



# Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes



Excmo. Ayuntamiento de Orihuela



Riesgo de inundación en España:  
análisis y soluciones para la generación  
de territorios resilientes

**Editores:**

M<sup>a</sup> Inmaculada López Ortiz  
Joaquín Melgarejo Moreno

© los autores, 2020  
© de esta edición: Universitat d'Alacant

ISBN: 978-84-1302-091-4

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

# ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA DE CAUDALES MÁXIMOS DE AVENIDA EN EL TRAMO TORO-ZAMORA: POSIBLE INCIDENCIA DE LA SINUOSIDAD DEL RÍO DUERO EN LA LAMINACIÓN DE LAS PUNTAS DE CRECIDA

**José Fernando Muñoz Guayanay**  
Prefectura de Loja, Ecuador  
[jfmunoz@prefectura Loja.gob.ec](mailto:jfmunoz@prefectura Loja.gob.ec)

**Carolina Guardiola Albert**  
Instituto Geológico y Minero de España, España  
[c.guardiola@igme.es](mailto:c.guardiola@igme.es)  
<https://orcid.org/0000-0001-9352-7618>

**Andrés Díez Herrero**  
Área de Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, España  
[andres.diez@igme.es](mailto:andres.diez@igme.es)  
<https://orcid.org/0000-0003-1106-191X>

## RESUMEN

El ‘Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables’ contiene los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación para las márgenes de los principales ríos españoles, así como los cuantiles de caudales máximos para diferentes periodos de retorno. En las grandes cuencas fluviales (>500 km<sup>2</sup>) los caudales punta de diseño se estiman con modelos de regresión, siendo la superficie de la cuenca drenante la única variable significativa. Por ello el caudal máximo estimado para el río Duero a su paso por Zamora (situada aguas abajo) es mayor que el estimado para Toro. En cambio, eventos significativos ( $Q > 200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) registrados recientemente muestran que el caudal que se registra en Toro es mayor que el de Zamora. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de recalcular los caudales máximos, con el objetivo de mejorar la estimación de cuantiles y las cartografías de peligrosidad y riesgo de ellos derivados, para las cuatro ‘Áreas con riesgo potencial significativo de inundación’ existentes en el tramo de río Duero ubicado entre ambas localidades. Para ello, el presente estudio ensaya las técnicas geoestadísticas (*STARS*) combinadas con sistemas de información geográfica (*ArcGIS*) y rutinas en el entorno de programación *R*, utilizando variables morfométricas, como la sinuosidad del cauce.

## 1. INTRODUCCIÓN

Todas las medidas de mitigación de los daños por avenidas e inundaciones (predictivas, preventivas y correctoras) precisan previamente de un análisis de riesgo, donde se estudia la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad para su posterior integración. Los estudios de peligrosidad por inundaciones basados en métodos hidrológico-hidráulicos, siendo los más comunes, persiguen la determinación de las áreas inundables y las variables hidráulicas de la inundación (velocidad y calado, principalmente) para diferentes condiciones de tránsito de avenidas, caracterizadas por la probabilidad de ocurrencia o período de retorno. En España, estos estudios y cartografías de peligrosidad y riesgo, preceptivos a partir de la Directiva europea de gestión del riesgo de inundación

60/2007, están contenidos en el ‘Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables’ (SNCZI); que además permite visualizar los valores de los caudales máximos (CauMax; CEDEX, 2013) para diferentes periodos de retorno en distintos puntos de la red fluvial. Este último trabajo fue efectuado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), y la metodología empleada está desarrollada en la ‘Memoria Técnica del Mapa de Caudales Máximos’ (CEDEX, 2011). Para el caso de las grandes cuencas fluviales peninsulares (mayores a 500 km<sup>2</sup>), en la estimación de los caudales punta de diseño se ha empleado un modelo de regresión para los ejes fluviales principales (ríos) en los cuales, para la obtención de caudales máximos, solo se toma en cuenta, como variable significativa, la superficie de la cuenca drenante que se tiene aguas arriba hasta cada punto de interés (CEDEX, 2011). Esta simplicidad en el cálculo de los caudales de diseño para la delimitación de las zonas inundables justifica la necesidad de estudios de calibración y validación de las estimaciones; así como la propuesta de otras alternativas más objetivas y científicamente fundamentadas en el caso de que se observen errores e incertidumbres en su aplicación.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

La zona de estudio se encuentra en la provincia de Zamora (comunidad autónoma de Castilla y León), ubicada entre el centro-noroeste de la península Ibérica. Concretamente en el tramo de río Duero comprendido entre las ciudades de Toro y Zamora (capital de la provincia homónima), con una longitud aproximada de 37 km, medidos sobre el cauce del río Duero (Fig. 1).

Para este tramo del río Duero, el visor del SNCZI permite observar y extraer los mapas y valores de caudales máximos para distintos periodos de retorno y, derivado de ellos, las áreas inundables, mapas de peligrosidad (calados) y riesgo de inundación. Como se puede observar en la Tabla 1, los valores de cuantiles estimados son siempre superiores en Zamora (con más cuenca drenante) que en Toro (con menos cuenca aguas arriba), debido a que sólo se ha empleado el área de la cuenca como variable morfométrica de estimación.

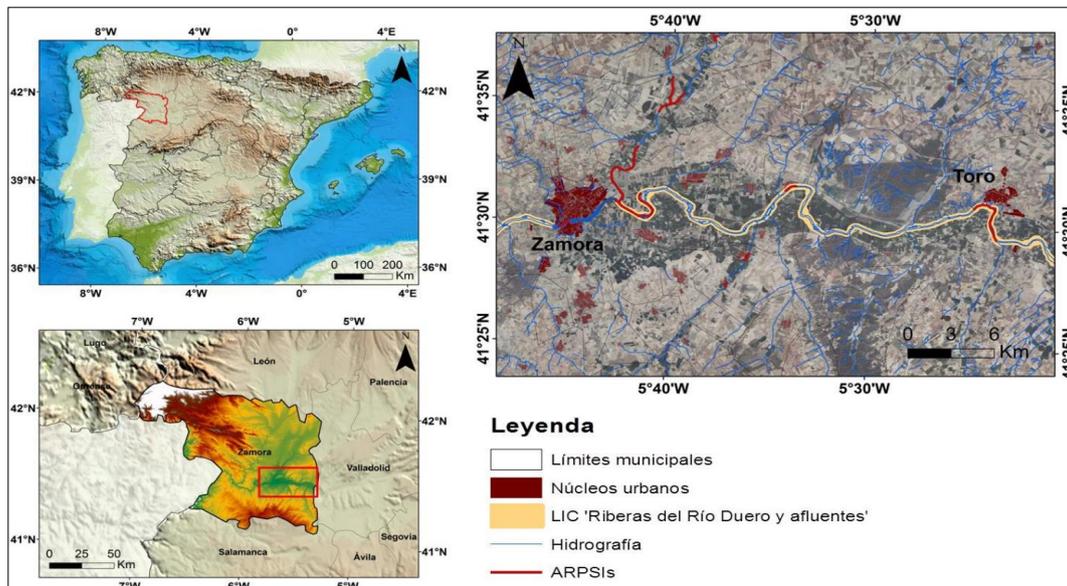


Figura 1. Situación geográfica de la zona de estudio. Fuente: proyecto DRAINAGE.

Localidad	Cuenca drenante (km <sup>2</sup> )	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s) para diferentes periodos de retorno (T, en años)					
		T=2	T=5	T=10	T=25	T=100	T=500
Toro	41655	744	1429	1975	2789	4311	6703
Zamora	46226	767	1509	2110	3013	4732	7505

Tabla 1. Cuantiles de caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno en la posición de las estaciones de aforo de Toro y Zamora. Fuente: CauMax (SNCZI).

EVENTOS 2018			EVENTOS 2019			EVENTOS 2020		
Fecha	Toro	Zamora	Fecha	Toro	Zamora	Fecha	Toro	Zamora
07/03	488,4	441,60	02/04	467,75	388,18	03/02	220,0	220,0
13/03	726,8	635,90	25/11	211,80	191,00	21/03	198,0	188,0
17/03	806,4	706,50	03/12	317,60	326,00	16/04	318,0	334,0
13/04	767,0	602,26	23/12	1142,40	1088,0	21/04	351,0	365,0
18/04	686,6	550,88				29/04	280,0	295,0

Tabla 2. Caudales punta registrados en eventos recientes significativos ( $Q > 200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) en las estaciones de aforos de Toro y Zamora. Fuente: SAIH-ROEA CHD (datos extraídos de la página web en tiempo real; pendientes de validación).

En base a la observación de más de una docena de eventos significativos ( $Q > 200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) registrados recientemente (2018-2020) procedentes de datos de la ROEA y el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD; pendientes de validación) se evidencia precisamente todo lo contrario a las estimaciones del SNCZI, que el caudal que se registra en la estación de Toro es mayor que el de Zamora (Tabla 2). Este hecho pone de manifiesto la necesidad de recalculer los caudales máximos con el objetivo de poder determinar la validez e incertidumbre de estos valores para cada periodo de retorno. Esto, además, implicaría que las áreas inundables cartografiadas por el SNCZI en el tramo del río Duero entre Toro y Zamora puedan variar en futuros ciclos de revisión del SNCZI.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología de análisis estadístico y geostatístico de los caudales máximos (Fig.2) combina el uso de datos de caudales de crecida de estaciones de aforo ( $Q_c$  y  $Q_{ci}$ ), datos de las estimaciones del SNCZI para comparación, y diversa información geoespacial (básica topográfica y temática). Como métodos se emplea desde el clásico análisis de frecuencias de caudales de avenida con modelos estadísticos univariados (aplicación CHAC), hasta métodos geostatísticos soportados por sistemas de información geográfica (ArcGIS), aplicaciones de interpolación específicas (STARS) y rutinas en entorno de programación R.

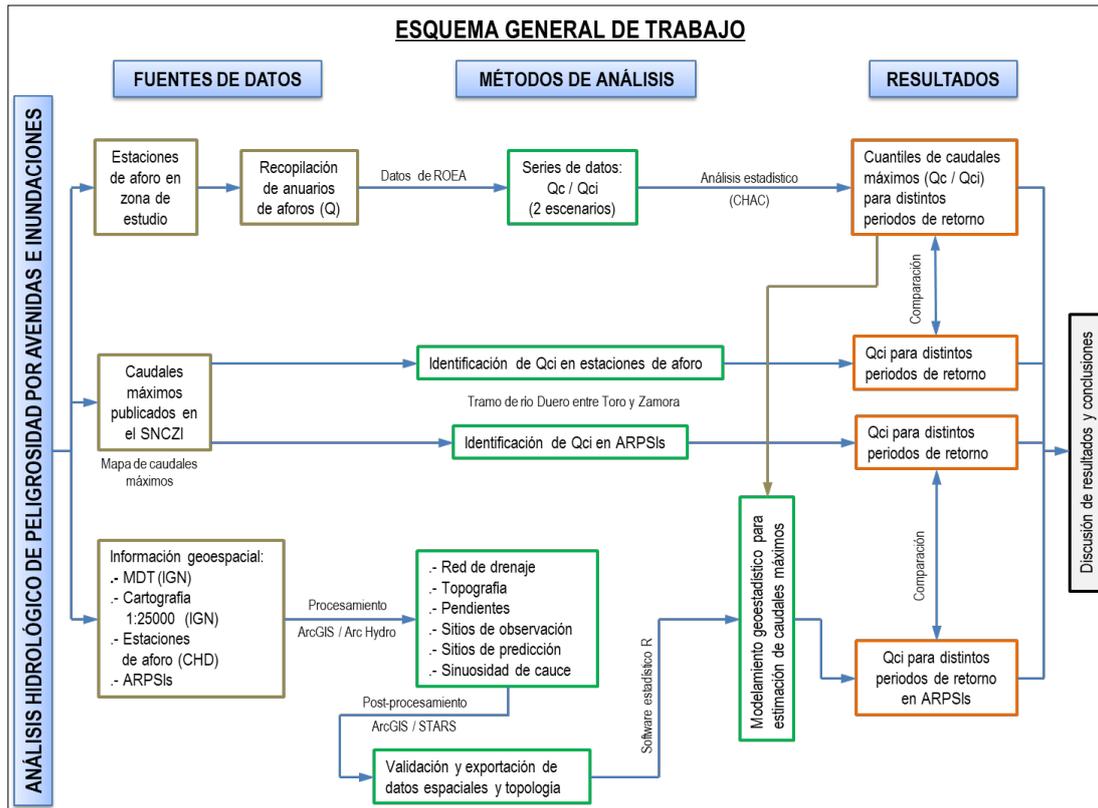


Figura 2. Esquema metodológico general, desde las fuentes de datos a los resultados, pasando por las metodologías y técnicas de análisis.

### 3.1. Análisis estadístico de caudales de avenida

Los datos hidrológicos en el tramo del río Duero en estudio corresponden fundamentalmente a las estaciones de aforo de Toro (código 2062) y Zamora (código 2121), ambas gestionadas por la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD). A partir del visor del ‘Sistema Nacional de Anuario de Aforos’, se consultó la base de datos de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) para recopilar las series anuales de datos de caudales máximos medios diarios ( $Q_c$ ) y caudales máximos instantáneo ( $Q_{ci}$ ) disponibles para ambas estaciones (Tabla 3).

Estación	Caudal máximo	Años con datos	Años con datos completos	Periodo total de datos
2062 Río Duero en Toro	Caudal máximo medio diario ( $Q_c$ )	104	76	1911-1912 a 2014-2015
	Caudal máximo instantáneo ( $Q_{ci}$ )	44	42	1954-1955 a 2014-2015
2121 Río Duero en Zamora	Caudal máximo medio diario ( $Q_c$ )	13	12	2002-2003 a 2014-2015
	Caudal máximo instantáneo ( $Q_{ci}$ )	13	12	2002-2003 a 2014-2015

Tabla 3. Periodo de datos de caudales máximos recopilados de las estaciones de aforo de Toro y Zamora. Fuente: ROEA CHD.

Al ver la diferencia de la longitud de los periodos de datos de caudales máximos, se plantearon dos escenarios de análisis de datos (Tabla 4): 1) series con datos completos para cada estación de aforo; 2) series con datos completos para los años hidrológicos comunes entre ambas estaciones.

Escenario	Caudal máximo	Estación	Periodo
Escenario 1	Caudal máximo medio diario ( $Q_c$ )	Toro	1912 - 2015
		Zamora	2003 - 2015
	Caudal máximo instantáneo ( $Q_{ci}$ )	Toro	1954 - 2015
		Zamora	2003 - 2015
Escenario 2	Caudal máximo medio diario ( $Q_c$ )	Toro	2003 - 2015
		Zamora	2003 - 2015
	Caudal máximo instantáneo ( $Q_{ci}$ )	Toro	2003 - 2015
		Zamora	2003 - 2015

Tabla 4. Periodo de datos temporales analizados para cada escenario, estación y datos de caudales máximos.

Mediante la aplicación *CHAC* (CEDEX, 2013) y sus modelos estadísticos combinando funciones de distribución de frecuencias y métodos de estimación de parámetros, se realizaron los análisis estadísticos de las distintas series de caudales máximos medios diarios ( $Q_c$ ) y caudales máximos instantáneos ( $Q_{ci}$ ) de las estaciones Toro y Zamora para la determinación de sus cuantiles para distintos periodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años) en los dos escenarios temporales planteados.

### 3.2. Geoestadística de caudales máximos

La geoestadística es una rama de la estadística que desarrolla diversos procedimientos de estimación y simulación, utilizados para estudiar variables distribuidas espacialmente a partir de una cantidad de muestras en distintas localizaciones. Su objetivo principal consiste en estimar valores de esa variable en puntos no medidos a partir de los datos (en este caso, caudales máximos de crecida), buscando minimizar el error de estimación.

Para el procesamiento de la información geoespacial se empleó la aplicación informática ArcGIS (ESRI Geosystems) y las extensiones Arc Hydro Tools (herramientas para análisis de cartografía hidrológica) y STARS (Spatial Tools for the Analysis of River Systems). Posteriormente se exportó al software R para efectuar el modelamiento geoestadístico mediante el código SSN (Spatial Stream Network). Mediante el empleo de la extensión Arc Hydro Tools para ArcGIS, se realizó el procesamiento del MDT para definir la red de drenaje de la zona de estudio, así como también determinar sus parámetros morfométricos (longitud de cauce, sinuosidad y pendiente). Con la cartografía y ortofoto de la zona de estudio se pudo identificar la correspondencia existente entre la red de drenaje generada y la observada, y de igual forma fueron útiles para la elaboración de mapas temáticos.

La extensión para ArcGIS ‘STARS’ (*Spatial Tools for the Analysis of River Systems*), es un conjunto de herramientas espaciales para el análisis de sistemas fluviales (Ver Hoef *et al.*, 2006 y 2014; Ver Hoef y Peterson, 2010). Para ajustar un modelo de red de flujo espacial se requiere de datos de topología de la red de flujo (*Stream reaches*) y sitios de muestreo que corresponden a puntos de observación y puntos de predicción. Los puntos de observación son puntos que se ubican en la red de drenaje y que almacenan información conocida. En el presente trabajo los puntos de observación son las dos estaciones de aforo (Toro y Zamora) donde se dispone de caudales máximos instantáneos ( $Q_{ci}$ ) para los distintos periodos de retorno en estudio (resultado del análisis estadístico del escenario 1).

Ante la imposibilidad de aplicar herramientas geostatísticas con sólo dos puntos aforados en la zona de estudio, también se consideraron como puntos de observación los sitios equidistantes cada kilómetro en el tramo de río Duero entre la zona de Toro y Zamora (59 puntos). En estos puntos los valores de  $Q_{ci}$  se obtuvieron gracias a un análisis matemático que correlacionaba  $Q_{ci}$  con la sinuosidad del cauce. La sinuosidad se determinó para cada sitio con una media móvil de la sinuosidad aguas arriba. De esta forma, se pudieron ajustar los valores de  $Q_{ci}$  en los puntos de las estaciones Toro y Zamora (para cada periodo de retorno estudiado), y a partir de este ajuste se generaron valores hipotéticos de  $Q_{ci}$  en cada punto de observación establecido. Esta forma indirecta de obtener valores observados de  $Q_{ci}$  permitió poner a punto la metodología del cálculo de caudales máximos mediante técnicas geostatísticas. Pero es necesario remarcar que las incertidumbres asociadas a los valores obtenidos serán importantes, y que su estimación excede los objetivos de este trabajo. Finalmente, los puntos de predicción corresponden a los cinco sitios representativos de las Área con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI, en adelante), en donde se desea determinar la variable  $Q_{ci}$ . En la Fig. 3 se presenta el mapa base de la zona de estudio y los sitios correspondientes a los puntos de observación y de predicción.

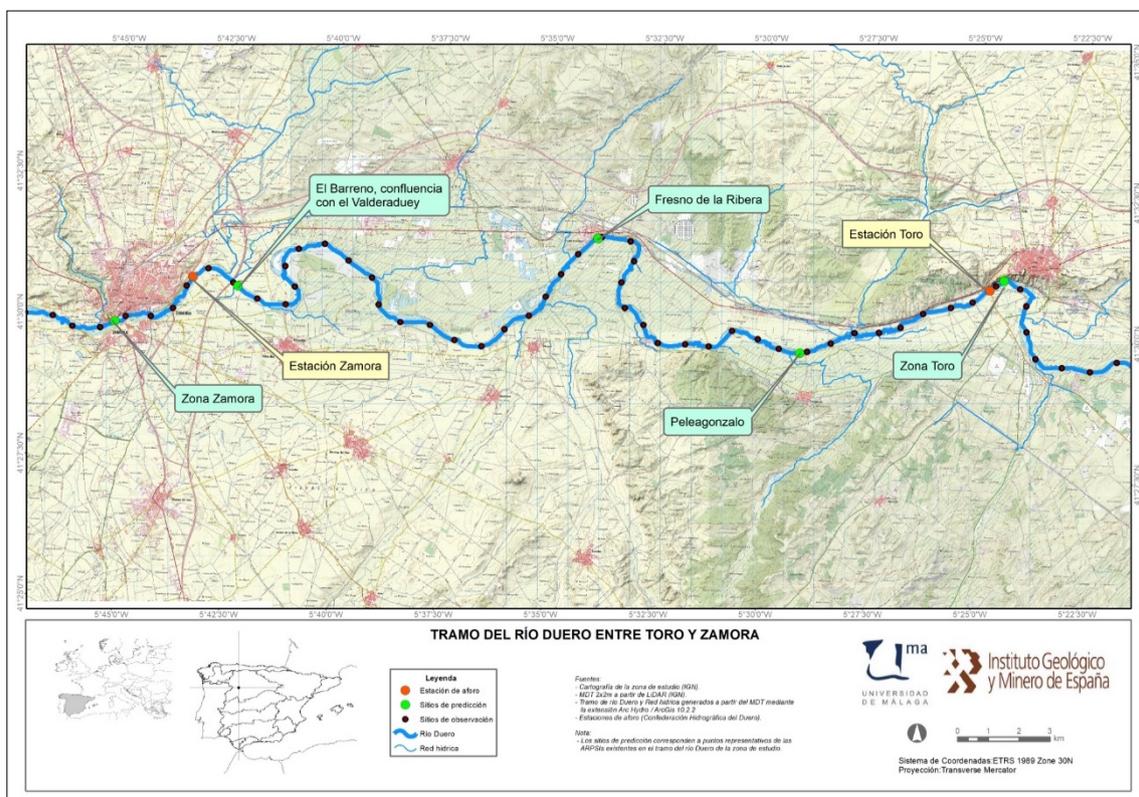


Figura 3. Mapa base de zona de estudio y situación de los puntos de observación y predicción.

Para exportar de la información geoespacial, la extensión *STARS* crea un objeto “.ssn” (*Spatial Stream Network* / red de flujo espacial), que contiene los datos espaciales y la topología de la red en un formato en el que se puede analizar de manera eficiente en el *software* estadístico *R* utilizando el paquete *Spatial Stream Network (SSN)*. El paquete *SSN* permite a los usuarios: 1) importar y almacenar sus datos espaciales en *R*; 2) calcular distancias por pares y pesos espaciales basados en la topología de red; 3) ajustar los modelos estadísticos espaciales para transmitir datos en los que la autocorrelación se basa en tres relaciones espaciales (euclidiana, flujo-conectado y flujo-desconectado); 4) estimar las relaciones entre las variables de flujo (regresión espacial); 5) hacer predicciones en ubicaciones no observadas (sitios de predicción); 6) exportar datos espaciales para su uso en otros programas de *software*; y 7) visualizar los datos espaciales (Ver Hoef *et al.*, 2014).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados del análisis estadístico de caudales

De todas las funciones de distribución de frecuencia aplicadas en el estudio, la función GEV por el método de estimación de parámetros de Momentos Ponderados es la que proporciona un mejor ajuste, tanto visual-gráfico como numérico (Tabla 5).

Escenario	Caudal máximo	Estación	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 500
Escenario 1	Caudal máximo medio diario (Qc)	Toro	1437	2214	2569	3456
		Zamora	1150	1867	2228	3222
	Caudal máximo instantáneo (Qci)	Toro	1472	2451	2947	4321
		Zamora	1230	1945	2291	3211
Escenario 2	Caudal máximo medio diario (Qc)	Toro	1221	1994	2385	3466
		Zamora	1150	1867	2228	3222
	Caudal máximo instantáneo (Qci)	Toro	1329	2147	2555	3667
		Zamora	1230	1945	2291	3211

Tabla 5. Cuantiles estimados por la función GEV – Momento Ponderados. Tr: periodo de retorno expresado en años. Caudales expresados en m<sup>3</sup>/s.

### 4.2. Resultados de la modelación geoestadística de caudales máximos

Mediante la aplicación del *software* R, se importó y realizó la modelación geoestadística en la red de drenaje, donde se determinaron los caudales máximos instantáneos (Qci) estimados para los sitios de predicción, que corresponden a puntos representativos en las zonas definidas como ARPSI dentro del tramo de río Duero entre Toro y Zamora. Por medio de la función ‘*glmssn*’ del *software* R se usó como una variable de respuesta al Qci modelado para los distintos periodos de retorno en estudio. Se incluyó como covariables la elevación (*Elev<sub>m</sub>*), pendiente (*Slope*) y sinuosidad (*Sinuosidad*). Se tomaron en cuenta estas covariables puesto que la hidráulica fluvial clásica nos dice que el caudal depende fundamentalmente de este tipo de parámetros morfométricos del cauce. Estos parámetros pueden influir especialmente sobre los caudales punta que pueden circular por el tramo de río en estudio, que presenta un tren continuo y regular de meandros entre Toro y Zamora. Se aplicaron cinco modelos geoestadísticos para ser comparados entre sí. La estimación de caudales máximos para los diferentes periodos de retorno muestra que todos los modelos funcionan bien. Basándonos en el Criterio de información de Akaike (AIC), se consideró el bajo valor de AIC y el bajo error de predicción de R-cuadrado, seleccionando como modelo final, el que utiliza estructuras de covarianza *Spherical tailup* y *Spherical taildown*. La Tabla 6 y la Fig.4 recogen un resumen de los resultados de Qci para cada periodo de retorno estudiado en los sitios de predicción.

Sitio de predicción	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 500
Zona de Toro	1694	2934	3585	5444
Peleagonzalo	2149	3999	5059	8172
Fresno de la Ribera	1304	2092	2482	3519
El Barreno, confluencia con el Valderaduey	1028	1540	1774	2344
Zona de Zamora	1855	3308	4084	6355

Tabla 6. Caudales máximos instantáneos (m<sup>3</sup>/s) estimados para los sitios de predicción.

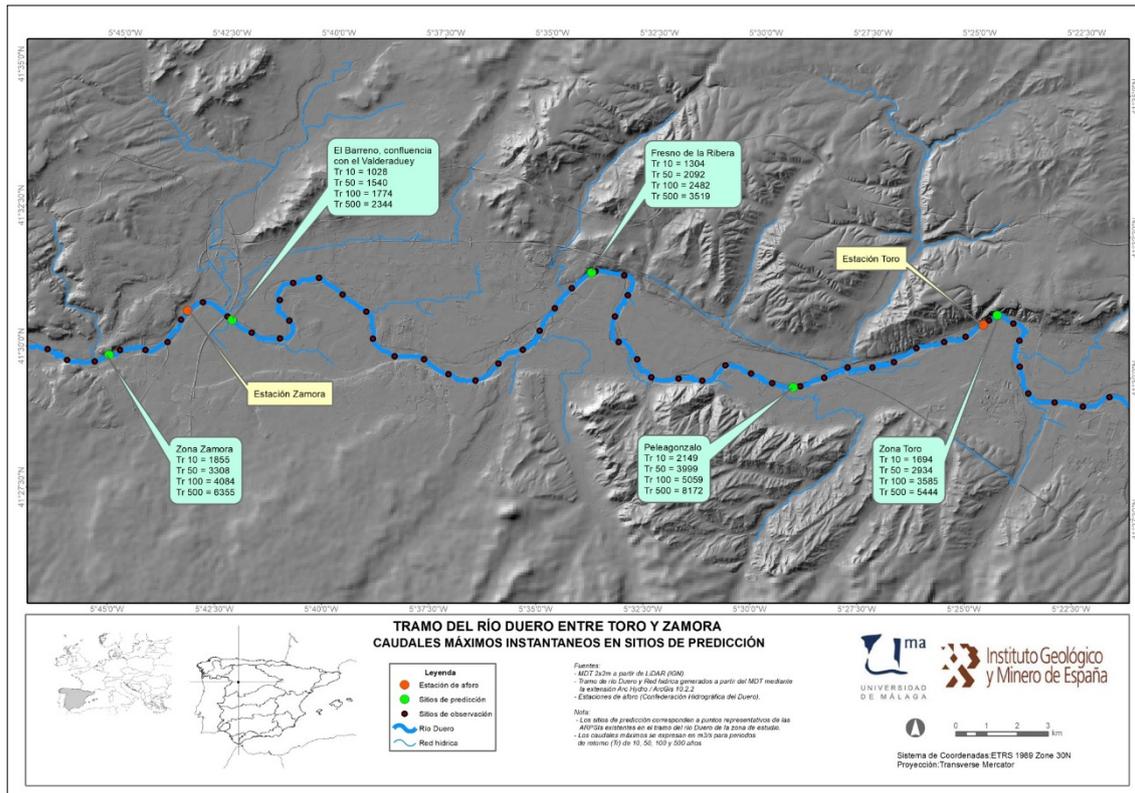


Figura 4. Tramo del río Duero entre Toro y Zamora, caudales máximos instantáneos calculados geoestadísticamente en los sitios de predicción (ver valores en Tabla 6).

Analizando el mapa de la Fig.4 y los valores de la Tabla 6, se puede interpretar que la variabilidad de caudal para cada sitio de predicción se encuentra en función de sus características particulares. Por ejemplo, a la vista de los resultados para periodo de retorno de 10 años, se observa que se parte en la zona de Toro con un caudal estimado de 1694 m<sup>3</sup>/s. Al llegar a la localidad de Peleagonzalo se incrementa a 2149 m<sup>3</sup>/s, lo cual puede deberse a que el cauce prácticamente presenta una sinuosidad unitaria mostrando un aspecto rectilíneo; y así mismo en este tramo va recibiendo aportes de varios afluentes. Al avanzar hasta la localidad de Fresno de la Ribera, se estima un caudal de 1304 m<sup>3</sup>/s, en donde la reducción de caudal se atribuye a que el agua ha discurrido por el tren de meandros, en donde la sinuosidad del cauce se ve incrementada en forma significativa y esto hace que los caudales de crecida se vayan laminando. Igual situación ocurre en el paraje de El Barreno, antes de la confluencia con el río Valderaduey (1028 m<sup>3</sup>/s), donde los meandros hacen que la longitud de recorrido del agua sea mayor, se incrementa la sinuosidad y debido a la baja pendiente del río se produce una reducción de la velocidad del agua. Por último, en la zona de Zamora se nota un incremento del caudal 1855 m<sup>3</sup>/s, lo cual tiene sentido ya que aguas arriba el río Duero recibe la aportación del río Valderaduey.

### 4.3. Comparación de resultados obtenidos con valores publicados en el SNCZI

Analizando los resultados obtenidos en el presente estudio se puede visualizar claramente que los caudales estimados estadísticamente ( $Q_c / Q_{ci}$ ) para cualquier periodo de retorno y en cualquiera de los dos escenarios, son mayores en la estación del río Duero en Toro que sus equivalentes en Zamora. Estos resultados presentan una discordancia con los valores de CauMax publicados por el SNCZI, y en los que están basados los mapas oficiales de zonas inundables. En cambio, están de acuerdo con las observaciones de los eventos recientes (2018-2020; Tabla 2). En la Tabla 7 se realiza una comparación de resultados de caudales máximos instantáneos ( $Q_{ci}$ ) del escenario 1 (con las series de datos completas) con los valores publicados en el SNCZI.

Periodo de retorno (años)	Estación Toro		Estación Zamora	
	Análisis estadístico	SNCZI	Análisis estadístico	SNCZI
Tr = 10	1472	1975	1230	2112
Tr = 50	2451	---	1945	---
Tr = 100	2947	4310	2291	4737
Tr = 500	4321	6701	3211	7513

Tabla 7. Comparación de valores estimados geoestadísticamente con los publicados en el SNCZI.

Se puede determinar que el análisis estadístico y geoestadístico aplicado en el presente estudio, brinda resultados más congruentes con la realidad observada de la zona, implicando que las áreas inundables presentes en el tramo del río Duero entre Toro y Zamora podrían variar en sucesivas revisiones de próximos ciclos de actualización del SNCZI, para hacerlas más útiles y objetivas en la mitigación del riesgo por avenidas e inundaciones.

## 5. CONCLUSIONES

- El análisis estadístico de caudales máximos ( $Q_c / Q_{ci}$ ) para las estaciones de aforo Toro y Zamora indica que se presentan cuantiles de caudales mayores en la estación de Toro y menores en la de Zamora, notándose la reducción de la punta de crecida como consecuencia de la laminación ejercida por el propio cauce (desbordamiento, ocupación de canales de crecida y brazos ciegos, y la infiltración en el cauce y llanura).
- La metodología de análisis geoestadístico para predicción de caudales máximos en las ARPSI ha permitido calcular nuevos cuantiles de caudales máximos para distintos periodos de retorno, con magnitud y sentido similares a los observados en eventos recientes.
- En futuras revisiones de las cartografías del SNCZI en los siguientes ciclos de actualización, o en la elaboración de los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRI; Confederación Hidrográfica del Duero, 2016) para las ARPSI existentes en la zona de estudio, se deberían recalcular los cuantiles de los caudales de diseño para reducir las incertidumbres y ajustarlos mejor a la realidad observada en los eventos recientes.

## AGRADECIMIENTOS

Los estudios de caracterización hidrológica de avenidas e inundaciones en el tramo del río Duero entre Toro y Zamora forman parte de la tarea GT1.T1 del proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D+i DRAINAGE (CGL2017-83546-C3-R MINEICO/AEI/FEDER, UE). Se agradece a la Confederación Hidrográfica del Duero (ente promotor observador-EPO- del proyecto DRAINAGE), el facilitar el acceso a los datos hidrológicos empleados; y a Luciano Martins (Tragsatec) la colaboración en el tratamiento de la información con el SIG. Este estudio concreto se fundamenta en el trabajo fin de máster del primer autor, codirigido por los otros dos autores mediante el programa de prácticas profesionales en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME); que llevó por título “Análisis hidrológico de la peligrosidad por avenidas e inundaciones en el tramo del río Duero entre Toro y Zamora”, presentado en el Máster en Recursos Hídricos y Medio Ambiente (RHYMA) de la Universidad de Málaga (UMa), durante el curso 2017/2018; por lo que el agradecimiento es extensivo al Dr. Bartolomé Andreo, coordinador del Máster en la UMa.

## REFERENCIAS

- CEDEX (2011). *Mapa de Caudales Máximos (CauMax), Memoria Técnica*, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid.
- CEDEX (2013). *CHAC. Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas. Manual CHAC*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid.
- Confederación Hidrográfica del Duero (2016). *Plan de Gestión de Riesgos de Inundación (2016). Anejo 1. Caracterización de las ARPSIs*. Valladolid.
- Ver Hoef, J.M., Peterson, E.E. and Theobald, D. (2006). Spatial Statistical Models That Use Flow and Stream Distance. *Environmental and Ecological Statistics*, 13(1), 449-464.
- Ver Hoef, J.M. and Peterson, E. (2010). A Moving Average Approach for Spatial Statistical Models of Stream Networks (with discussion). *Journal of the American Statistical Association*, 105, 6-18.
- Ver Hoef, J.M., Peterson, E.E., Clifford, D. and Shah, R. (2014). SSN: An R package for spatial statistical modeling on stream networks. *Journal of Statistical Software*, 56(3), 1-45.