



# **Estudio de los cambios geomorfológicos en un tramo del Jarama (Madrid) afectado por la regulación de grandes presas**

---

**Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas  
Trabajo fin de máster**

**Autor:**

**D. FERNANDO CADIerno GARCÍA**

**Director y tutor académico:**

**Dr. D. DIEGO GARCÍA DE JALÓN LASTRA**

**Alcalá de Henares, 24 de junio de 2016**

---

**Estudio de los cambios geomorfológicos en un tramo del Jarama (Madrid) afectado por la regulación de grandes presas**

**Geomorphologic changes study in a large dams affected stretch of Jarama (Madrid)**

---

**Resumen**

Se ha desarrollado un estudio sobre cambios geomorfológicos en un tramo del río Jarama, muy cercano al aeropuerto de Barajas. Este tramo está afectado intensamente por la regulación de grandes embalses desde 1972. El estudio ha consistido en un análisis hidrológico de caudales comparando periodos antes y después de las grandes presas y su respuesta mediante un análisis geomorfológico a partir de imágenes aéreas y sistemas de información geográfica. Se ha obtenido un conjunto de índices de valoración geomorfológica basado en un nuevo método denominado Geomorphic Status. El análisis hidrológico muestra una marcada reducción de caudales para algunas variables y el análisis geomorfológico ha demostrado cambios importantes como estrechamiento del cauce, desaparición de zonas con actividad geomorfológica y expansión de la vegetación. Finalmente, algunas variables hidrológicas han sido correlacionadas con algunos parámetros morfológicos indicando su causalidad.

**Abstract**

A study about geomorphologic changes has been developed in a reach of Jarama river, very close to Barajas airport. This reach is strongly affected by large dams regulation since 1972. The study has consisted on a hydrological analysis comparing before and after large dams periods and a geomorphological analysis of aerial images with geographic information systems. A group of indexes for geomorphic assessment based on a new method called Geomorphic Status has been obtained. The hydrological analysis has indicated a clear reduction of some flows variables and the geomorphological analysis has showed important changes as channel narrowing, disappearance of areas with geomorphological activity and vegetation encroachment. Finally, some hydrological variables have been correlated with some morphological parameters, showing evidence of causality.

---

## INDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Localización del tramo de estudio .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Metodología .....</b>	<b>8</b>
4.1 Compilación de datos .....	8
4.2 Valoración del estado geomorfológico .....	11
<b>5. Resultados y discusión.....</b>	<b>14</b>
5.1 Respuesta hidrológica .....	14
5.2 Respuesta geomorfológica .....	24
5.3 Respuestas hidrológica y geomorfológica.....	40
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>45</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>46</b>

## 1. Introducción

Los cursos fluviales han sido utilizados de diversas maneras por el hombre desde muy antiguo. Los asentamientos humanos siempre se han ubicado preferentemente cerca de un curso de agua, para poder aprovechar directamente tan valioso recurso. Algunos ejemplos de usos son: utilización directa del agua para consumo y aseo, recursos de pesca, desplazamientos mediante navegación, aprovechamiento energético o desarrollo agrícola en los valles.

La regulación de los ríos ha estado en el corazón del avance de las civilizaciones humanas (Petts, G.E. & Gurnell, A.M., 2005). Sin embargo, todas las regiones del mundo experimentaron una aceleración extrema en la actividad de construcción de presas desde 1950, alcanzando el pico de construcción en 1968 (Beaumont, 1968 en Petts & Gurnell, 2005). En 1900, había 427 grandes presas –más altas de 15m- en el mundo, mientras que en 1950 y 1986 había 5268 y unas 39000, respectivamente (ICOLD, 1988 en Brandt, 2000). Si nos centramos en las regiones mediterráneas, los ríos se encuentran especialmente afectados por impactos humanos, entre los cuales destacan las presas (Lobera et al., 2015).



**Ilustración 1. Presa de El Atazar (fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)).**

Las presas interrumpen el flujo de agua y sedimentos aguas abajo, induciendo de esa manera un cambio en el cauce que puede extenderse cientos de kilómetros (Brandt, 2000). Tras la regulación mediante presas, los ríos desarrollan un complejo ajuste en la

forma del cauce, incluyendo cambios en anchura, profundidad, nivel del lecho, pendiente y materiales del lecho (Brandt, 2000).



**Ilustración 2. Presa de El Vado (fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)).**

Este trabajo se centra en un tramo del Jarama, afluente del Tajo. El Jarama tiene su nacimiento cercano a Peña Cebollera, cumbre ubicada en la Sierra de Ayllón (Sistema Central), provincia de Guadalajara. Se trata de un importante afluente del Tajo, que recorre buena parte de la provincia de Madrid, recogiendo las aguas de Lozoya, Guadalix y Manzanares por su margen derecha y Jaramilla, Henares y Tajuña por su margen izquierda. La ubicación del tramo de estudio, explicada más adelante, queda en una zona posterior a la junta Guadalix-Jarama y anterior a la junta Henares-Jarama. De esta manera, dicho tramo se encuentra aguas abajo de la confluencia del Jarama con Jaramilla, Lozoya y Guadalix.

Se pueden diferenciar tres tramos atendiendo al perfil longitudinal: tramos alto, medio y bajo. El tramo alto del Jarama va desde su nacimiento hasta la presa de El Vado. El tramo medio comprende desde dicho embalse hasta cerca de San Fernando de Henares. El tramo bajo va desde San Fernando de Henares hasta su desembocadura en el Tajo, en Aranjuez. El tramo seleccionado pertenece al tramo medio del Jarama.

El Jarama presenta un alto estado de degradación debido principalmente a la elevada presión antrópica, donde las alteraciones principales son (Vizcaíno et al., 2003):

1. La variación del caudal circulante causada por los embalses de cabecera.

2. La variación del cauce natural por estructuras de protección longitudinales.
3. El descenso del nivel de base debido a las extracciones de grava.
4. El cambio de usos en la llanura de inundación.

Tanto el Lozoya como el Guadalix se encuentran regulados por grandes presas, así como el propio Jarama. En el curso del Lozoya se encuentran los embalses de Puentes Viejas, Riosequillo, Pinilla y El Atazar, y el Guadalix presenta el embalse de Pedrezuela, antiguamente denominado embalse de El Vellón. Las características de estas grandes presas se pueden consultar en tabla adjunta -Tabla 1-.

**Tabla 1. Características de las grandes presas con incidencia sobre el tramo de estudio (C.H. Tajo).**

Nombre	Año	Altura (m)	Vol. embalse (hm <sup>3</sup> )	Sup. embalse (ha)
Puentes Viejas	1940	66,20	49,17	279,58
Riosequillo	1956	56,00	48,52	326,00
Pinilla	1967	32,60	37,55	480,00
El Atazar	1972	134,00	426,00	1069,00
El Vellón	1967	52,50	41,23	393,09
El Vado	1954	69,45	55,66	259,76

El Jarama se encuentra regulado en su tramo alto mediante el embalse de El Vado. Hasta 1954 no estuvo finalizada la obra, aunque posteriormente se aprobó un recrecimiento que terminó anegando una superficie mayor. Dicho recrecimiento estuvo terminado en el año 1972.

Así pues, el tramo de estudio queda afectado por la regulación aguas arriba de diversas presas de importancia. Tanto el Lozoya como el Guadalix, afluentes importantes del Jarama, se encuentran afectados por sus correspondientes presas. En el caso del Lozoya, se encuentra altamente regulado por varias presas aunque la más importante por volumen así como última en posición según el curso de la corriente es El Atazar. Finalmente, el propio Jarama queda embalsado en su tramo alto por El Vado.

Las presas son construidas normalmente para uno o más de los siguientes propósitos: control de inundaciones, generación de energía eléctrica, riego, control de sedimentos, abastecimiento de la población y abastecimiento industrial (Brandt, 2000). El objetivo principal de la construcción de estos embalses fue el abastecimiento para la población de Madrid, aunque se han originado algunos aprovechamientos secundarios como actividades deportivas.

## **2. Objetivos**

Desde hace algunos años, se han desarrollado diversos índices para la evaluación de la calidad física fluvial, principalmente para propósitos de restauración. Sin embargo, estos índices están basados en trabajo de campo, ignorando la evolución temporal del cauce fluvial (Lobera et al., 2015). La disponibilidad de datos existente en la actualidad así como el avance en el manejo de la información ofrecen nuevas oportunidades para estudios más detallados de cambios en el tiempo. A la luz de estas posibilidades, se ha desarrollado recientemente un método de valoración para estos cambios mediante análisis comparativo, denominado Geomorphic Status (GS), presentado en el estudio “Geomorphic status of regulated rivers in the Iberian Peninsula” (Lobera et al., 2015).

El objetivo de este trabajo es analizar los cambios en la geomorfología de un tramo seleccionado del río Jarama a lo largo del tiempo como consecuencia de la construcción de grandes presas. La consecución de este objetivo se basa en el análisis de datos hidrológicos y de imágenes aéreas, con la obtención de valores en forma de índices, para finalmente realizar una interpretación conjunta de los paquetes de datos analizados.

## **3. Localización del tramo de estudio**

Este estudio se centra en un tramo del río Jarama, localizado en el término municipal de San Sebastián de los Reyes (Madrid). Dicho municipio se ubica a 18 km al norte de la Madrid capital. Dispone una superficie de 59,26 km<sup>2</sup> y su altitud media 675 m. San Sebastián de los Reyes limita con los siguientes municipios: 1) Al norte con Madrid y Colmenar Viejo; 2) Al noreste con Algete; 3) Al este con Paracuellos de Jarama y Cobeña; 4) Al sureste con Paracuellos de Jarama; 5) Al sur con Alcobendas; 6) Al suroeste con Alcobendas; 7) Al oeste con Alcobendas y Madrid; 8) Al noroeste con Madrid. La situación exacta del tramo puede consultarse en ilustraciones adjuntas, ubicado entre San Sebastián de los Reyes -Ilustración 3- y Paracuellos de Jarama - Ilustración 4-, y sus coordenadas quedan indicadas en tabla adjunta -Tabla 2-.



Tabla 2. Coordenadas de localización del tramo de estudio (UTM ETRS89).

Coordenadas UTM	X	Y
A	452.869,87	4.488.413,53
B	452.799,49	4.486.529,96

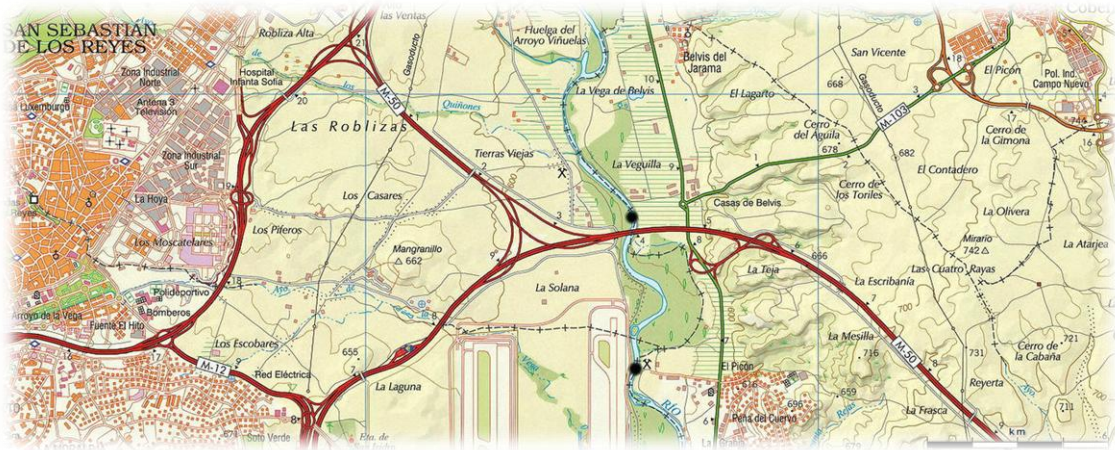


Ilustración 3. Localización del tramo, con San Sebastián de los Reyes arriba a la izquierda.

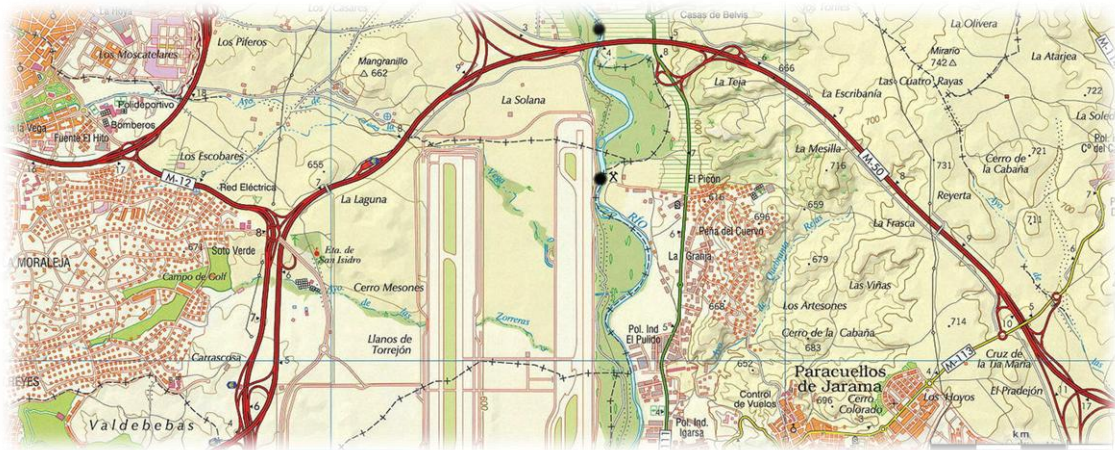


Ilustración 4. Localización del tramo, con Paracuellos de Jarama abajo a la derecha.

## 4. Metodología

### 4.1 Compilación de datos

La valoración de las condiciones del sistema fluvial y su grado de alteración se basan en un análisis tanto hidrológico como morfológico, valorando elementos determinantes de la morfología y dinámica fluviales: el trazado en planta y el régimen de caudales, así



como la obtención de un índice de valoración del estado geomorfológico según una nueva metodología desarrollada por Lobera et al (2015).

El **análisis hidrológico** se basa en el paquete de datos correspondiente a la estación de aforo 3051-Algete. Su localización se ubica inmediatamente anterior al tramo analizado, siendo la estación idónea para analizar los caudales circulantes por el tramo. La serie de datos abarca desde 1942 hasta 2009, ambos inclusive, aunque aparece un periodo con ausencia de datos: 1949-1968. Las variables que se obtienen del tratamiento del paquete de datos son: 1) Qmax - Caudal máximo anual; 2) Qmed - Caudal medio anual; 3) Qmin - Caudal mínimo anual; 4) Q75 - Caudal del percentil 75; 5) Q50 - Caudal del percentil 50 (mediana); 6) Q25 - Caudal del percentil 25; 7) Número de crecidas intranuales ( $>Q75$ ).

Se ha dividido la serie histórica en dos periodos temporales, uno para el periodo 1942-1972 y otro para el periodo 1973-2009. Esta división se justifica por la puesta en funcionamiento de dos grandes presas en el año 1972: la ampliación de la presa El Vado, situada en el río Jarama, y la inauguración de la presa El Atazar, situada en el río Lozoya. De esta manera, se pretende analizar los cambios provocados por dichas estructuras en el régimen de caudales entre dichos periodos, teniendo como punto de referencia el año 1972.

Con objeto de interpretar diversas fotos aéreas históricas se ha estudiado otra división temporal consistente en la partición de la serie histórica en cuatro periodos: 1942-1948, 1969-1975, 1976-1991 y 1992-2006. Dicha división en cuatro periodos temporales se explica por su correspondencia con los periodos entre las imágenes estudiadas en el análisis geomorfológico. Como las imágenes analizadas se corresponden con los años 1956, 1975, 1991, 2006 y 2015 se ha buscado la coincidencia de dichos periodos entre imágenes con los datos hidrológicos. De esta manera, se relacionan los periodos temporales con las imágenes como se indica: 1942-1948 previo a la imagen de 1956, 1969-1975 previo a la imagen de 1975, 1976-1991 previo a la imagen de 1991 y 1992-2006 previo a la imagen de 2006.

A continuación, se incluye información de la estación de aforo 3051 -Ilustración 5-.

## Identificación

Estado: <b>Alta</b>	Inicio: <b>1913</b>	Cota (m): <b>585</b>	
Cód. ROEA: <b>3051</b>	Cód. SAIH:	Cód. SAICA:	
UTM X: <b>452170</b>	Y: <b>4493275</b>	Huso: <b>30</b>	Datum <b>ED50</b>
UTM X: <b>452061</b>	Y: <b>4493067</b>	Huso: <b>30</b>	Datum <b>ETRS89</b>
Río: <b>Jarama</b>			
Cuenca receptora ( Km <sup>2</sup> ): <b>2 448</b>			
Sistema de explotación: <b>Macrosistema</b>			
T. municipal: <b>Algete</b>			
Provincia: <b>Madrid</b>			
Hoja 1:50.000: <b>Colmenar Viejo (534)</b>			



## Tipología

Propietario: -	
Tipo de estación: <b>Encauzamiento con Canal de Aguas Bajas</b>	
Régimen caudales: <b>Alterado</b>	
Longitud (m):	Ancho (m): <b>32,9</b>
Escala: <b>Sí (Exterior)</b>	
Caseta: <b>Sí (De Fábrica)</b>	
Pasarela: <b>No</b>	Vertedero: <b>No</b>

## Sección tipo

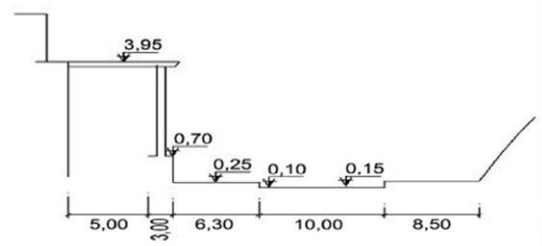


Ilustración 5. Información y características relativas a la estación de aforo 3051-Algete, fuente del paquete de datos para el estudio hidrológico (fuente: C.H. Tajo).

El **análisis morfológico** se hace mediante el estudio de imágenes provenientes de ortofotografía aérea disponibles para distintos años (1956, 1975, 1991, 2006 y 2015). Las imágenes de 2006 y 2015 han sido obtenidas del centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Debido a la falta de disponibilidad para descarga de imágenes anteriores a 2006, se ha procesado digitalmente una serie de capturas para cada año desde el visor Planea -Comunidad de Madrid-, mediante utilización del software para tratamiento de imágenes Gimp v2. A continuación, se ha procedido a la georeferenciación de las imágenes, mediante la aplicación GvSIG v1.12. Finalmente, se ha procedido a la creación de una serie de capas mediante dicha herramienta SIG – Sistemas de Información Geográfica-, zonificando el tramo fluvial para cada imagen.

Para cada año de estudio se origina una capa de zonificación incluyendo una matriz de polígonos con diverso significado, diferenciando: 1) Cauce fluvial; 2) Zona geomorfológica activa; 3) Zona en proceso de estabilización por colonización de vegetación; 4) Zona de vegetación herbácea; 5) Zona de vegetación leñosa; 6) Zona con carácter antrópico (actividades extractivas, infraestructuras y uso agrícola). De esta manera, se obtiene una matriz de datos con las siguientes variables: ZT – zonas totales, ZA – zonas activas, ZI – zonas intermedias (ni claramente activas ni claramente vegetadas), ZV(h) - zonas vegetadas por vegetación herbácea, ZV(l) – zonas vegetadas

por vegetación leñosa, ZV – zonas totales vegetadas. A este conjunto de datos, incluyendo tanto número como superficie para cada variable, se añaden las mediciones de la longitud del cauce para cada imagen -L- y de la anchura del cauce activo a través del promedio de cinco perfiles repartidos en el tramo para cada imagen -W-. La unidad de superficie es ha, la unidad de longitud del cauce es km y la unidad de anchura del cauce activo es m. Esta matriz de datos permite el cálculo de un conjunto de índices de comparación, explicados con detalle en el siguiente apartado.

Finalmente, tanto el conjunto de datos obtenidos del paquete hidrológico como la matriz de datos morfológicos, manejados durante todo el proceso mediante software de cálculo Excel 2007, han sido objeto de un cruce de regresiones lineales. Los datos cruzados han sido las variables hidrológicas de los periodos inmediatamente anteriores a los años de las imágenes por un lado y las variables morfológicas obtenidas de la zonificación de cada imagen. De esta manera, se corresponden de la siguiente manera: periodo 1942-1948 con imagen de 1956, periodo 1969-1975 con imagen de 1975, periodo 1976-1991 con imagen de 1991 y periodo 1992-2006 con imagen de 2006.

## **4.2 Valoración del estado geomorfológico**

El análisis de cambios geomorfológicos se basa en el método desarrollado recientemente por Lobera et al (2015) denominado Geomorphic Status (GS). Dicho método propone la valoración del grado de cambio geomorfológico mediante la obtención de cuatro índices adimensionales. Aquí se propone alguna variación del método de valoración geomorfológica. Una variación ha consistido en la obtención de los índices geomorfológicos de dos maneras distintas: 1) El primer modo calculando los índices según el número de zonas, basado en Lobera et al (2015); 2) El segundo modo calculando los índices según la superficie por zonas.

### ***Índices de valoración del cambio geomorfológico:***

- Cambios en las unidades sedimentarias (*SU – Sedimentary Units*).  
Este índice representa la diferencia en la complejidad geomorfológica.  
El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\mathbf{SU} = \frac{1 + \left(\frac{ZT}{L}\right)_{post}}{1 + \left(\frac{ZT}{L}\right)_{pre}}$$

Siendo: **ZT** – número/superficie total de zonas, **L** – longitud del canal (km).

Un resultado igual a 1 indica ausencia de cambio geomorfológico, así como valores >1 o <1 indican incremento o detrimento del número de unidades de sedimentación, respectivamente.

- Cambios en la disponibilidad de sedimentos (**SA** – *Sediment Availability*). Este índice indica el dinamismo y la disponibilidad de sedimentos procedente de aguas arriba, y se representa por el grado de actividad de las barras.

Si **NB<sub>post</sub>** es 0, **SA** debe ser 0. Si **NB<sub>post</sub>** >0, **SA** se calcula de la siguiente manera:

$$\mathbf{SA} = \frac{1 + \left(\frac{ZA}{ZT}\right)_{post}}{1 + \left(\frac{ZA}{ZT}\right)_{pre}}$$

Siendo: **ZA** – número/superficie de zonas activas, **ZT** – número/superficie total de zonas.

Un resultado igual a 1 indica ausencia de cambios en la disponibilidad de sedimentos, mientras que valores >1 o <1 implican incremento o reducción en la deposición y disponibilidad de sedimentos.

- Cambios en la estabilidad de las barras (**BS** – *Bar Stability*). Este índice analiza la diferencia en la cobertura de vegetación como indicador de estabilidad.

Si **NB<sub>post</sub>** es 0, **BS** debe ser 0. Si **NB<sub>post</sub>** >0, **BS** se calcula de la siguiente manera:

$$BS = \frac{1 + \left(\frac{ZV}{ZT}\right)_{pre}}{1 + \left(\frac{ZV}{ZT}\right)_{post}}$$

Siendo:  $ZV$  – número/superficie de zonas vegetadas,  $ZT$  – número/superficie total de zonas.

Los valores  $>1$  implican una reducción del número de barras vegetadas y  $<1$  un aumento del número de barras vegetadas, así como un valor igual a 1 refleja ausencia de cambio en la cobertura vegetal.

- Cambios en la capacidad de flujo del cauce ( $CF$  – *Channel Flow capacity*). Este índice analiza variaciones en la anchura del cauce, relacionada con cambios en frecuencia y magnitud de los eventos de inundación.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$CF = \frac{W_{post}}{W_{pre}}$$

Siendo:  $W$  – anchura del canal activo.

Los valores  $>1$  implican un incremento en la anchura del cauce activo y  $<1$  una reducción de dicha anchura. Un valor igual a 1 no refleja cambio en el índice.

Otra variación ha consistido en analizar el índice de cambios en la estabilidad de las barras (BS) de 3 maneras diferentes en función del tipo de vegetación estabilizadora. Se ha obtenido un índice por separado para vegetación herbácea y vegetación leñosa y finalmente un índice total de zonas vegetadas. Lógicamente, se presenta una amplia heterogeneidad en la mezcla de vegetación herbácea y vegetación leñosa. Se ha tomado como criterio para delimitación de las zonas de vegetación leñosa aquellas que forman un bloque compacto y que posibilita su representación en polígonos. Zonas con escasa compacidad o individuos dispuestos de manera individual o salteada no se han tenido en cuenta para la cuantificación de número de zonas o superficies.

Para los cuatro índices, *pre* y *post* indican la posición temporal de las imágenes relacionadas. En todos los casos se ha utilizado como referencia la imagen del año 1956, que se corresponde con el subíndice *pre*. El subíndice *post* se corresponde con el resto de imágenes utilizadas para comparar el grado de cambio geomorfológico: años 1975, 1991, 2006 y 2015.

Finalmente, el índice GS de estado geomorfológico resulta sumando los cuatro índices:

$$\rightarrow GS = SU + SA + BS + CF$$

Como los índices adoptan la forma de fracción matemática, números iguales o muy parecidos tanto en numerador como denominador resultarán en un cociente igual a 1 o muy cercano a 1, indicativo de una ausencia de cambios o cambios muy ligeros para la significación de cada índice. Por tanto, un GS igual o muy cercano a 4 implica que las características geomorfológicas se mantienen en el tiempo. Un GS >4 indicaría un incremento de actividad geomorfológica y un GS <4 significaría una reducción de actividad geomorfológica.

## 5. Resultados y discusión

### 5.1 Respuesta hidrológica

A continuación, se procede al estudio hidrológico del tramo, mediante el análisis de diversas variables obtenidas del paquete de datos hidrológicos -el conjunto de datos se puede consultar en Anexo 1-.

Las figuras adjuntas -Figura 1 hasta Figura 7- muestran las **tendencias generales** de cada variable para la serie completa de datos.



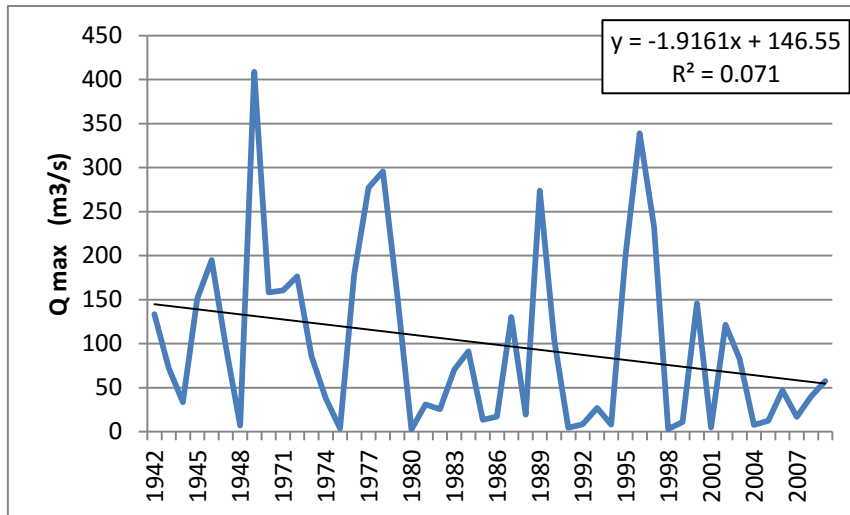


Figura 1. Gráfico de caudales máximos con línea de tendencia para la serie hidrológica 1942-2009 (Estación de aforo número 3051).

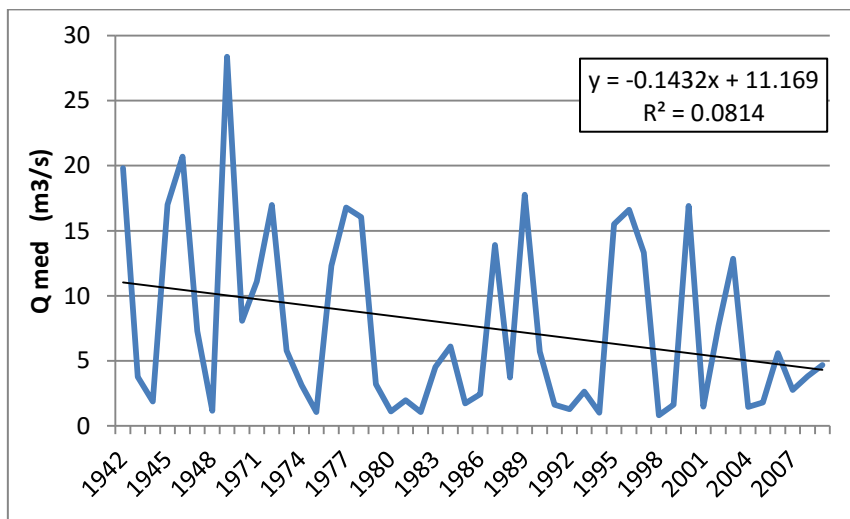


Figura 2. Gráfico de caudales medios con línea de tendencia para la serie hidrológica 1942-2009 (Estación de aforo número 3051).

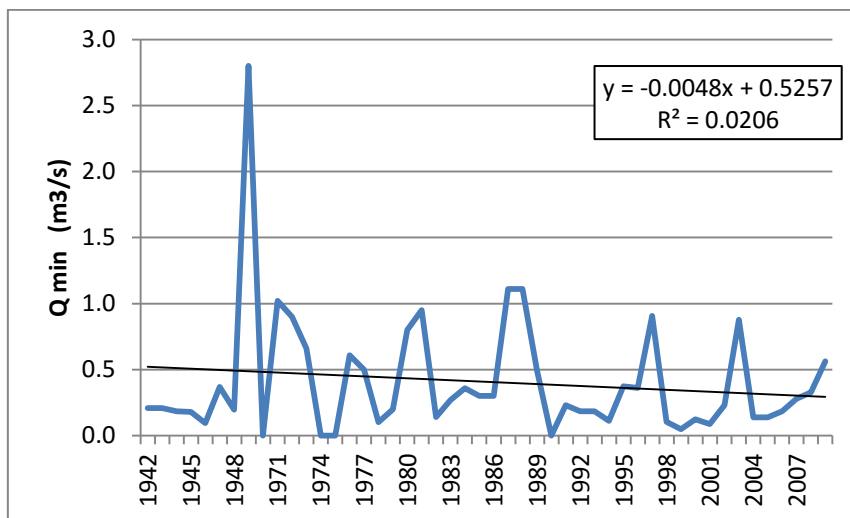


Figura 3. Gráfico de caudales mínimos con línea de tendencia para la serie hidrológica 1942-2009 (Estación de aforo número 3051).

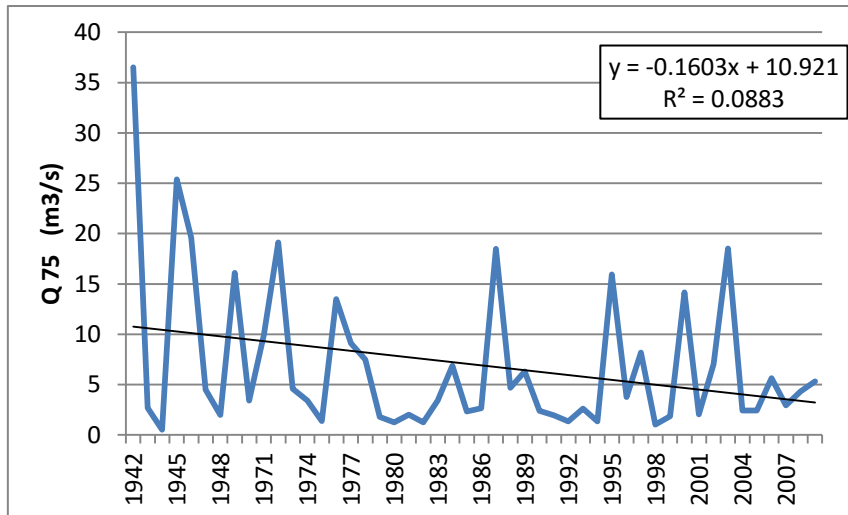


Figura 4. Gráfico de caudales Q75 con línea de tendencia para la serie hidrológica 1942-2009 (Estación de aforo número 3051).

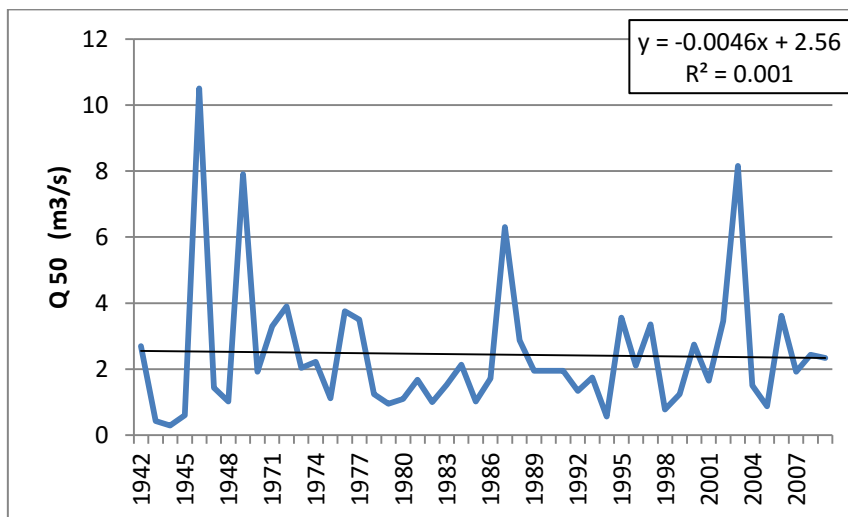


Figura 5. Gráfico de caudales Q50 con línea de tendencia para la serie hidrológica 1942-2009 (Estación de aforo número 3051).

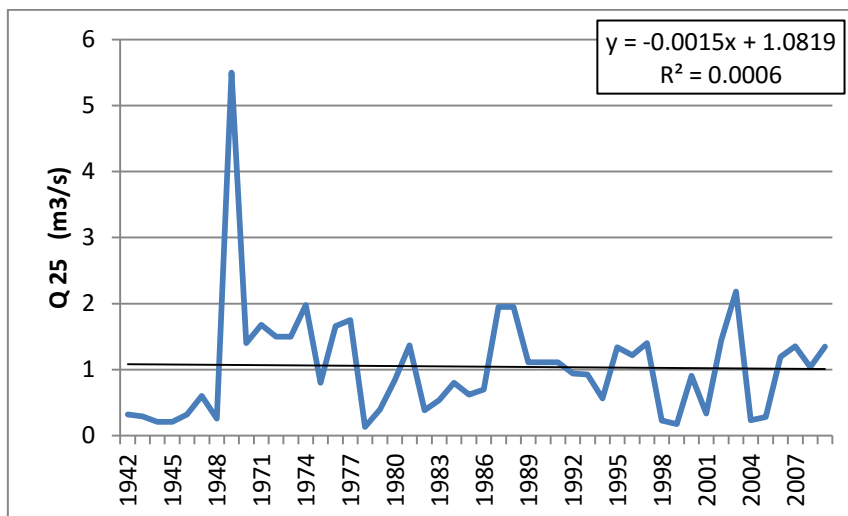


Figura 6. Gráfico de caudales Q25 con línea de tendencia para la serie hidrológica 1942-2009 (Estación de aforo número 3051).

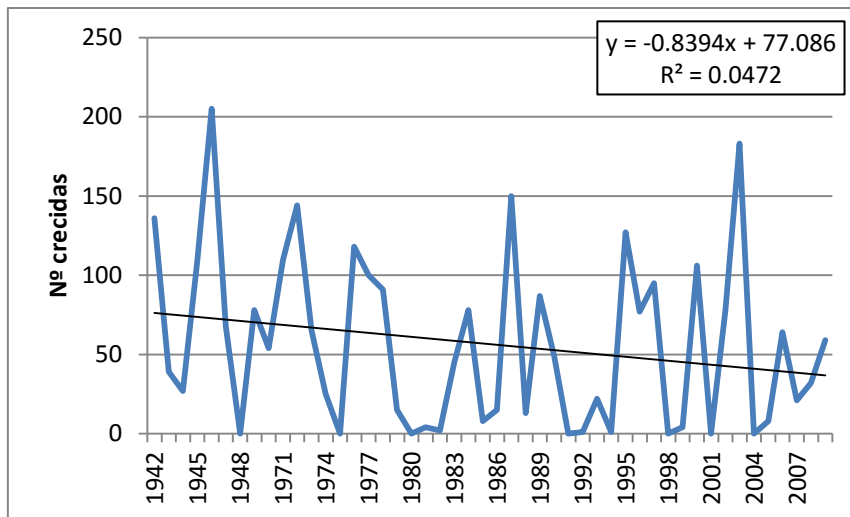
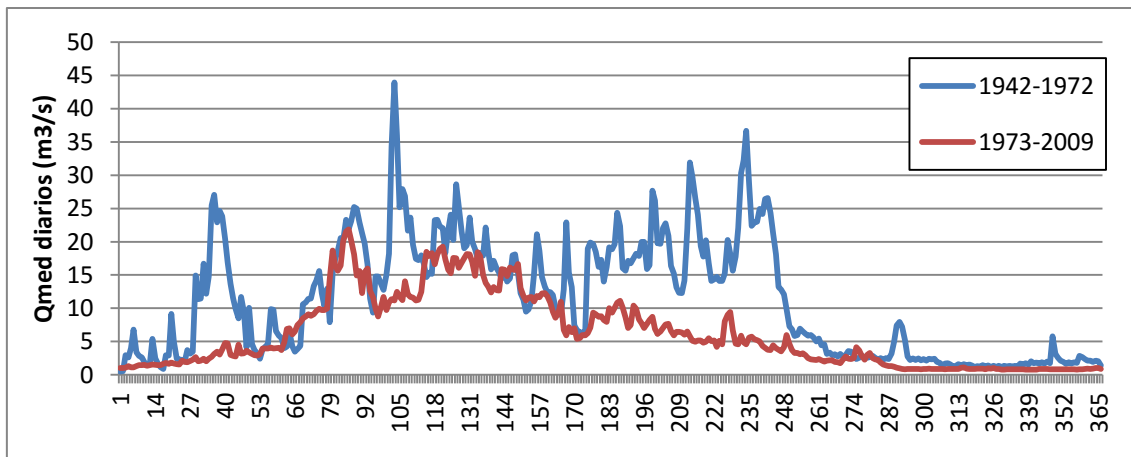


Figura 7. Gráfico del número de crecidas con línea de tendencia para la serie hidrológica 1942-2009 (Estación de aforo número 3051).

Los gráficos indican una reducción generalizada para todas las variables a lo largo del periodo temporal que abarca la serie histórica, desde 1942 hasta 2009. Comparando entre figuras, se puede observar que aquellas variables indicadoras de valores medios y altos del rango de caudales han sufrido una marcada reducción: caudales máximos, caudales Q75 y caudales medios, así como también el número de crecidas. De esta manera, los caudales máximos han sufrido una disminución desde casi 150 m<sup>3</sup>/s hasta poco más de 50 m<sup>3</sup>/s, los caudales medios aproximadamente desde 12 m<sup>3</sup>/s hasta 4 m<sup>3</sup>/s y los caudales Q75 desde 11 m<sup>3</sup>/s hasta 3 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, los caudales Q50 y Q25 han sufrido una muy ligera modificación, con suavísimos descensos. Los caudales mínimos han sufrido una disminución algo más marcada, bajando aproximadamente desde 0,5 m<sup>3</sup>/s a 0,3 m<sup>3</sup>/s. Finalmente, el número de crecidas también muestra una marcada línea de tendencia con una progresiva reducción desde aproximadamente 75 crecidas/año hasta 35 crecidas/año.

A continuación, una serie de **comparaciones entre periodos** de la serie de datos. Se analizan primero dos grandes bloques temporales teniendo como referencia el año 1972 (año de puesta en funcionamiento de las grandes presas): 1942-1972 y 1973-2009.



**Figura 8. Caudales medios diarios del tramo en los periodos 1942-1972 y 1973-2009 (periodos antes y después de la puesta en funcionamiento de las grandes presas) (Estación de aforo número 3051).**

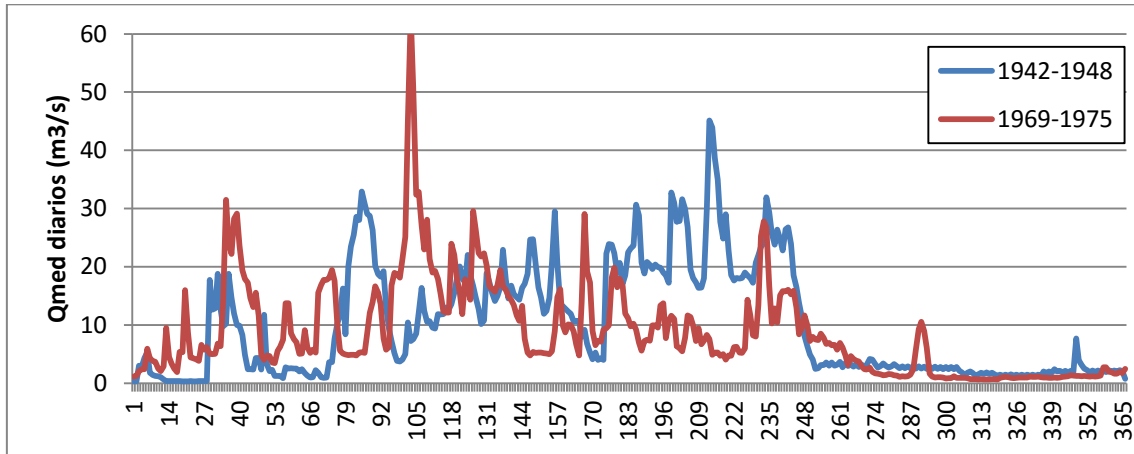
Se observa en el gráfico de caudales medios diarios -Figura 8- un cambio importante en los caudales del tramo entre ambos periodos. En general, toda la distribución de caudales durante el año hidrológico se ha visto afectada, pero se observa un mayor efecto en octubre-noviembre y marzo-mayo. Comparando los valores promedio para ambos periodos -Tabla 3-, se comprueba que algunas variables han sufrido cambios importantes. Las alteraciones más significativas han afectado al valor de los caudales máximos -con una reducción del 40,5%-, los caudales medios -con una reducción del 49,4%- y los caudales Q75 -con una reducción del 58,3%-. También el número de crecidas se ha visto claramente afectado, pasando de 88,2 a 47,1, casi la mitad (-46,6%). Los caudales mínimos se han reducido un 35,5%, y de manera más suave los caudales Q50 y Q25, con reducciones del 27,0% y 8,5% respectivamente.

**Tabla 3. Valores promedio para variables hidrológicas en los periodos 1942-1972 y 1973-2009 (periodos antes y después de la puesta en funcionamiento de las grandes presas) (Estación de aforo número 3051).**

Variable	1942-1972	1973-2009	Diferencia (%)
Qmax	144,9	86,2	-40,5
Qmed	12,4	6,3	-49,4
Qmin	0,6	0,4	-35,5
Q75	12,7	5,3	-58,3
Q50	3,1	2,3	-27,0
Q25	1,1	1,0	-8,5
Nº crecidas	88,2	47,1	-46,6

Las siguientes comparaciones se realizan entre periodos más breves, que coinciden con periodos entre las imágenes utilizadas en el análisis morfológico. El periodo 1942-1948

se toma en adelante como periodo de referencia. Dicho periodo refleja las condiciones hidrológicas en el tramo de estudio antes del funcionamiento de grandes presas. El periodo 1969-1975 incluye varios años anteriores y posteriores a dicha fecha.



**Figura 9. Caudales medios diarios del tramo en los periodos 1942-1948 y 1969-1975 (Estación de aforo número 3051).**

El gráfico de caudales medios diarios -Figura 9- muestra una distribución anual con diferencias entre ambos periodos. Si bien hay algunos picos del periodo 1969-1975 donde se superan los caudales del periodo anterior, especialmente un gran pico correspondiente con enero, se observa una clara disminución de caudales en los meses marzo-mayo. Observando los valores promedio -Tabla 4- se puede comprobar que se ha producido un incremento significativo en los caudales máximos (+49,7%), así como grandes incrementos en los caudales mínimos (+271,5%) y caudales Q25 (+549,%). Los caudales Q50 aumentan una cantidad importante (+31,9%) y los caudales medios aumentan muy ligeramente (+4,0%). Por otro lado, se produce un descenso en el promedio de caudales Q75 (-36,5%) y en el número de crecidas (-18,5%). Como se observa, se ha producido un descenso generalizado en el número de crecidas y en los caudales Q75, aumentando el valor de los caudales máximos, de manera que aunque se haya reducido el valor de muchos caudales en la parte alta de la muestra, cuando se ha producido un evento de caudal máximo ha sido con mayor intensidad que en el anterior periodo de comparación.

**Tabla 4. Valores promedio para variables hidrológicas en los periodos 1942-1948 y 1969-1975 (Estación de aforo número 3051).**

Variable	1942-1948	1969-1975	Diferencia (%)
Qmax	98,5	147,4	+49,7
Qmed	10,2	10,6	+4,0

Qmin	0,2	0,8	+271,5
Q75	13,0	8,3	-36,5
Q50	2,4	3,2	+31,9
Q25	0,3	2,1	+549,8
N° crecidas	83,4	68,0	-18,5

La siguiente comparación corresponde a los periodos 1942-1948 y 1976-1991.

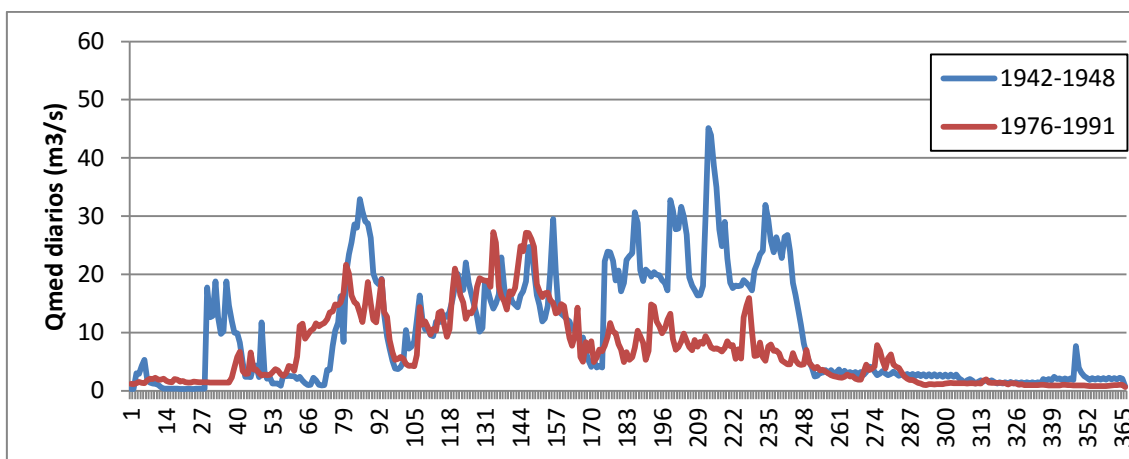


Figura 10. Caudales medios diarios del tramo en los periodos 1942-1948 y 1976-1991 (Estación de aforo número 3051).

El gráfico de caudales medios diarios -Figura 10- muestra una clara diferencia entre los caudales de ambos periodos, muy apreciable en los meses marzo-mayo. Los resultados en la comparación de las variables hidrológicas -Tabla 5- son variados. Se produce un aumento ligero en los caudales máximos (+7,5%), así como fuertes incrementos en los caudales mínimos (+126,0%) y caudales Q25 (+225,2%). Sin embargo, disminuyen los caudales Q75 un 59,0% y los caudales Q50 un 10,8%. Los caudales medios también sufren un descenso (-32,8%). El número de crecidas se ha reducido un 41,9%.

Tabla 5. Valores promedio para variables hidrológicas en los periodos 1942-1948 y 1976-1991 (Estación de aforo número 3051).

Variable	1942-1948	1976-1991	Diferencia (%)
Qmax	98,5	105,8	+7,5
Qmed	10,2	6,9	-32,8
Qmin	0,2	0,5	+126,0
Q75	13,0	5,3	-59,0
Q50	2,4	2,2	-10,8
Q25	0,3	1,0	+225,2
N° crecidas	83,4	48,4	-41,9



La última comparación corresponde a los periodos 1942-1948 y 1992-2006.

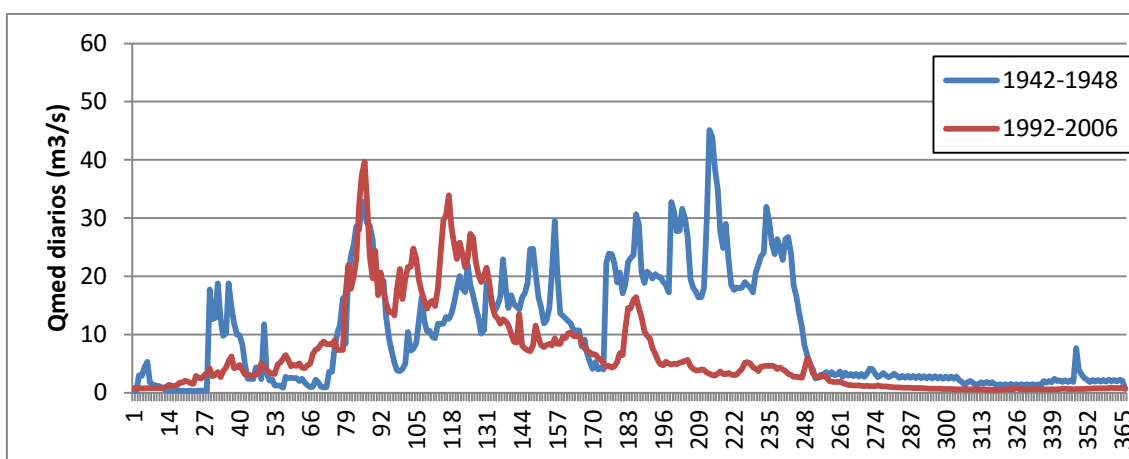


Figura 11. Caudales medios diarios del tramo en los periodos 1942-1948 y 1992-2006 (Estación de aforo número 3051).

Observando el gráfico de caudales medios diarios -Figura 11-, se vuelve a comprobar la diferencia de caudales, mostrando otra vez un gran hueco entre las curvas de ambos periodos que se corresponde con los meses marzo-mayo. Comparando las variables hidrológicas -Tabla 6-, se comprueba que los caudales máximos se han reducido un 15,2% y los caudales Q50 se han mantenido prácticamente igual entre periodos. Para el resto de variables, se sigue un patrón similar de cambios respecto de la anterior comparativa. Los caudales medios y caudales Q75 sufren una disminución del 34,5% y 54,8% respectivamente. Los caudales mínimos y caudales Q25 se ven incrementados un 30,8% y un 182,5% respectivamente. El número de crecidas se ha reducido un 38,8%.

Tabla 6. Valores promedio para variables hidrológicas en los periodos 1942-1948 y 1992-2006 (Estación de aforo número 3051).

Variable	1942-1948	1992-2006	Diferencia (%)
Qmax	98,5	83,5	-15,2
Qmed	10,2	6,7	-34,5
Qmin	0,2	0,3	+30,8
Q75	13,0	5,9	-54,8
Q50	2,4	2,4	+0,9
Q25	0,3	0,9	+182,5
N° crecidas	83,4	51,1	-38,8

Los resultados de las tendencias generales de la serie histórica y la comparativa entre los periodos 1942-1972 y 1973-2009 muestran patrones muy similares. Todas las variables han sufrido una reducción de valores, unas de manera intensa y otras de manera suave.

Haciendo un repaso de los valores promedio para la comparativa de dichos periodos, obtenemos los siguientes resultados: Qmax (144,9 → 86,2 (m3/s)); Qmed (12,4 → 6,3 (m3/s)); Qmin (0,6 → 0,4 (m3/s)); Q75 (12,7 → 5,3 (m3/s)); Q50 (3,1 → 2,2 (m3/s)); Q25 (1,1 → 1,0 (m3/s)); número de crecidas (88,2 → 47,1 (m3/s)).

Por otro lado, las comparativas entre periodos breves han arrojado resultados distintos para alguna variable. Como explicación, cabe resaltar que el periodo 1969-1975 abarca varios años previos y varios posteriores a 1972, fecha de referencia de puesta en funcionamiento de las grandes presas del estudio. Por este motivo, no refleja las condiciones ni antes ni después para dicho año de referencia, sino una mezcla de ambas. Además, esos años previos a 1972 dentro del periodo resultaron de excepcional intensidad hídrica. Si nos fijamos en los valores para Qmax, Qmin, Q50 y Q25 de dicho periodo, estas variables dan valores más altos que los referidos para el periodo anterior 1942-1948, pero similares a los valores de dichas variables para el periodo más amplio 1942-1972. Resumiendo, estos valores más altos correspondientes a los años previos a 1972 del periodo 1969-1975 modifican al alza el promedio de dichas variables del periodo 1942-1948 al quedar englobados en un único periodo más amplio. Para reflejar de una manera más acertada la tendencia en el tiempo de las variables hidrológicas según estos periodos breves, no se incluye el periodo 1969-1975 en el siguiente análisis, pues como ya se ha indicado incluye años anteriores y posteriores al funcionamiento de las grandes presas del estudio.

**Tabla 7. Resumen de valores promedio para variables hidrológicas en diferentes periodos analizados: 1942-1948, 1969-1975, 1976-1991 y 1992-2006 (Estación de aforo número 3051).**

Variable	1942-1948	1969-1975	1976-1991	1992-2006
Qmax	98,5	147,4	105,8	83,5
Qmed	10,2	10,6	6,9	6,7
Qmin	0,2	0,8	0,5	0,3
Q75	13,0	8,3	5,3	5,9
Q50	2,4	3,2	2,2	2,4
Q25	0,3	2,1	1,0	0,9
Nº crecidas	83,4	68,0	48,4	51,1

Teniendo como referencia el periodo 1942-1948, y comparando con los periodos 1976-1991 y 1992-2006 se puede indicar que mientras que los caudales Q50 se han mantenido más o menos estables en el tiempo, hay dos patrones diferentes para dos grupos de variables:

- 1) Los valores de caudales mínimos y caudales Q25 se han visto incrementados. Los caudales mínimos han sufrido una variación mayor en el primer periodo (0,2 m<sup>3</sup>/s → 0,5 m<sup>3</sup>/s), descendiendo en el segundo (0,5 m<sup>3</sup>/s → 0,3 m<sup>3</sup>/s) para terminar un 30,8% más elevado respecto del nivel de referencia. Los caudales Q25 han visto modificado su valor de una manera mucho más clara, con un marcado incremento sobre el periodo de referencia (0,3 m<sup>3</sup>/s → 1,0 m<sup>3</sup>/s → 0,9 m<sup>3</sup>/s), lo que significa un aumento del 182,5%.
- 2) Los valores de caudales medios y caudales Q75 han sufrido una marcada disminución, los segundos más que los primeros. Los caudales medios han descendido un 34,5% (10,2 m<sup>3</sup>/s → 6,9 m<sup>3</sup>/s → 6,7 m<sup>3</sup>/s) y los caudales Q75 han descendido un 54,8% (13,0 m<sup>3</sup>/s → 5,3 m<sup>3</sup>/s → 5,9 m<sup>3</sup>/s). El número de crecidas ha sufrido también un descenso importante (83,4 → 48,4 – 51,1).

Los valores para caudales máximos han tenido un comportamiento heterogéneo, con un ligero aumento en el periodo 1976-1991 (98,5 m<sup>3</sup>/s → 105 m<sup>3</sup>/s) y un descenso más marcado en el periodo 1992-2006 (105 m<sup>3</sup>/s → 83,5 m<sup>3</sup>/s), quedando finalmente un 15,2% respecto del nivel de referencia.

Los resultados están en consonancia con otras publicaciones. Las grandes presas, además de alterar los caudales de agua y reducir los picos de avenidas de inundación desde aguas arriba, pueden generar un patrón diferente del flujo tanto diario como anual. Otra característica de muchos ríos regulados es la repentina fluctuación de las descargas (Petts, 1984 en Brandt, 2000). La mayoría de presas altera los picos de inundación y la distribución estacional de los flujos, cambiando profundamente el carácter y funcionamiento de los ríos. Estos factores hacen que estos frágiles ecosistemas sean más adecuados para especies exóticas no adaptadas a marcados ciclos hidrológicos (Kondolf, 1997).

## 5.2 Respuesta geomorfológica

Se presenta en tabla adjunta un resumen de datos obtenidos en la zonificación del tramo -Tabla 8-, que se corresponden con las diferentes imágenes analizadas.

**Tabla 8. Matriz de datos de las imágenes para distintos años. Se divide en 2 bloques principales según la metodología de cálculo (“número de zonas” y “superficie de zonas”). Dentro de cada bloque, se ha diferenciado el cálculo de ZV según tipología de vegetación: zonas herbáceas (h), zonas leñosas (l) y total de zonas vegetadas. Siendo: ZI=zonas intermedias en proceso de estabilización, ZA=zonas activas, ZV=zonas vegetadas, ZT=total zonas, L=longitud del cauce, W=anchura del cauce activo. Unidades: superficie en ha, L en km, W en m.**

	Datos	1956	1975	1991	2006	2015
Según número	ZA	15	4	1	0	0
	ZI	10	20	11	4	0
	ZV (h)	16	29	13	16	16
	ZV (l)	20	42	45	28	36
	ZV	36	71	58	44	52
	ZT	61	95	70	48	52
Según superficie	ZA	33,63	7,45	0,51	0	0
	ZI	22,30	20,23	14,25	1,80	0
	ZV (h)	54,36	67,45	82,46	70,82	75,47
	ZV (l)	19,93	28,07	24,56	24,21	33,05
	ZV	74,29	95,52	107,02	95,03	108,52
	ZT	130,22	123,20	121,78	96,83	108,56
	L	2,384	2,291	2,281	2,361	2,358
	W	180,11	32,36	31,52	10,45	10,24

De 1956 a 1975, se observa un aumento importante en el número total de zonas. Sin embargo, tanto el número de zonas activas como su superficie han disminuido de manera importante -15 zonas activas en 1956 por 4 zonas activas en 1975; 33,63 ha en 1956 por 7,45 ha en 1975-. De manera contraria, el número zonas vegetadas se incrementa considerablemente. Las zonas estabilizadas con vegetación herbácea pasan de 16 a 28, con un cambio de superficie desde 54,36 ha hasta 65,09 ha. Las zonas estabilizadas con vegetación leñosa pasan de 20 a 43, con un cambio de superficie desde 19,93 ha hasta 28,06 ha. Si se atiende al número y superficie del total de zonas vegetadas –sumando zonas con vegetación herbácea y vegetación leñosa-, se produce un aumento desde 36 hasta 71 zonas vegetadas, con una superficie de 74,29 ha en 1956 y 93,15 ha en 1975.

De 1975 a 1991, se produce una disminución del número total de zonas. De la misma manera, las zonas activas vuelven a sufrir un descenso tanto en número como en superficie. En 1991, sólo queda una zona activa con una superficie de 0,51 ha. El número total de zonas vegetadas en 1991 se ha visto reducido, pasando de 71 a 59, si bien hay que hacer una distinción entre zonas con vegetación herbácea y zonas con vegetación leñosa, pues se han visto alteradas de manera distinta. Por un lado, las zonas con vegetación herbácea pasan de 28 a 14 con una marcada disminución, al contrario que las zonas con vegetación leñosa que aumentan levemente de 43 a 45. Si se analiza la superficie, sucede el proceso contrario. La superficie de vegetación herbácea sufre un incremento, pasando de 65,09 ha a 82,46 ha, y la superficie de vegetación leñosa se ve reducida de 28,06 ha a 24,56 ha. La superficie total de zonas con vegetación –bien sea herbácea, bien sea leñosa-, se incrementa de 93,15 ha en 1975 a 107,02 ha en 1991.

De 1991 a 2006, se mantiene la tendencia originada en el periodo anterior de descenso del número total de zonas, con una disminución hasta las 48 zonas en 2006 –por debajo del número original para la fecha de referencia-. En 2006, las zonas activas han desaparecido. El número de zonas estabilizadas con vegetación herbácea para dicho periodo aumenta ligeramente, de 14 en 1991 a 16 en 2006. Sin embargo, la superficie ocupada por dichas zonas disminuye de 82,46 ha hasta 70,82 ha. El número de zonas estabilizadas con vegetación leñosa disminuye de una forma importante, con 45 zonas en 1991 y bajando hasta 28 zonas en 2006. Sin embargo, su superficie ocupada se mantiene muy similar –baja muy ligeramente de 24,56 ha a 24,21 ha-. Si sumamos ambos tipos de zonas vegetadas, el número total ha disminuido de 59 a 44, con una superficie también en disminución desde 107,02 ha hasta 95,03 ha.

De 2006 a 2015, el número total de zonas se mantiene muy similar, con un pequeño aumento. Las zonas activas se mantienen desaparecidas desde 2006. El número total de zonas vegetadas ha aumentado ligeramente –de 44 a 50-, así como su superficie –de 95,03 ha a 101,56 ha-. Según el tipo de vegetación, las zonas herbáceas se han incrementado muy ligeramente de 16 a 17 y las zonas leñosas se han incrementado también en mayor proporción de 28 a 33. La superficie de las zonas herbáceas se ha mantenido más o menos estable este periodo –con un ligerísimo descenso desde 70,82 ha a 69,40 ha- y la superficie de las zonas leñosas ha sufrido un incremento desde 24,21 ha a 32,16 ha.

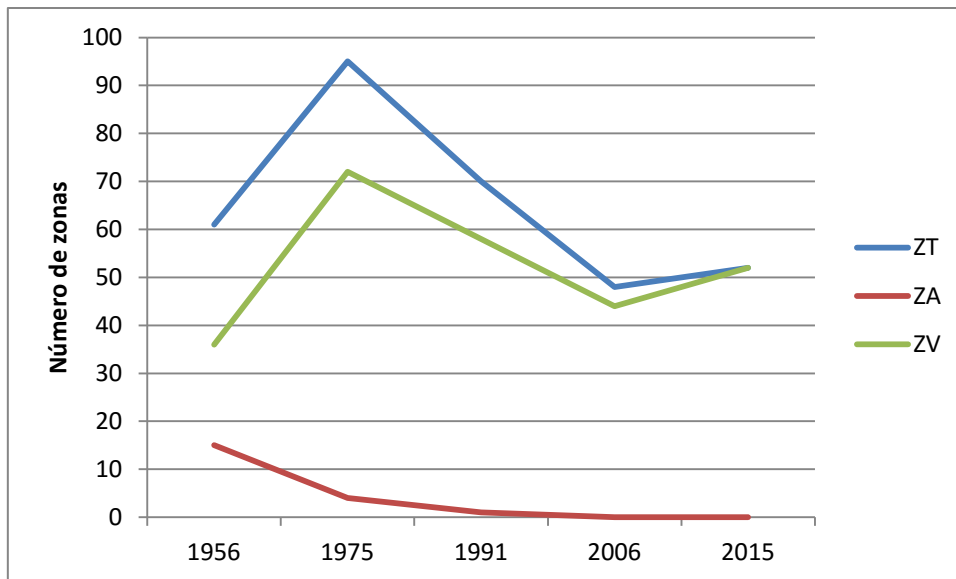


Figura 12. Evolución de zonas totales (ZT), zonas activas (ZA) y zonas vegetadas (ZV) según cálculo por número de zonas.

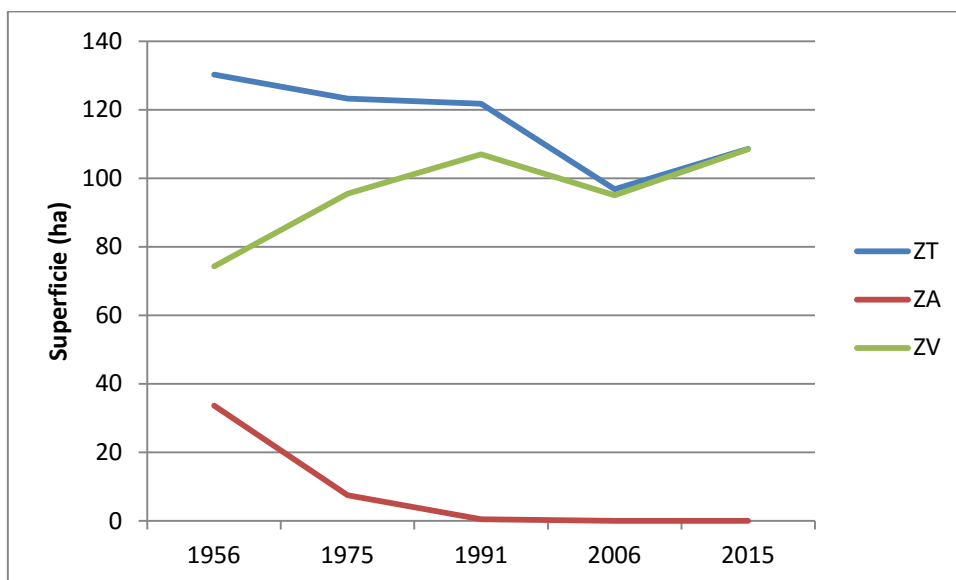


Figura 13. Evolución de zonas totales (ZT), zonas activas (ZA) y zonas vegetadas (ZV) según cálculo por superficie de zonas.

Se puede observar diferencias importantes en los datos obtenidos para el total de zonas –ZT- y las zonas vegetadas –ZV- según se calcule mediante número o superficie de zonas -Figura 12 y Figura 13-. Aunque no son comparables los valores en ambas figuras debido a la diferencia de unidades, se muestran diferentes tendencias entre años. Como ejemplos, la variable ZT en el primer periodo, muestra una tendencia ascendente según número de zonas y descendente según superficie de zonas, y la variable ZV en el segundo periodo, muestra una tendencia descendente y ascendente respectivamente. Por otro lado, las zonas activas –ZA- muestran un comportamiento muy parecido en ambos métodos de cálculo -Figura 12 y Figura 13-.



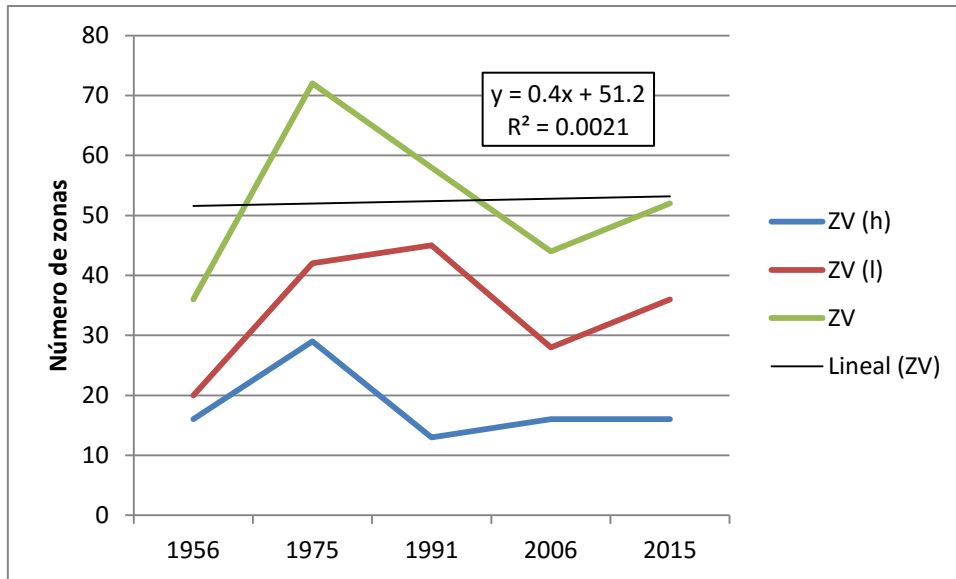


Figura 14. Evolución de zonas vegetadas herbáceas (ZV h), zonas vegetadas leñosas (ZV l) y zonas totales vegetadas (ZV) según cálculo por número de zonas.

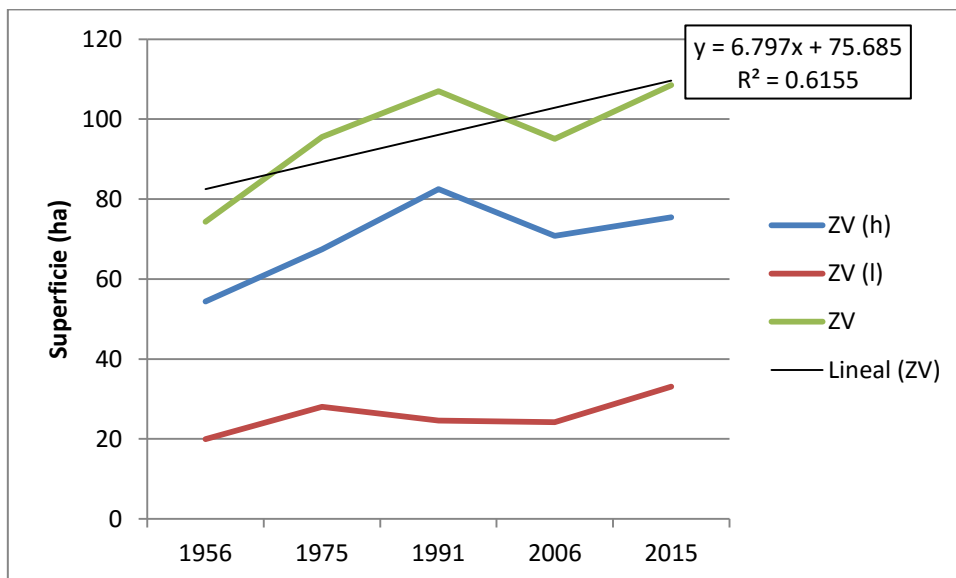


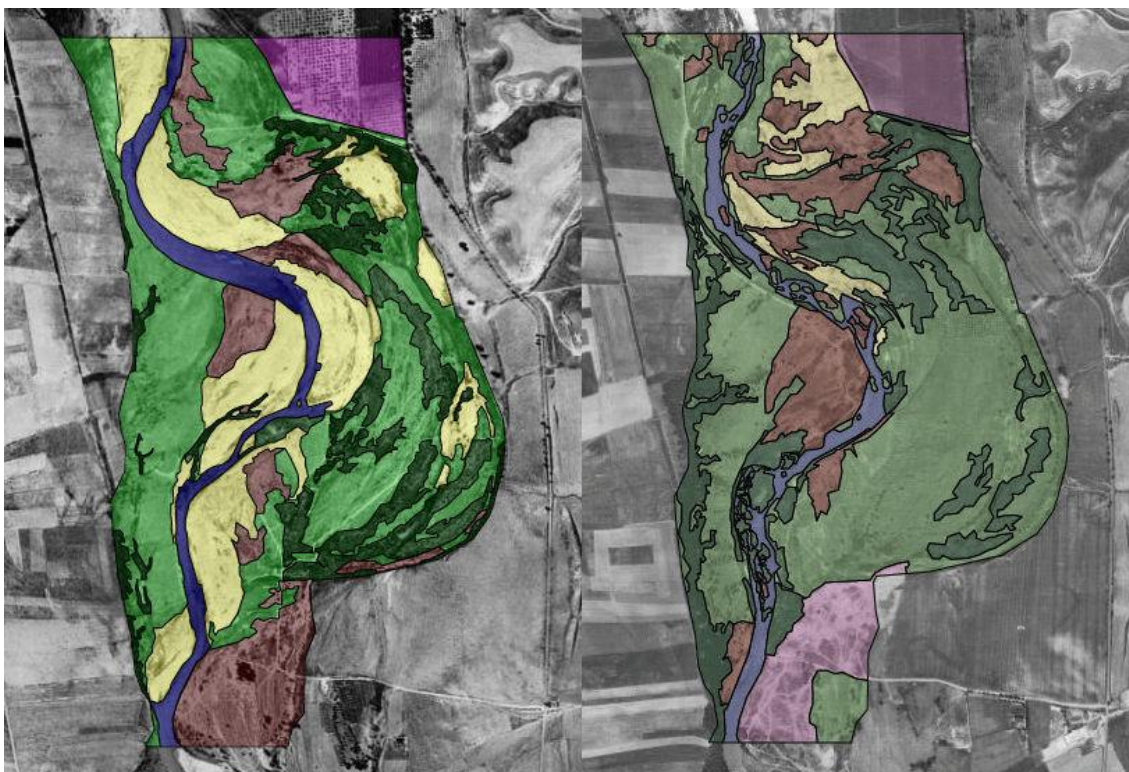
Figura 15. Evolución de zonas vegetadas herbáceas (ZV h), zonas vegetadas leñosas (ZV l) y zonas totales vegetadas (ZV) según cálculo por superficie de zonas.

Con las zonas vegetadas según el tipo de vegetación hay diferencias de tendencia entre años -Figura 14 y Figura 15-. Como ejemplos, el dato ZV para vegetación herbácea en el segundo periodo resulta descendente según número de zonas y y ascendente según superficie de zonas, y el mismo dato para vegetación leñosa en el segundo periodo resulta ascendente y descendente respectivamente. Comparando por un mismo método, entre ambos tipos de vegetación hay discrepancias, como el segundo periodo según la cuantificación por superficie de zonas, donde la vegetación herbácea sufre un aumento en superficie y y la vegetación leñosa sufre una disminución. Debido a esta disparidad de comportamiento entre ambos tipos de vegetación y métodos de cálculo, resulta más

fiable la utilización de ambos tipos de vegetación de manera conjunta, cuantificando la variable mediante el método por superficie como se puede comprobar en las figuras, ofreciendo dicha variable por superficie un comportamiento más monótono y estable, con una línea de tendencia mejor ajustada y con un factor de correlación 0,6155.

A continuación, se procede al **análisis comparativo** de las imágenes zonificadas:

1956-1975



**Ilustración 6. Composición de imágenes zonificadas para los años 1956-1975.**

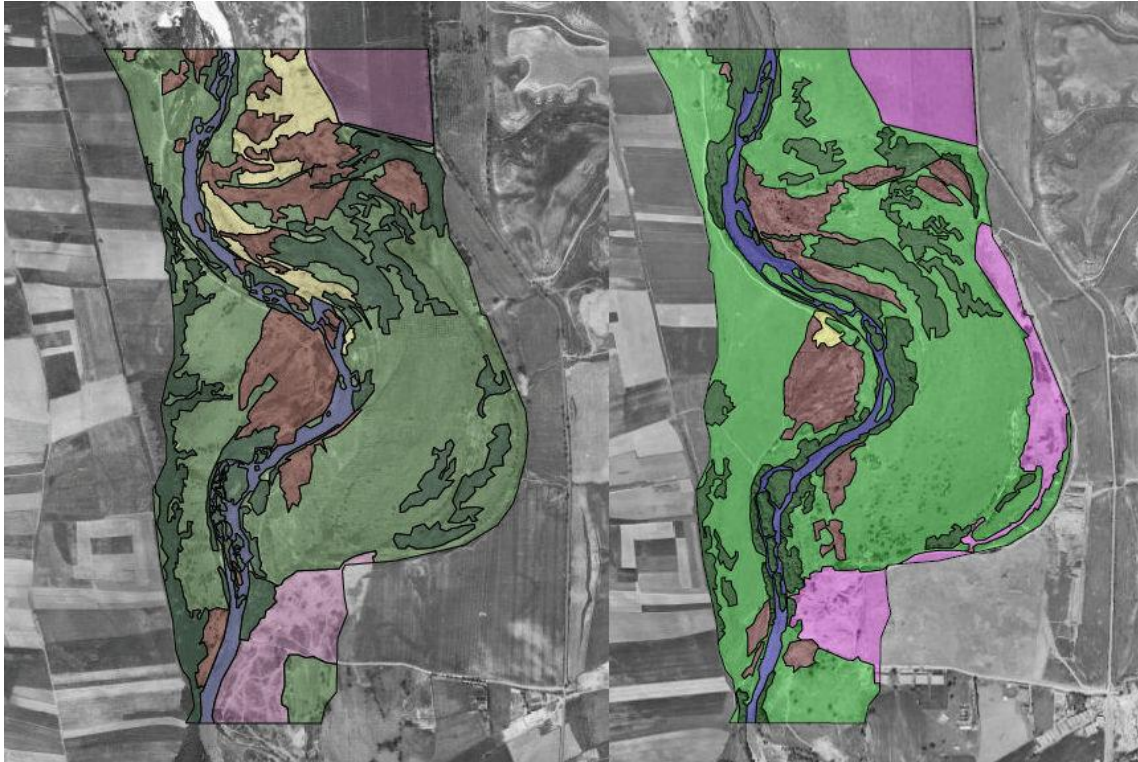
**A la izquierda, imagen del año 1956. A la derecha, imagen del año 1975. Siendo: Azul – cauce, Amarillo – zona activa, Rojo – zona en proceso de estabilización, Verde claro - zona de vegetación herbácea, Verde oscuro – zona de vegetación leñosa, Morado – zona de carácter antrópico.**

El número total de zonas se incrementa considerablemente durante este periodo, como resultado de la respuesta geomorfológica a los factores de presión sobre el sistema, pasando de 61 a 95 zonas heterogéneas contabilizadas. Sin embargo, la superficie total disminuye -130,22 a 123,20 ha- debido a la extensión de zonas antrópicas, que no se incluyen en la matriz de datos para el cálculo de índices. Estos cambios muestran una importante reducción de zonas activas, así como su superficie, al tiempo que se incrementan las zonas con procesos de estabilización y expansión de la vegetación. La estabilización por vegetación se observa con importancia en la zona de ribera, pasando de un tramo con un cauce prácticamente sin vegetación en sus márgenes a la aparición de zonas de ribera claramente vegetadas. Asimismo, se observa la aparición de islas

internas de sedimentación dentro del cauce, cuyo trazado queda modificado durante este periodo temporal. El número de zonas vegetadas así como su superficie han aumentado durante este periodo, tanto las zonas con vegetación herbácea como leñosa. La zona con carácter antrópico de la parte superior del tramo sufre un cambio de uso, pasando de chopera a cultivo agrícola. Además, aparece otra zona manejada por el hombre en la parte inferior del tramo, donde se observa una explotación extractiva de áridos.

En adelante, los índices de comparación se indican con un formato de dos valores, correspondiendo el primer valor al índice mediante número de zonas y el segundo valor al índice mediante superficie de zonas. El índice Sedimentary Units (SU) resulta 1,60 y 0,98. El valor de 1,60 –siendo mayor que 1- indica un incremento en el número de unidades sedimentarias. La utilización de la variable superficie no resulta apropiada puesto que la superficie contabilizada comprende el total de superficie del tramo en ambas imágenes, por lo que teóricamente no existirían cambios ( $SU = 1$ ). En este caso, la modificación del valor se corresponde con la pérdida de superficie total contabilizada debido al cambio de uso antrópico de una determinada superficie, que no refleja el objetivo del índice. El índice Sediment Availability (SA) toma los valores 0,84 y 0,84, indicando una disminución en la disponibilidad de sedimentos (para valores menores que 1). El índice Bar Stability (BS) toma los siguientes valores: 0,97 y 0,92 para vegetación herbácea; 0,92 y 0,94 para vegetación leñosa; 0,91 y 0,88 para la suma de ambos tipos de vegetación. En todos los casos, al ser valores menores que 1, indican un incremento del número/superficie de zonas vegetadas. Finalmente, el índice Channel Flow (CF) arroja un valor de 0,18. Aquí sólo se indica un único valor, pues se relaciona la anchura del cauce activo entre ambas imágenes. Un valor tan bajo del índice CF indica una reducción muy importante de la anchura del cauce activo.

**1975-1991**



**Ilustración 7. Composición de imágenes zonificadas para los años 1975-1991. A la izquierda, imagen del año 1975. A la derecha, imagen del año 1991. Siendo: Azul – cauce, Amarillo – zona activa, Rojo – zona en proceso de estabilización, Verde claro - zona de vegetación herbácea, Verde oscuro – zona de vegetación leñosa, Morado – zona de carácter antrópico.**

El número total de zonas se reduce, de 95 a 70 zonas diferenciadas. Esto se traduce en una práctica desaparición de las barras activas –sólo queda una barra activa al final del periodo- y una progresiva estabilización de diversas zonas mediante el asentamiento de vegetación. Dichas zonas vegetadas, sufren cambios en número con una disminución para las zonas herbáceas -29 a 13- y un aumento para las zonas leñosas -42 a 45-. Sin embargo, la superficie muestra datos distintos para ambas zonas -67,45 a 82,46 ha para zonas herbáceas y 28,07 a 24,56 ha para zonas leñosas-. La vegetación de ribera se encuentra en continua expansión, al contrario que algunos núcleos de vegetación leñosa en la llanura de inundación que se han visto afectados por la actividad del hombre. La zona de carácter antrópico de la parte inferior sufre una reducción de tamaño en superficie, aunque aparece una nueva zona en la parte media derecha del tramo ocupando una superficie importante. Por otro lado, se observa una modificación de la morfología del cauce, con tendencia al estrechamiento y aparición de canales.

El índice SU se reduce hasta 1,14, bajando notablemente respecto de 1975 debido a la pérdida de unidades sedimentarias. Este resultado indica una importante homogeneización de zonas en el periodo 1975-1991, debido a la estabilización mediante



vegetación como se ha indicado anteriormente. El índice SA tiene valores de 0,81 y 0,80, inferiores a los obtenidos para 1975 puesto que se han reducido número y superficie de zonas activas. El índice BS ha obtenido los siguientes valores: 1,06 y 0,85 para zonas herbáceas; 0,81 y 0,96 para zonas leñosas; 0,87 y 0,84 para el total de zonas vegetadas. Se realizan los siguientes comentarios para el índice BS respecto de 1975: 1) El índice para zonas herbáceas según número de zonas aumenta de 0,97 a 1,06, lo que indicaría un aumento de la actividad geomorfológica; 2) El índice para zonas herbáceas según superficie de zonas disminuye de 0,92 a 0,85, lo que indicaría una disminución de la actividad geomorfológica; 3) El índice para zonas leñosas según número de zonas disminuye de 0,92 a 0,81, lo que indicaría una disminución de la actividad geomorfológica; 4) El índice para zonas leñosas según superficie de zonas aumenta de 0,94 a 0,96, lo que indicaría un aumento de la actividad geomorfológica. Estos contrastes entre índices Los índices para el total de zonas vegetadas disminuyen en ambos casos. Finalmente, el índice CF se mantiene en 0,18.

#### 1991-2006



**Ilustración 8. Composición de imágenes zonificadas para los años 1991-2006.**

**A la izquierda, imagen del año 1991. A la derecha, imagen del año 2006. Siendo: Azul – cauce, Amarillo – zona activa, Rojo – zona en proceso de estabilización, Verde claro - zona de vegetación herbácea, Verde oscuro – zona de vegetación leñosa, Morado – zona de carácter antrópico.**

El número total de zonas sigue disminuyendo, pasando de 70 a 48. En este periodo, se observa una importante disminución de la superficie total no antropizada, debido al

incremento de zonas manejadas por el hombre. La zona superior del tramo destinada a cultivo agrícola sufre una ampliación de superficie, así como las zonas dedicadas a actividades extractivas. Además, se ha producido una ampliación de infraestructuras del aeropuerto de Madrid, ocupando superficie en la parte inferior izquierda del tramo. También se ha construido una autovía que cruza por la parte superior del tramo. El cauce ha sufrido un importante estrechamiento y una pérdida de canales por expansión y estabilización de las barras internas. Las zonas activas han desaparecido de manera definitiva, y las zonas en proceso de estabilización han sufrido una disminución importante, quedando finalmente estabilizadas mediante vegetación. El número de zonas herbáceas aumenta, aunque disminuye su superficie. El número de zonas leñosas disminuye de manera importante, aunque muy ligeramente su superficie. La disminución importante de superficie estabilizada se debe al aumento de ocupación por actividades antrópicas.

El índice SU se queda en un valor de 0,79, bajando del valor de referencia 1. Esto indica una disminución de unidades sedimentarias hacia una situación de estabilidad. El índice SA toma valores de 0,80 y 0,79, algo inferiores que en el anterior periodo puesto que se ha reducido tanto número como superficie de zonas activas hasta la desaparición. El índice BS queda de la siguiente manera: 0,95 y 0,82 para zonas de vegetación herbácea; 0,84 y 0,92 para zonas de vegetación leñosa; 0,83 y 0,79 para la totalidad de zonas vegetadas. Comparativamente respecto de los índices BS obtenidos para 1991 puede decirse: 1) El índice para vegetación herbácea ha disminuido tanto si se calcula por número o superficie de zonas; 2) El índice para vegetación leñosa ha aumentado si se calcula según número de zonas y disminuido según superficie; 3) El índice para la suma de zonas vegetadas ha disminuido para ambos métodos de cálculo. El índice CF ha disminuido a 0,06, debido al estrechamiento del cauce activo, lo que indica una disminución de actividad geomorfológica.

**2006-2015**



**Ilustración 9. Composición de imágenes zonificadas para los años 2006-2015.**  
**A la izquierda, imagen del año 2006. A la derecha, imagen del año 2015. Siendo: Azul – cauce, Amarillo – zona activa, Rojo – zona en proceso de estabilización, Verde claro - zona de vegetación herbácea, Verde oscuro – zona de vegetación leñosa, Morado – zona de carácter antrópico.**

El número total de zonas aumenta ligeramente hasta 52, así como la superficie contabilizada debido al retroceso sufrido por alguna zona de carácter antrópico. Se observa claramente una reducción de la zona extractiva derecha, quedando parte de su extensión anterior estabilizada por la vegetación. Las zonas activas se mantienen desaparecidas desde el anterior periodo. Las escasas zonas en proceso de estabilización anteriores han desaparecido también, quedando como zonas estabilizadas. De esta manera, se ha producido una expansión de la vegetación tanto en la zona de ribera como en la llanura de inundación. Por un lado, el número de zonas herbáceas se mantiene, aunque aumenta su superficie. Por otro lado, tanto el número de zonas leñosas como su superficie se han incrementado. Como consecuencia, el número y superficie de la totalidad de zonas vegetadas ha aumentado respecto del último periodo. El cauce mantiene la morfología de la imagen de 2006.

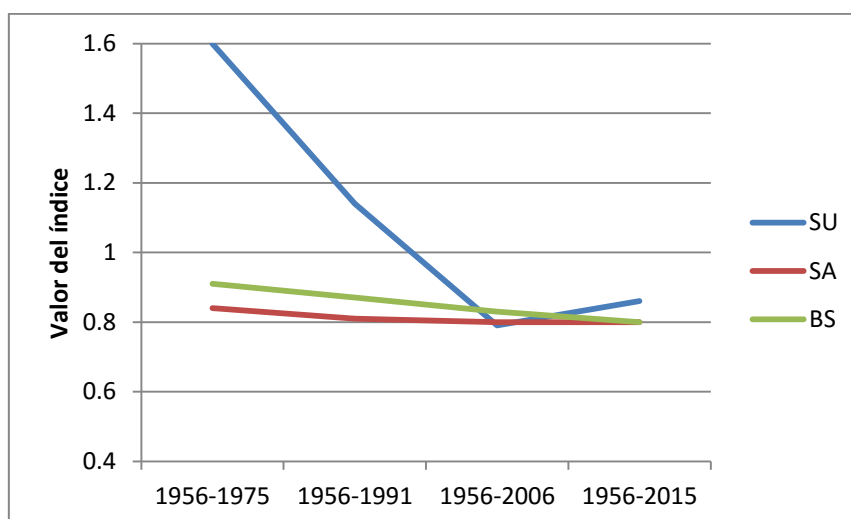
El índice SU que se obtiene para los datos de 2015 respecto de 1956 es 0,86. El índice SA se mantiene en los valores 0,80 y 0,79. El índice BS ha obtenido los siguientes valores: 0,97 y 0,84 para zonas de vegetación herbácea; 0,78 y 0,88 para zonas de vegetación leñosa; 0,80 y 0,79 para la suma de zonas vegetadas. Si comparamos estos valores con los correspondientes a 2006 se observa lo siguiente: 1) El índice para

vegetación herbácea ha aumentado tanto calculado por número de zonas como por superficie; 2) El índice para vegetación leñosa ha disminuido igualmente en ambos modos; 3) El índice total de zonas vegetadas ha disminuido según el número de zonas y se ha mantenido estable según la superficie. El índice CF se ha mantenido con el mismo valor obtenido para 2006.

Los resultados para los índices se incluyen en tablas adjuntas -Tabla 9 y Tabla 10-.

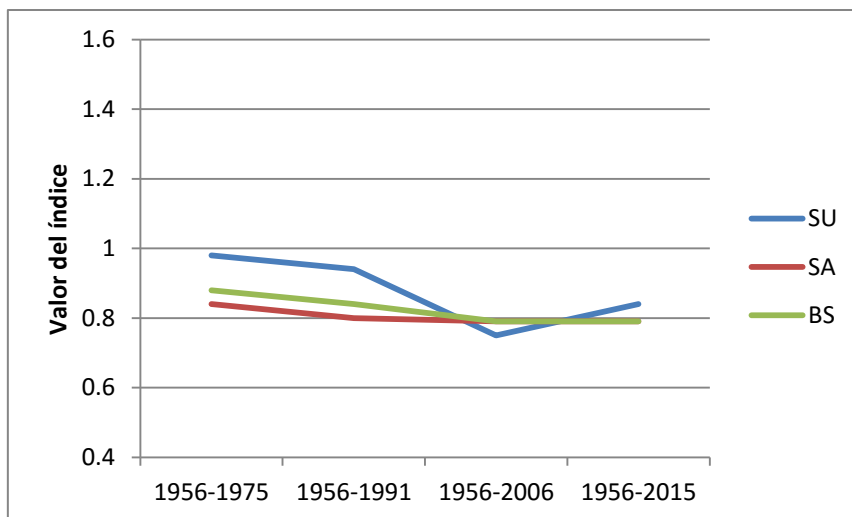
**Tabla 9. Matriz de índices de comparación para distintos años respecto de 1956. Se divide en 2 bloques principales según la metodología de cálculo (“número de zonas” y “superficie de zonas”). Dentro de cada bloque, se ha diferenciado el cálculo de BS según tipología de vegetación: zonas herbáceas (h), zonas leñosas (l) y total de zonas vegetadas. Siendo: SU=Unidades sedimentarias, SA=Disponibilidad de sedimentos, BS=Estabilidad de barras, CF=Capacidad de flujo del cauce.**

	Índices	1956-1975	1956-1991	1956-2006	1956-2015
Según número	SU	1,60	1,14	0,79	0,86
	SA	0,84	0,81	0,80	0,80
	BS (h)	0,97	1,06	0,95	0,97
	BS (l)	0,92	0,81	0,84	0,78
	BS	0,91	0,87	0,83	0,80
Según superficie	SU	0,98	0,94	0,75	0,84
	SA	0,84	0,80	0,79	0,79
	BS (h)	0,92	0,85	0,82	0,84
	BS (l)	0,94	0,96	0,92	0,88
	BS	0,88	0,84	0,79	0,79
	CF	0,18	0,18	0,06	0,06



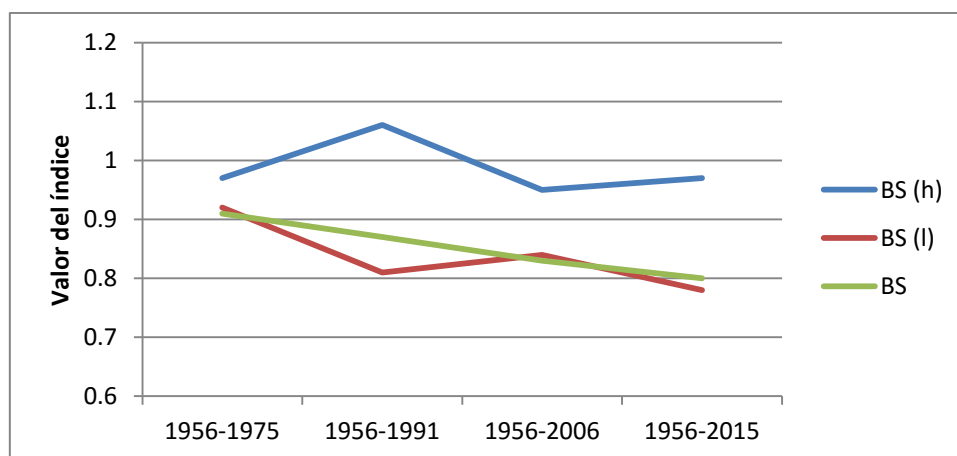
**Figura 16. Evolución de los índices SU –Unidades sedimentarias-, SA –Disponibilidad de sedimentos- y BS –Estabilidad de barras- según cálculo por número de zonas.**



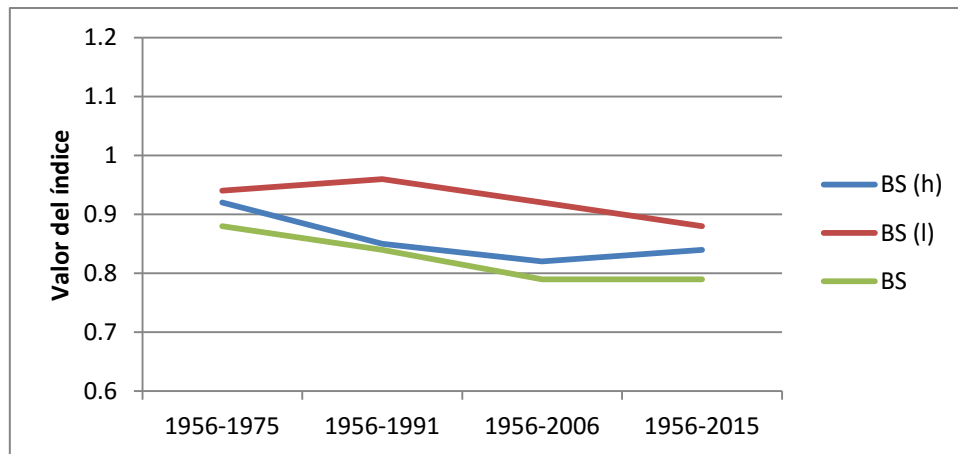


**Figura 17. Evolución de los índices SU –Unidades sedimentarias-, SA –Disponibilidad de sedimentos- y BS –Estabilidad de barras- según cálculo por superficie de zonas.**

Comparando la evolución de los índices -Figura 16 y Figura 17-, se puede observar que ambos métodos de cálculo -cuantificación por número de zonas y cuantificación por superficie de zonas- arrojan unos resultados para los índices SA y BS muy parecidos, con una tendencia igualmente muy parecida. El índice SA comienza con un valor de 0,84 para ambos métodos y termina con valores de 0,80 y 0,79 para el cálculo por número y superficie de zonas respectivamente. El índice BS total comienza con valores de 0,91 y 0,88 y termina con valores de 0,80 y 0,79 respectivamente. Sin embargo, el índice SU tiene unos valores significativamente diferentes entre ambos métodos de cálculo, comenzando en 1,60 y 0,98 y terminando en 0,86 y 0,84 respectivamente. Como ya se ha indicado anteriormente, el índice SU no admite de manera conceptual su cálculo por superficie, pues al comparar el total de superficie nunca será posible que supere el valor 1, perdiendo el sentido para el cual ha sido desarrollado.



**Figura 18. Evolución del índice BS –Estabilidad de barras- con vegetación herbácea, vegetación leñosa y vegetación total según cálculo por número de zonas.**



**Figura 19. Evolución del índice BS –Estabilidad de barras- con vegetación herbácea, vegetación leñosa y vegetación total según cálculo por superficie de zonas.**

Si observamos el índice BS de manera más detallada, con sus diferentes variantes - mediante vegetación herbácea, leñosa o total-, podemos observar variaciones entre los índices obtenidos por número y por superficie de zonas para la vegetación herbácea y leñosa. Dichas variaciones se reflejan tanto en los valores como la curva obtenida en el tiempo. El índice BS para vegetación herbácea comienza en 0,97 y 0,92 y termina en 0,97 y 0,84 según cálculo por número o superficie de zonas respectivamente. El índice BS para vegetación leñosa comienza en 0,92 y 0,94 y termina en 0,78 y 0,88 respectivamente. Como ya se ha indicado respecto de las variables de vegetación, ahora los índices correspondientes también muestran un comportamiento diferente, tanto si se comparan entre tipo de vegetación como entre método de cálculo. Por este motivo, resulta más fiable el índice total de vegetación cuantificado por superficie, como se ha explicado para las variables.

**Tabla 10. Matriz del índice Geomorphic Status -resultado de sumar los 4 índices de comparación- para distintos años respecto de 1956. Se divide en 2 bloques principales según la metodología de cálculo (“número de zonas” y “superficie de zonas”). Dentro de cada bloque, se ha diferenciado según tipología de vegetación: zonas herbáceas (h), zonas leñosas (l) y total de zonas vegetadas.**

	GS	1956-1975	1956-1991	1956-2006	1956-2015
Según número	Con h	3,59	3,19	2,60	2,69
	Con l	3,54	2,94	2,49	2,50
	Con h+l	3,53	3,00	2,48	2,52
Según superficie	Con h	2,92	2,77	2,42	2,53
	Con l	2,94	2,88	2,52	2,57
	Con h+l	2,88	2,76	2,39	2,48

Los índices finales Geomorphic Status han indicado en todo momento una disminución en la actividad geomorfológica, con valores inferiores a 4 en todas sus variantes y para

todos los años de comparación –se recuerda que valores  $>4$  significan un incremento de actividad geomorfológica y valores  $<4$  significan una reducción de dicha actividad-. Si nos centramos en los valores para el año 2015 –siempre en relación con el referente 1956-, los valores del índice oscilan en un intervalo desde 2,48 hasta 2,69. Para periodos anteriores hay mayores diferencias entre valores obtenidos según cada método de cálculo, debido al índice de cambios en unidades sedimentarias –SU-, que arroja valores sensiblemente diferentes en los dos primeros periodos como consecuencia de un incremento de heterogeneidad de zonas iniciales. La significación de cada índice indica: 1) índice SU: disminución de unidades sedimentarias; 2) índice SA: disminución en la disponibilidad de sedimentos; 3) BS: aumento de cobertura vegetal; 4) CF: disminución en la capacidad de flujo del cauce.

Para un cálculo más ajustado de GS, se indican las siguientes observaciones: 1) El índice SU sólo tiene sentido calcularlo utilizando el número de zonas totales y no la superficie, pues partiendo de una superficie definida y fija nunca se puede producir un incremento por encima de esa superficie y por tanto el índice nunca puede tener un valor superior a 1; 2) El índice BS ha tenido resultados contrapuestos según el método de cuantificación y según la tipología de vegetación en algunos casos, resultando más fiable su medición por superficie de zonas vegetadas que por número de zonas vegetadas y computando ambos tipos de vegetación –herbácea más leñosa-; 3) El índice SA ha resultado indistinto de una manera u otra en este trabajo, aunque por semejanza con el índice BS resultaría recomendable calcularlo mediante superficie igualmente.

A continuación, un breve **análisis sobre la vegetación** en la actualidad. La vegetación de ribera ha experimentado un notable desarrollo durante las últimas décadas, como consecuencia de la reducción de caudales y avenidas de inundación -ilustración 10-, ampliando su superficie desde 74,29 ha en 1956 hasta 108,52 ha en 2015.

Las diferentes formaciones riparias están estructuradas según bandas de vegetación, donde la distancia al cauce juega un papel fundamental. Esta distancia al cauce determina: 1) El grado de humedad del suelo; 2) La probabilidad de inundaciones como fuente de perturbación. Este gradiente condiciona una variedad de condiciones ecológicas, que posibilita el desarrollo de aquellas formaciones mejor adaptadas.



**Ilustración 10. Representación del desarrollo de vegetación leñosa del tramo durante 1956-2015. A la izquierda, imagen de 1956. A la derecha, imagen de 2015 (fuente: propia).**

La catena de formaciones vegetales para el tramo medio del Jarama forma tres bandas:

- La primera banda de vegetación está constituida por formaciones de alisedas acompañadas de saucedas blancas y mixtas arbustivas. Este grupo arbustivo de acompañamiento incluye *Salix purpurea*, *S. eleagnus* y *S. salviifolia*.
- La segunda banda se compone de choperas o alamedas de *Populus nigra* y *P. alba* -Ilustración 11-, así como fresnedas calcícolas, con etapas de sustitución de tarayales de *Tamarix gallica* -Ilustración 12-, con dosel arbustivo acompañante formado por majuelos (*Crataegus monogyna*), zarzamoras (*Rubus ulmifolius*), rosales silvestres (*Rosa sp.*) y algunas plantas trepadoras (*Bryonia dioica*, *Tamus communis*).
- La tercera banda está constituida por olmedas, aunque son muy escasas y alteradas. Los olmos requieren menos humedad pero suelos más profundos, ocupando la banda más alejada. En la zona de estudio esta banda de vegetación se encuentra ausente.





**Ilustración 11. Banda de vegetación compuesta por alameda de *Populus alba* (fuente: propia).**

La presencia del taray es indicadora de un estado de degradación de saucedas, choperas y olmedas. La alteración del régimen de caudales, la xericidad aparecida en la llanura de inundación y la deforestación provocada por la mano humana modifica las condiciones favoreciendo la aparición de esta especie. La presencia de taray en la llanura de inundación es abundante, indicando un notable estado de degradación.



**Ilustración 12. Llanura de inundación degradada con abundancia de *Tamarix gallica* (fuente: propia).**

Otras formaciones indicadoras del estado de degradación de la vegetación riparia están compuestas por juncos churreros (*Scirpus holoschoenus*), carrizos (*Phragmites communis*) y espadañas (*Thyfa spp.*), fácilmente observables en la zona -Ilustración 13-.



Ilustración 13. Formación de *Thyfa spp* junto a *Tamarix gallica* (fuente: propia).

### 5.3 Respuestas hidrológica y geomorfológica

Tras realizar una serie de regresiones lineales entre las variables hidrológicas y las variables morfológicas, se han obtenido algunas relaciones con buen ajuste estadístico.

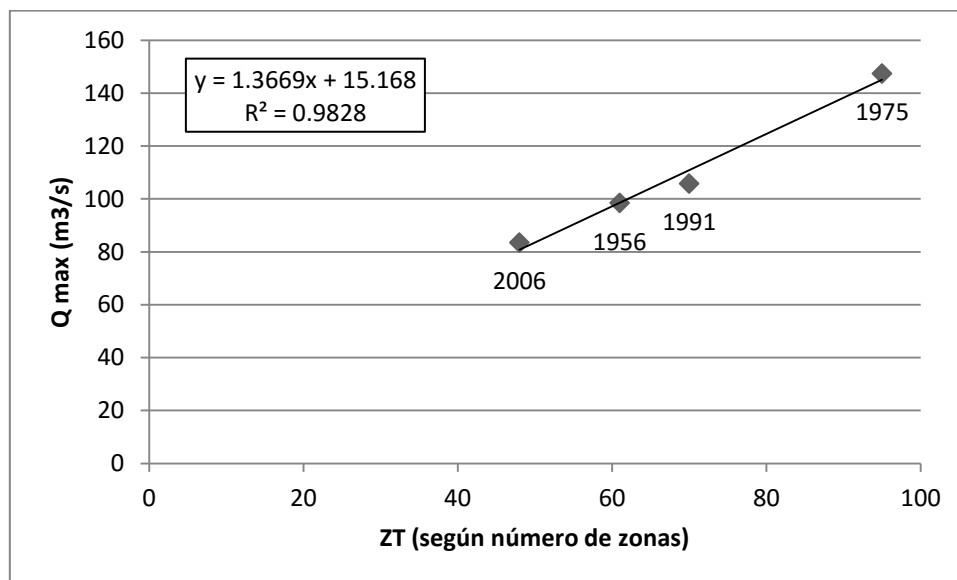


Figura 20. Ajuste lineal entre caudales máximos (promedios del periodo anterior) y número total de zonas en la imagen del año.

Los caudales máximos han obtenido muy buena regresión con el número total de zonas -Figura 20-, con un coeficiente de correlación igual a 0,9828. La correlación resulta directa: a mayor valor para un caudal máximo, mayor valor del número total de zonas.

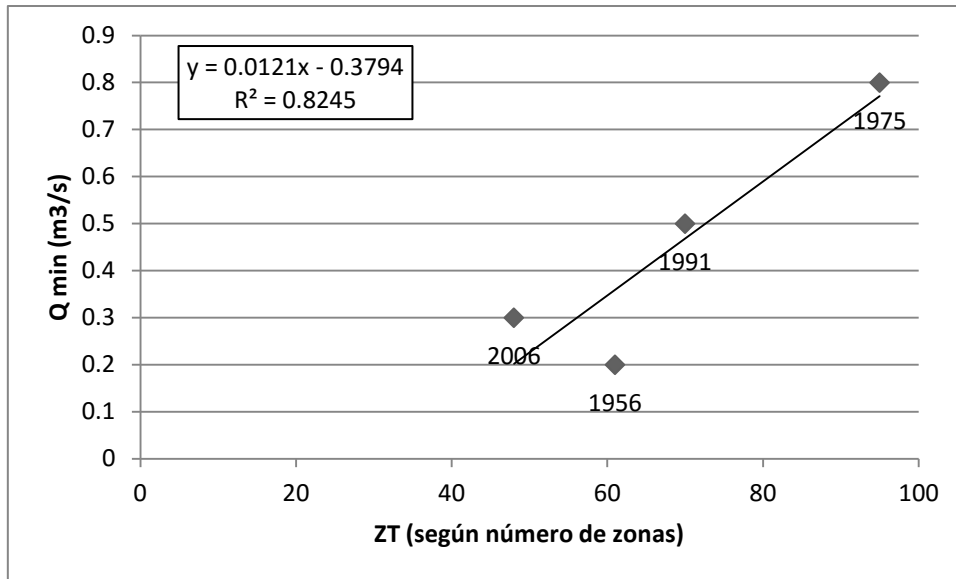


Figura 21. Ajuste lineal entre caudales mínimos (promedios del periodo anterior) y número total de zonas en la imagen del año.

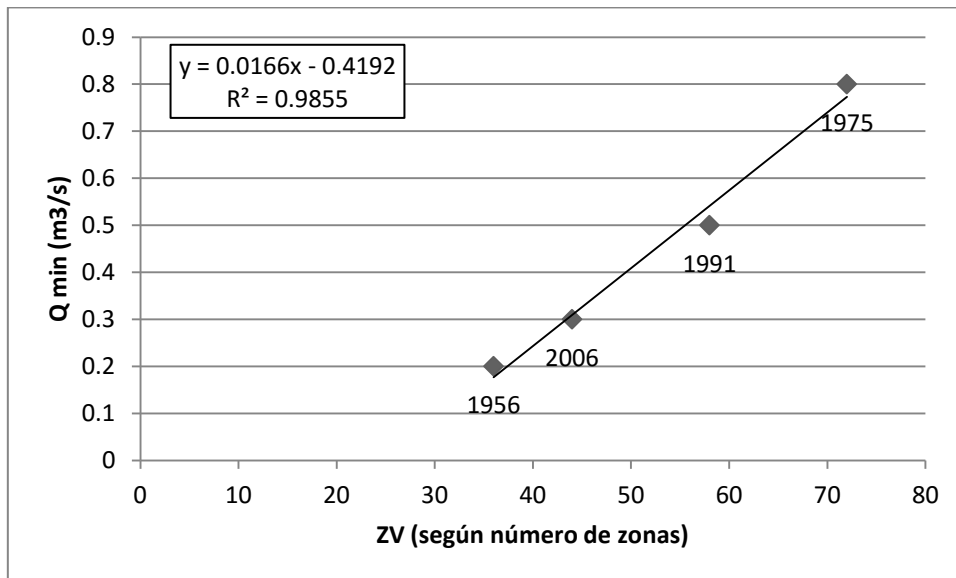


Figura 22. Ajuste lineal entre caudales mínimos (promedios del periodo anterior) y número total de zonas vegetadas en la imagen del año.

Los caudales mínimos han resultado correlacionados con el número total de zonas y el número total de zonas vegetadas -Figura 21 y Figura 22-, al igual que ha ocurrido con los caudales máximos. Sin embargo, en este caso el factor de correlación ha resultado más alto con el número total de zonas vegetadas que con el número total de zonas, con valores de 0,9855 y 0,8245 respectivamente. De igual manera que con los caudales máximos, la correlación ha resultado directa: si aumenta el valor de los caudales mínimos, aumenta el valor del número de zonas totales y zonas totales vegetadas.



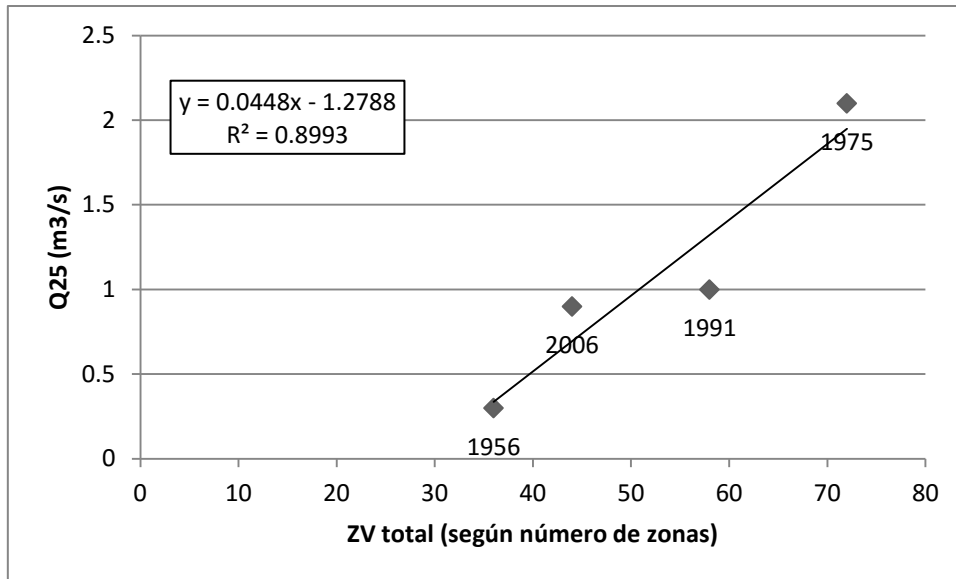


Figura 23. Ajuste lineal entre caudales Q25 (promedios del periodo anterior) y número total de zonas vegetadas en la imagen del año.

Los caudales Q25 han sido correlacionados con el número total de zonas vegetadas - Figura 23-, con un factor de correlación 0,8993. La relación ha sido directa, de manera que si aumentan los caudales Q25 se incrementa el número total de zonas vegetadas.

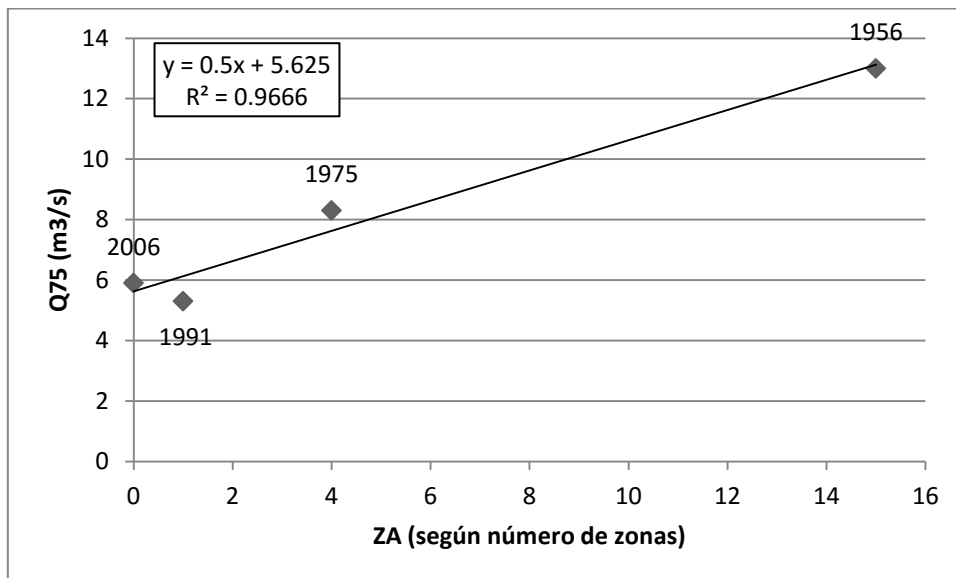


Figura 24. Ajuste lineal entre caudales Q75 (promedios del periodo anterior) y número de zonas activas en la imagen del año.



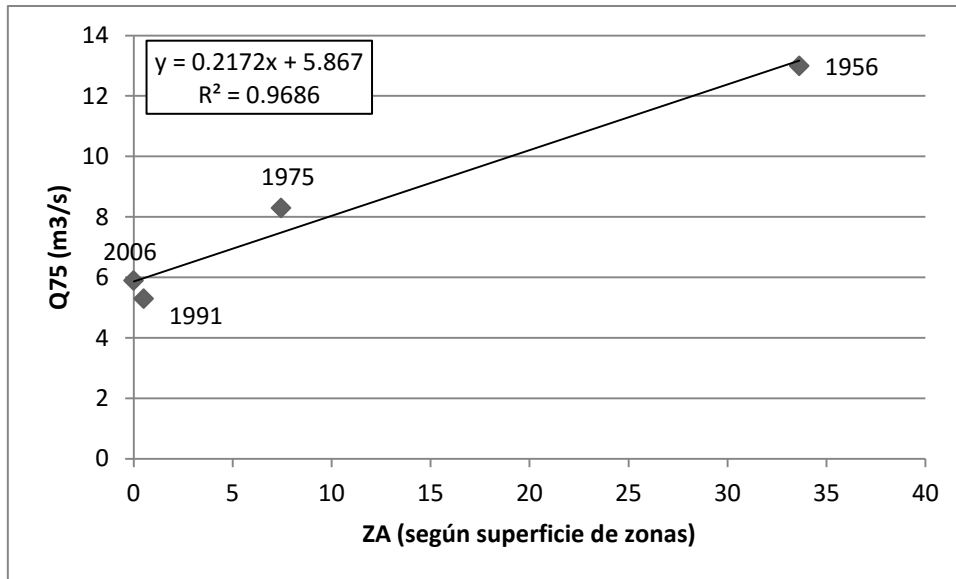


Figura 25. Ajuste lineal entre caudales Q75 (promedios del periodo anterior) y superficie de zonas activas en la imagen del año.

Se han obtenido tres correlaciones con los caudales correspondientes al percentil 75, dos en relación directa y una en relación inversa. Las correlaciones en relación directa han sido con el número y superficie de zonas activas -Figura 24 y Figura 25-, con coeficientes de correlación tomando valores de 0,9666 y 0,9686 respectivamente. De manera que, si disminuye el valor de Q75 también disminuye el valor para el número y superficie de zonas activas.

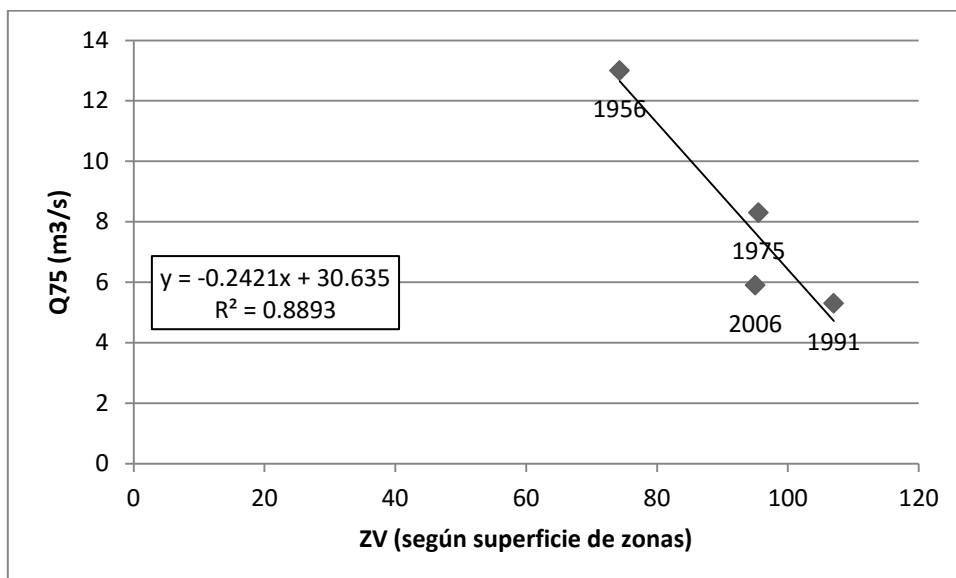


Figura 26. Ajuste lineal entre caudales Q75 (promedios del periodo anterior) y superficie total de zonas vegetadas en la imagen del año.

Por otro lado, la correlación en relación inversa ha sido con la superficie total de zonas vegetadas -Figura 26-, con coeficiente de correlación igual a 0,8893. La relación entre

estas dos variables nos indica que si disminuyen los caudales Q75 aumenta la superficie total vegetada.

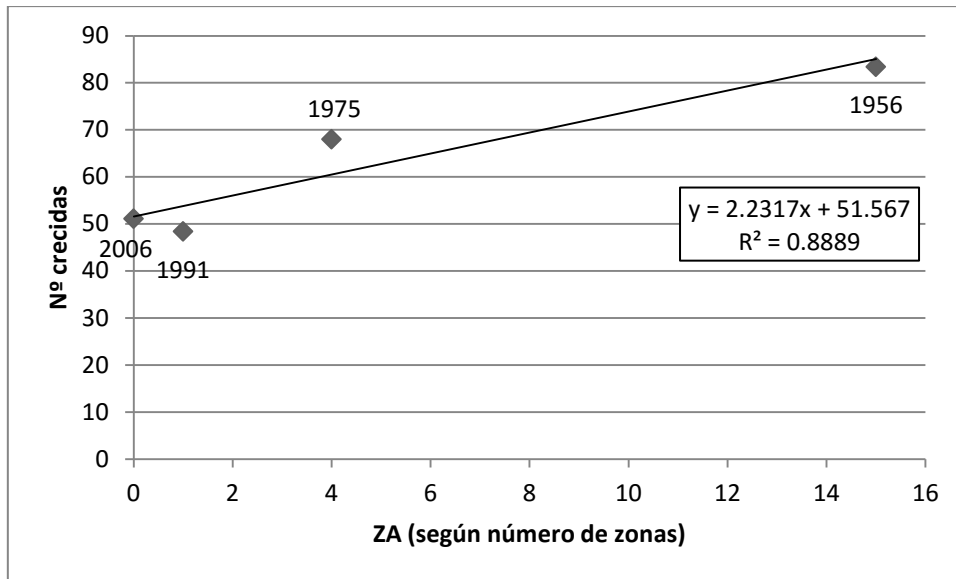


Figura 27. Ajuste lineal entre número de crecidas (promedios del periodo anterior) y número de zonas activas en la imagen del año.

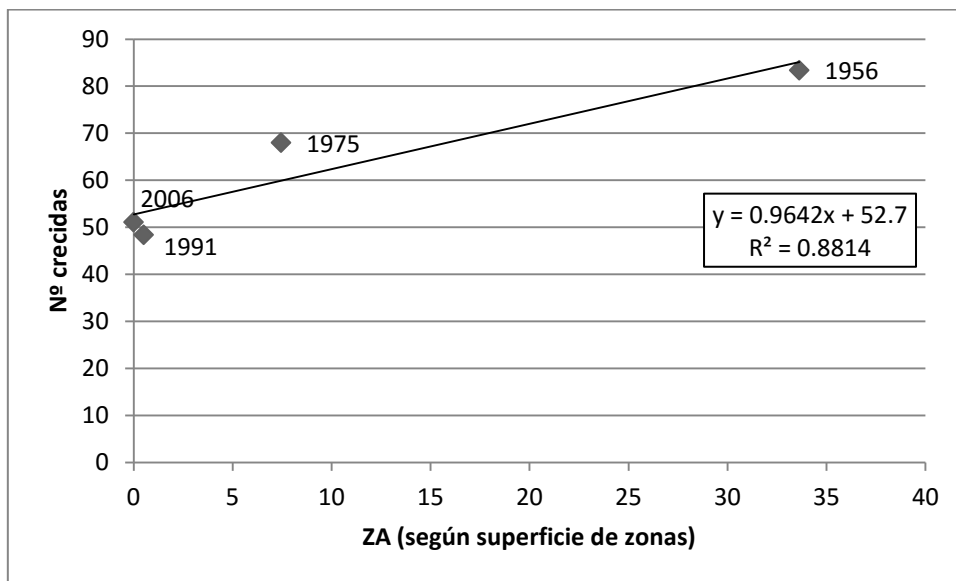


Figura 28. Ajuste lineal entre número de crecidas (promedios del periodo anterior) y superficie de zonas activas en la imagen del año.

El número de crecidas ha sido relacionado con tres variables, en relación directa con el número y superficie de zonas activas y en relación inversa con la superficie total de zonas vegetadas. La regresión entre número de crecidas y número y superficie de zonas activas -Figura 27 y Figura 28- ha obtenido factores de correlación 0,8889 y 0,8814 respectivamente. Como es una relación directa, la ecuación nos indica que una

disminución en el número de crecidas provoca una disminución en el número y superficie de zonas activas.

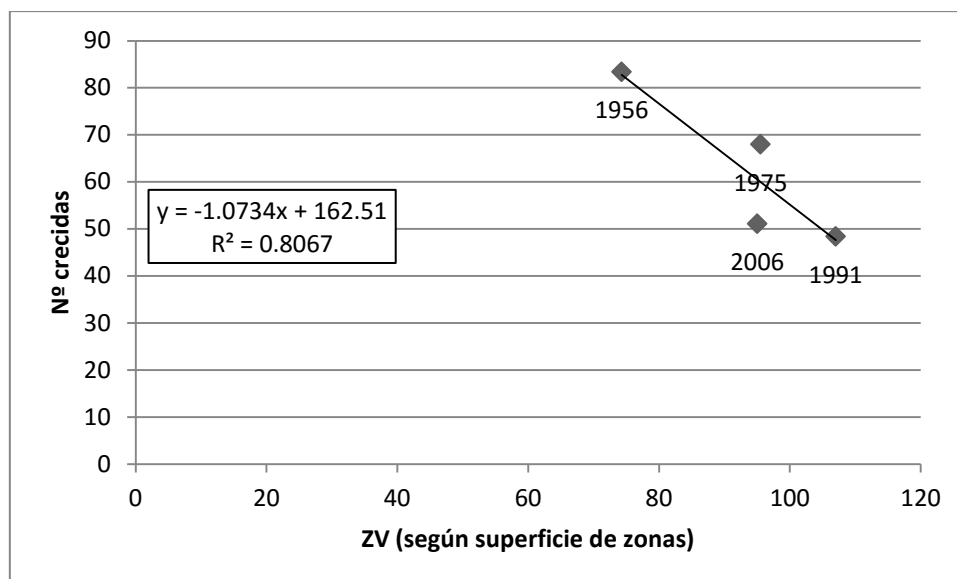


Figura 29. Ajuste lineal entre número de crecidas (promedios del periodo anterior) y superficie total de zonas vegetadas en la imagen del año.

Finalmente, la regresión entre número de crecidas y superficie total vegetada -Figura 29- ha obtenido un factor de correlación 0,8067. Como se ha indicado anteriormente, la relación entre variables es inversa. De manera que, si disminuye el número de crecidas se produce un incremento en la superficie total vegetada.

## 6. Conclusiones

-El análisis hidrológico ha mostrado una reducción importante de caudales tras la puesta en funcionamiento de las grandes presas. Esta reducción ha sido patente en aquellas variables integradas en el rango medio-alto de caudales: caudales máximos, caudales medios y caudales del percentil 75, así como el número de crecidas intranuales (menos marcada para caudales máximos y más acusada para caudales medios, número de crecidas y especialmente caudales Q75).

-La distribución diaria de caudales ha sido igualmente alterada entre los periodos anteriores y posteriores a los embalses. Los gráficos anuales de caudales diarios

muestran diferencias significativas entre curvas, observándose las principales diferencias en los meses de octubre-noviembre y marzo-mayo.

-Se han constatado diversos cambios geomorfológicos importantes durante las últimas décadas. Dichos cambios, claramente observables en la serie temporal de imágenes, consisten en un estrechamiento del cauce, una reducción paulatina de zonas geomorfológicamente activas hasta su desaparición y una colonización expansiva de la vegetación como agente estabilizador.

-Los indicadores de cambios geomorfológicos utilizados detectan una reducción significativa de actividad geomorfológica.

-Las variables involucradas en el cálculo de los diferentes índices han dado resultados diferentes según el método de cuantificación, siendo de mayor precisión los resultados obtenidos a través de las variables: número de zonas totales, superficie de zonas activas y superficie total de zonas vegetadas.

-Las regresiones lineales entre las variables hidrológicas y morfológicas han arrojado varias relaciones significativas con alto factor de correlación. Por un lado, los caudales máximos están directamente relacionados con el número total de zonas, los caudales mínimos están directamente relacionados con el número total de zonas y el número de zonas vegetadas y los caudales Q25 están directamente relacionados con el número de zonas vegetadas. Por otro lado, los caudales Q75 y el número de crecidas intranuales han sido relacionados positivamente con el número y la superficie de zonas activas, y negativamente con la superficie total de zonas vegetadas.

## **7. Bibliografía**

**Brandt, S.A.** 2000. *Classification of geomorphological effects downstream of dams*. Catena 40: 375-401.

**Kondolf, G.M.** 1997. *Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels*. Environmental Management vol. 21, 4: 533-551.

**Lobera, G; Besné, P.; Vericat, D.; López-Tarazón, J.A.; Tena, A.; Aristi, I.; Díez, J.R.; Ibisate, A.; Larrañaga, A.; Elozegi, A.; Batalla, R.J.** 2015. *Geomorphic status*

of regulated rivers in the Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment* 508: 101-114.

**Petts, G.E. & Gurnell, A.M.** 2005. *Dams and geomorphology: Research progress and future directions*. *Geomorphology* 71: 27-47.

**Schmidt, J.C. & Wilcock, P.R.** 2008. *Metrics for assessing the downstream effects of dams*. *Water Resources Research* 44: W04404.

**Vizcaíno, P.; Magdaleno, F.; Seves, A.; Merino, S.; González del Tánago, M.; García de Jalón, D.** 2003. *Los cambios geomorfológicos del río Jarama como base para su restauración*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. *Limnética* volumen 22, número 3-4: 1-7.

### Consultas on-line

[http://web.archive.org/web/20110704021300/http://www.chtajo.es/ventanas/f\\_ifpresae\\_mb.htm](http://web.archive.org/web/20110704021300/http://www.chtajo.es/ventanas/f_ifpresae_mb.htm) (Confederación Hidrográfica del Tajo. Tabla de presas y embalses).

<http://hijosdelavereda.blogspot.com.es/2011/04/el-pantano-de-el-vado.html> (Blog Hijos de La Vereda).

<http://www.paracuellosdejarama.es/servicios-municipales/medio-ambiente/flora-y-fauna> (Página web del Ayuntamiento de Paracuellos de Jarama).

<http://roble.pntic.mec.es/~mbedmar/iesao/ciencias/lavegetd.htm> (La ribera del Jarama y su medio ambiente en el tramo medio).

### Anexo 1

La siguiente tabla muestra las variables hidrológicas para la serie completa de datos:

	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1969	1970	1971
Max	133.5	72.0	33.6	151.3	195.0	97.0	7.0	408.8	158.4	160.3
Media	19.8	3.7	1.9	17.0	20.7	7.3	1.1	28.4	8.1	11.1
Min	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.4	0.2	2.8	0.0	1.0
P75	36.50	2.70	0.51	25.40	19.60	4.50	2.00	16.10	3.42	9.92
Mediana	2.7	0.43	0.29	0.6	10.5	1.44	1.02	7.9	1.92	3.3
P25	0.32	0.29	0.21	0.21	0.32	0.6	0.26	5.5	1.4	1.68
Nº ceros	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
Nº crecidas	136	39	27	109	205	68	0	78	54	110

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Max	176.5	85.6	38.4	3.8	178.2	277.3	295.5	157.7	2.6	31.0

Media	17.0	5.8	3.1	1.1	12.3	16.8	16.1	3.2	1.1	2.0
Min	0.9	0.7	0.0	0.0	0.6	0.5	0.1	0.2	0.8	1.0
P75	19.12	4.60	3.42	1.37	13.50	9.10	7.50	1.80	1.24	2.01
Mediana	3.9	2.04	2.22	1.12	3.75	3.5	1.24	0.95	1.1	1.68
P25	1.5	1.5	1.98	0.8	1.66	1.75	0.13	0.4	0.842	1.37
N° ceros	0	0	3	41	0	0	0	0	0	0
N° crecidas	144	65	25	0	118	100	91	15	0	4

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Max	25.7	70.6	91.4	13.4	17.3	130.1	19.5	274.0	105.0	4.4
Media	1.1	4.5	6.1	1.7	2.4	13.9	3.7	17.8	5.7	1.6
Min	0.1	0.3	0.4	0.3	0.3	1.1	1.1	0.5	0.0	0.2
P75	1.25	3.41	6.87	2.34	2.65	18.50	4.70	6.30	2.41	1.95
Mediana	1	1.52	2.14	1.019	1.719	6.3	2.87	1.95	1.95	1.95
P25	0.384	0.54	0.8	0.62	0.699	1.95	1.95	1.11	1.11	1.11
N° ceros	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
N° crecidas	2	45	78	8	15	150	13	87	49	0

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Max	8.5	27.0	8.2	200.9	338.8	232.6	3.0	11.1	145.8	4.7
Media	1.3	2.6	1.0	15.5	16.6	13.3	0.8	1.6	16.9	1.5
Min	0.2	0.2	0.1	0.4	0.4	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1
P75	1.34	2.62	1.34	15.95	3.75	8.18	1.04	1.85	14.18	2.06
Mediana	1.34	1.745	0.563	3.562	2.109	3.357	0.779	1.243	2.743	1.65
P25	0.942	0.926	0.563	1.34	1.218	1.404	0.23	0.177	0.909	0.335
N° ceros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N° crecidas	1	22	1	127	77	95	0	4	106	0

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Max	121.7	83.0	7.8	12.5	47.0	16.8	39.6	57.5
Media	7.7	12.8	1.5	1.8	5.6	2.8	3.8	4.7
Min	0.2	0.9	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.6
P75	7.05	18.53	2.44	2.44	5.64	2.96	4.31	5.34
Mediana	3.451	8.158	1.509	0.879	3.615	1.925	2.44	2.343
P25	1.447	2.182	0.232	0.28	1.194	1.352	1.037	1.35
N° ceros	0	0	0	0	0	0	0	0
N° crecidas	78	183	0	8	64	21	32	59