

Estudio de la descarga de la vertiente meridional de Sierra Tejeda (Málaga) mediante el análisis correlatorio y espectral

Study of the discharge in Sierra Tejeda Southern sector (Málaga) by means of the correlation and spectral analysis

I. Pérez Ramos, P. Jiménez Gavilán, B. Andreo Navarro y F. Carrasco Cantos

Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, s/n. 29071. Málaga. Andreo@uma.es

ABSTRACT

Four river basins in Sierra Tejeda area have been studied by means of the correlation and spectral analysis. These river basins are formed by marbles and schists in their upper and lower part, respectively. The water comes from runoff mainly generated in the schists and groundwater from springs in the Sierra Tejeda carbonate aquifer. The application of this method to outflow data shows that the hydrographical basins with more extension of low permeability materials (Rubite and Algarrobo) have a scarce inertial behaviour. While, those river basins with more inertial behaviour (Bermuza and Almanchares basins) present less extension of schists and the most important springs. Consequently, the hydrodynamic behaviour in these rivers are controlled by groundwater and runoff: Bermuza and Almanchares river basins incorporate larger quantity of groundwater than Algarrobo and Rubite basins.

Key words: Sierra Tejeda, Correlation and spectral analysis, Hydrographical basin, Groundwater.

Geogaceta, 35 (2004), 163-166
ISSN:0213683X

Introducción

Sierra Tejeda está situada en la región oriental y suroccidental de las provincias de Málaga y Granada, respectivamente, y constituye una elevación montañosa con una altitud máxima de 2065 m s.n.m. en el vértice Maroma. Presenta un relieve abrupto que desciende en pocos kilómetros hasta los 400-500 m s.n.m. al sureste de Alcaucín (Fig. 1).

Desde el punto de vista geológico, Sierra Tejeda forma parte del complejo Alpujárride de la Cordillera Bética y está constituida por una potente sucesión de mármoles dolomíticos y calizos situados sobre una serie metapelítica que aflora hasta la costa mediterránea (Elorza *et al.*, 1978; Elorza y García-Dueñas, 1980; Sanz de Galdeano, 1989). Su estructura es, de forma simplificada, la de un gran anticlinal de dirección E-W, el cual presenta, en el sector suroeste, una inversión de su flanco meridional mediante un sinclinal de vergencia norte (Sanz de Galdeano, 1989).

El núcleo del anticlinal de Sierra Tejeda, constituido por los esquistos basales, supone una barrera hidrogeológica que condiciona la descarga de la unidad, la cual se produce principalmente hacia la zona noreste y suroeste. Estudios hidrogeológicos llevados a cabo con anterioridad (SGOP, 1991) indi-

can que el drenaje hacia el sur se produce a través de unos manantiales situados en el contacto entre los mármoles y las metapelitas (Fig. 1), cuya máxima altitud, en el extremo oriental de Sierra Tejeda, se sitúa entre 800 y 1200 m s.n.m. (Tabla I). La cota de surgencia disminuye progresivamente hacia el oeste hasta los 425 m s.n.m. en el nacimiento del Río Bermuza (manantial de la Fájara) al SE de Alcaucín, que es también el punto de menor altitud del contacto entre mármoles y esquistos y la principal área de descarga. La importancia de los caudales drenados por los manantiales del sector sureste de Sierra Tejeda, que están a cota más elevada, es menor (SGOP, 1991).

Se han considerado cuatro cuencas hidrográficas que drenan la mitad meridional de Sierra Tejeda, cuya alimentación se produce, en parte, desde de los manantiales anteriormente comentados. Son, de oeste a este, las cuencas de los ríos Bermuza, Almanchares, Rubite y Algarrobo (Fig. 1). Todas están constituidas por mármoles en cabecera y esquistos en la parte baja, aunque en proporción variable (Tabla 1). Las cuencas de los ríos Bermuza y Almanchares son casi iguales en extensión total, con una proporción de afloramientos carbonatados del 62% y 40% respectivamente. La cuenca del Río Rubite es la que presenta mayor proporción de materiales de baja permeabilidad

y la cuenca del Río Algarrobo, la más extensa, tiene un 30% de afloramientos carbonatados.

Las cuencas estudiadas tienen estaciones de aforo en los cauces principales, aguas abajo de los manantiales, cuya ubicación se indica en la figura 1. Los periodos en los que se dispone de datos diarios sin interrupción son los siguientes: del 1/10/1986 al 29/02/2000 para los ríos Rubite y Algarrobo, del 1/10/1986 al 13/11/1996 en el Río Bermuza y del 25/01/1990 al 29/02/2000 en el Río Almanchares. En todos los casos se trata de datos diarios. También se dispone de datos diarios de precipitación para el periodo estudiado en la estación pluviométrica de la presa de La Viñuela (Fig. 1). Todos estos datos han sido obtenidos de la página web de la Confederación Hidrográfica del Sur (www.chse.es). Los caudales medidos en las estaciones de aforo son, lógicamente, la suma de los caudales de los manantiales más la escorrentía superficial generada por las precipitaciones sobre la cuenca, fundamentalmente sobre los esquistos.

Con este trabajo se pretenden estudiar las series cronológicas de caudales en las estaciones de aforo mediante el análisis correlatorio y espectral (ACE), lo que permitirá conocer mejor el comportamiento hidrodinámico de la descarga de

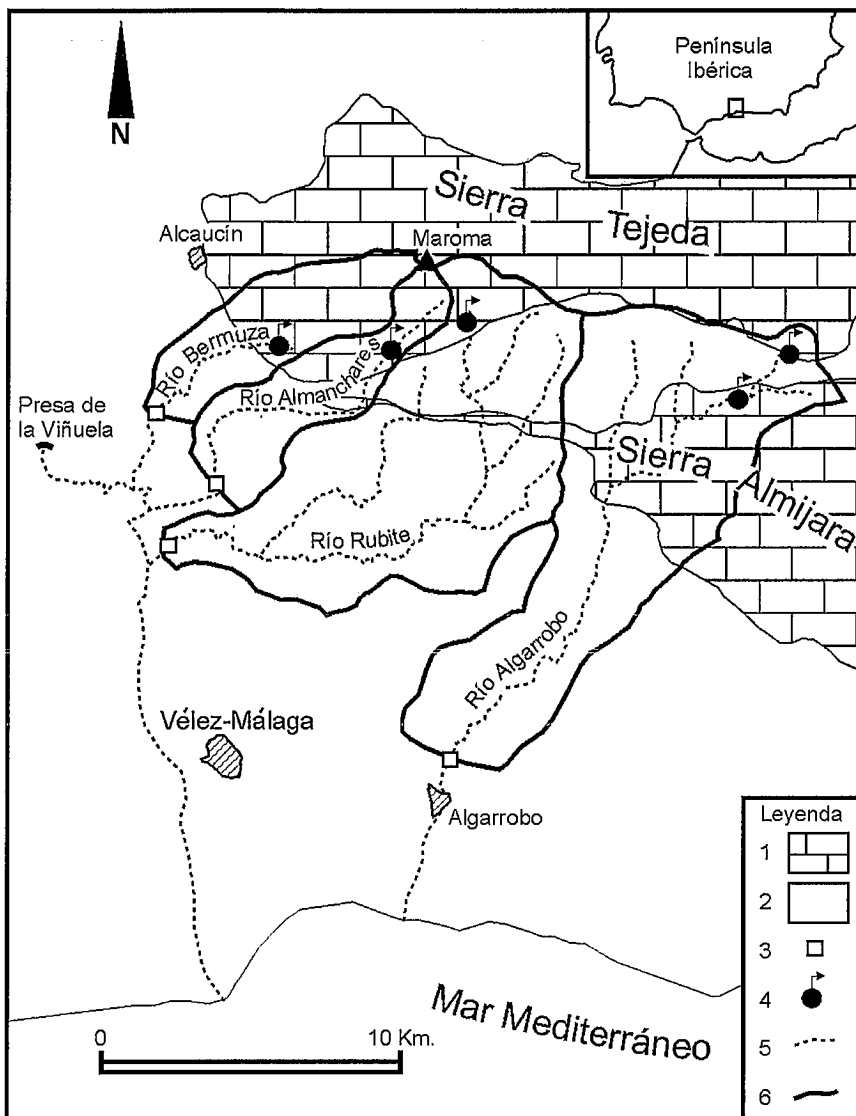


Fig. 1.- Localización geográfica del área de estudio. Leyenda: 1, mármoles; 2, esquistos; 3, estación de aforo; 4, surgencia principal; 5, cauce principal; 6, divisoria hidrográfica.

Fig. 1.- Geographical location of the study area. Legend: 1, marbles; 2, schists; 3, gauging station; 4, main spring; 5, main river; 6, hydrographic divide.

Sierra Tejeda y la influencia de los manantiales y de la escorrentía superficial en las cuencas hidrográficas estudiadas.

Metodología

El análisis de series temporales fue desarrollado por Jenkins y Watts (1968) y posteriormente aplicado por Mangin (1981a, 1981b, 1984) al estudio de sistemas kársticos. Después de Mangin, otros autores han aplicado esta técnica en la investigación de acuíferos kársticos: Mangin y Pulido-Bosch (1983), Antigüedad *et al.* (1988), Ibarra *et al.* (1987), Cruz-Sanjulián *et al.* (1987), Andreo *et al.* (1996), Jiménez-Gavilán *et al.* (2001), por citar sólo algunos ejemplos.

El tratamiento de las series de datos se lleva a cabo a dos niveles, uno de corta

duración, con paso de tiempo de 1 día y ventana de observación de 125 días, para detectar las componentes de periodicidad inferior a un año y otro de larga duración, con paso de 10 días y ventana de 1250 días, para detectar tendencias interanuales.

Los correlogramas generados con el ACE permiten hacer interpretaciones sobre el comportamiento de los sistemas estudiados. Así, cuando un correlograma decrece lentamente, se puede inferir que dichos sistemas son inerciales y, en el caso concreto de un acuífero kárstico, se interpreta que existe un drenaje poco jerarquizado y/o poco desarrollado, con importantes reservas reguladoras (Mangin, 1981a y b). Para intentar cuantificar esta observación, Mangin (1981a) definió el efecto memoria como el valor de k (días) para $r=0,1-0,2$.

El espectro de densidad de varianza permite la identificación de componentes periódicas en la serie, además del cálculo del tiempo de regulación, definido como el valor de f en $S=0$ dividido entre 2 ($S_f/2$), que cuantifica la duración de la influencia de una señal de precipitación sobre el sistema. Otro parámetro que se puede obtener es la frecuencia de corte o anchura de banda espectral, que mide la capacidad de filtro del sistema. Su valor es el de la frecuencia a partir de la cual no se obtiene más información, o sea, la periodicidad mínima teórica que se puede deducir de la serie de datos.

Es posible realizar un análisis cruzado con dos variables. Si además existe entre ambas una relación de causa-efecto, como ocurre por ejemplo lluvia y caudal, el correlograma cruzado refleja la respuesta impulsional del sistema, es decir, el hidrograma unitario.

Resultados

Análisis de la función de entrada

El correlograma de la serie de precipitaciones (Fig. 2A) muestra, a corto término, un comportamiento casi aleatorio, con un rápido decrecimiento del mismo (efecto memoria de 2 días). En el espectro de densidad correspondiente (Fig. 2B) se observan periodicidades de 35, 17, y 12 días, aunque poco marcadas.

El correlograma a largo término (Fig. 2C) es parecido al de corto término, con un decrecimiento igualmente rápido, aunque en este caso se puede observar la periodicidad anual. El espectro de densidad a largo término (Fig. 2D) muestra bien dicha ciclicidad anual. Además, revela periodicidades de 6 y 4 meses, junto con una tendencia de orden mayor que queda fuera de la ventana de observación.

Análisis de la función de salida

Los correlogramas a corto término de las series de datos de caudal (Fig. 3A) permiten distinguir las cuencas de los ríos Bermuza y Almanchares, con un efecto memoria de 41 y 54 días (Tabla 2), y las cuencas de los ríos Algarrobo y Rubite, cuyo efecto memoria es de 25 y 23 días. En el espectro de densidad (Fig. 3B) aparecen componentes registradas en la señal de entrada. Concretamente, en los ríos Rubite y Algarrobo se detecta el ciclo de 17 días, mientras que el ciclo de 35 días es menos patente en los caudales, pues sólo se constata en los ríos Algarrobo y Bermuza. La componente de 12 días es difícil de apreciar, pues sólo se encuentra

Análisis cruzado entrada-salida

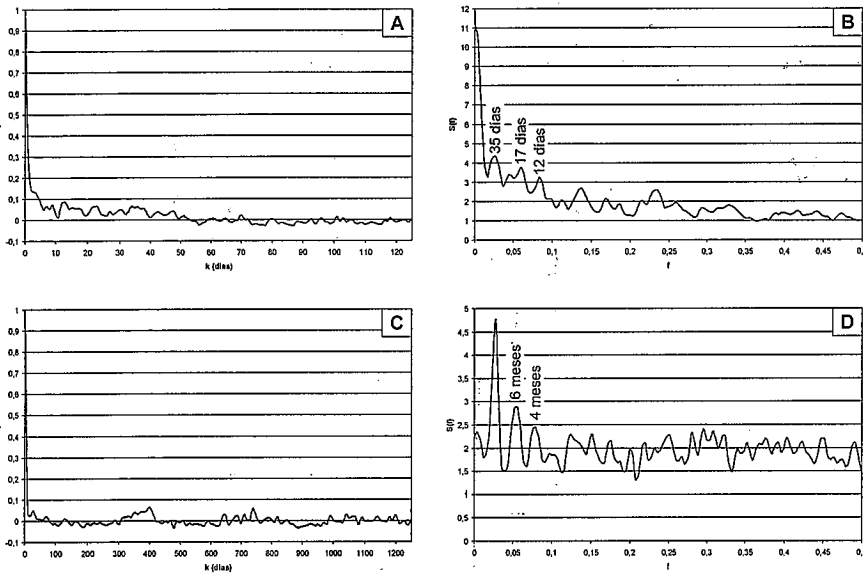


Fig. 2.- Análisis correlatorio y espectral a corto término (A,B) y a largo término (C,D) de los datos de precipitación de la estación de la presa de La Viñuela.

Fig. 2.- Correlation and spectral analysis at short time (A,B) and long time (C,D) of the rainfall in La Viñuela barrage station.

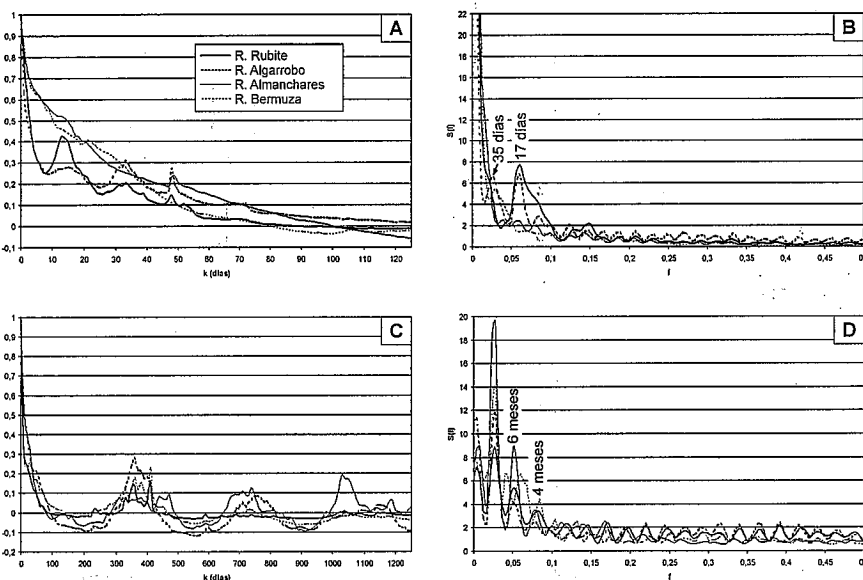


Fig. 3.- Análisis correlatorio y espectral a corto término, y a largo término, de los datos de caudal medidos en las estaciones de aforo de los ríos Bermuza, Almanchares, Rubite y Algarrobo.

Fig. 3.- Correlation and spectral analysis in short time (A,B) and long time (C,D) of measured outflow data in the gauging stations of Bermuza, Almanchares, Rubite and Algarrobo rivers.

en el espectro del Río Algarrobo y de forma muy atenuada.

La frecuencia de corte indica un filtrado sobre la señal de lluvia para el río Bermuza de 21 días, 36 días en río Almanchares, 9 en el río Rubite y 10 en el río Algarrobo. Los tiempos de regulación medidos son de 36, 39, 24 y 27 días en el Bermuza, Almanchares, Rubite y Algarrobo respectivamente (Tabla 2).

El análisis a largo término (Fig. 3C y 3D) muestra, al igual que las precipitaciones, una periodicidad fundamentalmente

anual, junto con otras componentes de menor importancia, como son la de 4 y 6 meses. La serie de caudales del Río Bermuza es peculiar en este sentido, pues en vez de presentar un pico para 6 meses se obtienen dos; uno correspondiente a 8 meses y otro de 5 meses. Existe también una periodicidad interanual, observada en los ríos Algarrobo, Rubite y Almanchares, que excede los límites de la ventana de observación. En el espectro de densidad del río Bermuza no se encuentra ninguna ciclicidad superior a la anual.

El correlograma cruzado (Fig. 4), realizado a corto término, ofrece una buena imagen del hidrograma de cada sistema hidrológico ante las precipitaciones. En la parte negativa del eje de abscisas los valores tienden rápidamente a cero, lo que indica que no hay errores importantes en las series de datos. Los correlogramas cruzados de los ríos Rubite y Algarrobo, muy similares entre sí, son relativamente agudos en la punta de la crecida (r_{max} de 0,46 y 0,49 respectivamente para $k=1$ día), con una rápida decrecida. Por el contrario, en los ríos Bermuza y Almanchares la punta es algo menos pronunciada (r_{max} de 0,44 y 0,39 respectivamente para $k=1$ día) y la decrecida más lenta.

Los correlogramas presentan una serie de picos secundarios generados por las periodicidades pluviométricas de orden menor (35 y 17 días), que distorsionan el hidrograma de los manantiales de cabecera. Estos picos son más importantes en los ríos Algarrobo y Rubite, por lo que se deduce que la influencia de la escorrentía superficial también debe ser más significativa.

Discusión e interpretaciones

De los resultados del análisis correlatorio y espectral se desprende que los sistemas aquí estudiados no tienen un gran poder regulador; especialmente los ríos Algarrobo y Rubite, como corresponde a cuencas hidrográficas de ríos. Los ríos Bermuza y Almanchares presentan un efecto memoria y tiempo de regulación mayores y una frecuencia de corte menor que en los anteriores sistemas, datos éstos indicativos de un comportamiento más inercial.

La mayor capacidad de regulación que presentan las cuencas menores es debida a la importancia relativa de la escorrentía subterránea respecto a la escorrentía superficial. Cuanto más importante es la componente subterránea, mayor es la inercia que presenta el caudal en la estación de aforo.

Los factores que controlan la proporción entre aguas superficiales y subterráneas son de tipo hidrodinámico y litológico. El hecho de que las cuencas de los ríos Bermuza y Almanchares sean las más inerciales es debido a que los manantiales de cabecera son más importantes que los que alimentan los ríos Rubite y Algarrobo. Además, en estos últimos la superficie de esquistos es mucho mayor,

	Superficie (Km ²)	% de afloramientos carbonatados	Cota de las principales surgencias (m s.n.m.)
Bermuza	15,5	62	425
Almanchares	15	40	800
Rubite	54	11	1000
Algarrobo	58	30	800 y 1200

Tabla I.- Superficie de las cuencas, porcentaje de afloramientos carbonatados y cota de los principales manantiales.

Table I.- Basins surface, percentage of carbonate outcrops and height above sea level of the mean springs.

	Efecto memoria (días)	Tiempo de regulación (días)	Anchura de banda Espectral (f)	R _{max}
Bermuza	41	36	0,055	0,44
Almanchares	54	39	0,028	0,39
Rubite	23	24	0,112	0,46
Algarrobo	25	27	0,077	0,49

Tabla II.- Parámetros determinados a partir del correlograma, del espectro de densidad y del correlograma cruzado, a corto término.

Table II.- Parameters determined from correlogram, density spectrum and cross-correlogram, at short time.

por lo que aumenta la importancia de la escorrentía superficial.

Conclusiones

La aplicación del ACE a los datos disponibles ha permitido determinar la capacidad de regulación de cuatro sistemas hidrológicos por los que se produce la descarga de la vertiente meridional de Sierra Tejada. Los ríos Bermuza y Almanchares tienen un efecto memoria moderadamente alto (41 y 54 días, respectivamente) y filtran las componentes de mayor frecuencia de la señal de entrada. Por otro lado, los ríos Algarrobo y

Rubite ejercen menor filtrado de la señal de lluvia, su efecto memoria es más reducido (25 y 23 días respectivamente) y tienen, en definitiva, menor capacidad de regulación. En todos los casos, es la componente anual de la precipitación la que determina en mayor medida los caudales que se miden en las estaciones de aforo, aunque en las cuencas con mayor superficie formada por materiales de baja permeabilidad aparecen también componentes similares a las que presentan las precipitaciones.

Estas diferencias en el comportamiento hidrodinámico de las cuencas son debidas en gran medida a la importancia

que la escorrentía subterránea tiene en el caudal de los ríos, la cual actúa aumentando la memoria del sistema. La componente subterránea es mayor cuanto más importante es el caudal del manantial que la produce y cuanto menor es la extensión de materiales de baja permeabilidad capaces de suministrar escorrentía superficial a la cuenca.

Agradecimientos

Este trabajo constituye una contribución a los proyectos IGCP 448 de la UNESCO y REN2002-01797/HID de la DGI, así como al Grupo RNM 308 de la Junta de Andalucía. Se agradece su colaboración a la Fundación Cueva de Nerja.

Referencias

Andreo, B., Carrasco, F., Mangin, A., Antigüedad, I. y Vadillo, I. (1996): *I Jorn. Rec. Hídr. Kárst.*, Vitoria, 233-247.
 Antigüedad, I., Ibarra, V. y Morales, T. (1988): *IV Simp. Hidro.*, 331-334.
 Cruz-Sanjulián, J.J., Ibarra, V. y Morales, T. (1987): *Geolis*, 1, 50-61.
 Elorza, J.J., García-Dueñas, V., González-Donoso, J.M., Martín-García, L. y Matas-González, J. (1978): Mapa y memoria explicativa de la Hoja 1040 (Zafarraya) del mapa geológico nacional a escala 1:50000, I.G.M.E.
 Elorza, J.J. y García-Dueñas, V. (1980): Mapa y memoria explicativa de la Hoja 1054 (Vélez-Málaga) del mapa geológico nacional a escala 1:50000, I.G.M.E.
 Ibarra, V., Cruz-Sanjulián, J.J. y García-Latorre, F. (1987): *Estudios Geol.*, 43, 241-248.
 Jenkins, G.M. y Watts, D.G. (1968): *Spectral analysis and its applications*. Ed. Holden Day, San Francisco. 525 p.
 Jiménez-Gavilán, P., Andreo, B., Durán, J.J., Carrasco, F., López-Geta, J.A., Vadillo, I. y Vázquez, M. (2001): *Bol. Geol. Min.*, 112, 85-102.
 Mangin, A. (1981a): *C.R. Acad. Sci. Paris*, 293, 401-404.
 Mangin, A. (1981b): *C.R. Acad. Sci. Paris*, 293, 1011-1014.
 Mangin, A. (1984): *Jour. Hydrol.*, 67, 25-43.
 Mangin, A. y Pulido-Bosch, A. (1983): *Techniterrae*, 51, 53-65.
 Sanz de Galdeano, C. (1989): *Rev. Soc. Geol. España*, 2, 77-84.
 S.G.O.P. (1991): Estudio hidrogeológico de las sierras Tejada, Almiijara y Guájara (Málaga y Granada). Memoria, planos y anejos. Inf. restringido. 244 p.

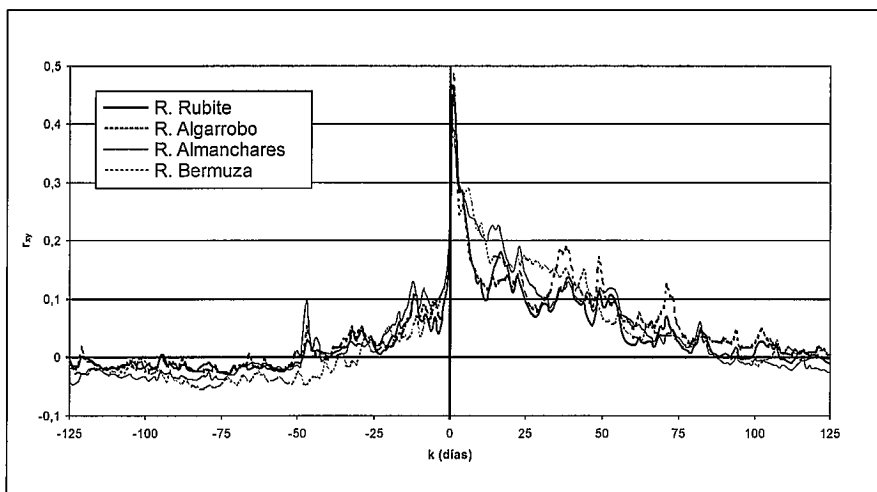


Fig. 4.- Correlograma cruzado de los datos de precipitación y caudal, a corto término, de los ríos Bermuza, Almanchares, Rubite y Algarrobo.

Fig. 4.- Short time cross-correlogram of the rainfall and outflow in Bermuza, Almanchares, Rubite and Algarrobo rivers.