



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

El Mapa de Caudales Máximos en España. Base
teórica y situación actual.

EL MAPA DE CAUDALES MÁXIMOS EN ESPAÑA

BASE TEÓRICA Y SITUACIÓN ACTUAL

Antonio Jiménez Álvarez

Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX)



CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TRABAJO

- Realizado dentro de un Convenio de colaboración entre el MARM y el CEDEX.
- Características generales de los mapas:
 - Realizado en el ámbito de las cuencas gestionadas por las distintas Confederaciones Hidrográficas.
 - Proporcionan información en los puntos de la red fluvial con cuencas iguales o superiores a 50 km².
 - Correspondientes al régimen natural.
 - Proporcionan información para los periodos de retorno:
 - 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años.
 - Estimación orientativa de la MCO a partir de fórmulas aproximadas.
 - Los resultados se representan mediante capas raster con resolución de 500x500 m.
 - Se ha elaborado una aplicación informática para facilitar la consulta y visualización de los mapas.
- Se adoptó como cuenca piloto del trabajo la cuenca del Tajo.



PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

OBTENCIÓN DE LOS CUANTILES DE CAUDAL MÁXIMO EN LOS PUNTOS AFORADOS

- Selección y tratamiento de las series de caudales máximos anuales medidas en estaciones de aforos y embalses.
- Análisis de las funciones de distribución y procedimientos de estimación más adecuados.
- Incorporación de información regional e histórica para mejorar la extrapolación a altos periodos de retorno.

ESTIMACIÓN DE LOS CUANTILES EN LOS PUNTOS NO AFORADOS A PARTIR DEL PASO ANTERIOR

- Selección de los modelos a utilizar.
- Elaboración de capas de variables y parámetros.
- Calibración y ajuste de los modelos.

GENERACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS CAPAS SIG CON LOS RESULTADOS



SELECCIÓN DE LAS SERIES DE CAUDALES MÁXIMOS

•Tipos de puntos de medida considerados:

- Estaciones de aforos de la ROEA.
- Embalses.
- Estaciones SAIH.

•Criterio de selección:

- Mínimo de 20 datos de caudal máximo medio diario (15 en zonas con pocas estaciones).
- No afectadas significativamente por la presencia de embalses aguas arriba:
 - Porcentaje de la cuenca controlada por embalses menor del 10%.
 - Volumen de embalse menor del 10% del volumen de avenida.
 - No considerada la alteración por embalses de menos de 5 hm³.

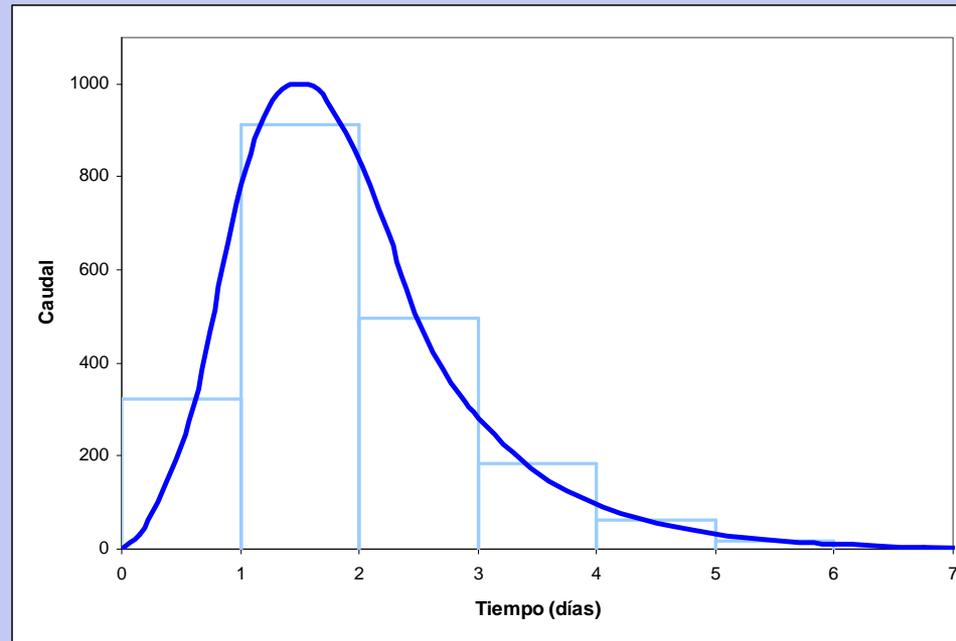


Puntos de medida seleccionados



TRATAMIENTO DE LAS SERIES DE CAUDALES MÁXIMOS

- En algunas estaciones y algunos periodos de registro solo se dispone del caudal máximo medio diario y no del caudal máximo instantáneo.

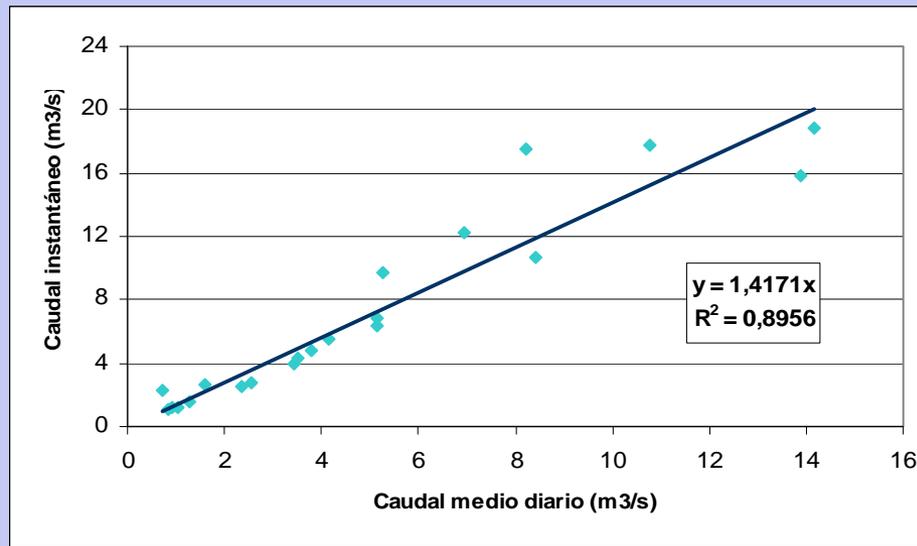




TRATAMIENTO DE LAS SERIES DE CAUDALES MÁXIMOS

Procedimiento de obtención del caudal máximo instantáneo a partir del medio diario:

- ❑ Estaciones con datos instantáneos incompletos (al menos 10 datos de caudal máximo instantáneo):



Relación entre caudales máximos medios diarios e instantáneos



TRATAMIENTO DE LAS SERIES DE CAUDALES MÁXIMOS

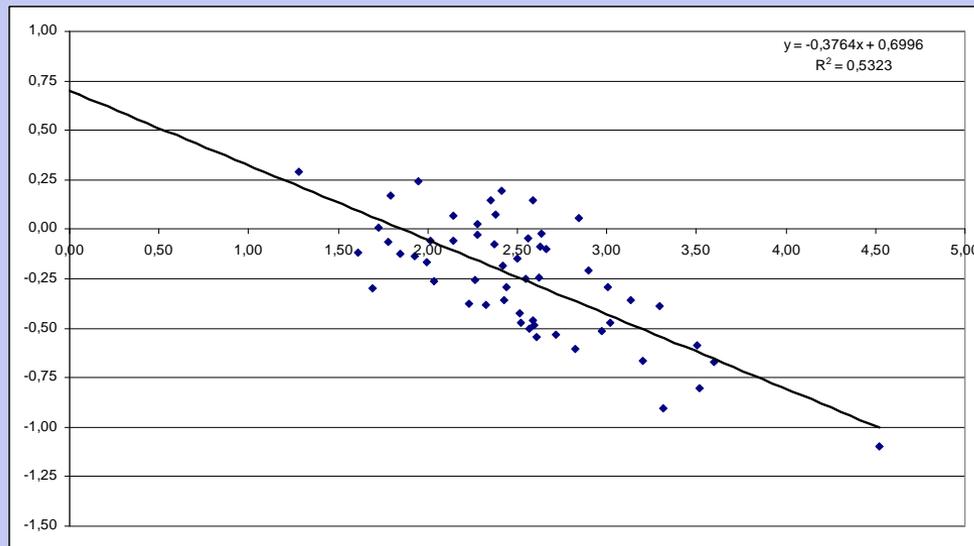
Procedimiento de obtención del caudal máximo instantáneo a partir del medio diario:

□ Estaciones sin información sobre caudales máximos instantáneos:

■ Se ha aplicado la fórmula de Fuller: $k = \frac{Q_i}{Q_{md}} = 1 + \frac{a}{A^b}$

■ Se ha realizado una calibración regional de los parámetros de la ecuación:

$$\log(k - 1) = \log a - b \cdot \log A$$



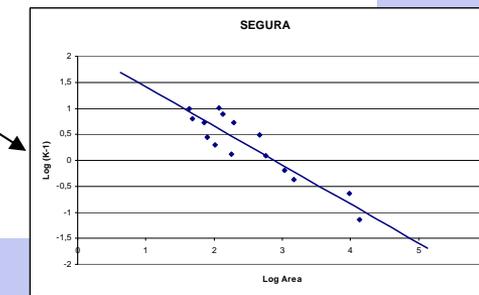
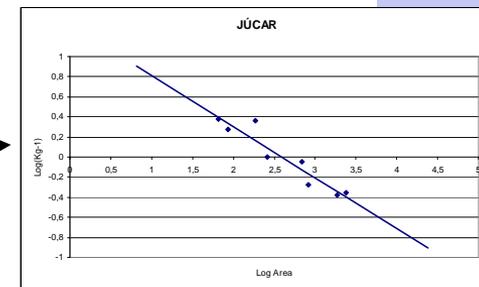
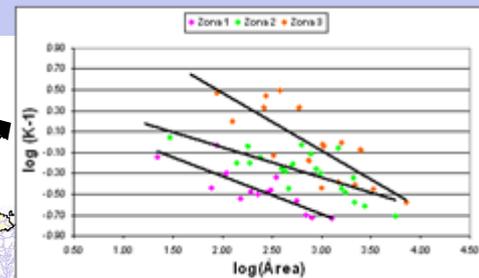
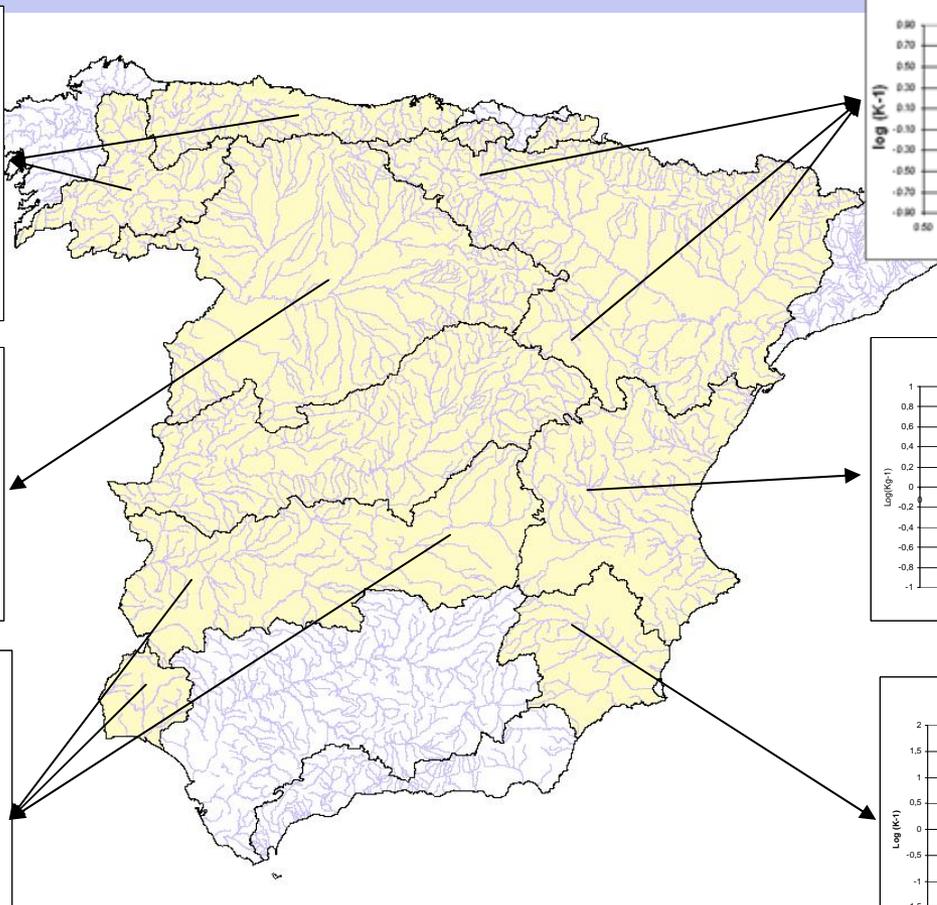
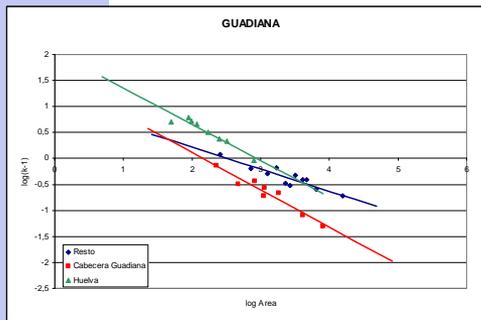
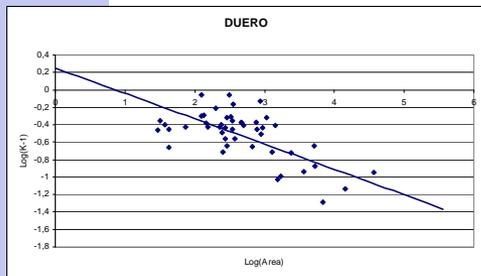
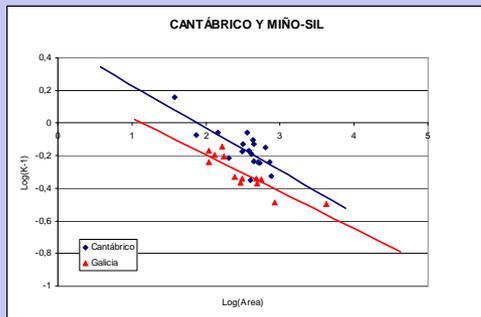
$$Q_i = \left(1 + \frac{6.38}{A^{0.41}} \right) Q_d$$

Ajuste de la ecuación de Fuller en la cuenca del Tajo



TRATAMIENTO DE LAS SERIES DE CAUDALES MÁXIMOS

Procedimiento de obtención del caudal máximo instantáneo a partir del medio diario:



Ajustes de la ecuación de Fuller



REVISIÓN DE LA CALIDAD DE LAS SERIES DE DATOS

• Identificación de tendencias temporales en las series:

Se ha aplicado el test de Mann-Kendall.

Permite detectar la presencia en la serie de periodos temporales con información no homogénea:

- Cambios de ubicación de la estación.
- Cambios en la curva de gasto.

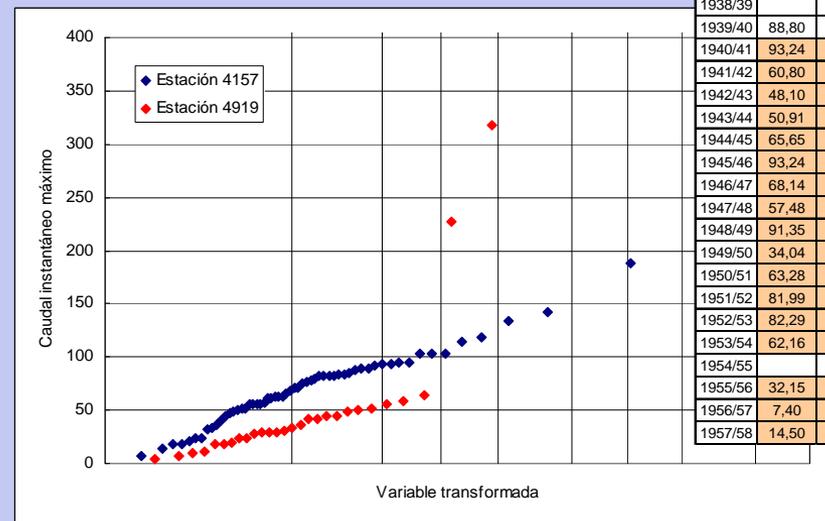
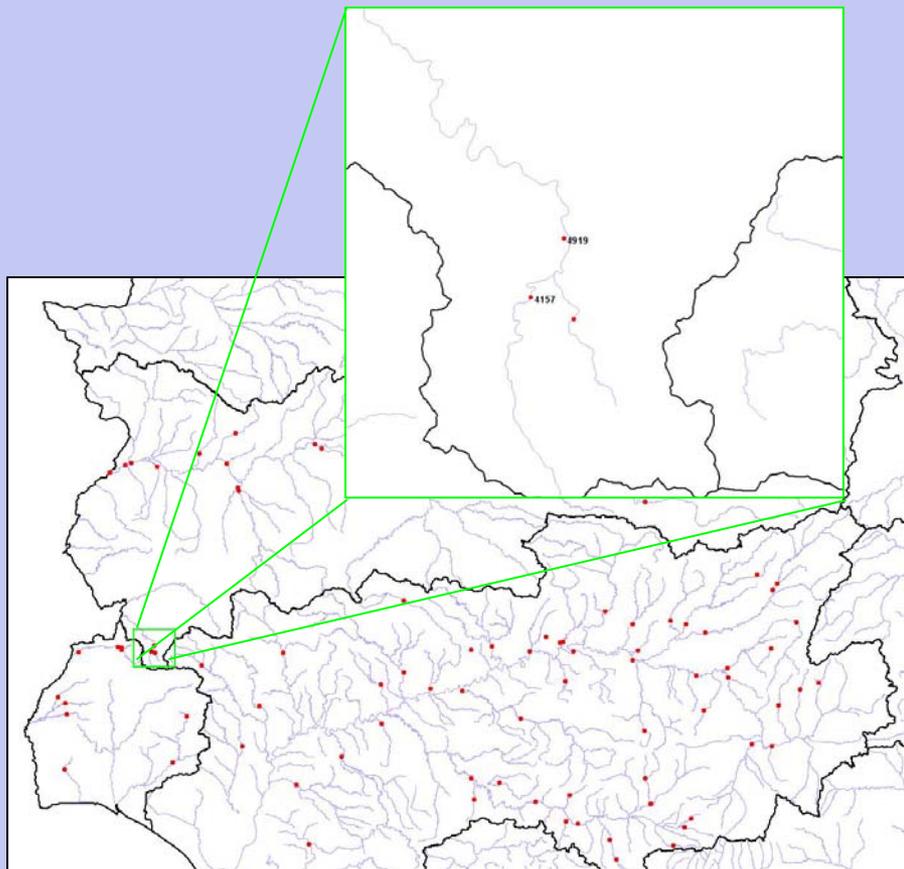


Ejemplos de series con y sin tendencia temporal



REVISIÓN DE LA CALIDAD DE LAS SERIES DE DATOS

- Análisis de inconsistencias con los datos de otras estaciones situadas aguas arriba o aguas abajo:



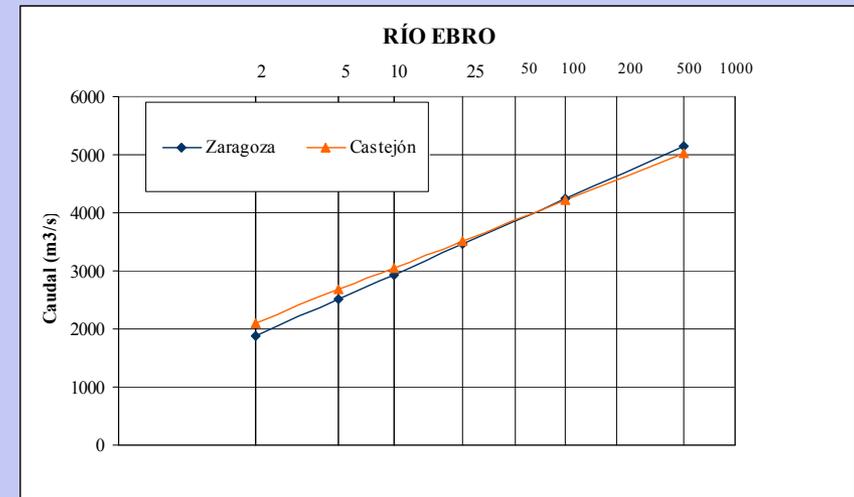
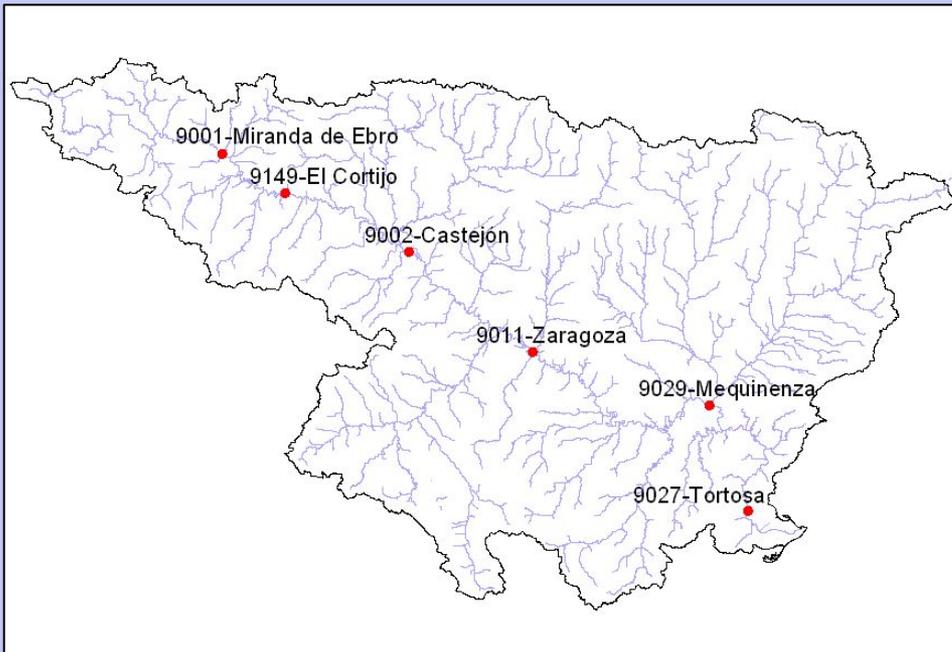
	4157	4919
Area	66,5	119
1927/28	76,96	17,71
1928/29	71,40	17,71
1929/30	83,12	23,28
1930/31	47,36	55,66
1931/32	103,60	
1932/33	117,96	
1933/34	18,38	11,13
1934/35	35,67	19,48
1935/36	88,68	59,20
1936/37	81,87	317,52
1937/38	75,78	226,94
1938/39		
1939/40	88,80	
1940/41	93,24	64,77
1941/42	60,80	41,49
1942/43	48,10	33,65
1943/44	50,91	23,53
1944/45	65,65	29,85
1945/46	93,24	50,85
1946/47	68,14	45,29
1947/48	57,48	41,75
1948/49	91,35	30,36
1949/50	34,04	29,35
1950/51	63,28	28,84
1951/52	81,99	48,83
1952/53	82,29	51,11
1953/54	62,16	45,03
1954/55		35,93
1955/56	32,15	28,08
1956/57	7,40	6,83
1957/58	14,50	10,12

Ejemplo de incoherencias entre estaciones



REVISIÓN DE LA CALIDAD DE LAS SERIES DE DATOS

- Análisis de inconsistencias con los datos de otras estaciones situadas aguas arriba o aguas abajo:

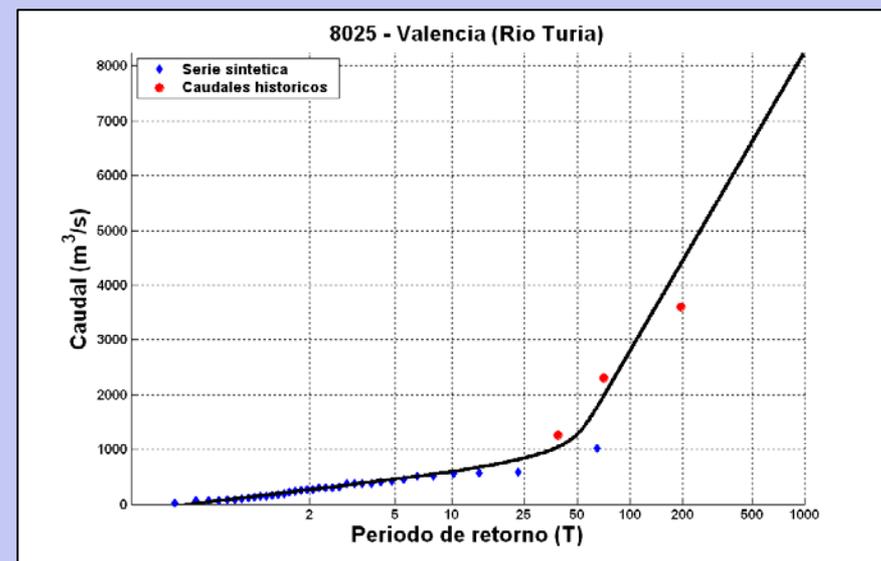
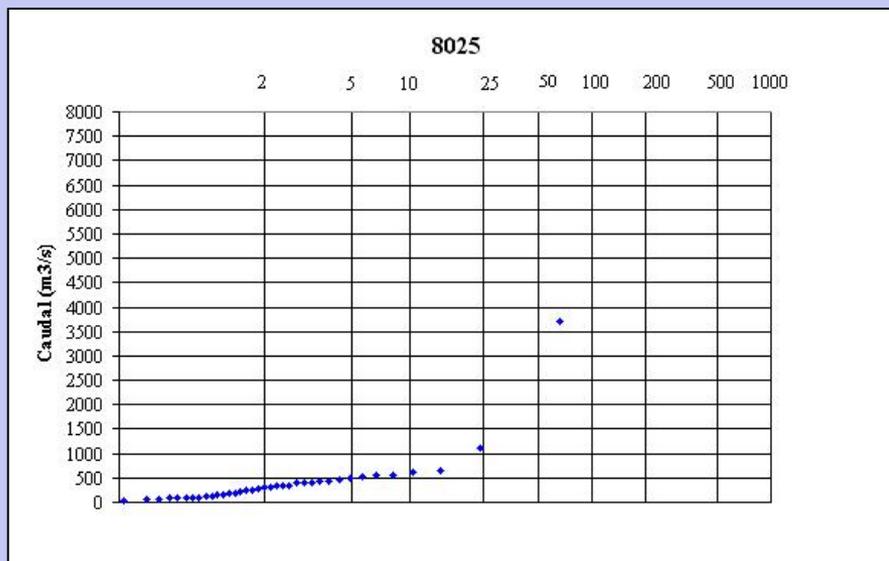


Contraste de leyes de frecuencia en el río Ebro



REVISIÓN DE LA CALIDAD DE LAS SERIES DE DATOS

- Identificación de datos anómalos (outliers): Este proceso no pretende detectar deficiencias en la calidad de la información sino localizar aquellos datos singulares dentro de las series temporales poco representativos desde un punto de vista estadístico a la hora de realizar el ajuste de la ley de frecuencia.

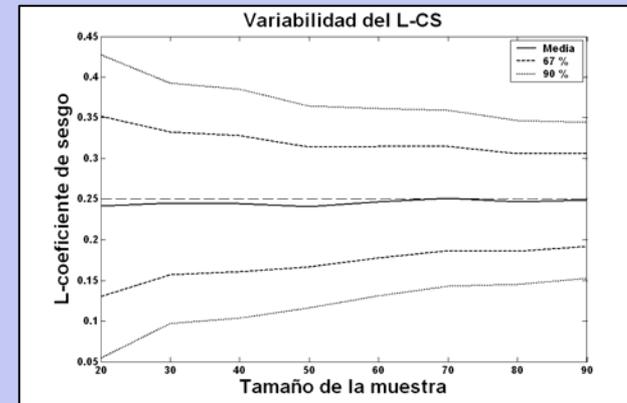
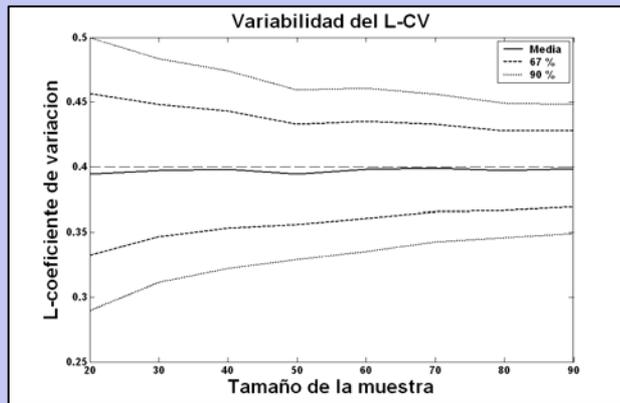


Comparación de probabilidades muestrales y leyes de frecuencia con y sin el valor anómalo



AJUSTE DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

- Análisis de las funciones de distribución y de los procedimientos de ajuste más idóneos.
 - Análisis de la capacidad de las funciones para adaptarse a los datos de las muestras (capacidad descriptiva).
 - Análisis de la precisión y robustez de las funciones para extrapolar a altos periodos de retorno (capacidad predictiva).
- Utilización de información adicional para mejorar la extrapolación a altos periodos de retorno.
 - Información histórica.
 - Información regional.





DEFINICIÓN DE REGIONES HOMOGÉNEAS

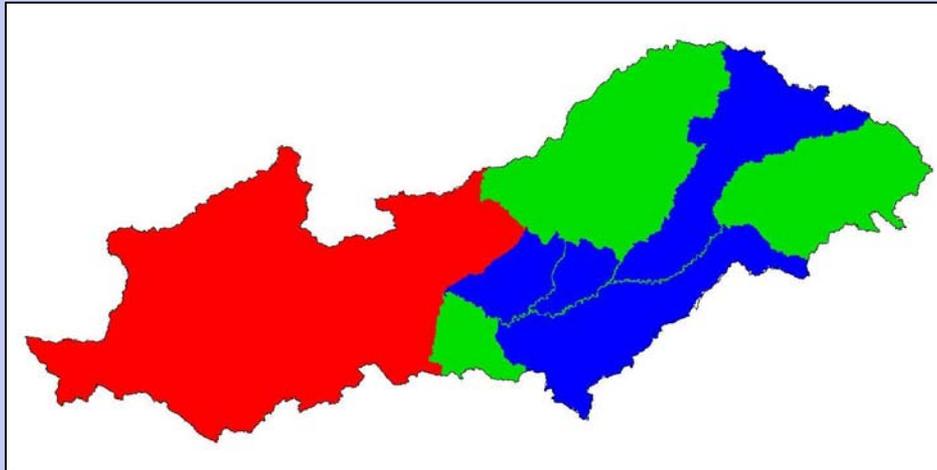
- Se han utilizado los tests de homogeneidad de Wiltshire y Hosking y Wallis.
- Se ha tomado la decisión de asumir en el análisis información regional relativa al coeficiente de sesgo.



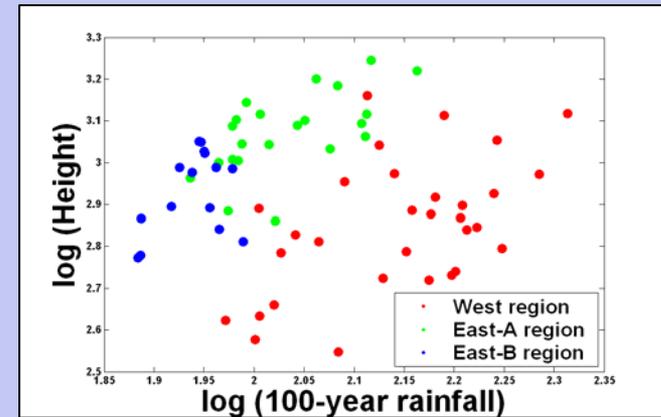
Regiones con homogeneidad estadística



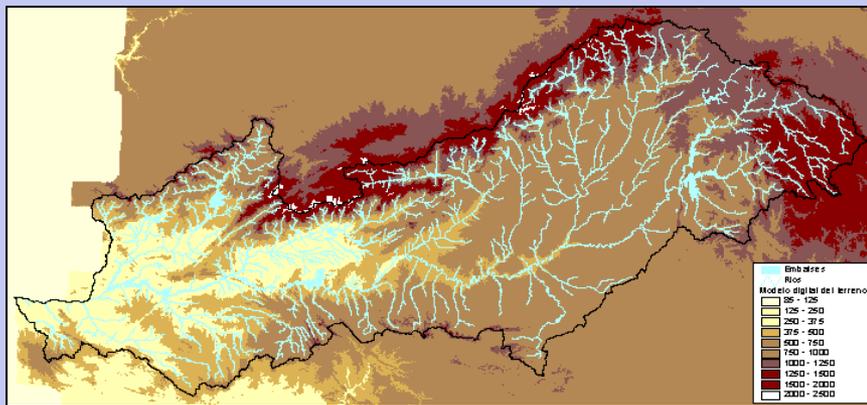
DEFINICIÓN DE REGIONES HOMOGÉNEAS



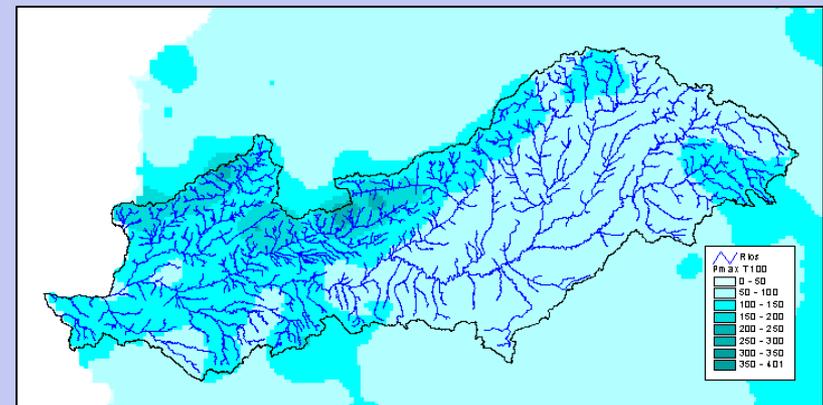
Regiones consideradas en la cuenca del Tajo



Relación altitud media - precipitación



Cuenca del Tajo: modelo digital del terreno



Cuenca del Tajo: cuantil de 100 años de precipitación diaria



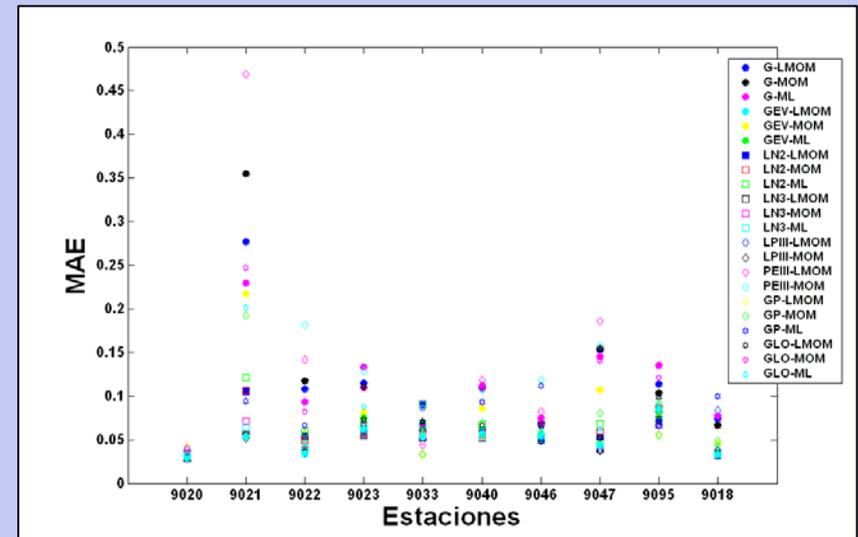
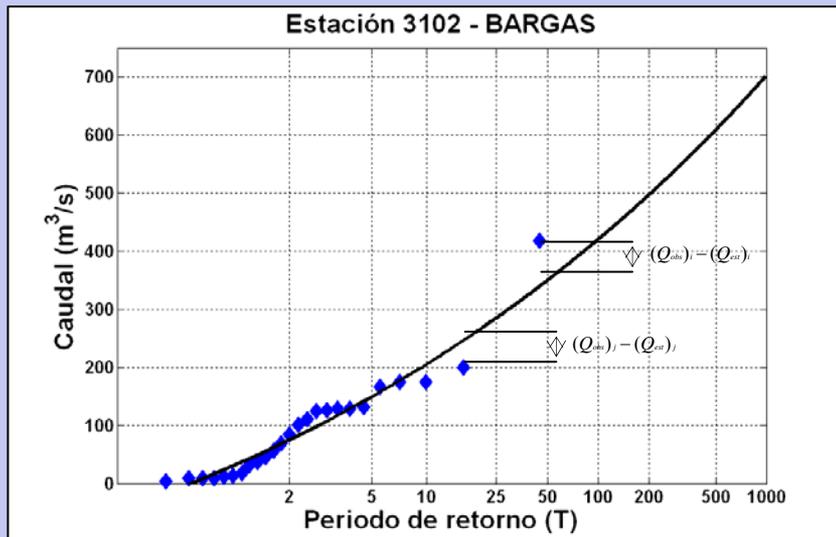
ANÁLISIS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

•Análisis de las funciones de distribución y de los procedimientos de ajuste más idóneos: Capacidad descriptiva.

❑Funciones analizadas: GEV, Gumbel, LN2, LN3, LPIII, PEIII, GP, GLO.

❑Procedimientos de ajuste considerados: momentos, momentos ponderados probabilísticamente, máxima verosimilitud.

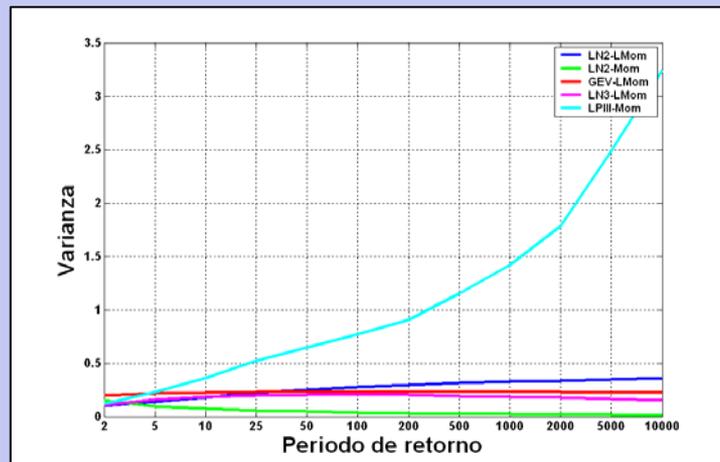
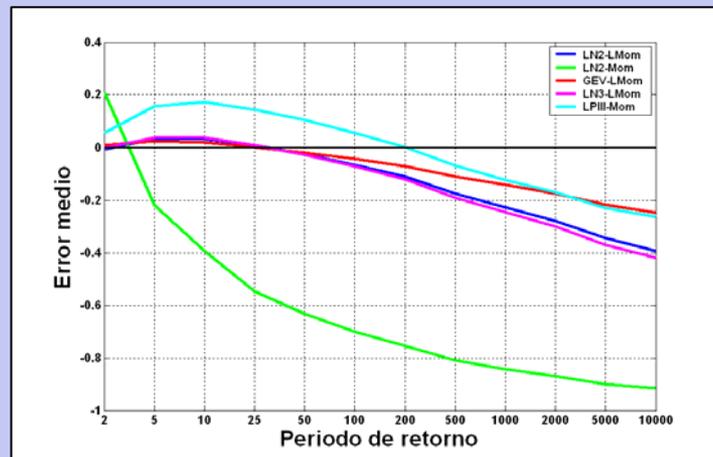
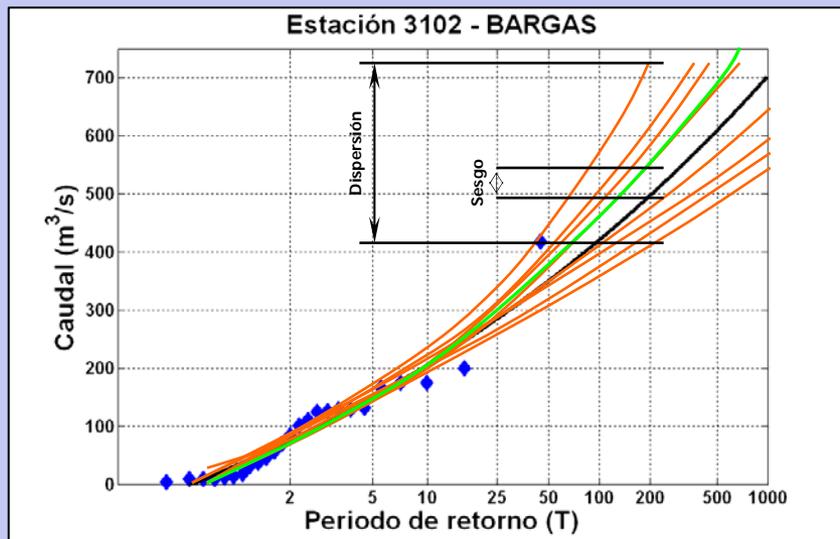
$$e_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(Q_{obs})_i - (Q_{est})_i|}{(Q_{obs})_i}$$





ANÁLISIS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

- Análisis de las funciones de distribución y de los procedimientos de ajuste más idóneos: Capacidad predictiva.





AJUSTE DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

- Función de distribución y procedimiento de ajuste seleccionado:
 - Función de distribución de Valores Extremos Generalizada (GEV).
 - Ajuste por momentos ponderados probabilísticamente o L-momentos.
 - Se impone en el ajuste un valor regional para el L-Cs.

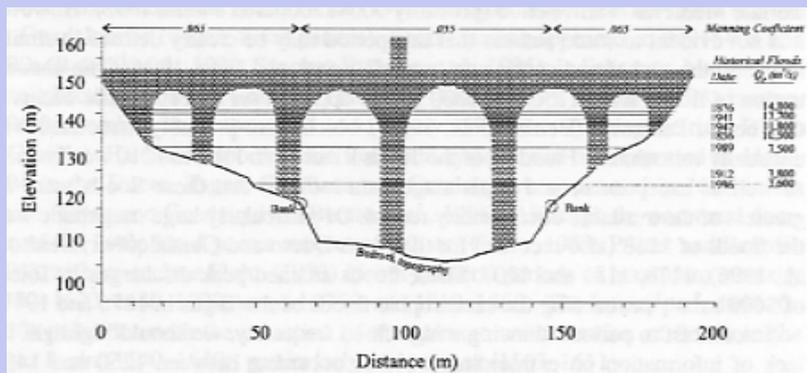


Región	Función	Región	Función
11	GEV	53	GEV
12	GEV	61	GEV
13	GEV	71	GEV
21	Gumbel	72	TCEV
22	GEV	81	GEV
23	Gumbel	82	TCEV
24	GEV	83	GEV
25	GEV	91	GEV
31	GEV	92	GEV
32	GEV	93	GEV
33	GEV	94	GEV
41	GEV	95	GEV
42	GEV	96	GEV
51	GEV	101	GEV
52	GEV	102	GEV



RECOPILOCIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA

- Incorporación al análisis estadístico de información sobre grandes avenidas ocurridas en el pasado:
 - ❑ Es una de las formas, junto con el uso de información regional, de mejorar la estimación de los caudales de alto periodo de retorno.
 - ❑ Proporciona directamente información sobre la magnitud de los caudales de pequeña probabilidad.



Avenidas históricas en el puente de Alcántara



Avenida de 1947 en Toledo



RECOPILOCIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA

• Fuentes de información histórica:

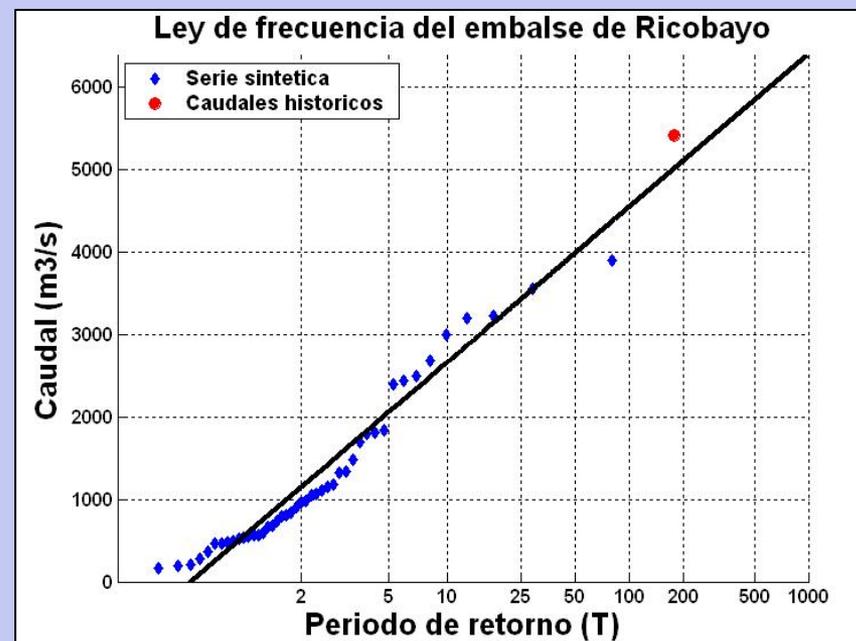
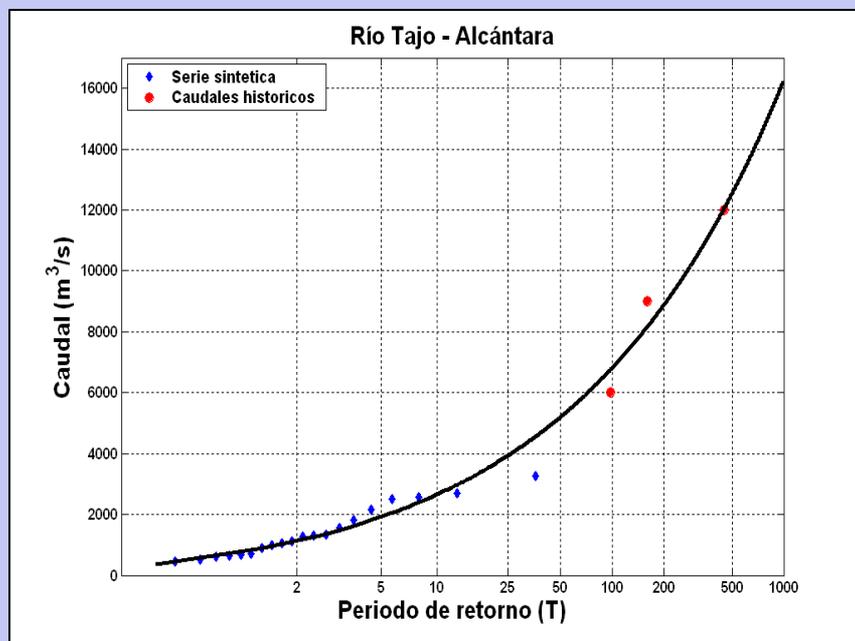
- "Estudio de Inundaciones Históricas. Mapas de Riesgos Potenciales." Comisión Nacional de Protección Civil. 1983.
- Artículos y monografías sobre eventos singulares.
- Otros datos documentales o de campo recopilados por el CEDEX.



Puntos en los que se han considerado avenidas históricas en el análisis frecuencial



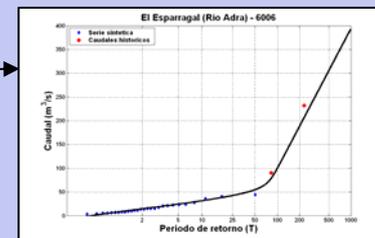
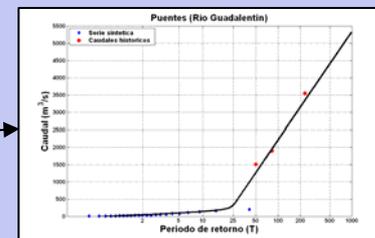
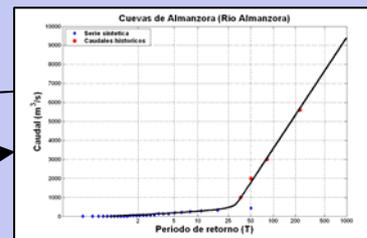
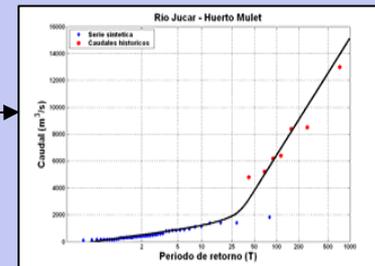
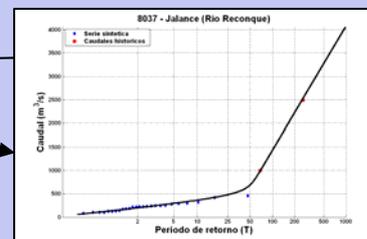
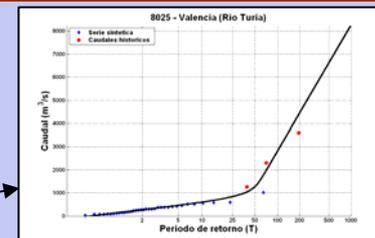
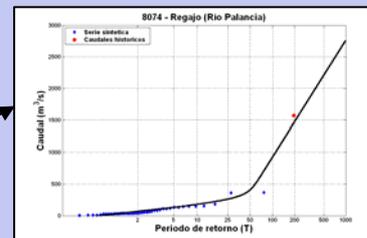
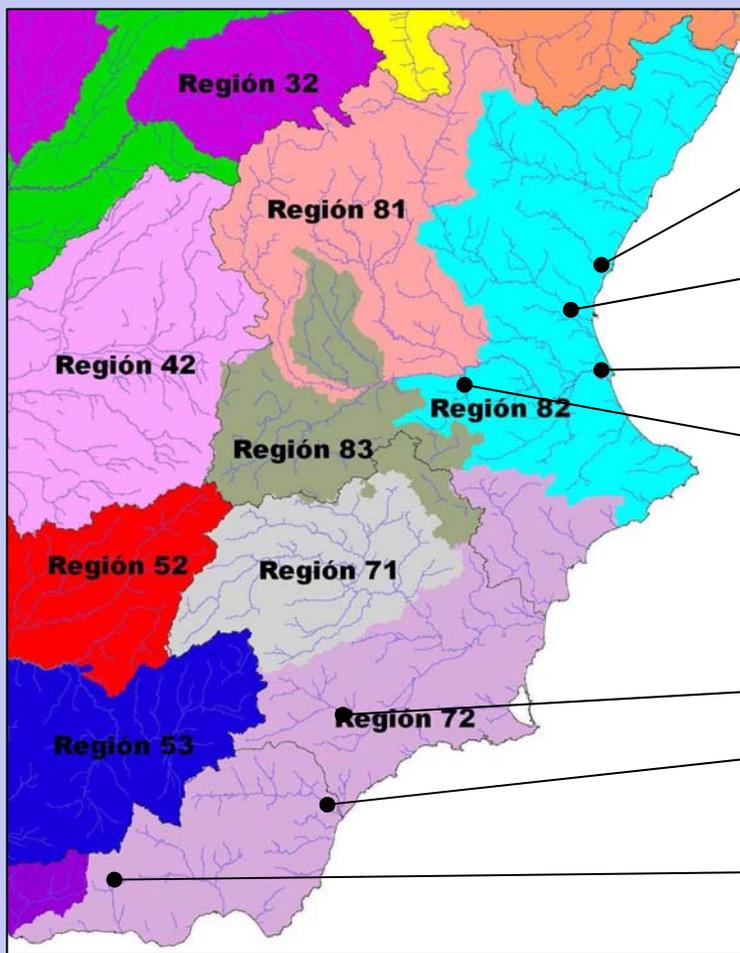
RECOPILOCIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA



Ejemplos de ajustes de leyes de frecuencia con datos históricos



FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN TCEV



Leyes de frecuencia con datos históricos. Cuencas del Júcar y Segura



FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN TCEV

•Función de Valores Extremos de Dos Componentes (TCEV):

$$F(x) = e^{-\left[-\alpha_1 e^{-\frac{x}{\theta_1}} - \alpha_2 e^{-\frac{x}{\theta_2}} \right]}$$

Parámetros: $\alpha_1, \alpha_2, \theta_1, \theta_2$

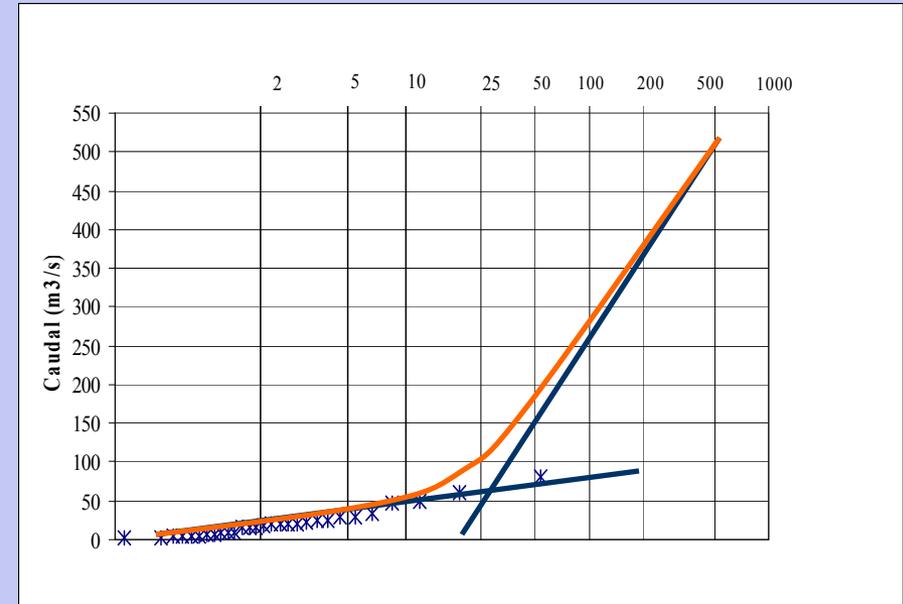
•Procedimiento de ajuste de la función TCEV:

- Si se dispone de suficiente información histórica: ajuste local mediante máxima verosimilitud.
- Si no se dispone de información histórica:
 - Ajuste local de una función Gumbel para la rama baja, eliminando previamente los outliers de la serie.
 - Ajuste de una función Gumbel para la rama alta a partir de información regional:

$$(L - C_v)_2 = -0.24$$

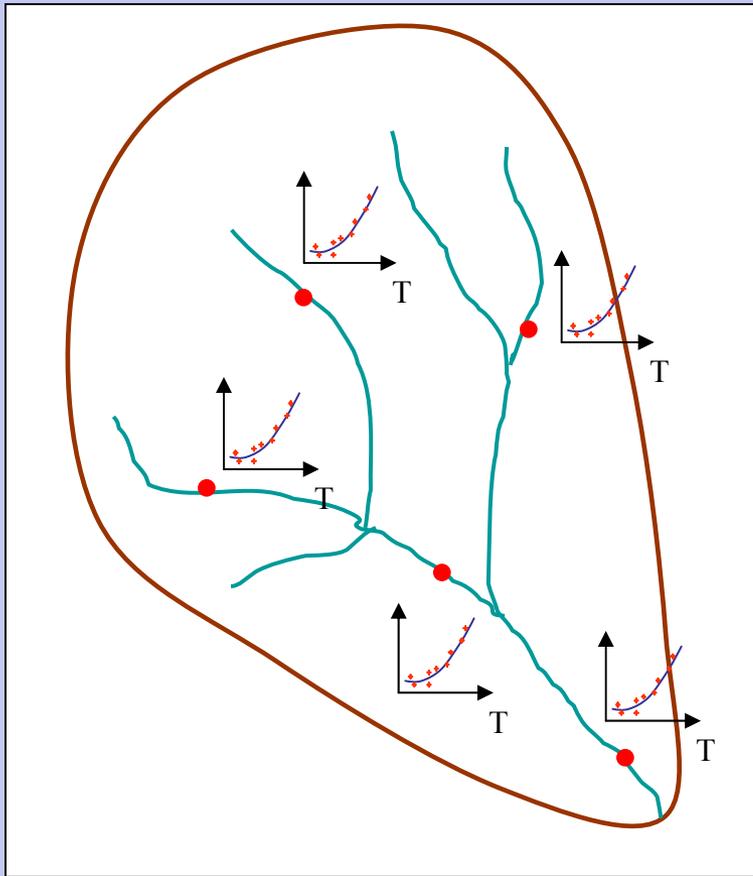
$$M_2 = -10^{2.6039} \cdot M_1^{0.5659} \cdot (L - C_v)_1^{0.6861}$$

- La función TCEV queda definida mediante el producto de ambas funciones.





CÁLCULO DE CUANTILES EN LOS PUNTOS AFORADOS



Estación	T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 100 años	T = 500 años
Región 31 Tajo Occidental						
3028	898	1726	2344	3213	4706	6788
3162	66	122	164	222	323	463
E3056	224	406	542	733	1061	1518
E3066	599	939	1193	1549	2161	3015
3141	652	1101	1436	1908	2719	3849
3144	62	113	151	204	295	423
3146	190	310	399	525	741	1042
3147	266	467	616	827	1188	1692
3148	122	207	271	360	514	729
3161	224	432	586	804	1177	1698
3163	161	270	352	467	664	939
3168	202	412	568	787	1165	1691
3169	221	439	602	831	1225	1775
3182	85	159	215	293	427	613
3199	63	130	179	249	369	536
3200	53	104	142	196	288	416
3213	60	130	182	255	380	555
3217	31	76	110	158	240	354
3218	61	114	155	211	308	444
3220	44	93	129	180	268	390
3222	55	122	172	243	364	533
3224	18	33	44	60	88	126
3226	98	168	220	294	420	597
3235	65	120	161	219	318	456
3240	30	53	69	93	134	190
3244	42	85	117	163	241	350
3245	22	33	41	52	71	97
3246	41	73	97	131	189	270
3261	40	76	103	141	206	297
E3094	48	109	154	217	327	479
3278	37	74	101	140	207	300



ESTIMACIÓN DE LOS CUANTILES EN LOS PUNTOS NO AFORADOS

- Dos posibilidades:

- Métodos hidrometeorológicos:

- Simulan matemáticamente el proceso lluvia-escorrentía.
 - Requieren hipótesis simplificadoras (solo aplicable a cuencas pequeñas).
 - Calibrados para reproducir la ley de frecuencia de los puntos aforados.

- Métodos estadísticos:

- A partir del estudio de la correlación de las características estadísticas de los puntos aforados con diversas características físicas de las cuencas.

ESTIMACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO RACIONAL

$$Q = \frac{CIA}{3.6} K$$

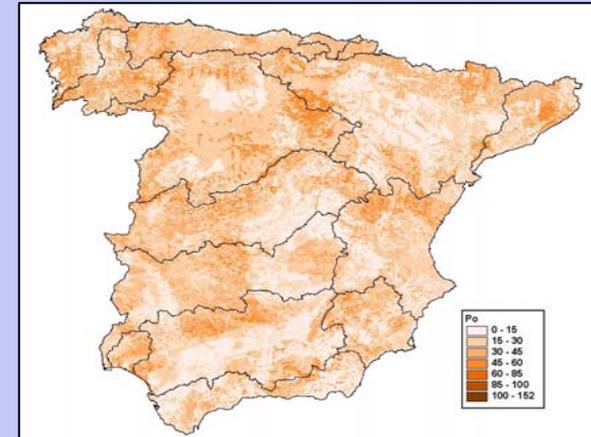
Intensidad de precipitación: $I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1-t^{0.1}}}{28^{0.1}-1}}$

Coeficiente de escorrentía: $C = \frac{(P_d / P_0 - 1)(P_d / P_0 + 23)}{(P_d / P_0 + 11)^2}$

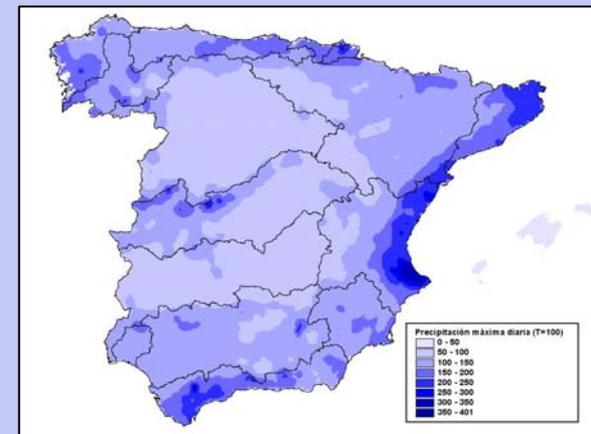
Coeficiente de uniformidad: $K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$

- Capas utilizadas (resolución 500x500):

- MDT y mapa de direcciones de drenaje generado a partir del MDT del Servicio Geográfico del Ejército.
- Mapas de precipitaciones elaborados a partir del trabajo de Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular.
- Mapa de P_0 procedente de la Tesis "Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: datos de perfiles de suelos y teledetección".



Mapa del umbral de escorrentía en condiciones medias de humedad



Mapa de precipitaciones diarias para 100 años de periodo de retorno

CALIBRACIÓN REGIONAL DEL MÉTODO RACIONAL

- Calibración del parámetro P_0 :

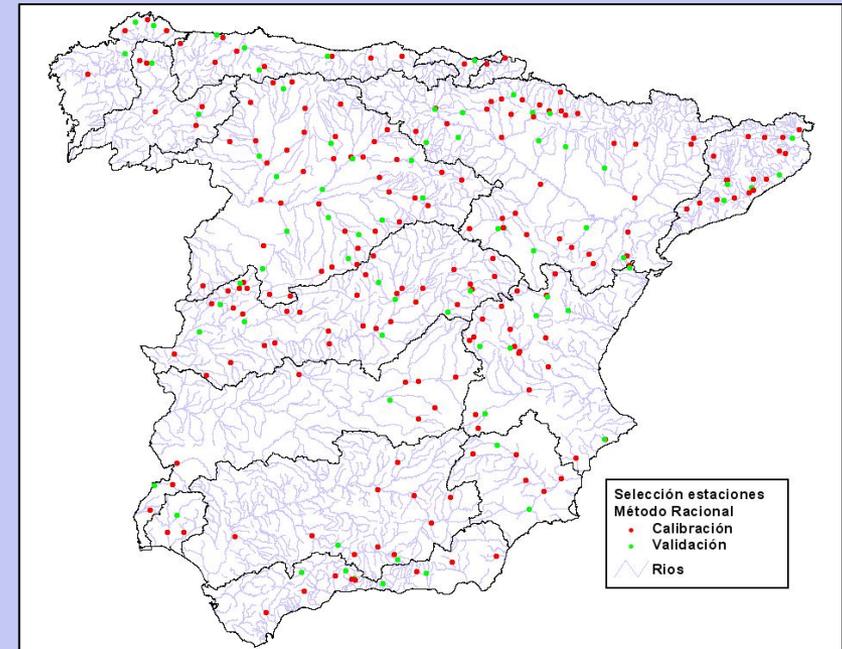
$$P_0' = \beta \cdot P_0$$

- Criterio de selección de estaciones de aforos:

- Series con más de 30 datos de caudal máximo instantáneo.
- Estaciones no afectadas por embalses.

- Número de estaciones seleccionadas:

- 185 estaciones para calibración.
- 60 estaciones para validación.



Estaciones seleccionadas para calibración del
método racional



CALIBRACIÓN REGIONAL DEL MÉTODO RACIONAL

- Calibración del parámetro P_0 :

$$P'_0 = \beta \cdot P_0$$

- Asignación de probabilidades a los datos mediante la fórmula de Gringorten.

$$F(x) = \frac{i - 0.44}{N + 0.12}$$

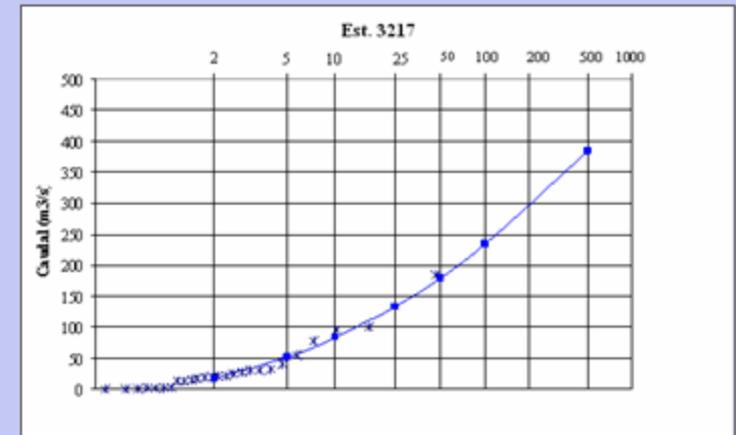
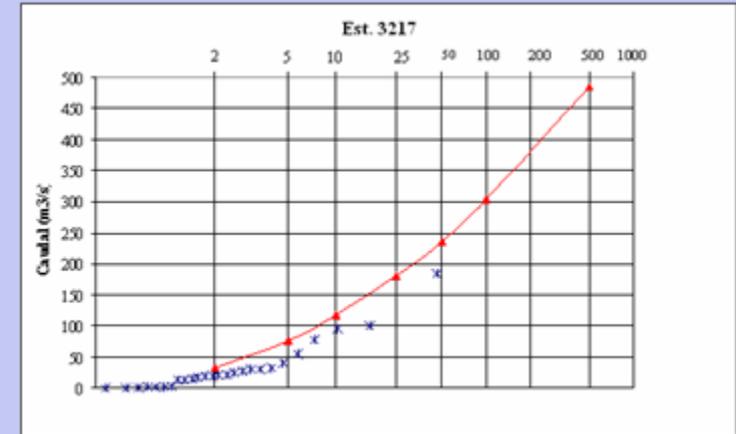
F(x): Valor de la función de distribución para el dato x.

i: Posición del dato en la serie ordenada de menor a mayor.

N: número de datos de la serie.

- Cálculo de los cuantiles con el método racional para distintos β .
- Determinación del coeficiente β que ajusta los resultados del modelo a los aforos.

- Ajustado al cuantil de 10 años de periodo de retorno.



Estaciones seleccionadas para calibración del método racional



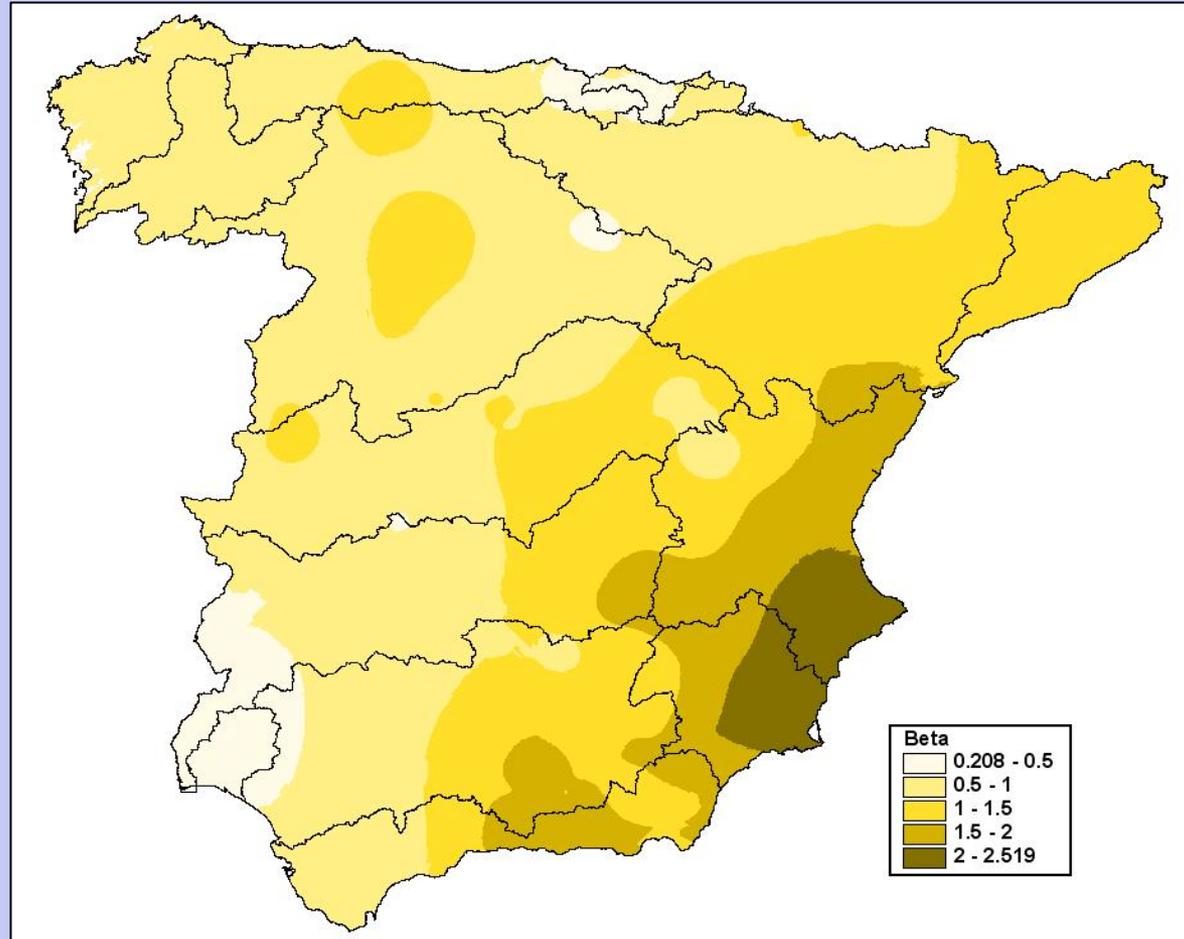
CALIBRACIÓN REGIONAL DEL MÉTODO RACIONAL



Valores del coeficiente corrector β en las estaciones seleccionadas



CALIBRACIÓN REGIONAL DEL MÉTODO RACIONAL

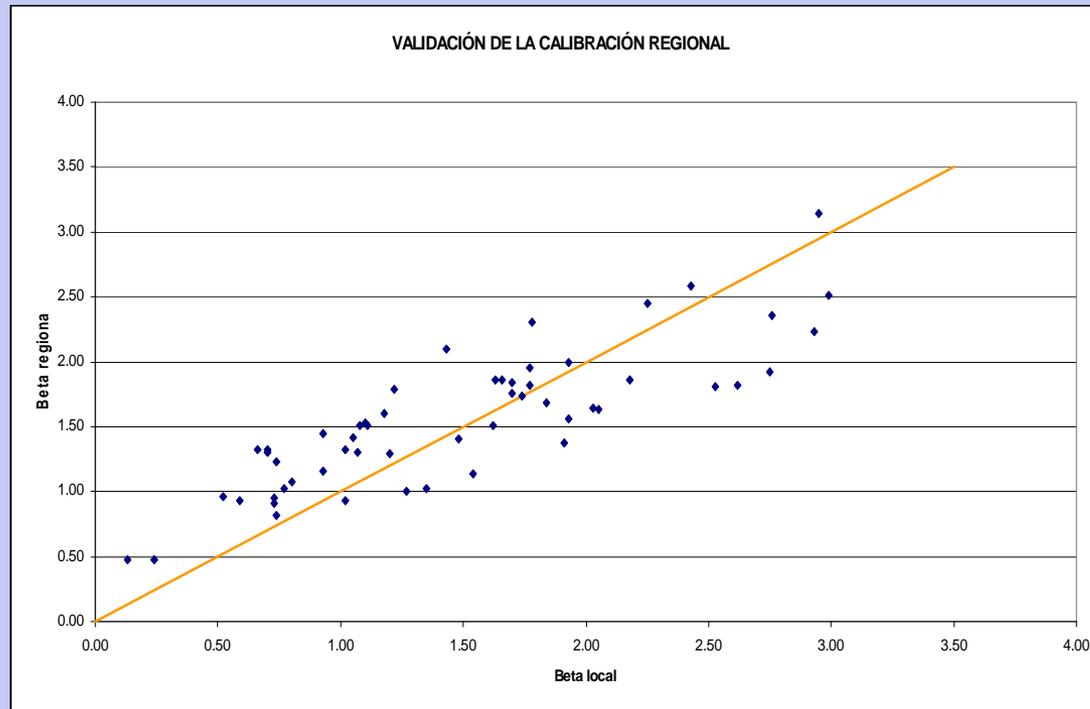


Mapa del coeficiente corrector β obtenido mediante interpolación
espacial



ESTIMACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO RACIONAL

- Validación del mapa del coeficiente corrector β .

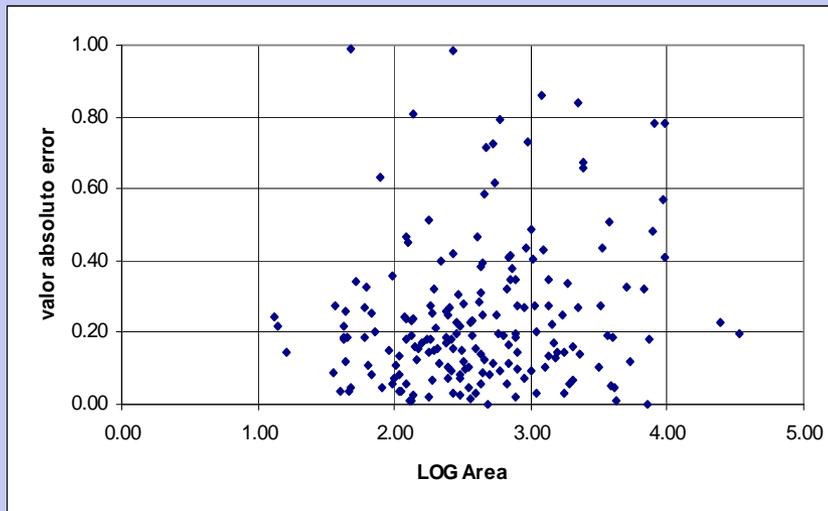


Comparación entre los valores regionales y locales del coeficiente β para las estaciones de validación

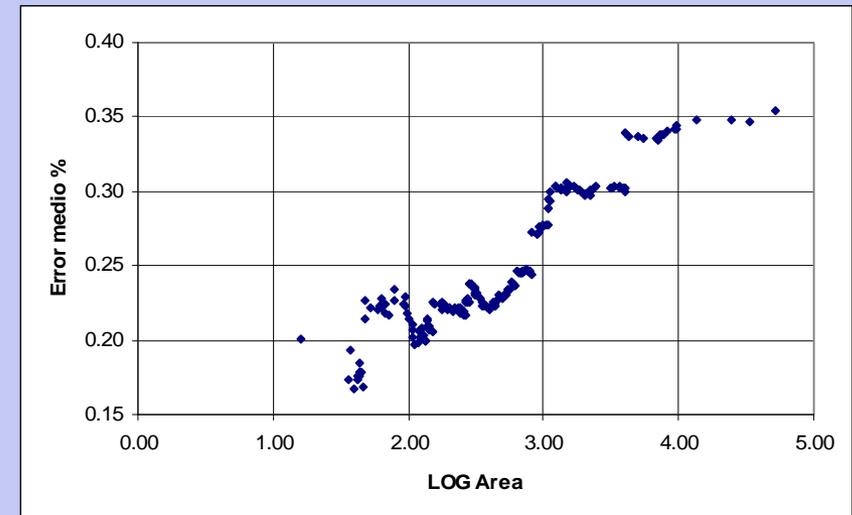


ESTIMACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO RACIONAL

- Análisis del error en la estimación en función del tamaño de la cuenca.



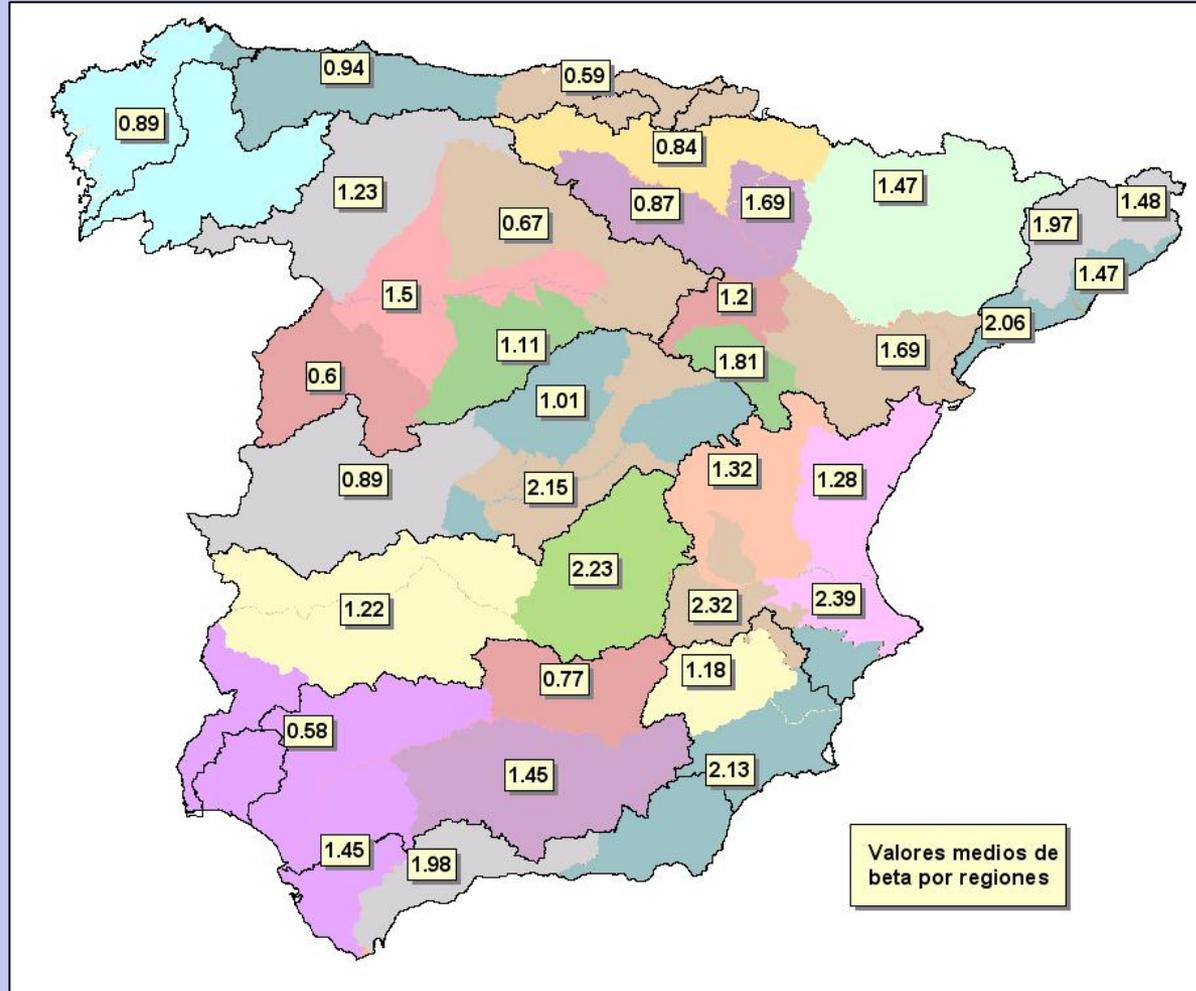
Error en función del tamaño de la cuenca



Error medio en función del tamaño de la cuenca



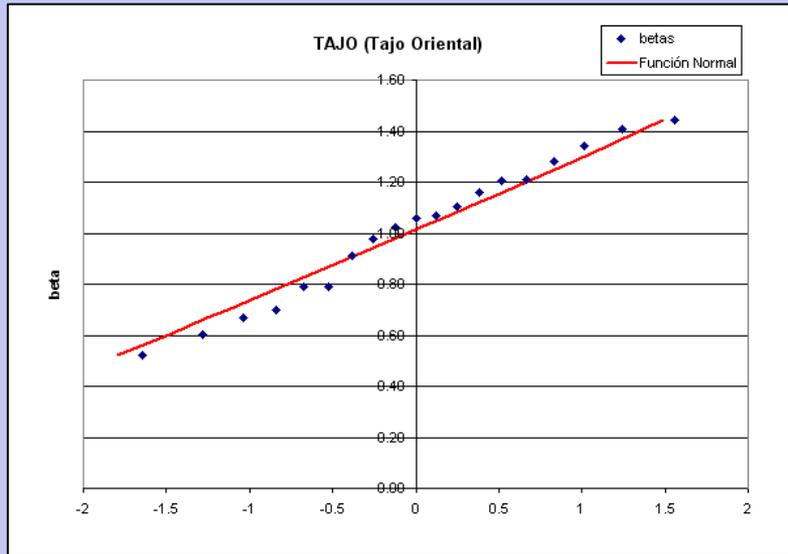
CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE β POR REGIONES



Valor medio del coeficiente corrector en cada región estadística



CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE β POR REGIONES



Distribución de probabilidades del coeficiente corrector β en la región 32 – Tajo oriental

Región	Media	Intervalos de confianza		
		50%	67%	90%
31	0,90	± 0,20	± 0,30	± 0,50
32	1,00	± 0,20	± 0,30	± 0,45
33	2,15	± 0,25	± 0,40	± 0,65

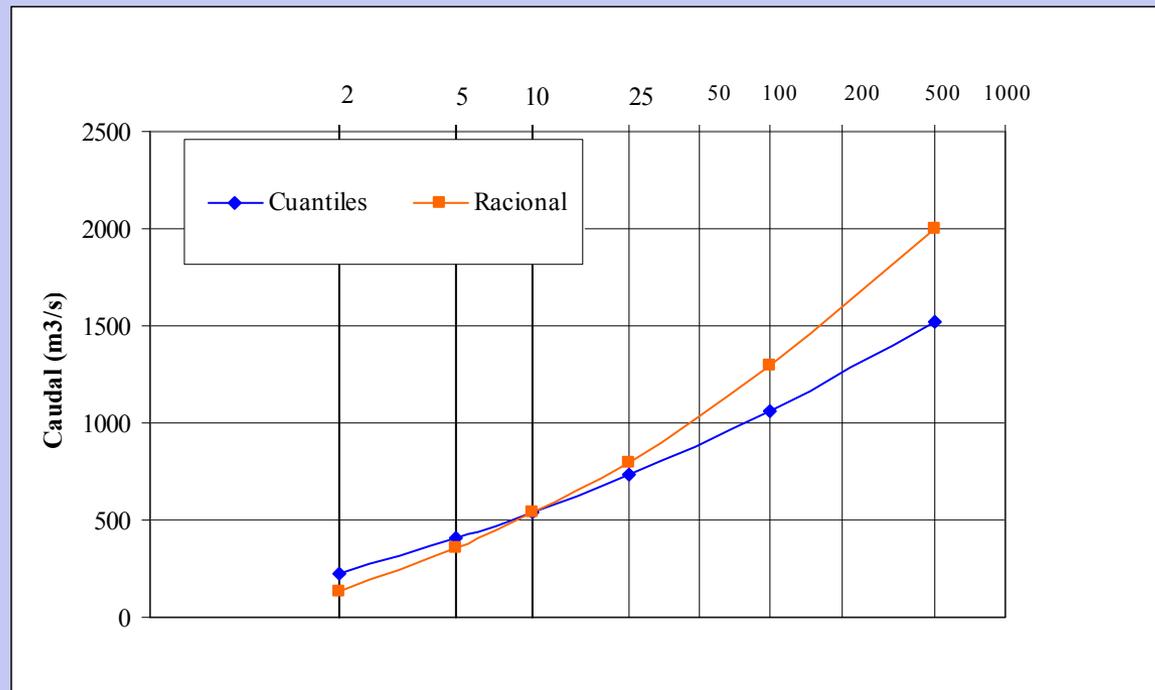
Valor medio e intervalos de confianza del coeficiente corrector β en las regiones estadísticas del Tajo

Región	Valor medio beta	Intervalo 50%	Intervalo 67%	Intervalo 90%
11	0,89	0,2	0,3	0,5
12	0,94	0,2	0,3	0,45
13	0,59	0,15	0,25	0,4
21	1,23	0,25	0,35	0,55
22	1,5	0,1	0,1	0,2
23	0,67	0,25	0,35	0,6
24	1,11	0,15	0,2	0,35
25	0,6	0,1	0,2	0,3
31	0,89	0,2	0,3	0,5
32	1,01	0,2	0,25	0,45
33	2,15	0,25	0,4	0,65
41	1,22	0,2	0,25	0,45
42	2,23	0,25	0,3	0,55
52	0,77	0,15	0,2	0,35
53	1,45	0,3	0,45	0,8
61	1,98	0,25	0,4	0,6
71	1,18	0,15	0,2	0,35
72	2,13	0,3	0,45	0,75
81	1,32	0,25	0,35	0,6
83	2,32	0,15	0,25	0,4
91	0,84	0,15	0,25	0,4
92	1,47	0,3	0,4	0,7
93	1,69	0,2	0,25	0,45
94	1,81	0,15	0,2	0,35
95	1,2	0,15	0,25	0,4
101 A	1,48	0,2	0,3	0,5
101 B	1,97	0,2	0,3	0,5
102 A	1,47	0,15	0,2	0,4
102 B	2,06	0,15	0,25	0,4
51A	1,45	0,35	0,5	0,85
51B	0,58	0,2	0,25	0,45
82 A	1,28	0,35	0,5	0,85
82 B	2,39	0,25	0,35	0,6
96A	1,69	0,3	0,4	0,7
96B	0,87	0,2	0,25	0,4



CALIBRACIÓN REGIONAL DEL MÉTODO RACIONAL

- Valor del coeficiente corrector β para distintos periodos de retorno:

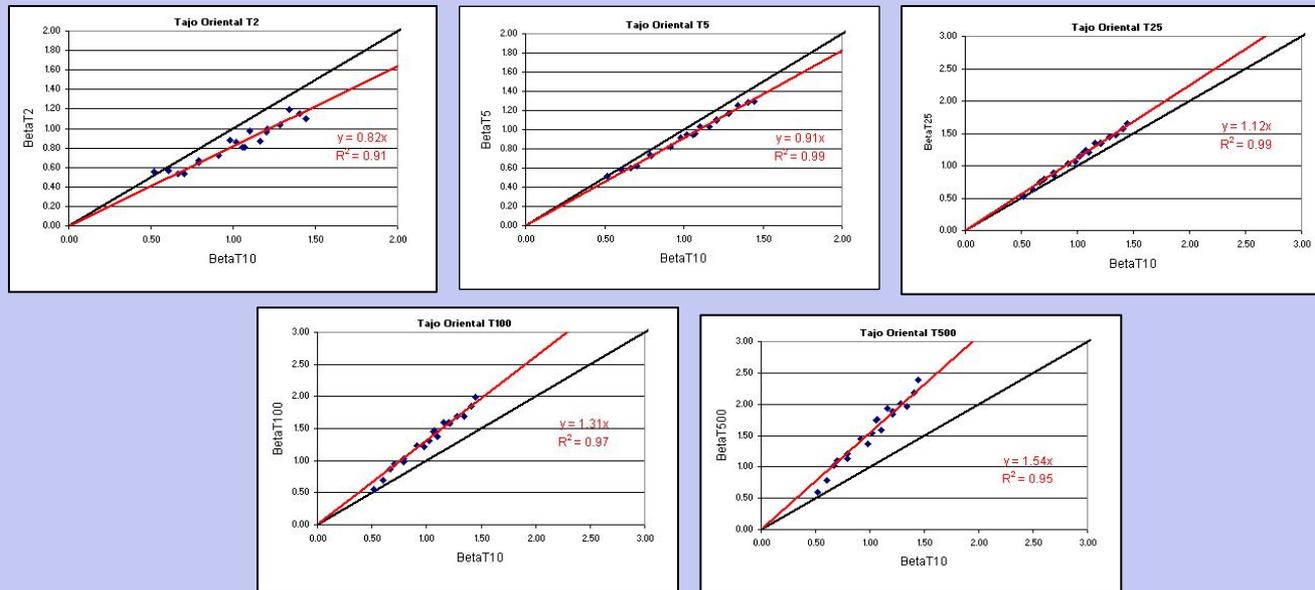


Comparación de la ley de frecuencia obtenida a partir de los datos de aforos y del método racional



CALIBRACIÓN REGIONAL DEL MÉTODO RACIONAL

- Valor del coeficiente corrector β para distintos periodos de retorno:



Coefficientes correctores en función del periodo de retorno

$$\beta_T = \beta_{10} \cdot F_T$$

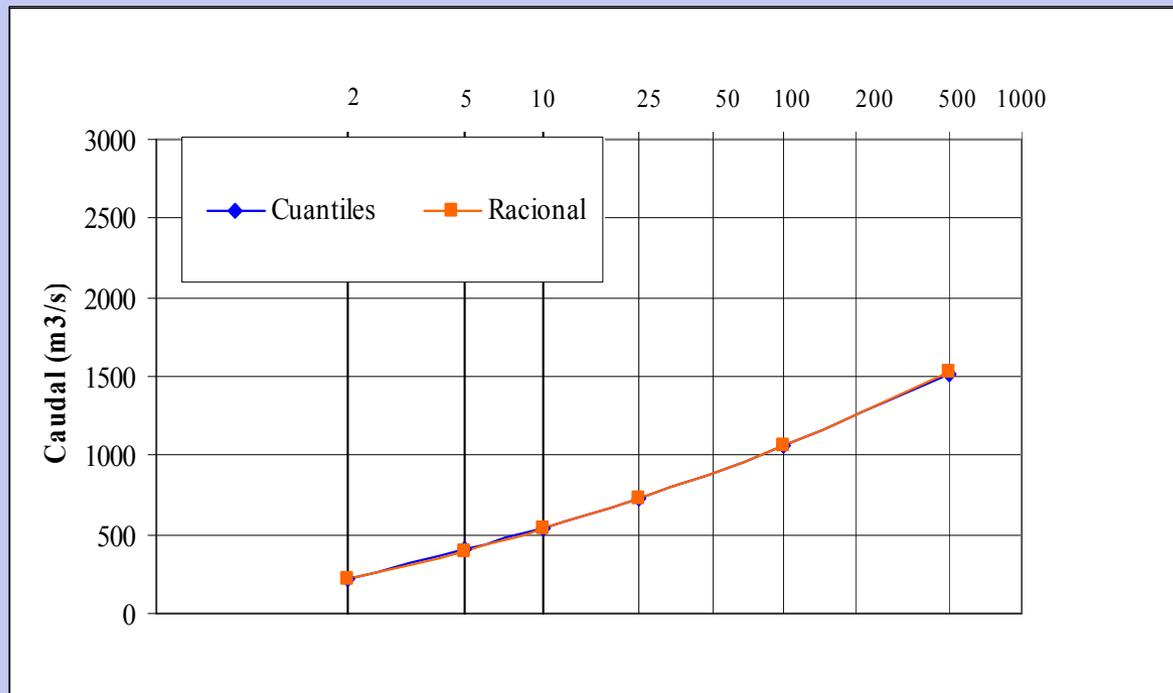
Región	Periodo de retorno (años)				
	2	5	25	100	500
31	0,82	0,91	1,12	1,31	1,54
32	0,87	0,93	1,1	1,26	1,45
33	0,7	0,88	1,15	1,38	1,62

Factores correctores del coeficiente β



CALIBRACIÓN REGIONAL DEL MÉTODO RACIONAL

- Valor del coeficiente corrector β para distintos periodos de retorno:



Comparación de la ley de frecuencia obtenida a partir de los datos de aforos y del método racional



MÉTODO ESTADÍSTICO

- Métodos para el cálculo de caudales con información regional:
 - Permiten la transferencia de información estadística de los puntos aforados a localizaciones sin registros.
- Posibles enfoques:
 - Regionalización de los cuantiles de cada periodo de retorno estimados en las estaciones a partir de un análisis local.
 - Selección de un tipo de función de distribución y regionalización de los estadísticos necesarios para su ajuste (media, C_v , C_s , ...).
- Ventajas del método seleccionado:
 - Capacidad para considerar en el análisis la información histórica.
 - Capacidad para considerar la correlación entre estaciones.
 - Amplia experiencia en su aplicación a escala nacional (método empleado por el USGS para el cálculo de caudales máximos en EE.UU.).



MÉTODO ESTADÍSTICO

- Procedimiento para el cálculo de los cuantiles de caudal con información regional:
 - ❑ Definición de las regiones con comportamiento estadístico homogéneo.
 - ❑ Cálculo del modelo estadístico: relación entre los cuantiles de distintos periodos de retorno y distintas características de la cuenca.
 - Mediante modelos de regresión lineal múltiple entre los logaritmos de las variables.

$$\log Y_T = b_0 + b_1 \log X_1 + b_2 \log X_2 + \dots + b_n \log X_n$$

$$Y_T = 10^{b_0} X_1^{b_1} X_2^{b_2} \dots X_n^{b_n}$$

- Mediante el método de los Mínimos Cuadrados.



MÉTODO ESTADÍSTICO

• Variables analizadas:

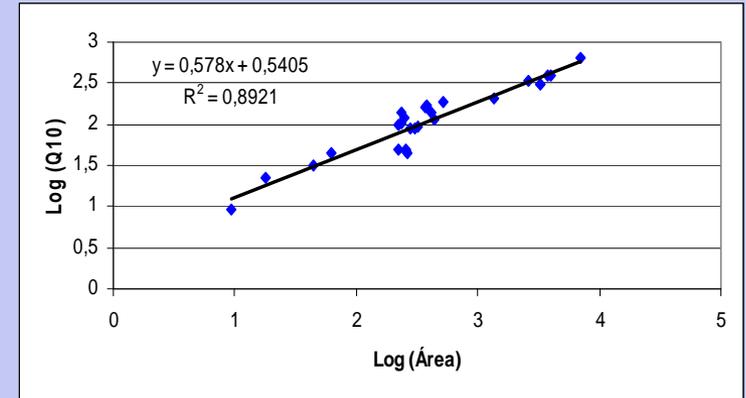
- Características físicas de la cuenca: Área de la cuenca, Perímetro de la cuenca, Longitud del río principal, Pendiente del río principal, Altitud media de la cuenca, Pendiente media de la cuenca.
- Características climáticas: Cuantiles de precipitación máxima diaria, Precipitación media anual.
- Características del suelo y de los usos del suelo: Parámetro P_0 , Tasa mínima de infiltración.

• Criterio para selección de las variables del modelo:

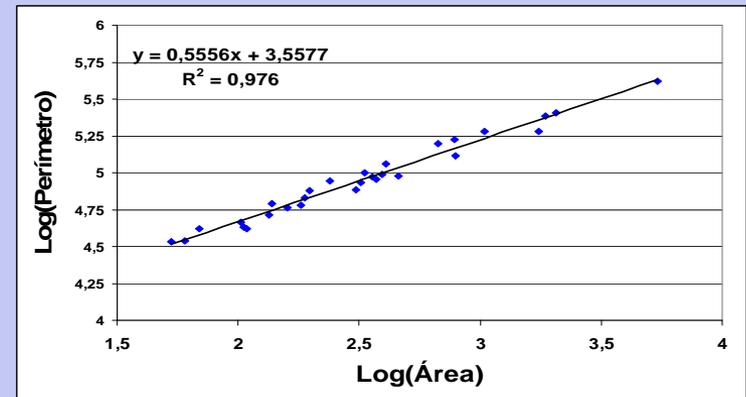
- Alta correlación con los cuantiles.
- Baja correlación con el resto de variables.

• Variables seleccionadas para la cuenca del Tajo:

- Área de la cuenca, Cuantil de precipitación máxima diaria, Altitud media de la cuenca, Pendiente media de la cuenca, parámetro P_0 .



Correlación entre el Log del área y el del cuantil



Correlación entre las variables área y perímetro



MÉTODO ESTADÍSTICO

- Proceso de ajuste de las ecuaciones de regresión:
 - Ajustadas mediante mínimos cuadrados: Ordinarios y generalizados.
 - Estadístico empleados para la selección del modelo: coeficiente de Mallow, coeficiente de determinación, error cuadrático medio, error cuadrático de predicción.
- Modelos seleccionados:
 - Región 31 – Tajo occidental: A-P-H
 - Región 32 - Tajo oriental: A-P-H
 - Región 33 - Tajuña: A-P

$$Q_2 = 10^{-4.3438} A^{0.6792} P_2^{0.8427} H^{0.9362}; R^2 = 0.91; R_{corr}^2 = 0.90; e = 33\%$$

$$Q_5 = 10^{-2.9825} A^{0.6569} P_5^{0.8573} H^{0.5532}; R^2 = 0.93; R_{corr}^2 = 0.92; e = 29\%$$

$$Q_{10} = 10^{-2.3975} A^{0.6419} P_{10}^{0.7751} H^{0.4446}; R^2 = 0.93; R_{corr}^2 = 0.92; e = 28\%$$

$$Q_{25} = 10^{-1.7803} A^{0.6177} P_{25}^{0.6745} H^{0.3493}; R^2 = 0.93; R_{corr}^2 = 0.92; e = 27\%$$

$$Q_{100} = 10^{-1.0314} A^{0.5822} P_{100}^{0.5146} H^{0.2703}; R^2 = 0.93; R_{corr}^2 = 0.92; e = 28\%$$

$$Q_{500} = 10^{-0.1655} A^{0.5387} P_{500}^{0.2921} H^{0.2134}; R^2 = 0.92; R_{corr}^2 = 0.91; e = 32\%$$

Ecuaciones para la región 32



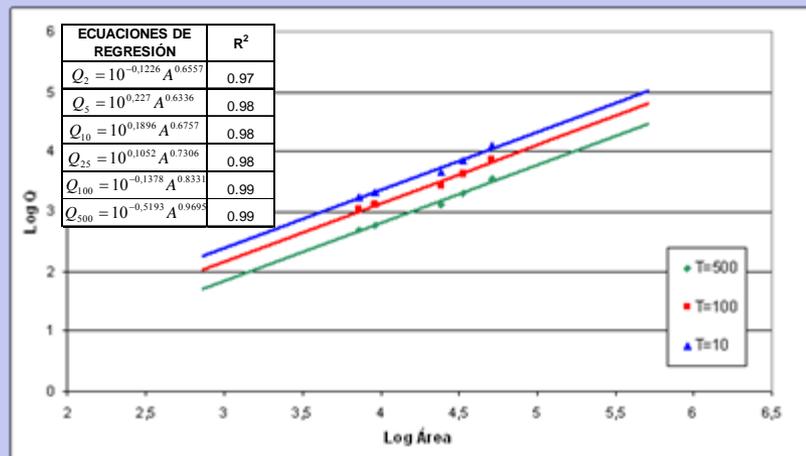
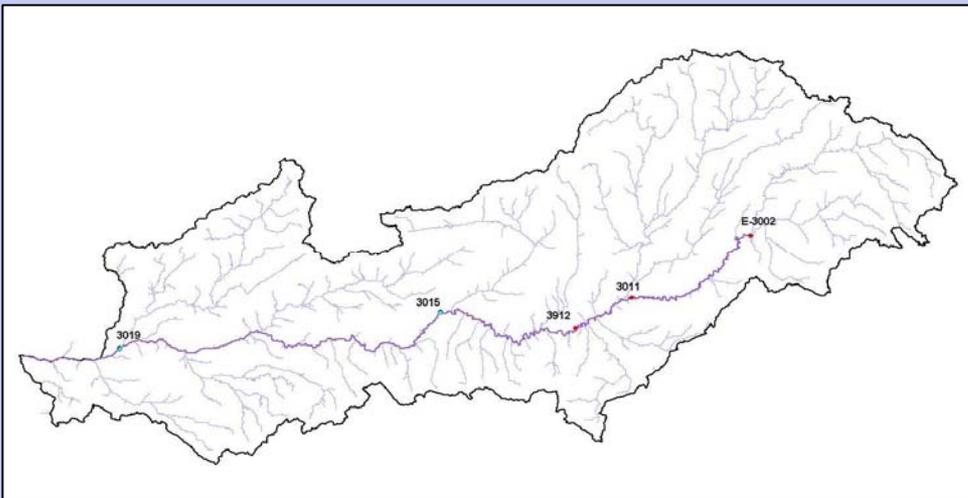
MÉTODO ESTADÍSTICO

Región	Ec. de Regresión (T=10)	R ²
31	$Q_{10} = 10^{-3,3602} A^{0,8419} P_{10}^{1,1913} H^{0,4451}$	0,97
32	$Q_{10} = 10^{-2,3975} A^{0,6419} P_{10}^{0,7751} H^{0,4446}$	0,92
33	$Q_{10} = 10^{-6,3343} A^{0,9346} P_{10}^{2,9878}$	0,70
23	$Q_{10} = 10^{-9,3464} A^{0,7338} H^{3,2914} t_{mf}^{-0,4118}$	0,89
21	$Q_{10} = 10^{-2,8375} A^{0,79} P_{10}^{2,0257} P_0^{-0,6612} H_{1500}^{0,0323}$	0,82
22	$Q_{10} = 10^{-20,0814} A^{0,6364} P_{10}^{11,6693}$	0,96
24	$Q_{10} = 10^{-0,9069} A^{0,5851} P_{10}^{0,9128} P_0^{-0,2529}$	0,93
25	$Q_{10} = 10^{-1,5903} A^{0,8536} P_{10}^{1,5593} t_{mf}^{-0,8164}$	0,94
11	$Q_{10} = 10^{-3,69} A^{0,749} P_{10}^{1,871} H^{0,199}$	0,88
12	$Q_{10} = 10^{-4,35} A^{0,7225} P_{10}^{2,5135}$	0,88
13	$Q_{10} = 10^{2,4439} A^{0,719} P_0^{-1,0612}$	0,70
91	$Q_{10} = 10^{-5,3835} A^{0,7708} P_{10}^{2,7156} H^{-0,2066} t_{mf}^{-0,0146}$	0,94
92	$Q_{10} = 10^{-5,2974} A^{0,6731} P_{10}^{2,9953} H_{1500}^{0,0536}$	0,93
96	$Q_{10} = 10^{-0,2446} A^{0,6141} H_{1500}^{0,0438} S^{0,0949}$	0,93
95	$Q_{10} = 10^{-0,7892} A_{eq}^{0,4083}$	0,95
94	$Q_{10} = 10^{-0,2003} A_{eq}^{0,6631}$	0,81
93	$Q_{10} = 10^{-3,8337} A^{0,5454} P_{10}^{2,2615}$	0,93
81	$Q_{10} = 10^{-0,304} A^{0,6222} P_{10}^{0,8831} S^{0,7376} t_{mf}^{-1,5928}$	0,89
82	$Q_{10} = 10^{-0,6861} A_{ef}^{0,7223} P^{0,5822}$	0,81

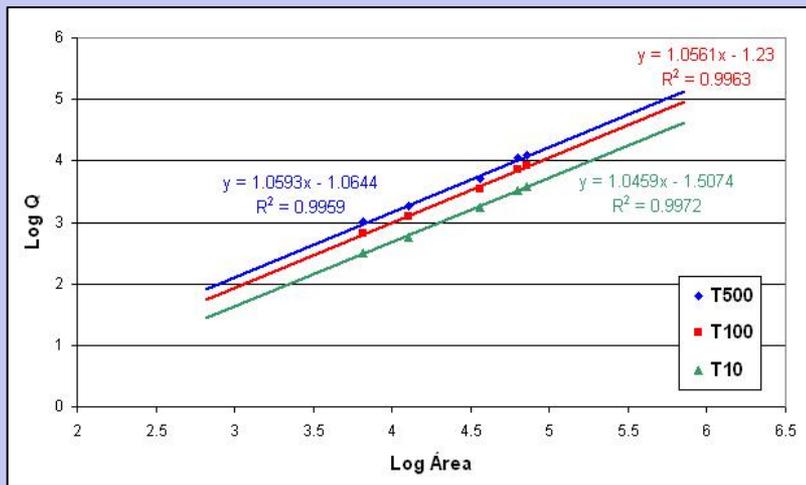
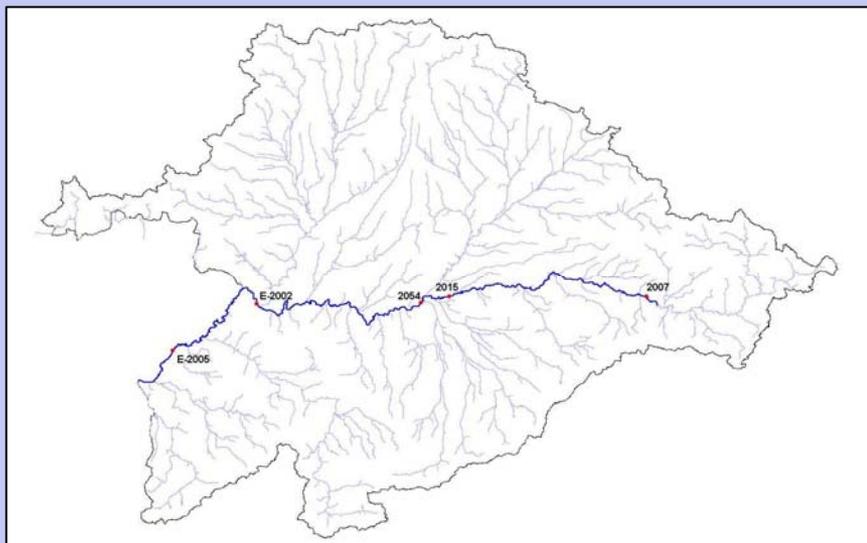
Ecuaciones en las distintas regiones para 10 años de periodo de retorno



ECUACIONES EN GRANDES EJES FLUVIALES



Ecuaciones en el río Tago

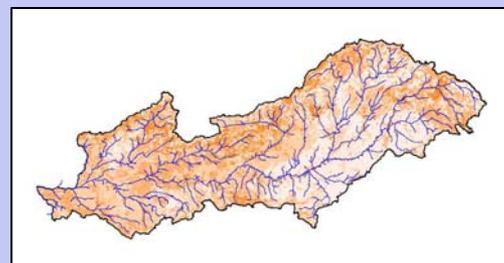
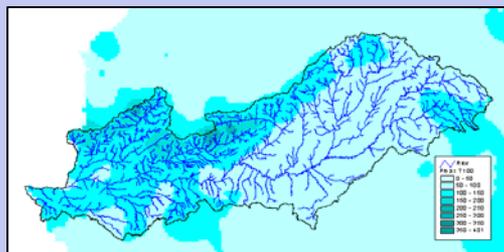
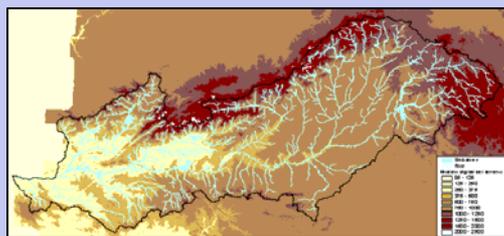


Ecuaciones en el río Duero

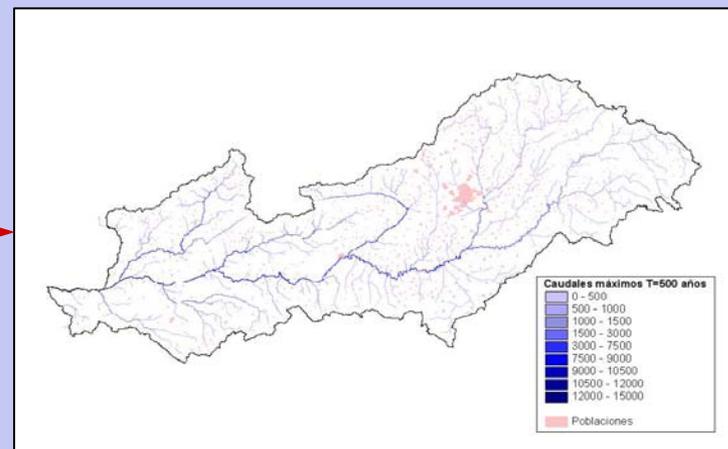


ELABORACIÓN DE LOS MAPAS CON LOS RESULTADOS

- Composición de los resultados obtenidos mediante los métodos racional modificado y estadístico.
- Correcciones locales para conseguir transiciones suaves en los puntos de enlace de ambos métodos.



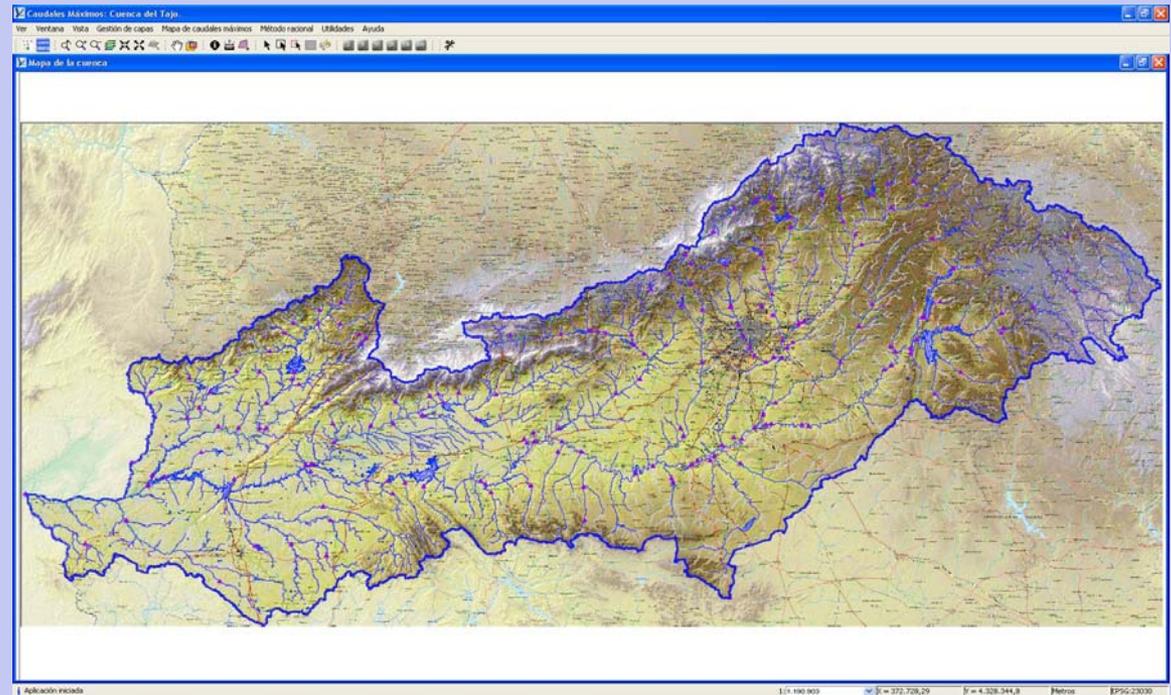
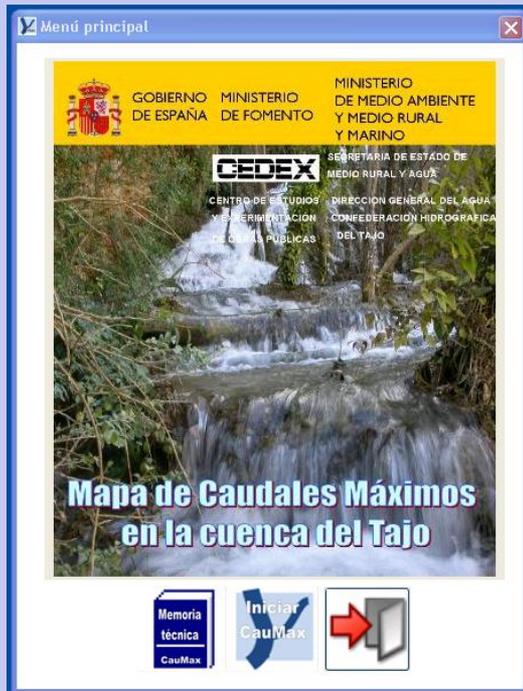
Método de cálculo





APLICACIÓN INFORMÁTICA

- Facilita la visualización y consulta de los mapas.
- Incluye herramientas para estimar los caudales en cuencas de menos de 50 km² mediante aplicación del método racional.



http://hercules.cedex.es/caumax/caumaxv1_1_tajo.rar



OBTENCIÓN DE UN VALOR ORIENTATIVO PARA LA MCO

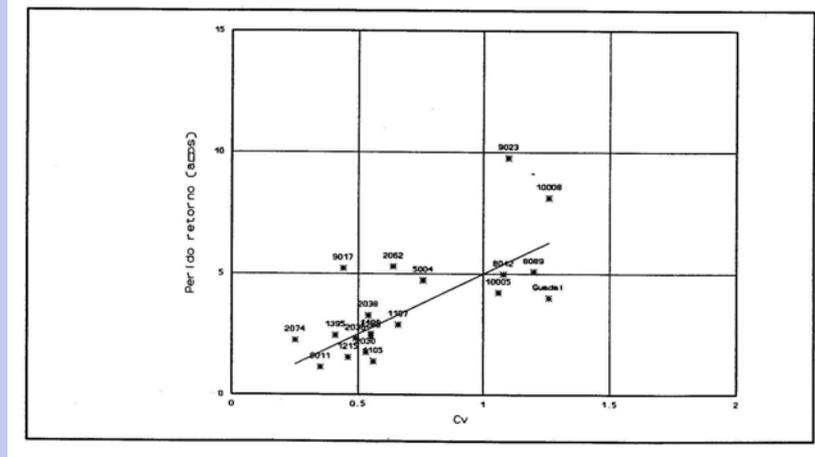
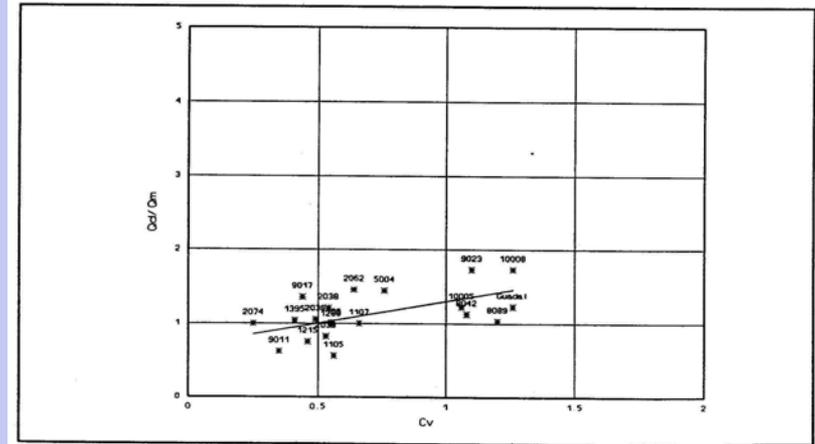
• Expresiones aproximadas propuestas en "Aspectos prácticos de la definición de la Máxima Crecida Ordinaria (CEDEX, 1994)":

❑ Relación entre el caudal de la MCO y la media (Q_m) y el C_v de la serie de caudales máximos anuales:

$$Q_{MCO} = Q_m \cdot (0,7 + 0,6 \cdot C_v)$$

❑ Relación entre el periodo de retorno de la MCO y el C_v de la serie de caudales máximos anuales:

$$T_{MCO} = 5 \cdot C_v$$



Relaciones aproximadas de la MCO con los estadísticos de la serie de caudales máximos anuales (CEDEX, 1994).

OBTENCIÓN DE UN VALOR ORIENTATIVO PARA LA MCO

- Se puede obtener una estimación aproximada para la MCO mediante:
 - ❑ La expresión aproximada que relaciona el periodo de retorno de la MCO con el C_v :

$$T_{MCO} = 5 \cdot C_v$$
 - ❑ Asignación de un valor regional del C_v a cada una de las regiones estadísticas.
 - ❑ Interpolación entre los cuantiles del mapa de caudales máximos.

Se trata de un valor orientativo obtenido a través de expresiones aproximadas.



Región	C_v	T_{MCO}	Región	C_v	T_{MCO}
31	0,79	4	91	0,47	2,4
32	0,79	4	92	0,7	3,5
33	1,04	5	93	1,36	6,8
21	0,48	2,4	94	1,04	5,2
22	1,15	5,8	95	1,04	5,2
23	0,66	3,3	96	0,74	3,7
24	0,75	3,8	41	1,2	6
25	0,75	3,8	42	1,05	5,3
11	0,59	3	51	0,96	4,8
12	0,54	2,7	52	0,74	3,7
13	0,54	2,7	53	1,12	5,6
71	1,13	5,6	81	0,87	4,4
72	1,33	6,6	82	1,29	6,5
101	0,91	4,5	83	1,19	6
102	1,39	7	61	1,09	5,5



MAPA DE CAUDALES MÁXIMOS EN ESPAÑA

- Estado de elaboración de los mapas:

