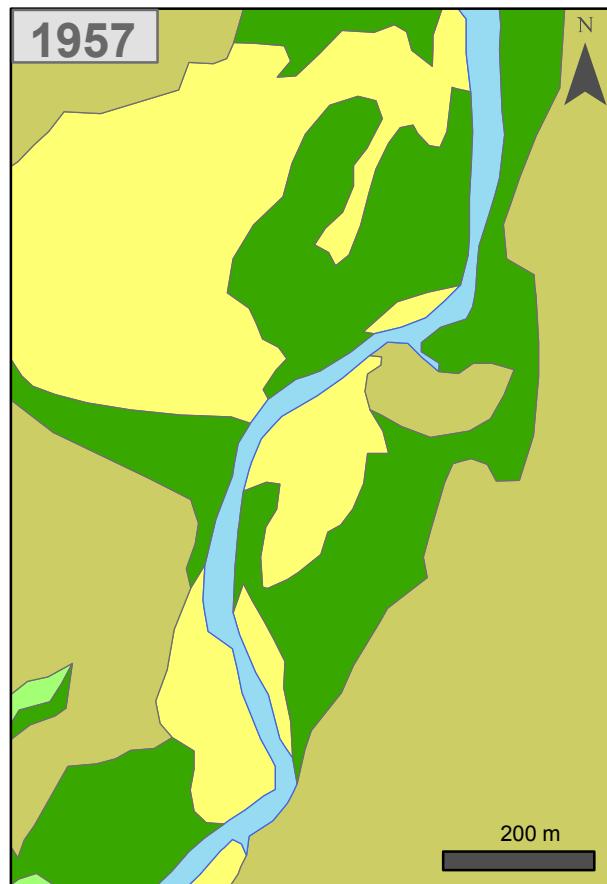
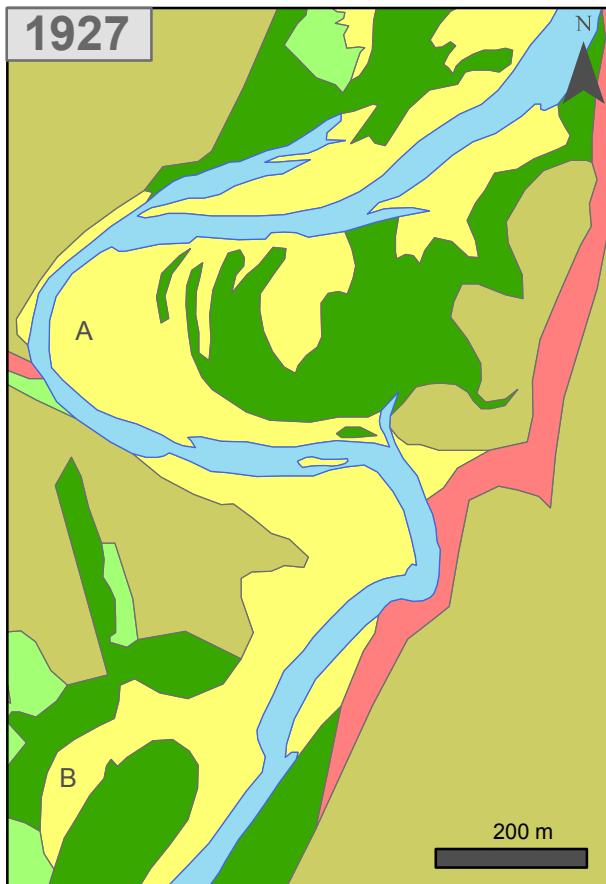
Las barras presentes en la orilla izquierda del meandro D han sido cubiertas por praderas y primicolonizadoras en la mayor parte de su extensión, apareciendo las barras sólo al comienzo de dicho meandro.

Las barras sedimentarias que se localizan más al noreste han comenzado a ser colonizadas por la vegetación. En el punto E se puede ver como continúa el encajamiento del meandro en el escarpe.

En líneas generales ha habido un estrechamiento del cauce. En esta etapa las variaciones en el cauce han sido pequeñas.

En esta etapa casi no hay variaciones en la anchura del espacio fluvial natural, hay una ganancia de 13 m de anchura.

Evolución usos del suelo - Gállego en Peña El Cuervo



Mapa de usos del suelo de 1927, 1957 y 2004: Estudio hidrológico, geomorfológico, hidráulico y ecológico del bajo Gállego (2005)
 Elaboración Mapa de usos del suelo de 2009: Juan Lasala Ordovás, Zaragoza, 2013

5.1.4. Evolución de los usos del suelo del Gállego en San Juan – Montaña (T. Los Ajos)

Primera etapa: 1927-1957

Entre 1927 y 1957 hay una importante pérdida de trenzamiento en este enclave dirigiéndose hacia un modelo de cauce único, siendo por tanto mayor la sedimentación en 1957.

En lo que respecta a la margen derecha los cultivos llegan hasta el propio río salvo en las márgenes de acreción importantes como el meandro *A* y la curva *C*. El meandro *A* presenta una gran longitud.

El cauce que discurre por el este está desconectado del río aguas arriba en la zona septentrional. Este brazo en la zona central del sector, es subparalelo al cauce principal, y tiene a mitad de su recorrido una isla muy próxima a la margen derecha y justo aguas abajo una barra en la margen opuesta (*D*); dicha barra está en contacto con una franja de pradera que llega hasta el margen sur de la zona.

La gran isla de gravas (*B*) que queda entre los dos canales, el principal y el brazo ciego, tiene grandes dimensiones, llega alcanzar una anchura de más de 500 m y tiene dos grandes manchas de pradera una al norte al este del meandro *A* y otra entre la zona centro y sur del sector.

Es en la parte meridional del sector donde confluyen los dos cauces, apareciendo en este punto dos barras muy pequeñas (*E*) justo al sur del ápice de la isla *B*.

En 1957 el cauce se ha simplificado mucho, siendo bastante meandriforme. En la zona norte el cauce ha migrado hacia el suroeste siendo los dos primeros meandros (*F* y *G*) de gran longitud y pequeña amplitud. Aguas abajo, aparece un meandro que casi ha sido cortado (*H*) a continuación, en la parte meridional hay un último meandro de gran amplitud (*I*).

Entre los sedimentos del meandro *G* y los cultivos aparece una franja de bosque de ribera.

La extensión de las barras sedimentarias es similar en los dos momentos, pero en 1957 la superficie de vegetación (praderas) ha sufrido un aumento muy importante, sobre todo en la zona por donde discurría el cauce secundario. Esta vegetación también ha invadido parcialmente los cultivos en el margen este del sector.

Entre 1927 y 2004 hay un considerable aumento del espacio fluvial natural, aumentando su anchura en 125 m, variando de los 444 m a los 570 m.

Segunda etapa: 1957-2004

En el 2004 la complejidad del cauce ha disminuido mucho, constando éste de cinco curvas muy laxas, con gran longitud, presentando todas ellas barras en sus márgenes de acreción. De estas barras la más irregular es la barra *J*, de forma triangular y con una pequeña isla paralela a ella. En la curva *K* hay otra isla, de tal forma que se crea un pequeño canal.

En el caso de la barra *L* se caracteriza por su gran longitud y se va estrechando hacia aguas arriba.

En ambas riberas aparece una franja de repoblación que en algunos puntos llega a sobrepasar los 100 m de anchura. En la orilla izquierda estas repoblaciones tienen una orla de plantas primicolonizadoras.

Entre 1957 y 2004 y en este enclave es cuando se pierde la mayor extensión de espacio fluvial natural, reduciéndose drásticamente la anchura en 262 m, resultando un valor en 2004 de 306 m.

Tercera etapa: 2004-2009

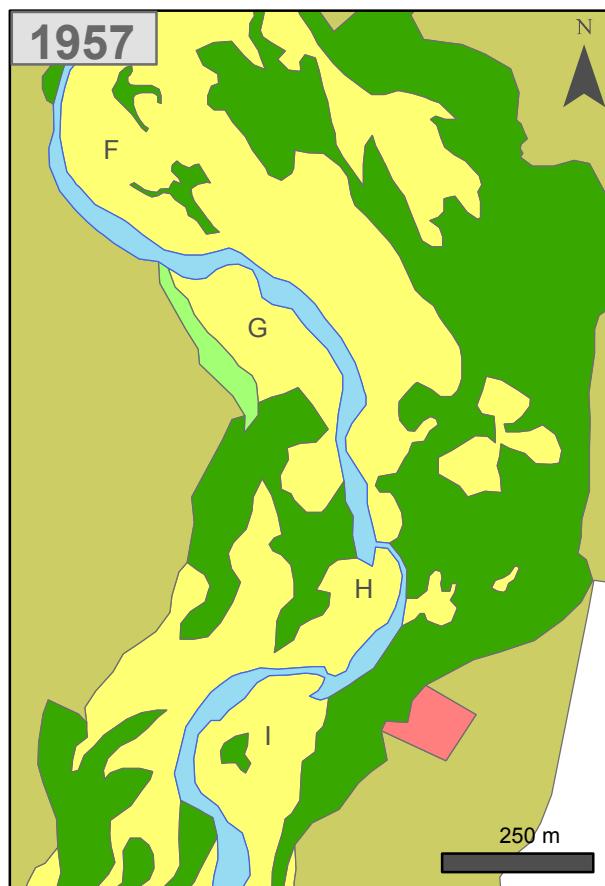
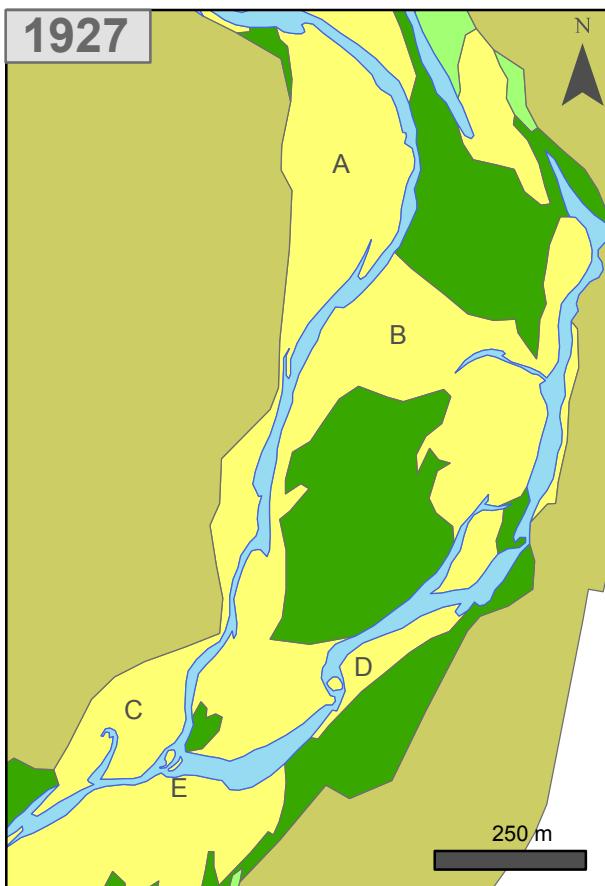
En esta etapa el cauce ha migrado hacia el este en la mitad norte, generándose la barra *M* y también en el sector meridional, en el meandro aguas arriba de *L*, generándose otra barra. Las otras barras han reducido su superficie ya que las curvas del cauce han aumentado su longitud de onda. En el sector central aparecen dos islas de pequeño tamaño.

La característica principal de esta etapa es una pequeña pérdida de la sinuosidad del cauce, tendiendo hacia un patrón más rectilíneo.

Desde la primera etapa en que teníamos un cauce trenzado y con dominio de las barras sedimentarias se ha producido una evolución hasta 2009, en el que el cauce es mucho menos complejo y con tendencia a ser rectilíneo y con unas riberas dominadas por las repoblaciones realizadas. En 2004 y 2009 la superficie cultivada es mayor que en 1957.

Entre 2004 y 2009 no se aprecian variaciones de anchura en el espacio fluvial natural.

Evolución usos del suelo -- Gállego en San Juan -- Torre Los Ajos



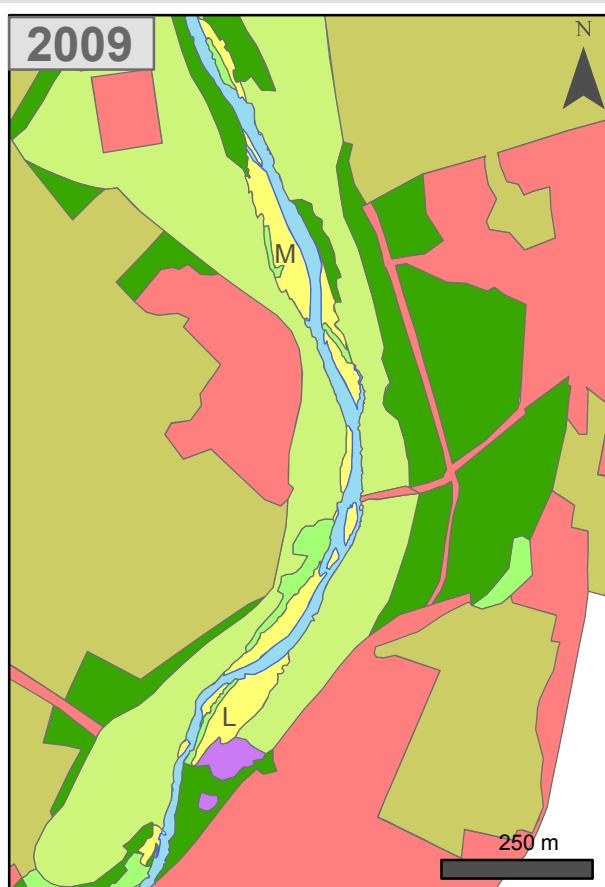
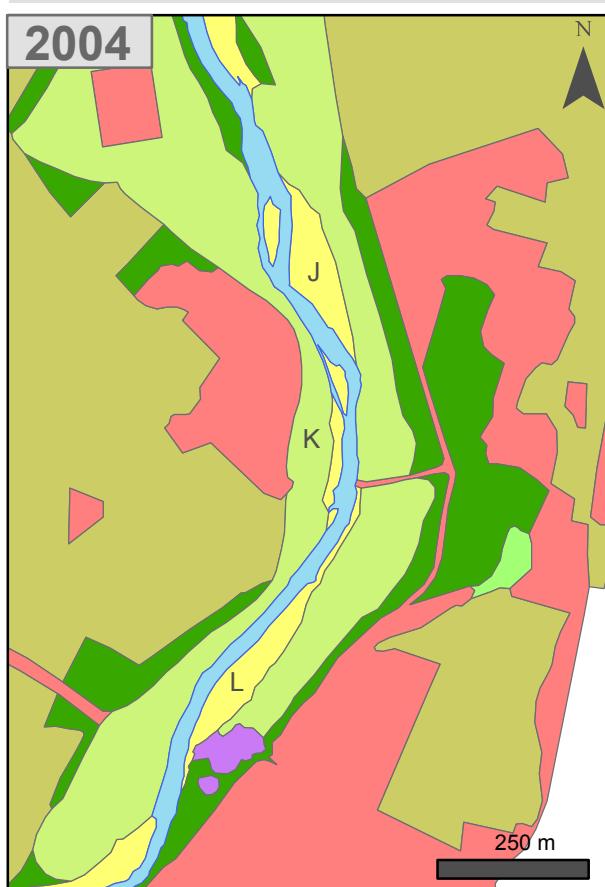
LEYENDA

Río Gállego
Barras

Praderas y primicolonizadoras
Bosque de ribera
Carrizal-Comunid. acequias

Re poblaciones
Tamarizales

Cultivos
Improductivo



Mapa de usos del suelo de 1927, 1957 y 2004: Estudio hidrológico, geomorfológico, hidráulico y ecológico del bajo Gállego (2005)
Elaboración Mapa de usos del suelo de 2009: Juan Lasala Ordovás, Zaragoza, 2013

5.1.5. Evolución de los usos del suelo del Gállego en Santa Isabel

Este tramo del río presenta una alta dinámica fluvial, ya que el río trenzado de 1927 se transforma en un río mucho menos complejo y con gran sinuosidad. En esta evolución se parte de un dominio absoluto de las barras sedimentarias para llegar a un cauce mucho más estable en 2004 con un denso bosque de ribera.

Primera etapa: 1927-1957

En el mapa de 1927 justo al norte de este enclave el río se bifurca (*A*), formándose un canal secundario que sigue la margen derecha, este canal se unirá al principal casi en la mitad de este sector.

Es precisamente justo al norte de *A* donde se inicia una isla que abarca más de la mitad del enclave, con una longitud de más de 900 m y una anchura máxima de casi 300 m.

El canal secundario de 1927 en su margen izquierda, sólo presenta barras sedimentarias de pequeña extensión y en puntos muy concretos (*C*). El resto de esta margen está bordeada por bosques de ribera al norte y por praderas al sur. También hay una franja de praderas en la orilla derecha ocupando una gran longitud, esta zona en 1957 ha sido erosionada encontrándose en ese lugar la orilla convexa del meandro *E*.

Este canal secundario de 1927 pasa a ser en 1957 el canal principal del río, desapareciendo el antiguo canal principal. La zona más septentrional del antiguo canal principal y sus barras han dado paso en 1957 a una gran mancha (*D*) de vegetación de primicolonizadoras.

En 1957 justo al sur de la barra sedimentaria *M* se suceden tres sinuosidades. En la primera curva de pequeña amplitud y longitud continúa la barra *M* con una morfología alargada. La segunda curva es de baja longitud y con un depósito importante en la margen de agradación. La tercera curva aguas abajo, es de alta longitud de onda, en su inicio presenta una isla estrecha y de la mitad al final una gran isla en cuyo extremo confluyen el canal principal y el secundario.

En 1957 al sur de *D* comienza un gran meandro (*E*), que ocupa gran parte del sector con gran longitud y amplitud de onda. En este meandro la orilla de acreción es la izquierda y la de erosión es la derecha. Con esta orilla convexa están en contacto los cultivos durante un tramo considerable del cauce, en el resto de esta margen los cultivos están en contacto con áreas de pradera.

Sólo se encuentra un tramo del cauce con algunos rasgos de trenzamiento en 1957. Se trata de las tres islas que aparecen en la zona más septentrional (*F*) con sus correspondientes canales.

Ya cerca de la desembocadura, aparece una barra importante (*G*) asociada a un amplio meandro. Esta barra tiene forma lobulada y un espolón que estrecha el cauce. Aguas arriba de este punto el cauce tiene gran anchura y se han desarrollado dos barras subparalelas entre sí.

En 1957 siguen dominando los depósitos de gravas y los cultivos frente a la vegetación, que aún ocupa poca superficie, y cuya extensión y continuidad se han reducido significativamente en ambas márgenes. Destaca la gran anchura del cauce en todo el enclave.

Entre 1927 y 1957 la anchura del espacio fluvial natural sufre una mínima variación perdiendo 20 m. Varía desde los 470 m en 1927 a los 450 m en 1957.

Segunda etapa: 1957-2004

En esta etapa se produce una simplificación del cauce muy importante, y hay un aumento muy significativo de la superficie ocupada por vegetación, sobre todo por bosque de ribera y repoblaciones. Por tanto, si el cauce es más estable disminuirá mucho la extensión de las barras.

En 2004 el cauce en la zona septentrional ha perdido todos los canales y las islas presentes en 1956. El primer tramo es bastante rectilíneo hasta una leve curva que precede al meandro *H*; meandro que presenta gran longitud y pequeña amplitud. El siguiente meandro tiene una alta longitud, y su margen cóncava está casi totalmente ocupada por bosque de ribera apareciendo una pequeña barra.

Donde acaba la parte rectilínea de este último meandro comienza una barra lobulada (*I*) que crecerá con las avenidas.

Más al sur, en la margen cóncava del meandro *J*, que tiene gran longitud, hay una mancha de repoblación rodeada por bosque de ribera y ya en contacto con el cauce aparecen praderas y primicolonizadoras.

Las franjas de repoblaciones en la orilla izquierda abarcan desde la zona norte hasta la desembocadura, casi de modo continuo. En el sur esta franja se combina con el bosque de ribera. En la margen opuesta las repoblaciones son más discontinuas, apareciendo en la mitad norte praderas y en la mitad sur un mayor predominio de bosque de ribera.

La simplificación del cauce en 2004 queda patente al observar en la mitad sur del sector tres brazos ciegos.

Desde 1957 a 2004 el espacio fluvial natural en este enclave pierde una anchura muy significativa que alcanza los 131 m. Pasa de 450 a 319 m.

Tercera etapa: 2004-2009

En esta etapa no se observan excesivas variaciones. La mayor parte de los brazos ciegos presentes en 2004, ya no aparecen en 2009, con la excepción de uno en la zona próxima a la desembocadura.

La barra sedimentaria *I* ha sido colonizada por vegetación de pradera en la mayor parte de su superficie; justo en este punto se ha formado una estrecha isla.

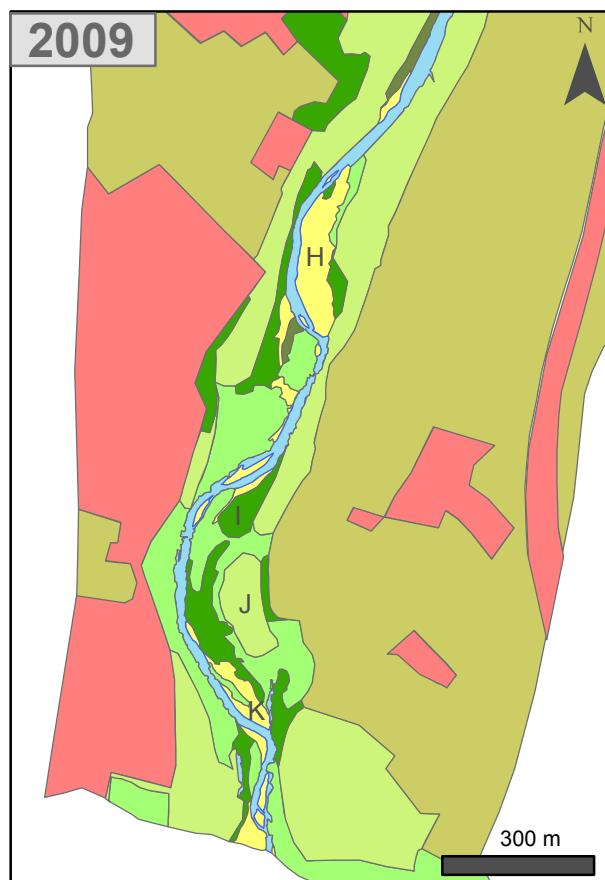
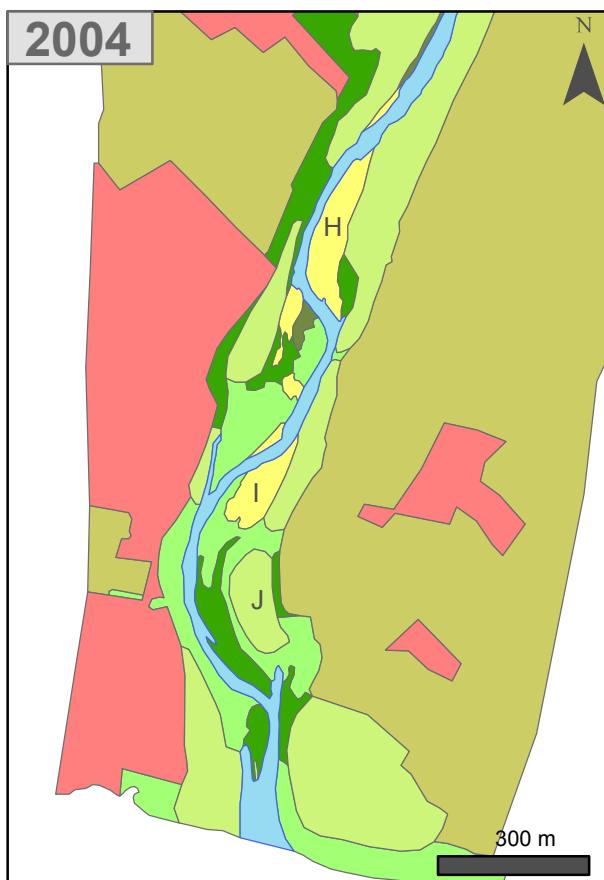
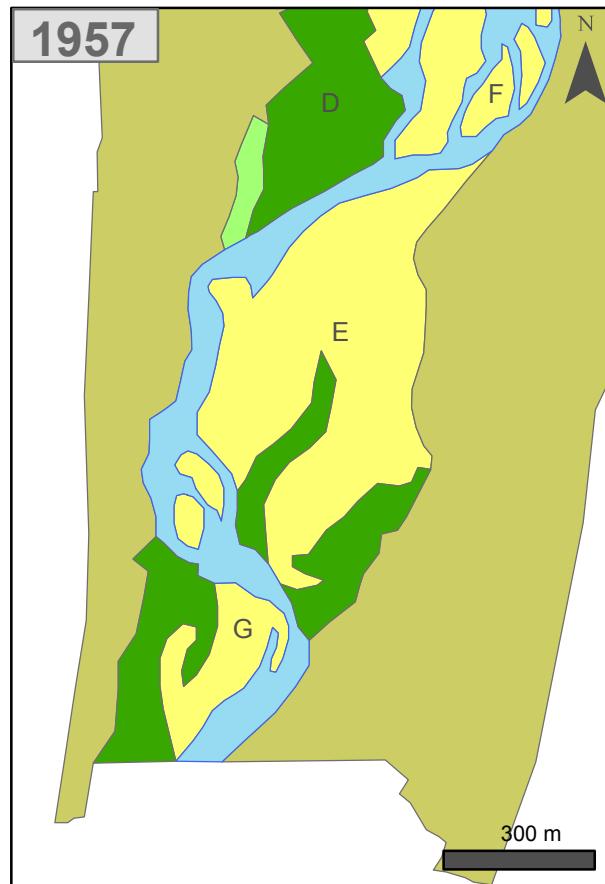
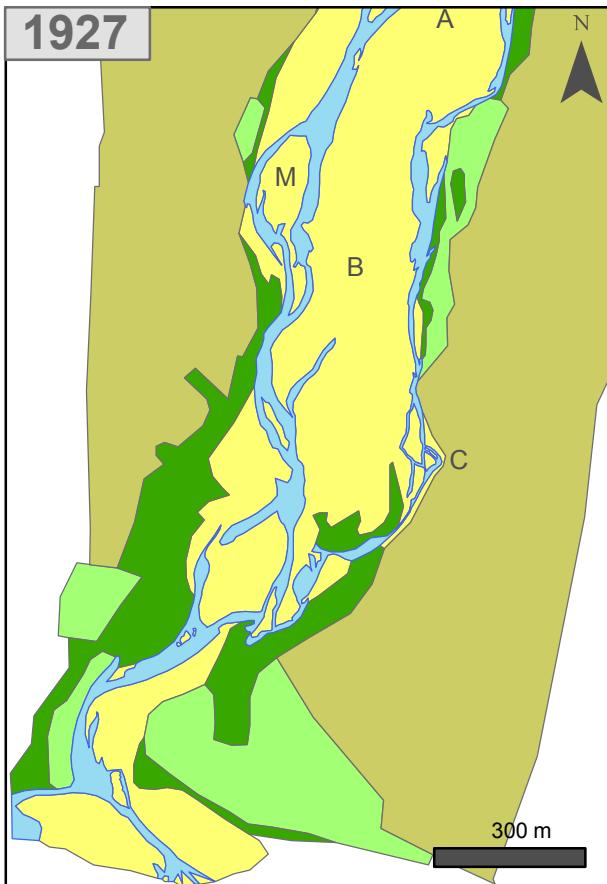
Al comienzo del meandro *J*, en la margen cóncava se ha formado una pequeña barra. En esa misma margen al final del meandro aparece un depósito de gravas que ha ocupado parcialmente una pradera.

En 2009 en la zona próxima a la desembocadura se puede ver la acumulación de sedimentos propia de este sector del río, así como una migración hacia el sur de la curva que precede a la desembocadura, situándose en 2009 en el punto *K*. Este desplazamiento hacia aguas abajo también puede verse ligeramente en el meandro que precede al depósito *I*.

La gran cantidad de vegetación de ribera tanto en 2004 como 2009 es una evidencia de la estabilidad del cauce.

Entre 2004 y 2009 no se observan pérdidas relevantes en la extensión del espacio fluvial natural.

Evolución usos del suelo - Gállego en Santa Isabel



Mapa de usos del suelo de 1927, 1957 y 2004: Estudio hidrológico, geomorfológico, hidráulico y ecológico del bajo Gállego (2005)
Elaboración Mapa de usos del suelo de 2009: Juan Lasala Ordovás. Zaragoza, 2013

5.1.6. Síntesis de la evolución de los usos del suelo del Gállego en el tramo Las Lomas-Zaragoza

Como síntesis de la evolución de los usos del suelo se ha realizado un diagrama apilado, en el que se puede observar como varía en % de superficie, cada uno de los usos en el tiempo. El cálculo se ha realizado para toda la zona de estudio que abarca desde Las Lomas hasta la desembocadura en el Ebro. Los cálculos se han realizado a partir de la Tabla 2.

Tabla 2. Superficie (Ha) de cada uso del suelo para cada año

Uso del suelo	1927	1957	2004	2009
Barras	335,6	327,9	34,1	26,1
Bosque de ribera	39,3	26,7	176,5	186,5
Comunidades de acequias	5,4		26,9	35,5
Cultivos	2084,5	2022,5	1877,2	1824,3
Improductivo	108,0	68,0	345,5	407,3
Praderas y primicolonizadoras	211,5	304,1	173,6	187,0
Río Gállego	88,8	105,5	58,9	48,6

En el diagrama siguiente (Fig. 10) se observa como el río reduce su extensión a partir de 1957, aunque se ve mejor en el caso de las barras sedimentarias que en 1957 varían su tendencia, cayendo ésta rápidamente. Las barras son la categoría que más se reduce en el tiempo, pasando de casi un 11% a aproximadamente un 1%.

En cuanto a las praderas y primicolonizadoras aumentan hasta 1957 y a partir de ahí disminuyen, pero a mayor ritmo que las barras.

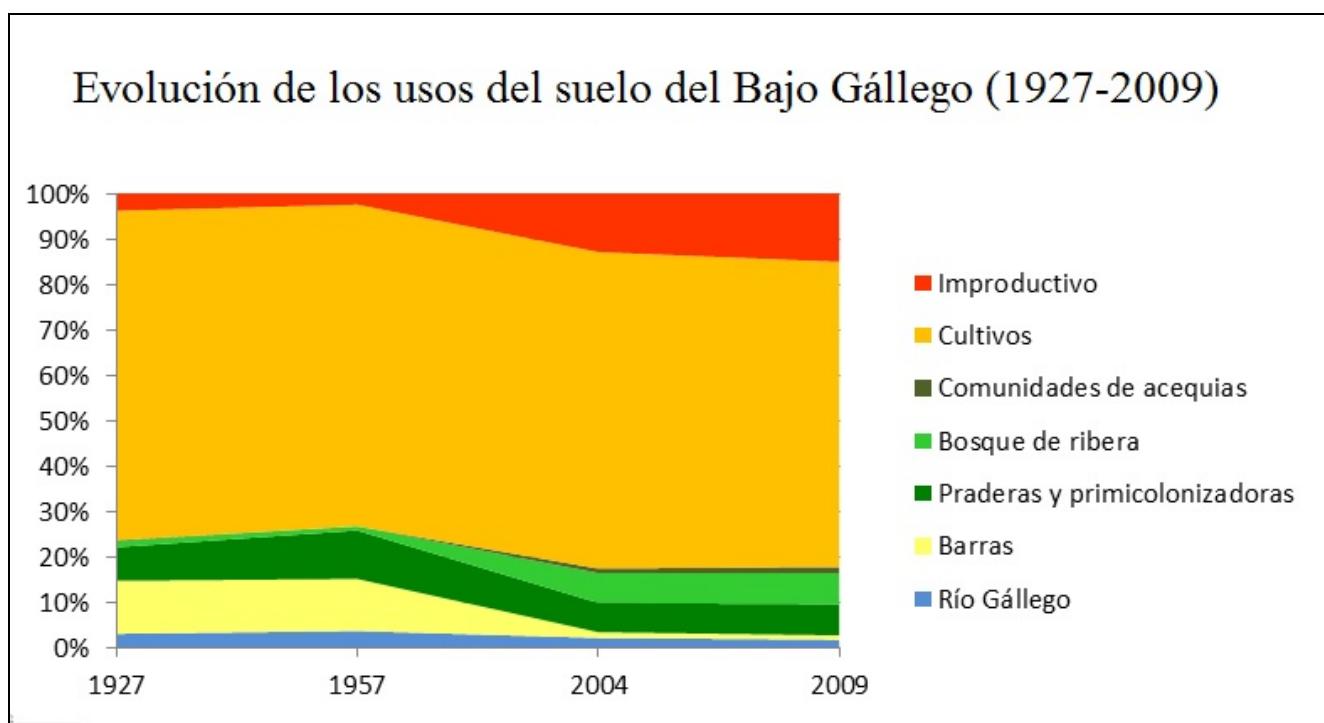


Figura 10. Localización de los enclaves dinámicos.

Hasta 1957 la extensión de bosque de ribera representa un 1% hasta 1957 cuando comienza a incrementar su superficie hasta alcanzar el 10% en 2009.

Los cultivos mantienen casi toda su extensión desde 1927, siendo en 2009 un 4% menor que en 1927.

En cuanto al improductivo en 1957 comienza a aumentar pasando del 2% en 1927 al 16% en el 2009.

5.2. Evolución de la dinámica fluvial del Gállego en los cuatro enclaves seleccionados

Tras la realización del análisis sobre la evolución de los usos del suelo en los seis enclaves dinámicos seleccionados, se analiza más en detalle la evolución de la dinámica fluvial en los cuatro puntos donde se ha muestreado y realizado las secciones (Fig. 11).



Figura 11. Localización de los cuatro enclaves seleccionados.

Para analizar la evolución de la dinámica fluvial se han comparado las ortofotos de 1957 (Vuelo americano 1956-57), 1984 (Vuelo Fotogramétrico Nacional 1984-85), PNOA 2006 y PNOA 2009.

Los enclaves dinámicos de San Juan de Mozarrifar y Montaña-T. Los Ajos se han agrupado en uno, por su proximidad y similar comportamiento.

La descripción de la dinámica fluvial de cada enclave se ha dividido en tres etapas:

- 1957-1984
- 1984-2006
- 2006-2009

5.2.1. Evolución de la dinámica fluvial del Gállego en Las Lomas

Primera etapa: 1957-1984

En 1957 el cauce era algo más ancho que en 1984. El meandro situado al norte tenía en 1984 una mayor amplitud. Aguas arriba de este meandro hay una isla de 120 m de largo y 50 de ancho y aguas abajo otra de dimensiones más modestas (10 m de anchura), estas islas ya no aparecen en 1984.

La barra lobulada que aparece en la zona central de la ortofoto de 1984 no estaba formada en 1957.

Segunda etapa: 1984-2006

Entre 1984 y 2006 ha habido un considerable aumento de la sinuosidad. La barra que aparece en la zona central de 1984 ha sido parcialmente colonizada en el 2006; la superficie colonizada ocupa 70 m de ancho y 150 m de longitud.

La mencionada barra de 1984 presenta dos partes, una de forma lobulada que está ligeramente independizada y otra lateral de gran longitud; la de forma lobulada tiene una anchura de 70 m. En cuanto a la barra lateral tiene una anchura de 50 m y una longitud de 580 m. En 2006 la barra lateral ha reducido su longitud en al menos 250 m.

Tercera etapa: 2006-2009

En la ortofoto de 2009 se diferencia muy bien de norte a sur seis meandros. El primero con gran longitud y una amplitud media que posee una barra en su margen convexa que mantiene la misma superficie que en 2006. La parte más activa de la barra carente de vegetación tiene una longitud de 200 m y una anchura de 40 m.

El segundo meandro tiene menor longitud y una mayor amplitud de onda, tiene bastante vegetación arbustiva en su margen cóncava, pero esto no impide que en 2009 haya desarrollado una nueva barra lateral de 10 m de anchura y 80 m de longitud.

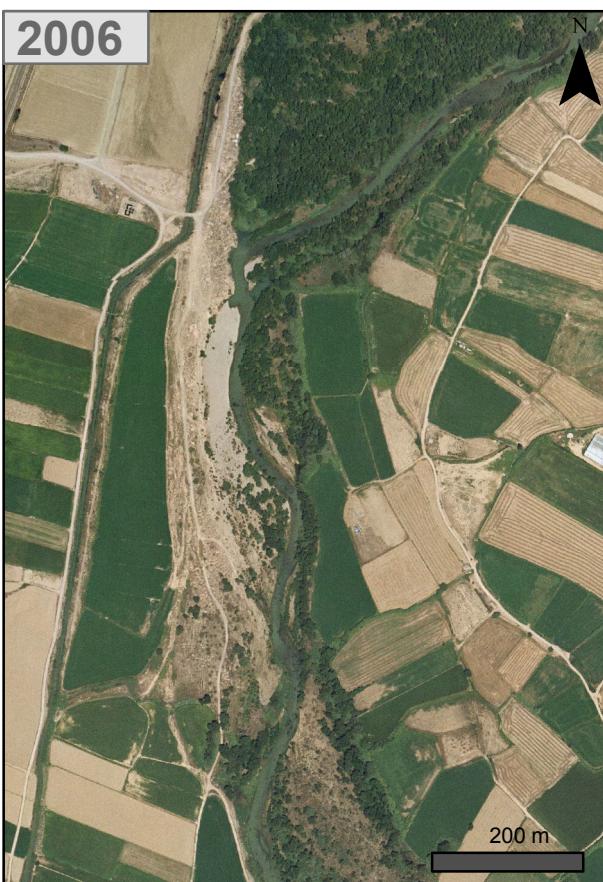
El tercer meandro tiene depósitos en ambas márgenes, en la izquierda se trata de una estrecha barra (8 m de anchura), y en la opuesta hay otra con algo de vegetación y una anchura de 20 m. La amplitud de este meandro es muy baja.

El cuarto meandro en su margen cóncava tiene una barra alargada que ha ganado terreno (unos 25 m) a una superficie ya colonizada. La zona norte de la barra es más ancha con 50 m, luego continua durante 150 m más como una barra lateral de 10 m de anchura, inexistente en 2006.

El último meandro tiene una barra en su margen izquierda con una anchura de 20 m y una longitud de 70 m.

Todos los meandros han aumentado su desarrollo entre 2006 y 2009, trazando sus curvas de manera más marcada.

Evolución dinámica fluvial - Gállego en Las Lomas



Fuente: Ortofoto 1957 (Vuelo Americano de 1956-57, formato papel)
Ortofoto 1984 (Vuelo Fotogramétrico Nacional 1984-1985, formato papel)
Ortofoto PNOA 2006 (SITAR)
Ortofoto PNOA 2009 (SITAR)

5.2.2. Evolución de la dinámica fluvial del Gállego en San Juan-Montaña

Primera etapa: 1957-1984

Entre 1957 y 1984 hay gran movilidad en este tramo del cauce. En 1957 en la zona meridional hay un meandro de gran amplitud de onda; aguas arriba de este meandro el cauce es bastante rectilíneo. En la zona norte hay un meandro de gran longitud y amplitud media.

En el meandro más septentrional de 1957 el río discurría por la margen izquierda, en cambio en 1984, el cauce va por la orilla derecha.

Entre 1957 y 1984 el curso fluvial ha ido simplificando su trazado.

Segunda etapa: 1984-2006

En 2006 en el meandro situado más al norte el río discurría por la margen izquierda y en cambio en 1984 el cauce ocupa la margen derecha.

En el segundo meandro de 1984 hay una barra en la margen cóncava con una anchura de 70 m y una longitud de 500 m. Toda esta superficie en 2006 tiene abundante vegetación arbustiva y de pradera, excepto en la parte norte de la barra, que en 2006 posee una parte activa de 70 m de ancho y 100 m de longitud.

En el meandro situado más al sur en 1984 había una barra de 120 m de anchura máxima y de más de 250 m de longitud. Esta barra en 2006 ha reducido en 50 m su anchura.

Tercera etapa: 2006-2009

En este tramo del río el cauce traza una serie de curvas de alta longitud y baja amplitud de onda. Sobre todo en la mitad sur de la ortofoto de 2009 se ve un aumento de la sinuosidad de dichas curvas en comparación con 2004, donde esta zona del cauce presentaba un trazado más rectilíneo.

De norte a sur el río describe un total de cinco curvas, siendo sus principales rasgos los descritos a continuación. En la primera curva en 2009 hay una gran barra lateral de 50 m de anchura y 280 m de largo. Esta barra ha aumentado en 80 m su longitud, desde el 2004.

La segunda curva tiene en su margen cóncava una barra sedimentaria de 30 m de ancho y 250 m de largo, que se va estrechando hacia sus extremos. Esta barra ha disminuido su anchura en 2009 en 40 m, debido en parte a las repoblaciones que estabilizan esa margen.

En la tercera curva, donde está el cruce sobre el río, se han formado dos pequeñas barras, aguas arriba y abajo del cruce. Estas dos barras no estaban en el 2004, la que está al norte del cruce tiene una anchura de 20 m y una longitud de 100 m y la que está al sur 20 m de ancho y 70 m de longitud. Unas pequeñas islas aparecen entre esta barra y la de la curva siguiente.

En la margen cóncava de la cuarta curva hay una nueva barra con una anchura de 30 m y una longitud de 230 m. En este punto en 2009 el cauce se ha desplazado 40 m hacia el este respecto a 2004, ocupando parte de una antigua barra.

En la quinta curva en la margen cóncava se observa una barra con una franja de 50 m que es activa pero está sufriendo una colonización incipiente; y al oeste de esta una barra de 30 m de ancho y 60 m de largo creada después de 2004.

Entre 2004 y 2009 el río ha sufrido un desplazamiento hacia el sur.

Evolución dinámica fluvial - Gállego en San Juan-Montaña



Fuente: Ortofoto 1957 (Vuelo Americano de 1956-57, formato papel)
Ortofoto 1984 (Vuelo Fotogramétrico Nacional 1984-1985, formato papel)
Ortofoto PNOA 2006 (SITAR)
Ortofoto PNOA 2009 (SITAR)

5.2.3. Evolución de la dinámica fluvial del Gállego en Santa Isabel

Primera etapa: 1957-1984

En 1957 el cauce traza dos meandros de baja amplitud y gran longitud. El meandro situado más al sur tiene una barra en su margen cóncava de 30 m de anchura y el ubicado al norte del anterior de 50 m. En 1984 el meandro que aparece en la zona central tiene mucha mayor amplitud que los de 1957.

Segunda etapa: 1984-2006

Entre 1984 y 2006 el cauce ha sufrido un estrechamiento de 10 m. El meandro ubicado en la zona central de la imagen de 1984 ha migrado hacia el sur. Dicho meandro presenta una barra de 70 m de anchura y 270 m de longitud.

Tercera etapa: 2006-2009

La zona norte de la ortofoto tanto en 2006 como en 2009 muestra un cauce bastante rectilíneo, que en 2009 se ha ensanchado ligeramente. Justo donde el cauce deja de ser rectilíneo, que hay una pequeña inflexión se observa una barra lateral de 20 m de ancho y 100 m de longitud, la barra ha ganado esos 20 m de terreno a la vegetación que ya había colonizado esta zona.

En el meandro de la mitad sur el cauce ha erosionado 10 m hacia el oeste. La margen cóncava de este meandro tiene una barra con una colonización vegetal importante, desde el centro hacia el sur. La zona norte de la barra es más activa y posee la misma longitud en 2006 y 2009, pero en esta última ortofoto su anchura ha aumentado en 10 m.

Evolución dinámica fluvial - Gállego en Santa Isabel



Fuente: Ortofoto 1957 (Vuelo Americano de 1956-57, formato papel)
Ortofoto 1984 (Vuelo Fotogramétrico Nacional 1984-1985, formato papel)
Ortofoto PNOA 2006 (SITAR)
Ortofoto PNOA 2009 (SITAR)

5.3. Análisis de los datos de los enclaves dinámicos obtenidos en campo

En este apartado se realiza un análisis de los datos obtenidos en campo en los cuatro enclaves dinámicos seleccionados (Fig.12), recogidos tras realizar los muestreos de las barras y las secciones transversales del cauce en los siguientes puntos:

- Las Lomas
- San Juan de Mozarrifar
- Montaña - Torre Los Ajos
- Santa Isabel



Figura 12. Localización de los enclaves dinámicos.

Este apartado se ha dividido en dos subapartados, el primero relativo a las secciones transversales y los parámetros del cauce y el segundo sobre los rasgos que caracterizan a las barras sedimentarias y al transporte de sedimentos en estos puntos.

5.3.1. Secciones transversales y parámetros del cauce

Hay que señalar que no se han encontrado en la bibliografía secciones realizadas con anterioridad en estos cuatro enclaves dinámicos, y cuando se han encontrado la secciones no estaban georreferenciadas con precisión. Por ello no se ha podido analizar cómo ha evolucionado el perfil del cauce en estos puntos hasta la actualidad.

Antes de comenzar la descripción de las secciones es necesario conocer la leyenda utilizada en su representación (Fig. 13).

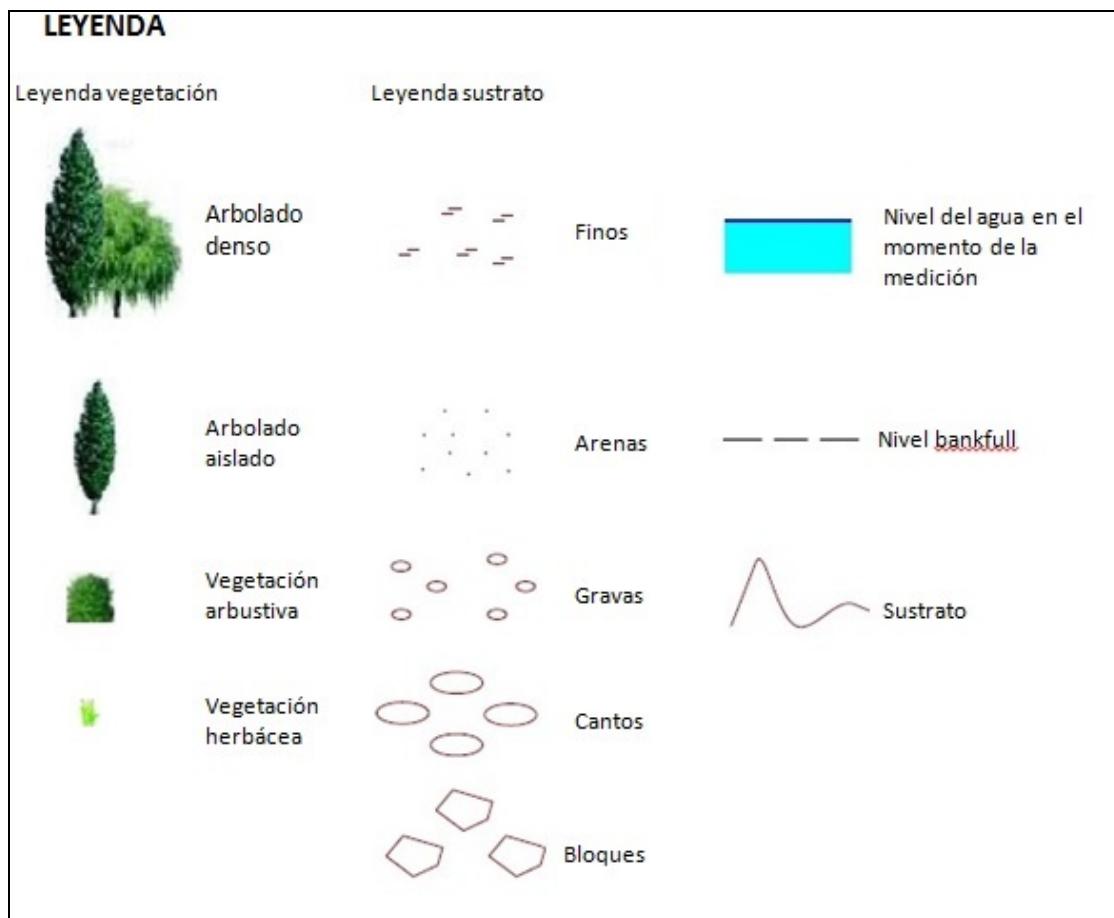


Figura 13. Leyenda utilizada en la representación de las secciones del cauce.

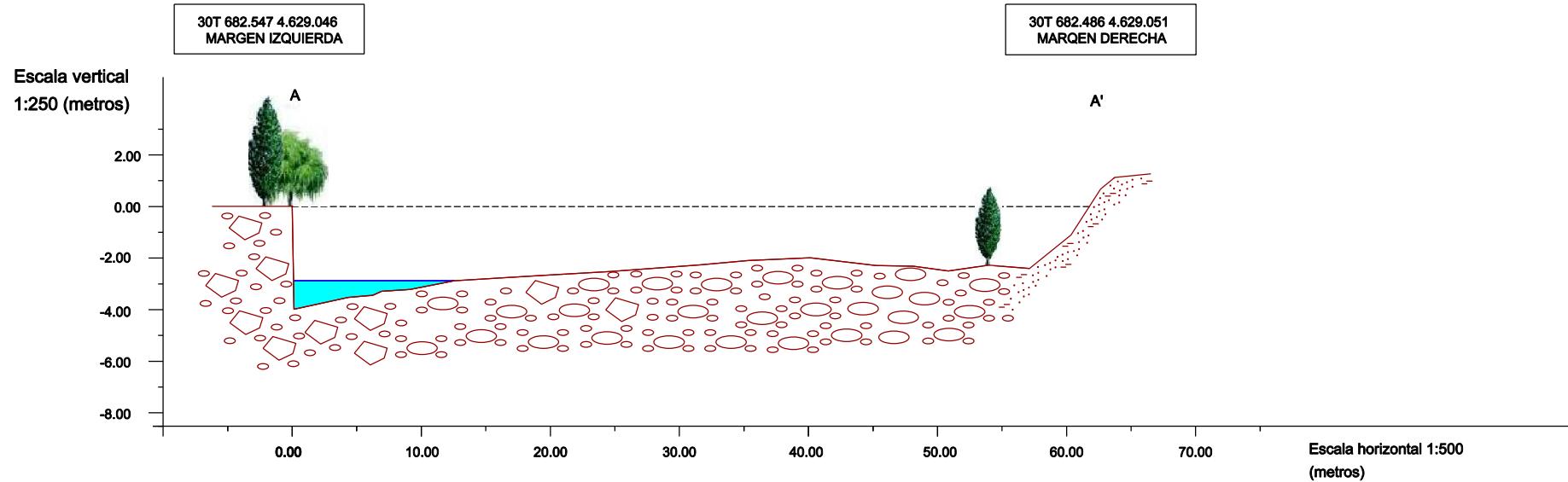
Sección transversal de Las Lomas

La sección A-A' presenta un único cauce con un lecho de topografía regular, variando el relieve de manera gradual, exceptuando el escarpe abrupto de la margen izquierda y el talud que limita la derecha. La lámina de agua abarca desde el escarpe ubicado en A hasta alcanzar los 12 primeros metros de sección. La lámina de bankfull se inicia sobre el escarpe en A y llega casi hasta la parte superior del talud en A' con una anchura de 61,77 m.

En cuanto a la vegetación, la orilla izquierda tiene un arbolado denso que frena el efecto de la erosión y la margen derecha en las proximidades del talud tiene algún árbol aislado. La barra sedimentaria que en algunos puntos llega a sobrepasar los 45 m de anchura está desprovista de vegetación, exceptuando la zona sur de la misma.

En relación a la granulometría de los sedimentos, ésta decrece de la margen izquierda a la derecha, comenzando por algunos bloques con gravas y cantos, hasta que acaba la lámina de agua. En el centro de la barra predominan las gravas con algunos cantos; en torno al metro 45 de sección predominan los cantos y por último antes del talud gravas y cantos. El talud de la margen derecha está formado por arenas y algunos finos.

SECCIÓN TRANSVERSAL LAS LOMAS



Panorámica Sección A-A'



Localización de la sección.
Fuente: PNOA 2009

Si se observa la vista en planta cabe señalar que en la margen izquierda, al este de la franja de bosque de ribera, hay campos de cultivo, igual que ocurre en la margen opuesta al oeste de la barra sedimentaria. En la esquina noroeste de la ortofoto aparece una parte de la Acequia del Rabal. El cauce en este enclave describe una curva de alta longitud.

Tabla 3. Parámetros del cauce en Las Lomas

Río Gállego en Las Lomas	
Sección	A-A'
Perímetro mojado (m)	66,28
Sección bankfull (m^2)	155,2
Pendiente	$3,85 \cdot 10^{-4}$
Radio hidráulico	2,342
Rugosidad	0,038
Anchura en bankfull (m)	61,77
Profundidad media en bankfull (m)	2,51
Profundidad máxima en bankfull (m)	3,98
Potencia específica (W/m^2)	8,8
Caudal bankfull (m^3/s)	144,09

En lo que respecta a los principales parámetros del cauce (Tabla 3), cabe indicar que el valor de la rugosidad es normal en este tramo del río y la pendiente es bastante baja. Tanto la profundidad media como la máxima son altas.

La sección bankfull con $155,2 m^2$, es la más grande de los cuatro enclaves en que se han realizado perfiles, si bien el caudal bankfull es el segundo más importante teniendo en cuenta los cauces principales de todos los enclaves. La potencia específica es bastante baja.

Sección transversal de San Juan de Mozarrifar

La sección B-B' posee dos cauces, el principal situado en la margen izquierda y el secundario en la opuesta. Este último, en el momento de la medición presentaba una pequeña masa de agua desconectada del resto del río. Este canal será activo durante las avenidas ya que es más rectilíneo que el principal que realiza una curva de baja amplitud.

Cada uno de estos cauces tiene su propia lámina de bankfull, siendo la anchura del cauce secundario la mitad de la del principal (Tabla 4).

El cauce principal tiene un escarpe en la margen erosiva (izquierda), las variaciones en el relieve del lecho son progresivas, salvo los 5 primeros metros que se ha producido una importante incisión en el cauce, con una profundidad máxima en bankfull de 3,8 m.

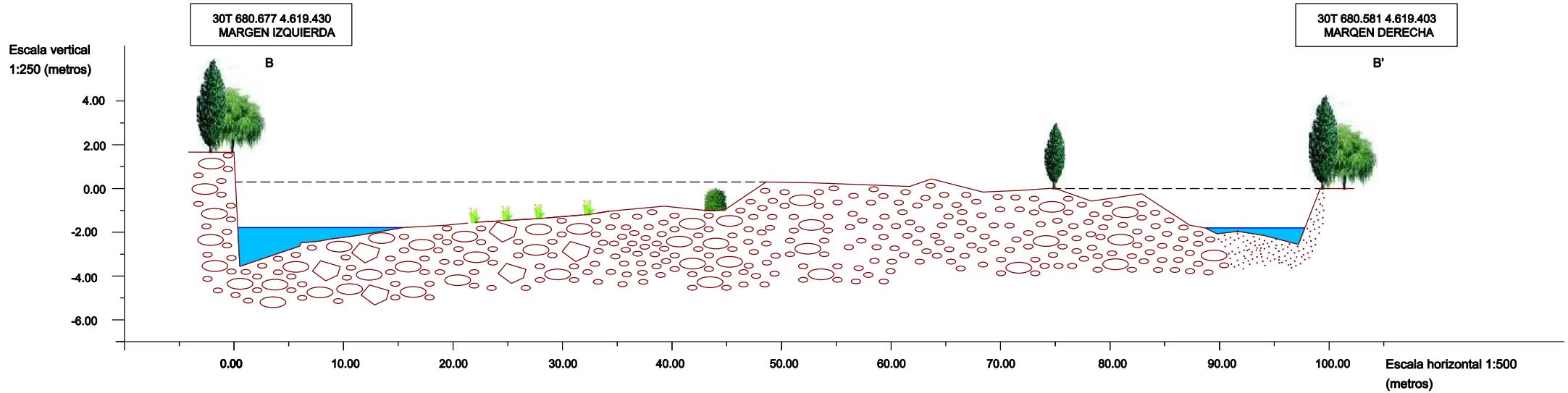
En cuanto a la granulometría de los materiales los 7 primeros metros se sección hay gravas con cantos, hasta los 32 m cantos, gravas y algún bloque aislado, cuando acaba el canal principal se reduce el tamaño a gravas y en la hilera de vegetación arbustiva hay cantos y gravas.

La vegetación en ambas márgenes está conformada por un bosque de ribera denso, al comienzo del bankfull del canal secundario hay algún árbol aislado y al pie del talud que marca el final del canal principal hay una hilera de vegetación arbustiva.

La barra superior que separa los dos bankfull está dominada por gravas, con algunos cantos en los extremos. La morfología del lecho del canal secundario es algo abrupta, con una profundidad máxima de 2,55 m. Los primeros metros de este canal tienen depósitos de gravas y desde el inicio de la lámina de agua hasta la margen derecha hay arenas.

La barra inferior, próxima a la lámina de agua del cauce principal ha comenzado a ser colonizada por vegetación herbácea, al contrario que la barra superior (topográficamente situada por encima de las láminas de bankfull) que carece de vegetación.

SECCIÓN TRANSVERSAL SAN JUAN DE MOZARRIFAR



Estos sedimentos que están sobre las dos láminas de bankfull han sido depositados por la crecida de octubre de 2012. Según datos del SAIH Ebro, el día 20 de octubre se registraron 826,48 m³/s en el aforo de Zuera. Por tanto, el caudal que circuló estaría entre los 750 y los 780 m³/s teniendo en cuenta el efecto de las acequias (Candevanía, Camarena, El Rabal) y el azud y acequia de Urdán.

Tabla 4. Parámetros del cauce en San Juan de Mozarrifar

Río Gállego en San Juan de Mozarrifar	Cauce principal	Cauce secundario
Sección	B-B'	
Perímetro mojado (m)	52,22	25,68
Sección bankfull (m ²)	91,11	30,27
Pendiente	0,001	0,001
Radio hidráulico	1,745	1,179
Rugosidad	0,039	0,038
Anchura en bankfull (m)	48,46	24,2
Profundidad media en bankfull (m)	1,88	1,25
Profundidad máxima en bankfull (m)	3,83	2,55
Potencia específica (W/m ²)	21,90	11,52
Caudal bankfull (m ³ /s)	108,32	28,45

Respecto a los restantes parámetros del cauce, la sección bankfull del cauce principal es tres veces más grande que la del secundario; en cuanto a la pendiente es baja (0,001) comparada con la de los enclaves aguas abajo. La rugosidad de ambos canales es similar y su profundidad tiene valores medios.

El caudal bankfull del cauce principal es casi cuatro veces mayor que el del secundario, si se suman ambos caudales se obtiene un total de 136,77 m³/s, siendo la tercera sección en cuanto a caudal bankfull total. El cauce en San Juan tiene un radio hidráulico bastante menor que en el caso de Las Lomas (2,342).

En cuanto a la potencia específica del cauce secundario, es la mitad que la del cauce principal.

Sección transversal de Montañana – Torre Los Ajos

En la sección C'-C situada 150 m aguas arriba del puente del ferrocarril de la papelera, se observa un cauce principal cuya lámina de bankfull alcanza 68,16 m, poco más de la mitad de la longitud total de la sección. La margen derecha queda definida por un escarpe, dónde el cauce tiene su mayor profundidad (3,92 m), muy similar a la profundidad máxima de la sección de Las Lomas.

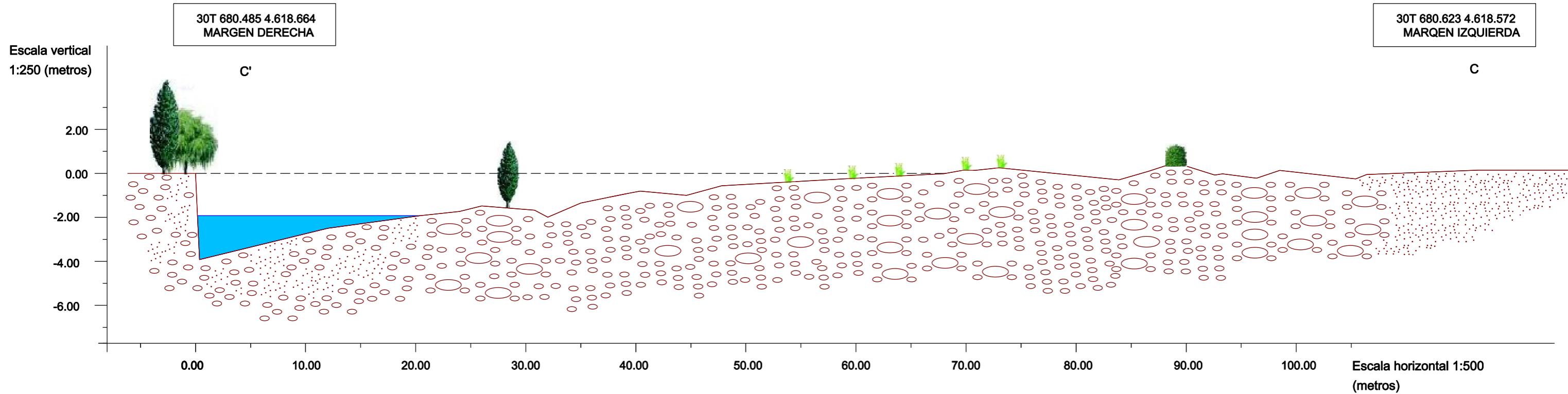
El lecho del cauce tiene un relieve bastante regular, variando gradualmente salvo por dos inflexiones (a los 32 y 45 m) que generan dos zonas ligeramente deprimidas.

Los materiales detriticos presentes son gravas y arenas en la zona cubierta por la lámina de agua (hasta los 20 m), hasta la primera inflexión cantos y gravas, las gravas dominan hasta los 45 m. Despues hay 20 m de gravas con algún canto aislado; del 65 al 75 m cantos y gravas y continúa una zona de gravas que llega hasta la vegetación arbustiva. Para finalizar hay 10 m de cantos con gravas y tras ellos una zona arenosa ya alcanzada la margen izquierda. En líneas generales el tamaño de grano crece hacia la margen izquierda.

La vegetación aparece sobre el escarpe de la margen derecha en forma de bosque con una densidad media-baja. En torno a los 28 m de la sección aparecen árboles aislados formando una hilera, y en la parte final de la sección (99 m) hay vegetación arbustiva sobre las gravas. En los materiales que aparecen entre los 55 y 75 m hay presencia de herbáceas.

Entre los parámetros del cauce más significativos (Tabla 5) está el caudal bankfull que alcanza los 208,88 m³/s, el mayor de los medidos en estas cuatro secciones, le sigue el caudal medido en Santa Isabel que entre el canal principal y el secundario alcanza los 171,89 m³/s.

SECCIÓN TRANSVERSAL DE MONTAÑANA - TORRE LOS AJOS



Panorámica parcial sección C'-C



Localización de la sección
Fuente: PNOA 2009

Una de las razones por las que el caudal bankfull es tan elevado en esta sección es la pendiente, que es mucho mayor que las de los enclaves anteriores. Hay que tener en cuenta que la rugosidad sí es similar a la de las otras secciones.

La sección bankfull de este perfil sólo es superada por la de Las Lomas, cuyo valor es $155,2\text{ m}^2$.

El radio hidráulico es mucho más pequeño que en el caso de Las Lomas; también es superado por el que tiene el canal principal en San Juan de Mozarrifar.

Tabla 5. Parámetros del cauce en Montañana – Torre Los Ajos

Río Gállego en Montañana- Torre Los Ajos	Cauce principal
Sección	C'-C
Perímetro mojado (m)	72,03
Sección bankfull (m^2)	99,25
Pendiente	$4,67 \cdot 10^{-3}$
Radio hidráulico	1,378
Rugosidad	0,040
Anchura en bankfull (m)	68,16
Profundidad media en bankfull (m)	1,46
Profundidad máxima en bankfull (m)	3,92
Potencia específica (W/m^2)	140,25
Caudal bankfull (m^3/s)	208,88

Sección transversal de Santa Isabel

La sección D'-D tiene un cauce principal en la margen derecha y otro secundario, en la opuesta. Estos dos cauces tienen un perfil algo escalonado, si bien este rasgo es más característico del canal secundario, que estaba seco cuando se realizó la sección, ya que sólo es funcional en avenidas. Esto último se puede corroborar observando la vista en planta e intuyendo el trazado rectilíneo que tomará el cauce durante las crecidas. A partir de la ortofoto también se puede ver que, dentro de que los cuatro enclaves tienen trazados con curvas muy laxas, el enclave de Santa Isabel es el que tiene la curva con mayor amplitud de onda de los cuatro.

Por tanto, como en el caso de la sección de San Juan de Mozarrifar se han definido dos láminas de bankfull, una para cada canal. La zona que une estos dos bankfull está constituida por la barra sedimentaria superior, que tiene un relieve bastante llano. Los sedimentos de esta barra, que se encuentran por encima de la lámina de bankfull fueron transportados por la crecida extraordinaria de octubre de 2012, como se ha comentado antes. El caudal que pudo alcanzarse en este enclave en ese episodio fue de $750\text{ m}^3/\text{s}$.

En cuanto a la granulometría de los materiales, si se avanza desde el escarpe de la margen derecha hasta el final de la lámina de agua del cauce principal (17,5 m) dominan las gravas con algunos cantos; hasta los 33,5 m hay cantos y gravas. La vegetación arbustiva está asentada sobre gravas. Desde los 42 hasta los 60 m aparecen cantos y gravas en la misma proporción, mientras que los 15 m siguientes tienen más gravas que cantos. En los 10 m siguientes disminuye el tamaño de partícula con gravas con arenas. Entre los 80 y los 105 m se alternan primero cantos con gravas, después gravas y vuelve a haber cantos con gravas. El cauce secundario está dominado por las gravas.

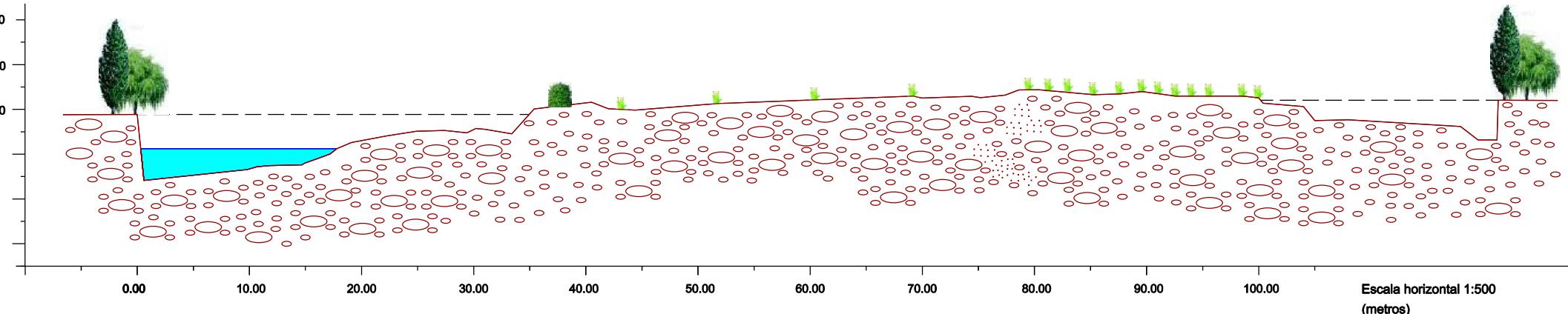
En la margen derecha, al inicio del perfil, hay bosque denso, formado por repoblaciones; en la otra margen también hay un arbolado denso. Justo donde acaba la lámina de bankfull del cauce principal hay una línea de vegetación arbustiva. Entre los 43 y los 70 m de la sección, la vegetación herbácea es ocasional, en cambio de los 80 a los 100 m las herbáceas han colonizado una mayor superficie.

SECCIÓN TRANSVERSAL SANTA ISABEL

30T 679.244 4.614.439
MARGEN DERECHA

30T 679.346 4.614.394
MARGEN IZQUIERDA

Escala vertical
1:250 (metros)



Escala horizontal 1:500
(metros)



Panorámica parcial Sección D-D'



Localización de la sección
Fuente: PNOA 2009

En lo referente a los parámetros del cauce (Tabla 6) cabe indicar que la sección bankfull del cauce principal es casi tres veces la del secundario, y el radio hidráulico es casi el doble.

El caudal bankfull del cauce principal es 3,5 veces mayor que el del cauce secundario. Calculando los caudales bankfull totales, contando con los cauces secundarios, este enclave es el segundo con mayor caudal por detrás del de San Juan de Mozarrifar.

La pendiente es la más alta de las medidas en estos cuatro enclaves, con un valor de $5,5 \cdot 10^{-3}$.

La profundidad media del cauce principal es de las más bajas, sólo la de Montañana es más baja con un valor de 1,46 m.

Tabla 6. Parámetros del cauce en Santa Isabel

Río Gállego en Santa Isabel	Cauce principal	Cauce secundario
Sección		
Perímetro mojado (m)	37,72	23,13
Sección bankfull (m^2)	57,58	19,68
Pendiente	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
Radio hidráulico	1,527	0,851
Rugosidad	0,042	0,035
Anchura en bankfull (m)	34,95	21,18
Profundidad media en bankfull (m)	1,65	0,93
Profundidad máxima en bankfull (m)	2,95	1,77
Potencia específica (W/m^2)	207,46	95,1
Caudal bankfull (m^3/s)	134,52	37,37

5.3.2. Análisis de las barras sedimentarias y de la capacidad de transporte

Granulometría de la fracción gruesa (Wolman)

Como se detalla en el apartado 4.3 de la metodología, se han analizado las barras superiores e inferiores de cada enclave (siempre que ambas existan). Para ello se han trazado dos líneas paralelas de 50 m, longitudinales a las barras; una por el centro de la barra y otra próxima a la lámina de agua del cauce en estiaje (que se ha denominado *Próximo cauce*). Por tanto para cada barra hay dos gráficos, uno por cada línea de muestreo, que se explican a continuación.

Estas líneas se han trazado en sentido hacia aguas abajo, en los gráficos correspondientes se indican las coordenadas en ETRS89 del inicio de la línea (L_0) y su final (L_1). Además, se ha agregado una línea de tendencia para conocer el crecimiento o decrecimiento del tamaño de grano con la distancia. Se ha incluido la ecuación de la línea de tendencia, para con la ayuda del dato de la pendiente poder comparar qué barras sufren las mayores variaciones de tamaño de grano a lo largo de los 50 m.

Las Lomas

En la línea trazada por el centro de la barra los sedimentos superficiales experimentan un muy ligero crecimiento del tamaño de grano hacia aguas abajo. La pendiente es muy suave (Fig. 14).

En cambio en la línea próxima a la lámina de agua la tendencia es que los tamaños van decreciendo con la distancia, y con una pendiente considerable ($-0,521$).

La línea cercana al agua presenta un mayor valor medio en esta granulometría (66,14 mm) frente a los 62,19 mm de la línea que discurre por el centro.

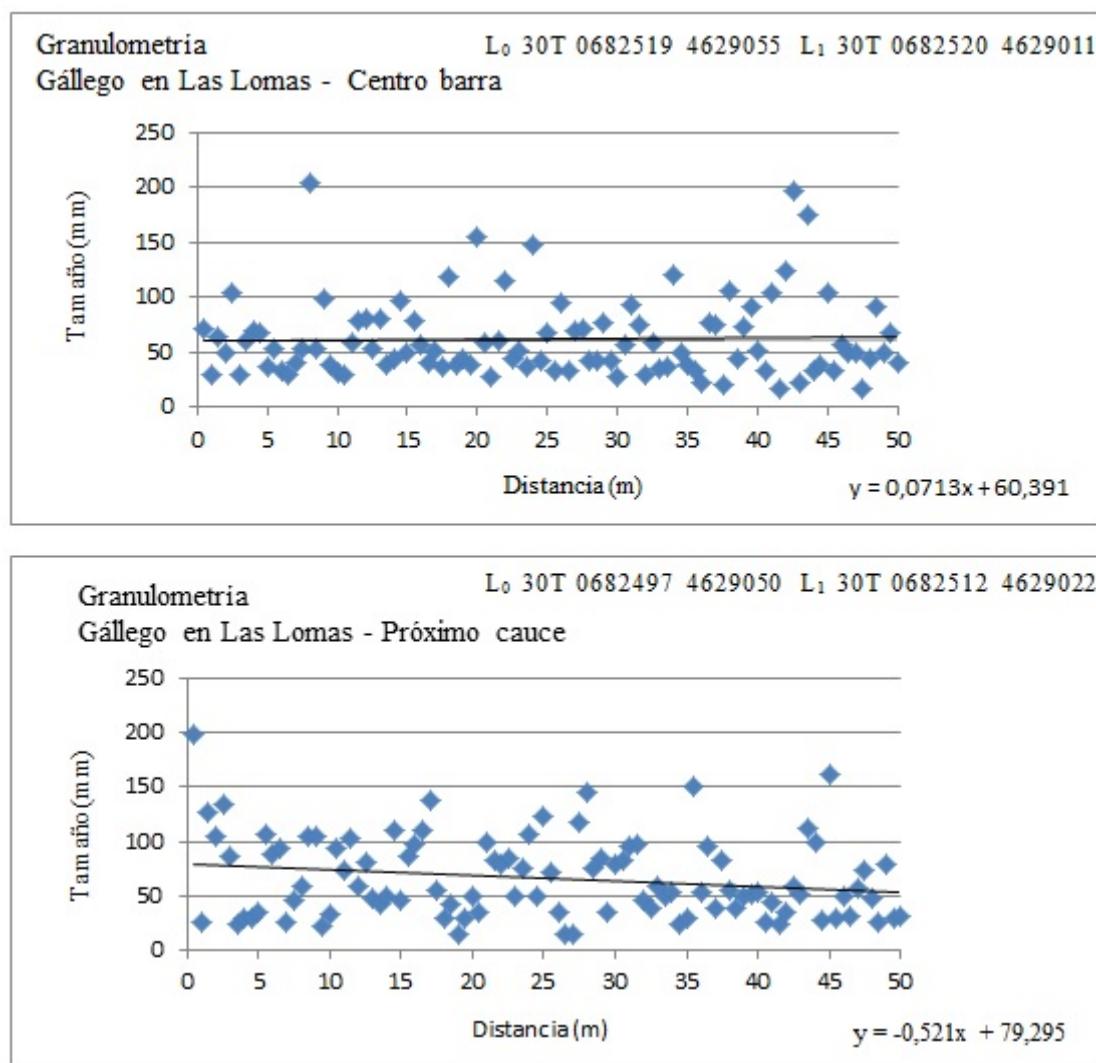


Figura 14. Granulometría de la fracción gruesa en Las Lomas

San Juan

En la *barra inferior* la línea trazada por el centro muestra una lenta disminución del tamaño con la distancia (Fig. 15), con una pendiente pequeña (0,0882).

En cambio la línea próxima al cauce muestra una disminución de tamaños 2,5 veces más rápida que la de la línea central, con una pendiente de 0,2268.

En esta barra inferior la línea cercana al agua presenta un mayor valor medio en esta granulometría (58,77 mm) frente a los 56,09 mm de la línea que discurre por el centro.

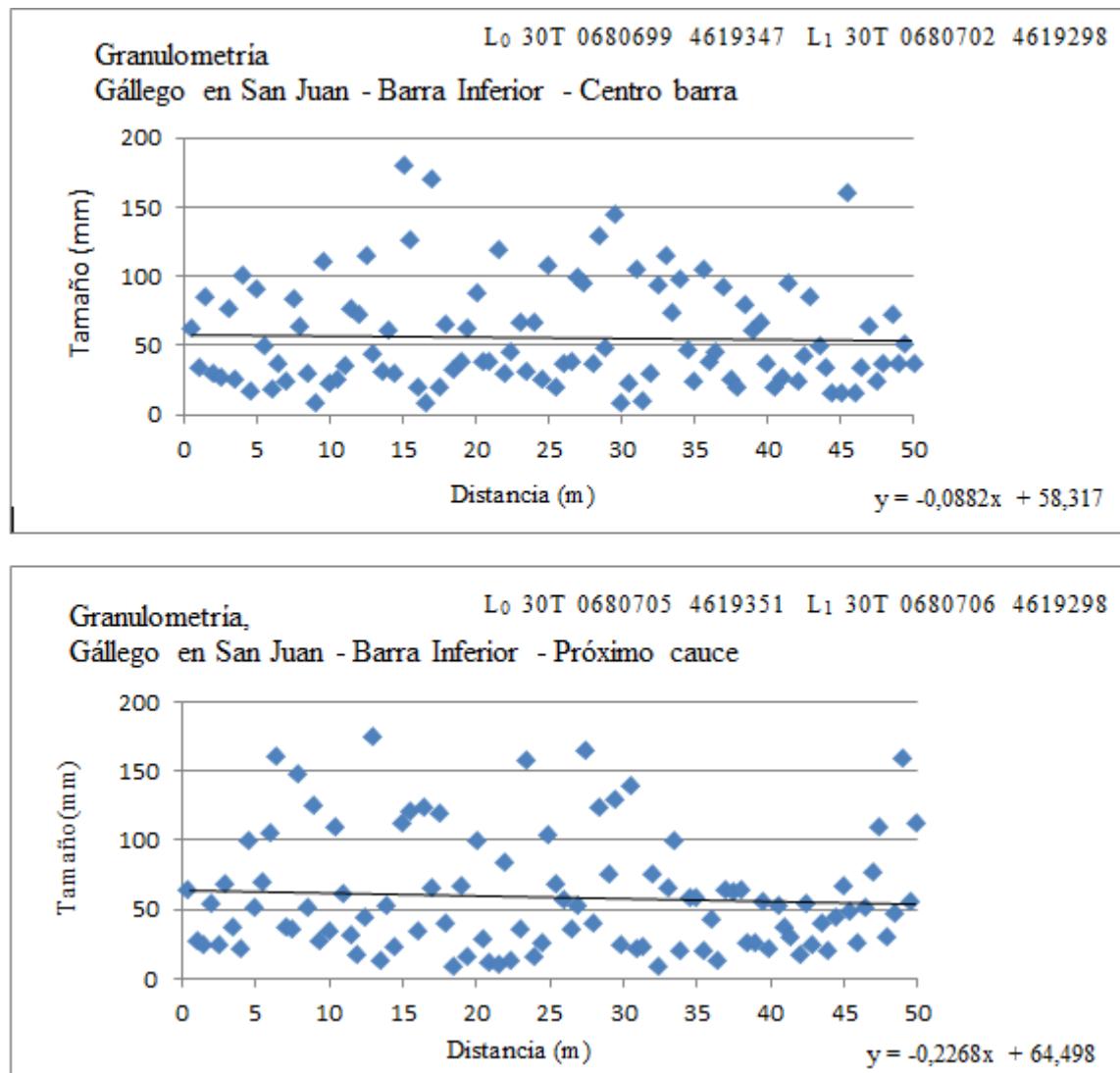


Figura 15. Granulometría de la fracción gruesa en San Juan (barra inferior).

En la *barra superior* (Fig. 16) la línea que discurre por el centro tiene una pendiente negativa fuerte, con un valor de 0,2807, por tanto el ritmo al que decrece el tamaño de grano con la distancia es casi del doble que en la línea próxima al agua (0,1466).

En esta barra superior la granulometría realizada por el centro de la barra tiene un valor medio ligeramente menor (50,18 mm) que la que se ha trazado cerca del cauce (51,08 mm).

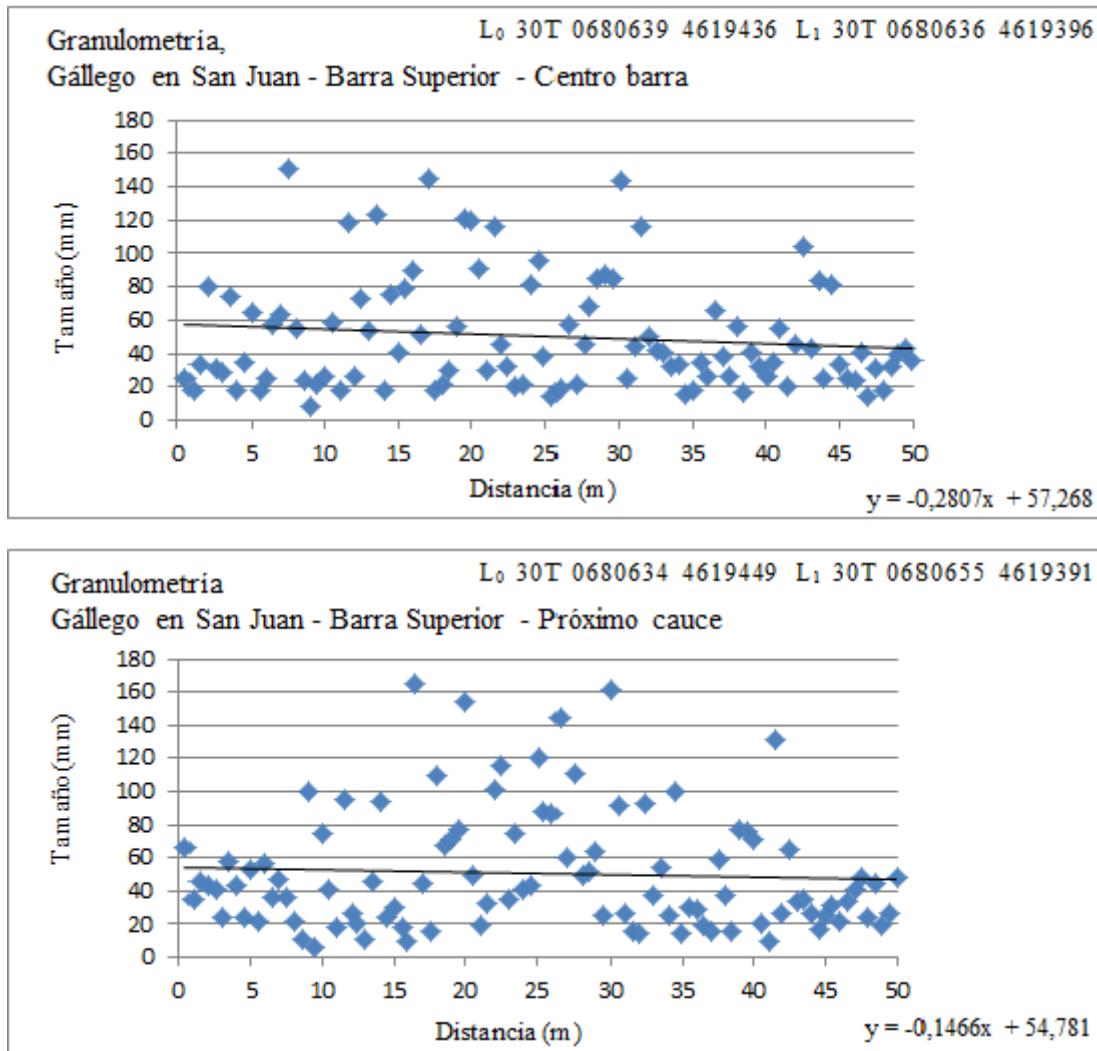


Figura 16. Granulometría de la fracción gruesa en San Juan (barra superior).

Montaña – Torre Los Ajos

En la *barra inferior* (Fig. 17) tanto la línea central como la que discurre próxima al agua muestran una tendencia creciente. En la que se encuentra cerca del cauce el tamaño de partícula crece con una pendiente pequeña, de 0,0482 y en la central crece dos veces más rápido (0,1009).

El tamaño medio de la granulometría realizada por el centro es bastante menor (28,58 mm) que en la que discurre cerca de la lámina de agua (38,01 mm).

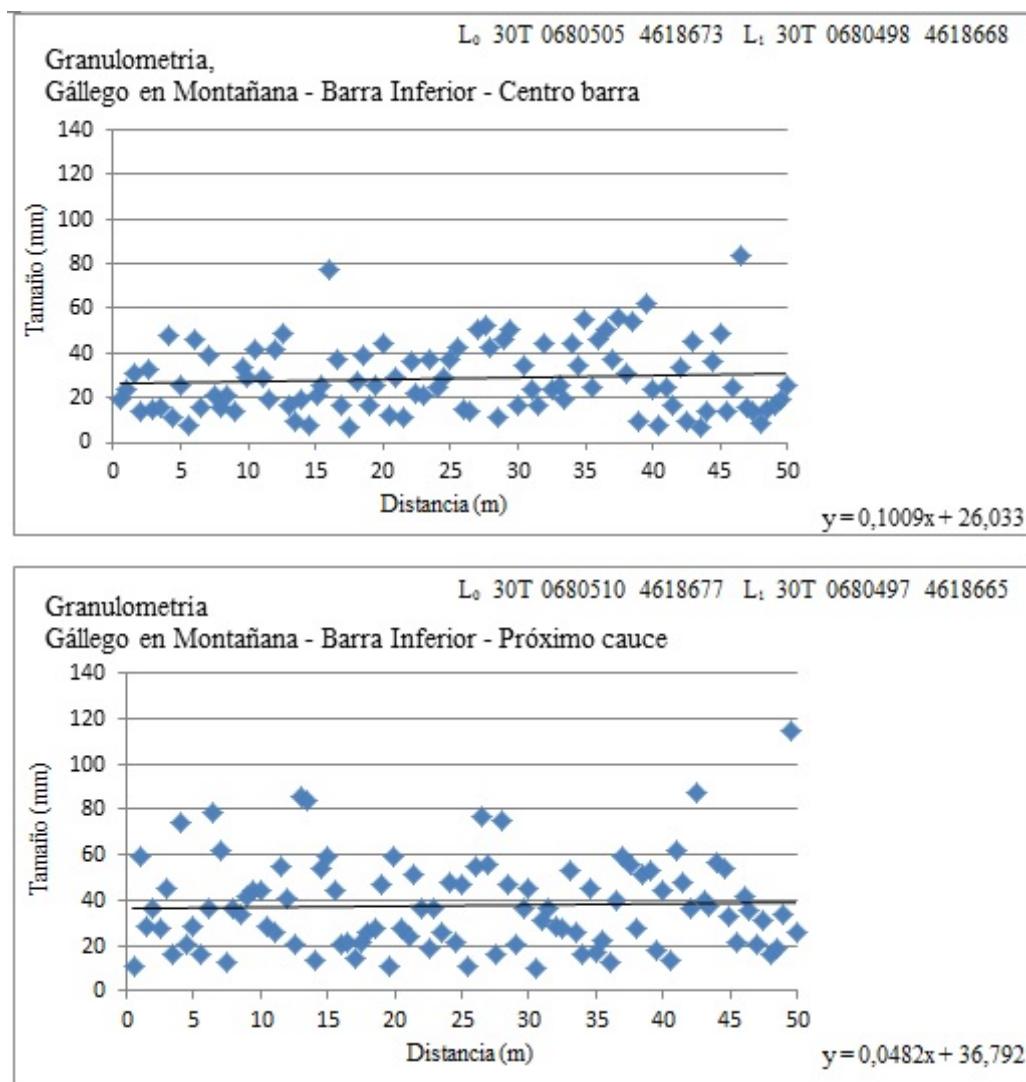


Figura 17. Granulometría de la fracción gruesa en Montaña (barra inferior).

En la *barra superior* de Montaña (Fig. 18), en la línea del centro de la barra los tamaños decrecen con la distancia a un ritmo significativo (0,1952). Por el contrario en la línea próxima al cauce el tamaño de grano va creciendo pero a un ritmo lento.

En este caso el tamaño medio de la granulometría del centro de la barra es algo mayor (45,68 mm) que la de la línea próxima al cauce (44,18 mm).

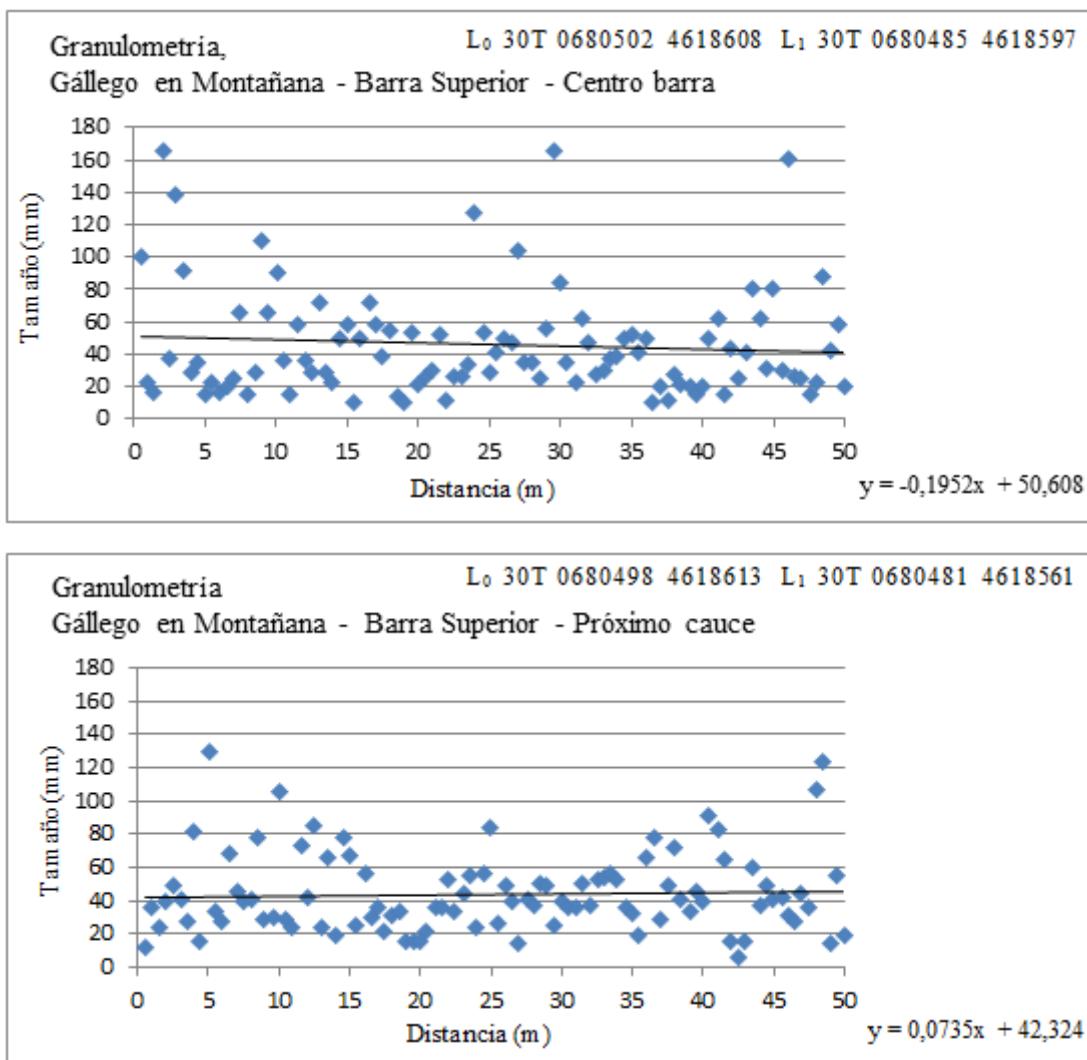


Figura 18. Granulometría de la fracción gruesa en Montaña (barra superior).

Santa Isabel

En la *barra inferior* (Fig. 19) las dos líneas muestran un crecimiento del tamaño de partícula con la distancia. Si bien en la línea central el ritmo de crecimiento del tamaño respecto a la distancia es 1,5 veces mayor que en el caso de la línea próxima al cauce.

Es mayor el valor medio de la granulometría de la línea cercana al cauce (25,58 mm) que la del centro de la barra (22,25 mm).

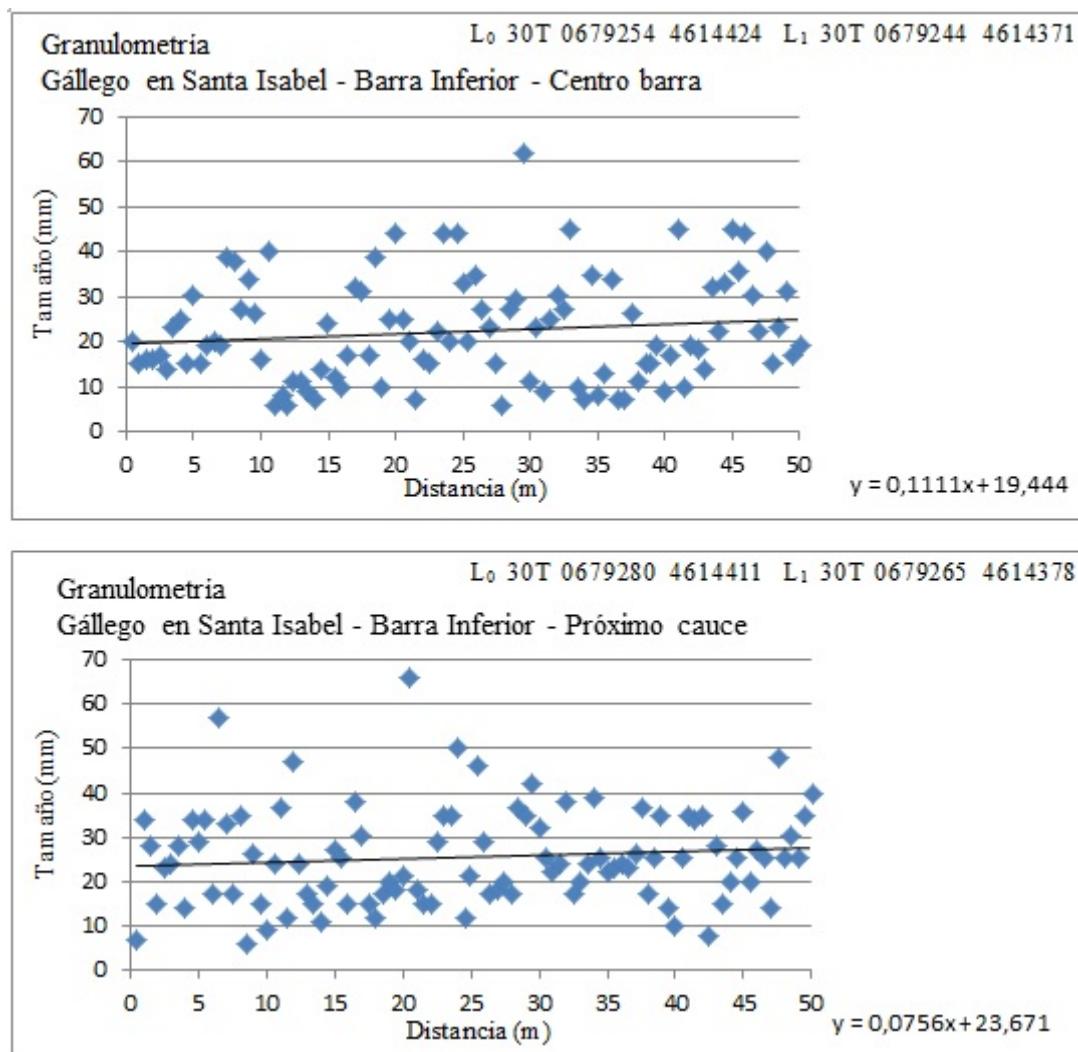


Figura 19. Granulometría de la fracción gruesa en Santa Isabel (barra inferior).

En la *barra superior*, en la línea del centro de la barra la granulometría muestra una tendencia positiva muy suave (Fig. 20), en cambio, en la línea cercana al agua la tendencia es negativa con una pendiente más pronunciada, decreciendo los tamaños con la distancia.

El tamaño medio de la granulometría del centro de la barra es algo mayor (45,68 mm) que la de la línea próxima al cauce (44,18 mm).

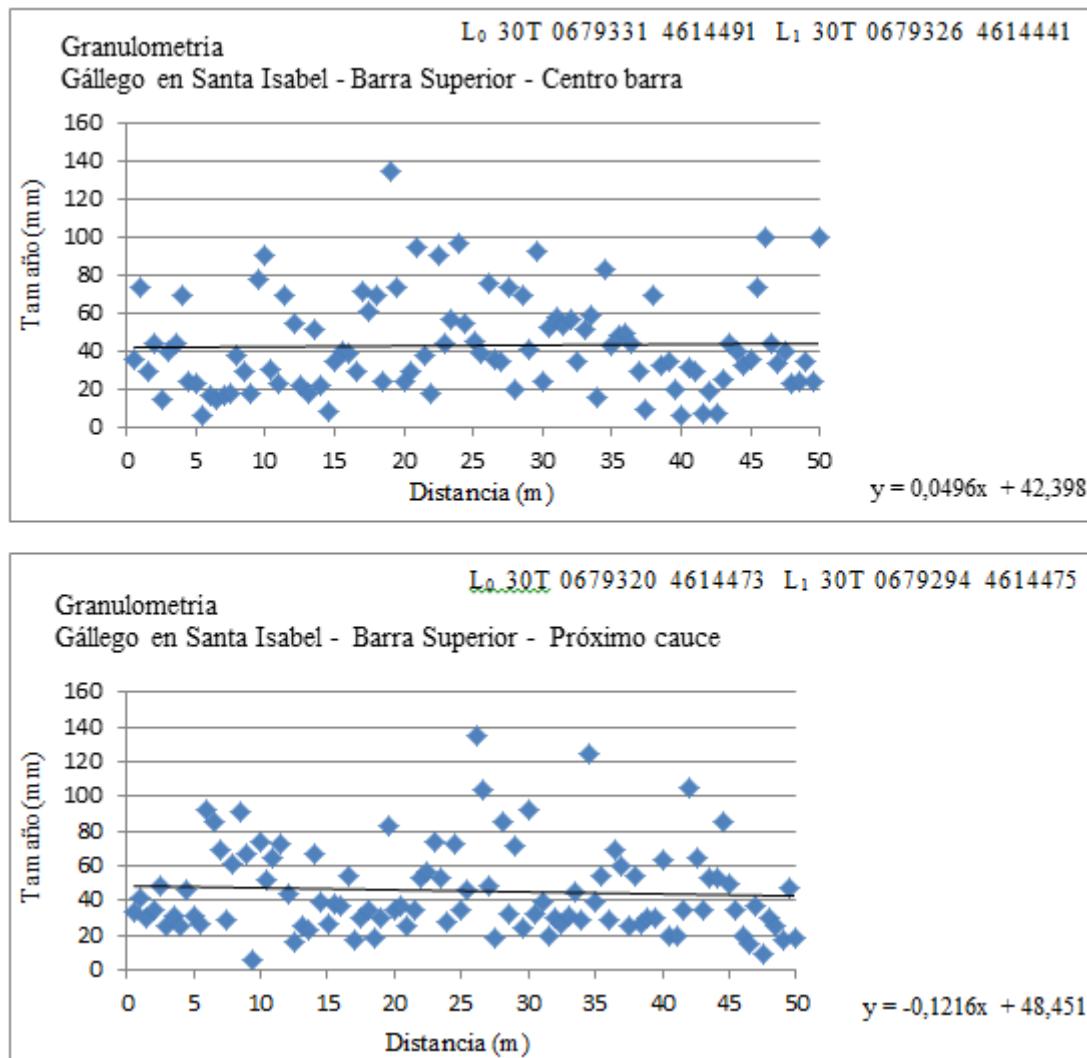


Figura 20. Granulometría de la fracción gruesa en Santa Isabel (barra superior).

Caracterización de las barras sedimentarias

Este apartado realiza una caracterización de las barras de los enclaves tratando su grado de acorazamiento, la competencia de la corriente y el transporte de sedimentos y por último los índices morfométricos.

Índice de acorazamiento

Mediante la siguiente tabla (Tabla 7) se van a comparar los índices de acorazamiento para cada enclave.

El mayor índice de acorazamiento lo presenta la barra analizada en San Juan de Mozarrifar, en concreto la barra superior con un valor de 2,329, un valor muy similar aparece en la barra inferior de Montañana (2,232) y en tercer lugar las Lomas con 2,022.

El menor índice de acorazamiento y por tanto mayor desorden en el material sedimentado corresponde a San Juan, concretamente a su barra inferior con un valor de 1,161.

El resto de valores son intermedios y oscilan entre 1,5 y 1,65, no siendo valores malos contando lo regulado que está el río Gállego y la presión antrópica que ha sufrido y sufre.

Tabla 7. Índice de acorazamiento

Enclave -Barra sedimentaria	Índice de acorazamiento
Las Lomas	2,022
San Juan Barra Superior	2,329
San Juan Barra Inferior	1,161
Montaña Barra Superior	1,5
Montaña Barra Inferior	2,232
Santa Isabel Barra Superior	1,645
Santa Isabel Barra Inferior	1,654

Hay que remarcar que el peor y el mejor índice de acorazamiento se encuentran en el mismo enclave, en San Juan de Mozarrifar, en la barra superior e inferior respectivamente.

Competencia de la corriente y transporte de sedimentos

Un modo de estimar el transporte de sedimentos es calcular la velocidad con que empiezan a moverse los cinco mayores bloques del enclave, a través de la Fórmula de Costa. Como se observa en la Tabla 8, la velocidad en cuestión oscila entre los 2,5 y los 2,7 m/s en todos los enclaves excepto en la barra inferior de Santa Isabel, por tanto, los enclaves se comportan con un patrón similar para este parámetro.

El centílo también permite realizar una primera evaluación de la competencia de la corriente, con un centílo de 375 mm es la barra inferior de San Juan donde el río ha tenido una mayor competencia.

La parte del tramo bajo del Gállego que más energía potencial tiene o lo que es lo mismo fuerza de tracción, es Santa Isabel ($82,3 \text{ N/m}^2$) y Montaña ($63,07 \text{ N/m}^2$). Los enclaves con alta fuerza de tracción coinciden con los que tienen valores elevados de transporte sólido de fondo 153,29 y 97,78 $\text{m}^3/\text{s/m}$ para Montaña y $88,75 \text{ m}^3/\text{s/m}$ para Santa Isabel.

Tabla 8. Parámetros relativos a la competencia de la corriente y al transporte de sedimentos

Enclave	Centílo (mm)	Fuerza de tracción T_0 (N/m^2)	Fórmula de Costa (m/s)	Transporte sólido de fondo ($\text{m}^3/\text{s/m}$)
Las Lomas	260	8,836	2,664	13,66
San Juan Barra Superior	293	----	2,562	----
San Juan Barra Inferior	375	17,1	2,69	31,26
Montaña Barra Superior	265	63,07	2,513	153,29
Montaña Barra Inferior	185	63,07	2,69	97,78
Santa Isabel Barra Superior	340	----	2,538	----
Santa Isabel Barra Inferior	120	82,3	1,631	88,75

Índices morfométricos

La morfología de los cantos también nos aporta información sobre el transporte que han sufrido, siendo los índices morfométricos calculados los siguientes (Tabla 9).

El índice de esfericidad en los enclaves analizados oscila entre 0,530 y 0,665, se trata de un valor de esfericidad medio-alto. Siendo las más esféricas las partículas de Montaña en la barra superior y de Las Lomas.

En cuanto al índice de desgaste en los enclaves analizados, está en un rango entre 0,50 y 0,75. Coincidiendo que el enclave con mayor índice de esfericidad es también dónde más desgaste han sufrido las partículas, con un valor de 0,724 para la barra superior de Montañana. Hay que indicar que el índice de aplanamiento de este último enclave no destaca sobre el resto.

De lo expuesto se puede deducir que los cantos analizados en la barra superior de Montañana han sufrido un largo e intenso transporte.

Tabla 9. Parámetros relativos a la competencia de la corriente y al transporte de sedimentos

Enclave	Índice de desgaste	Índice de aplanamiento	Índice de esfericidad
Las Lomas	0,606	2,317	0,655
San Juan Barra Superior	0,638	2,393	0,641
San Juan Barra Inferior	0,623	2,689	0,626
Montañana Barra Superior	0,724	2,392	0,662
Montañana Barra Inferior	0,627	2,716	0,609
Santa Isabel Barra Superior	0,56	2,917	0,588
Santa Isabel Barra Inferior	0,543	3,573	0,535

En relación al índice de aplanamiento, sus valores oscilan entre 2,30 y 3,60. El mayor índice de aplanamiento aparece en la barra inferior de Santa Isabel.

6. CONCLUSIONES

En relación con las *secciones* hay que señalar que dos de ellas (Santa Isabel y San Juan), presentan cauces secundarios que sólo serán activos en eventos de avenidas. La mayor sección bankfull es la de Las Lomas con 155,2 m². Si bien, la de mayor caudal bankfull es la de Montañana-Torre Los ajos.

En San Juan y en Santa Isabel los sedimentos dejados por la crecida de octubre de 2012 quedan por encima de la lámina bankfull del cauce principal y del secundario. El caudal en el tramo bajo durante la crecida alcanzó los 750 m³/s.

El perfil de Las Lomas no presenta vegetación, esto indica que es una zona bastante activa, mientras que el de Santa Isabel tiene una mayor colonización por herbáceas. Los perfiles tienen un relieve gradual en líneas generales. Los escarpes ubicados en el margen de erosión podrían presentar en el futuro problemas de incisión.

La *caracterización* de las *barras sedimentarias* recientes ha dejado patente que el mayor índice de acorazamiento lo presenta la barra superior de San Juan de Mozarrifar, apareciendo valores altos también en la barra inferior de Montañana y Las Lomas. Por tanto, se puede ver que el acorazamiento afecta de modo intenso no sólo a las barras superiores, sino también a las inferiores. Si bien, en un principio cabría esperar que las barras inferiores al sufrir más episodios de crecida, tuvieran menor acorazamiento que las superiores. La barra con menor índice de acorazamiento ha sido la de San Juan.

Es un hecho reseñable que el peor y el mejor índice de acorazamiento se encuentran en el mismo enclave, San Juan de Mozarrifar.

En cuanto a la *competencia* de la corriente y el *transporte* de sedimentos, hay que remarcar que el punto donde el cauce ha demostrado una mayor competencia es en San Juan de Mozarrifar, en su barra inferior, con un centílo de 375 mm. Las velocidades a las que se inicia el movimiento de las cinco partículas más grandes es similar en todos los enclaves, oscilando entre los 2,5 y los 2,7 m/s.

En Santa Isabel y Montañana los valores de fuerza de tracción y transporte sólido de fondo son altos, por tanto esos enclaves acogerán procesos con elevada energía potencial.

El análisis de la morfometría de los cantos de cada enclave ha permitido conocer que los cantos que mayor y más intenso transporte han sufrido son los de la barra superior de Montañana, lo que también es concordante con que en Montañana se den procesos de elevada energía potencial, como se ha citado antes.

En lo que respecta a las *granulometrías* de la fracción gruesa realizadas por el centro de las barra, y en la zona más próxima al agua, sobre el valor medio de dichas granulometrías cabe indicar que tienen valores más altos las efectuadas cerca del agua que las del centro de la barra, exceptuando el caso de la barra superior de San Juan, aunque los valores no distan mucho entre ambos.

En estas granulometrías las de mayor tamaño medio han sido las dos realizadas en Las Lomas, seguidas por las de la barra superior de San Juan.

La mitad de las granulometrías presentan una tendencia negativa y las otras siete positiva. Hay que señalar que el ritmo de decrecimiento en algunas barras es mucho más rápido en la granulometría próxima al río que en la central, como en el caso de San Juan en la barra inferior que decrece 2,5 veces más rápido.

El análisis de los *mapas de usos del suelo* ha permitido comprobar como en 1927 dominaban los cauces trenzados y los depósitos de gravas eran muy extensos, tendencia de la que aún en 1957 se observan restos; aunque el cauce va tendiendo hacia una menor complejidad. En 2004 el cauce se simplifica mucho y se ha incrementado la sinuosidad.

Si analizamos el período más reciente, el enclave que más dinamismo presenta entre 2004 y 2009, sin lugar a dudas es el del Hospitalico, en el que tras el estrangulamiento del meandro en 2004, se van formando nuevos meandros en el nuevo trazado.

También son una buena muestra del dinamismo del curso bajo las barras sedimentarias generadas en el enclave de San Juan-Montañana en zonas ya colonizadas por herbáceas y vegetación arbustiva.

Ha resultado muy interesante contemplar la variación del *espacio fluvial natural*, cuyas variaciones son muy significativas, la mayor pérdida de anchura de este espacio tuvo lugar en San Juan-Montañana con 262 m, entre 1957 y 2004. La mayor ganancia de espacio fluvial natural también tuvo lugar en ese enclave, desde 1927 a 1957 se ganaron 125 m de anchura.

De 1927 a 1957 en casi todos los enclaves se gana espacio fluvial de un modo notorio, en cambio de 1957 a 2004 generalmente suele haber pérdidas. De 2004 a 2009 en ninguno de los enclaves se ven variaciones apreciables o significativas en la anchura del espacio fluvial natural.

Al observar la distribución de los usos del suelo desde 1927 a 2009, se ve muy claramente que en 1957 comienza a disminuir la superficie de las barras, a la par que aumenta progresivamente el bosque de ribera.

Después de analizar la evolución de los usos del suelo en estos cinco enclaves ha quedado patente que el tramo bajo del Gállego tiene una dinámica muy activa.

BIBLIOGRAFÍA

- Acín Naverac, V. et al. (2012). "Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo Aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos". *Geographicalia*, 61, pp. 101-128.
- Cowan, W. L. (1956): "Estimating hydraulic roughness coefficients." *Agricultural Engineering*, 37(7), pp. 473-475.
- Gordon Wolman, M. (1954): "A method of sampling coarse river-bed material. Transactions, American Geophysical Union, Vol. 35, Num. 6.
- Marcos González, A. (1991): "Análisis de la evolución reciente de la morfología del cauce del Bajo Gállego en las proximidades de Zaragoza: influencia de las actuaciones humanas en su entorno". *Acta Geológica Hispanica*, v. 26, nº1, pp 23-33.
- Martín Vide, J.P. (2002): "Ingeniería de ríos". Ediciones UPC. Barcelona, 331 pp.
- Meyer-Peter, E. y Müller, R. (1948): "Formulae for bedload transport". Proceedings of 3rd Congress, International Association of Hydraulic Research, pp. 39-64, Sweden.
- Ollero, A. et al. (2004): Caracterización hidromorfológica del río Gállego. *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos* (Peña, J.L., Longares, L.A. y Sanchez, M editores).
- Ollero, A. y Martín Vide, J.P. (coord., 2005): "Estudio hidrológico, geomorfológico, hidráulico y ecológico del bajo Gállego en el término municipal de Zaragoza para su gestión como espacio fluvial". Ayuntamiento de Zaragoza.