CARACTERISTICAS DE LAS AVENIDAS EN LOS CURSOS DE LA CUENCA DEL RIO BESOS

Jordi Corominas Dulcet*

RESUMEN

La cuenca del río Besòs presenta un típico clima mediterráneo presentando periódicamente bruscas avenidas. La configuración geográfica de la cuenca da lugar a que se registren tiempos de concentración y de respuesta muy breves, influenciados además por la corta duración y alta intensidad de los aguaceros. No es aconsejable la correlación sencilla entre el caudal y la lluvia de una sola estación pluviométrica por la falta de representatividad respecto a la lluvia caída en toda la cuenca. La correlación simultánea con dos o más estaciones proporciona un mejor ajuste y en ella se evidencia una mejor correlación con las lluvias de corta duración (menos de 6 horas) más que con las recogidas en 24 horas.

SUMMARY

The Besos river basin has a typical mediterranean climate showing periodical sudden floods. The geographical configuration of the basin imply short concentration and lag times which are also influenced by the short duration and high intensity of storms. The simple linear regression analysis between the peak discharge and rainfall measured at one station is not advisable given the irregularities in rainfall distribution. A better agreement is found with multivariate linear regression analysis. With this analysis the peak discharge is better correlated with the short rainfall records (less than 6 hours) than with longer records (24 hours).

* E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Para la interpretación del comportamiento de las avenidas es necesario el análisis de un buen número de factores. En un extremo se encuentran las características específicas de la cuenca: el efecto barrera para la circulación atmosférica, la geometría (superficie, longitud del curso, pendiente), así como la litología y vegetación, éstas de gran influencia y la escorrentía. En el otro se encuentran los factores variables en cada aguacero, cuya coincidencia en determinadas proporciones dan lugar a enormes caudales instantáneos. En dichos factores se consideran la intensidad de la lluvia, la duración, la extensión (distribución en la cuenca), estado de saturación del terreno (lluvias previas) y el sentido de desplazamiento del núcleo lluvioso.

La dificultad del análisis de las avenidas estriba en que el caudal traduce y simplifica en un solo valor, la influencia simultánea de estos factores, con lo que pueden cometerse graves errores cuando se pretende expresar su comportamiento a través de modelos sencillos.

Las avenidas de la cuencia del río Besòs

El río Besòs es el colector de diversos cursos que tienen su nacimiento en la Cordillera Prelitoral catalana: R. Mogent, R. Congost, R. Tenes, la Rra. de Caldes y R. Ripoll. Sus avenidas se repiten de forma periódica siendo las más recordadas las correspondientes al 25 de septiembre de 1962 y la del 20 de septiembre de 1971, aunque son de citar las de noviembre de 1872, las del 14 al 18 de enero de 1898, la del 31 de agosto de 1926 o las del 15 de diciembre de 1943 y 23 de febrero de 1944, estas últimas estudiadas por PUCHADES (1948). Existen dos épocas del año en las que se concentran estos fenómenos, otoño y primavera. Una simple observación de 57 crecidas aforadas en el R. Congost entre 1950 y 1982 demuestra que el 45% se produjeron de septiembre a diciembre y un 30% de marzo a mayo, si bien las de mayor caudal instantáneo se concentran en la estación otoñal (el 75% de las avenidas superiores a 60 m^3/s. en el citado período) y sobre todo durante el mes de septiembre (33% de ellas).

Los temporales de otoño normalmente responden a una situación de vientos de levante con la existencia de depresiones que se estacionan entre las costas de Francia y Argelia, con la presencia de altas presiones en el Atlántico y Centro de Europa. TOMAS (1963, 1972) describió las causas metereológicas que dieron lugar a las inundaciones de 1962 y 1971, en las que la confluencia de aire cálido cargado de humedad proviniente de Levante, obligado a ascender por la Cordillera Prelitoral con una gota fría cayendo sobre ella, provocó una rápida condensación del aire cálido, dando lugar a lluvias de gran intensidad.

Estas pluviometrías en un corto intervalo de tiempo se producen sobre unas cuencas de longitud muy corta y fuerte pendiente (tabla n.º 1), con lo

que el tiempo de concentración (Tc) es muy breve oscilando en las diversas cuencas entre 3 y 5 horas.

Tabla n.º 1. Características geométricas de las subcuencas del río Besòs y Tiempos de Concentración respectivos

Estación Aforos	Superficie (Km^2)	Longitud (Km)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Tiempo de Concentración F. Californiana	Giandotti
R. Congost La Garriga	158	22,25	1.065	4,8	2h. 20'	3h. 15'
R. Tenes Parets	152	40,06	860	2,1	5h.	4h. 40'
R. Caldes La Florida	110	30,1	898	3,0	3h. 30'	3h. 40'
R. Ripoll Montcada	242	39,51	1.065	2,7	4h. 30'	4h. 40'

Fórmula Californiana $Tc = 0{,}066\left(\frac{L}{J^{0.5}}\right)^{0{,}77}$

Giandotti $Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5L}{25{,}3\sqrt{J.L.}}$

L : longitud
J : pendiente
S : superficie

Influencia de la duración e intensidad del aguacero

Si analizamos el tiempo transcurrido entre el centro de gravedad de la lluvia y la punta de la avenida, o tiempo de respuesta (Tr) para diversas lluvias de distinta intensidad (tabla n.º 2), se observa que a grandes rasgos la intensidad de la fracción de la lluvia que da lugar a la crecida tiene una gran importancia. En efecto, en las lluvias de duración igual o superior a Tc, cuanto más intensas son (por encima de los 6 mm./h. en 3 horas en el ejemplo de la tabla n.º 2), más se acerca Tr a Tc, cuando la intensidad disminuye Tr aumenta en gran proporción. Las lluvias de corta duración (1-2 horas) si son intensas tienen respuestas muy rápidas puesto que la estación de aforos registra una punta de avenida de las aguas más próximas a la estación y, cuando llegan las aguas de la cabecera de la cuenca, ocupan la rama descendente del hidrograma por haberse detenido anteriormente la precipitación, laminándose así la avenida.

Por lo dicho, son de esperar avenidas a las 3-4 horas desde el centro de gravedad de las lluvias de duración igual o superior a Tc, en las cuencas de los ríos Congost y Caldes y, entre las 4 h. 30' y 5h. 30' en las del Tenes y

Ripoll y que serán de mayor caudal instantáneo en comparación con las lluvias de menor duración e intensidad parecida.

Influencia de la extensión de la lluvia

Para el diseño de obras de Ingeniería Civil o la previsión de avenidas a veces se utilizan expresiones sencillas y fáciles de obtener para el cálculo de caudales máximos de avenidas. Estas expresiones como es la fórmula racional u otras similares suelen ser utilizadas considerando la lluvia recogida en 24 horas para determinados períodos de retorno (entre otros motivos, por la dificultad de encontrar registros pluviográficos que permitan considerar menos horas, dado que la red de pluviógrafos es muy reciente e incompleta).

Tabla n.º 2. Tiempos de respuesta correspondientes a lluvias de diversas intensidad y duración en la cuenca del río Congost (datos obtenidos de las Memorias para el Grupo de Estudios de Avenidas 1970-71, 1971-72, 1972-73 y 1973-74).

	Intensidad durante la duración lluvia significativa (mm/h.)						caudal máximo instantáneo	tiempo de
fecha	1h	2h	3h	4h	5h	6h duración	(m^3/s)	respuesta
11.10.70	35,0	23,3					95,0	3h. 15'
9.12.70	7,0	5,8	4,2	3,9			13,0	4h. 25'
23.04.71	6,5	5,2	4,8				14,0	3h. 46'
1.05.71	4,3	3,8	3,7	3,4			17,5	4h. 54'
2.05.71	8,6	7,7	6,6				40,0	3h. 16'
20.09.71	53,5	43,2					60,0	2h. 42'
23.09.71	26,4						11,8	2h. 58'
9.10.71	9,1	8,4	6,1				31,8	3h. 08'
5.12.71	5,7	4,3	4,6	4,3	3,7		26,0	3h. 18'
6.12.71	13,8	7,2	6,1	6,2	5,7		68,7	2h. 19'
2.05.72	6,7	4,0	3,5				7,0	3h. 26'
2.05.72	8,7	6,8	6,1	6,1	5,8		44,4	4h. 55'
10.06.72	11,4	7,4					4,2	5h. 59'
11.06.72	4,0	4,1					8,3	2h. 19'
14.06.72	7,8	4,5	3,0	3,3	3,4		16,5	6h. 30'
30.08.72	18,9						3,4	3h. 30'
2.09.72	14,0						1,9	8h. 17'
3.09.72	14,6	8,5	8,3				7,5	5h. 01'
1.11.72	2,7	1,6	1,4	1,1	1,2		1,2	11h.
20.10.72	4,8	3,7	3,0				0,7	3h. 35'
20.12.72	6,7	5,2	4,8	3,6	3,6		28,0	5h. 10'
23.12.72	5,5	3,6	3,6	3,5			23,0	3h.
24.12.72	2,8	2,4					65,0	6h.
30.08.74	19,3	14,3	12,5	10,6			9,1	6h.
17.09.74	18,7	9,3	10,2				33,0	2h. 50'

VILARO y MARTIN ARNAIZ (1970) afirman que la gravedad del caudal punta de la avenida del 25 de septiembre de 1962, se produjo por la fuerte intensidad en 1 hora (113 mm. en Sabadell) más que por la lluvia total caída. La duración de la lluvia que da lugar a las avenidas es, en general, menor de 6 horas. Analizando 38 casos de la cuenca del río Congost, 47 de la Riera de Caldes y 32 del río Tenes, en el 50% de los casos la lluvia significativa para la formación de la crecida se recogió en 3 horas y, en más del 75-80% de los casos se recogía dentro del inventario de 5 horas.

Con estos datos es lógico suponer que la lluvia recogida en 24 horas tiene que ser mayor que la que le corresponde al caudal punta del mismo período de retorno, ya que si una lluvia de X mm. en 4 ó 5 horas produce un caudal de período de retorno T_1 y la misma cantidad se recoge en 24 horas, producirá una crecida de período de retorno T_2 siendo $T_1 > T_2$, pero la recurrencia del valor X mm. de lluvia se produce en un período también menor de T_1. Esto es comprobable cuando se comparan las figuras n.^{os} 1 y 2 con los datos reales de caudales y pluviometría registrados.

Asimismo puede pensarse que la correspondencia entre caudales punta aforados y pluviometrías recogidas en menos de 6 horas tienen que tener un mejor ajuste que con precipitaciones recogidas en 24 horas, ya que así interviene de forma más real el factor intensidad de lluvia. Una correlación entre los caudales máximos instantáneos de las cuencas del Congost, Caldes y Tenes con las lluvias registradas en un pluviógrafo de cada una de ellas, da unos resultados contradictorios con lo que acabamos de afirmar. La recta de regresión tiene un mejor coeficiente de correlación con el registro de 24 horas (tabla n.º 3, cuatro primeras filas), además siendo el ajuste muy pobre en general. La causa de esta contradicción hay que buscarla en dos factores. Por un lado no se ha considerado en la correlación el efecto de las lluvias previas, con lo que las lluvias de corta duración (1-2 horas) invierten parte de ellas en saturar el terreno dando lugar a un caudal instantáneo menor del que correspondería a su intensidad, pero esta influencia se amortigua al considerar un período de 24 horas. Por otro lado existe una falta de representatividad del pluviógrafo respecto el conjunto de la cuenca. En efecto, en las figuras n.^{os} 3 y 4 se ilustran situaciones opuestas en la cuenca del río Congost, mostrando una clara divergencia entre los caudales medidos en la estación de aforos de La Garriga (60 y 47 m^3/s.) y la lluvia recogida en L'Ametlla (124,0 y 2,9 mm. de lluvia respectivamente).

La correlación por tanto debe considerar necesariamente el efecto de extensión de la lluvia por toda la cuenca para que ésta sea representativa del fenómeno que se produce, y para ello hay que recurrir a la correlación multivariante. Considerando 2 o más pluviógrafos de una cuenca, se obtiene un efecto corrector de las precipitaciones irregulares repartidas y nos acercamos a un valor más próximo al real. En la cuenca del río Tenes, una correlación multivariante efectuada con los pluviógrafos de Caldes y L'Ametlla (tabla

Figura 1
Caudales extremos de los ríos Congost, Caldes y Tenes.

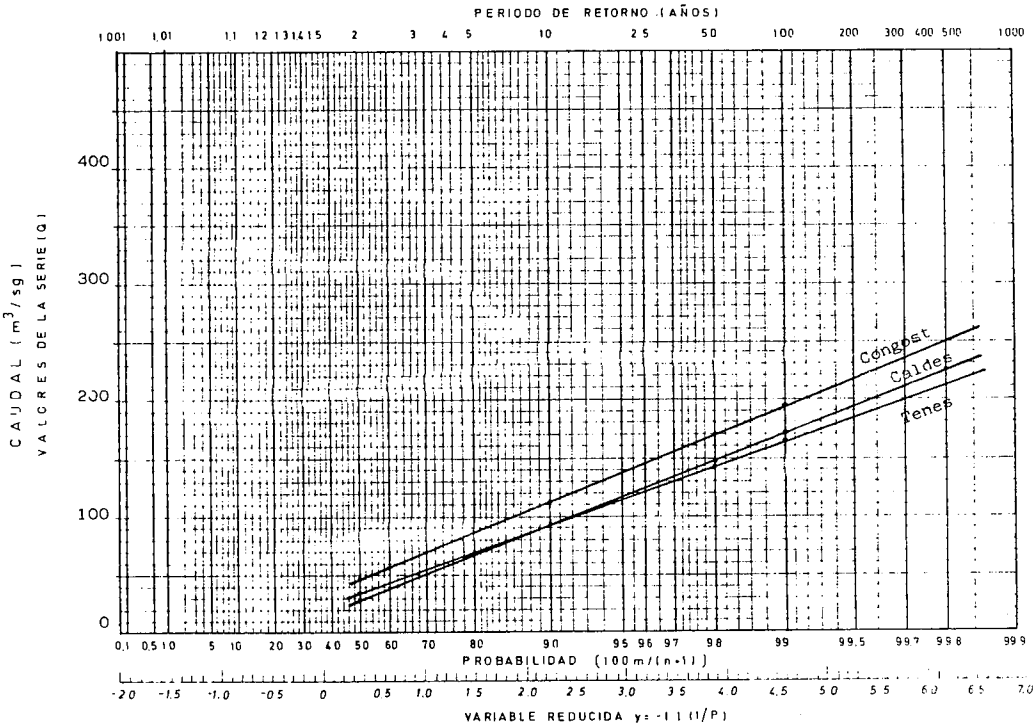
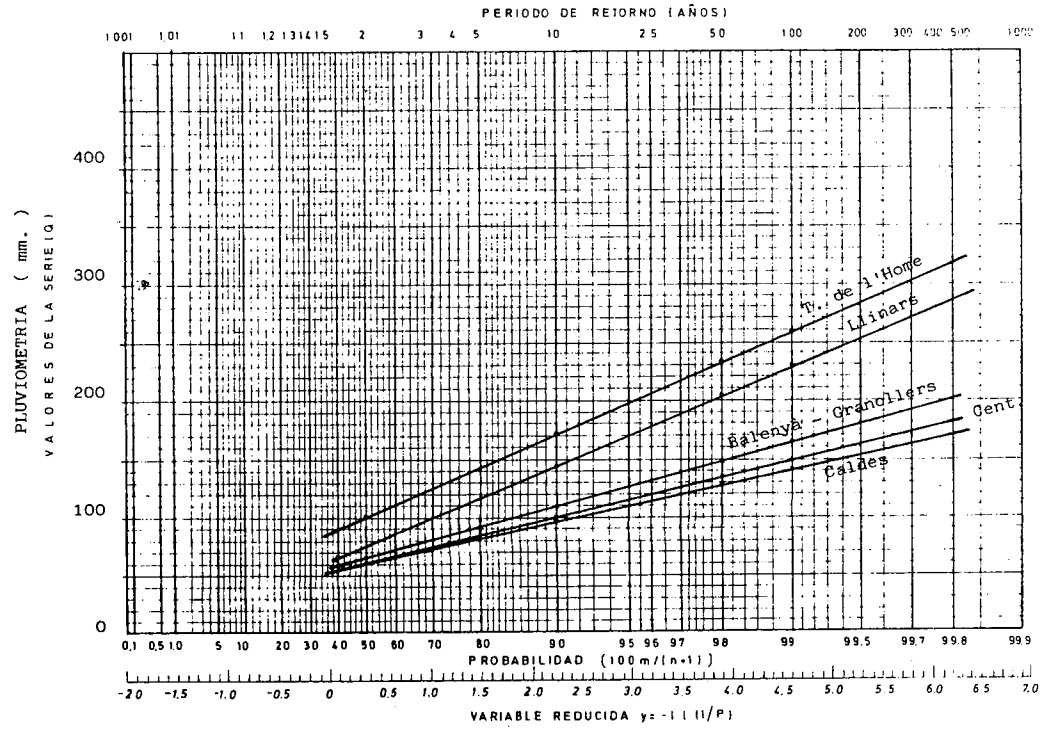


Figura 2
Lluvías máximas en 24 h. en el Turó de l'Home, Llinars, Balenvà, Granollers, Centelles y Caldes de Montbui.



n.º 3, última fila) pone de manifiesto que se obtiene un mejor ajuste con las lluvias de corta duración, aumentando el coeficiente de correlación respecto la correlación de un solo pluviógrafo, mientras que aquél se estanca para lluvias recogidas en más de 7 horas.

Conclusiones

a) La geometría de los cursos de la cuenca del río Besòs determina un tiempo de concentración (Tc) corto (3 a 5 horas) y un tiempo de respuesta (Tr) variable, próximo a Tc cuando la lluvia es intensa y de una duración igual o superior a Tc (+ 6mm/h en 3 horas en la cuenca del Congost), aumentando al disminuir la intensidad de la lluvia.

b) La correlación sencilla entre la pluviometría registrada en un solo pluviógrafo de una cuenca y los caudales aforados no es aconsejable debido a la falta de representatividad de aquélla ante la distribución real de la lluvia en la cuenca.

c) La bondad del ajuste aumenta cuando se realiza una correlación multivariante considerando dos o más pluviógrafos, al corregir en parte las irregularidades de la distribución.

d) La correlación multivariante pone de manifiesto que se consigue un mejor ajuste entre los caudales y las lluvias registradas en intervalos cortos (2 a 6 horas) que no con las recogidas en 24 horas. Este hecho concuerda con las observaciones de lluvias reales en las que la fracción de la lluvia significativa para la formación de una crecida suele producirse en menos de 6 horas en más del 75-80% de los casos analizados.

e) La utilización de expresiones para el cálculo y previsión de los caudales máximos de avenida, debería pues considerar las intensidades de lluvia medidas en el máximo número de pluviógrafos de la cuenca y referidas a un intervalo próximo al tiempo de concentración (3 a 5 horas).

Agradecimientos

Quisiera agradecer la colaboración prestada por J.A. Gili de la E.T.S. Ingenieros de Caminos de Barcelona, y por A. Collado geólogo de Túnel del Cadí C.E.S.A. en el tratamiento de los datos, así como a M. Novoa de la Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental por su ayuda en la consulta de datos de aforo y pluviógrafos de la cuenca.

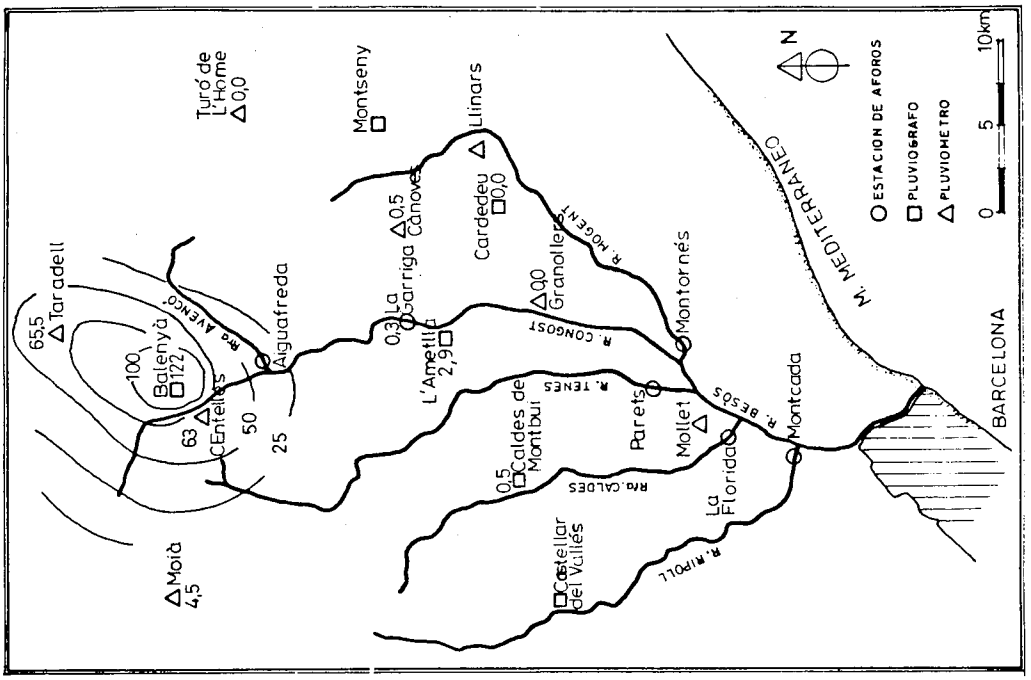


Figura 4
Isoyetas correspondientes a la lluvia del 11 de Septiembre de 1982.

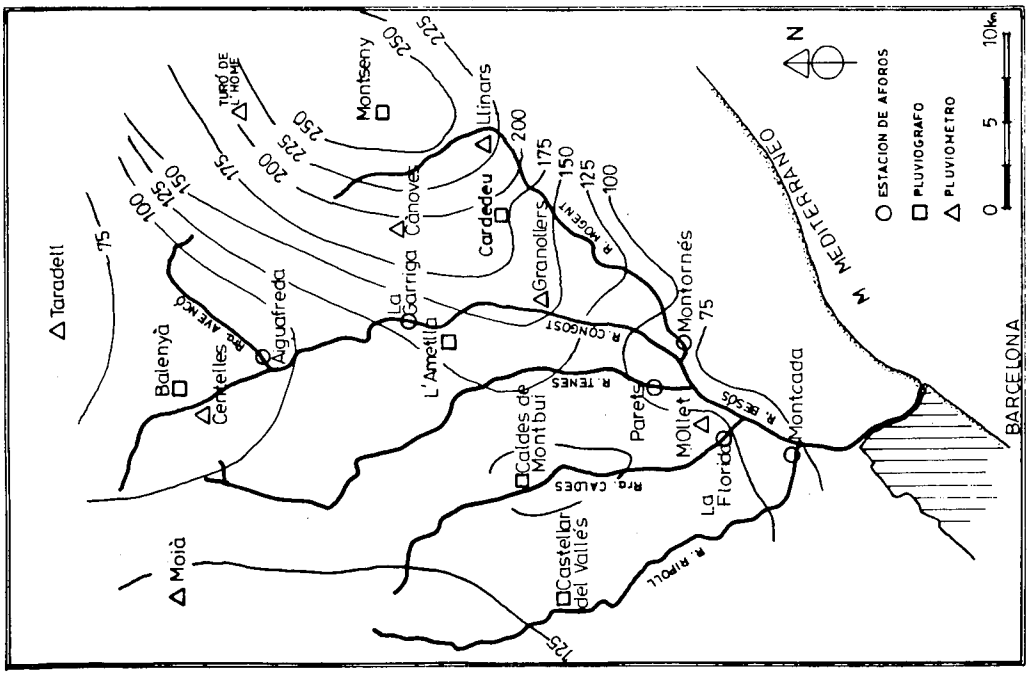


Figura 3
Isoyetas correspondientes a la lluvia del 20 de Septiembre de 1971.

Tabla n.º 3. Relación de los coeficientes de correlación obtenidos en las rectas de regresión entre caudales y registros de pluviógrafos.

Caudal / Pluviógrafo	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h
R. Congost Pluv. L'Ametlla	0,311	0,363	0,39	0,438	0,463	*0,472*	0,471	0.485	*0,495*	0,486	*0,597*
R. Caldes Pluv. Caldes	0,621	0,666	0,652	0,661	0,663	0,673	0,635	0,638	0,773	*0,777*	*0,831*
R. Tenes Pluv. Caldes	0,527	0,448	0,431	0,443	0,447	0,423	0,413	0,431	*0,626*	0,612	*0,640*
R. Tenes Pluv. L'Ametlla	0,669	0,762	0,723	0,746	0,756	*0,763*	0,736	0,726	0,733	*0,774*	*0,717*
correlación multivariante											
R. Tenes Pluv. Caldes + Pluv. L'Ametlla	0,682	*0,795*	0,757	0,772	*0,781*	*0,781*	0,753	0,740	0,733	0,780	*0,717*

Bibliografía

Anónimo. *Memoria del trabajo realizado en el año 1970-71 para el Grupo de Trabajo para el estudio de avenidas extraordinarias del Instituto de Hidrología.* C.A.P.O. - D.G.O.H. Barcelona.

MONTALBAN, F. y CASANOVA, J.I. (sin fecha). *Memoria del trabajo realizado en el año 1971-72 para el Grupo de Trabajo para el estudio de las avenidas extraordinarias del Instituto de Hidrología.* C.A.P.O. - D.G.O.H. Barcelona.

MONTALBAN, F. y NOVOA, M. (sin fecha). *Memoria del trabajo realizado en el año 1972-73 para el Grupo de Trabajo para el estudio de avenidas extraordinarias del Instituto de Hidrología.* C.A.P.O. - D.G.O.H. Barcelona.

MONTALBAN, F. y NOVOA, M. (sin fecha). *Memoria del trabajo realizado en el año 1973-74 para el Grupo de Trabajo para el estudio de avenidas extraordinarias del Instituto de Hidrología.* C.A.P.O. - D.G.O.H. Barcelona.

PUCHADES, J.M.ª (1948). *El río Besos. Estudio monográfico de hidrología superficial.* Miscellánea Almera (2.ª parte). Publ. Int.º Geológico Diputación Provincial de Barcelona, pp. 195-354.

TOMAS, A. (1963). Causas metereológicas de las inundaciones del Bajo Vallés, Llano del Llobregat y la Maresma, el martes 25 de septiembre de 1962. *Miscellanea Barcinonensia* n.º III, pp. 97-119. Barcelona.

TOMAS, A. (1972). Las inundaciones de septiembre de 1971 y sus causas. *Miscellanea Barcinonensia* n.º XXXII, pp. 125-141. Barcelona.

VILARO, F. y MARTIN ARNAIZ, M. (1970). Los datos de la cuenca piloto del río Besos. Base para el sistema de previsión de avenidas. *Bol. de Información* n.º 148 del M.O.P. Madrid. pp. 19-30.