



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

R
- 62640
(I)



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Obras Públicas y Transportes

CONVENIO DE COLABORACIÓN CON LA
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES
PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE
ASISTENCIA EN
AGUAS SUBTERRÁNEAS
PARA ABASTECIMIENTOS

1996-2000

ACTIVIDAD Nº 27. PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y OPTIMIZACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEL MANANTIAL DE EL TEMPUL. ACUÍFERO DE LA SIERRA DE LAS CABRAS.UH 05 00.(CADIZ).

Documento 27.1.- Memoria



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Obras Públicas y Transportes

ACTIVIDAD Nº 27. PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y OPTIMIZACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEL MANANTIAL DE EL TEMPUL. ACUÍFERO DE LA SIERRA DE LAS CABRAS.UH 05 00.(CADIZ).

Documento 27.1.- Memoria

DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL ESTUDIO:

Juan Antonio López Geta

Director de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España.

Juan José Durán Valsero

Jefe del Servicio de Investigación y Desarrollo Hidrogeológico de la Dirección de Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España

EQUIPO DE TRABAJO:

Bartolomé Andreo Navarro (Coordinador)

Profesor Titular de Geodinámica. Departamento de Ecología y Geología de la Universidad de Málaga.

Francisco Carrasco Cantos

Profesor Titular de Geodinámica. Departamento de Ecología y Geología de la Universidad de Málaga.

Iñaki Vadillo Pérez

Profesor Asociado de Geodinámica. Departamento de Ecología y Geología de la Universidad de Málaga.

Pablo Jiménez Gavilán

Becario F.P.I. Departamento de Ecología y Geología de la Universidad de Málaga.

MEMORIA

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	5
3. OBJETIVOS	7
4. METODOLOGÍA	8
5. MARCO GEOLÓGICO	10
5.1. Estratigrafía	10
5.2. Estructura geológica	11
6. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	14
6.1. Límites y geometría. Principales puntos de agua	14
6.2. Funcionamiento hidrogeológico. Piezometría y parámetros hidráulicos	16
7. CLIMATOLOGÍA	19
7.1. Marco climático	19
7.2. Recopilación y análisis de datos climáticos	21
7.3. Análisis de series temporales de datos de lluvia	22
<i>7.3.1. Análisis correlatorio y espectral de las series de precipitaciones diarias de El Tempul y San Fernando</i>	22
<i>7.3.2. Análisis correlatorio y espectral de las series históricas de precipitaciones mensuales de Gibraltar y San Fernando</i>	25
<i>7.3.3. Síntesis de resultados del análisis correlatorio y espectral de los datos de lluvia</i>	25
8. ANÁLISIS DE SERIES DE DATOS DE CAUDAL DEL MANANTIAL DE EL TEMPUL	26
8.1. Recopilación y análisis previo de los datos de caudal	26
8.2. Análisis Correlatorio y Espectral (ACE)	31
<i>8.2.1. Fundamentos del método</i>	31
<i>8.2.2. ACE con la serie de datos diarios de caudal</i>	32
8.2.2.1. Análisis de la función de salida	32
8.2.2.2. Análisis cruzado (entrada-salida)	33
<i>8.2.3. ACE con la serie histórica de caudales mensuales</i>	37

	Página
8.2.3.1. Análisis de la función de salida	37
8.2.3.2. Análisis cruzado (entrada-salida)	39
8.2.4. <i>Síntesis de resultados del análisis correlatorio y espectral de los datos de caudal</i>	39
8.3. Análisis de la curva de recesión	41
8.3.1. <i>Fundamentos metodológicos</i>	41
8.3.2. <i>Estudio de curvas de recesión de la serie de datos diarios de caudal</i>	43
8.3.3. <i>Estudio de curvas de recesión de la serie de datos mensuales de caudal</i>	46
8.3.4. <i>Estimación de parámetros hidráulicos y de las reservas del acuífero</i>	47
8.3.5. <i>Síntesis de los resultados obtenidos a partir del análisis de hidrogramas</i>	48
8.4. Análisis de Caudales Clasificados	49
8.4.1. <i>Fundamentos metodológicos</i>	49
8.4.2. <i>Resultados del análisis de caudales clasificados</i>	51
9. APROXIMACIÓN AL BALANCE HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE LAS CABRAS	53
9.1. Elementos del balance	53
9.2. Tentativa de balance para el periodo 1862-1978	53
9.3. Tentativa de balance para el periodo 1985-1995	54
9.4. Tentativa de balance para el periodo comprendido entre el 17-6-96 y 17-11-99	55
10. MODELIZACIÓN LLUVIA-CAUDAL	57
10.1. Características básicas del modelo utilizado	57
10.2 Período de simulación y datos utilizados	58
10.3. Proceso de calibración y resultados	59
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
11.1. Conclusiones	62
11.2. Recomendaciones	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda prestada a:

- Manuel Vázquez Mora, Angel Díaz Pérez y Miguel Martín Machuca, de la Oficina de Proyectos del IGME de Sevilla, por su colaboración durante todas las fases del Estudio, especialmente en la recopilación de información de datos climáticos y de caudal del manantial de El Tempul, así como de piezometría del acuífero de Sierra de las Cabras y los informes previos existentes sobre dicho acuífero.
- José Manuel Murillo Díaz y María Henche Pena, por facilitar el modelo matemático de Transformación “Precipitación-Aportación” y la información relativa al mismo.
- Al Real Observatorio de San Fernando (Cádiz), por la cesión de datos climáticos correspondientes a dicha estación meteorológica.
- A la Confederación Hidrográfica del Sur de España, por la cesión de los datos de precipitación de la estación de Gibraltar.
- A la Empresa de Aguas de Jerez, por su apoyo durante las visitas de campo y por la cesión de los datos de caudal del manantial de El Tempul

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enmarca en el Convenio de Colaboración existente entre la Dirección de Obras Hidráulicas de la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Se ha realizado por encargo del Instituto Geológico y Minero de España a través del contrato 8.06/44.1504, suscrito entre dicho Organismo y la Universidad de Málaga. El objetivo del mismo es estudiar la descarga del acuífero de la Sierra de las Cabras que se produce a través del manantial de El Tempul (San José del Valle, Cádiz). El trabajo ha sido realizado por el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, bajo la dirección y supervisión del ITGE.



Fig. 1. Localización geográfica del área de estudio

El acuífero de la Sierra de las Cabras está situado en la parte central de la provincia de Cádiz y comprende las sierras del Valle, de Dos Hermanas, de la Sal-Cabras y de la Loma del Tempul, nombradas de Oeste a Este (Fig. 1). Todos estos relieves configuran una alineación montañosa, cuya forma en planta es de medialuna o de arco con la concavidad abierta hacia el Suroeste. El área en cuestión tiene una longitud próxima a 30 km y una anchura media superior a 1 km y ocupa una superficie total del orden de 45 km² que se encuentran, en su totalidad, dentro de la hoja nº 1.063 (Algar), correspondiente al Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

La zona de estudio está limitada, en gran parte de su perímetro, por carreteras comarcales que comunican las localidades situadas en sus bordes. Así, al Norte de la sierra, se encuentra la carretera que comunica la localidad de San José del Valle, con la aldea de El Tempul, que da nombre al manantial allí existente, objeto del presente informe. La carretera anterior continúa hacia el Sur y Este, bordeando el límite meridional del macizo. El área de trabajo está atravesada por dos cauces fluviales (Fig. 1): el arroyo de Bogaz, también llamado Boca de Foz, en la parte oriental y el arroyo de Bujalance en la parte occidental.

La Sierra de las Cabras es un acuífero de gran interés puesto que su principal punto de descarga (manantial de El Tempul) ha constituido, históricamente, la fuente de abastecimiento de agua a Jerez de la Frontera. Un adecuado conocimiento de su funcionamiento hidrogeológico permitiría mejorar la gestión de sus recursos hídricos. Ello redundaría en beneficio del abastecimiento de la Bahía de Cádiz, un área donde la demanda de agua es elevada y, además, presenta importantes variaciones estacionales (mayor demanda en verano que en invierno), de forma análoga a lo que ocurre en otras áreas costeras en las que la actividad turística es uno de los pilares económicos. Los periodos de sequía que tienen lugar en esta región del Sur de España dificultan, aún más si cabe, la gestión de los recursos hídricos disponibles.

En el área de estudio y en sus proximidades existen series de datos temporales de precipitación en dos estaciones pluviométricas (Gibraltar y Real Observatorio de San Fernando) y de caudales en la estación de aforos del manantial de El Tempul, gracias a la labor desempeñada por el personal de varios organismos y entidades privadas. La longitud o duración de estas crónicas de datos abarca varias décadas, en algunos casos más de un siglo, y la periodicidad de medida ha sido mensual y diaria. Se dispone, así, de crónicas de datos excepcionalmente largas que son susceptibles de ser tratadas mediante diferentes técnicas o métodos de análisis de series temporales, cuya aplicación en el estudio del funcionamiento de acuíferos carbonatados (kársticos) se conoce desde hace tiempo, aunque no por ello ha sido aplicado con mucha frecuencia en acuíferos españoles.

La necesidad de conocer con mayor detalle el funcionamiento del acuífero de Sierra de las Cabras para un mejor aprovechamiento y gestión de sus recursos y la existencia de un volumen de información tan excepcional en cuanto a datos de precipitación y caudal se refiere, son aspectos que justifican la conveniencia de abordar un estudio como el que se ha llevado a cabo. En los apartados siguientes se presenta la información de base utilizada, la metodología desarrollada y los resultados obtenidos en el estudio.

2. ANTECEDENTES

Desde el punto de vista geológico, hay varios trabajos que hacen referencia a la Sierra de las Cabras, entre los que cabe señalar los que se citan a continuación.

Chauve (1960-62) llevó a cabo un estudio geológico que incluye levantamiento de series estratigráficas, cartografía y cortes geológicos e interpretación paleogeográfica de las diferentes unidades subbéticas situadas en el extremo occidental de la Cordillera Bética. A partir de la serie estratigráfica de la Sierra de las Cabras, definió la unidad del mismo nombre que la atribuyó a lo que él denominó Subbético superior.

Martín Algarra (1987), en su tesis doctoral, precisó la serie estratigráfica de la Sierra de las Cabras y la correlacionó con otras series subbéticas de la provincia de Cádiz para establecer diferencias paleogeográficas entre el Subbético Medio y Subbético Interno (o Penibético) de la región.

El Instituto Tecnológico y Geominero de España (ITGE, 1990) publicó la hoja nº 1063 (Algar) del Mapa Geológico a escala 1:50.000. En dicha hoja y en la memoria explicativa, se recoge la información geológica fundamental sobre el área de estudio, tanto sobre la estratigrafía como sobre la estructura geológica, que explica suficientemente las observaciones realizadas en el marco del presente estudio.

En relación a la hidrogeología, la Sierra de las Cabras ha sido objeto de algunos estudios previos, entre los que podemos destacar, por la información que proporcionan, los siguientes.

La Diputación Provincial de Cádiz (1985) editó el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Cádiz, donde aparece una pequeña ficha relativa al acuífero de la Sierra de las Cabras. En ella se presenta al acuífero carbonatado de la Sierra de las Cabras constituido únicamente por la alineación de la Sierra de la Sal-Cabras-Loma de El Tempul, interpretando que la Sierra de Dos Hermanas está desconectada hidráulicamente. Se describen las principales características del sistema, junto con un pequeño esquema hidrogeológico del mismo, y se cifran sus recursos medios anuales en $5,5 \text{ hm}^3$, procedentes exclusivamente de la infiltración de las precipitaciones.

La empresa EUROESTUDIOS, S.A. llevó a cabo (en 1995) un estudio hidrogeológico del acuífero de la Sierra de las Cabras para la Delegación Provincial de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía en Cádiz, con el fin de realizar obras de captación que apoyaran el abastecimiento de la Bahía de Cádiz durante la sequía de los años 1994-1995. Del informe anterior, Carreras (1996) publicó un resumen en el que se presentan los resultados de un análisis hidrodinámico preliminar de la descarga, según el cual las aportaciones eran del orden de $7 \text{ hm}^3/\text{año}$, el sistema tiene un comportamiento de tipo kárstico, una capacidad de regulación y una inercia muy elevadas y unas reservas igualmente importantes. Los sondeos realizados permitieron precisar la geometría del acuífero y, también, llevar a cabo una explotación cifrada en algo más de 6 hm^3 que produjo un descenso piezométrico del orden de 30 m. En relación con la calidad química del agua, Carreras (1996), precisó que las aguas del manantial de El Tempul tienen una conductividad variable entre 400 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en los sondeos de la zona del arroyo de la Zorra varía entre 700 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en los del arroyo del Infierno se detecta una estratificación en la vertical de la zona saturada del acuífero, desde 1000 hasta 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Un estudio realizado en 1996 por IDRENA, para el ITGE, se ha centrado en la descarga del manantial del Tempul. En dicho informe se analiza la viabilidad técnica para llevar a cabo una regulación hidrogeológica en el manantial, con el objetivo exclusivo de mejorar la garantía del abastecimiento público de Jerez de la Frontera. Del informe cabe destacar, por la importancia que pueden tener en las conclusiones del presente estudio, la importante labor llevada a cabo en la elaboración de las curvas de gasto del manantial, el escaso éxito obtenido al tratar de modelizar la descarga del manantial mediante deconvolución y el cálculo efectuado de la porosidad eficaz (inferior al 0'5 %) a partir de los datos del informe citado en el apartado anterior. Teniendo en cuenta que el dato de porosidad eficaz es poco adecuado para un acuífero kárstico, se dedujo entonces que el manantial de El Tempul podría no ser el único punto de descarga natural del sistema acuífero, sino que se producirían salidas subterráneas (de cuantía significativa) no visibles.

3. OBJETIVOS

El presente trabajo se ha llevado a cabo para tratar de alcanzar los siguientes objetivos:

- Recopilar los datos hidrometeorológicos de interés para el estudio de la descarga del acuífero de la Sierra de las Cabras, correspondientes a parámetros climáticos (precipitación y temperatura) y a caudales del principal punto de descarga (manantial de El Tempul).
- Análisis y tratamiento de los datos, tanto meteorológicos como de caudal del manantial de El Tempul, mediante la aplicación de métodos de análisis de series de datos temporales (análisis correlatorio y análisis espectral, tanto simple como cruzado) y otros métodos más específicos de estudio de la descarga de acuíferos carbonatados (análisis de hidrogramas y análisis de caudales clasificados).
- Aplicar un modelo lluvia-caudal a partir de los datos disponibles, teniendo en cuenta los resultados de estudios preliminares y los obtenidos en el marco del presente trabajo, para tratar de simular el caudal del manantial a partir de las precipitaciones.

La consecución de los objetivos concretos antes señalados, ha permitido conocer mejor el funcionamiento hidrogeológico del acuífero de la Sierra de las Cabras y el balance hidrogeológico del mismo, lo cual redundará en la mejora de la gestión de los recursos hídricos de la zona.

4. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo aplicada en el presente estudio ha constado de dos etapas. La primera ha consistido en la búsqueda y recopilación de la bibliografía geológica e hidrogeológica previamente publicada acerca del área de estudio y, sobre todo, una importante labor de búsqueda y recopilación de las series históricas de datos meteorológicos e hidrogeológicos existentes. La información recopilada se ha contrastado con el oportuno reconocimiento geológico e hidrogeológico de campo en el área de trabajo.

La segunda etapa de trabajo se ha centrado en el análisis, tratamiento y aplicación de las diferentes metodologías, a las series de datos previamente recopiladas:

- Análisis correlatorio y espectral. Esta metodología considera la totalidad de la serie de datos disponible y se puede aplicar en el dominio temporal (análisis correlatorio) y en el dominio de las frecuencias (análisis espectral). El análisis correlatorio y espectral ha sido puesto a punto y utilizado para el estudio de los sistemas kársticos por Mangin (1981a y b). La aplicación de este método a series de datos de lluvia y de caudales, tanto de forma simple como cruzada, permite identificar la estructura y componentes de dichas crónicas de datos. A partir de aquí, se obtiene información del comportamiento del sistema carbonatado estudiado, es decir, del efecto modulador producido por éste sobre la señal de entrada.
- Análisis del hidrograma (Curva de Recesión). El hidrograma de manantiales que drenan acuíferos carbonatados ofrece la posibilidad de estimar la importancia relativa de la red kárstica y de los bloques capacitivos en el acuífero drenado. Aunque la forma del hidrograma resulta en ocasiones suficientemente expresiva, un método de trabajo más riguroso aconsejaría utilizar alguno de los diversos modelos disponibles. Esto exige verificar previamente que el hidrograma en cuestión se ajusta al modelo elegido, de modo que los parámetros obtenidos experimentalmente cumplen las expresiones matemáticas en que tales modelos se basan. El método de Mangin (1975) es el más aceptado, porque fue desarrollado específicamente para acuíferos kársticos y porque tiene en cuenta toda la curva de recesión, es decir, la

parte decreciente del hidrograma comprendida entre la punta de la crecida y el final del agotamiento. Este método se basa en la distinción de dos subsistemas dentro del sistema kárstico: el subsistema infiltración, correspondiente al drenaje de la zona no saturada y de la zona saturada durante la decrecida (infiltración modulada por su transferencia a través de la zona saturada) y el subsistema saturado, correspondiente al drenaje de la zona saturada en régimen no influenciado (agotamiento).

- Análisis de caudales clasificados. La curva de caudales clasificados de un manantial representa el porcentaje de días del periodo considerado que el caudal tiene un valor igual o inferior a uno dado (Custodio y Llamas, 1976). Esta curva expresa la regularidad o irregularidad de los caudales de un manantial o, dicho de otra forma, la frecuencia con la que se presenta un determinado caudal. Si se divide esta frecuencia por el número de días del periodo analizado, se obtiene la probabilidad de que se produzca un caudal cualquiera.
- Aplicación del modelo lluvia-caudal. A partir de toda la información previa, se ha intentado aplicar un modelo lluvia-caudal a los datos de descarga del acuífero de la Sierra de las Cabras por el manantial de El Tempul. En este caso el modelo aplicado ha sido una variante del modelo de Témez (1977), desarrollada por Estrela (1997) para acuíferos. Básicamente, la modelización ha consistido en obtener datos de caudal del manantial de El Tempul a partir de datos climáticos, mediante una serie de algoritmos de cálculo que están organizados en un programa de ordenador.

5. MARCO GEOLÓGICO

5.1. Estratigrafía

Los materiales que constituyen la Sierra de las Cabras pertenecen a la unidad del mismo nombre, dentro del dominio Subbético Medio de la Zona Externa de la Cordillera Bética. La serie estratigráfica de dicha unidad (Fig. 2) está constituida por 3 conjuntos litológicos principales: uno inferior, de edad triásica en facies germano-andaluza, uno medio de naturaleza calcárea-dolomítica de edad fundamentalmente jurásica, y otro superior, de carácter calcáreo-arcilloso de edad cretácico-terciario.

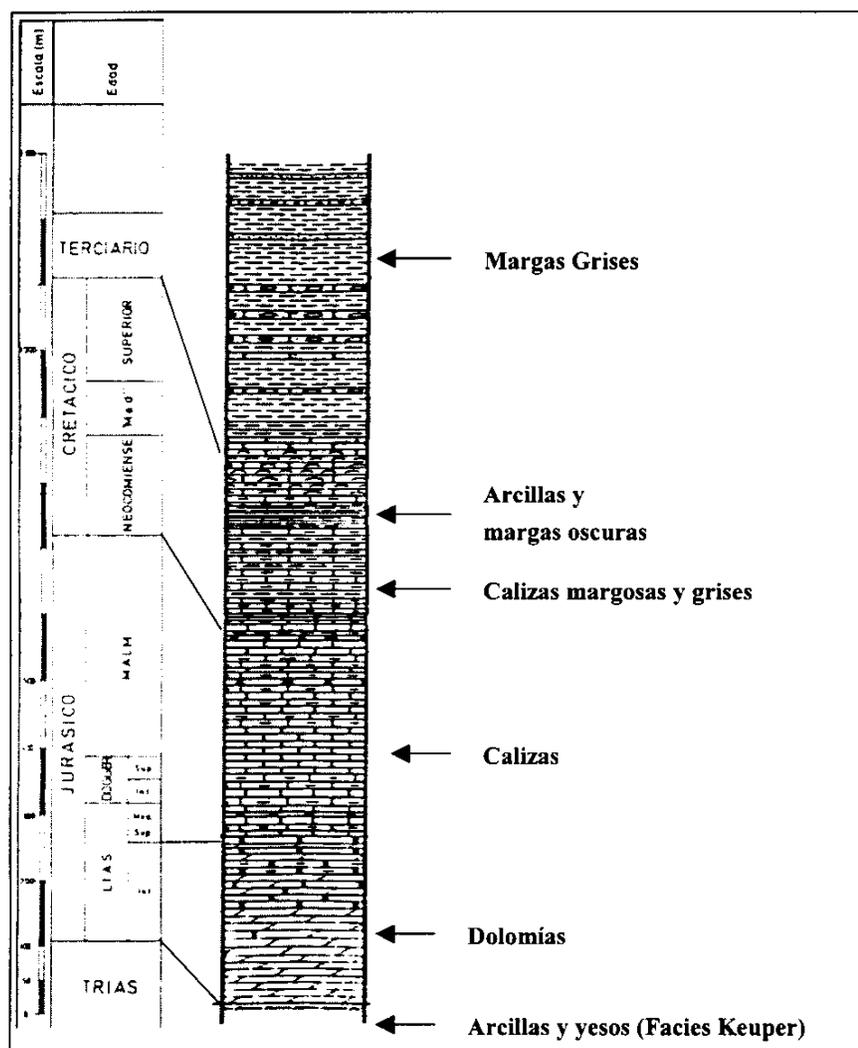


Fig. 2. Serie estratigráfica de Sierra de las Cabras (tomado de Martín-Algarra, 1987).

El conjunto en facies germánico-andaluzas (Trías Keuper) está formado por arcillas de colores abigarrados con presencia de evaporitas (yeso y halita) y, en menor medida, areniscas y carniolas.

A techo de la formación anterior aparece el conjunto calcáreo-dolomítico jurásico, con una potencia no inferior a los 300 metros, formado por los siguientes tramos: dolomías masivas con intercalaciones de calizas de grano fino que presentan frecuentes laminaciones de algas de edad Lías inferior, seguidas de calizas oolíticas y de filamentos de edad Dogger, que pasan progresivamente hacia arriba a una monótona sucesión de edad Malm-Cretácico inferior, constituida por calizas tableadas con nódulos de sílex y calizas arcillosas con intercalaciones de limolitas calcáreas.

El conjunto superior de edad Cretácico tiene un espesor del orden de 250 m y comienza con un paquete de calizas y margas de tonos claros (Cretácico inferior), ampliamente representados en la vertiente meridional de la Sierra de las Cabras, seguido de un conjunto de arcillas y margas oscuras (Cretácico medio) que pasan hacia arriba a una alternancia de margocalizas y margas con tonos rojizos y grises respectivamente (Cretácico superior-Paleoceno). Encima de estos materiales, hay margas grises del Eoceno y margas y margocalizas blancas del Oligoceno.

5.2. Estructura geológica

La estructura geológica del área estudiada está formada por pliegues anticlinales y sinclinales que presentan una forma arqueada en cartografía y que han sido afectados por una tectónica de fractura posterior (Fig. 3).

En la parte meridional hay una estructura anticlinal que constituye los relieves de Sierra del Valle y de Sierra de la Sal, en cuyo núcleo afloran principalmente los materiales carbonatados jurásicos; únicamente en la parte central de la Sierra del Valle afloran los materiales del Trías.

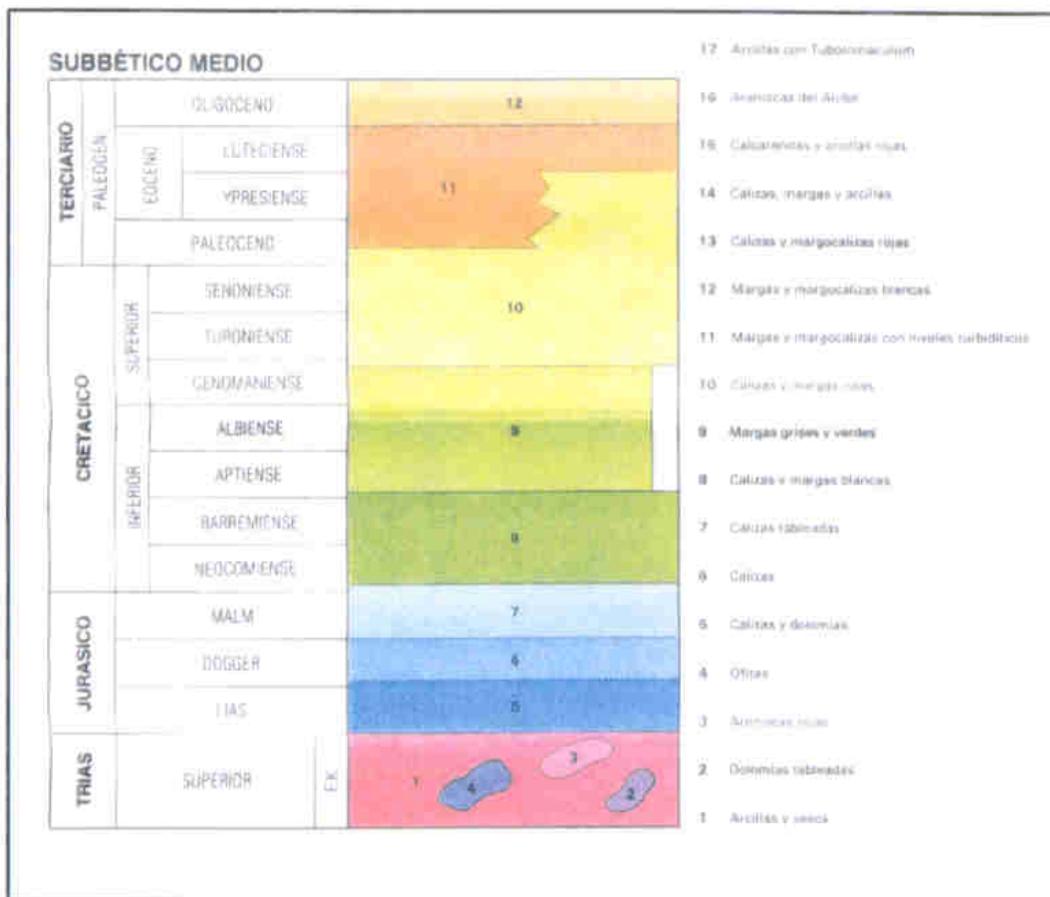
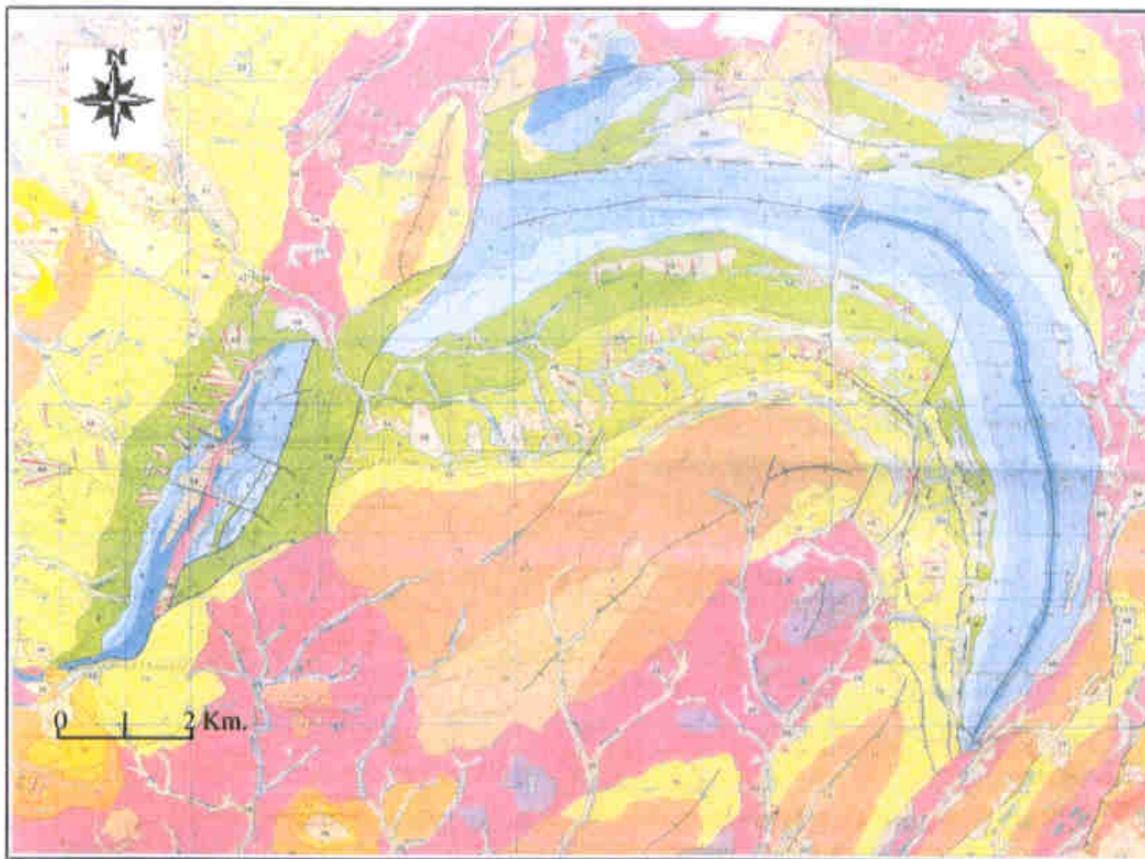


Fig. 3. Cartografía geológica del área de estudio (tomado de ITGE, 1990)

El pliegue de la Sierra de la Sal no presenta vergencia definida; se trata de un pliegue concéntrico con buzamiento de 60° en su flanco sur y de 50° en su flanco norte; en este último aparece una serie de pliegues secundarios, sobre todo en su mitad más oriental. En el núcleo del anticlinal ha debido faltar espacio para resolverse la estructura, por lo que se han formado fracturas que facilitan la expulsión del material del núcleo.

Hacia el Norte, la estructura está formada por un sinclinal ocupado por materiales cretácicos, bajo los cuales deben encontrarse las calizas y dolomías jurásicas, que afloran inmediatamente al norte (Sierra de Dos Hermanas y Loma de El Tempul) formando parte del flanco meridional del siguiente anticlinal, cuyo núcleo estaría ocupado por los materiales del Triás que afloran al Norte del área de estudio. En el informe de EUROESTUDIOS, S.A. se interpreta que estos materiales triásicos son, en realidad, arcillas yesíferas, con cantos y bloques de calizas jurásicas, que habrían sido redepositados durante el Mioceno. Según esta interpretación, el manantial de El Tempul surgiría en el contacto entre los materiales carbonatados y los de edad Mioceno, dejando abierta la posibilidad de que las calizas continuaran más al norte por debajo de los supuestos materiales miocenos. En este punto, según el citado informe, las calizas aparecen muy fracturadas y con signos de colapso probablemente por hundimiento de las mismas sobre los yesos subyacentes que se encontrarían parcialmente disueltos.

Sin embargo, según la cartografía de la hoja geológica n° 1063 (ITGE, 1990), en las proximidades del manantial de El Tempul, las calizas jurásicas están plegadas dando lugar a una estructura periclinal que cabalga localmente sobre los arcillas y yesos pertenecientes al Triás Superior, lo cual está en consonancia con los resultados del sondeo realizado en las proximidades del manantial de El Tempul (a los 18 m de profundidad alcanza el substrato triásico). La cartografía del ITGE, por tanto, implica una más clara y limitada extensión de la estructura, más acorde con los datos de sondeos y con las observaciones de campo realizadas en el marco del presente estudio.

6. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

6.1. Límites y geometría. Principales puntos de agua

De los materiales que afloran en el área estudiada, las calizas y dolomías jurásicas constituyen un acuífero (Fig. 4) cuya superficie permeable total es del orden de 34 km², de acuerdo con la siguiente distribución: 29 km² en la Sierra de la Sal-Cabras, 2'6 km² en la Sierra del Valle, 1'8 km² en la Sierra de Dos Hermanas y 0'45 km² en la Loma del Tempul.

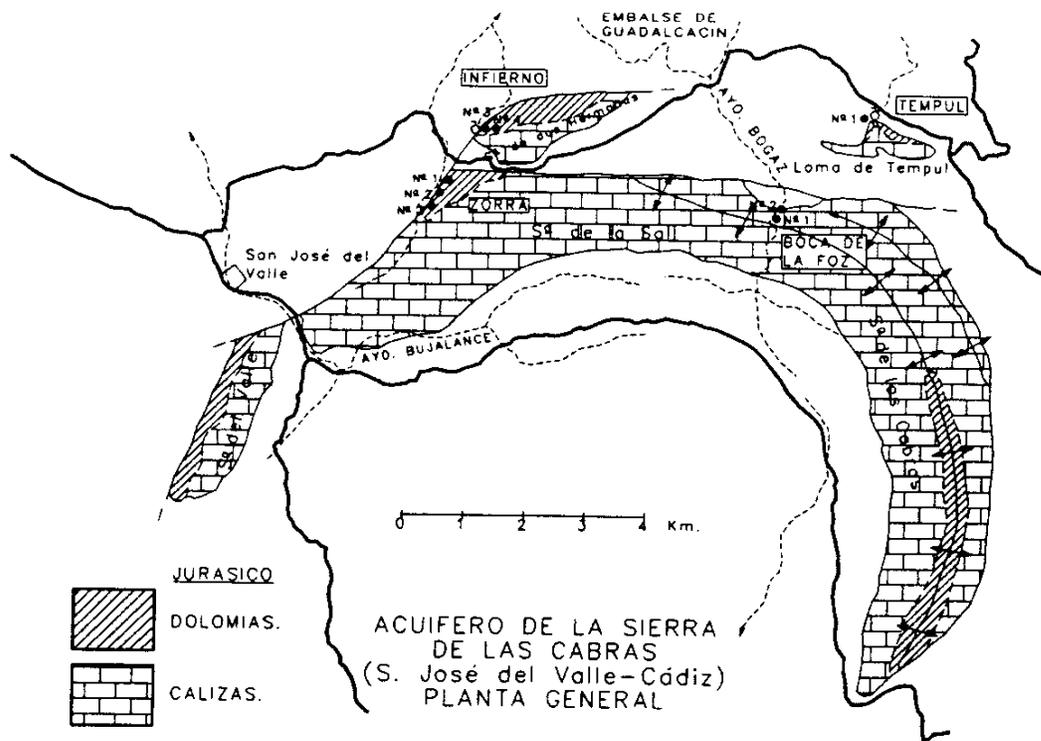


Fig. 4. Esquema hidrogeológico de la Sierra de las Cabras (tomado de Carreras, 1996).

El acuífero está limitado, al Norte y Este, por el contacto entre los materiales carbonatados y las arcillas triásicas y, al Sur y Oeste, por el contacto entre los carbonatos del Jurásico y las margas y margocalizas del Cretácico. La geometría del acuífero está condicionada por la estructura geológica previamente descrita, de forma que debe haber continuidad hidrogeológica entre los afloramientos calcáreos meridionales y septentrionales, aunque la estructura sinclinal intermedia, en el detalle,

puede ser bastante compleja debido a las fracturas asociadas al plegamiento y/o posteriores. Así, la extensión de la zona saturada del acuífero debe ser superior a la superficie de recarga del mismo (afloramientos permeables); concretamente, es del orden de 42 km².

Los principales puntos de agua de la Sierra de las Cabras son de dos tipos: manantiales y sondeos (Fig. 4). El manantial de El Tempul es el más importante y está situado en el punto más bajo del sistema, aproximadamente a la cota 120 m s.n.m. El caudal de esta surgencia varía entre unos 20 l/s y menos de 2000 l/s, con un valor medio histórico de 283 l/s.

Aunque la descarga se produce de modo permanente por el manantial del Tempul, existe otro punto de descarga denominado Fuente Imbro, que funciona de forma temporal (“trop-plein”), situado en la cabecera del arroyo del Infierno (Sierra de Dos Hermanas) a la cota de 140 m.s.n.m. Se trata de una surgencia de “trop-plein” que entra en funcionamiento cuando la superficie piezométrica supera los 22 metros por encima de la cota del manantial, de acuerdo con los datos aportados por Carreras (1996). Según este mismo autor, el día 1 de Febrero de 1986 comenzó a manar agua en Fuente Imbro, aumentando el caudal rápidamente hasta alcanzar valores cercanos a 1 m³/s el día siguiente, que continuaron aumentando ligeramente hasta el día 4 de Febrero, fecha a partir de la cual la surgencia comenzó la recesión hasta que 23 días después se secó totalmente (la descarga total, pudo ser del orden de 1 hm³). En opinión del mismo autor, es posible que también en situación de aguas altas, se produzca descarga de forma difusa en la zona de la Boca de la Foz (140 m.s.n.m.), a través de los suelos que cubren el cauce, incorporándose así a la escorrentía del arroyo. Las observaciones realizadas en el marco del presente trabajo, y de acuerdo con la cartografía geológica, si hubiera descarga en este punto sería visible, al igual que en Fuente Imbro. No obstante, para corroborar esta hipótesis sería necesario disponer de datos de aforos diferenciales en el arroyo de Bogaz.

La gran mayoría de los sondeos existentes en el acuífero de la Sierra de las Cabras son sondeos de investigación que se perforaron en 1995 (Carreras, 1996; ITGE, 1996), distribuidos en cuatro áreas (Fig. 4): en las inmediaciones del manantial de El

Tempul, en la Boca de Foz, en el arroyo de la Zorra y en el arroyo del Infierno. Estos sondeos permiten precisar la geometría del acuífero. Así, en el flanco norte del anticlinal de la S^a de la Sal-Cabras la potencia del acuífero es del orden de 200 metros, aumentando hasta 250 metros al alejarse del núcleo anticlinal. Los sondeos realizados en el borde occidental atraviesan 285 metros de materiales carbonatados sin llegar a la base del acuífero y en la Sierra de Dos Hermanas se atraviesan 250 metros, también sin llegar a la base del acuífero. En la vertical del manantial del Tempul la potencia del acuífero es de unos 18 metros.

6.2. Funcionamiento hidrogeológico. Piezometría y parámetros hidráulicos

La alimentación del acuífero se produce por infiltración directa de las precipitaciones caídas sobre los afloramientos de calizas y dolomías y, eventualmente, por infiltración de parte de la escorrentía que circula por los arroyos de Bujalance y Bogaz, arroyos que se encuentran normalmente secos y con sus cauces colgados del orden de 30 metros o más, sobre la zona saturada del acuífero. La descarga se produce, de modo natural, por el manantial de El Tempul, aunque en épocas de recarga excepcional entra en funcionamiento el “trop plein” de Fuente Imbro, y mediante bombeo en alguno de los sondeos de la parte occidental. Existe, pues, un flujo subterráneo dirigido preferentemente hacia el manantial de El Tempul. A partir de los sondeos de investigación se ha podido determinar que el gradiente hidráulico es del orden del 7‰ (Carreras, 1996), lo cual pone de manifiesto que la superficie piezométrica está próxima a la horizontal.

De todos estos sondeos sólo algunos (2 en la Boca de Foz, 3 en el arroyo de la Zorra y 5 en el arroyo del Infierno) fueron instalados y puestos en funcionamiento durante el periodo comprendido entre Agosto de 1995 y Marzo de 1996, según Carreras (1996). Este autor indicó que los valores de transmisividad obtenidos en los bombeos varían entre 10 y 10^4 m²/día, aunque no especificó los datos de partida ni el método de cálculo.

Durante el periodo de explotación para paliar los efectos de la sequía, se bombeó un volumen superior a 6 hm^3 , con caudales continuos de hasta 900 l/s, lo que produjo un descenso piezométrico del orden de 30 m, aunque habría sido mayor si no se hubieran registrado precipitaciones. El control piezométrico y de los volúmenes bombeados permitieron estimar las reservas del acuífero en $0,2 \text{ hm}^3/\text{m}$ en los 29 m más superficiales de la zona saturada (Carreras, 1996). A partir de los mismos datos, en el informe del ITGE (1996) se calculó la porosidad eficaz que resultó ser del orden de 0,5 %, valor éste aparentemente bajo y, consecuentemente, se dedujo que o bien los descensos producidos en el acuífero fueron menores que los medidos en las inmediaciones de los puntos de bombeo o bien, como hipótesis más probable, existen salidas ocultas cuya magnitud no es posible evaluar.

Las evoluciones piezométricas disponibles en el área de estudio parecen bastante similares aunque son más amortiguadas en las proximidades del manantial de El Tempul (Fig. 5). La evolución más completa y aparentemente representativa es la registrada en un sondeo ubicado en el paraje de la Boca de Foz, donde el nivel piezométrico llegó a estar casi a 50 m de profundidad durante los bombeos efectuados en 1995. El acuífero se llenó a partir de la recarga subsiguiente y, después, sólo se han registrado fluctuaciones naturales del nivel piezométrico del orden de 15 m. Conviene tener presente que según los datos disponibles, en época de aguas altas, el nivel piezométrico en el punto de control ubicado en el paraje de Boca de Foz se sitúa a menos de 1,5 m de la superficie, por lo que parece razonable pensar que en esta situación hidrodinámica pueda existir descarga del acuífero al arroyo.

El paralelismo entre las evoluciones piezométricas y la subhorizontalidad de la superficie piezométrica, son hechos interpretados en el informe del ITGE (1996), como signo de una cierta uniformidad a nivel de la zona saturada del acuífero. Esto suele ser característico de sistemas de reducidas dimensiones y elevada difusividad hidrodinámica, es decir, las calizas y dolomías jurásicas presentan una transmisividad elevada (ITGE, 1996).

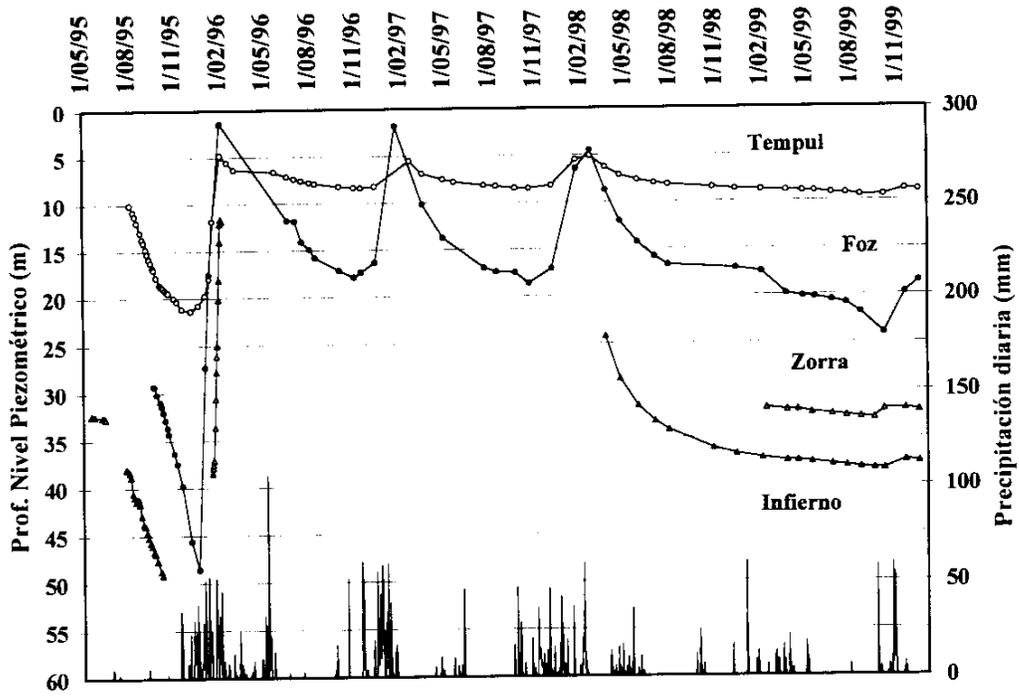


Fig. 5. Evolución piezométrica en los sondeos del área de estudio.

7. CLIMATOLOGÍA

7.1. Marco climático

De forma general, el clima de la provincia de Cádiz puede considerarse como de tipo mediterráneo (Fig. 6), modificado por su situación al borde del Océano Atlántico. Posee una estación cálida y seca, pero sus particulares características geográficas y su proximidad al mar condicionan la existencia de una serie de variedades climáticas. Así, dentro de la provincia de Cádiz, pueden diferenciarse los siguientes tipos climáticos, de acuerdo con el Atlas Hidrogeológico (Diputación Provincial de Cádiz, 1985):

- Mediterráneo subtropical, con régimen térmico cálido, en el tercio norte.
- Mediterráneo subtropical, con régimen térmico semicálido, en la franja litoral.
- Mediterráneo marítimo con régimen térmico cálido para el resto de la provincia.

En este régimen climático se encuentra la mayor parte de la Sierra de las Cabras.

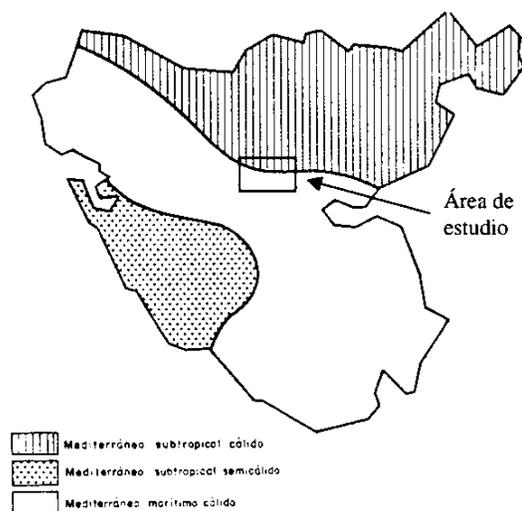


Fig 6. Regímenes climáticos de la provincia de Cádiz (tomado de Diputación Provincial de Cádiz, 1985)

En relación con las temperaturas cabe señalar que predominan los valores moderados. Las temperaturas más bajas se producen con vientos del norte, aunque raramente se producen heladas, y las más altas cuando soplan vientos cálidos y secos de

levante. Los datos de una antigua estación meteorológica (San José del Valle) ponen de manifiesto que la temperatura del área varía entre 0,2°C y 38,7°C, con un valor medio anual de 17,3 °C.

En lo que concierne a las precipitaciones, existe una variabilidad espacial muy marcada en la provincia de Cádiz (Fig. 7): las isoyetas se disponen prácticamente Norte-Sur (p.e., Gibraltar está prácticamente en el mismo intervalo de isoyetas que el área de estudio) y los valores aumentan desde el Oeste (Cádiz, San Fernando) hacia el Este (donde se encuentra la Sierra de Grazalema, el lugar donde más llueve de España). La precipitación media en el área de estudio es del orden de 850 mm/año. La distribución de las precipitaciones a lo largo del año es también bastante irregular, con valores máximos en los meses de invierno y un periodo seco entre los meses de verano.

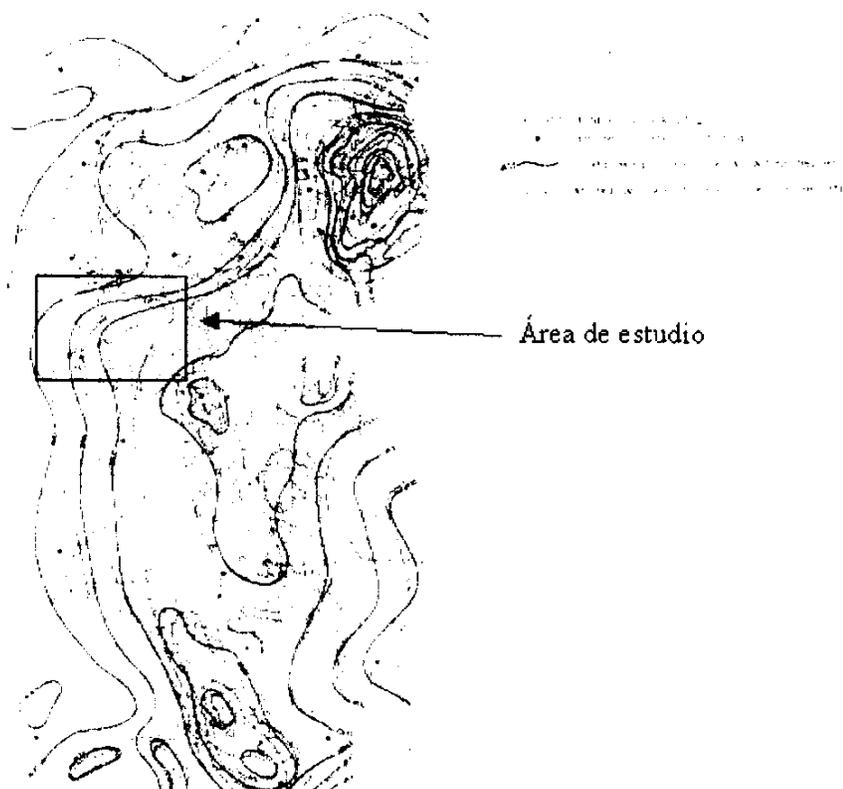


Fig 7. Isoyetas en el área de estudio (tomado de Diputación Provincial de Cádiz, 1985).

7.2. Recopilación y análisis de datos climáticos

Para la realización de este estudio se ha recopilado los datos meteorológicos que se indican a continuación:

- Series históricas de datos de precipitación y temperatura de la estación meteorológica del Real Observatorio de San Fernando (Cádiz), facilitadas por dicho organismo. Tanto los datos de precipitación como de temperatura son de dos tipos: valores medios mensuales del periodo comprendido entre enero de 1870 y diciembre de 1997 y valores diarios desde enero de 1977 hasta diciembre de 1997.
- Serie histórica de datos pluviométricos diarios, desde 1790 hasta 1979 correspondiente a la estación meteorológica de Gibraltar, facilitadas por la Confederación Hidrográfica del Sur.
- Series de datos mensuales de temperatura correspondientes a la estación del embalse de los Hurones, desde 1989/90 a 1994/95, tomada del informe del ITGE (1996).
- Serie de datos diarios de precipitación, desde Enero de 1985 hasta Noviembre de 1999, correspondiente a la estación meteorológica de El Tempul, registradas por el personal de la empresa Aguas de Jerez (AJEMSA).

Se ha llevado a cabo una comparación entre las temperaturas de la estación de San Fernando y la estación de los Hurones (Fig. 8), para ver el grado de correlación entre las temperaturas en el área litoral frente al área interior de la provincia de Cádiz. El coeficiente de correlación es elevado, por lo que los datos de temperatura de San Fernando se utilizarán más adelante en la modelización lluvia-caudal, para calcular la evapotranspiración potencial.

Se ha efectuado una comparación entre las precipitaciones de la estación de Gibraltar y la estación de San Fernando y se ha obtenido como resultado que en el primer caso la precipitación media anual registrada es superior, aproximadamente, en

250 mm. Por tanto, la estación de Gibraltar, que se encuentran en un intervalo de isoyetas similar al de Sierra de las Cabras, se considera más adecuada para el presente estudio. Se ha completado la serie de datos de la estación de Gibraltar a partir de la de San Fernando, desde Enero de 1997 a Diciembre de 1984, para poder representar las precipitaciones en los hidrogramas del manantial de El Tempul correspondientes al periodo 1979-1984.

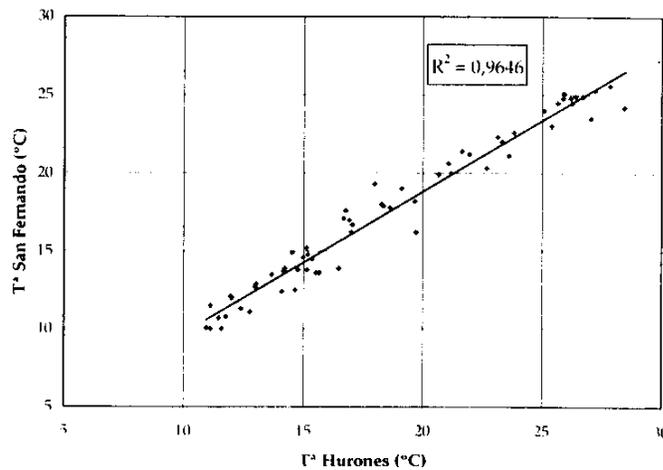


Fig. 8. *Correlación entre los datos de temperatura medidos en las estaciones de San Fernando y del embalse de Los Hurones.*

7.3. Análisis de series temporales de datos de lluvia

7.3.1. Análisis correlatorio y espectral de las series de precipitaciones diarias de El Tempul y San Fernando

La metodología aplicada en este análisis se describe posteriormente, en el apartado 8.2.1.

Se ha realizado un análisis simple (correlograma y espectro de frecuencia) de la serie de datos diarios disponibles de ambas estaciones: desde 1-1-85 al 21-11-99 en la estación de El Tempul (Anexos 1 y 2) y desde 1-1-85 al 30-11-1995 en la estación de San Fernando (Anexos 3 y 4). El correlograma de una serie de datos es la función autocorrelación de una crónica finita y pone de manifiesto la dependencia entre las

observaciones de la crónica para intervalos de tiempo cada vez más grandes; por tanto, traduce el efecto memoria: el correlograma decrece tanto más rápido cuanto menos inercial es el proceso que lo genera.

El espectro de densidad de varianza es la transformada de Fourier del correlograma simple y permite descomponer la varianza total de una crónica en función de la frecuencia. El espectro permite, pues, detectar las diversas componentes (secular, estacional y aleatoria) comprendidas en la crónica de datos.

En cualquier caso, la información sobre la estructura de la serie no es válida más que para el periodo comprendido entre el doble del paso de tiempo considerado y el tercio de la longitud de la crónica (ventana de observación). Tanto el análisis correlatorio como el espectral se realizan a dos niveles: “corta duración” (ventana de observación de 125 días y paso de un día) para detectar las tendencias intranuales y “larga duración” (ventana de observación de 1250 días y “paso” de 10 días) para detectar las tendencias interanuales.

El correlograma simple de corta duración realizado con los datos de lluvia tomados a paso de tiempo diario en la estación de El Tempul, pone de manifiesto el carácter de función casi aleatoria pura de esta variable, con una marcada independencia de los valores entre sí (Fig. 9A). El efecto memoria, denominado por Mangin (1981a) como el valor de k (días) para $r = 0.1-0.2$, obtenido del correlograma, presenta un valor de 2 días. Es decir que la lluvia de un día no se parece nada a la lluvia caída dos días antes. El correlograma de larga duración permite detectar únicamente la periodicidad anual en la distribución de las precipitaciones (Fig. 9B).

El espectro de densidad de varianza permite deducir periodicidades pluviométricas para ciclos menores, aunque es la periodicidad pluviométrica para el ciclo anual la más marcada, hecho éste que se denota tanto en el análisis de corta como en el de larga duración (Fig. 9C yD).

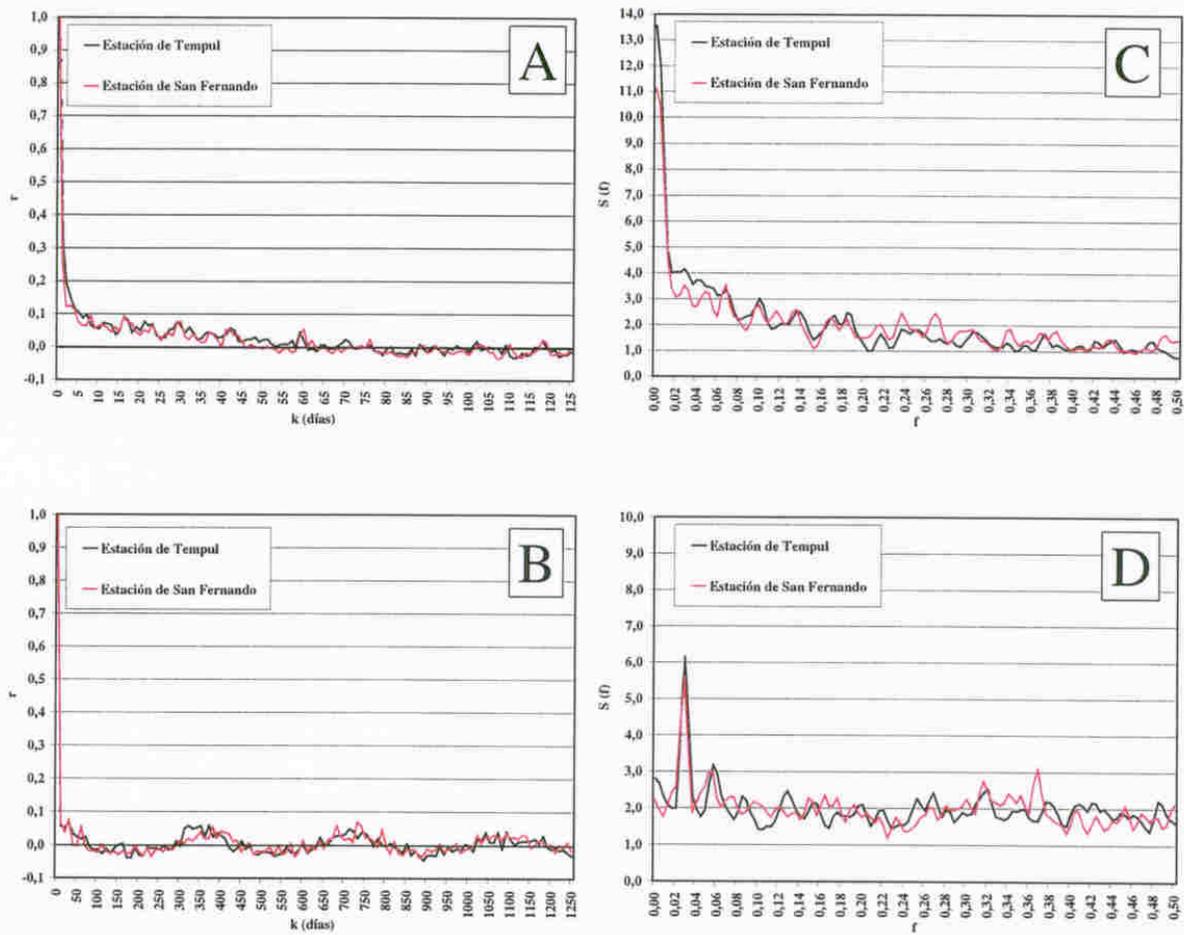


Fig. 9. Resultados del análisis correlatorio (A, B) y espectral (C, D) efectuado con datos diarios de las estaciones de El Tempul y San Fernando.

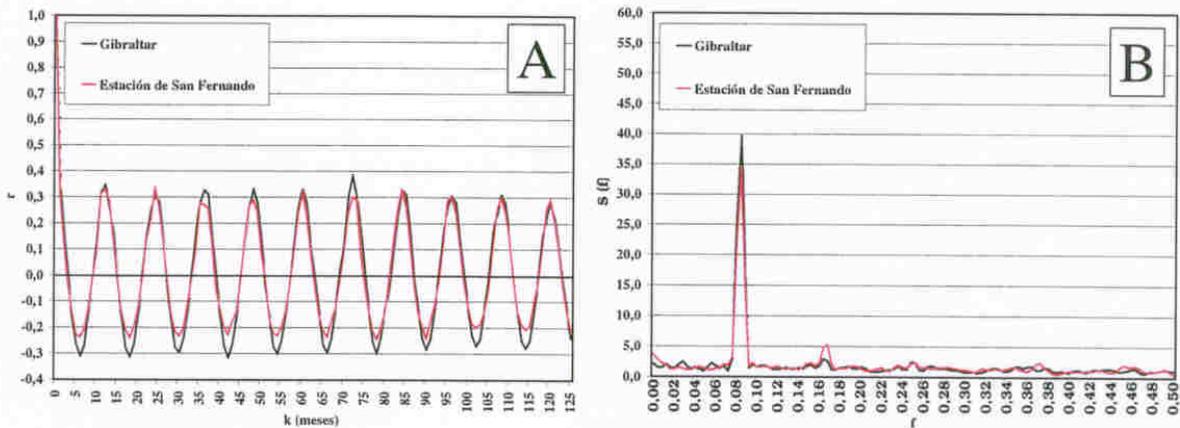


Fig. 10. Resultados del análisis correlatorio (A) y espectral (B) efectuado con datos mensuales de las estaciones de Gibraltar y San Fernando.

Los resultados del análisis de los datos de la estación de San Fernando son una réplica exacta de los anteriormente comentados (Figs. 9A a D). En el caso del correlograma simple a corto término, el carácter de función casi aleatoria de la variable lluvia queda bien reflejado, observándose al igual que la precipitación en El Tempul un efecto memoria de 2 días. Análogamente, en el correlograma simple de larga duración queda reflejada la existencia de los ciclos anuales.

El espectro simple, al igual que en la crónica de datos de El Tempul, se observan periodicidades pluviométricas menores a la anual, aunque esta última es la más marcada, tanto en el espectro de corta como de larga duración.

7.3.2. Análisis correlatorio y espectral de las series históricas de precipitaciones mensuales de Gibraltar y San Fernando

Los correlogramas simples de las series de datos de ambas estaciones, tanto a corto como a largo término, ponen de manifiesto la existencia de ciclos anuales bien marcados (Fig. 10A). En los Anexos 5 y 6 se recogen todos los resultados obtenidos.

El espectro de densidad de varianza para ambas series históricas permite detectar una periodicidad pluviométrica anual muy marcada y una semestral menos patente (Fig. 10B).

7.3.3. Síntesis de resultados del análisis correlatorio y espectral de los datos de lluvia

El análisis correlatorio y espectral de las series de datos de lluvia disponibles, pone de manifiesto que la tendencia anual en la distribución de las precipitaciones ha sido una constante desde hace casi dos siglos, aunque se hayan detectado algunas periodicidades menores, poco marcadas. A partir de los datos manejados, no se advierte ninguna otra tendencia diferente a largo término que lleve a pensar en la existencia de un cambio en el régimen de precipitaciones en el área de estudio.

8. ANÁLISIS DE SERIES DE DATOS DE CAUDAL DEL MANANTIAL DE EL TEMPUL

8.1. Recopilación y análisis previo de los datos de caudal

La crónica de datos relativa a la descarga del manantial del Tempul, proporcionada por la empresa de Aguas de Jerez (AJEMSA), se puede dividir en dos series bien diferenciadas:

- Serie histórica de caudales mensuales del manantial, calculados a partir de las lecturas de altura de la lámina agua en el vertedero principal de la estación de aforos. Las lecturas fueron realizadas los días 20 de cada mes y convertidas posteriormente en caudales mediante la aplicación de una curva de gasto (ITGE, 1996). Se trata de una serie de excepcional longitud ya que engloba desde junio de 1862 hasta diciembre de 1995 (Figuras 11, 12, 13 y 14). A partir del análisis del registro de aportaciones de la serie histórica, se pone de manifiesto que el caudal del manantial del Tempul varía entre 1951 l/s (Febrero de 1941) y 20 l/s (Diciembre de 1975), con un valor medio de 283 l/s.
- Serie de valores diarios de la altura de agua en el vertedero principal de la estación de aforos y en la entrada del acueducto, y por tanto del caudal diario mediante la aplicación de la curva de gasto de la estación de aforos. Esta serie de caudales diarios comprende desde enero de 1985 hasta noviembre de 1999. El caudal medio del manantial durante este periodo es de 253 l/s.

En cualquier caso, la curva de gastos utilizada ha sido la propuesta por IDRENA en el informe del ITGE (1996). Esta curva parte del hecho de que a partir de una determinada altura de lámina de agua los caudales que circulan actualmente por el vertedero son bastante superiores a los estimados por la ley de conversión H-Q (cuyo carácter experimental o teórico se desconoce) aplicada por AJEMSA, lo cual se atribuye al deterioro progresivo de la estación de aforos durante los 138 años de funcionamiento. La curva de gastos propuesta por IDRENA consta, así, de dos tramos:

- Para alturas de lámina de agua mayores de 4 cm, se ha utilizado la relación $Q=52,9013 \times H_v-134,9094$, donde H_v es la altura de la lámina de agua en el vertedero.
- Para caudales inferiores a 76,7 l/s o para alturas de lámina de agua en el vertedero principal menores de 4 cm, se ha utilizado la relación siguiente $Q=1,4574 \times H_c + 19,5717$, donde H_c es la altura del agua a la entrada en el acueducto.

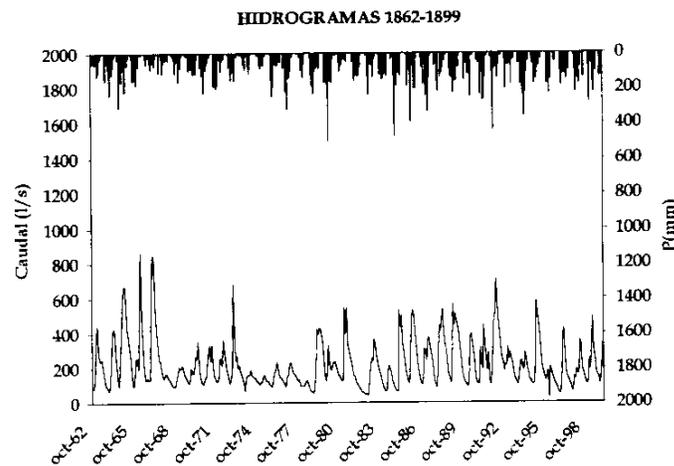


Fig. 11. Hidrograma del manantial de El Tempul entre 1862-1899.

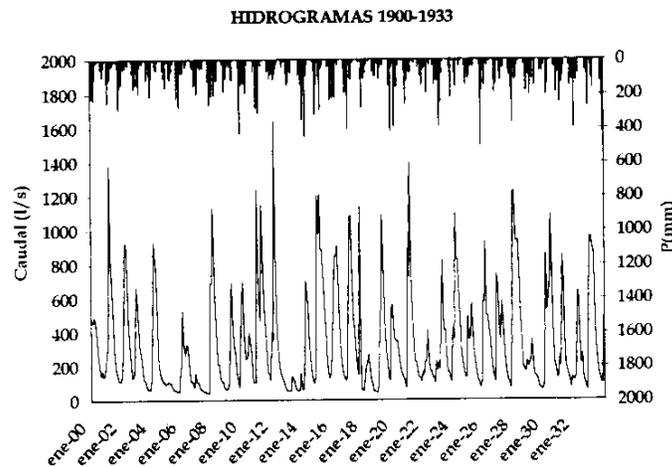


Fig. 12. Hidrograma del manantial de El Tempul entre 1900-1933.

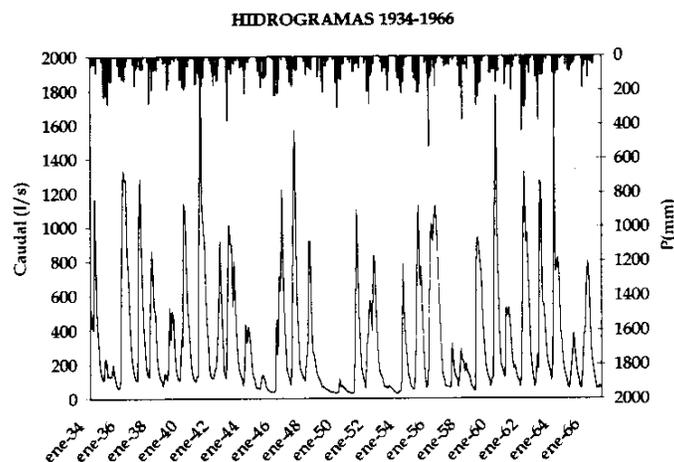


Fig. 13. Hidrograma del manantial de El Tempul entre 1934-1966

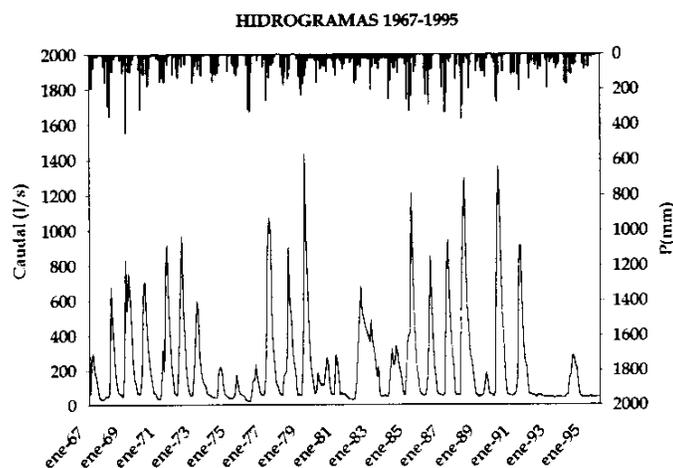


Fig. 14. Hidrograma del manantial de El Tempul entre 1967-1995.

En la figura 15 se ha representado la curva acumulada del registro histórico de caudales en el manantial de El Tempul frente a la acumulada de las precipitaciones en las dos estaciones con registro histórico (Gibraltar y San Fernando). Como puede apreciarse, la tendencia es lineal en las series de datos pluviométricos, es decir, que no se han producido variaciones significativas en el régimen de precipitaciones; sin embargo, en el gráfico de la serie de datos de caudal se detectan tres tramos con pendientes ligeramente distintas. Si los caudales en el manantial son consecuencia de las precipitaciones, como es lógico pensar, la distribución debería ser también una línea

recta, por lo que cabe interpretar que hay errores en la serie de datos de caudal derivados del registro y/o de la curva de gastos.

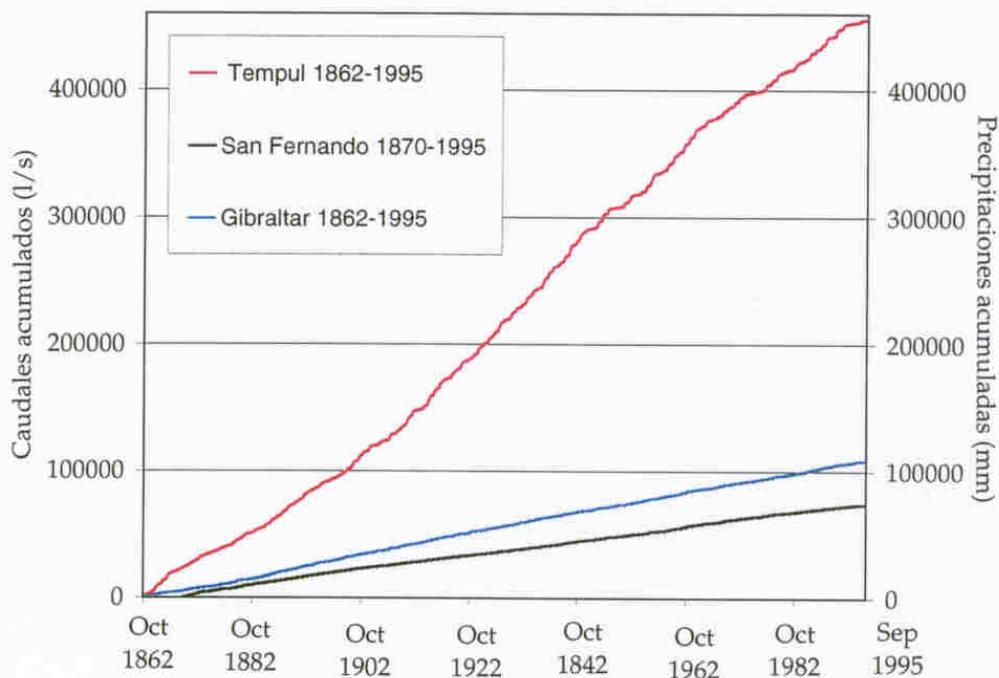


Fig. 15. Curva acumulada de caudales y precipitaciones desde Octubre de 1862 hasta Septiembre de 1995.

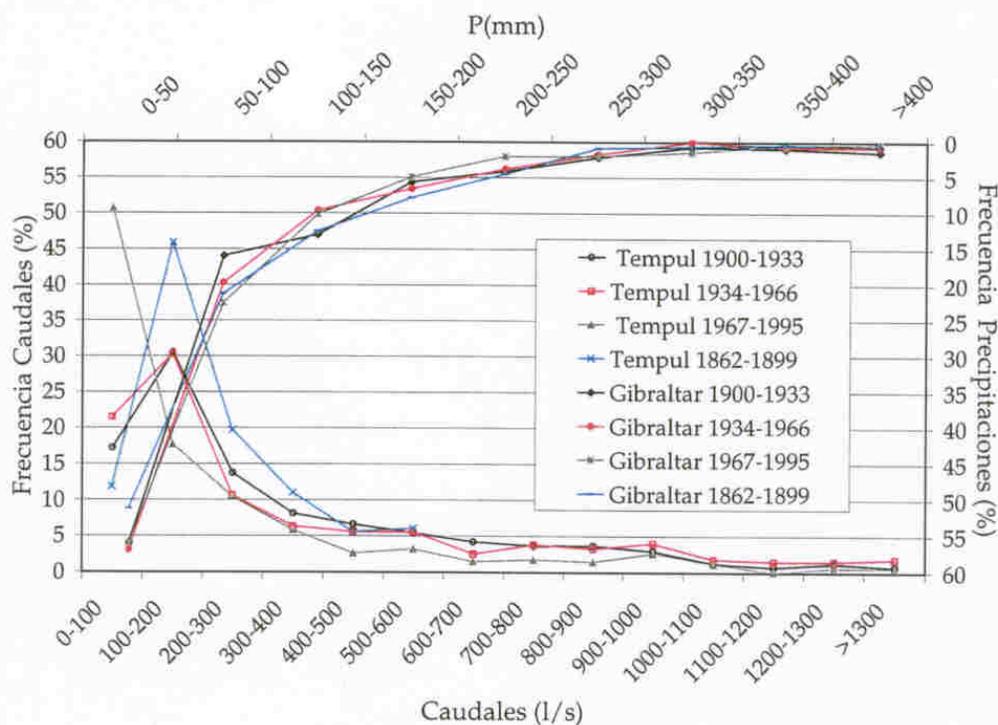


Fig. 16. Frecuencia de los caudales en el manantial de El Tempul frente a la frecuencia de las precipitaciones de la estación de Gibraltar

Para tratar de dilucidar qué datos son los más fiables, se ha dividido el periodo histórico en varios tramos y se ha representado la frecuencia acumulada de las precipitaciones frente a la frecuencia acumulada de los caudales (Fig. 16). Así, se ha podido constatar que en todos los tramos en que se ha dividido el periodo histórico de precipitaciones, la gráfica muestra una distribución normal, en la que los valores más frecuentes son las de precipitaciones más bajas. Sin embargo, en los gráficos correspondientes a los caudales se observa que para el periodo histórico (aproximadamente hasta 1960) los caudales más frecuentes no son los más bajos (como ocurre en las series pluviométricas), sino que son más frecuentes los caudales comprendidos entre 100 y 200 l/s. En cambio, a partir de 1960, los caudales más frecuentes son los más bajos, en consonancia con lo que ocurre con la serie pluviométrica, lo cual lleva a pensar que los datos de este periodo están aceptablemente registrados.

Por otra parte, en el periodo inicial (1862-1900) los caudales máximos son sistemáticamente más bajos que en el resto de la serie de datos, tal como se observa en la evolución temporal de los caudales (Figs. 11 a 14). Este hecho puede estar motivado por errores de registro.

En el periodo histórico de datos mensuales hay dos años en los que faltan datos y se ha procedido a completar la serie a partir de los correspondientes valores medios mensuales del resto de la crónica y de la correlación entre la precipitación y caudal.

Dentro del periodo de datos aparentemente bien registrados, se encuentran los hidrogramas obtenidos entre Enero de 1985 y Septiembre de 1999 (Fig. 14), a paso de tiempo diario. Estos hidrogramas permiten observar que episodios lluviosos aislados, superiores a 50 mm/día, producen aumento de caudal en la surgencia. Sin embargo, en época de aguas altas, precipitaciones inferiores a dicho valor producen respuesta en el manantial dependiendo del estado de la zona no saturada. Además, se constata que, generalmente, suele transcurrir una media de 10 días, desde el momento que se produce la precipitación hasta que empieza a aumentar el caudal del manantial.

En cualquier caso, la observación directa de la evolución de los caudales no permite distinguir tendencia alguna en la distribución temporal de la misma, para lo cual es necesario recurrir a métodos como el análisis correlatorio y espectral.

8.2. Análisis Correlatorio y Espectral (ACE)

8.2.1 Fundamentos del método

El análisis correlatorio (en el dominio temporal) y espectral (en el dominio frecuencial) simple de los datos de caudal y cruzado con los datos de precipitaciones permite conocer el papel modulador del sistema sobre la señal de entrada y, por consiguiente, la estructura y funcionamiento del acuífero investigado.

De acuerdo con Mangin (1981 a y b), los sistemas kársticos mal drenados atenúan todas las variaciones de la lluvia a corto plazo en favor de fuertes variaciones estacionales. Se trata de sistemas que filtran fuertemente la señal de entrada mostrando por tanto una gran inercia y, según el mismo autor, pueden contener reservas importantes debido a su gran poder regulador. Por ello, presentan un correlograma de caudales tendido, con efecto memoria y tiempo de regulación elevados; en el dominio frecuencial se filtran las variaciones a corto plazo (altas frecuencias) y son amplificadas las producidas a largo plazo (bajas frecuencias), mostrando la banda espectral estrecha.

Por el contrario los sistemas con un drenaje bien organizado, y siempre según el mismo autor, son sistemas que apenas si filtran la señal de entrada, es decir, no muestran comportamiento inercial ni memoria, por lo que suelen presentar escasas reservas. Por ello, presentan correlogramas que decrecen rápidamente, con tiempos de regulación muy cortos y banda espectral ancha.

Tales diferencias se observan igualmente en el correlograma cruzado, en el cual se analiza la relación causa-efecto entre lluvia y caudal, y dado que la lluvia representa una función aleatoria en nuestro dominio climático, el correlograma cruzado constituye la respuesta impulsional del sistema, es decir, el hidrograma unitario del acuífero.

El espectro de densidad de varianza del correlograma cruzado aparece definido por dos funciones: función de amplitud cruzada y función de fase. La primera, representa la respuesta impulsional en el dominio de las frecuencias y pone de manifiesto la capacidad de filtro del sistema. La segunda, muestra el desfase entre las precipitaciones y caudales.

Además, a partir de los espectros simples y del cruzado se pueden calcular dos nuevas funciones: coherencia y ganancia. La función de coherencia indica la correlación existente entre las variaciones periódicas del caudal y precipitación; por tanto, da cuenta de la linealidad del sistema en el dominio frecuencial. La función de ganancia, expresa la amplificación o atenuación de la señal de entrada, imputable al acuífero kárstico como responsable de dicha alteración.

8.2.2. ACE con la serie de datos diarios de caudal

En este apartado se presentan los resultados del análisis correlatorio y espectral, llevados a cabo con la serie cronológica comprendida entre las fechas 01/01/1985 y 30/11/1995. La señal de entrada corresponde a las precipitaciones diarias en la estación pluviométrica de El Tempul; la de salida, a caudales medios diarios en la estación de afloramientos del manantial del Tempul. Teniendo en cuenta los datos empleados, fenómenos de periodicidad inferior a 2 días no pueden ser analizados. Al igual que en el capítulo de climatología, el tratamiento se realiza a dos niveles (Anexos 7 a 10): corta duración (ventana de observación de 125 días y paso de un día) y larga duración (ventana de observación de 1250 días y paso de 10 días).

8.2.2.1. Análisis de la función de salida

El tratamiento de las series de caudales diarios del manantial de El Tempul da lugar a un correlograma bastante tendido (Fig. 17A). Así para el análisis de corta duración, el efecto memoria, que según Mangin (1981 a y b) se define como el valor de

k (días) para $r = 0.1-0.2$ y el cual se relaciona con el papel regulador de las reservas, presenta en este caso un valor de 95 días, valor bastante elevado que sugiere la existencia de importantes reservas reguladoras.

En el dominio frecuencial, a partir de la anchura de la banda espectral o frecuencia de corte permite conocer desde un punto de vista cuantitativo la capacidad de filtro del sistema, mostrando en este caso un valor de 0.03 (Fig. 17B), lo que indica que la información de la lluvia se encuentra filtrada al cabo de aproximadamente 33 días, y por tanto, teóricamente, si se analiza el sistema con una periodicidad menor a ésta no se obtendrá información significativa.

El espectro de densidad de varianza permite calcular, además, la duración de la influencia de los eventos de lluvia sobre el sistema a partir del parámetro denominado tiempo de regulación, que se define por $S_0/2$, donde S_0 es el valor del espectro para $f=0$, y que en el caso del manantial de El Tempul es de 85 días. Este dato corrobora la interpretación efectuada anteriormente y refleja la importante capacidad de regulación del sistema.

El análisis a largo término (Anexo 9) ha permitido obtener un correlograma que refleja la existencia de ciclos anuales bien marcados (Fig. 18A). El espectro, para el análisis de larga duración (Fig. 18B), muestra la presencia de un marcado ciclo anual, al igual que se observaba para las precipitaciones, por tanto su origen es claramente de naturaleza climática. Además se observan 2 picos claramente marcados que indican ciclicidades de 227 y 178 días.

8.2.2.2. Análisis cruzado (entrada-salida)

La función de correlación cruzada representa la intercorrelación de dos series finitas, considerando una de ellas (lluvia) como causa de la otra (caudal). Como ya se ha indicado anteriormente, el correlograma cruzado puede aportar una buena imagen de la respuesta impulsional del sistema.

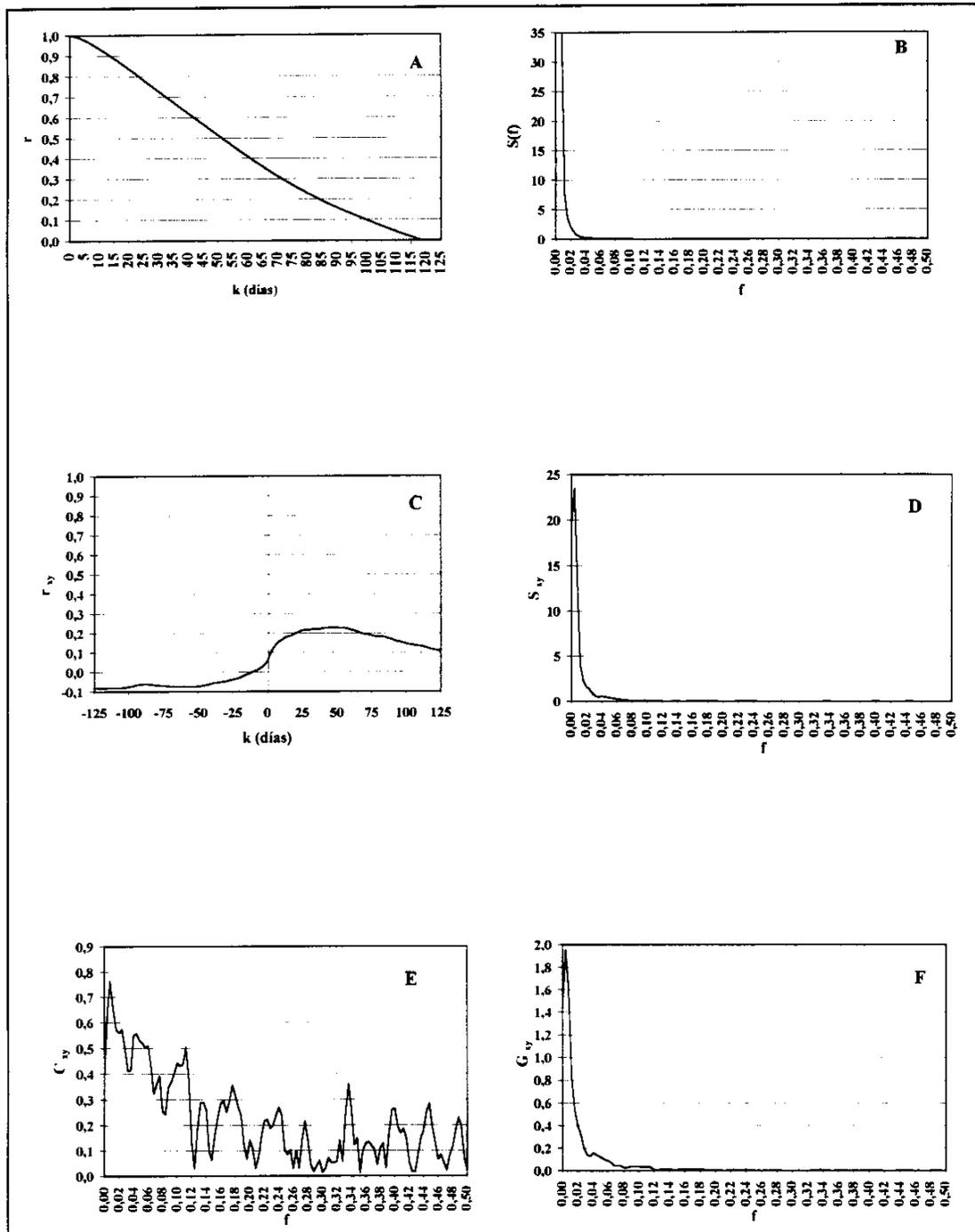


Fig. 17. Resultados del análisis correlatorio y espectral de la serie de caudales diarios drenados por el manantial de El Tempul entre 1985 y 1999, para una ventana de 125 días y paso de 1 día.

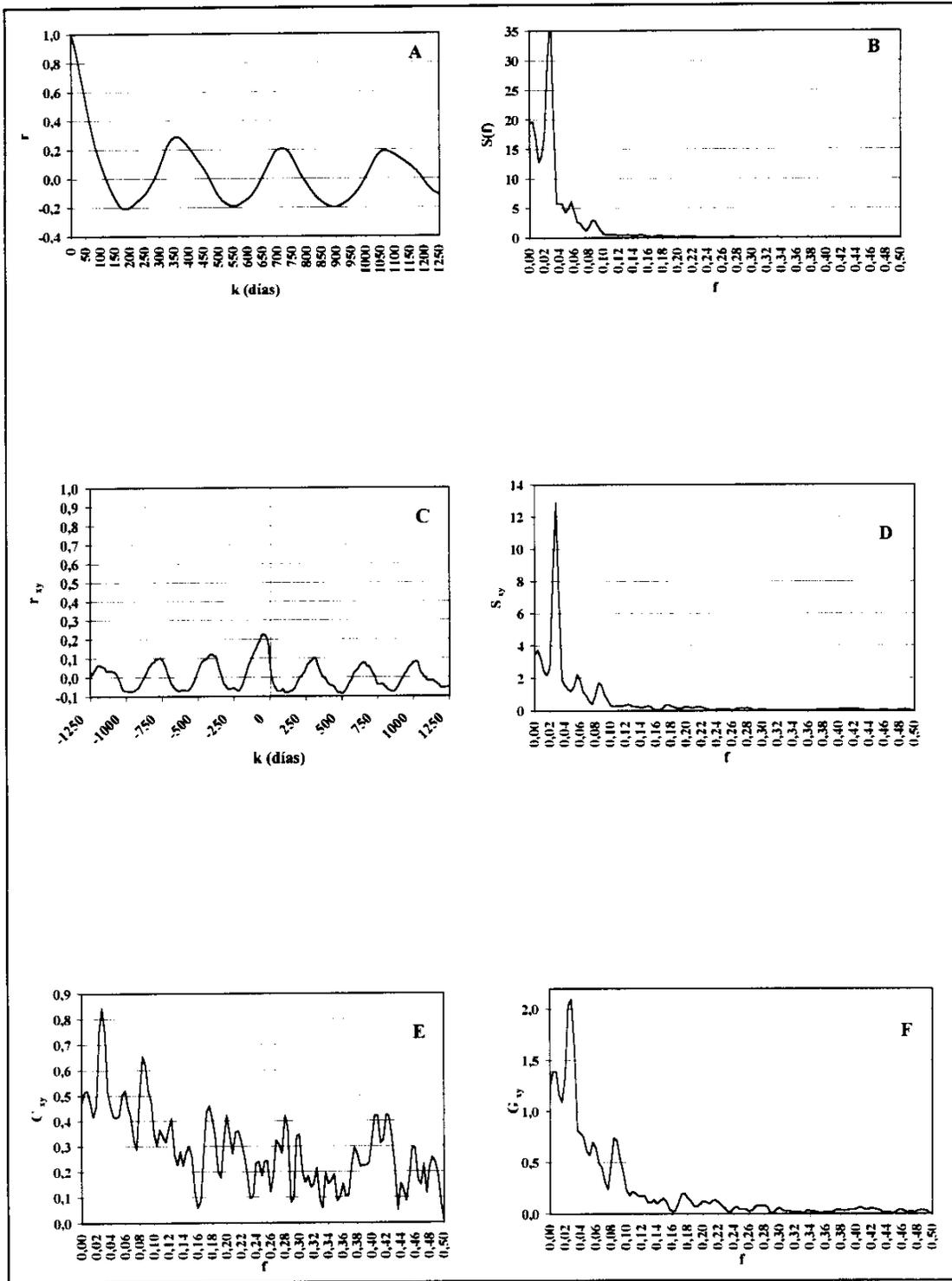


Fig. 18. Resultados del análisis correlatorio y espectral de la serie de caudales diarios drenados por el manantial de El Tempul entre 1985 y 1999, para una ventana de 1250 días y paso de 10 días.

En primer lugar, es preciso indicar que el correlograma cruzado presenta una forma extendida, poco puntiaguda, con valores máximos del coeficiente de correlación de 0'202 para un valor de k de 28 días (Fig. 17C). Ello sugeriría una transmisión lenta de la señal de entrada, ya que se produce una importante amortiguación de la señal de entrada, probablemente debida a un escaso grado de karstificación de la zona no saturada. Todo esto conlleva un modelo de acuífero muy inercial, acorde con un importante poder regulador, ya deducido anteriormente con los resultados del análisis simple. El correlograma cruzado de larga duración (Fig. 18C) muestra, una vez más, una ciclicidad anual muy marcada.

La función amplitud cruzada, tanto para el análisis de corta como de larga duración (Figs. 17 D y 18D), únicamente muestra de forma clara el pico correspondiente a la componente anual, evidenciando la gran capacidad de filtro del sistema. Además, a partir de la función de fase podemos conocer el desfase medio existente entre la señal de entrada y la de salida para cualquier frecuencia mediante la expresión $T = \theta/2\pi f$ ($T =$ días, $\theta =$ radianes, $f =$ frecuencia). Así, para sucesos de periodicidad anual, el desfase medio es de unos 69 días.

Como se observa en la figura 17E, la coherencia sólo existe para las frecuencias bajas (0'7-0'8); es decir, precipitaciones generalmente de una periodicidad menor a la anual no provocan variaciones apreciables en el caudal del manantial. El análisis de larga duración permite constatar, nuevamente, el hecho de que este sistema sea algo lineal nada más que para el periodo anual (Fig. 18E).

La capacidad reguladora del sistema queda perfectamente evidenciada en la fuerte atenuación que éste produce sobre las altas frecuencias en el gráfico de la función ganancia. Así, señales de entrada definidas por periodicidades inferiores a 83 días son atenuadas y señales de entrada de ciclo anual (bajas frecuencias) son claramente amplificadas (Fig. 17F). Para el análisis de larga duración (Fig. 18F), aunque se insinúan ciertos picos para periodicidades menores a la anual, todas se atenúan considerablemente.

Se ha repetido el tratamiento del análisis correlatorio y espectral con datos semanales (tanto de precipitación como de temperatura), obtenidos a partir de los datos diarios y los resultados obtenidos son bastante similares, aunque el trazado de los gráficos denota una menor precisión de los datos. En cualquier caso, este aspecto es interesante a la hora de llevar a cabo futuros muestreos periódicos en el manantial; así, probablemente con un muestreo semanal sea suficiente para obtener gran parte de la información.

8.2.3. ACE con la serie histórica de caudales mensuales

A continuación se presentan los resultados del análisis correlatorio y espectral, llevados a cabo con la serie histórica de caudales mensuales comprendida entre Octubre de 1862 y Diciembre de 1978 (1395 datos). La señal de entrada corresponde a las precipitaciones mensuales en la estación pluviométrica de Gibraltar y la de salida, a caudales medidos el día 20 de cada mes en la estación de aforos del manantial del Tempul. Por ello, teniendo en cuenta los datos empleados, fenómenos de periodicidad inferior a 2 meses no pueden ser analizados. En este caso, el análisis correlatorio y espectral, se realiza únicamente a corto término (Anexos 11 y 12): ventana de observación de 125 meses y paso de 1 mes.

8.2.3.1. Análisis de la función de salida

El correlograma de las series de caudales mensuales del manantial de El Tempul muestra una ciclicidad anual bastante marcada (Fig. 19A). El efecto memoria es de 105 días, valor ligeramente superior al obtenido para el análisis de la serie diaria, pero que corrobora la gran capacidad de filtro del sistema.

En el dominio frecuencial se observa claramente el pico correspondiente a la tendencia anual en la distribución de las precipitaciones (Fig. 19B). Además, se detectan componentes periódicas de 4, 2 y 1,4 años que no se observaban en la señal de entrada.

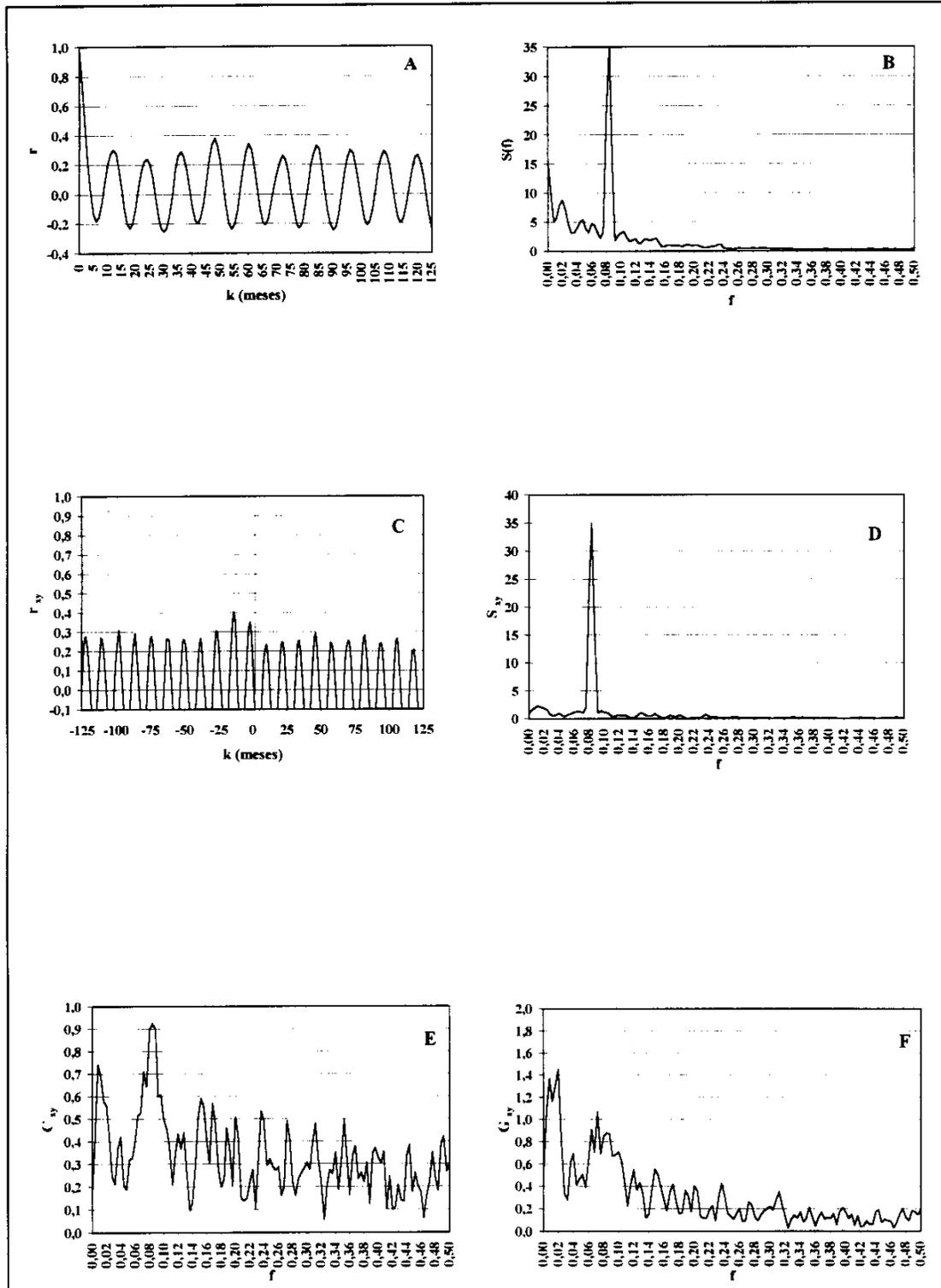


Fig. 19. Resultados del análisis correlatorio y espectral de la serie de caudales mensuales drenados por el manantial de El Tempul entre 1862 y 1978, para una ventana de 125 meses y paso de 1 mes.

La frecuencia de corte presenta un valor de 0'1 y el tiempo de regulación es de 234 días. Estos datos sí difieren de los obtenidos para el análisis de la serie diaria debido a la menor precisión de los datos mensuales. No obstante, se corrobora la interpretación efectuada sobre la importante memoria y la gran capacidad de regulación del sistema.

8.2.3.2. Análisis cruzado (entrada-salida)

Tanto el correlograma cruzado (dominio temporal) como la función amplitud cruzada (dominio de las frecuencias) permiten constatar la tendencia anual de las precipitaciones y su incidencia en los caudales del manantial (Figs. 19C y D). Al igual que para el análisis de la serie de datos diarios, el desfase existente entre la señal de entrada y la de salida para sucesos de periodicidad anual es de 69 días.

A partir de la función de coherencia (Fig. 19E) se observan correlaciones relativamente altas sólo para las frecuencias bajas, mostrando un importante comportamiento lineal para sucesos de periodicidad anual. La función de ganancia (Fig. 19F) muestra amplificación para sucesos cuya periodicidad es de 1 y 4 años y atenuación en el resto de frecuencias.

8.2.4. *Síntesis de resultados del análisis correlatorio y espectral de los datos de caudal*

Los parámetros característicos del manantial de El Tempul obtenidos mediante el análisis correlatorio y espectral son los siguientes:

- Correlograma muy tendido (variaciones lentas de los caudales), con un efecto memoria muy considerable del orden de 100 días. Esto significa que el sistema es muy inercial y, según Mangin (1981 a y b), este dato sería indicativo de la existencia de abundantes reservas, aunque otros autores (Sahuquillo *et al.*, 1987) indican que es preciso tener en cuenta otros factores adicionales al hidrograma, como la geometría o los parámetros hidráulicos del acuífero, para poder precisar la abundancia de reservas.

- Espectro de frecuencia en el que queda reflejada, prácticamente de forma exclusiva, la componente anual de las precipitaciones; es decir, las precipitaciones distintas del periodo invernal tienen poca trascendencia en el hidrograma del manantial. La banda espectral es muy estrecha (frecuencia de corte=0,03) por lo que, teóricamente, sería suficiente con estudiar el manantial con una periodicidad de 33 días; el tiempo de regulación (duración media de la influencia de la señal de entrada en el sistema) es de 85 días. Estos datos ponen de manifiesto la gran capacidad de filtro del sistema ante la entrada de las precipitaciones.
- Correlograma cruzado, que muestra un hidrograma unitario poco puntiagudo, propio de sistemas con gran capacidad de amortiguar las precipitaciones; la respuesta del manantial se produce lentamente.
- Amplitud cruzada, en la que se detecta únicamente la tendencia anual en la distribución temporal de las precipitaciones. El desfase entre la señal de entrada y la de salida, para sucesos periódicos anuales es de 69 días.
- La función de coherencia indica que sólo tiene una respuesta lineal en el sistema la componente anual de las precipitaciones, que es precisamente la que es ampliada por la función de ganancia, tal como ocurre en los acuíferos inerciales.

La mayor parte de los parámetros anteriores se obtienen a partir de series de datos de diferente longitud y tomadas con diferente paso de tiempo. Esto redundaría en la solidez de la interpretación efectuada, según la cual el acuífero de Sierra de las Cabras tiene una gran inercia o capacidad de filtro, en definitiva de amortiguación de las precipitaciones, y un poder regulador igualmente elevado. Los valores de los parámetros característicos antes comentados son propios de un acuífero de flujo difuso, con un comportamiento global más próximo al de un acuífero kárstico fisurado que al de un acuífero kárstico bien jerarquizado.

8.3. Análisis de la curva de recesión

8.3.1. Fundamentos metodológicos

El estudio de la curva de recesión, es decir aquella que se extiende desde la punta de la crecida hasta el comienzo de la crecida siguiente, presenta un gran interés en el estudio de acuíferos carbonatados. La curva de recesión se puede descomponer en dos partes: una primera, la decrecida propiamente dicha, en la que el caudal disminuye de manera más o menos rápida en función del modo con que se lleve a cabo la infiltración; y otra segunda, el agotamiento, en la que el caudal decrece de manera más o menos lenta en función del estado de la zona saturada.

En este estudio se aplica el modelo propuesto por Mangin (1975), que se basa en la caracterización de ambas partes mediante unos parámetros que permiten conocer el funcionamiento y la estructura del acuífero estudiado.

La parte decreciente del hidrograma puede expresarse mediante la expresión:

$$Q(t) = \psi(t) + \phi(t)$$

La función $\psi(t)$ traduce el efecto de la infiltración en el acuífero y en la descarga del manantial (Fig. 20), modulada por su transferencia a través de la zona saturada y, además, tiene en cuenta el comportamiento propio de la zona saturada durante la decrecida.

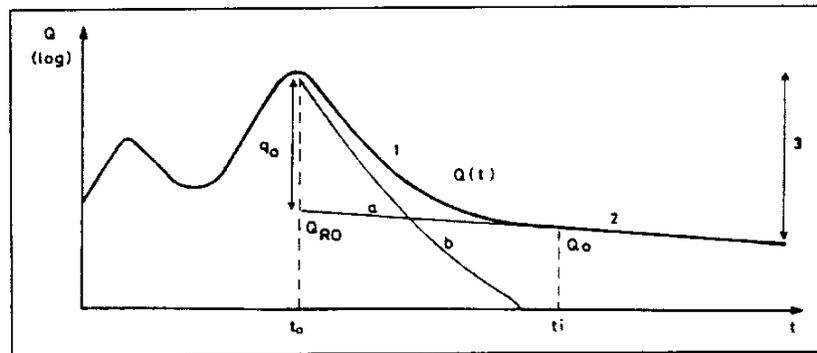


Fig 20. Descomposición de la curva de recesión, según Mangin (1975). 1. Decrecida propiamente dicha 2. Agotamiento 3. Curva de recesión a. $\phi(t)$ b. $\psi(t)$

Según Mangin (1975), la expresión matemática que se ajusta a la mayoría de las decrecidas observada por él, es una función dada por la siguiente expresión

$$\psi(t) = q_0(1 - \eta t) / (1 + \epsilon t), \text{ definida entre } t_0 = 0 \text{ y } t_i = 1/\eta \text{ (duración de la decrecida).}$$

Por consiguiente, la decrecida está caracterizada por los parámetros η y ϵ , ambos de dimensiones T^{-1} , donde T es el tiempo. El primero es el coeficiente de velocidad de infiltración, que indica la duración de la transferencia de la infiltración hasta el manantial, y se calcula a partir de la expresión $\eta = 1/t_i$. El segundo es el coeficiente de heterogeneidad, que traduce la importancia de la concavidad de la gráfica correspondiente a la función $y = \psi(t)/q_0$, siendo q_0 el caudal aportado por la zona no saturada en la punta de la crecida; ϵ se calcula a partir de la expresión $\epsilon = (1/t) - 2\eta$, considerando t como el tiempo que debe transcurrir para que $q = q_0/2$.

La función $\phi(t)$ se refiere fundamentalmente a la descarga del karst saturado y, por tanto, informa sobre la situación durante el agotamiento (Fig. 20). La expresión matemática que mejor se ajusta a esta parte de la curva para la mayoría de los manantiales es la dada por Maillet, según la cual, durante el agotamiento se produce una relación exponencial entre el caudal de salida y la carga hidráulica:

$Q(t) = Q_{R0}e^{-\alpha t}$, siendo Q_{R0} el caudal obtenido por extrapolación del agotamiento hasta la vertical de la punta del hidrograma, α el coeficiente de agotamiento y t el tiempo transcurrido desde el inicio del agotamiento. A partir de estos datos, se puede calcular el volumen dinámico $V_d = Q_{R0}/\alpha$, es decir, el volumen almacenado en la zona saturada, cuya variación determina las variaciones del caudal en la surgencia durante el agotamiento.

A partir de este tratamiento, Mangin (1975) propone utilizar dos parámetros como criterios de clasificación y comparación de sistemas kársticos: "i" y "k". El parámetro "i", cuyo valor es el de la función "y" para $t = 2$ días, caracteriza la forma de la decrecida. Los sistemas cuyo valor de i está comprendido entre 0'5 y 1 son complejos y de grandes dimensiones; si $0'25 < i < 0'5$, el sistema sufre retrasos en los aportes y, si $i < 0'25$, la red de drenaje está muy desarrollada. El parámetro "k" es el cociente entre el

volumen dinámico (V_d) y el volumen de tránsito o volumen emitido en un ciclo medio (V_t). Dicho parámetro está relacionado con la capacidad de regulación y la importancia de la zona saturada; así, cuando $0.5 < k < 1$, el sistema es de tipo poroso, si $k < 0.5$ el sistema es de tipo *kárstico* y, dentro de éste, si $k < 0.1$ el poder regulador es escaso.

8.3.2. Estudio de curvas de recesión de la serie de datos diarios de caudal

A partir de la serie de datos diarios de la descarga del manantial del Tempul se ha llevado a cabo el estudio de 5 curvas de recesión. En el anexo 13 se muestran los hidrogramas seleccionados y en el cuadro 1 se recogen los datos relativos a los mismos y los resultados obtenidos de su análisis. Es preciso indicar que en todos los casos se trata de hidrogramas unitarios; no se han tenido en cuenta hidrogramas en los que se han producido crecidas (aunque sean de pequeña cuantía) durante la decrecida o el agotamiento.

MANANTIAL DEL TEMPUL	Qi (l/s)	Qf (l/s)	D _a (días)	α (días ⁻¹)	Q _{R0} (l/s)	Vd (m ³)	Vt (m ³)	k
Hidrograma 1 (84/85)	69,0	52,0	136	2,08E-03	99,7	4.141.995	8.010.144	0,52
Hidrograma 2 (86/87)	69,0	52,0	173	1,64E-03	85,6	4.524.488	8.010.144	0,56
Hidrograma 5 (89/90)	66,0	52,0	150	1,59E-03	88,3	4.798.948	8.010.144	0,60
Hidrograma 7 (96/97)	65,0	57,0	102	1,29E-03	80,6	5.407.971	8.010.144	0,68
Hidrograma 9 (98/99)	63,0	50,0	174	1,33E-03	80,7	5.246.605	8.010.144	0,65
				1,58E-03				0,60

MANANTIAL DEL TEMPUL	D _d (días)	η (días ⁻¹)	Q ₀ (l/s)	q ₀ (l/s)	q ₀ /2 (l/s)	t _{q0/2} (días)	ϵ (días ⁻¹)	i
Hidrograma 1 (84/85)	177	0,00565	1346,0	1246,3	623,1	47,0	0,00998	0,97
Hidrograma 2 (86/87)	132	0,00758	943,0	857,4	428,7	34,0	0,01426	0,96
Hidrograma 5 (89/90)	183	0,00546	1417,0	1328,7	664,4	88,0	0,01136	0,97
Hidrograma 7 (96/97)	167	0,00599	1251,0	1170,4	585,2	28,0	0,02374	0,94
Hidrograma 9 (98/99)	186	0,00538	1062,0	981,3	490,7	56,0	0,00710	0,98
								0,96

Cuadro 1. Resultados obtenidos a partir del análisis de las curvas de recesión (arriba decrecida y abajo agotamiento) correspondientes a la serie diaria de datos del manantial de El Tempul.

Un primer análisis de la decrecida permite observar que la duración media de ésta es aproximadamente de 170 días, variando poco de unos ciclos a otros, excepto en el caso del año hidrológico 1986/87, que presenta una duración de 132 días. De este modo los valores del coeficiente de velocidad de infiltración (η) están comprendidos entre $0'00758 \text{ días}^{-1}$ (año 1986/87) y $0'00538 \text{ días}^{-1}$ (1998/99), con un valor medio de $0'00601 \text{ días}^{-1}$. Todos estos valores son claramente indicativos de que la velocidad de infiltración es muy lenta y que la decrecida es prolongada en el tiempo, probablemente debido al bajo grado de karstificación funcional, a la escasa jeraquización de los conductos y a la potente zona no saturada del mismo.

Del mismo modo, el coeficiente de heterogeneidad (ϵ) varía entre $0'00710$ (1998/99) y $0'02374 \text{ días}^{-1}$ (1996/97). Estos valores reflejan la escasa concavidad de la curva (Fig. 21) y, por tanto, muestran que la disminución de caudal en la surgencia se produce de manera lenta y gradual durante la decrecida.

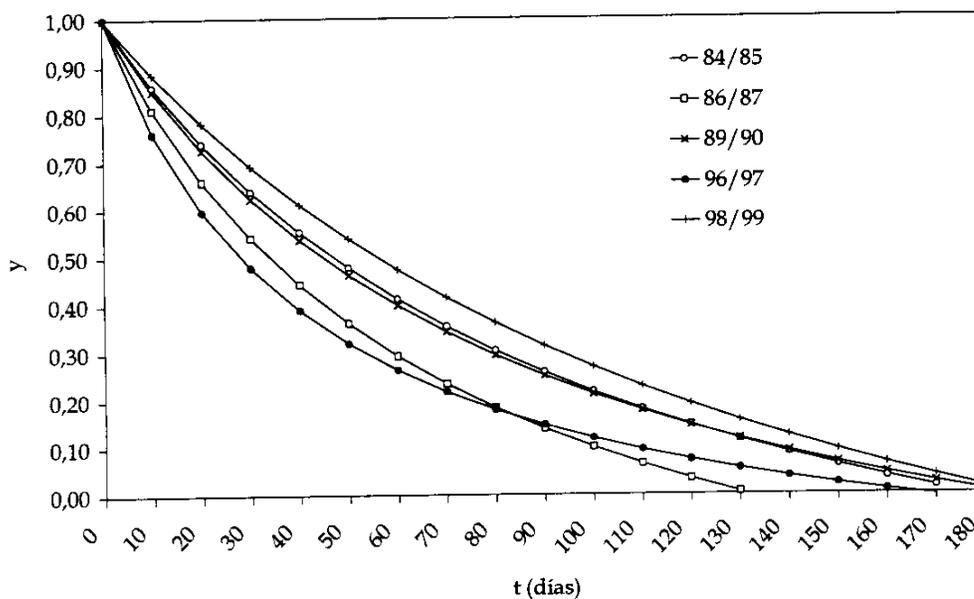


Fig. 21. Representación gráfica de la función "y" correspondiente a los hidrogramas de la serie diaria del manantial de El Tempul

Los valores de los coeficientes η y ϵ permiten calcular el valor del parámetro i para cada uno de las curvas analizadas, que en todos los casos ha dado valores superiores a $0'90$. Según los criterios de Mangin (1975), estos datos indican que se trata

de un sistema complejo y de grandes dimensiones. Sin embargo, el sistema abarca una extensión de 40 km² por lo que no puede catalogarse, precisamente, como de grandes dimensiones y la razón del valor tan alto de i no es otra que la duración prolongada de la decrecida, por la escasa jerarquización de la zona no saturada.

A diferencia de la decrecida, la duración del agotamiento es más desigual para cada una de las curvas estudiadas, varía entre 102 (1996/97) y 174 días (1998/99). El coeficiente de agotamiento (α) presenta valores entre $1,29 \times 10^{-3}$ días⁻¹ (1996/97) y $2,08 \times 10^{-3}$ días⁻¹ (1984/85), con un valor medio de $1,58 \times 10^{-3}$ días⁻¹. Todos estos valores indican que el agotamiento se produce de forma lenta como corresponde a un sistema de flujo difuso.

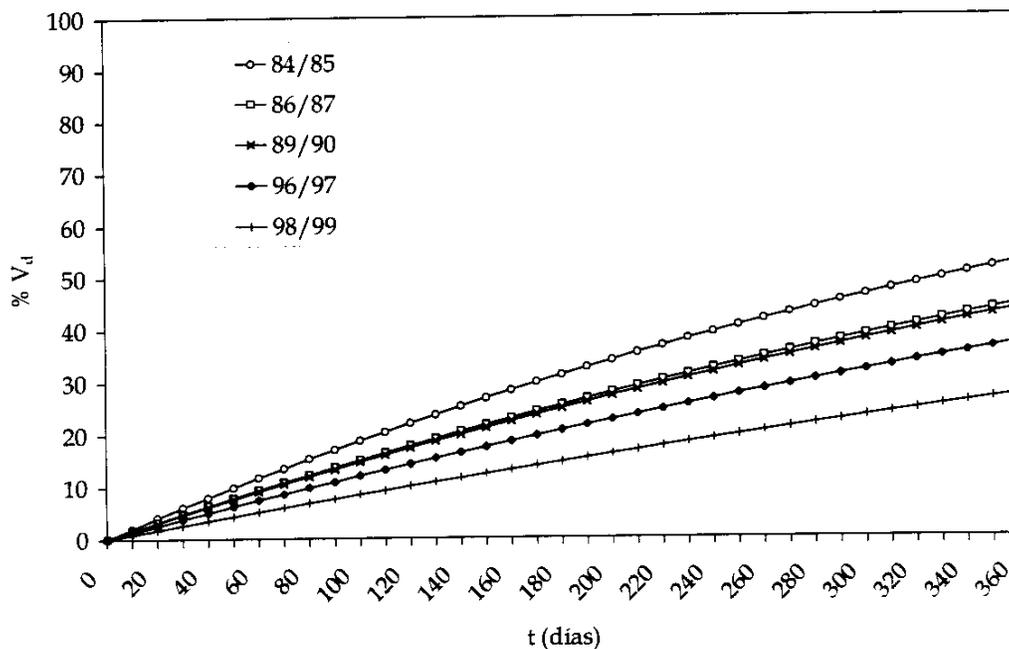


Fig 22. Porcentaje de volumen dinámico drenado en función del tiempo correspondiente a los hidrogramas de la serie diaria del manantial de El Tempul.

Los volúmenes dinámicos calculados para los agotamientos estudiados varían entre 4,1 hm³ (1984/85) y 5,4 hm³ (1996/97); el valor medio es de 4,8 hm³. Al representar el porcentaje del volumen dinámico drenado para cada hidrograma en función del tiempo (Fig. 22), se observa que al cabo de un año sin alimentación (desde el comienzo de la decrecida), normalmente, se drena menos del 50% de dicho volumen.

Estos valores son indicativos de la gran capacidad de filtro del sistema y del importante papel regulador del mismo. El volumen de tránsito anual, calculado a partir de la serie de caudales diarios, alcanza un valor de 8 hm³. Así, estos dos volúmenes permiten calcular el valor del parámetro k, cuyos valores extremos para el período estudiado son 0,52 (1984/85) y 0,68 (1996/97), con un valor medio de k=0,60. Estos resultados traducen la importancia de la zona saturada y el importante poder regulador que presenta este sistema.

8.3.3. Estudio de curvas de recesión de la serie de datos mensuales de caudal

Del periodo histórico de registro se han seleccionado varios hidrogramas unitarios, de forma análoga a como se ha realizado en el apartado anterior. En el anexo 14 y en el cuadro 2 se recogen los hidrogramas y los resultados del análisis, similares a los obtenidos previamente a partir de los registros de datos diarios.

MANANTIAL DEL TEMPUL	Qi (l/s)	Qf (l/s)	D _s (días)	α (días ⁻¹)	Q _{R0} (l/s)	Vd (m ³)	Vt (m ³)	k
Hidrograma A (08-09)	77	64	90	2,05E-03	126	5.301.788	8.010.144	0,66
Hidrograma B (12-13)	69	53	150	1,76E-03	105	5.169.822	8.010.144	0,65
Hidrograma C (48-49)	67	33	390	1,82E-03	104	4.929.215	8.010.144	0,62
Hidrograma G (73-74)	65	41	240	1,92E-03	72	3.239.934	8.010.144	0,40
Hidrograma H (86-87)	68	53	150	1,66E-03	83	4.316.475	8.010.144	0,54
				1,84E-03				0,57

MANANTIAL DEL TEMPUL	D _d (días)	η (días ⁻¹)	Q ₀ (l/s)	q ₀ (l/s)	q ₀ /2 (l/s)	t _{q0/2} (días)	ε (días ⁻¹)	i
Hidrograma A (08-09)	240	0,00417	1132	1006	503	47,0	0,01294	0,97
Hidrograma B (12-13)	240	0,00417	1643	1538	769	21,0	0,03929	0,92
Hidrograma C (48-49)	240	0,00417	917	813	407	24,0	0,03333	0,93
Hidrograma G (73-74)	150	0,00667	548	476	238	30,0	0,02000	0,95
Hidrograma H (86-87)	120	0,00833	856	773	386	41,0	0,00772	0,97
								0,95

Cuadro 2. Resultados obtenidos a partir del análisis de las curvas de recesión (arriba decrecida y abajo agotamiento) de la serie mensual de datos de caudal de el manantial de El Tempul.

La decrecida sigue siendo muy lenta, por lo que el parámetro i también presenta valores superiores a 0,9. Del mismo modo, el agotamiento continúa siendo lento como lo prueban los bajos valores del coeficiente de agotamiento ($2,53 \times 10^{-3}$ días⁻¹ de media), lo cual permite calcular el parámetro k , que también presenta valores propios de acuíferos *porosos* (0,57 de promedio), aunque cercanos a los *kársticos*.

La coincidencia entre los resultados obtenidos a partir de datos diarios y mensuales, refuerza la validez de los resultados del presente estudio en el sentido de que el sistema es de flujo difuso, con escasa jerarquización de los conductos *kársticos*.

8.3.4. Estimación de parámetros hidráulicos y de las reservas del acuífero

A partir del vaciado del acuífero en régimen de agotamiento es posible realizar estimaciones de la porosidad eficaz, siempre que se conozca el volumen de agua drenado por el manantial y el volumen de acuífero vaciado. El volumen de agua drenado se determina mediante la expresión $(Q_i - Q_f)/\alpha$, donde Q_i y Q_f son, respectivamente, los caudales al inicio y al final del agotamiento y α el coeficiente de agotamiento. Por su parte, el volumen de acuífero desaturado se puede calcular si se conoce la extensión del acuífero (42 km² en este caso, aproximadamente) y el descenso piezométrico producido durante el agotamiento.

Se han realizado estos cálculos para los agotamientos de dos hidrogramas estudiados en el apartado anterior (7 y 9 del cuadro 1), correspondientes a los años hidrológicos 1996/97 y 1998/99 en los que hay datos de piezometría (cuadro 3). No se han tenido en cuenta los datos de piezometría medidos en los sondeos próximos al manantial ya que las variaciones del nivel son bastante amortiguadas, como suele ocurrir en las inmediaciones de los puntos de descarga natural, y por tanto poco representativas.

Hidrograma	Volumen drenado (m ³)	Variación de n. p.(m)	Volumen vaciado (m ³)	Porosidad eficaz (%)
7	536816	3'83 (Foz)	160'86 x 10 ⁶	0'33
9	903969	2'8 (Infierno)	117'6 x 10 ⁶	0'77

Cuadro 3. Cálculo de la porosidad eficaz (*n.p.* = nivel piezométrico, en metros)

Los valores de porosidad eficaz así calculados varían entre 0,33% y 0,7%, valores muy parecidos a los obtenidos por IDRENA (0,5%) a partir de los datos del bombeo del año 1995. Se trata de valores bajos, aunque comparables a los que se obtienen en otros acuíferos cercanos, como la Sierra de Mijas, en acuíferos carbonatados formados por mármoles alpujárrides triásicos, muy fisurados pero poco karstificados (Andreo, 1997). Por consiguiente, no es necesario invocar la existencia de descargas ocultas para justificar el valor de la porosidad eficaz.

A partir de los datos publicados por Carreras (1996), podría considerarse que la transmisividad del acuífero es del orden de $10^3 \text{ m}^2/\text{día}$. Suponiendo un espesor saturado del orden de 10^2 m (coherente con los resultados de los sondeos), se obtiene una permeabilidad del orden de 10 m/día , propia de un medio poco jerarquizado, similar al de los acuíferos de la Sierra de Mijas (Andreo, 1997).

La estimación de reservas llevada a cabo por Carreras (1996), a partir de los datos de bombeo, es unos $200.000 \text{ m}^3/\text{m}$ en los 29 m más superficiales, lo cual equivale a un volumen total de casi 6 hm^3 , considerando una porosidad eficaz del 0,5%. Extrapolando estos valores, las reservas almacenadas hasta una profundidad del nivel piezométrico de 100 m, propia de una explotación razonable (tanto desde el punto de vista de la profundidad del nivel y del rendimiento de la explotación, como desde el punto de vista de la calidad del agua), son del orden de 20 hm^3 . Es claro que, de acuerdo con los datos de los sondeos, el espesor saturado de acuífero es superior a los 100 m, pero no es menos cierto que la porosidad eficaz debe disminuir con la profundidad, por lo que el volumen de reservas anterior, aunque aproximado, parece verosímil.

8.3.5. Síntesis de los resultados obtenidos a partir del análisis de hidrogramas

Los resultados del análisis de hidrogramas unitarios del manantial de El Tempul, tanto para la serie de datos diarios de caudal como para la serie de datos mensuales, permite concluir que la infiltración a través de la zona no saturada del acuífero se produce de forma muy lenta y que la curva de decrecida presenta una concavidad poco marcada. Estas características son propias de medios con gran capacidad de filtro de las

precipitaciones, en los que la decrecida en el manantial se produce de forma muy lenta (más de 100 días), lo cual debe estar favorecido por la gran potencia media de la zona no saturada (centenares de metros) y el bajo grado de conexión y jeraquización de los conductos presentes en la misma.

El agotamiento del manantial comienza con un caudal de 75 l/s. El coeficiente que caracteriza este tramo del hidrograma es del orden de $2 \times 10^{-3} \text{ días}^{-1}$, indicativo de que el agotamiento se realiza de forma lenta. Tal es así que durante los agotamientos normales, de menos de 200 días de duración, no se drena más que una pequeña parte del volumen dinámico susceptible de ser drenado por el manantial. El valor del volumen dinámico disminuye muy lentamente en el tiempo, pues al cabo de un año sin llover sólo habría drenado la mitad del mismo. Estos datos son especialmente interesantes a la hora de gestionar los recursos hídricos del manantial, porque permiten establecer previsiones de caudales en condiciones de agotamiento.

Finalmente, el estudio de los dos hidrogramas unitarios más recientes del manantial, durante los cuales se dispone de información relativa a las variaciones piezométricas producidas en el acuífero, ha permitido calcular valores de porosidad eficaz comparables a los que se habían obtenido previamente a partir de datos de volúmenes de bombeo y descensos, de modo que aumenta la credibilidad del valor de 0,5% para la porosidad eficaz.

8.4. Análisis de Caudales Clasificados

8.4.1. Fundamentos metodológicos

El caudal de los manantiales que drenan acuíferos carbonatados puede estar condicionado por la existencia de varias formas de circulación dentro del propio acuífero. El análisis de caudales clasificados puede ser un método interesante para poner de manifiesto la actuación de fenómenos de circulación de diferente naturaleza a partir de la existencia de correlación en la ocurrencia de caudales de distinta magnitud.

La curva de caudales clasificados de un manantial representa el porcentaje de días del periodo considerado en los que el caudal tiene un valor igual o inferior a uno dado. Por tanto, expresa la regularidad o irregularidad de los caudales de un manantial, es decir la frecuencia con la que se presenta un determinado caudal (Custodio y Llamas, 1976). Al dividir dicha frecuencia por el número de días considerados, se obtiene la probabilidad de que se produzca un caudal cualquiera.

La ley de probabilidad que mejor se ajusta a la distribución de frecuencias de los caudales es, según Mangin (1975), una que se deriva de la de Laplace:

$$F(x) = \text{Prob}(X < x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-u^2/2} du$$

En caso de linealidad aritmética,

$$X = a(Q - Q_0), \text{ siendo } a > 0$$

la media $m_Q = (0.79788/a) + Q_0$ y la desviación típica $s_Q = 0.6028/a$

En caso de linealidad exponencial,

$$X = a(\log Q - \log Q_0), \text{ siendo } a > 0$$

$$m_Q = Q_0 e^{-A^2/2} \text{ y } s_Q = Q_0 \sqrt{e^{2A^2} - e^{A^2}}, \text{ siendo } A = 2.30/a.$$

El caudal Q_0 es el punto de corte con el eje de abscisas, para el cual la probabilidad es nula y “a” es la pendiente de la recta.

Los cambios de pendiente de la curva de caudales clasificados indican cambios en la velocidad de aumento o disminución de los caudales, que pueden ser debidos a diferentes orígenes (Mangin, 1975). Un aumento de la pendiente representa un incremento del porcentaje de los caudales para un cierto número de clases, es decir, un crecimiento o disminución más lento de los caudales para esas clases: en situación de crecida representaría un fenómeno de tipo “trop-plein”, mientras que en decrecida significaría el drenaje de una reserva preexistente. Por el contrario, una disminución de la pendiente, representa un crecimiento o disminución más rápida de los caudales para

ciertas clases: en crecida podría deberse al aporte de otra cuenca vertiente y en decrecida podría atribuirse a la existencia de pérdidas de agua en una red de drenaje distinta de la que habitualmente drena el manantial o a la formación de una reserva que podría ser restituida al flujo en un ciclo posterior.

Este tipo de análisis requiere disponer de cierta información previa sobre el funcionamiento del acuífero, de este modo, el análisis de caudales clasificados propuesto por Mangin (op. cit.) aún no siendo un método muy utilizado en investigación hidrogeológica va a permitir contrastar la información preexistente sobre el funcionamiento del acuífero. En este caso, sólo se ha aplicado el método a la serie de caudales diarios porque, como se ha discutido anteriormente, son los que aparentemente están mejor registrados.

8.4.2. Resultados del análisis de caudales clasificados

La crónica de datos diarios se ha dividido en clases de 50 l/s (Anexo 15). Hubiera sido más razonable hacer clases de 25 l/s, pero no hay datos de caudal en la clase 75-100 l/s, por cuestiones imputables a la curva de gastos. Ello conllevaría una cierta distorsión del gráfico de caudales clasificados si se hicieran clases de 25 l/s, por lo que se ha descartado. Posteriormente, se ha determinado el número de días que el manantial ha estado drenando caudales correspondientes a cada clase de 50 l/s y se ha calculado la frecuencia con que se produce cada clase. Finalmente, se ha obtenido la frecuencia acumulada y se ha representado en una escala de probabilidad de Mangin (1975), frente a las clases de caudales, en escala logarítmica (Fig. 23). En el gráfico resultante se pueden distinguir tres tramos principales:

1. Tramo de caudales inferiores a 75 l/s, que corresponde a la situación de agotamiento del manantial. La pendiente es relativamente alta, porque las variaciones de caudal del agotamiento se producen de forma lenta, como se ha constatado a partir del análisis del hidrograma. Directamente sobre la figura, se aprecia que casi el 60 % de los datos de la serie corresponden a esta situación hidrodinámica.

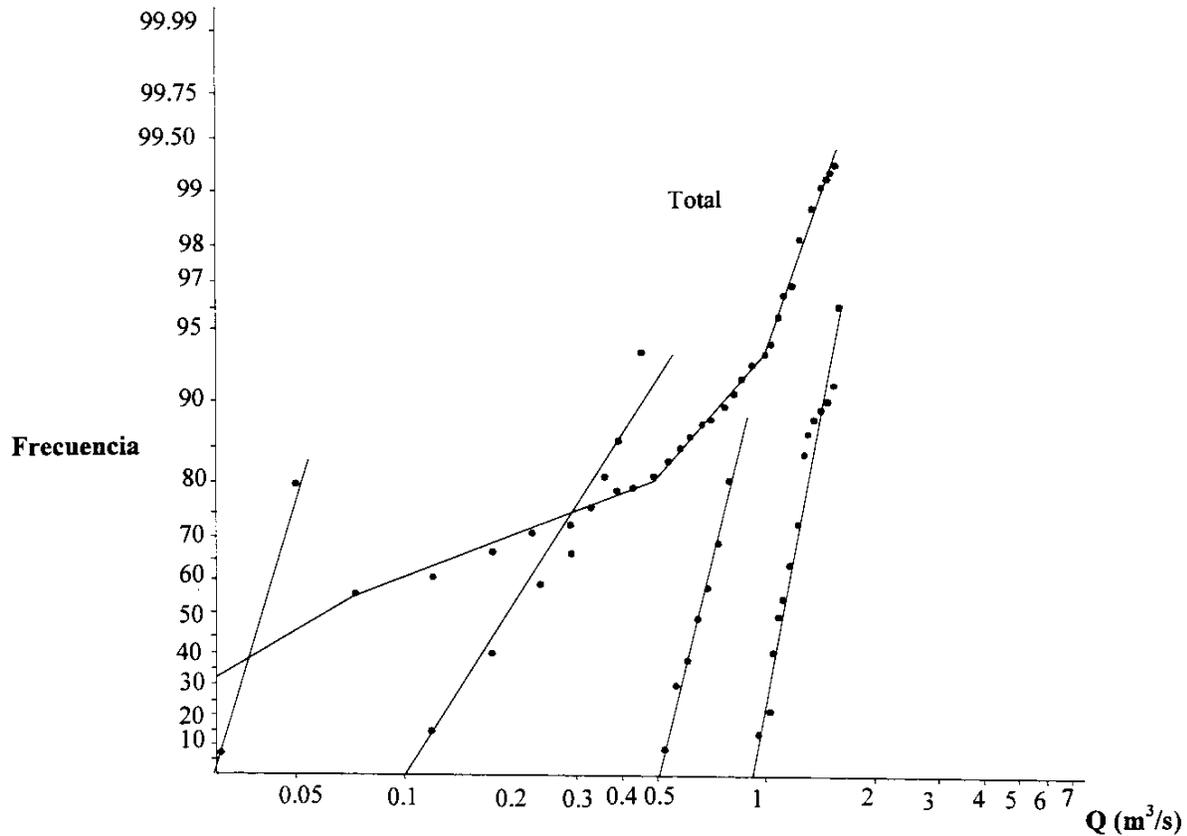


Fig. 23. Gráfico de caudales clasificados correspondientes a la serie diaria del manantial de El Tempul.

2. Tramo de aguas altas, con caudales superiores a 900 l/s, correspondiente a la crecida del manantial. El hecho de que presente una mayor pendiente indica que las variaciones de caudal en el manantial de El Tempul durante la crecida se producen de forma lenta, porque en esas condiciones ($Q > 900$ l/s) es cuando entra en funcionamiento Fuente Imbro y también el arroyo de Bogaz (Boca de Foz).
3. Tramo intermedio que corresponde a la situación de decrecida, con caudales comprendidos entre 75 y 900 l/s, dentro del cual es posible distinguir dos subtramos. Uno, con caudales entre 450 y 900 l/s, de mayor pendiente (disminución más lenta de los caudales) que correspondería al drenaje de la reserva de agua almacenada previamente entre la cota de El Tempul y la de Fuente Imbro. Otro, con caudales entre 75 y 450 l/s, menos pendiente (disminución rápida de los caudales) traduce la formación de una reserva que podría ser restituida al flujo en un ciclo posterior.

9. APROXIMACIÓN AL BALANCE HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE LAS CABRAS

9.1. Elementos del balance

Como elementos del balance del acuífero de Sierra de las Cabras cabe citar los siguientes:

- Entradas: pueden proceder de la infiltración directa de las precipitaciones y de la esorrentía que circula por los arroyos Bogaz (Boca de Foz) y Bujalance (a la altura de San José del Valle). No obstante, la infiltración procedente de la esorrentía del arroyo Bujalance debe ser bastante limitada porque circula por materiales cretácicos (de baja permeabilidad) y no por calizas jurásicas. Asimismo, la infiltración en el arroyo Bogaz no debe ser tampoco muy importante; antes al contrario, en periodos de abundante recarga lo que parece que ocurre es una descarga del acuífero hacia el cauce. Además, la poca longitud del cauce permeable (1,5 km) puede actuar como factor limitante de la eventual recarga.
- Salidas: tienen lugar de modo visible y controlado a través del manantial de El Tempul. De forma visible pero no controlada tiene lugar la descarga que se produce en el “trop plein” de Fuente Imbro y, eventualmente, también en la Boca de Foz, cuyo funcionamiento podría ser comparable al anterior.

9.2. Tentativa de balance para el periodo 1862-1978

- Salidas:

El caudal medio histórico del manantial es de 283 l/s, equivalente a una descarga de media anual cercana a 9 hm³.

Como valor medio de las aportaciones no controladas podría suponerse 1 hm³/año, a tenor de las observaciones realizadas por Carreras (1996) en un periodo de emergencia de Fuente Imbro.

Las salidas controlables alcanzarían, así, la cifra total aproximada de 10 hm³/año.

- Entradas:

La precipitación media histórica en la estación de Gibraltar es de 825 l/m² y la superficie permeable es de 34 km², por lo que el volumen total de agua de lluvia que cae sobre dicha superficie es de 28 hm³/año como valor medio.

Si las salidas controlables (10 hm³/año) constituyen la única descarga del sistema, entonces el coeficiente de infiltración eficaz sería aproximadamente del 35%. Así, para un periodo suficientemente largo y representativo, como es el caso, las entradas al sistema (recursos) serían del orden de la tercera parte de las precipitaciones y equivaldrían a la descarga que se realiza por el manantial de El Tempul, Fuente Imbro y, eventualmente, Boca de Foz.

Se ha repetido el cálculo con los datos correspondientes a los años en los que el caudal del manantial ha sido inferior a 900 l/s, es decir, cuando no ha habido descarga por Fuente Imbro de acuerdo con el gráfico de caudales clasificados. El coeficiente de infiltración obtenido ha sido también del orden del 30 % (Anexo 16).

9.3. Tentativa de balance para el periodo 1985-1995

- Salidas:

El caudal medio del manantial es de 253 l/s, equivalente a una descarga de media anual de 8 hm³.

Como valor medio de las aportaciones no controladas podría suponerse también 1 hm³/año, de acuerdo con las observaciones realizadas por Carreras (1996).

Las salidas controlables alcanzarían, así, la cifra total de 9 hm³/año.

- Entradas:

La precipitación media en la estación de El Tempul, durante el periodo 1985-1995, es de 850 l/m² y la superficie permeable es también de 34 km², por lo que el volumen total de agua de lluvia que cae sobre dicha superficie es de 29 hm³/año como valor medio.

Si las salidas controlables (9 hm³/año) constituyen la única descarga del sistema, entonces el coeficiente de infiltración eficaz sería del 31%.

El coeficiente de infiltración del 30-35 % puede ser razonable, teniendo en cuenta el desarrollo de vegetación existente en la zona y las características topográficas de los afloramientos calizo-dolomíticos: anchura y pendiente, fundamentalmente. Además, el dato anterior es coherente (si se admite la posibilidad de alguna escorrentía) con los resultados de balances de Thornthwhite efectuados a nivel mensual para diferentes capacidades de campo (25 y 50 mm), utilizando para ello datos de precipitación de la estación de El Tempul y temperatura de la estación del embalse de Los Hurones (Anexo 17).

El cociente entre el volumen de reservas de agua (20 hm³) y los recursos medios anuales (10 hm³/año) permite calcular un tiempo medio de residencia del agua en el interior del acuífero de 2 años, aproximadamente. Este dato es coherente con los resultados del análisis correlatorio y espectral y los del análisis del hidrograma.

9.4. Tentativa de balance para el periodo comprendido entre el 17-6-96 y 17-11-99

Se ha seleccionado este periodo porque, además de los datos de precipitación y de descarga por el manantial de El Tempul, se dispone de una serie de datos de profundidad del nivel piezométrico en un sondeo situado en la Boca de Foz, que puede considerarse representativo del conjunto del acuífero. Para este periodo concreto, el balance del acuífero puede plantearse en los siguientes términos:

Entradas = Salidas \pm ΔV (variación de volumen)

$$\text{Entradas} = 2670 \text{ l/m}^2 \times 34 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,3 = 27,2 \text{ hm}^3$$

Salidas = 29,7 hm³, por el manantial de El Tempul

$$\Delta V = 42 \times 106 \text{ m}^2 \times (-18,39 \text{ m}) \times 0,005 = -3,9 \text{ hm}^3$$

Así, de acuerdo con el planteamiento inicial

$$27,2 \text{ hm}^3 = 29,7 \text{ hm}^3 - 3,9 \text{ hm}^3$$

$$27,2 \text{ hm}^3 \cong 25,8 \text{ hm}^3 \text{ (falta por contabilizar la descarga por Fuente Imbro y Foz)}$$

Esta segunda tentativa de balance viene a corroborar que el coeficiente de infiltración debe ser del orden de la tercera parte de la lluvia que cae sobre la superficie permeable de Sierra de las Cabras.

10. MODELIZACIÓN LLUVIA-CAUDAL

10.1. Características básicas del modelo utilizado

El modelo de Témez (1977) reproduce los procesos esenciales de transporte de agua en diferentes fases del ciclo hidrológico. En este modelo, el terreno se divide en dos zonas. En una de ellas se almacena agua como humedad del suelo y en otra se almacena parte de los excedentes que se producen en la primera. Esta última zona funciona como un embalse subterráneo con desagüe a la red de drenaje. El fundamento del modelo se puede resumir en que la lluvia se almacena en la primera zona descrita en forma de humedad y en ella, en función del estado de humedad, de la capacidad máxima de almacenamiento y de la evapotranspiración potencial, se origina un excedente. Este excedente consta de dos componentes: una que discurre en superficie y otra que se infiltra en el acuífero. La primera parte del excedente se evacúa por el cauce dentro del período de tiempo en el que se producen las lluvias, mientras que el resto se almacena en el embalse subterráneo para salir en fechas posteriores.

Las variables que se deben proporcionar al modelo son la precipitación y la evapotranspiración potencial. Los parámetros a introducir en el modelo son la capacidad máxima de humedad en el suelo, un coeficiente de excedente, la capacidad máxima de infiltración y el coeficiente de descarga del agua infiltrada.

Para la modelización en el manantial de El Tempul, se ha utilizado una modificación del modelo Témez (1977), desarrollada por Estrela (1997), que tiene en cuenta el reparto de las precipitaciones a lo largo del mes y considera la existencia de dos celdas virtuales que recogen el agua infiltrada, cada una de las cuales tiene su descarga propia (la curva de recesión tiene dos tramos: decrecida y agotamiento). En este caso es necesario considerar, además, los coeficientes de descarga de ambas celdas, así como el coeficiente de reparto de la infiltración entre las mismas.

10.2. Período de simulación y datos utilizados

La simulación se ha realizado a nivel diario y se ha elegido el período comprendido entre octubre de 1985 y agosto de 1995, es decir, la mayor parte del periodo de datos recientes que supuestamente están mejor registrados. El periodo elegido termina en 1995 porque en esa fecha se produjo la explotación del acuífero mediante bombeos, lo cual interfiere en la comparación entre los caudales reales y simulados.

La simulación se ha llevado a cabo a partir de datos diarios y no mensuales como habitualmente se hace con el modelo de Estrela (1997). Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se ha utilizado el método Thornthwaite, a partir de los datos diarios de temperatura del aire en la estación meteorológica de San Fernando. La precipitación que se ha utilizado corresponde a los datos diarios de la estación de El Tempul.

Con respecto a los otros parámetros que necesita el modelo, los coeficientes de agotamiento (de la decrecida y del agotamiento propiamente dicho) de partida han sido los calculados anteriormente en el apartado de análisis de la curva de recesión. Así, los valores finales de los diferentes parámetros fueron los siguientes:

$H_{\text{máx}} = 50 \text{ mm}$	(capacidad máxima de almacenamiento de humedad en el suelo)
$I_{\text{máx}} = 100 \text{ mm}$	(Infiltración máxima)
$c = 0'80$	(coeficiente que afecta el umbral de excedencia del agua)
$\alpha_1 = 0'017 \text{ días}^{-1}$	(coeficiente de la primera rama de descarga)
$\alpha_2 = 0'0016 \text{ días}^{-1}$	(coeficiente de la segunda rama de descarga)
$b_1 = 0'8$	(coeficiente de reparto)

$$b_2 = 0'2$$

(coeficiente de reparto)

$$Q_{01} = 975 \text{ l/s}$$

(Caudal inicial para la primera rama de descarga)

10.3. Proceso de calibración y resultados

A partir de los primeros resultados obtenidos se ha realizado un proceso de calibración durante el cual se han ido modificando sucesivamente los parámetros hasta encontrar un ajuste aceptable entre los valores de caudal diario calculados por el modelo y los del manantial de El Tempul. Los valores finales utilizados para cada uno de los parámetros son los que se muestran en el apartado anterior.

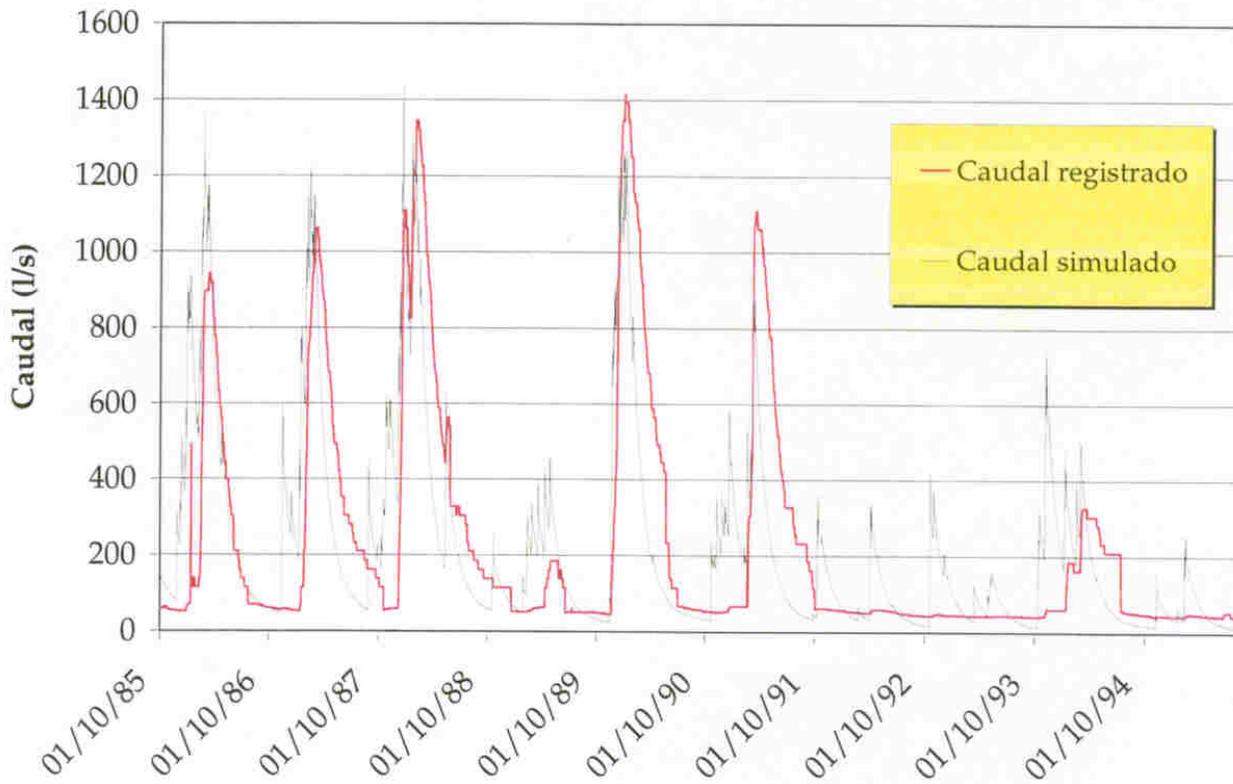


Fig. 24. Ajuste entre los caudales diarios medios calculados y los medios diarios en el manantial de El Tempul

En la figura 24 se muestra el mejor ajuste conseguido entre los valores de caudal diario simulados y los registrados en el manantial de El Tempul, entre octubre de 1985 y agosto de 1995.

Para obtener este ajuste ha sido necesario modificar especialmente dos parámetros: el parámetro de excedente (c) y los coeficientes de reparto (b_1 y b_2). Dado que muchos de los picos de caudal presentaban valores muy superiores a los reales, ha sido necesario modificar el parámetro c dándole un valor más elevado de lo normal. Así, aunque los picos obtenidos siguen siendo superiores para las crecidas pequeñas, se ajustan mejor las crecidas importantes. Este mismo efecto se puede conseguir aumentando la máxima capacidad de humedad en el suelo (H_{\max}), pero se considera que un valor de 50 mm es más adecuado para el contexto del área de estudio.

Para ajustar mejor la forma de los hidrogramas calculados a los valores medidos se han modificado los valores de coeficiente de reparto para cada una de las celdas virtuales. Así, se comenzó el proceso de calibración dándole los mismos coeficientes de reparto (0,5) a ambas celdas, hasta alcanzar un valor de $b_1=0,8$ para la primera rama de descarga (decrecida) y $b_2=0,2$ para la segunda rama (agotamiento).

En la figuras 24 se observa que el ajuste conseguido es algo irregular, aunque en casi todos los hidrogramas gran parte de la decrecida aparece bien reflejada, existiendo períodos en los que la aproximación calculada por el modelo se puede considerar bastante aceptable, como es el caso de los ciclos hidrológicos 1985-86 a 1987-88. Los hidrogramas simulados pronostican, sistemáticamente, aumentos de caudal del manantial en respuesta a las precipitaciones de principios de año hidrológico, hecho éste que no suele ocurrir realmente de acuerdo con los caudales medidos, porque el modelo no tiene en cuenta, suficientemente, el estado del acuífero en el momento en el que se produce la lluvia. Este hecho se hace más patente en los periodos de sequía como el comprendido entre 1991 y 1994.

Los valores de las aportaciones calculadas para todo el período de simulación son de $70,4 \text{ hm}^3$, mientras que las aportaciones medidas son de $71,1 \text{ hm}^3$.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, parece que se ha conseguido una aproximación razonable en la simulación de los caudales diarios del manantial de El Tempul, pero se debe tener en cuenta una serie de aspectos:

- La modelización de años hidrológicos con condiciones climáticas diferentes de la media, ya sea por precipitaciones intensas o por condiciones de sequía, es bastante menos exacta que la que se puede generar en un año hidrológico con condiciones climáticas medias.
- La gran inercia que presenta el acuífero de Sierra de las Cabras, ya contrastada en las metodologías aplicadas anteriormente, genera cierto retraso en la señal de salida con respecto a la señal de entrada, y aún siendo caracterizada esta inercia dentro del modelo a través de los coeficientes de agotamiento, no queda lo suficientemente caracterizada debido a los pocos parámetros que requiere el modelo utilizado.
- La utilización de datos de temperatura de un área litoral como la de la San Fernando para el cálculo de la evapotranspiración potencial, puede provocar algunos errores en la modelización ya que el área de estudio se encuentra alejada del área litoral.
- La simulación permite obtener una descarga media anual del manantial de El Tempul de $7,1 \text{ hm}^3$, ligeramente inferior al valor de 8 hm^3 medido durante el periodo 1985-1999.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1. Conclusiones

A partir de los trabajos realizados y de los resultados obtenidos en el marco del presente estudio, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La lluvia en el área de estudio es un fenómeno casi aleatorio. Así, la lluvia registrada en un día no se parece a la que se registra 1 ó 2 días antes.
- No existen tendencias interanuales (a largo plazo) en la distribución de las precipitaciones durante casi dos siglos de registro, es decir, no se detectan indicios de cambio climático a partir de los datos de lluvia considerados en este estudio.
- A pesar de la aleatoriedad de las precipitaciones, el sistema de la Sierra de las Cabras actúa como un gran filtro capaz de amortiguar y modular la señal de entrada. Se trata de un sistema con gran “memoria” y elevado poder regulador o modulador de las precipitaciones.
- En general, las variaciones más importantes de caudal tienen que ver con la componente anual de la distribución de las precipitaciones, es decir, todos los años hay un aumento de caudal asociado a las lluvias invernales que son las que producen la recarga más importante. Estas lluvias encuentran una respuesta lineal y amplificada, aunque desfasada más de 2 meses.
- Por término medio la influencia de la señal de entrada en el sistema se prolonga por un período del orden de 3 meses.
- La decrecida del manantial se produce de forma lenta (>100 días) porque la infiltración es de tipo lenta (no rápida o concentrada), lo que pone de manifiesto una zona de infiltración potente y poco karstificada.
- Se conoce el valor del coeficiente de agotamiento α ($2 \times 10^{-3} \text{ días}^{-1}$) con lo que se puede calcular el caudal que previsiblemente tendría el manantial en

un instante del agotamiento. Esto es de particular interés en la gestión de los recursos hídricos del manantial de El Tempul.

- Al inicio del agotamiento suele haber 5 hm³ susceptibles de ser drenados por el manantial. El vaciado del acuífero se realiza de forma lenta, por lo que al cabo de un año sin llover se habría drenado, como mucho, la mitad.
- El acuífero presenta una porosidad eficaz media del 0'5%, una permeabilidad media de 10 m/día y unas reservas de 20 hm³, estos dos últimos valores se obtienen considerando 100 metros de espesor saturado, lo cual puede ser razonable teniendo en cuenta la profundidad del nivel piezométrico y por criterios de calidad del agua.
- Por encima de 900 l/s el manantial está en crecida, y previsiblemente emergerán Fuente Imbro y eventualmente, Boca de la Foz, por lo que la variación de los caudales de El Tempul se producirá de forma más lenta de lo que cabría esperar. Entre 900 y 75 l/s el manantial se encuentra en decrecida drenando la reserva almacenada anteriormente entre 140 y 120 m.s.n.m. Y, por debajo de 75 l/s, el manantial está en agotamiento, por lo que el vaciado se realiza de acuerdo con α .
- Los recursos del sistema son del orden de los 10 hm³/año; la cantidad de agua que se infiltra es aproximadamente 1/3 de la precipitación y el tiempo medio de permanencia del agua dentro del sistema son dos años.
- Se ha elaborado un modelo lluvia-caudal que permite simular los caudales diarios del manantial en función de los valores diarios de precipitación. El ajuste del modelo es especialmente bueno para condiciones climáticas medias; para periodos de lluvias importantes y/o periodos de sequía el modelo se aleja más de la realidad. Este modelo será de gran utilidad en la gestión de los recursos hídricos del sistema.

11.2. Recomendaciones

Los resultados obtenidos en el presente informe se pueden mejorar a partir de trabajos de investigación más detallados. Para ello será necesario dotar al sistema de una infraestructura que actualmente no tiene y llevar a cabo muestreos sistemáticos. En particular, puede ser interesante instalar algún pluviógrafo y muestrear aguas de lluvia, tanto para su análisis químico como isotópico; controlar en continuo los manantiales, tanto desde el punto de vista hidrodinámico (registros de caudal y piezometría con aparatos más precisos que la medida manual de un observador), como hidroquímico e isotópico y, especialmente, perforar algún piezómetro más y realizar campañas de medida del nivel piezométrico en los ya existentes, junto con registros de salinidad y temperatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreo, B. (1997): *Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas*. SPUMA-CHS, Málaga, 489 p.
- Carreras, A. (1996): Investigación y explotación del acuífero de la Sierra de las Cabras (S. José del Valle, Cádiz). *Jornadas sobre Recursos Hídricos en Regiones Kársticas*, Vitoria, 9-21.
- Custodio, E. y Llamas, R. (1976): *Hidrología Subterránea*. Ed. Omega, 2359 pp.
- Chauve, P (1960-62): Structure Géologique de la Région Centrale de la Province de Cadix (Espagne). *Memories hors de série de la Societe Geologique de France*.
- Delegación Provincial de Obras Públicas y Transportes de Cádiz (1995): *Estudio Hidrogeológico del acuífero de la Sierra de las Cabras*. Informe realizado por EUROESTUDIOS, S.A.
- Diputación Provincial de Cádiz (1984): Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz.
- Estrela, T. (1997): Formulación teórica del Modelo Témez. Calibración de parámetros. *Master en Hidrología General y Aplicada del CEDES. Área de Hidrología Superficial II*.
- ITGE (1990): *Mapa geológico de España*. Escala 1:50.000. Hoja 1063. Algar. Madrid.
- ITGE (1996): *Funcionamiento hidrodinámico y regulación hidrogeológica del manantial de El Tempul (Cuenca del Guadalquivir, Cádiz)*. Informe realizado por IDRENA.
- Mangin, A. (1975): Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques (I). Thèse Doctorat Sciences Naturelles, Dijon, France. *Annales de Spéléologie*, 29 (3): 283-332.
- Mangin, A (1981 a): Utilisation des analyses corrélatoire et spectrale dans l'approche des systèmes hydrologiques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 293: 401-404.

Mangin, A (1981 b): Apports des analyses corrélatrice et spectrale dans l'approche des systèmes hydrologiques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 293: 1011-1014.

Martín Algarra, A. (1987): *Evolución geológica Alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética (Sector Occidental)*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 1171p.

Sahuquillo, A.; Estrela, T y Andreu, J. (1987): Análisis de hidrogramas de manantiales kársticos. *IV Simposio de Hidrogeología*, 317-330.

Témez, J.R. (1977): Modelo matemático de transformación "Precipitación-Aportación". *Asociación de Investigación Industrial Eléctrica*.



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Obras Públicas y Transportes

CONVENIO DE COLABORACIÓN CON LA
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES
PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE
ASISTENCIA EN
AGUAS SUBTERRÁNEAS
PARA ABASTECIMIENTOS

1996-2000

ACTIVIDAD Nº 27. PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y OPTIMIZACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEL MANANTIAL DE EL TEMPUL. ACUÍFERO DE LA SIERRA DE LAS CABRAS. UH 05.00.(CADIZ).

Documento 27.2.- Anejos



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Obras Públicas y Transportes

ACTIVIDAD Nº 27. PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y OPTIMIZACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEL MANANTIAL DE EL TEMPUL. ACUÍFERO DE LA SIERRA DE LAS CABRAS. UH 05.00.(CADIZ).

Documento 27.2.- Anejos

ANEXOS

ANEXO 1

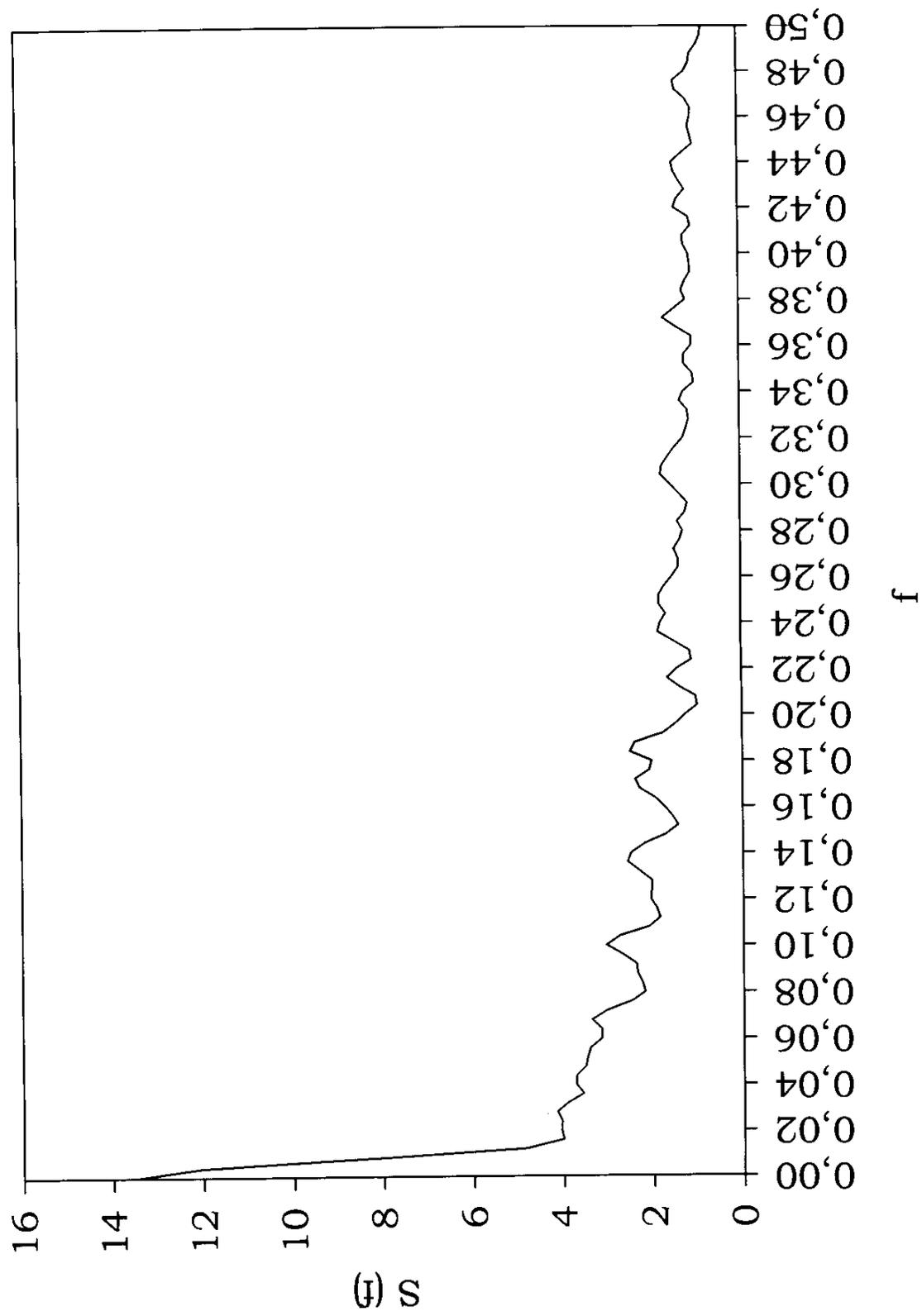
ACE simple de las precipitaciones diarias en la estación de El Tempul

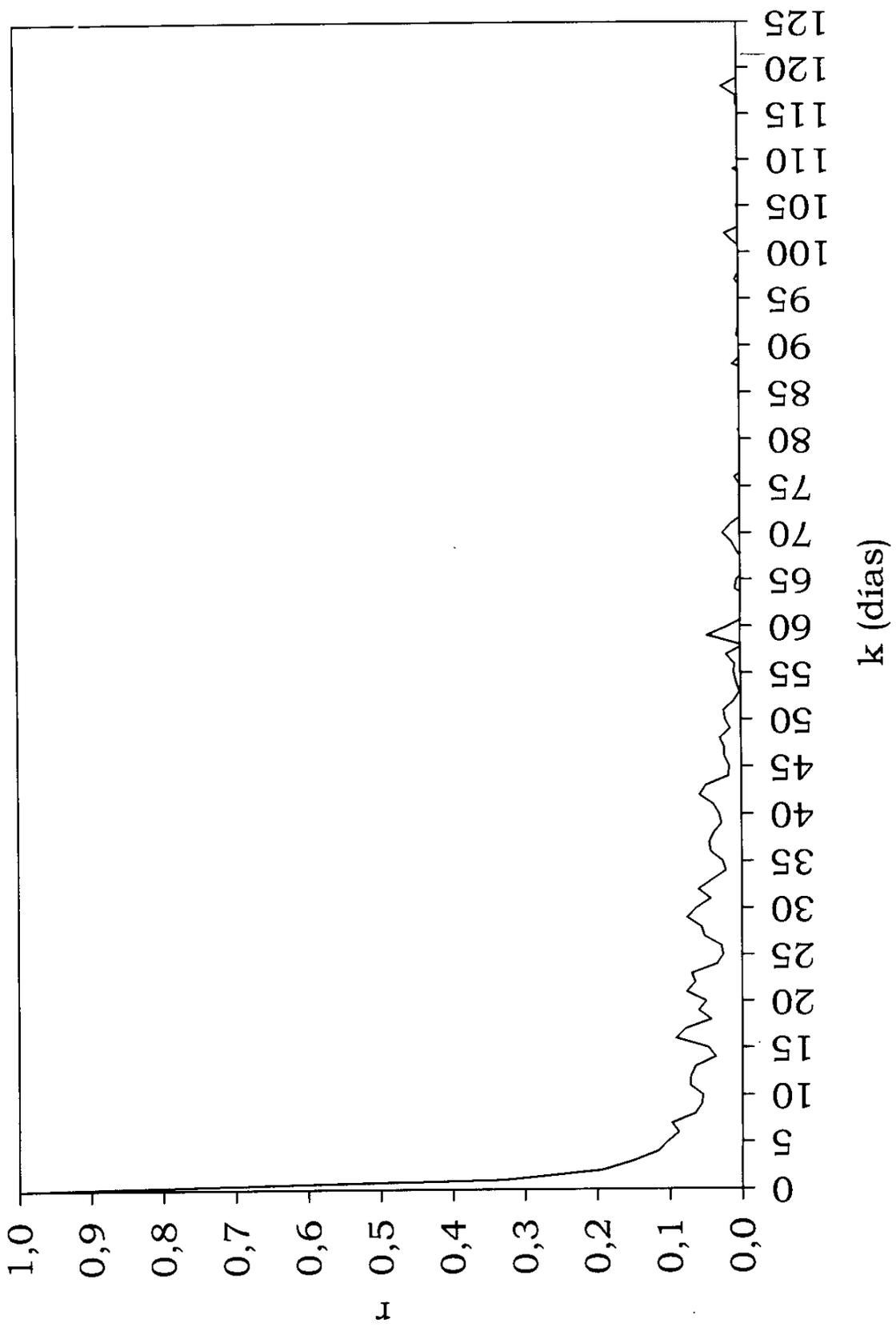
Ventana de 125 y paso de 1

Días	Lluvia		Frecuencia
	Espectral simple	Correlograma	
0	13,540	1,0000	0,000
1	12,041	0,3281	0,004
2	8,123	0,1939	0,008
3	4,833	0,1494	0,012
4	4,007	0,1162	0,016
5	4,053	0,1035	0,020
6	4,045	0,0880	0,024
7	4,148	0,0976	0,028
8	3,907	0,0656	0,032
9	3,560	0,0566	0,036
10	3,728	0,0547	0,040
11	3,710	0,0724	0,044
12	3,501	0,0711	0,048
13	3,459	0,0650	0,052
14	3,397	0,0371	0,056
15	3,141	0,0474	0,060
16	3,150	0,0914	0,064
17	3,364	0,0785	0,068
18	3,025	0,0435	0,072
19	2,473	0,0601	0,076
20	2,178	0,0497	0,080
21	2,239	0,0764	0,084
22	2,339	0,0648	0,088
23	2,370	0,0695	0,092
24	2,674	0,0347	0,096
25	3,031	0,0262	0,100
26	2,732	0,0287	0,104
27	2,087	0,0520	0,108
28	1,843	0,0559	0,112
29	1,909	0,0758	0,116
30	2,045	0,0631	0,120
31	2,023	0,0433	0,124
32	2,009	0,0604	0,128
33	2,279	0,0412	0,132
34	2,548	0,0223	0,136
35	2,475	0,0264	0,140
36	2,166	0,0426	0,144
37	1,704	0,0449	0,148
38	1,430	0,0386	0,152
39	1,562	0,0277	0,156
40	1,730	0,0311	0,160
41	1,938	0,0390	0,164
42	2,273	0,0579	0,168
43	2,370	0,0492	0,172
44	2,056	0,0178	0,176
45	2,004	0,0164	0,180
46	2,479	0,0233	0,184
47	2,382	0,0235	0,188
48	1,754	0,0296	0,192
49	1,474	0,0152	0,196
50	1,251	0,0223	0,200
51	0,988	0,0239	0,204
52	1,019	0,0100	0,208
53	1,375	0,0018	0,212
54	1,648	0,0061	0,216
55	1,426	0,0094	0,220
56	1,104	0,0083	0,224
57	1,145	0,0195	0,228
58	1,481	-0,0040	0,232

Días	Lluvia		Frecuencia
	Espectral simple	Correlograma	
59	1,836	0,0456	0,236
60	1,782	0,0169	0,240
61	1,666	-0,0091	0,244
62	1,810	-0,0054	0,248
63	1,815	-0,0136	0,252
64	1,692	0,0072	0,256
65	1,529	0,0051	0,260
66	1,383	-0,0059	0,264
67	1,387	-0,0047	0,268
68	1,476	0,0042	0,272
69	1,348	0,0111	0,276
70	1,282	0,0240	0,280
71	1,396	0,0125	0,284
72	1,224	-0,0061	0,288
73	1,170	-0,0048	0,292
74	1,360	0,0009	0,296
75	1,556	-0,0013	0,300
76	1,758	0,0069	0,304
77	1,728	-0,0105	0,308
78	1,592	-0,0131	0,312
79	1,442	-0,0243	0,316
80	1,257	-0,0054	0,320
81	1,185	0,0019	0,324
82	1,128	-0,0211	0,328
83	1,151	-0,0174	0,332
84	1,328	-0,0196	0,336
85	1,245	-0,0211	0,340
86	1,003	-0,0055	0,344
87	1,041	-0,0247	0,348
88	1,225	0,0093	0,352
89	1,230	-0,0056	0,356
90	1,061	-0,0161	0,360
91	1,048	0,0025	0,364
92	1,383	0,0005	0,368
93	1,687	-0,0107	0,372
94	1,440	-0,0246	0,376
95	1,184	-0,0028	0,380
96	1,268	-0,0066	0,384
97	1,185	0,0054	0,388
98	1,068	-0,0015	0,392
99	1,084	-0,0034	0,396
100	1,112	-0,0148	0,400
101	1,220	0,0051	0,404
102	1,230	0,0186	0,408
103	1,053	-0,0091	0,412
104	1,105	-0,0031	0,416
105	1,421	0,0019	0,420
106	1,353	-0,0049	0,424
107	1,183	-0,0007	0,428
108	1,310	-0,0184	0,432
109	1,420	0,0063	0,436
110	1,461	-0,0260	0,440
111	1,235	-0,0326	0,444
112	0,993	-0,0286	0,448
113	1,046	-0,0173	0,452
114	1,097	-0,0249	0,456
115	1,045	-0,0204	0,460
116	1,034	0,0014	0,464
117	1,150	0,0020	0,468

Días	Lluvia		Frecuencia
	Espectral simple	Correlograma	
118	1,372	0,0218	0,472
119	1,406	-0,0022	0,476
120	1,165	-0,0117	0,480
121	1,069	-0,0054	0,484
122	1,030	-0,0275	0,488
123	0,892	-0,0217	0,492
124	0,805	-0,0208	0,496
125	0,774	-0,0132	0,500





ANEXO 2

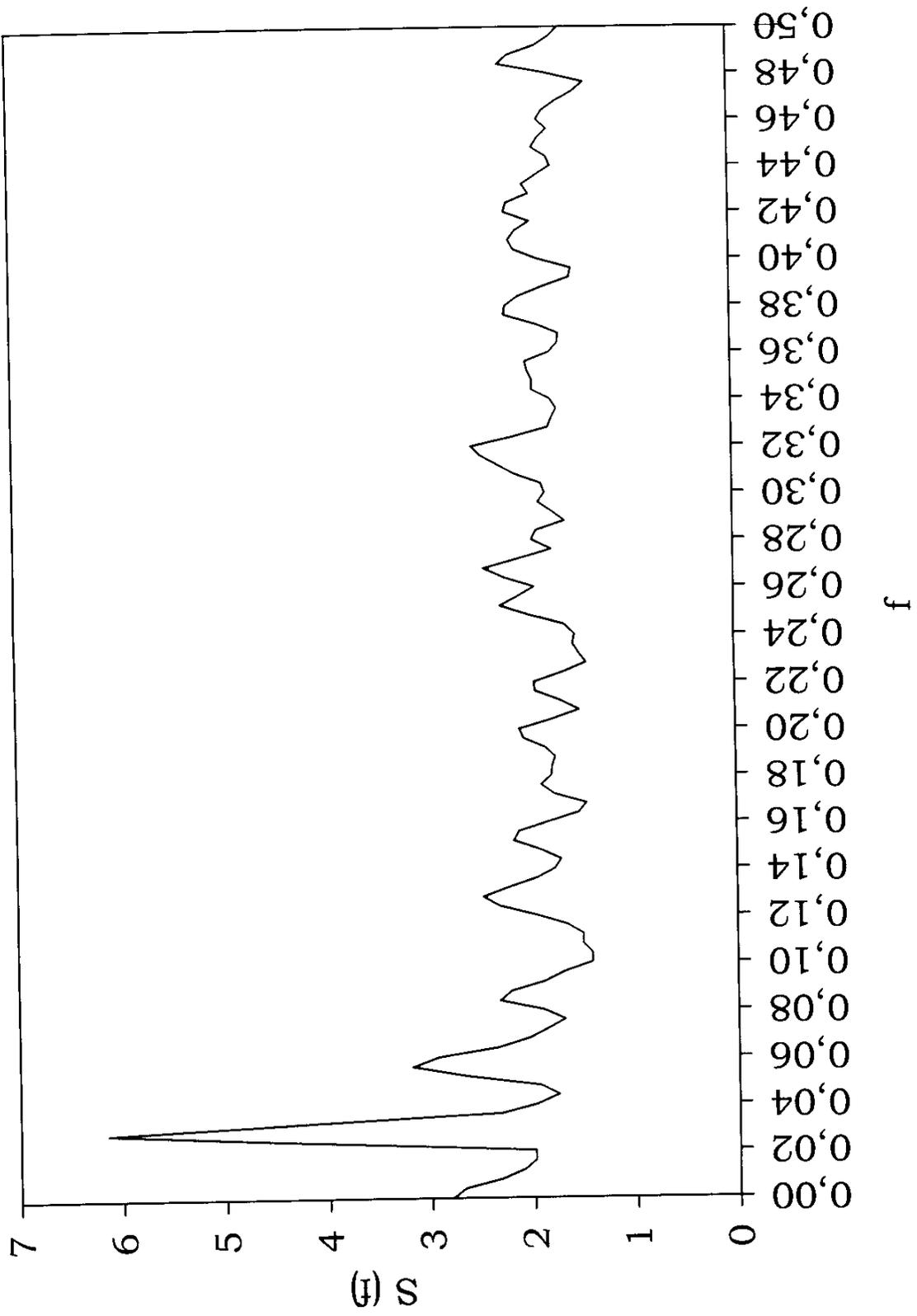
ACE simple de las precipitaciones diarias en la estación de El Tempul

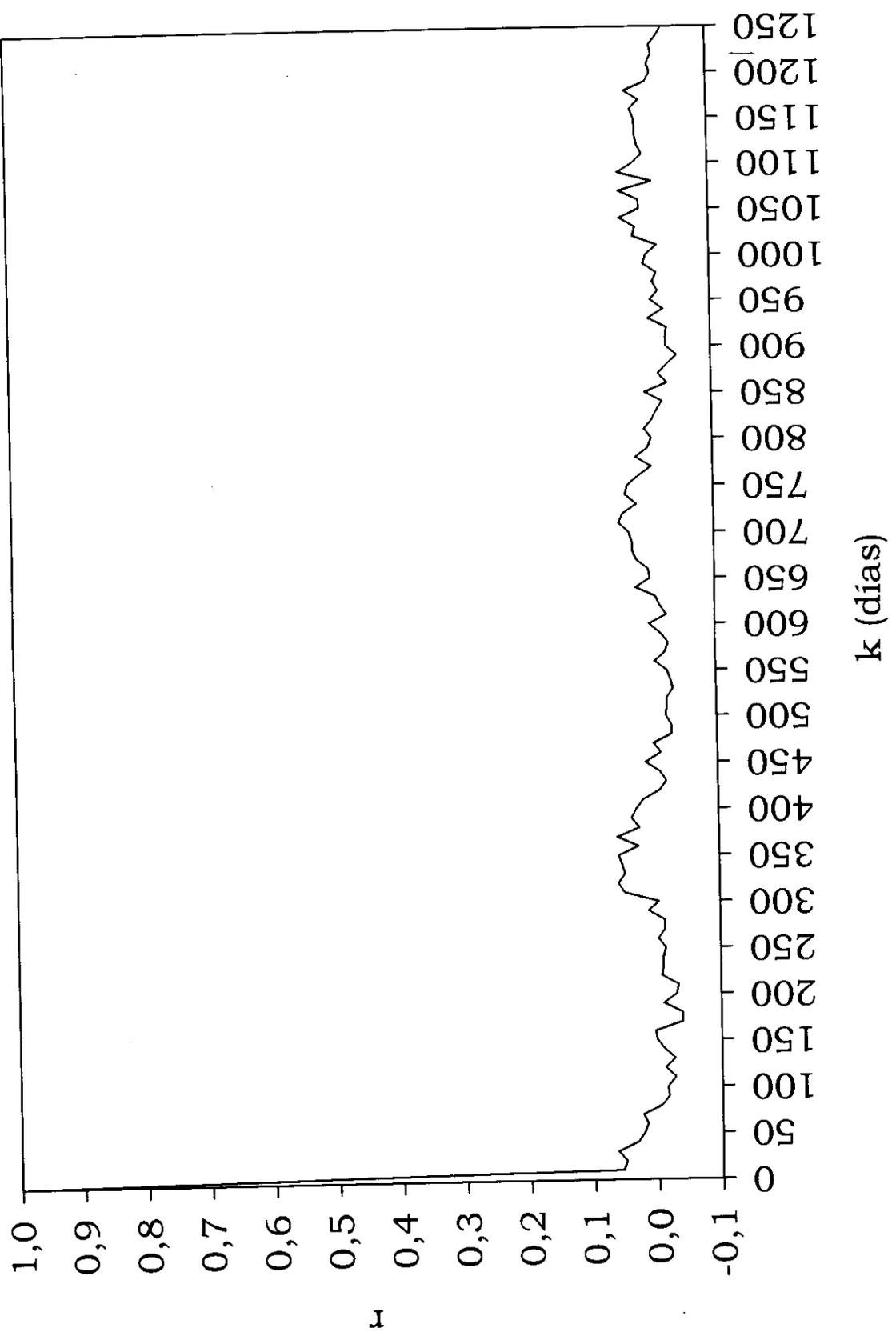
Ventana de 1250 y paso de 10

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
0	2,799	1,0000	0,000
10	2,680	0,0555	0,004
20	2,316	0,0507	0,008
30	2,094	0,0638	0,012
40	1,989	0,0326	0,016
50	1,985	0,0228	0,020
60	4,148	0,0173	0,024
70	6,145	0,0244	0,028
80	4,330	-0,0052	0,032
90	2,315	-0,0165	0,036
100	1,969	-0,0146	0,040
110	1,758	-0,0271	0,044
120	1,932	-0,0112	0,048
130	2,650	-0,0268	0,052
140	3,181	-0,0107	0,056
150	2,932	0,0007	0,060
160	2,346	0,0034	0,064
170	2,045	-0,0392	0,068
180	1,859	-0,0387	0,072
190	1,687	-0,0098	0,076
200	1,895	-0,0303	0,080
210	2,320	-0,0340	0,084
220	2,207	-0,0081	0,088
230	1,882	-0,0106	0,092
240	1,687	-0,0106	0,096
250	1,416	-0,0142	0,100
260	1,413	-0,0031	0,104
270	1,503	-0,0137	0,108
280	1,497	-0,0130	0,112
290	1,656	0,0117	0,116
300	1,950	-0,0040	0,120
310	2,316	0,0492	0,124
320	2,471	0,0581	0,128
330	2,220	0,0478	0,132
340	1,947	0,0517	0,136
350	1,769	0,0573	0,140
360	1,709	0,0264	0,144
370	1,910	0,0590	0,148
380	2,168	0,0240	0,152
390	2,116	0,0361	0,156
400	1,831	0,0286	0,160
410	1,531	0,0178	0,164
420	1,454	-0,0087	0,168
430	1,767	-0,0192	0,172
440	1,895	-0,0095	0,176
450	1,792	0,0127	0,180
460	1,784	-0,0114	0,184
470	1,753	-0,0005	0,188
480	1,850	-0,0288	0,192
490	2,060	-0,0286	0,196
500	2,098	-0,0203	0,200
510	1,782	-0,0218	0,204
520	1,515	-0,0224	0,208
530	1,695	-0,0324	0,212
540	1,941	-0,0285	0,216
550	1,950	-0,0232	0,220
560	1,668	-0,0047	0,224
570	1,441	-0,0211	0,228
580	1,508	-0,0268	0,232
590	1,564	-0,0151	0,236

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
600	1,543	0,0029	0,240
610	1,645	-0,0244	0,244
620	1,980	-0,0140	0,248
630	2,268	-0,0073	0,252
640	2,095	0,0235	0,256
650	1,934	0,0006	0,260
660	2,225	0,0038	0,264
670	2,428	0,0217	0,268
680	2,093	0,0276	0,272
690	1,764	0,0283	0,276
700	1,953	0,0325	0,280
710	1,911	0,0480	0,284
720	1,631	0,0419	0,288
730	1,751	0,0203	0,292
740	1,888	0,0377	0,296
750	1,821	0,0341	0,300
760	1,855	0,0168	0,304
770	2,109	-0,0038	0,308
780	2,274	0,0202	0,312
790	2,437	0,0010	0,316
800	2,532	-0,0051	0,320
810	2,128	0,0059	0,324
820	1,782	-0,0062	0,328
830	1,744	-0,0137	0,332
840	1,697	-0,0225	0,336
850	1,760	0,0048	0,340
860	1,935	-0,0309	0,344
870	1,931	-0,0168	0,348
880	1,973	-0,0314	0,352
890	1,996	-0,0468	0,356
900	1,763	-0,0298	0,360
910	1,678	-0,0297	0,364
920	1,668	-0,0317	0,368
930	1,890	-0,0028	0,372
940	2,196	-0,0267	0,376
950	2,180	-0,0067	0,380
960	2,056	-0,0184	0,384
970	1,825	-0,0104	0,388
980	1,555	-0,0168	0,392
990	1,534	0,0035	0,396
1000	1,868	-0,0013	0,400
1010	2,090	-0,0185	0,404
1020	2,141	0,0192	0,408
1030	2,075	0,0149	0,412
1040	1,934	0,0395	0,416
1050	2,179	0,0086	0,420
1060	2,154	0,0094	0,424
1070	1,937	0,0400	0,428
1080	2,000	-0,0121	0,432
1090	1,867	0,0410	0,436
1100	1,724	0,0178	0,440
1110	1,759	0,0025	0,444
1120	1,902	0,0099	0,448
1130	1,845	0,0128	0,452
1140	1,752	0,0129	0,456
1150	1,851	0,0141	0,460
1160	1,793	0,0197	0,464
1170	1,661	0,0060	0,468
1180	1,496	0,0287	0,472
1190	1,386	-0,0051	0,476

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
1200	1,753	-0,0124	0,480
1210	2,222	-0,0080	0,484
1220	2,120	-0,0154	0,488
1230	1,853	-0,0119	0,492
1240	1,714	-0,0238	0,496
1250	1,624	-0,0316	0,500





ANEXO 3

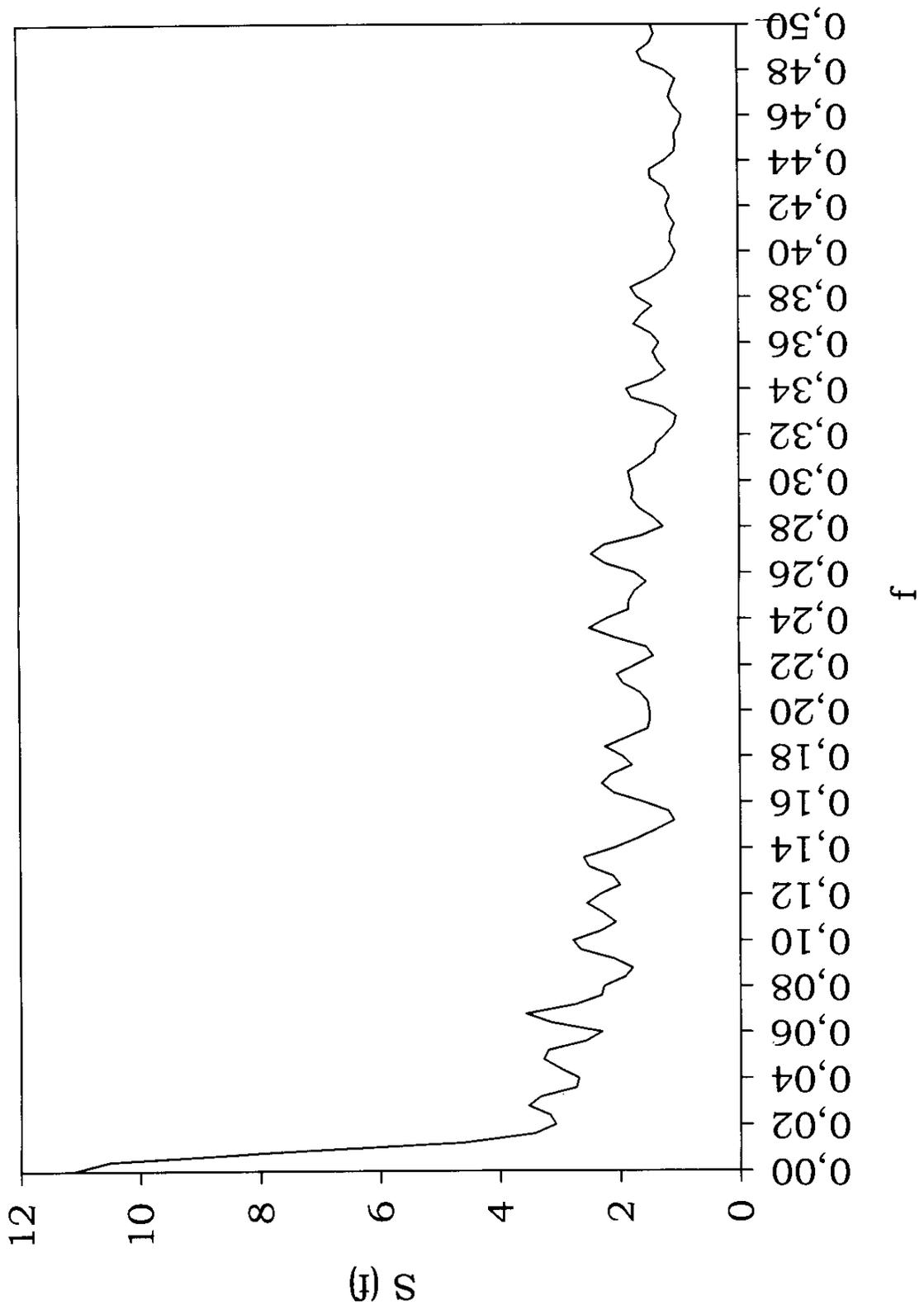
**ACE simple de las precipitaciones diarias en la estación de San
Fernando**

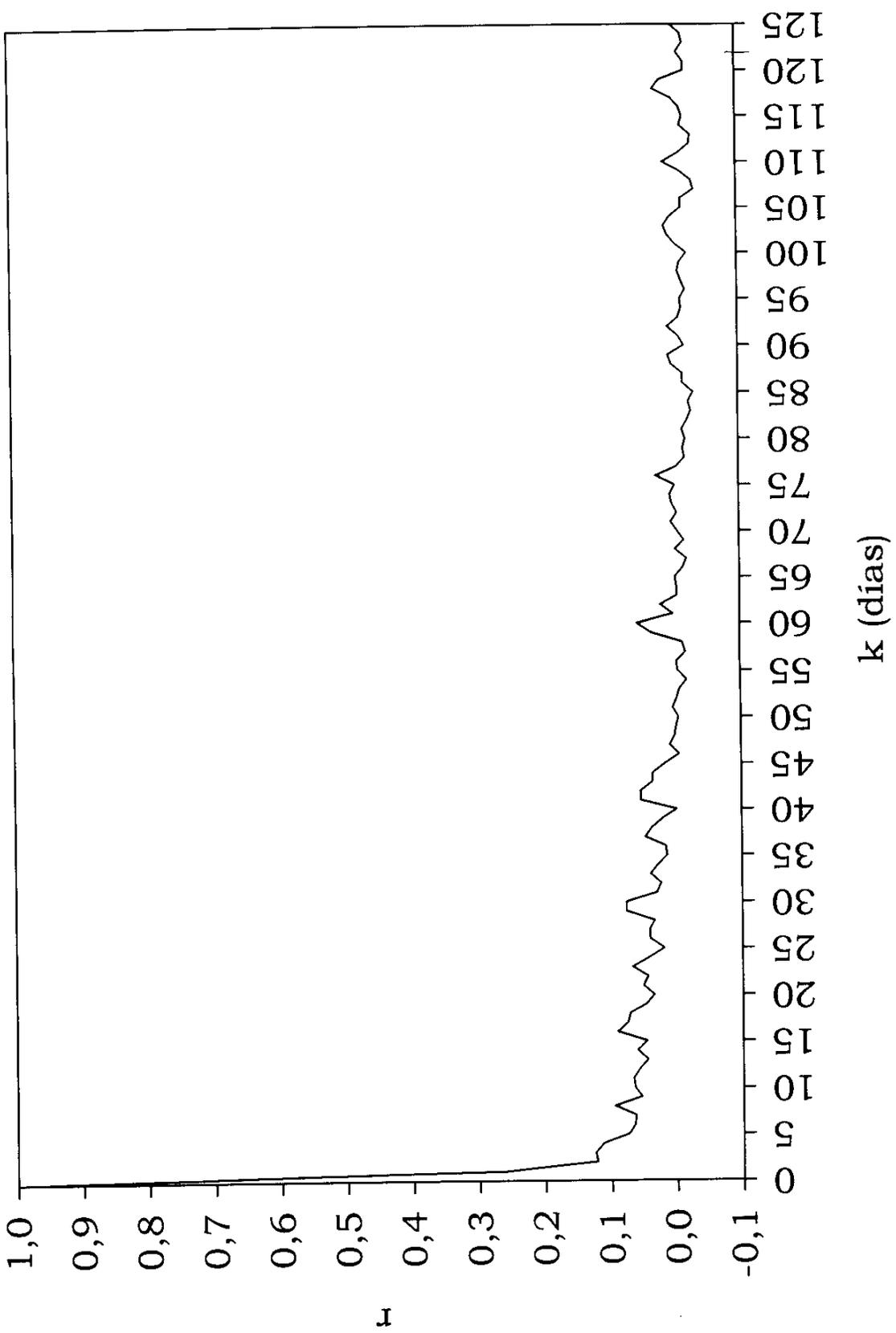
Ventana de 125 y paso de 1

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
0	11,139	1,0000	0,000
1	10,510	0,2594	0,004
2	7,727	0,1215	0,008
3	4,632	0,1245	0,012
4	3,430	0,1121	0,016
5	3,078	0,0739	0,020
6	3,174	0,0647	0,024
7	3,532	0,0628	0,028
8	3,335	0,0948	0,032
9	2,729	0,0542	0,036
10	2,692	0,0641	0,040
11	3,010	0,0662	0,044
12	3,275	0,0569	0,048
13	3,204	0,0447	0,052
14	2,569	0,0604	0,056
15	2,302	0,0457	0,060
16	3,148	0,0901	0,064
17	3,570	0,0746	0,068
18	2,739	0,0707	0,072
19	2,306	0,0460	0,076
20	2,266	0,0345	0,080
21	1,922	0,0505	0,084
22	1,794	0,0436	0,088
23	2,101	0,0669	0,092
24	2,652	0,0417	0,096
25	2,781	0,0185	0,100
26	2,330	0,0395	0,104
27	2,074	0,0407	0,108
28	2,277	0,0330	0,112
29	2,552	0,0751	0,116
30	2,332	0,0754	0,120
31	2,003	0,0291	0,124
32	2,118	0,0226	0,128
33	2,512	0,0384	0,132
34	2,605	0,0267	0,136
35	2,101	0,0129	0,140
36	1,724	0,0150	0,144
37	1,399	0,0459	0,148
38	1,102	0,0362	0,152
39	1,195	0,0197	0,156
40	1,621	-0,0018	0,160
41	2,104	0,0526	0,164
42	2,300	0,0528	0,168
43	2,142	0,0351	0,172
44	1,800	0,0340	0,176
45	1,962	0,0155	0,180
46	2,244	-0,0061	0,184
47	1,890	0,0078	0,188
48	1,536	0,0004	0,192
49	1,492	-0,0020	0,196
50	1,504	-0,0056	0,200
51	1,527	0,0028	0,204
52	1,660	-0,0030	0,208
53	1,940	-0,0076	0,212
54	2,040	-0,0188	0,216
55	1,725	-0,0054	0,220
56	1,431	-0,0038	0,224
57	1,544	-0,0176	0,228
58	2,059	-0,0133	0,232
59	2,488	0,0342	0,236

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
60	2,203	0,0554	0,240
61	1,843	0,0012	0,244
62	1,830	0,0200	0,248
63	1,738	-0,0049	0,252
64	1,548	-0,0044	0,256
65	1,742	-0,0021	0,260
66	2,231	-0,0142	0,264
67	2,465	-0,0197	0,268
68	2,249	-0,0027	0,272
69	1,622	-0,0162	0,276
70	1,273	-0,0063	0,280
71	1,431	0,0031	0,284
72	1,671	-0,0061	0,288
73	1,790	0,0018	0,292
74	1,762	0,0041	0,296
75	1,811	-0,0028	0,300
76	1,839	0,0256	0,304
77	1,588	-0,0060	0,308
78	1,399	-0,0184	0,312
79	1,367	-0,0159	0,316
80	1,216	-0,0195	0,320
81	1,080	-0,0147	0,324
82	1,043	-0,0227	0,328
83	1,259	-0,0285	0,332
84	1,784	-0,0247	0,336
85	1,868	-0,0321	0,340
86	1,431	-0,0161	0,344
87	1,221	-0,0162	0,348
88	1,354	0,0009	0,352
89	1,425	0,0058	0,356
90	1,323	-0,0185	0,360
91	1,452	-0,0100	0,364
92	1,740	0,0064	0,368
93	1,619	-0,0102	0,372
94	1,440	-0,0147	0,376
95	1,692	-0,0130	0,380
96	1,787	-0,0208	0,384
97	1,464	-0,0146	0,388
98	1,225	-0,0099	0,392
99	1,110	-0,0129	0,396
100	1,047	-0,0235	0,400
101	1,136	-0,0061	0,404
102	1,129	0,0054	0,408
103	1,061	0,0103	0,412
104	1,153	0,0012	0,416
105	1,200	-0,0157	0,420
106	1,138	-0,0155	0,424
107	1,219	-0,0354	0,428
108	1,455	-0,0316	0,432
109	1,477	-0,0140	0,436
110	1,227	0,0111	0,440
111	1,054	-0,0129	0,444
112	1,043	-0,0295	0,448
113	1,061	-0,0312	0,452
114	0,974	-0,0152	0,456
115	0,934	-0,0193	0,460
116	1,070	-0,0144	0,464
117	1,149	-0,0022	0,468
118	1,100	0,0248	0,472
119	1,033	0,0146	0,476

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
120	1,219	-0,0218	0,480
121	1,581	-0,0212	0,484
122	1,662	-0,0115	0,488
123	1,460	-0,0210	0,492
124	1,386	-0,0180	0,496
125	1,441	-0,0023	0,500





ANEXO 4

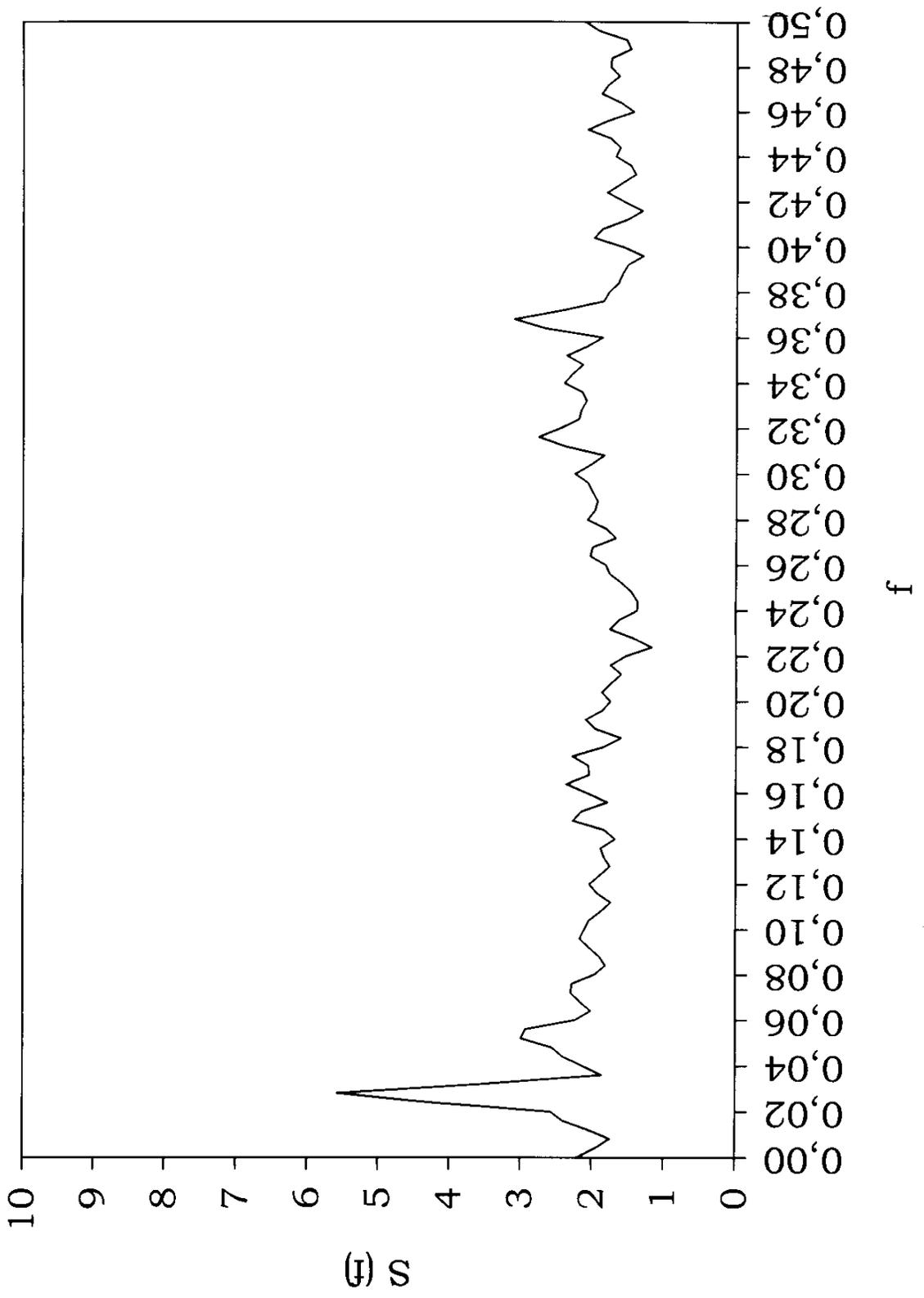
**ACE simple de las precipitaciones diarias en la estación de San
Fernando**

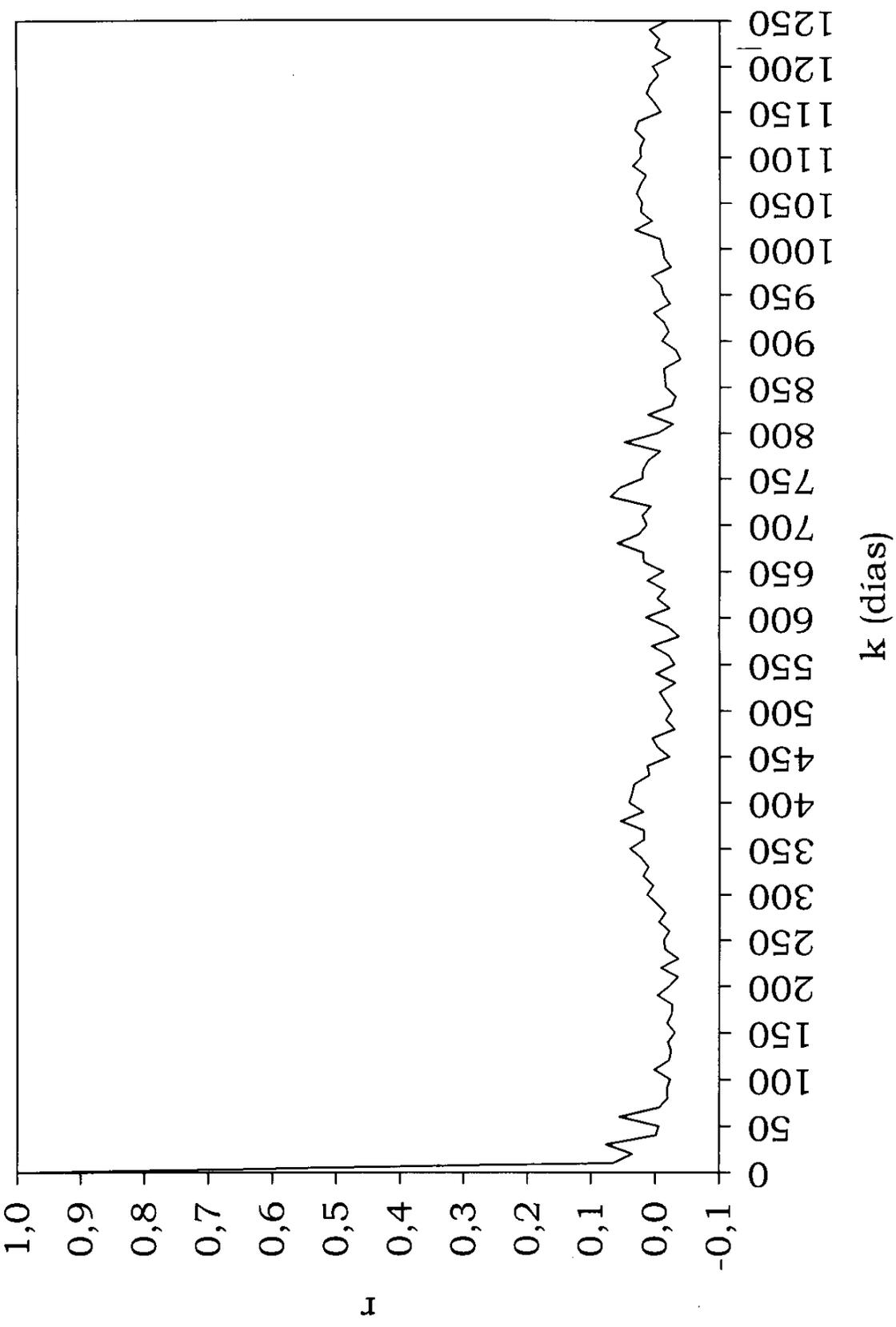
Ventana de 1250 y paso de 10

Días	Lluvia		Frecuencia
	Espectral simple	Correlograma	
0	2,209	1,0000	0,000
10	1,953	0,0657	0,004
20	1,747	0,0355	0,008
30	2,047	0,0767	0,012
40	2,406	-0,0012	0,016
50	2,580	-0,0054	0,020
60	4,273	0,0562	0,024
70	5,584	-0,0061	0,028
80	3,558	-0,0194	0,032
90	1,869	-0,0184	0,036
100	2,138	-0,0233	0,040
110	2,415	0,0016	0,044
120	2,566	-0,0216	0,048
130	2,998	-0,0247	0,052
140	2,938	-0,0201	0,056
150	2,238	-0,0307	0,060
160	2,023	-0,0188	0,064
170	2,170	-0,0256	0,068
180	2,301	-0,0271	0,072
190	2,284	-0,0034	0,076
200	1,970	-0,0219	0,080
210	1,818	-0,0353	0,084
220	1,899	-0,0088	0,088
230	2,047	-0,0358	0,092
240	2,176	-0,0156	0,096
250	2,112	-0,0130	0,100
260	2,045	-0,0220	0,104
270	1,886	-0,0056	0,108
280	1,746	-0,0159	0,112
290	1,935	-0,0023	0,116
300	2,042	0,0131	0,120
310	1,900	0,0035	0,124
320	1,759	0,0191	0,128
330	1,842	0,0111	0,132
340	1,885	0,0226	0,136
350	1,686	0,0399	0,140
360	1,842	0,0176	0,144
370	2,278	0,0188	0,148
380	2,161	0,0544	0,152
390	1,793	0,0194	0,156
400	2,073	0,0412	0,160
410	2,370	0,0367	0,164
420	2,049	0,0334	0,168
430	2,059	0,0096	0,172
440	2,287	0,0126	0,176
450	1,844	-0,0215	0,180
460	1,605	-0,0032	0,184
470	1,964	0,0052	0,188
480	2,093	-0,0297	0,192
490	1,864	-0,0163	0,196
500	1,751	-0,0253	0,200
510	1,872	-0,0153	0,204
520	1,745	-0,0066	0,208
530	1,599	-0,0309	0,212
540	1,751	-0,0006	0,216
550	1,540	-0,0299	0,220
560	1,177	-0,0204	0,224
570	1,428	0,0053	0,228
580	1,753	-0,0367	0,232

Días	Lluvia		Frecuencia
	Espectral simple	Correlograma	
590	1,624	-0,0198	0,236
600	1,375	0,0149	0,240
610	1,374	-0,0221	0,244
620	1,456	-0,0025	0,248
630	1,593	-0,0146	0,252
640	1,763	0,0130	0,256
650	1,818	-0,0121	0,260
660	2,037	0,0186	0,264
670	2,003	0,0195	0,268
680	1,681	0,0597	0,272
690	1,811	0,0263	0,276
700	2,077	0,0139	0,280
710	1,972	0,0210	0,284
720	1,933	0,0077	0,288
730	2,006	0,0703	0,292
740	2,070	0,0561	0,296
750	2,258	0,0212	0,300
760	2,032	0,0199	0,304
770	1,845	0,0115	0,308
780	2,403	-0,0068	0,312
790	2,765	0,0490	0,316
800	2,463	-0,0032	0,320
810	2,202	-0,0267	0,324
820	2,166	0,0124	0,328
830	2,096	-0,0250	0,332
840	2,156	-0,0307	0,336
850	2,408	-0,0155	0,340
860	2,295	-0,0144	0,344
870	2,146	-0,0128	0,348
880	2,372	-0,0380	0,352
890	2,095	-0,0308	0,356
900	1,870	-0,0099	0,360
910	2,673	-0,0201	0,364
920	3,112	-0,0126	0,368
930	2,416	0,0039	0,372
940	1,858	-0,0220	0,376
950	1,782	-0,0118	0,380
960	1,653	-0,0083	0,384
970	1,597	0,0065	0,388
980	1,520	-0,0235	0,392
990	1,311	-0,0128	0,396
1000	1,585	-0,0105	0,400
1010	1,992	-0,0066	0,404
1020	1,880	0,0325	0,408
1030	1,539	0,0059	0,412
1040	1,323	0,0240	0,416
1050	1,572	0,0217	0,420
1060	1,810	0,0302	0,424
1070	1,615	0,0241	0,428
1080	1,414	0,0152	0,432
1090	1,480	0,0361	0,436
1100	1,688	0,0233	0,440
1110	1,631	0,0246	0,444
1120	1,763	0,0181	0,448
1130	2,084	0,0323	0,452
1140	1,803	0,0269	0,456
1150	1,443	-0,0081	0,460
1160	1,617	0,0017	0,464
1170	1,886	0,0141	0,468

Días	Lluvia		Frecuencia
	Espectral simple	Correlograma	
1180	1,798	0,0086	0,472
1190	1,643	-0,0043	0,476
1200	1,764	0,0045	0,480
1210	1,748	-0,0231	0,484
1220	1,481	0,0002	0,488
1230	1,539	-0,0061	0,492
1240	1,920	0,0095	0,496
1250	2,122	-0,0178	0,500





ANEXO 5

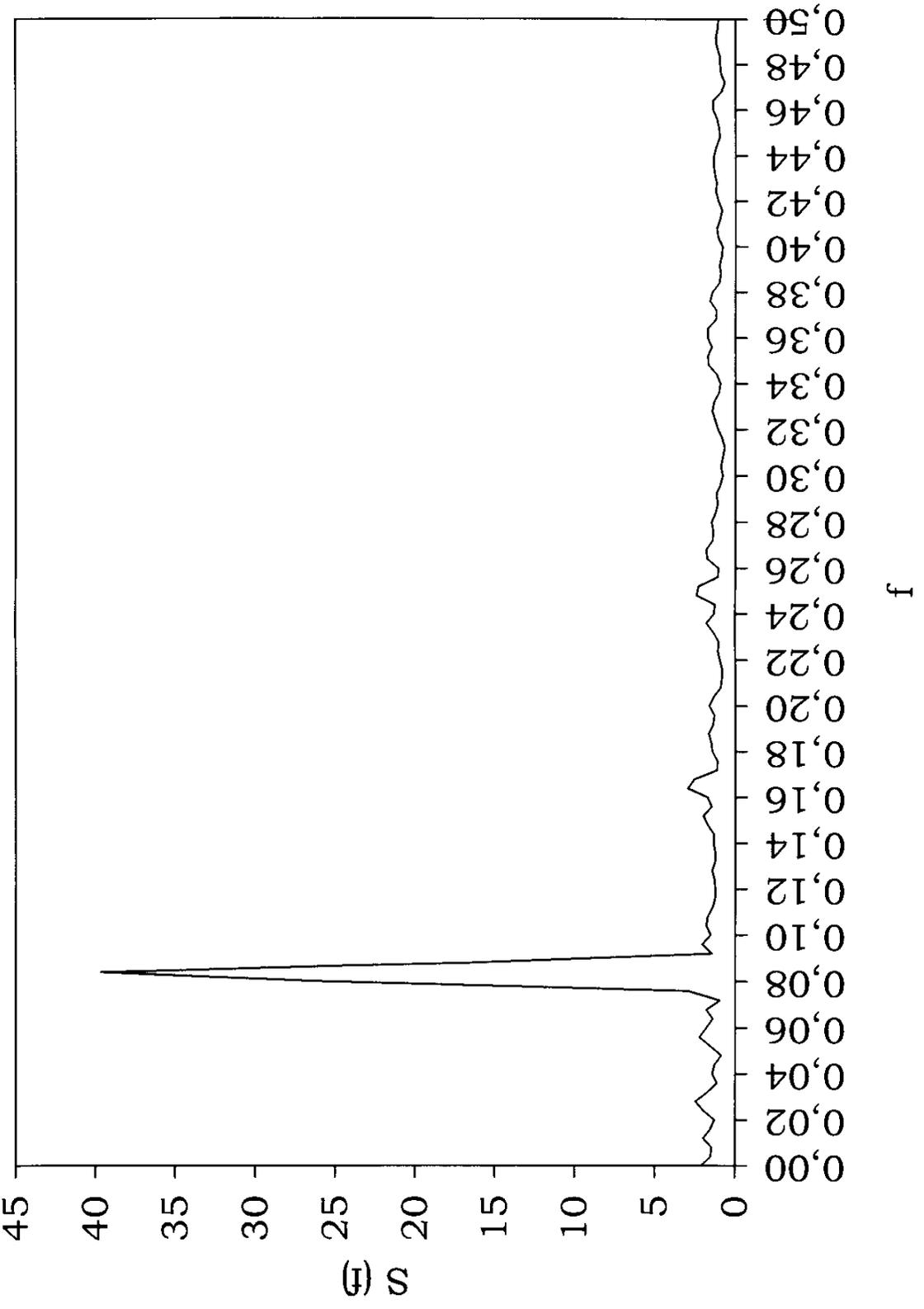
**ACE simple de las precipitaciones mensuales en la estación de
Gibraltar**

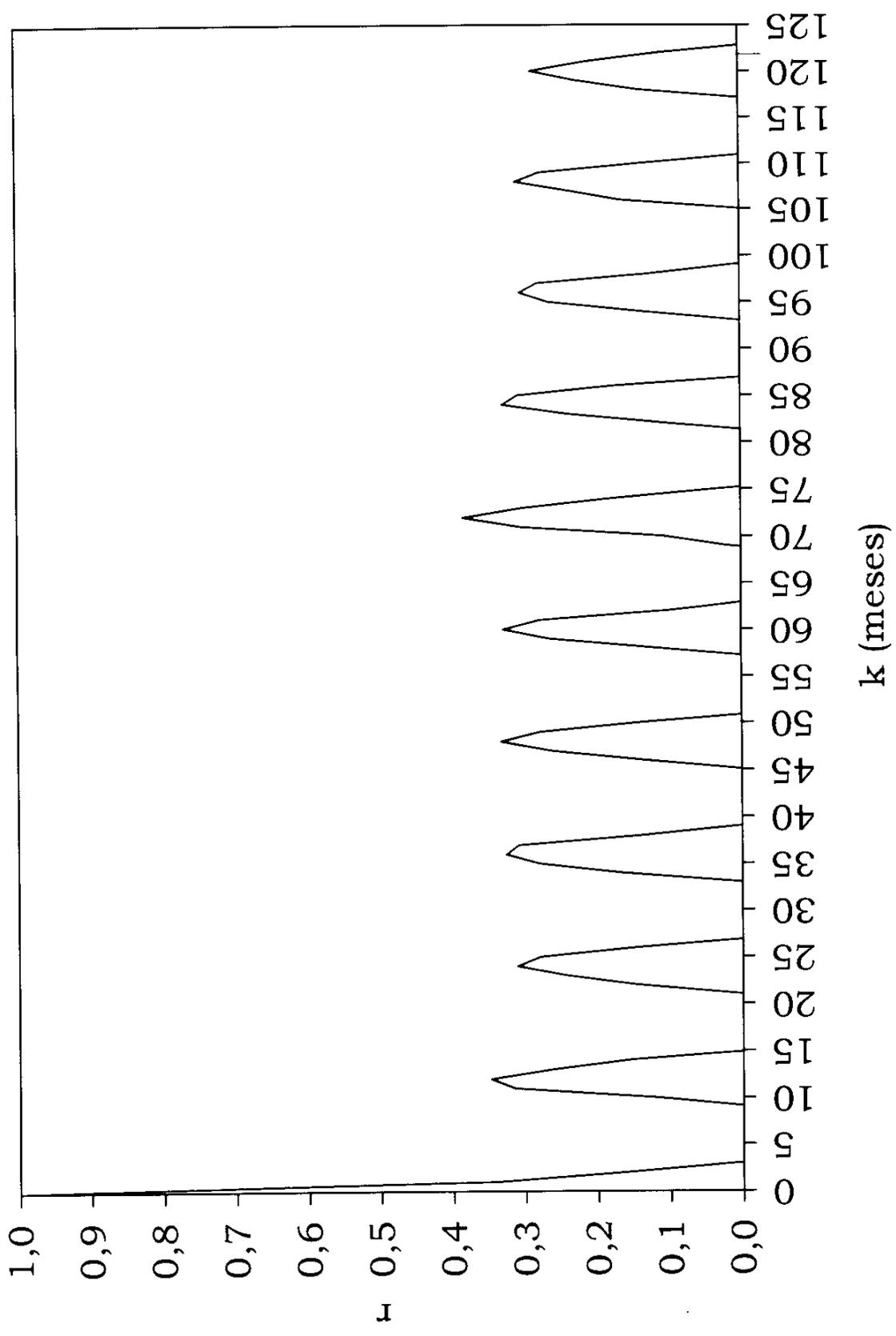
Ventana de 125 y paso de 1

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
0	2,110	1,0000	0,000
1	1,529	0,3400	0,004
2	1,481	0,1592	0,008
3	2,003	-0,0010	0,012
4	1,559	-0,1638	0,016
5	1,317	-0,2639	0,020
6	1,992	-0,3103	0,024
7	2,495	-0,2692	0,028
8	1,775	-0,1378	0,032
9	1,159	-0,0118	0,036
10	1,444	0,1189	0,040
11	1,303	0,3154	0,044
12	0,881	0,3485	0,048
13	1,541	0,2624	0,052
14	2,243	0,1540	0,056
15	1,825	-0,0223	0,060
16	1,421	-0,1581	0,064
17	1,819	-0,2796	0,068
18	0,974	-0,3132	0,072
19	2,956	-0,2645	0,076
20	26,147	-0,1475	0,080
21	39,654	0,0005	0,084
22	16,622	0,1461	0,088
23	1,449	0,2418	0,092
24	2,075	0,3113	0,096
25	1,540	0,2790	0,100
26	1,814	0,1455	0,104
27	1,738	-0,0259	0,108
28	1,416	-0,1623	0,112
29	1,272	-0,2766	0,116
30	1,273	-0,2961	0,120
31	1,308	-0,2475	0,124
32	1,455	-0,1422	0,128
33	1,290	0,0049	0,132
34	1,262	0,1653	0,136
35	1,375	0,2794	0,140
36	1,364	0,3257	0,144
37	1,747	0,3091	0,148
38	2,002	0,1371	0,152
39	1,493	0,0039	0,156
40	1,742	-0,1531	0,160
41	2,959	-0,2701	0,164
42	2,560	-0,3161	0,168
43	1,163	-0,2642	0,172
44	1,132	-0,1611	0,176
45	1,440	-0,0085	0,180
46	1,513	0,1337	0,184
47	1,666	0,2606	0,188
48	1,397	0,3324	0,192
49	1,312	0,2788	0,196
50	1,636	0,1383	0,200
51	1,377	-0,0332	0,204
52	0,928	-0,1494	0,208
53	0,853	-0,2720	0,212
54	0,841	-0,3012	0,216
55	0,974	-0,2484	0,220
56	1,093	-0,1473	0,224
57	1,038	-0,0331	0,228
58	1,344	0,1141	0,232
59	1,786	0,2644	0,236

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
60	1,339	0,3286	0,240
61	1,273	0,2784	0,244
62	2,413	0,0996	0,248
63	2,309	-0,0120	0,252
64	1,112	-0,1364	0,256
65	1,067	-0,2668	0,260
66	1,758	-0,2973	0,264
67	1,841	-0,2438	0,268
68	1,436	-0,1306	0,272
69	1,392	0,0203	0,276
70	1,494	0,1073	0,280
71	1,245	0,3039	0,284
72	1,119	0,3842	0,288
73	1,198	0,3022	0,292
74	0,954	0,1803	0,296
75	0,798	0,0320	0,300
76	0,906	-0,1232	0,304
77	0,798	-0,2538	0,308
78	0,684	-0,2996	0,312
79	0,838	-0,2371	0,316
80	1,096	-0,1300	0,320
81	1,284	-0,0472	0,324
82	1,453	0,1007	0,328
83	1,339	0,2381	0,332
84	1,036	0,3285	0,336
85	0,956	0,3081	0,340
86	1,183	0,1750	0,344
87	1,704	-0,0213	0,348
88	1,727	-0,1292	0,352
89	1,478	-0,2414	0,356
90	1,743	-0,2839	0,360
91	1,731	-0,2435	0,364
92	1,218	-0,1339	0,368
93	1,201	0,0020	0,372
94	1,596	0,1414	0,376
95	1,456	0,2646	0,380
96	1,018	0,3041	0,384
97	0,931	0,2799	0,388
98	0,998	0,1277	0,392
99	0,863	0,0085	0,396
100	0,826	-0,1204	0,400
101	1,093	-0,2304	0,404
102	1,177	-0,2708	0,408
103	0,968	-0,2412	0,412
104	0,852	-0,1263	0,416
105	1,086	-0,0044	0,420
106	1,242	0,1639	0,424
107	1,184	0,2357	0,428
108	1,319	0,3093	0,432
109	1,376	0,2761	0,436
110	1,353	0,1361	0,440
111	1,213	-0,0107	0,444
112	0,986	-0,1366	0,448
113	1,038	-0,2490	0,452
114	1,165	-0,2788	0,456
115	1,413	-0,2502	0,460
116	1,416	-0,1441	0,464
117	0,874	-0,0173	0,468
118	0,687	0,1381	0,472
119	0,908	0,2246	0,476

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
120	0,974	0,2869	0,480
121	1,001	0,2120	0,484
122	1,177	0,1078	0,488
123	1,233	-0,0269	0,492
124	1,106	-0,1275	0,496
125	1,064	-0,2386	0,500





ANEXO 6

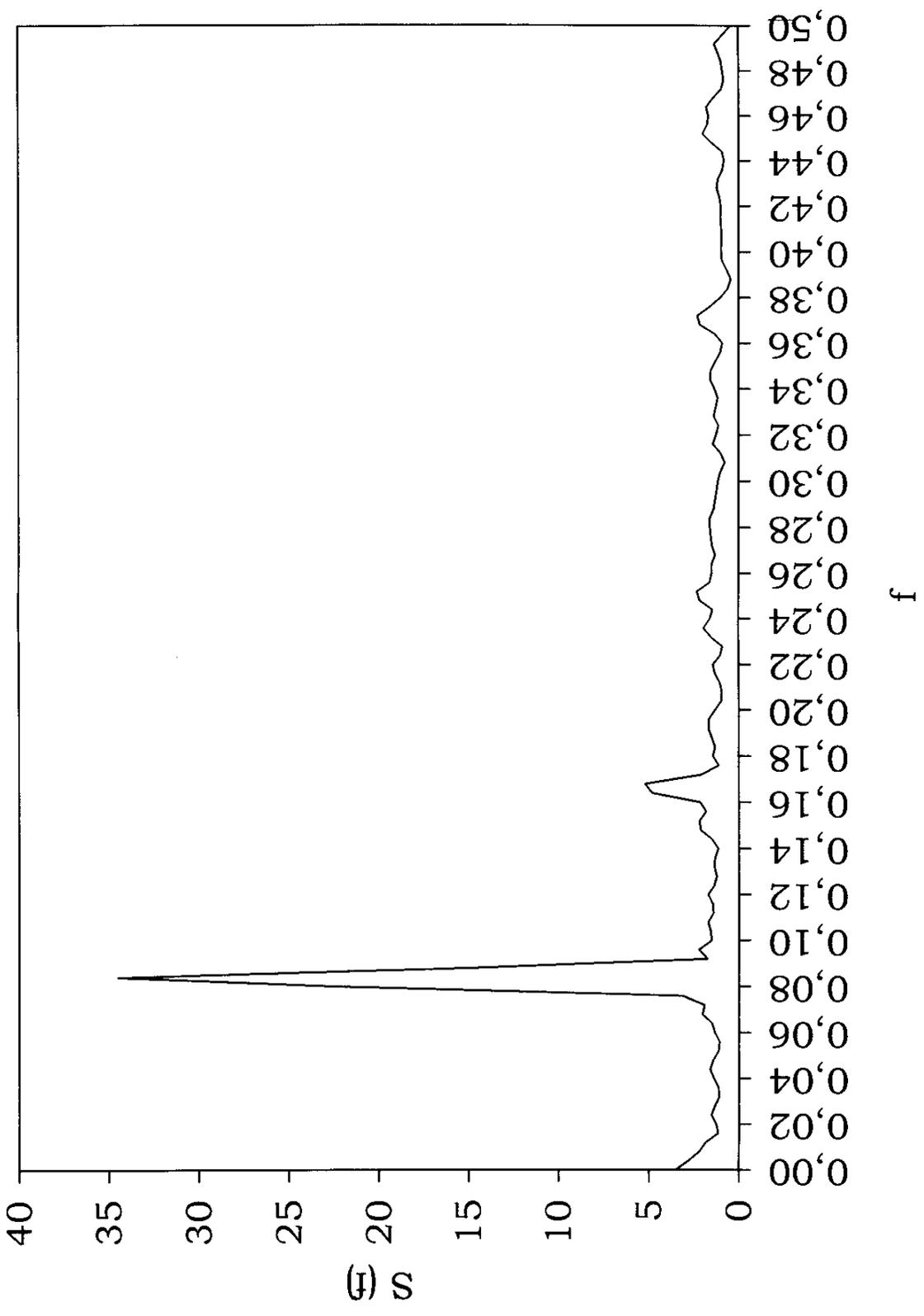
**ACE simple de las precipitaciones mensuales en la estación de San
Fernando**

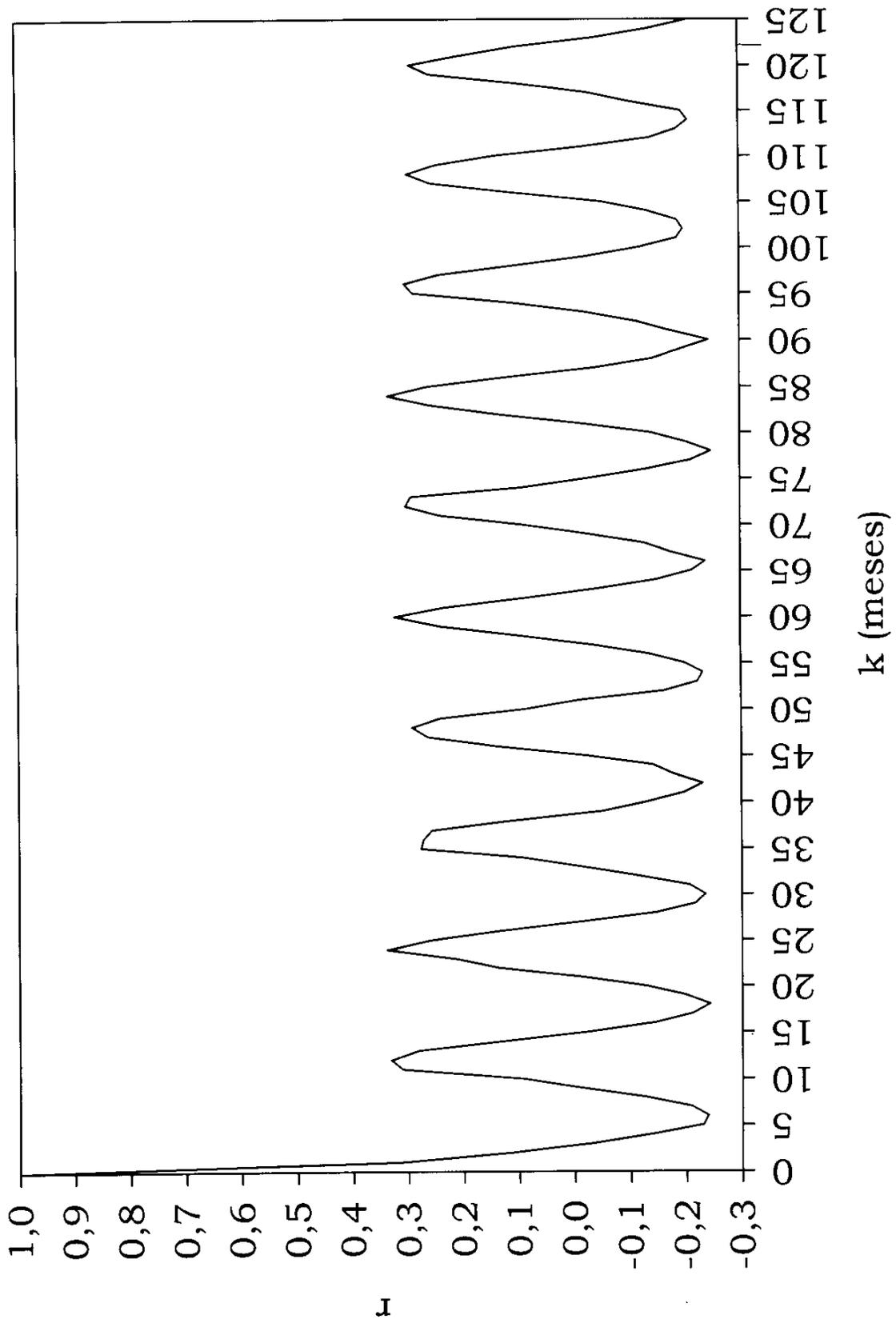
Ventana de 125 y paso de 1

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
0	3,545	1,0000	0,000
1	2,787	0,3141	0,004
2	2,187	0,1169	0,008
3	1,845	-0,0315	0,012
4	1,160	-0,1417	0,016
5	1,262	-0,2298	0,020
6	1,529	-0,2384	0,024
7	1,330	-0,2089	0,028
8	1,079	-0,1277	0,032
9	1,134	-0,0121	0,036
10	1,394	0,0944	0,040
11	1,594	0,3112	0,044
12	1,413	0,3313	0,048
13	1,133	0,2820	0,052
14	1,065	0,1286	0,056
15	1,338	-0,0241	0,060
16	1,484	-0,1449	0,064
17	2,020	-0,2114	0,068
18	1,894	-0,2424	0,072
19	3,127	-0,1981	0,076
20	22,337	-0,1274	0,080
21	34,507	-0,0125	0,084
22	15,029	0,1375	0,088
23	1,729	0,2139	0,092
24	2,212	0,3382	0,096
25	1,499	0,2605	0,100
26	1,561	0,1364	0,104
27	1,709	-0,0105	0,108
28	1,408	-0,1470	0,112
29	1,440	-0,2160	0,116
30	1,705	-0,2346	0,120
31	1,353	-0,2067	0,124
32	1,220	-0,1138	0,128
33	1,344	-0,0134	0,132
34	1,319	0,0926	0,136
35	1,141	0,2755	0,140
36	1,487	0,2711	0,144
37	2,102	0,2561	0,148
38	2,186	0,1174	0,152
39	1,807	-0,0505	0,156
40	2,142	-0,1301	0,160
41	4,807	-0,1961	0,164
42	5,205	-0,2303	0,168
43	2,095	-0,1783	0,172
44	1,124	-0,1417	0,176
45	1,435	-0,0211	0,180
46	1,315	0,1422	0,184
47	1,499	0,2629	0,188
48	1,692	0,2913	0,192
49	1,680	0,2412	0,196
50	1,320	0,0889	0,200
51	0,969	-0,0105	0,204
52	0,948	-0,1625	0,208
53	1,064	-0,2216	0,212
54	1,339	-0,2317	0,216
55	1,440	-0,1999	0,220
56	1,030	-0,1366	0,224
57	0,906	-0,0358	0,228
58	1,517	0,0954	0,232
59	1,921	0,2389	0,236

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
60	1,573	0,3216	0,240
61	1,433	0,2323	0,244
62	2,143	0,0881	0,248
63	2,310	-0,0414	0,252
64	1,608	-0,1504	0,256
65	1,498	-0,2124	0,260
66	1,491	-0,2369	0,264
67	1,302	-0,1751	0,268
68	1,466	-0,1278	0,272
69	1,533	-0,0247	0,276
70	1,590	0,0893	0,280
71	1,589	0,2380	0,284
72	1,378	0,3009	0,288
73	1,293	0,2916	0,292
74	1,208	0,0939	0,296
75	1,143	-0,0252	0,300
76	1,008	-0,1303	0,304
77	0,767	-0,2111	0,308
78	0,984	-0,2473	0,312
79	1,434	-0,2029	0,316
80	1,245	-0,1395	0,320
81	1,114	-0,0151	0,324
82	1,369	0,1346	0,328
83	1,261	0,2569	0,332
84	1,158	0,3326	0,336
85	1,329	0,2620	0,340
86	1,560	0,1218	0,344
87	1,545	-0,0391	0,348
88	1,272	-0,1431	0,352
89	1,016	-0,1934	0,356
90	0,912	-0,2440	0,360
91	1,317	-0,1762	0,364
92	2,149	-0,1143	0,368
93	2,289	-0,0235	0,372
94	1,602	0,1113	0,376
95	1,012	0,2872	0,380
96	0,610	0,3016	0,384
97	0,435	0,2396	0,388
98	0,662	0,1039	0,392
99	0,920	-0,0255	0,396
100	0,975	-0,1197	0,400
101	0,951	-0,1877	0,404
102	0,944	-0,1993	0,408
103	0,991	-0,1883	0,412
104	1,014	-0,1335	0,416
105	0,995	-0,0515	0,420
106	1,065	0,1103	0,424
107	1,224	0,2547	0,428
108	1,145	0,2970	0,432
109	0,904	0,2439	0,436
110	0,811	0,1399	0,440
111	0,914	-0,0161	0,444
112	1,514	-0,1389	0,448
113	2,001	-0,1878	0,452
114	1,751	-0,2081	0,456
115	1,682	-0,1958	0,460
116	1,802	-0,1033	0,464
117	1,421	-0,0286	0,468
118	0,965	0,1019	0,472
119	0,823	0,2562	0,476

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
120	0,906	0,2914	0,480
121	0,982	0,2022	0,484
122	1,160	0,1006	0,488
123	1,345	-0,0403	0,492
124	0,887	-0,1375	0,496
125	0,435	-0,2093	0,500





ANEXO 7

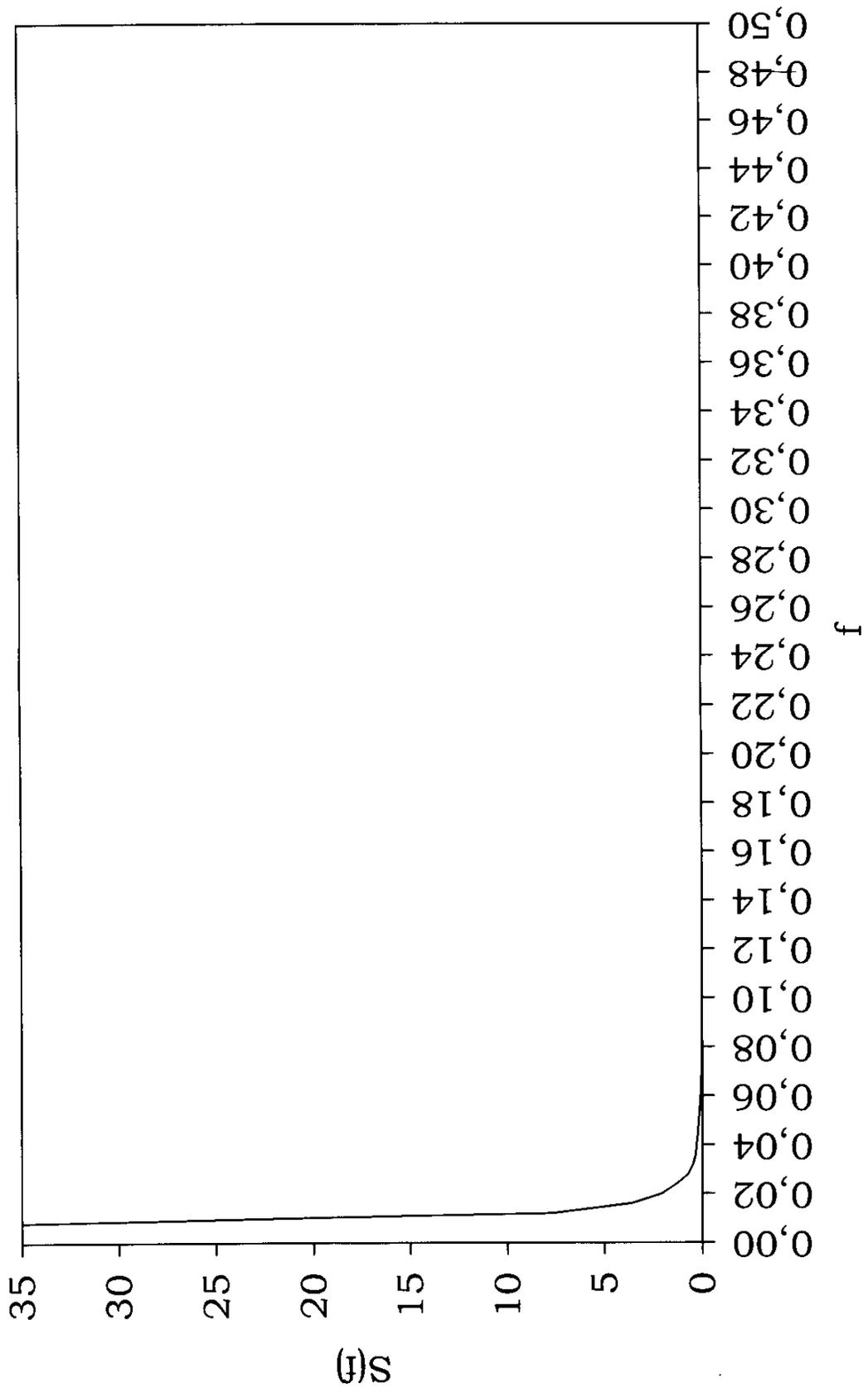
ACE simple de los caudales diarios en la estación de El Tempul

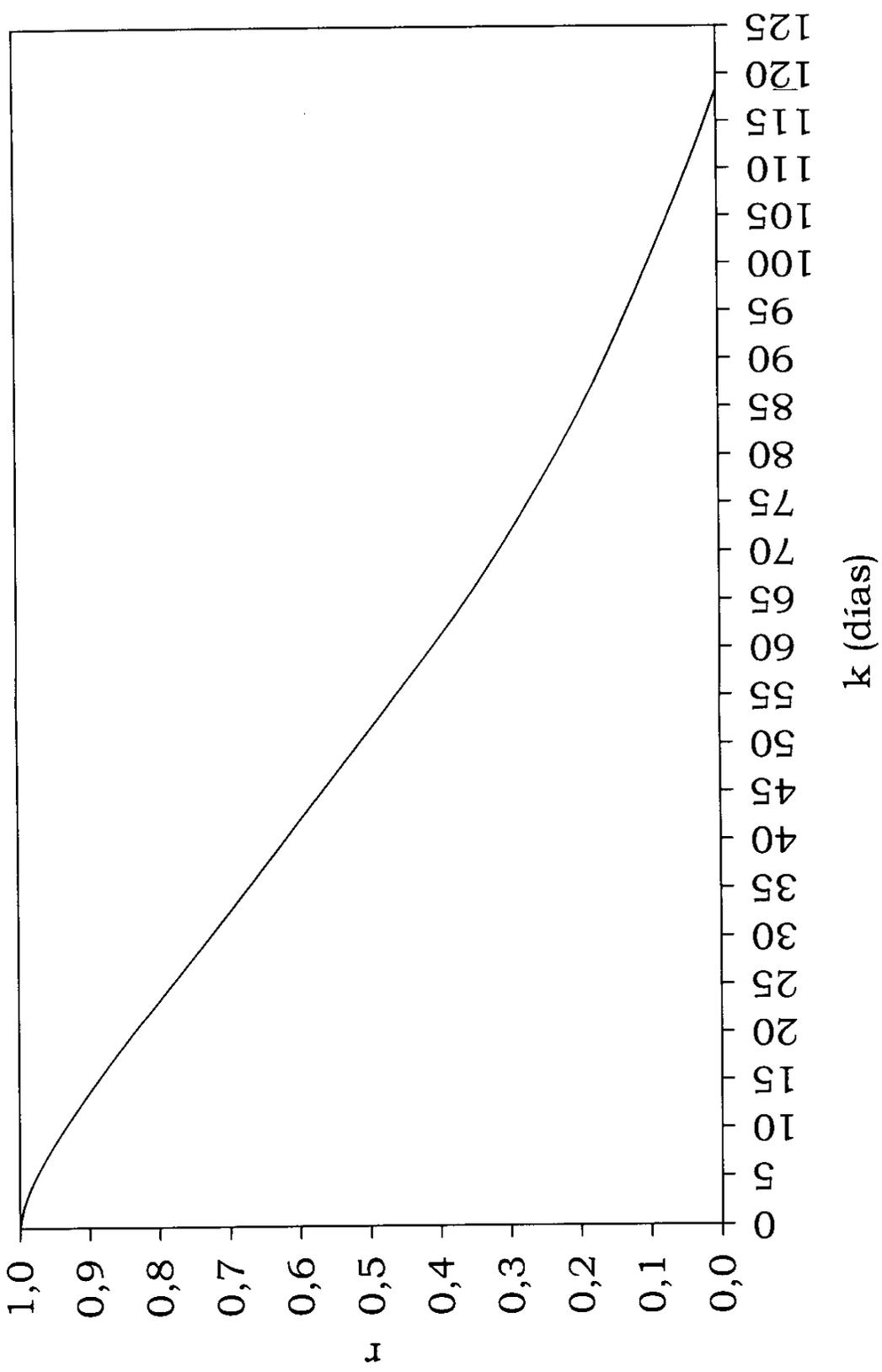
Ventana de 125 y paso de 1

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
0	164,047	1,0000	0,000
1	113,322	0,9980	0,004
2	36,541	0,9947	0,008
3	7,697	0,9900	0,012
4	3,609	0,9843	0,016
5	2,083	0,9778	0,020
6	1,334	0,9706	0,024
7	0,722	0,9627	0,028
8	0,480	0,9544	0,032
9	0,347	0,9457	0,036
10	0,312	0,9367	0,040
11	0,246	0,9276	0,044
12	0,203	0,9182	0,048
13	0,165	0,9087	0,052
14	0,125	0,8990	0,056
15	0,099	0,8891	0,060
16	0,082	0,8791	0,064
17	0,058	0,8690	0,068
18	0,042	0,8587	0,072
19	0,032	0,8482	0,076
20	0,028	0,8377	0,080
21	0,026	0,8269	0,084
22	0,024	0,8160	0,088
23	0,023	0,8049	0,092
24	0,024	0,7939	0,096
25	0,022	0,7828	0,100
26	0,017	0,7718	0,104
27	0,013	0,7609	0,108
28	0,010	0,7500	0,112
29	0,010	0,7392	0,116
30	0,011	0,7283	0,120
31	0,010	0,7175	0,124
32	0,008	0,7067	0,128
33	0,008	0,6959	0,132
34	0,009	0,6852	0,136
35	0,010	0,6745	0,140
36	0,010	0,6638	0,144
37	0,009	0,6531	0,148
38	0,006	0,6424	0,152
39	0,005	0,6318	0,156
40	0,006	0,6213	0,160
41	0,006	0,6107	0,164
42	0,006	0,6001	0,168
43	0,006	0,5894	0,172
44	0,005	0,5788	0,176
45	0,004	0,5680	0,180
46	0,004	0,5574	0,184
47	0,004	0,5467	0,188
48	0,004	0,5361	0,192
49	0,004	0,5254	0,196
50	0,004	0,5146	0,200
51	0,003	0,5039	0,204
52	0,003	0,4931	0,208
53	0,003	0,4824	0,212
54	0,002	0,4718	0,216
55	0,003	0,4612	0,220
56	0,003	0,4508	0,224
57	0,003	0,4403	0,228
58	0,003	0,4300	0,232
59	0,003	0,4197	0,236

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
60	0,003	0,4095	0,240
61	0,003	0,3994	0,244
62	0,003	0,3894	0,248
63	0,002	0,3795	0,252
64	0,002	0,3697	0,256
65	0,002	0,3600	0,260
66	0,002	0,3505	0,264
67	0,002	0,3411	0,268
68	0,002	0,3318	0,272
69	0,002	0,3227	0,276
70	0,002	0,3137	0,280
71	0,002	0,3048	0,284
72	0,002	0,2961	0,288
73	0,002	0,2876	0,292
74	0,002	0,2791	0,296
75	0,002	0,2709	0,300
76	0,002	0,2626	0,304
77	0,002	0,2545	0,308
78	0,002	0,2465	0,312
79	0,002	0,2386	0,316
80	0,002	0,2309	0,320
81	0,002	0,2233	0,324
82	0,002	0,2158	0,328
83	0,001	0,2082	0,332
84	0,002	0,2008	0,336
85	0,002	0,1936	0,340
86	0,002	0,1865	0,344
87	0,002	0,1796	0,348
88	0,002	0,1728	0,352
89	0,002	0,1662	0,356
90	0,002	0,1596	0,360
91	0,002	0,1533	0,364
92	0,002	0,1470	0,368
93	0,002	0,1408	0,372
94	0,002	0,1348	0,376
95	0,002	0,1288	0,380
96	0,002	0,1228	0,384
97	0,002	0,1168	0,388
98	0,002	0,1109	0,392
99	0,001	0,1050	0,396
100	0,002	0,0992	0,400
101	0,002	0,0933	0,404
102	0,002	0,0875	0,408
103	0,002	0,0817	0,412
104	0,002	0,0759	0,416
105	0,001	0,0703	0,420
106	0,002	0,0646	0,424
107	0,002	0,0590	0,428
108	0,002	0,0535	0,432
109	0,002	0,0480	0,436
110	0,002	0,0427	0,440
111	0,002	0,0374	0,444
112	0,002	0,0321	0,448
113	0,002	0,0269	0,452
114	0,002	0,0218	0,456
115	0,002	0,0168	0,460
116	0,002	0,0117	0,464
117	0,002	0,0068	0,468
118	0,002	0,0018	0,472
119	0,002	-0,0032	0,476

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
120	0,002	-0,0082	0,480
121	0,001	-0,0131	0,484
122	0,001	-0,0181	0,488
123	0,002	-0,0230	0,492
124	0,002	-0,0280	0,496
125	0,002	-0,0329	0,500





ANEXO 8

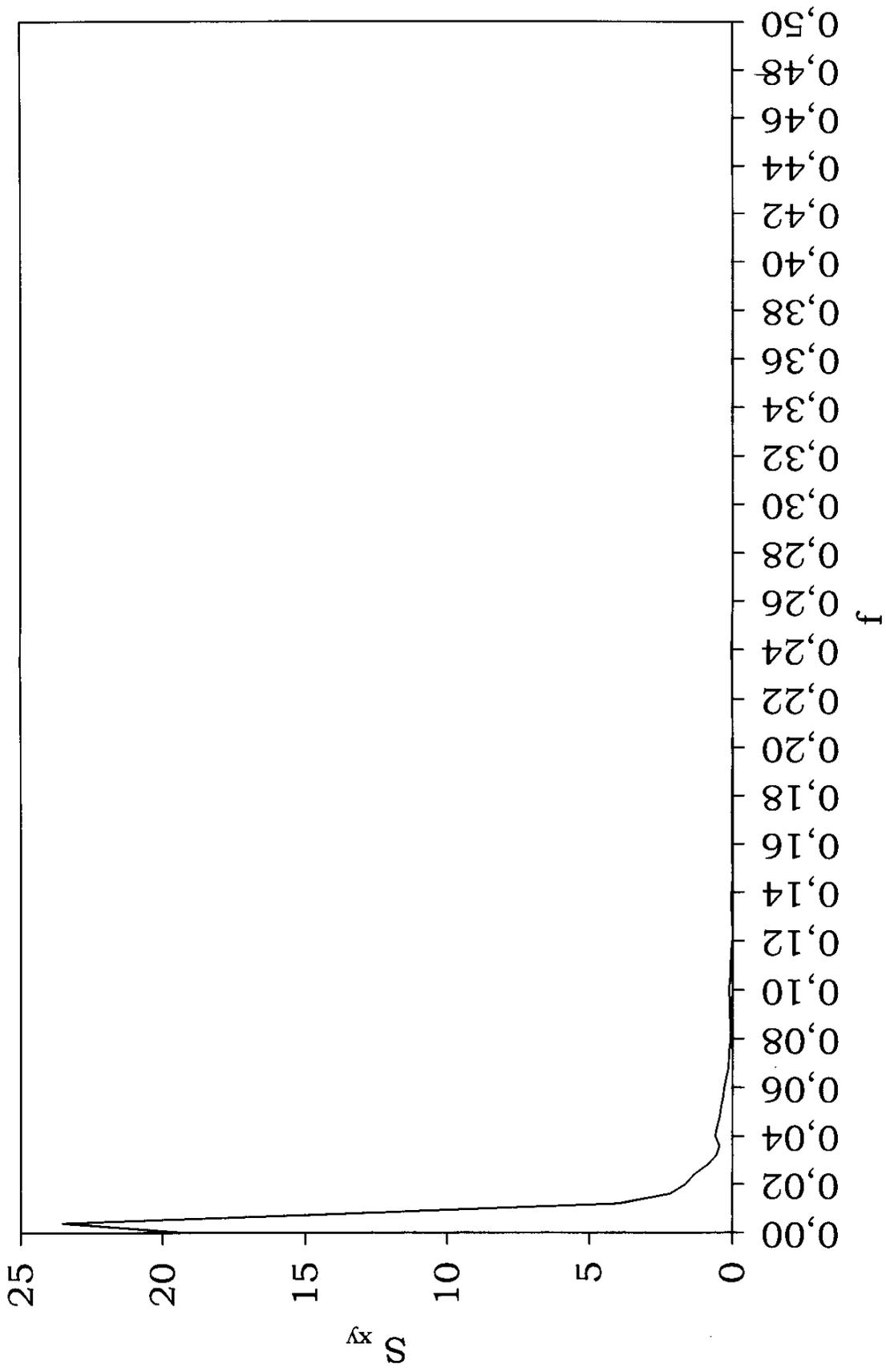
ACE cruzado entre las precipitaciones diarias de la estación de El Tempul y los caudales diarios en manantial de El Tempul

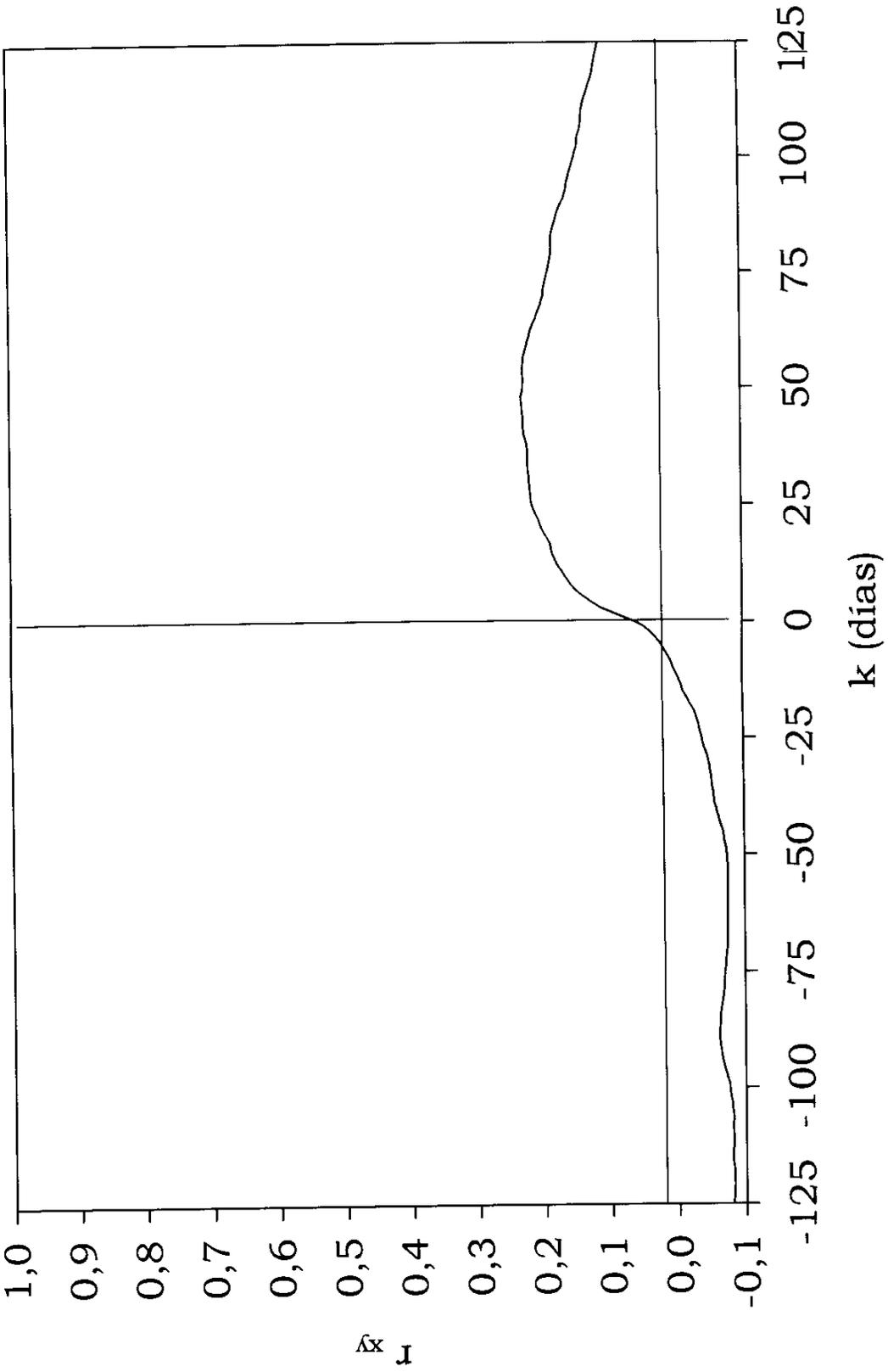
Ventana de 125 y paso de 1

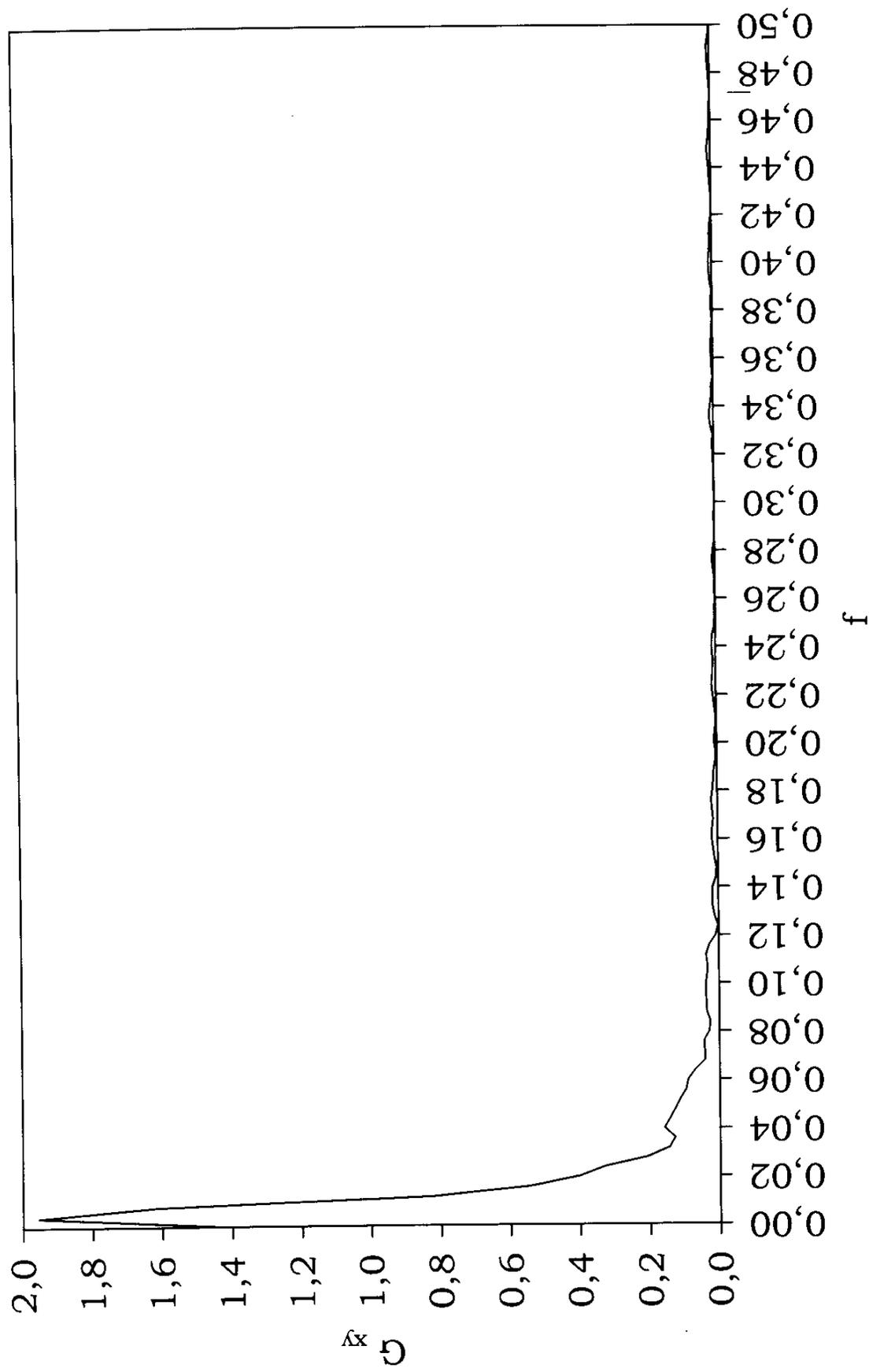
Días	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado	Ganancia	Coherencia	Frecuencia	
0	19,213	0,000	0,061	0,061	1,419	0,408	0,000
1	23,535	1,094	0,0772	0,048	1,955	0,637	0,004
2	13,156	1,527	0,0943	0,039	1,620	0,764	0,008
3	4,005	-1,363	0,1107	0,033	0,829	0,657	0,012
4	2,185	-1,312	0,1224	0,026	0,545	0,575	0,016
5	1,627	-1,298	0,133	0,021	0,402	0,560	0,020
6	1,335	-1,345	0,1424	0,017	0,330	0,575	0,024
7	0,867	-1,068	0,1505	0,013	0,209	0,501	0,028
8	0,567	-1,072	0,1567	0,009	0,145	0,414	0,032
9	0,459	-1,179	0,1611	0,006	0,129	0,413	0,036
10	0,596	-1,073	0,1661	0,004	0,160	0,552	0,040
11	0,533	-1,087	0,1704	0,000	0,144	0,558	0,044
12	0,448	-1,160	0,1757	-0,004	0,128	0,532	0,048
13	0,393	-1,032	0,179	-0,007	0,114	0,520	0,052
14	0,328	-0,780	0,1822	-0,009	0,097	0,503	0,056
15	0,285	-0,584	0,1847	-0,011	0,091	0,510	0,060
16	0,221	-0,659	0,1855	-0,015	0,070	0,434	0,064
17	0,141	-0,910	0,1877	-0,018	0,042	0,321	0,068
18	0,129	-1,144	0,1919	-0,022	0,043	0,362	0,072
19	0,110	-0,953	0,196	-0,026	0,044	0,392	0,076
20	0,063	-0,789	0,1998	-0,029	0,029	0,256	0,080
21	0,058	-0,718	0,2024	-0,031	0,026	0,242	0,084
22	0,083	-0,546	0,2047	-0,033	0,036	0,349	0,088
23	0,087	-0,636	0,2087	-0,034	0,037	0,369	0,092
24	0,102	-0,788	0,2118	-0,036	0,038	0,402	0,096
25	0,114	-0,645	0,2143	-0,038	0,038	0,443	0,100
26	0,094	-0,596	0,2157	-0,039	0,034	0,431	0,104
27	0,071	-0,691	0,2159	-0,041	0,034	0,439	0,108
28	0,069	-0,662	0,2171	-0,043	0,038	0,504	0,112
29	0,052	-0,492	0,2168	-0,046	0,027	0,379	0,116
30	0,020	-0,088	0,2186	-0,047	0,010	0,134	0,120
31	0,004	-0,944	0,218	-0,049	0,002	0,029	0,124
32	0,023	-0,756	0,2198	-0,050	0,012	0,187	0,128
33	0,038	-0,126	0,2199	-0,051	0,017	0,287	0,132
34	0,044	0,228	0,22	-0,052	0,017	0,289	0,136
35	0,040	0,541	0,2203	-0,052	0,016	0,259	0,140
36	0,015	1,041	0,2201	-0,054	0,007	0,097	0,144
37	0,008	0,785	0,2205	-0,055	0,005	0,063	0,148
38	0,015	-1,373	0,221	-0,055	0,010	0,161	0,152
39	0,021	-1,033	0,223	-0,056	0,013	0,229	0,156
40	0,030	-0,744	0,2255	-0,058	0,017	0,285	0,160
41	0,032	-0,767	0,2261	-0,060	0,016	0,297	0,164
42	0,029	-1,036	0,227	-0,062	0,013	0,250	0,168
43	0,036	-1,024	0,2265	-0,063	0,015	0,295	0,172
44	0,036	-0,856	0,2268	-0,066	0,018	0,356	0,176
45	0,028	-0,647	0,228	-0,068	0,014	0,316	0,180
46	0,028	-0,159	0,2282	-0,069	0,011	0,270	0,184
47	0,024	0,475	0,2292	-0,070	0,010	0,239	0,188
48	0,010	1,142	0,2294	-0,072	0,006	0,124	0,192
49	0,005	0,554	0,2275	-0,073	0,003	0,067	0,196
50	0,009	0,454	0,2267	-0,073	0,008	0,142	0,200
51	0,006	0,588	0,2267	-0,074	0,006	0,109	0,204
52	0,002	-0,580	0,2263	-0,075	0,002	0,031	0,208
53	0,004	-0,756	0,227	-0,075	0,003	0,075	0,212
54	0,010	0,022	0,2266	-0,075	0,006	0,156	0,216
55	0,014	0,170	0,2267	-0,075	0,010	0,218	0,220
56	0,013	-0,130	0,2258	-0,075	0,012	0,222	0,224
57	0,011	-0,130	0,2249	-0,075	0,010	0,188	0,228
58	0,013	0,388	0,2228	-0,075	0,008	0,198	0,232
59	0,016	0,774	0,2206	-0,074	0,009	0,237	0,236
60	0,019	0,868	0,2187	-0,074	0,011	0,270	0,240

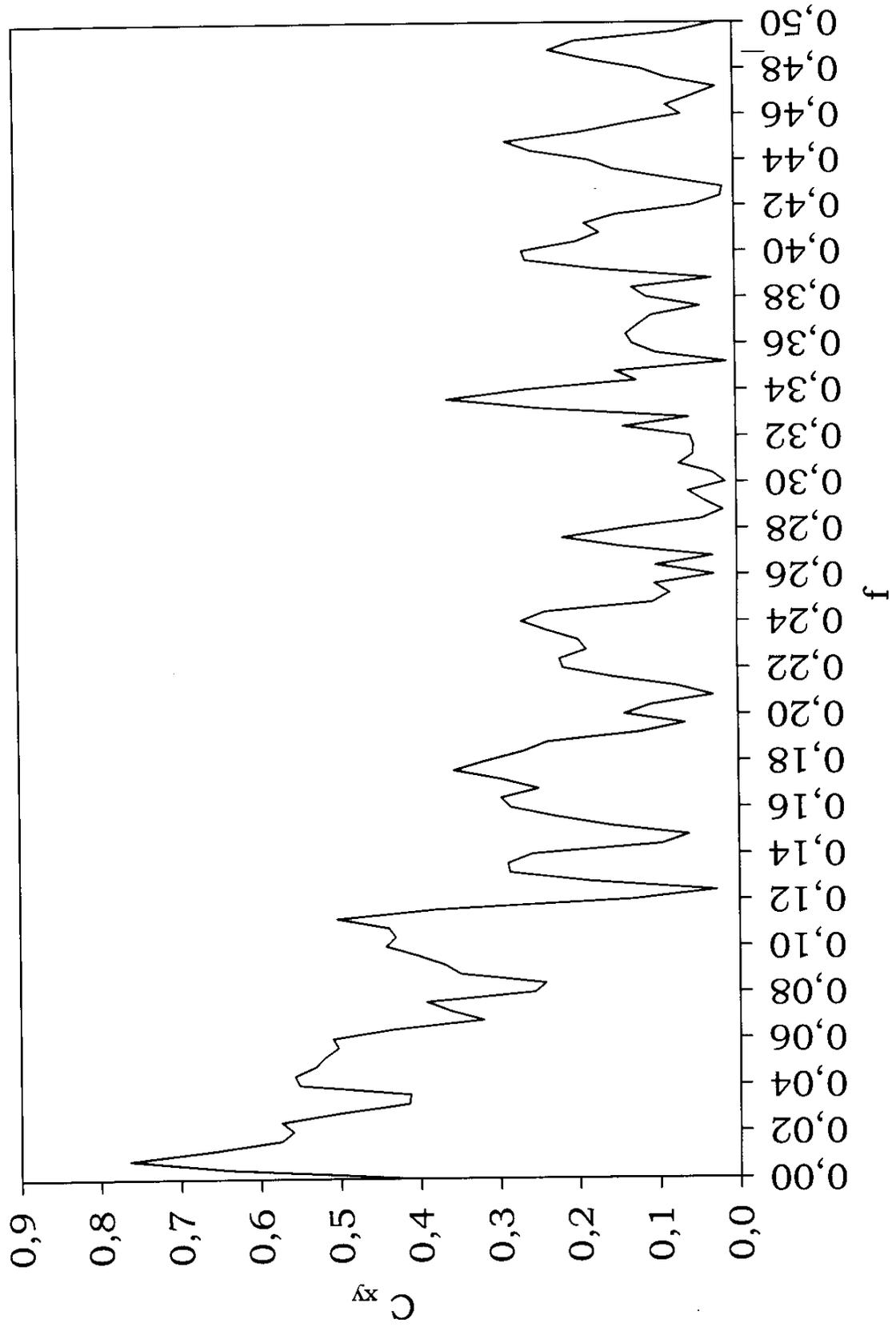
Días	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado	Ganancia	Coherencia	Frecuencia	
61	0,017	0,632	0,2167	-0,074	0,010	0,240	0,244
62	0,007	0,183	0,2153	-0,074	0,004	0,106	0,248
63	0,005	1,301	0,2129	-0,075	0,003	0,084	0,252
64	0,006	0,835	0,2099	-0,074	0,004	0,103	0,256
65	0,002	0,990	0,2067	-0,074	0,001	0,029	0,260
66	0,005	0,727	0,2043	-0,074	0,004	0,102	0,264
67	0,002	-0,491	0,2016	-0,074	0,001	0,030	0,268
68	0,008	1,358	0,1988	-0,074	0,005	0,142	0,272
69	0,011	0,967	0,1971	-0,074	0,008	0,218	0,276
70	0,007	0,802	0,1945	-0,073	0,005	0,140	0,280
71	0,002	1,302	0,1946	-0,073	0,002	0,044	0,284
72	0,001	-1,194	0,1932	-0,072	0,001	0,017	0,288
73	0,002	1,054	0,1917	-0,071	0,002	0,040	0,292
74	0,003	0,504	0,19	-0,070	0,002	0,061	0,296
75	0,001	-1,176	0,1883	-0,069	0,000	0,014	0,300
76	0,002	-0,919	0,1864	-0,069	0,001	0,029	0,304
77	0,004	-0,574	0,1852	-0,069	0,002	0,072	0,308
78	0,003	-1,042	0,1838	-0,068	0,002	0,054	0,312
79	0,003	-1,186	0,1827	-0,068	0,002	0,053	0,316
80	0,003	0,815	0,1821	-0,067	0,002	0,057	0,320
81	0,006	0,143	0,1819	-0,066	0,005	0,140	0,324
82	0,002	-0,712	0,1824	-0,065	0,002	0,058	0,328
83	0,010	0,429	0,1818	-0,064	0,009	0,247	0,332
84	0,016	0,430	0,1804	-0,063	0,012	0,361	0,336
85	0,012	0,493	0,1784	-0,062	0,010	0,264	0,340
86	0,005	-0,496	0,1759	-0,062	0,005	0,124	0,344
87	0,006	-1,470	0,1742	-0,061	0,006	0,150	0,348
88	0,001	0,891	0,1724	-0,061	0,000	0,011	0,352
89	0,004	-1,267	0,1694	-0,061	0,004	0,099	0,356
90	0,005	-0,651	0,1665	-0,062	0,005	0,129	0,360
91	0,006	-0,434	0,1628	-0,062	0,006	0,136	0,364
92	0,006	-0,119	0,1606	-0,063	0,005	0,121	0,368
93	0,006	0,802	0,1588	-0,064	0,003	0,105	0,372
94	0,002	-1,491	0,1579	-0,065	0,002	0,044	0,376
95	0,005	-1,481	0,1563	-0,067	0,004	0,110	0,380
96	0,006	-1,265	0,1543	-0,069	0,005	0,129	0,384
97	0,001	-0,554	0,1524	-0,071	0,001	0,029	0,388
98	0,007	-0,634	0,1501	-0,073	0,007	0,169	0,392
99	0,010	-0,272	0,1483	-0,075	0,009	0,261	0,396
100	0,011	0,069	0,1458	-0,076	0,010	0,266	0,400
101	0,010	0,701	0,1442	-0,076	0,008	0,197	0,404
102	0,008	-1,481	0,1422	-0,077	0,006	0,168	0,408
103	0,008	-0,674	0,1414	-0,079	0,008	0,187	0,412
104	0,006	-0,203	0,1411	-0,079	0,006	0,147	0,416
105	0,002	0,788	0,1392	-0,080	0,002	0,052	0,420
106	0,001	-0,654	0,1371	-0,081	0,001	0,017	0,424
107	0,001	-0,064	0,1359	-0,081	0,001	0,014	0,428
108	0,004	0,035	0,1349	-0,080	0,003	0,084	0,432
109	0,007	0,965	0,1349	-0,081	0,005	0,151	0,436
110	0,009	-1,222	0,1345	-0,081	0,006	0,181	0,440
111	0,011	-0,377	0,133	-0,081	0,009	0,253	0,444
112	0,011	-0,134	0,1314	-0,081	0,011	0,285	0,448
113	0,008	-0,319	0,1294	-0,081	0,007	0,192	0,452
114	0,006	-0,538	0,1266	-0,080	0,005	0,134	0,456
115	0,003	0,529	0,1243	-0,080	0,003	0,066	0,460
116	0,004	-1,230	0,1225	-0,080	0,004	0,084	0,464
117	0,002	-0,235	0,12	-0,081	0,002	0,051	0,468
118	0,001	-1,219	0,1175	-0,082	0,001	0,022	0,472
119	0,004	-1,085	0,1164	-0,082	0,003	0,083	0,476
120	0,005	-0,825	0,1154	-0,082	0,004	0,115	0,480
121	0,007	0,395	0,1139	-0,082	0,007	0,178	0,484

Días	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado	Ganancia	Coherencia	Frecuencia	
122	0,008	1,063	0,1125	-0,082	0,008	0,230	0,488
123	0,007	-1,558	0,1106	-0,081	0,008	0,197	0,492
124	0,003	-1,306	0,1093	-0,081	0,003	0,073	0,496
125	0,001	0,000	0,1076	-0,080	0,001	0,021	0,500









ANEXO 9

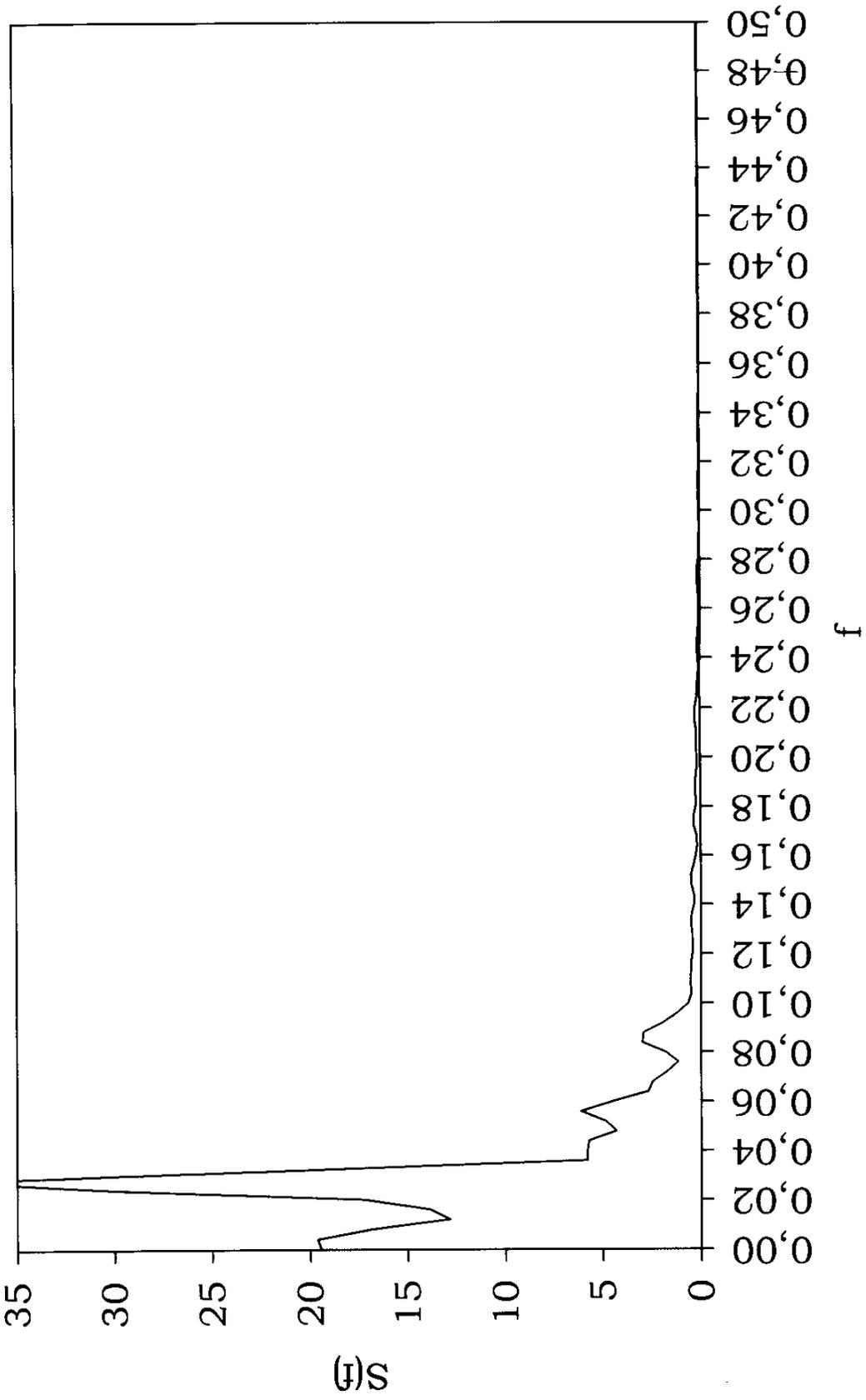
ACE simple de los caudales diarios en el manantial de El Tempul

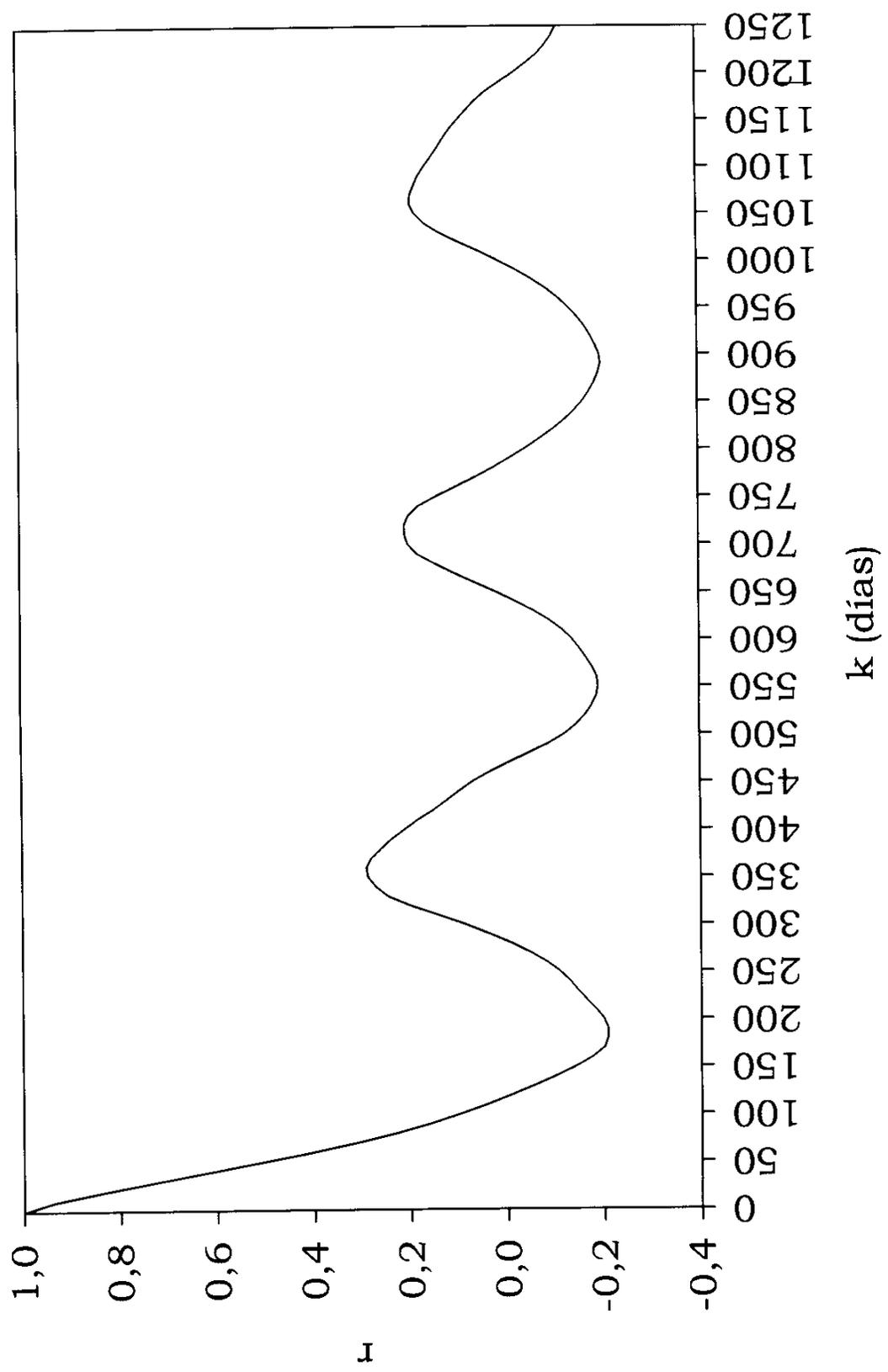
Ventana de 1250 y paso de 10

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
0	19,440	1,0000	0,000
10	19,627	0,9367	0,004
20	16,848	0,8369	0,008
30	12,835	0,7272	0,012
40	13,865	0,6199	0,016
50	17,203	0,5132	0,020
60	30,000	0,4084	0,024
70	38,171	0,3127	0,028
80	20,638	0,2300	0,032
90	5,801	0,1590	0,036
100	5,800	0,0986	0,040
110	5,722	0,0423	0,044
120	4,322	-0,0085	0,048
130	4,870	-0,0571	0,052
140	6,145	-0,1009	0,056
150	4,513	-0,1419	0,060
160	2,692	-0,1776	0,064
170	2,472	-0,2015	0,068
180	1,748	-0,2086	0,072
190	1,172	-0,2081	0,076
200	1,832	-0,1999	0,080
210	2,994	-0,1834	0,084
220	2,937	-0,1642	0,088
230	1,948	-0,1459	0,092
240	1,222	-0,1293	0,096
250	0,650	-0,1086	0,100
260	0,484	-0,0818	0,104
270	0,534	-0,0482	0,108
280	0,529	-0,0091	0,112
290	0,505	0,0363	0,116
300	0,442	0,0861	0,120
310	0,423	0,1406	0,124
320	0,441	0,1984	0,128
330	0,493	0,2444	0,132
340	0,467	0,2704	0,136
350	0,347	0,2864	0,140
360	0,357	0,2904	0,144
370	0,491	0,2805	0,148
380	0,516	0,2596	0,152
390	0,373	0,2382	0,156
400	0,249	0,2116	0,160
410	0,184	0,1844	0,164
420	0,205	0,1527	0,168
430	0,345	0,1246	0,172
440	0,363	0,0985	0,176
450	0,252	0,0709	0,180
460	0,239	0,0356	0,184
470	0,283	-0,0048	0,188
480	0,245	-0,0470	0,192
490	0,178	-0,0884	0,196
500	0,183	-0,1217	0,200
510	0,204	-0,1460	0,204
520	0,193	-0,1652	0,208
530	0,221	-0,1789	0,212
540	0,275	-0,1887	0,216
550	0,250	-0,1925	0,220
560	0,170	-0,1899	0,224
570	0,132	-0,1799	0,228
580	0,091	-0,1669	0,232
590	0,051	-0,1531	0,236

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
600	0,092	-0,1376	0,240
610	0,148	-0,1173	0,244
620	0,126	-0,0912	0,248
630	0,084	-0,0591	0,252
640	0,078	-0,0217	0,256
650	0,075	0,0189	0,260
660	0,070	0,0629	0,264
670	0,105	0,1047	0,268
680	0,157	0,1438	0,272
690	0,138	0,1801	0,276
700	0,082	0,1993	0,280
710	0,060	0,2057	0,284
720	0,047	0,2065	0,288
730	0,031	0,1984	0,292
740	0,034	0,1775	0,296
750	0,055	0,1413	0,300
760	0,065	0,1014	0,304
770	0,064	0,0619	0,308
780	0,065	0,0246	0,312
790	0,059	-0,0096	0,316
800	0,038	-0,0422	0,320
810	0,028	-0,0719	0,324
820	0,057	-0,0993	0,328
830	0,080	-0,1245	0,332
840	0,072	-0,1451	0,336
850	0,057	-0,1623	0,340
860	0,044	-0,1761	0,344
870	0,033	-0,1874	0,348
880	0,025	-0,1958	0,352
890	0,029	-0,2008	0,356
900	0,041	-0,1982	0,360
910	0,045	-0,1901	0,364
920	0,038	-0,1798	0,368
930	0,042	-0,1675	0,372
940	0,053	-0,1521	0,376
950	0,046	-0,1342	0,380
960	0,038	-0,1130	0,384
970	0,049	-0,0879	0,388
980	0,060	-0,0589	0,392
990	0,050	-0,0255	0,396
1000	0,042	0,0111	0,400
1010	0,048	0,0506	0,404
1020	0,044	0,0919	0,408
1030	0,037	0,1308	0,412
1040	0,041	0,1611	0,416
1050	0,041	0,1808	0,420
1060	0,031	0,1903	0,424
1070	0,033	0,1889	0,428
1080	0,051	0,1810	0,432
1090	0,055	0,1731	0,436
1100	0,045	0,1604	0,440
1110	0,033	0,1462	0,444
1120	0,025	0,1331	0,448
1130	0,025	0,1206	0,452
1140	0,032	0,1070	0,456
1150	0,038	0,0904	0,460
1160	0,036	0,0729	0,464
1170	0,029	0,0550	0,468
1180	0,024	0,0337	0,472
1190	0,027	0,0043	0,476

Días	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
1200	0,035	-0,0245	0,480
1210	0,052	-0,0502	0,484
1220	0,062	-0,0738	0,488
1230	0,053	-0,0913	0,492
1240	0,037	-0,1047	0,496
1250	0,031	-0,1138	0,500





ANEXO 10

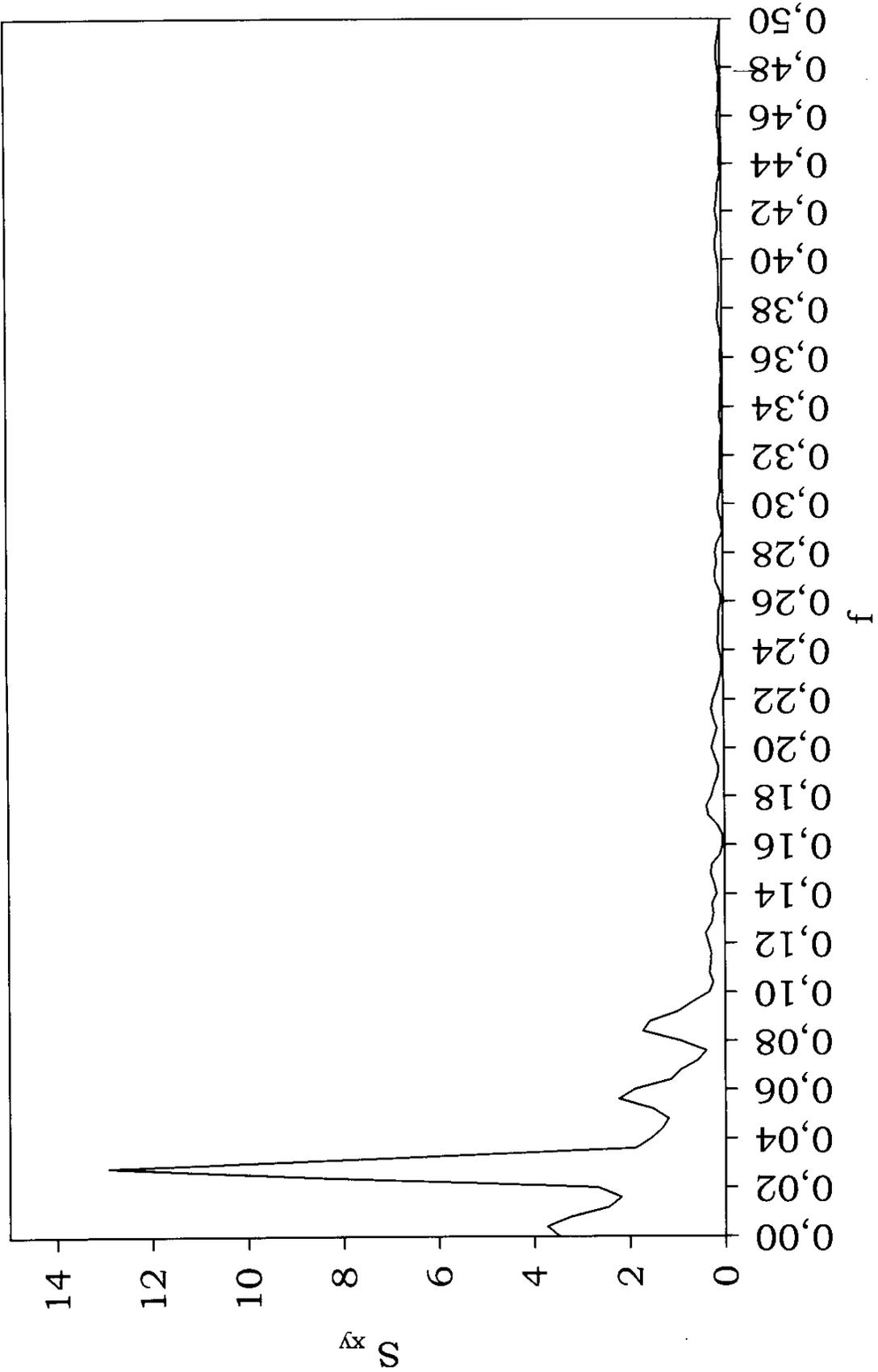
ACE cruzado entre las precipitaciones diarias de la estación de Gibraltar y los caudales diarios en el manantial de El Tempul

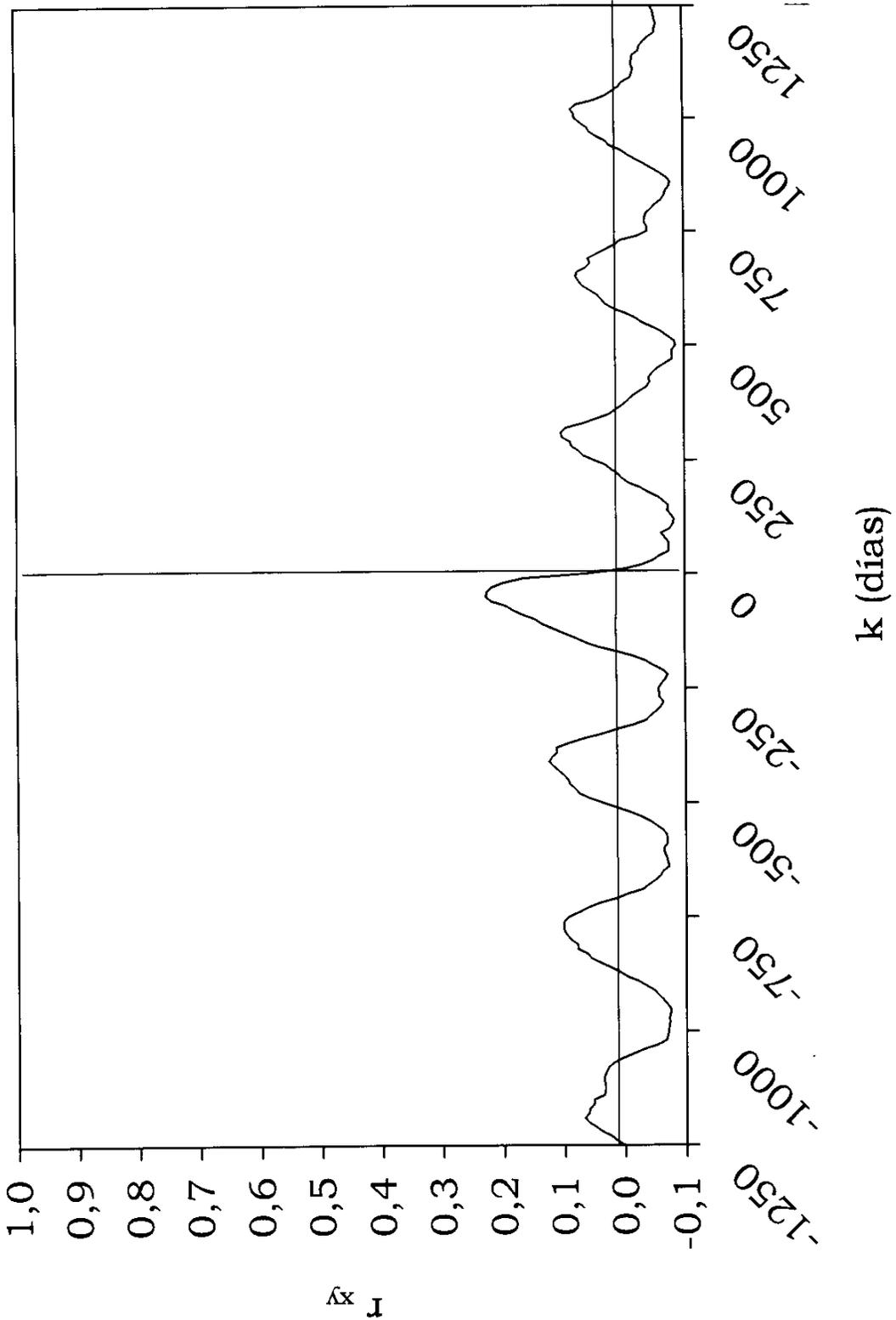
Ventana de 1250 y paso de 10

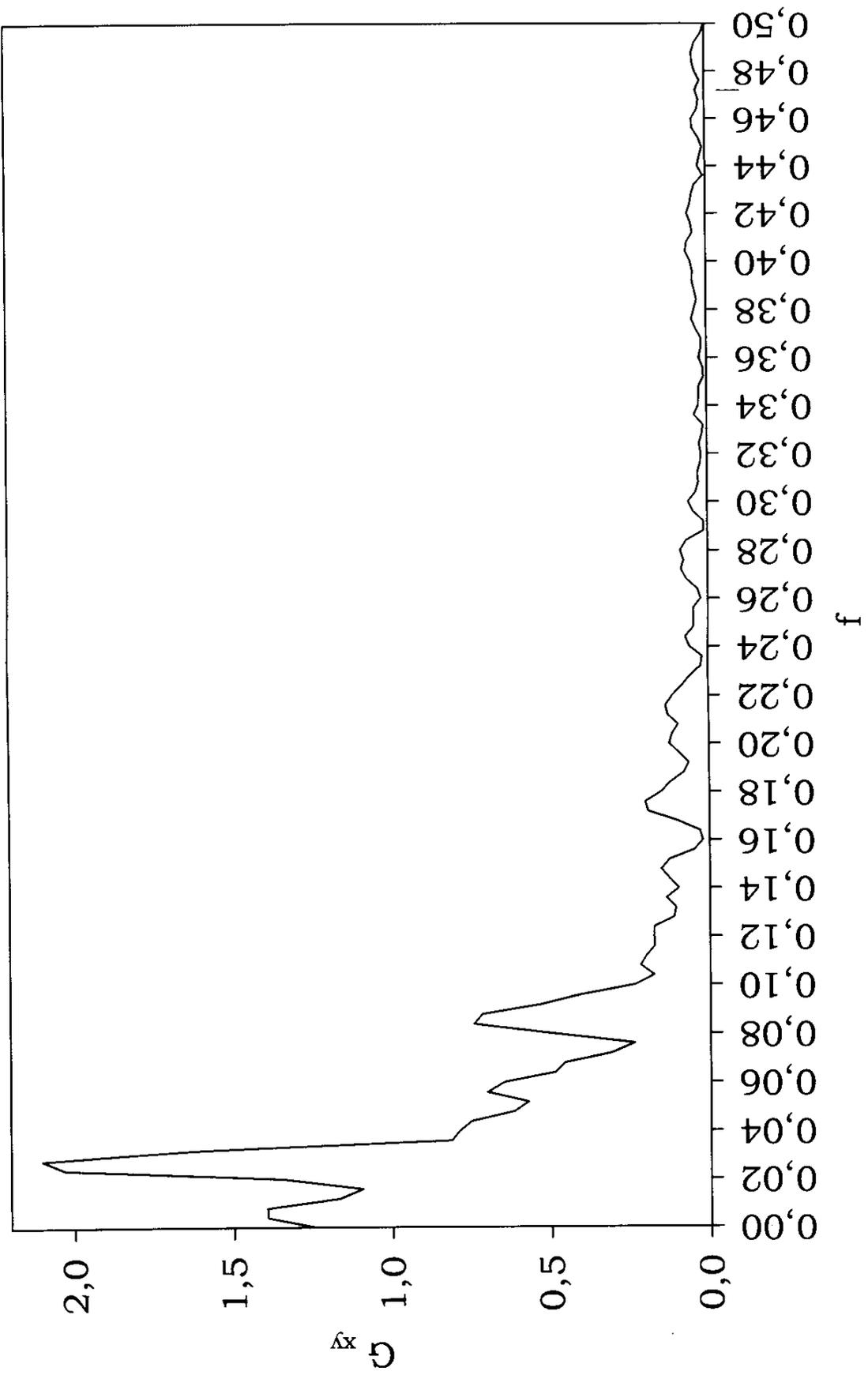
Días	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado		Ganancia	Coherencia	Frecuencia
0	3,476	0,000	0,061	0,061	1,242	0,471	0,000
10	3,733	0,510	0,1661	0,004	1,393	0,515	0,004
20	3,232	0,689	0,1998	-0,029	1,396	0,517	0,008
30	2,445	0,798	0,2186	-0,047	1,168	0,472	0,012
40	2,175	0,955	0,2255	-0,058	1,094	0,414	0,016
50	2,670	0,913	0,2267	-0,073	1,345	0,457	0,020
60	8,430	1,058	0,2187	-0,074	2,032	0,756	0,024
70	12,918	1,168	0,1945	-0,073	2,102	0,844	0,028
80	7,094	1,302	0,1821	-0,067	1,638	0,750	0,032
90	1,884	-1,406	0,1665	-0,062	0,814	0,514	0,036
100	1,554	-1,390	0,1458	-0,076	0,789	0,460	0,040
110	1,322	-1,425	0,1345	-0,081	0,752	0,417	0,044
120	1,191	1,504	0,1154	-0,082	0,617	0,412	0,048
130	1,515	-1,430	0,0983	-0,078	0,572	0,422	0,052
140	2,230	-1,165	0,0791	-0,072	0,701	0,504	0,056
150	1,896	-1,261	0,0618	-0,074	0,647	0,521	0,060
160	1,142	1,528	0,0402	-0,065	0,487	0,455	0,064
170	0,935	1,399	0,0113	-0,057	0,457	0,416	0,068
180	0,580	1,443	-0,0153	-0,041	0,312	0,322	0,072
190	0,402	1,380	-0,0357	-0,027	0,238	0,286	0,076
200	0,941	1,512	-0,0479	-0,009	0,497	0,505	0,080
210	1,723	-1,528	-0,0636	0,002	0,743	0,654	0,084
220	1,578	-1,399	-0,0711	0,009	0,715	0,620	0,088
230	0,996	-1,196	-0,0673	0,020	0,529	0,520	0,092
240	0,685	-1,259	-0,061	0,030	0,406	0,477	0,096
250	0,333	-1,520	-0,0559	0,049	0,236	0,348	0,100
260	0,251	1,570	-0,057	0,066	0,177	0,303	0,104
270	0,328	-1,415	-0,0578	0,074	0,218	0,367	0,108
280	0,300	-1,196	-0,0642	0,085	0,200	0,337	0,112
290	0,288	-0,981	-0,0597	0,088	0,174	0,315	0,116
300	0,344	-1,312	-0,0526	0,101	0,176	0,370	0,120
310	0,406	1,502	-0,0431	0,103	0,176	0,411	0,124
320	0,277	1,407	-0,0355	0,095	0,112	0,265	0,128
330	0,237	-1,436	-0,0151	0,066	0,107	0,226	0,132
340	0,266	-1,325	0,0124	0,046	0,137	0,279	0,136
350	0,174	-1,073	0,0357	0,023	0,099	0,222	0,140
360	0,216	-0,708	0,0669	0,013	0,126	0,276	0,144
370	0,292	-1,023	0,0918	0,001	0,153	0,301	0,148
380	0,274	-1,509	0,1127	-0,008	0,127	0,259	0,152
390	0,102	1,188	0,111	-0,015	0,048	0,115	0,156
400	0,039	1,168	0,1197	-0,027	0,022	0,058	0,160
410	0,046	-1,021	0,1246	-0,039	0,030	0,088	0,164
420	0,149	-0,833	0,1173	-0,044	0,102	0,272	0,168
430	0,338	-0,562	0,1091	-0,042	0,192	0,434	0,172
440	0,382	-0,632	0,1003	-0,048	0,202	0,460	0,176
450	0,272	-0,960	0,0932	-0,056	0,152	0,405	0,180
460	0,219	-1,408	0,0901	-0,068	0,123	0,335	0,184
470	0,141	1,542	0,0815	-0,080	0,081	0,201	0,188
480	0,119	1,496	0,0747	-0,081	0,064	0,176	0,192
490	0,194	-1,538	0,0587	-0,080	0,094	0,320	0,196
500	0,261	-1,551	0,0368	-0,086	0,125	0,422	0,200
510	0,207	1,542	0,0155	-0,084	0,116	0,344	0,204
520	0,146	-1,224	-0,0065	-0,073	0,096	0,270	0,208
530	0,218	-1,191	-0,0253	-0,063	0,128	0,356	0,212
540	0,263	-1,396	-0,0412	-0,048	0,135	0,360	0,216
550	0,222	-1,463	-0,0519	-0,031	0,114	0,318	0,220
560	0,140	-1,500	-0,062	-0,021	0,084	0,263	0,224
570	0,084	-1,516	-0,068	-0,005	0,058	0,192	0,228
580	0,035	-1,356	-0,0698	0,016	0,023	0,095	0,232
590	0,029	-0,655	-0,07	0,029	0,019	0,104	0,236
600	0,088	-1,274	-0,0636	0,035	0,057	0,235	0,240

Días	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado	Ganancia	Coherencia	Frecuencia	
610	0,118	-1,538	-0,0646	0,042	0,072	0,239	0,244
620	0,091	-1,435	-0,0683	0,054	0,046	0,183	0,248
630	0,105	-0,971	-0,0704	0,067	0,046	0,240	0,252
640	0,098	-0,902	-0,0722	0,072	0,047	0,243	0,256
650	0,045	-0,990	-0,0629	0,077	0,023	0,119	0,260
660	0,073	-0,705	-0,0581	0,075	0,033	0,185	0,264
670	0,163	-1,073	-0,0492	0,060	0,067	0,324	0,268
680	0,176	-1,208	-0,039	0,053	0,084	0,306	0,272
690	0,134	-0,660	-0,029	0,057	0,076	0,271	0,276
700	0,169	-0,424	-0,0039	0,042	0,086	0,420	0,280
710	0,128	-0,605	0,0152	0,028	0,067	0,376	0,284
720	0,022	-0,636	0,0434	0,013	0,014	0,080	0,288
730	0,022	0,507	0,0612	0,004	0,013	0,096	0,292
740	0,086	-0,738	0,0768	-0,025	0,045	0,339	0,296
750	0,110	-1,085	0,0934	-0,041	0,060	0,345	0,300
760	0,068	-1,085	0,1007	-0,041	0,037	0,196	0,304
770	0,058	-0,514	0,1013	-0,036	0,028	0,158	0,308
780	0,070	-0,087	0,1001	-0,037	0,031	0,182	0,312
790	0,052	-0,217	0,0953	-0,039	0,021	0,138	0,316
800	0,048	-0,708	0,0885	-0,047	0,019	0,154	0,320
810	0,052	-0,580	0,0776	-0,054	0,025	0,215	0,324
820	0,029	-1,111	0,078	-0,064	0,016	0,092	0,328
830	0,021	-0,381	0,0622	-0,069	0,012	0,056	0,332
840	0,069	-0,071	0,0555	-0,071	0,040	0,197	0,336
850	0,048	-0,708	0,0407	-0,076	0,027	0,151	0,340
860	0,048	1,296	0,0235	-0,078	0,025	0,167	0,344
870	0,048	0,979	0,0084	-0,072	0,025	0,188	0,348
880	0,019	0,450	-0,0036	-0,061	0,010	0,086	0,352
890	0,024	-0,347	-0,0215	-0,049	0,012	0,102	0,356
900	0,041	-0,148	-0,0348	-0,035	0,024	0,154	0,360
910	0,028	0,195	-0,0471	-0,021	0,017	0,103	0,364
920	0,028	-0,626	-0,0544	-0,008	0,017	0,110	0,368
930	0,063	-0,592	-0,0619	0,003	0,033	0,224	0,372
940	0,101	-0,615	-0,0681	0,021	0,046	0,295	0,376
950	0,084	-0,616	-0,0735	0,027	0,039	0,266	0,380
960	0,061	-0,323	-0,0739	0,042	0,030	0,219	0,384
970	0,067	-0,543	-0,0721	0,054	0,037	0,224	0,388
980	0,068	-0,696	-0,0728	0,058	0,044	0,224	0,392
990	0,065	-0,445	-0,0711	0,069	0,042	0,234	0,396
1000	0,091	-0,530	-0,0705	0,078	0,049	0,325	0,400
1010	0,134	-0,492	-0,0692	0,079	0,064	0,421	0,404
1020	0,129	-0,162	-0,0669	0,085	0,060	0,421	0,408
1030	0,086	-0,084	-0,0526	0,076	0,041	0,311	0,412
1040	0,092	-0,740	-0,0302	0,046	0,048	0,327	0,416
1050	0,128	-0,741	-0,0119	0,028	0,059	0,425	0,420
1060	0,107	-0,560	0,0052	0,017	0,049	0,416	0,424
1070	0,085	-0,583	0,02	0,005	0,044	0,333	0,428
1080	0,071	-0,729	0,0284	0,000	0,035	0,221	0,432
1090	0,016	-0,136	0,0319	-0,014	0,009	0,050	0,436
1100	0,042	-1,437	0,0349	-0,018	0,025	0,153	0,440
1110	0,031	-1,511	0,0351	-0,019	0,018	0,130	0,444
1120	0,019	0,506	0,0332	-0,016	0,010	0,085	0,448
1130	0,038	-0,306	0,0332	-0,017	0,021	0,180	0,452
1140	0,071	-0,461	0,0355	-0,019	0,040	0,297	0,456
1150	0,078	-0,531	0,0522	-0,028	0,042	0,292	0,460
1160	0,043	-0,587	0,0523	-0,030	0,024	0,168	0,464
1170	0,032	0,765	0,0594	-0,036	0,020	0,149	0,468
1180	0,043	0,973	0,0604	-0,043	0,029	0,229	0,472
1190	0,022	0,124	0,0673	-0,054	0,016	0,114	0,476
1200	0,054	-0,091	0,0608	-0,055	0,031	0,217	0,480
1210	0,087	-0,082	0,0491	-0,057	0,039	0,256	0,484

Días	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado		Ganancia	Coherencia	Frecuencia
1220	0,085	-0,644	0,0389	-0,055	0,040	0,233	0,488
1230	0,057	-0,792	0,0238	-0,053	0,031	0,184	0,492
1240	0,019	0,369	0,0148	-0,052	0,011	0,075	0,496
1250	0,001	0,000	0,0024	-0,047	0,001	0,005	0,500







ANEXO 11

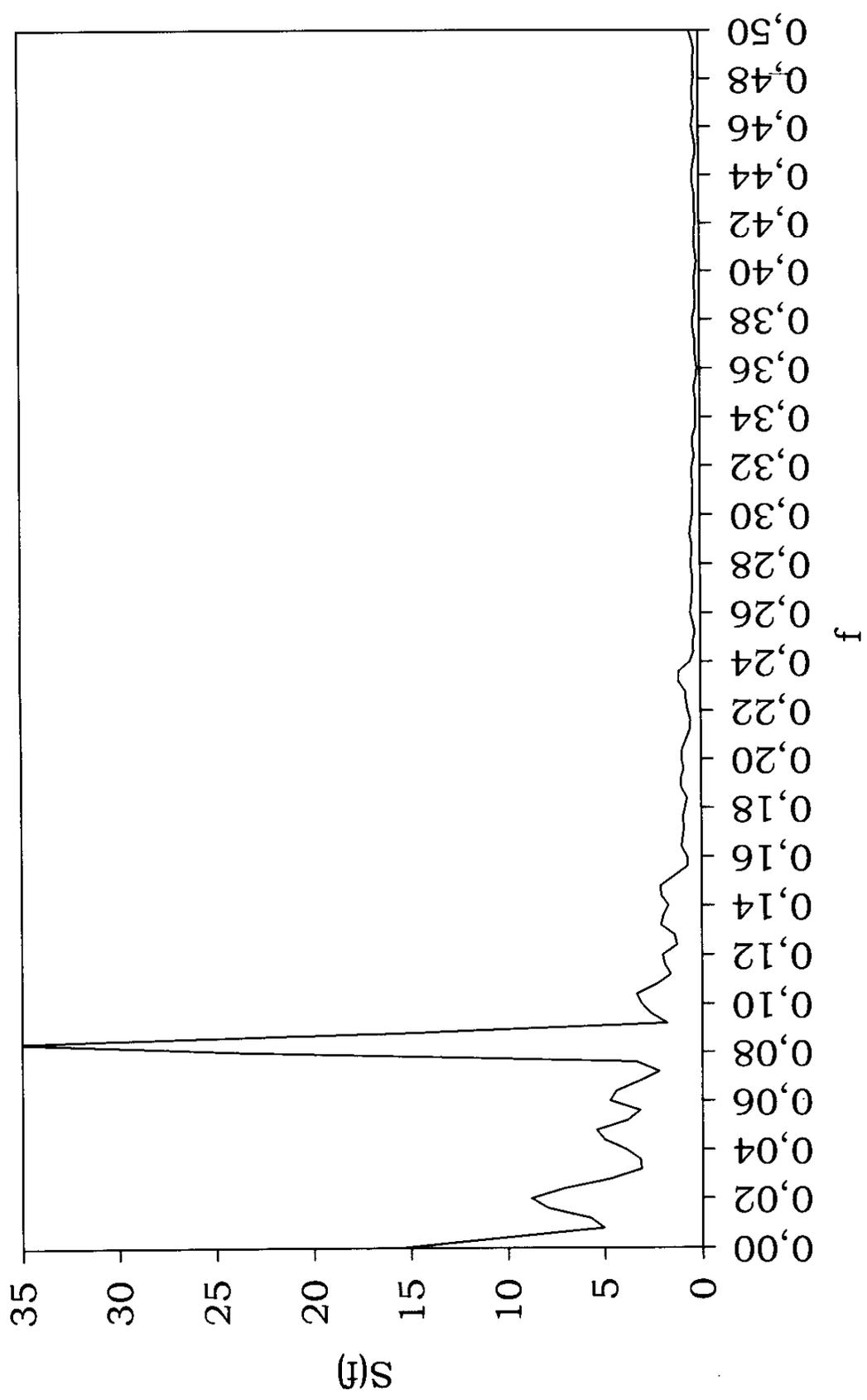
**ACE simple de los caudales medios mensuales en el manantial de El
Tempul**

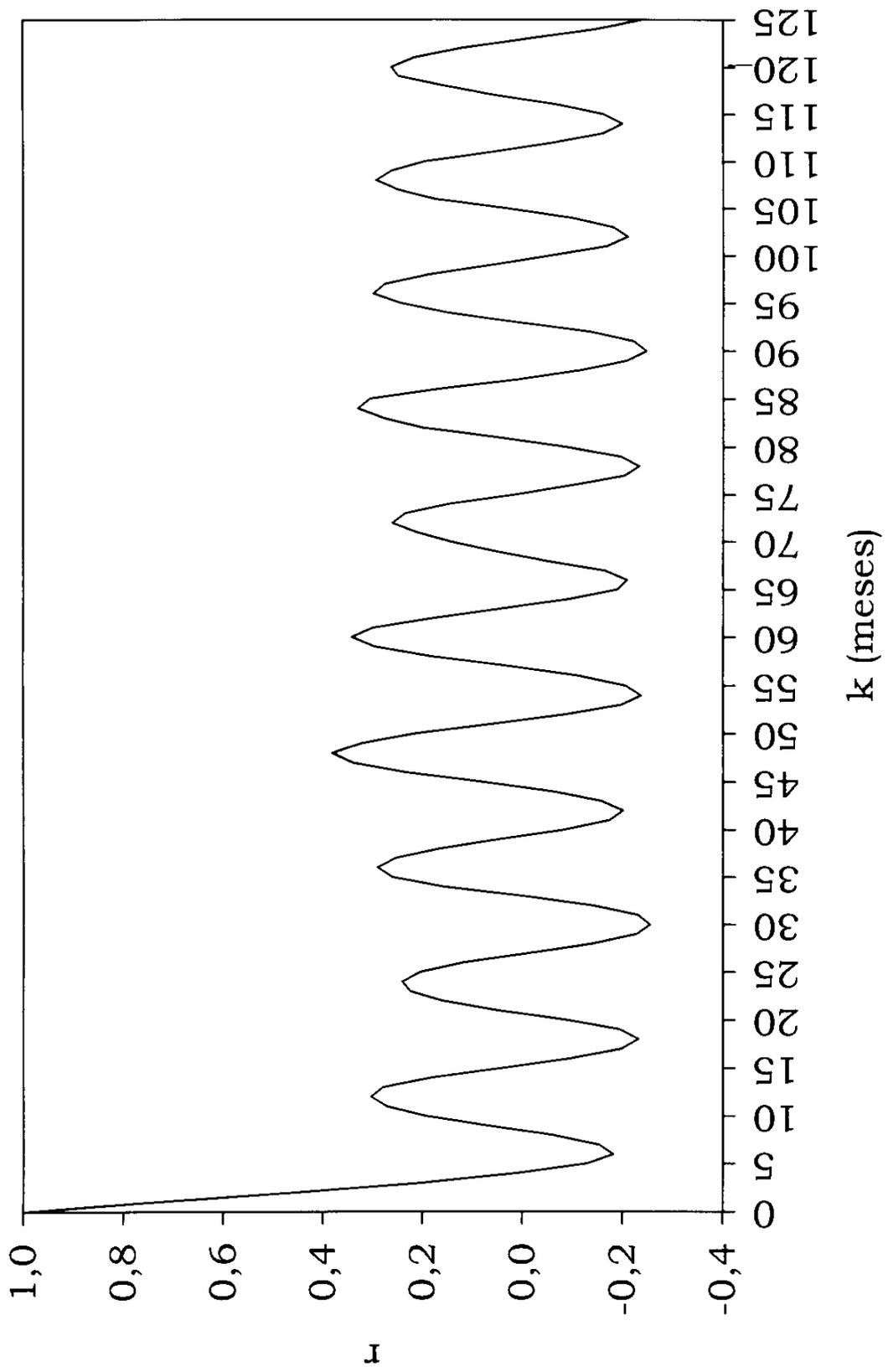
Ventana de 125 y paso de 1

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
0	15,633	1,0000	0,000
1	10,416	0,7348	0,004
2	5,044	0,4546	0,008
3	5,763	0,2001	0,012
4	7,930	0,0114	0,016
5	8,810	-0,1291	0,020
6	7,133	-0,1809	0,024
7	4,681	-0,1528	0,028
8	3,123	-0,0603	0,032
9	3,192	0,0709	0,036
10	3,922	0,1946	0,040
11	5,019	0,2722	0,044
12	5,438	0,3035	0,048
13	3,848	0,2801	0,052
14	3,201	0,1808	0,056
15	4,741	0,0395	0,060
16	4,418	-0,0947	0,064
17	3,251	-0,1970	0,068
18	2,220	-0,2310	0,072
19	3,386	-0,1940	0,076
20	23,382	-0,0888	0,080
21	35,654	0,0518	0,084
22	15,490	0,1629	0,088
23	1,801	0,2249	0,092
24	2,634	0,2410	0,096
25	3,107	0,2051	0,100
26	3,360	0,1192	0,104
27	2,333	-0,0131	0,108
28	1,603	-0,1409	0,112
29	1,913	-0,2275	0,116
30	2,021	-0,2537	0,120
31	1,291	-0,2294	0,124
32	1,402	-0,1398	0,128
33	2,110	-0,0029	0,132
34	1,985	0,1615	0,136
35	1,720	0,2612	0,140
36	2,080	0,2908	0,144
37	2,125	0,2553	0,148
38	1,425	0,1673	0,152
39	0,736	0,0450	0,156
40	0,758	-0,0822	0,160
41	1,031	-0,1731	0,164
42	0,975	-0,2000	0,168
43	0,894	-0,1566	0,172
44	0,976	-0,0623	0,176
45	0,847	0,0809	0,180
46	0,741	0,2352	0,184
47	1,034	0,3403	0,188
48	1,057	0,3828	0,192
49	0,901	0,3228	0,196
50	1,021	0,2158	0,200
51	0,987	0,0638	0,204
52	0,778	-0,0850	0,208
53	0,591	-0,1972	0,212
54	0,538	-0,2360	0,216
55	0,681	-0,2066	0,220
56	0,748	-0,1109	0,224
57	0,794	0,0305	0,228
58	1,141	0,1821	0,232
59	1,128	0,2961	0,236

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
60	0,549	0,3427	0,240
61	0,358	0,3000	0,244
62	0,407	0,1792	0,248
63	0,296	0,0447	0,252
64	0,395	-0,0932	0,256
65	0,531	-0,1880	0,260
66	0,475	-0,2082	0,264
67	0,434	-0,1626	0,268
68	0,412	-0,0472	0,272
69	0,428	0,0543	0,276
70	0,501	0,1449	0,280
71	0,434	0,2143	0,284
72	0,432	0,2611	0,288
73	0,546	0,2354	0,292
74	0,480	0,1472	0,296
75	0,414	0,0154	0,300
76	0,423	-0,0997	0,304
77	0,390	-0,2030	0,308
78	0,368	-0,2322	0,312
79	0,431	-0,1953	0,316
80	0,412	-0,0876	0,320
81	0,298	0,0501	0,324
82	0,381	0,1996	0,328
83	0,371	0,2785	0,332
84	0,211	0,3309	0,336
85	0,228	0,3061	0,340
86	0,225	0,1737	0,344
87	0,241	0,0112	0,348
88	0,310	-0,1181	0,352
89	0,205	-0,2076	0,356
90	0,145	-0,2468	0,360
91	0,223	-0,2214	0,364
92	0,245	-0,1345	0,368
93	0,250	0,0105	0,372
94	0,349	0,1520	0,376
95	0,372	0,2459	0,380
96	0,257	0,3002	0,384
97	0,212	0,2769	0,388
98	0,251	0,1887	0,392
99	0,278	0,0651	0,396
100	0,221	-0,0538	0,400
101	0,159	-0,1678	0,404
102	0,212	-0,2093	0,408
103	0,280	-0,1809	0,412
104	0,274	-0,0991	0,416
105	0,217	0,0318	0,420
106	0,230	0,1742	0,424
107	0,240	0,2491	0,428
108	0,225	0,2936	0,432
109	0,318	0,2622	0,436
110	0,362	0,1948	0,440
111	0,289	0,0623	0,444
112	0,198	-0,0622	0,448
113	0,176	-0,1605	0,452
114	0,254	-0,1984	0,456
115	0,358	-0,1616	0,460
116	0,302	-0,0699	0,464
117	0,241	0,0551	0,468
118	0,318	0,1573	0,472
119	0,301	0,2485	0,476

Meses	Espectral simple	Correlograma	Frecuencia
120	0,240	0,2629	0,480
121	0,253	0,2171	0,484
122	0,262	0,1211	0,488
123	0,207	-0,0138	0,492
124	0,320	-0,1455	0,496
125	0,478	-0,2378	0,500





ANEXO 12

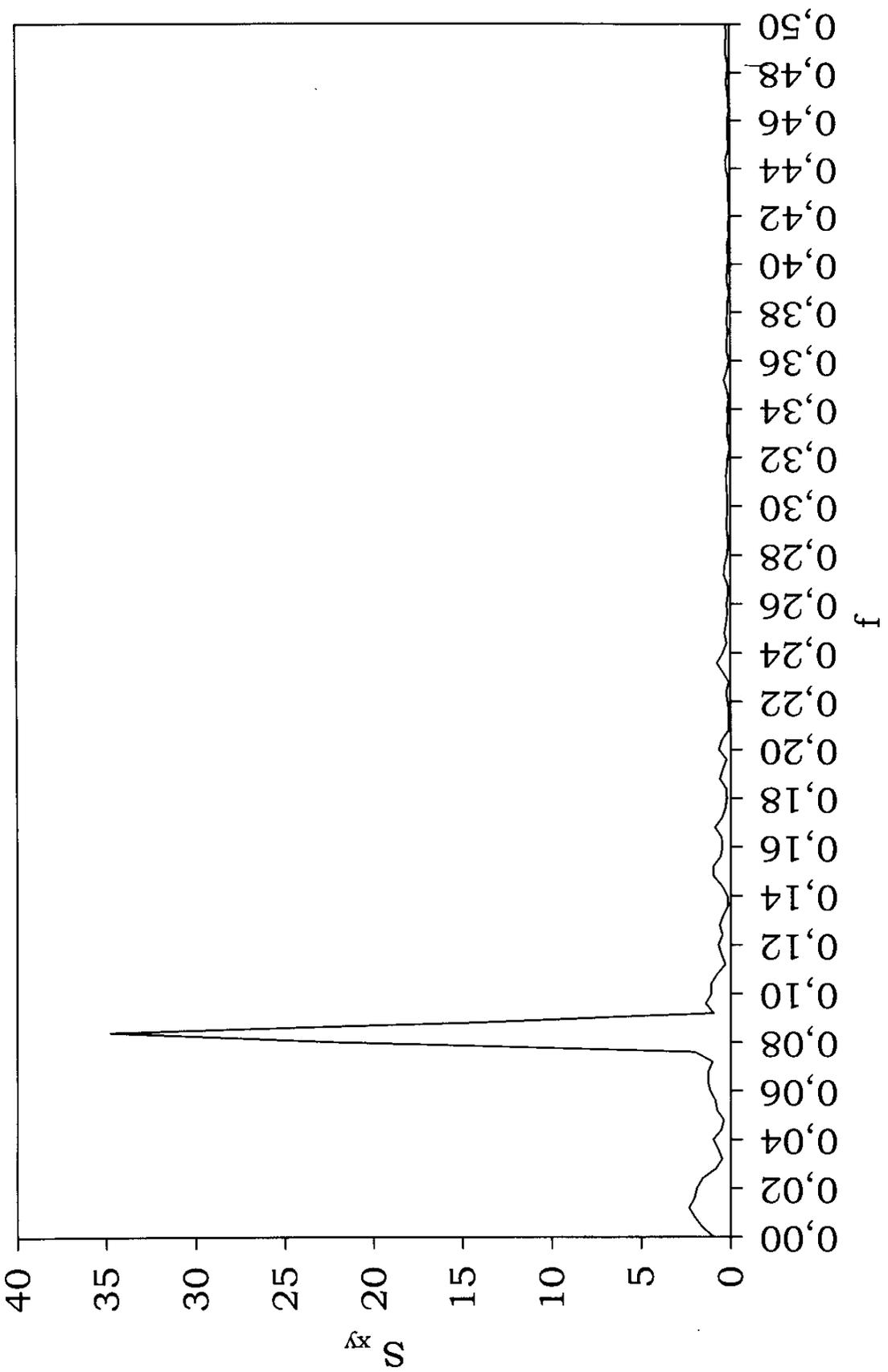
**ACE cruzado entre las precipitaciones mensuales de la estación de
Gibraltar y los caudales medios mensuales en el manantial de El
Tempul**

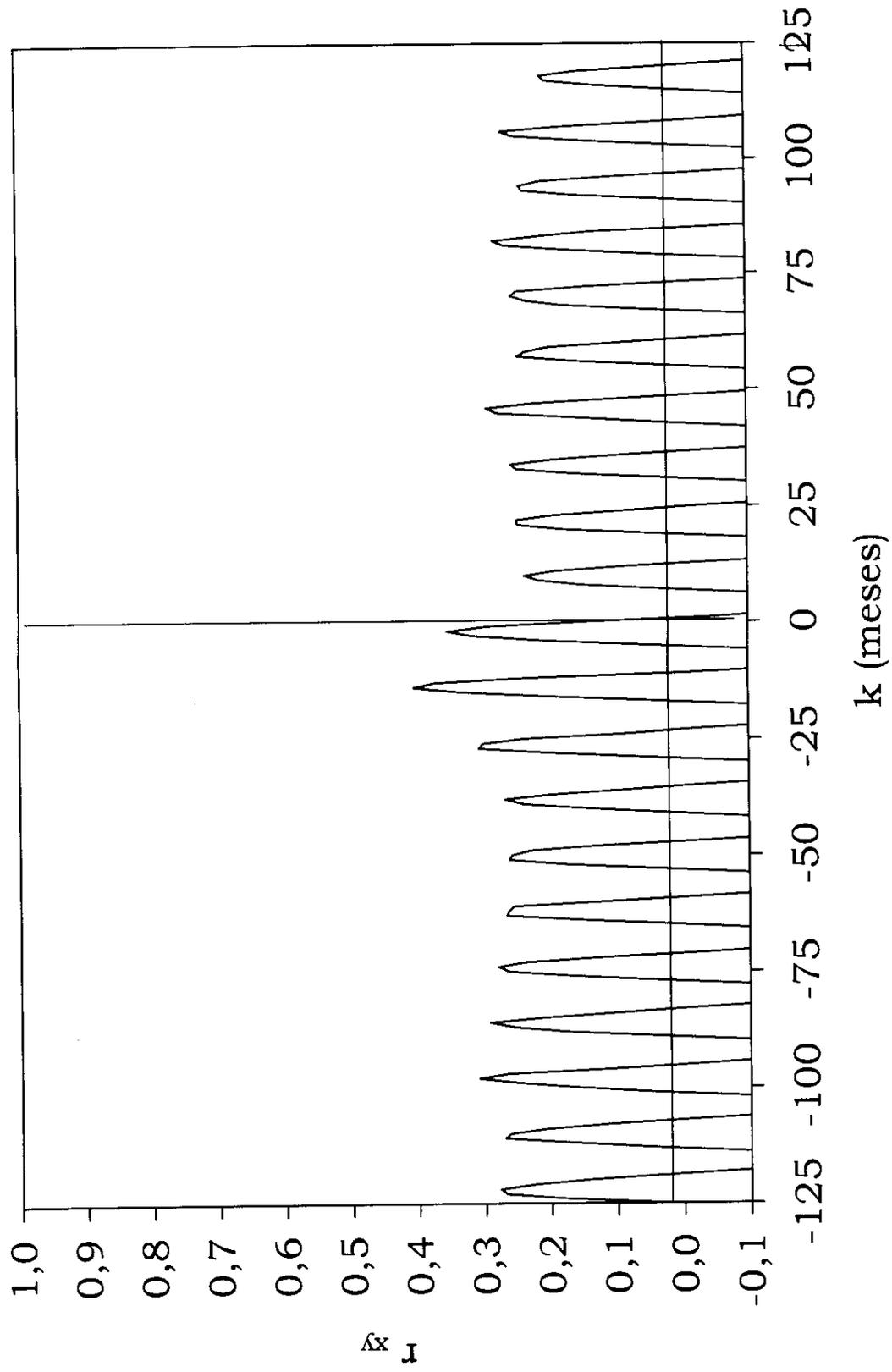
Ventana de 125 y paso de 1

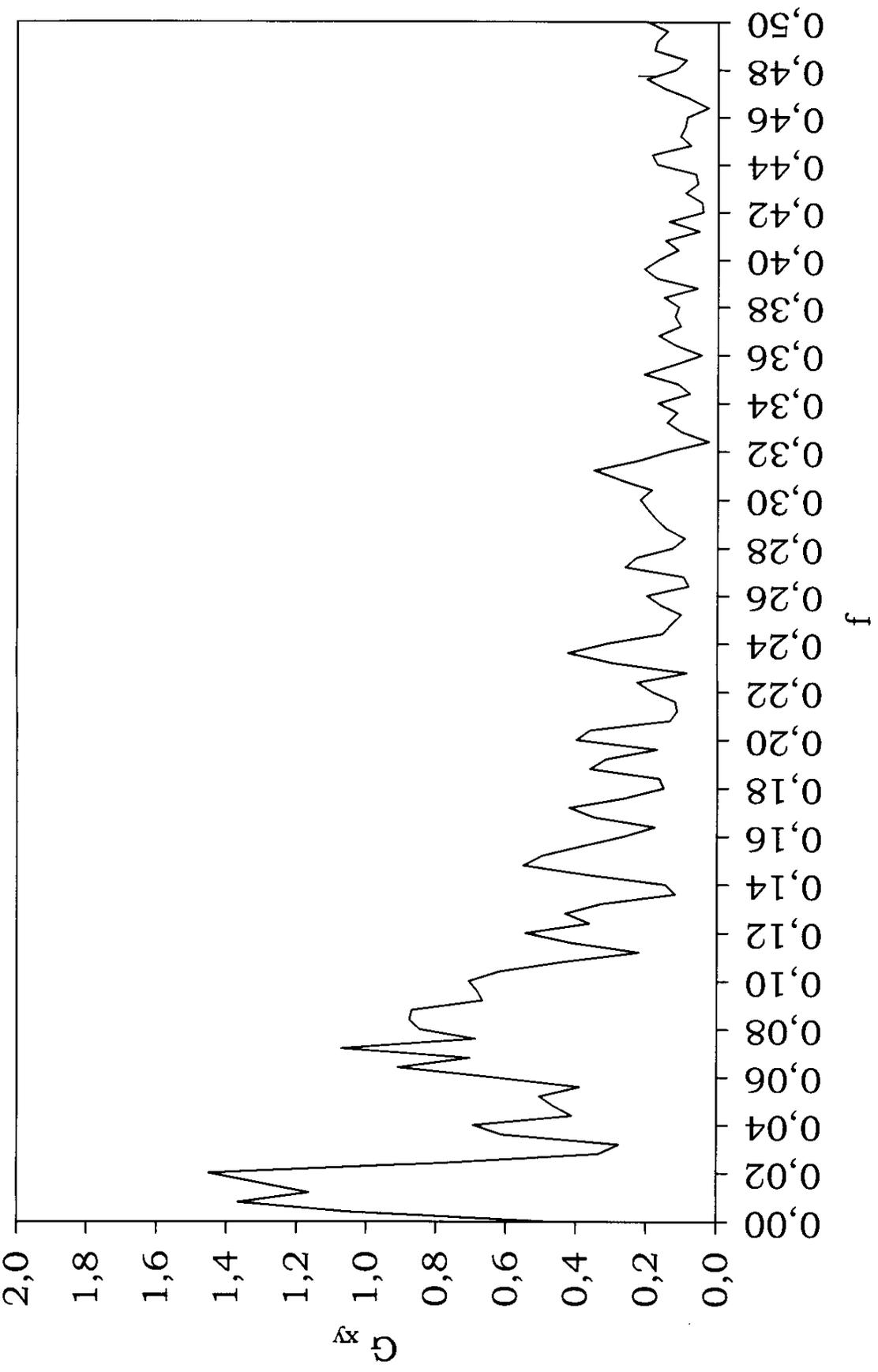
Meses	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado		Ganancia	Coherencia	Frecuencia
0	0,964	0,000	0,140	0,140	0,457	0,168	0,000
1	1,609	0,930	0,2935	-0,049	1,052	0,403	0,004
2	2,026	1,010	0,3529	-0,160	1,368	0,741	0,008
3	2,332	1,074	0,3157	-0,253	1,164	0,686	0,012
4	2,037	1,272	0,2108	-0,280	1,307	0,579	0,016
5	1,910	1,468	0,0603	-0,231	1,451	0,561	0,020
6	1,590	1,447	-0,0957	-0,126	0,798	0,422	0,024
7	0,842	1,501	-0,2213	0,020	0,337	0,246	0,028
8	0,494	-1,399	-0,2682	0,149	0,279	0,210	0,032
9	0,711	1,517	-0,2298	0,215	0,613	0,370	0,036
10	1,003	1,362	-0,1593	0,237	0,694	0,421	0,040
11	0,537	1,331	-0,003	0,187	0,412	0,210	0,044
12	0,410	1,412	0,2342	0,077	0,465	0,187	0,048
13	0,779	1,334	0,3732	-0,065	0,506	0,320	0,052
14	0,874	-1,547	0,4043	-0,194	0,390	0,326	0,056
15	1,170	-0,964	0,3337	-0,278	0,641	0,398	0,060
16	1,294	-0,650	0,2054	-0,297	0,910	0,516	0,064
17	1,282	-0,032	0,0399	-0,247	0,705	0,527	0,068
18	1,045	0,014	-0,1246	-0,121	1,073	0,711	0,072
19	2,034	0,911	-0,2323	0,034	0,688	0,643	0,076
20	22,182	1,137	-0,2786	0,176	0,848	0,897	0,080
21	34,788	1,148	-0,248	0,246	0,877	0,925	0,084
22	14,466	1,180	-0,1364	0,248	0,870	0,902	0,088
23	0,969	-1,217	-0,012	0,193	0,669	0,600	0,092
24	1,418	-1,499	0,0827	0,082	0,684	0,607	0,096
25	1,090	-1,108	0,2388	-0,028	0,707	0,498	0,100
26	1,126	-0,989	0,3006	-0,168	0,621	0,456	0,104
27	0,769	-0,906	0,3067	-0,250	0,442	0,382	0,108
28	0,315	-0,667	0,2022	-0,271	0,222	0,209	0,112
29	0,529	0,154	0,0507	-0,245	0,416	0,339	0,116
30	0,696	-0,090	-0,1111	-0,137	0,546	0,434	0,120
31	0,476	0,222	-0,2134	0,009	0,364	0,366	0,124
32	0,628	0,717	-0,2615	0,161	0,432	0,440	0,128
33	0,426	0,911	-0,2218	0,247	0,330	0,258	0,132
34	0,151	-1,169	-0,1398	0,256	0,120	0,096	0,136
35	0,203	-0,436	-0,0209	0,193	0,148	0,132	0,140
36	0,501	0,163	0,086	0,093	0,367	0,297	0,144
37	0,966	0,592	0,1982	-0,034	0,553	0,501	0,148
38	1,000	0,703	0,2678	-0,164	0,500	0,592	0,152
39	0,576	0,616	0,2391	-0,245	0,386	0,550	0,156
40	0,468	0,981	0,1347	-0,277	0,269	0,407	0,160
41	0,527	-0,731	0,001	-0,223	0,178	0,302	0,164
42	0,898	-0,026	-0,1306	-0,104	0,351	0,568	0,168
43	0,489	-0,143	-0,2202	0,033	0,420	0,479	0,172
44	0,298	-1,488	-0,2722	0,153	0,263	0,284	0,176
45	0,219	1,178	-0,238	0,276	0,152	0,198	0,180
46	0,250	-1,012	-0,1574	0,292	0,165	0,236	0,184
47	0,603	-0,988	-0,0245	0,221	0,362	0,460	0,188
48	0,442	-1,270	0,1238	0,088	0,317	0,364	0,192
49	0,224	-0,368	0,2291	-0,048	0,171	0,206	0,196
50	0,656	0,278	0,2578	-0,164	0,401	0,508	0,200
51	0,499	0,450	0,2612	-0,247	0,363	0,428	0,204
52	0,125	1,356	0,1771	-0,283	0,135	0,147	0,208
53	0,098	-1,165	0,0208	-0,241	0,115	0,139	0,212
54	0,101	-1,000	-0,1233	-0,122	0,120	0,150	0,216
55	0,181	-1,279	-0,2224	0,010	0,186	0,222	0,220
56	0,249	-1,430	-0,2625	0,153	0,228	0,276	0,224
57	0,092	1,422	-0,2326	0,244	0,088	0,101	0,228
58	0,401	1,200	-0,1523	0,233	0,298	0,324	0,232
59	0,758	1,104	-0,0283	0,198	0,424	0,534	0,236
60	0,421	1,407	0,1179	0,079	0,314	0,491	0,240

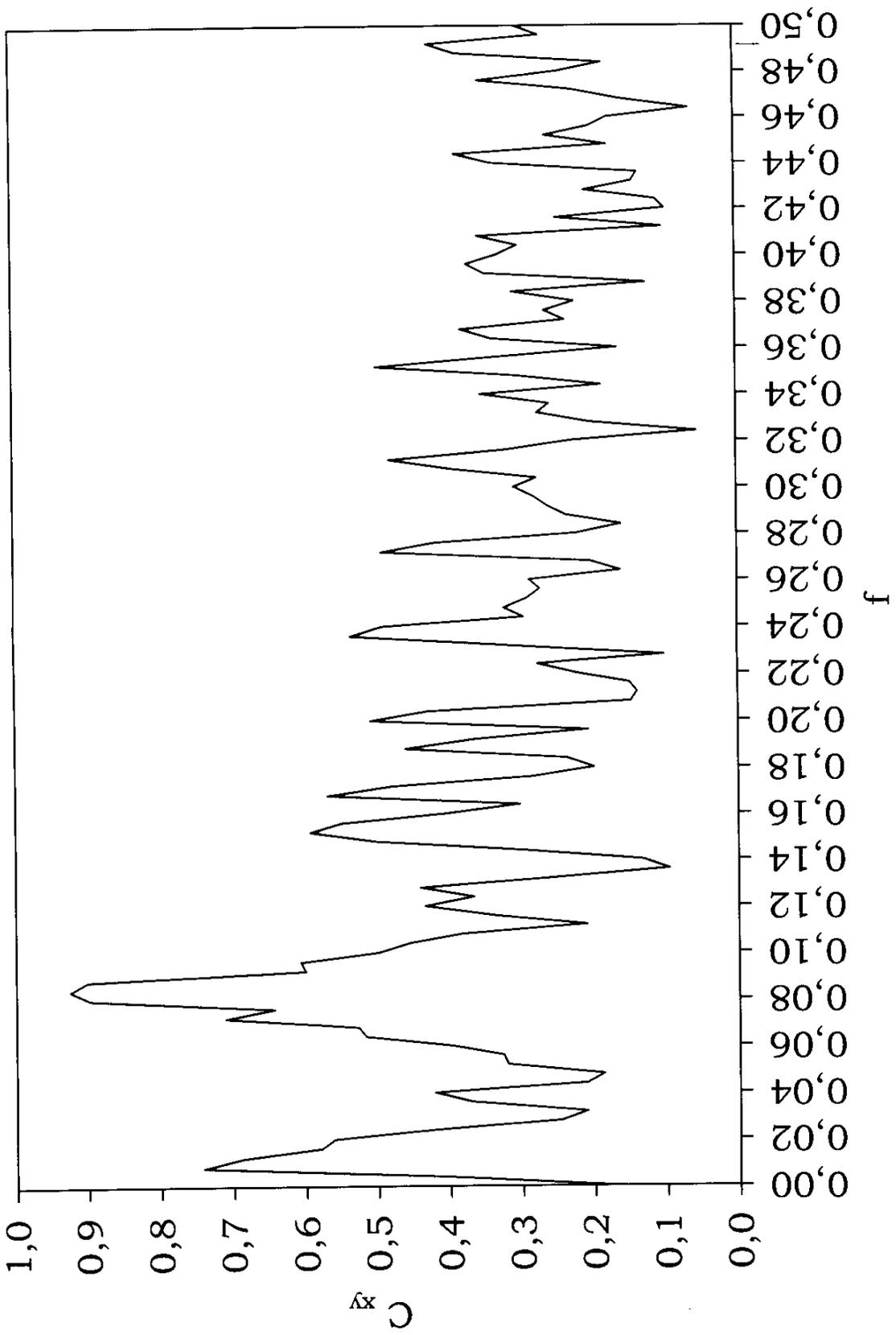
Meses	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado		Ganancia	Coherencia	Frecuencia
61	0,199	-1,365	0,2554	-0,036	0,156	0,294	0,244
62	0,319	1,235	0,2633	-0,154	0,132	0,322	0,248
63	0,240	1,385	0,2658	-0,241	0,104	0,290	0,252
64	0,180	-1,232	0,149	-0,268	0,162	0,272	0,256
65	0,216	1,519	0,0005	-0,223	0,202	0,287	0,260
66	0,146	0,748	-0,138	-0,112	0,083	0,160	0,264
67	0,180	-1,345	-0,2258	0,047	0,098	0,201	0,268
68	0,378	-0,987	-0,2642	0,176	0,264	0,492	0,272
69	0,322	-0,912	-0,2367	0,232	0,232	0,418	0,276
70	0,192	-0,796	-0,1625	0,254	0,128	0,221	0,280
71	0,117	0,737	-0,0377	0,245	0,094	0,159	0,284
72	0,163	0,644	0,1098	0,147	0,146	0,235	0,288
73	0,211	0,147	0,2382	-0,003	0,176	0,261	0,292
74	0,190	0,396	0,2789	-0,168	0,199	0,280	0,296
75	0,177	0,487	0,2634	-0,268	0,221	0,307	0,300
76	0,171	1,072	0,1665	-0,279	0,188	0,276	0,304
77	0,220	-1,024	0,0359	-0,233	0,275	0,394	0,308
78	0,241	-0,435	-0,1269	-0,121	0,352	0,479	0,312
79	0,191	0,548	-0,23	0,037	0,228	0,318	0,316
80	0,153	1,471	-0,2564	0,171	0,139	0,227	0,320
81	0,034	1,086	-0,206	0,264	0,026	0,054	0,324
82	0,151	0,705	-0,1334	0,281	0,104	0,202	0,328
83	0,193	1,296	-0,0113	0,211	0,144	0,274	0,332
84	0,120	-0,938	0,0982	0,134	0,116	0,257	0,336
85	0,164	0,045	0,2113	-0,041	0,172	0,352	0,340
86	0,096	0,197	0,2924	-0,161	0,081	0,185	0,344
87	0,195	1,116	0,2537	-0,236	0,114	0,304	0,348
88	0,364	1,177	0,171	-0,254	0,211	0,497	0,352
89	0,186	0,560	0,0273	-0,225	0,126	0,337	0,356
90	0,082	-0,136	-0,1248	-0,123	0,047	0,163	0,360
91	0,209	-1,416	-0,2336	0,010	0,121	0,337	0,364
92	0,207	1,508	-0,2593	0,156	0,170	0,379	0,368
93	0,129	-1,272	-0,2305	0,235	0,107	0,235	0,372
94	0,196	-0,742	-0,1312	0,240	0,123	0,263	0,376
95	0,163	-0,504	-0,0226	0,210	0,112	0,222	0,380
96	0,157	-0,158	0,1043	0,104	0,154	0,308	0,384
97	0,055	0,552	0,2655	-0,027	0,059	0,123	0,388
98	0,173	-0,663	0,3095	-0,141	0,174	0,346	0,392
99	0,181	-0,244	0,249	-0,258	0,210	0,371	0,396
100	0,140	0,467	0,1626	-0,288	0,170	0,328	0,400
101	0,125	-0,106	0,048	-0,257	0,115	0,300	0,404
102	0,177	-0,722	-0,1018	-0,138	0,150	0,355	0,408
103	0,053	1,549	-0,2119	0,012	0,054	0,101	0,412
104	0,119	-0,525	-0,2576	0,146	0,140	0,247	0,416
105	0,047	-0,473	-0,2268	0,249	0,043	0,096	0,420
106	0,058	-0,170	-0,1423	0,267	0,047	0,109	0,424
107	0,110	0,191	-0,0143	0,183	0,093	0,207	0,428
108	0,077	1,147	0,1134	0,042	0,058	0,141	0,432
109	0,089	1,189	0,2071	-0,073	0,064	0,134	0,436
110	0,235	-0,181	0,2622	-0,160	0,174	0,336	0,440
111	0,228	-0,148	0,2708	-0,252	0,188	0,386	0,444
112	0,078	1,567	0,1652	-0,266	0,079	0,176	0,448
113	0,111	-0,704	0,0488	-0,229	0,107	0,261	0,452
114	0,109	-0,688	-0,1039	-0,116	0,094	0,200	0,456
115	0,125	-0,834	-0,2126	0,013	0,088	0,175	0,460
116	0,041	-0,461	-0,2651	0,128	0,029	0,062	0,464
117	0,073	0,974	-0,2183	0,200	0,083	0,159	0,468
118	0,104	1,560	-0,1003	0,207	0,152	0,223	0,472
119	0,184	-0,678	0,0245	0,156	0,203	0,352	0,476
120	0,117	-0,205	0,1423	0,039	0,120	0,243	0,480
121	0,091	0,842	0,2242	-0,073	0,091	0,181	0,484

Meses	Amplitud	Fase	Correlograma cruzado	Ganancia	Coherencia	Frecuencia
122	0,213	0,296	0,2786	-0,179	0,181	0,383
123	0,213	0,377	0,2686	-0,263	0,173	0,422
124	0,159	-1,187	0,1787	-0,284	0,144	0,268
125	0,215	0,000	0,0205	-0,248	0,202	0,301



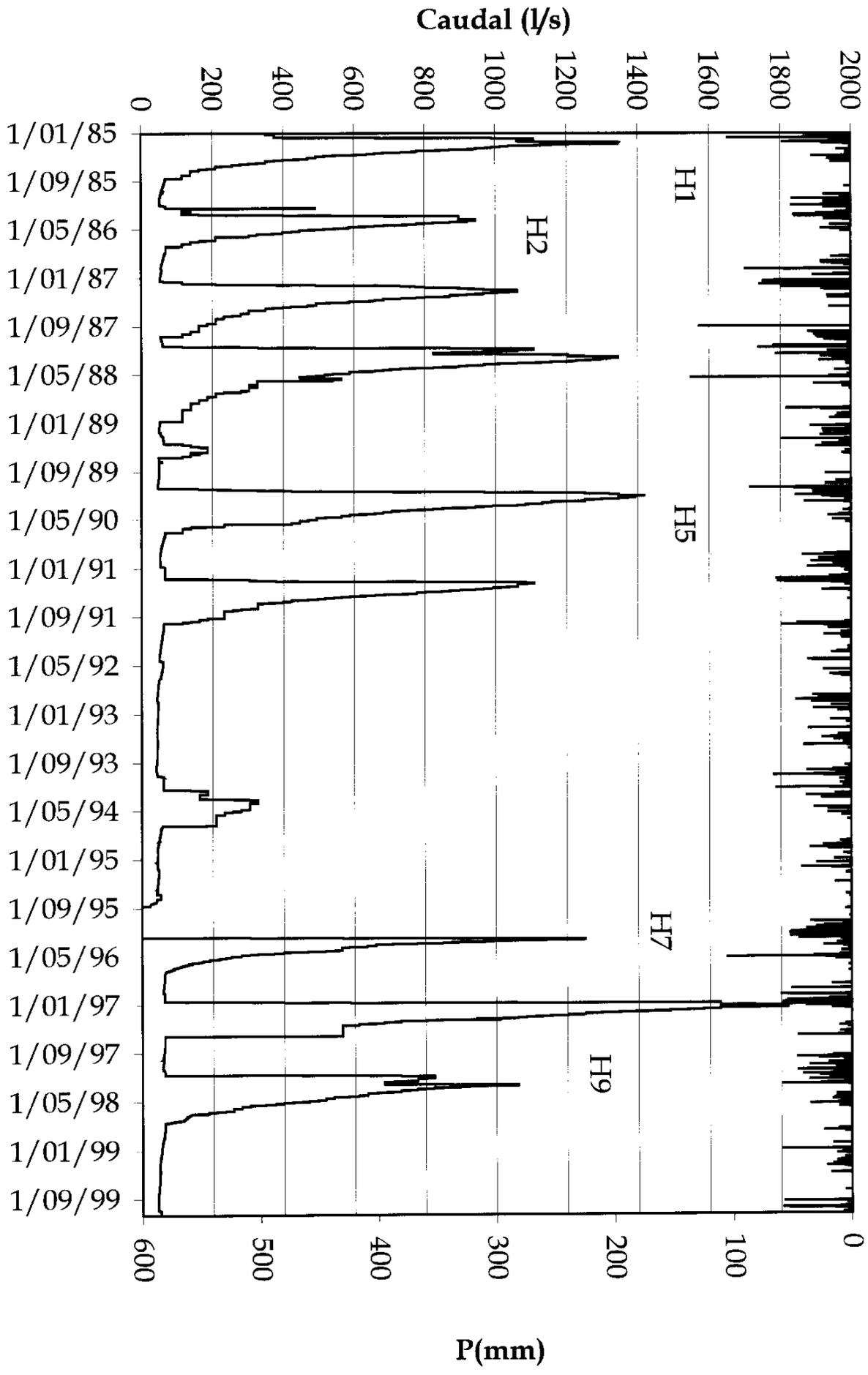




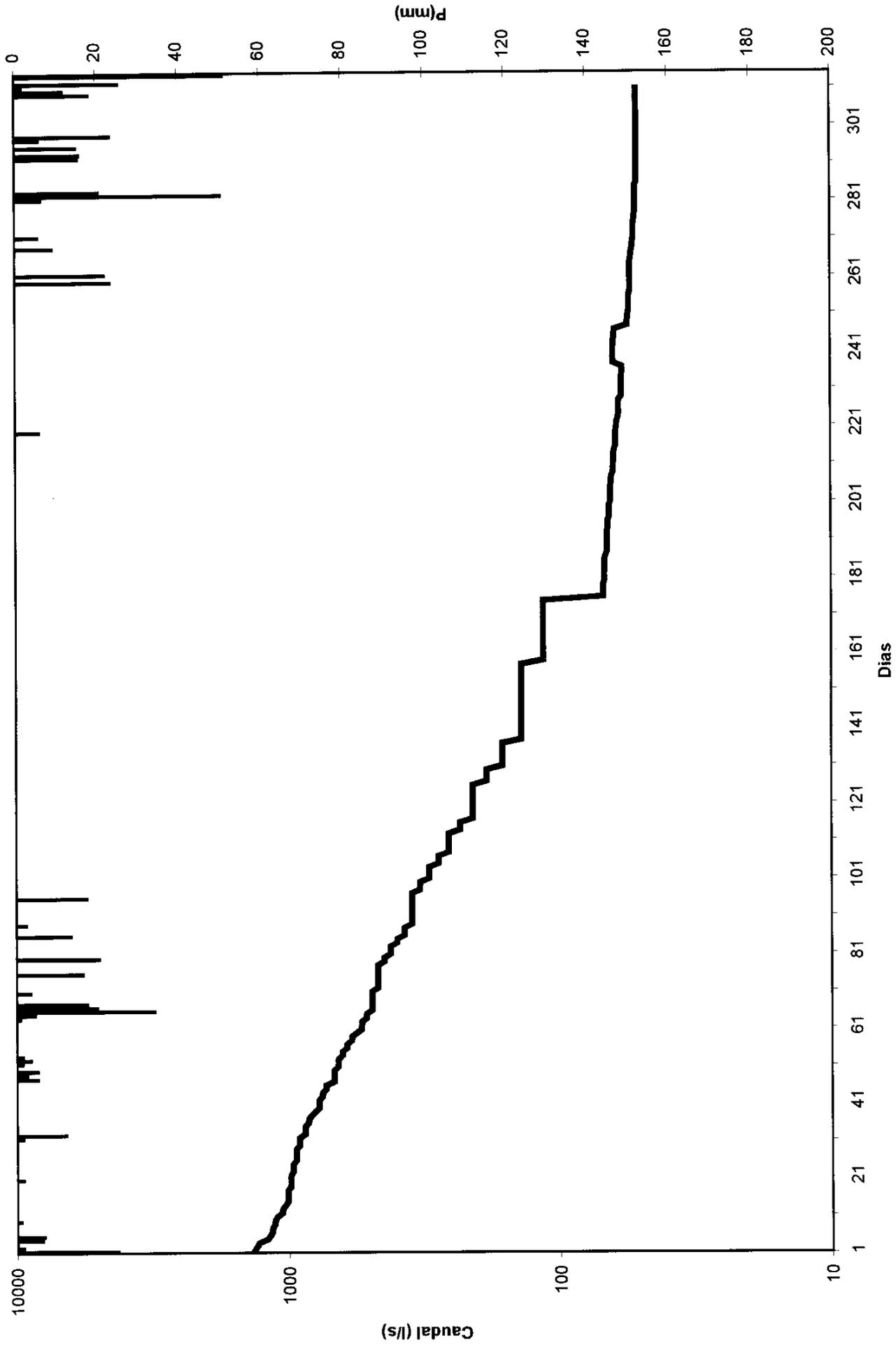


ANEXO 13

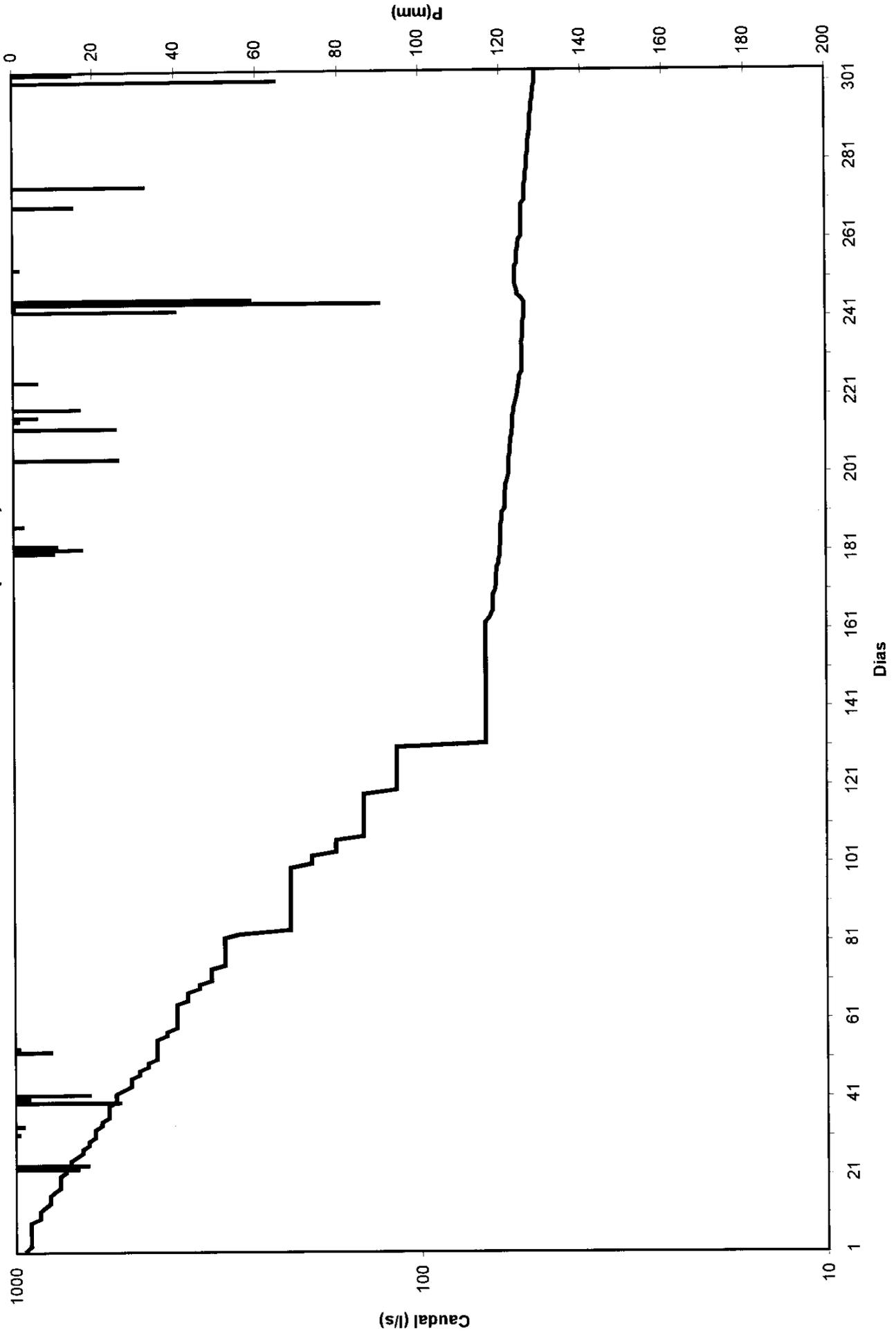
**Hidrogramas analizados de la serie diaria de datos de el manantial de
El Tempul**



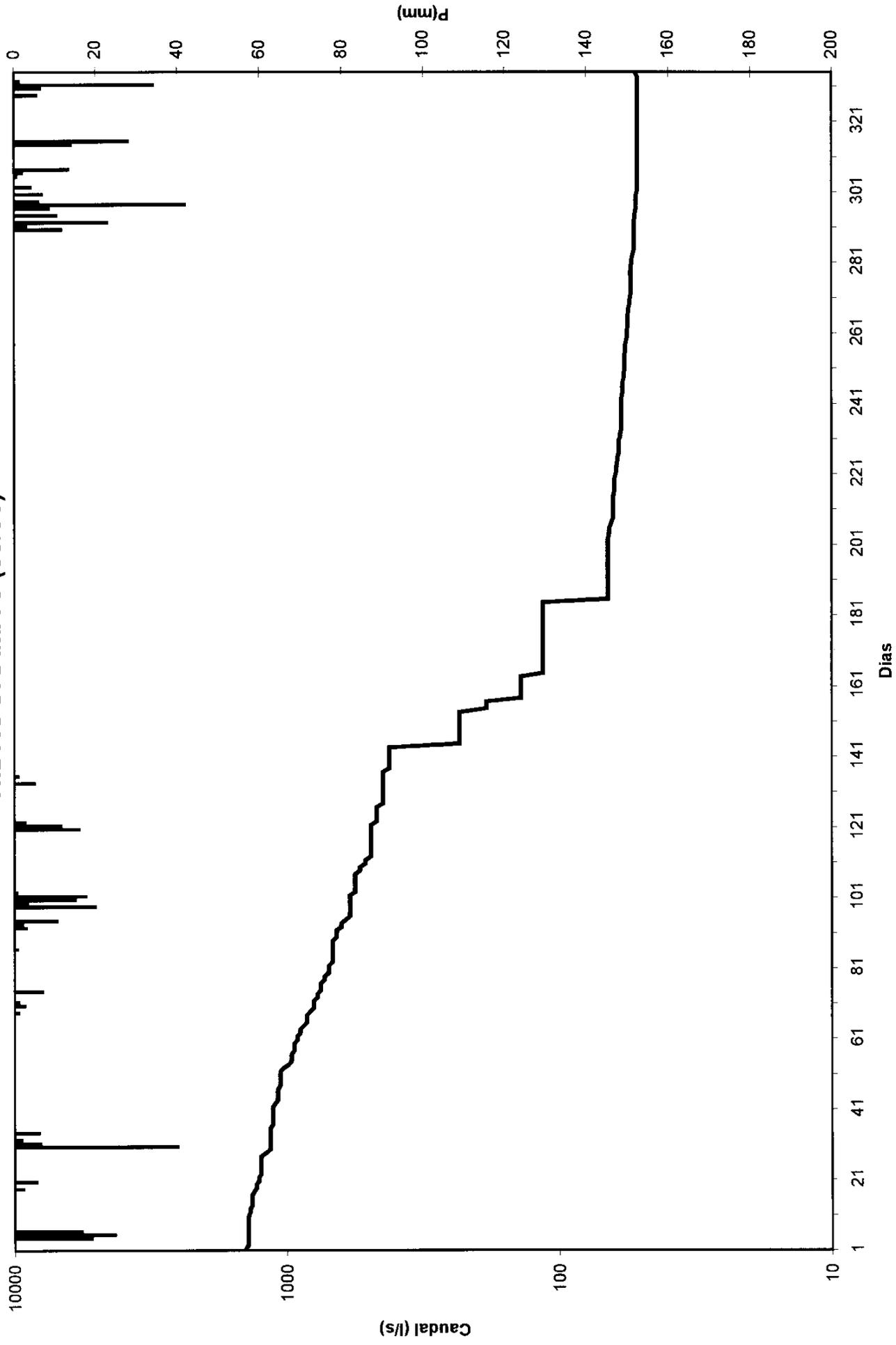
HIDROGRAMA 1 (84/85)



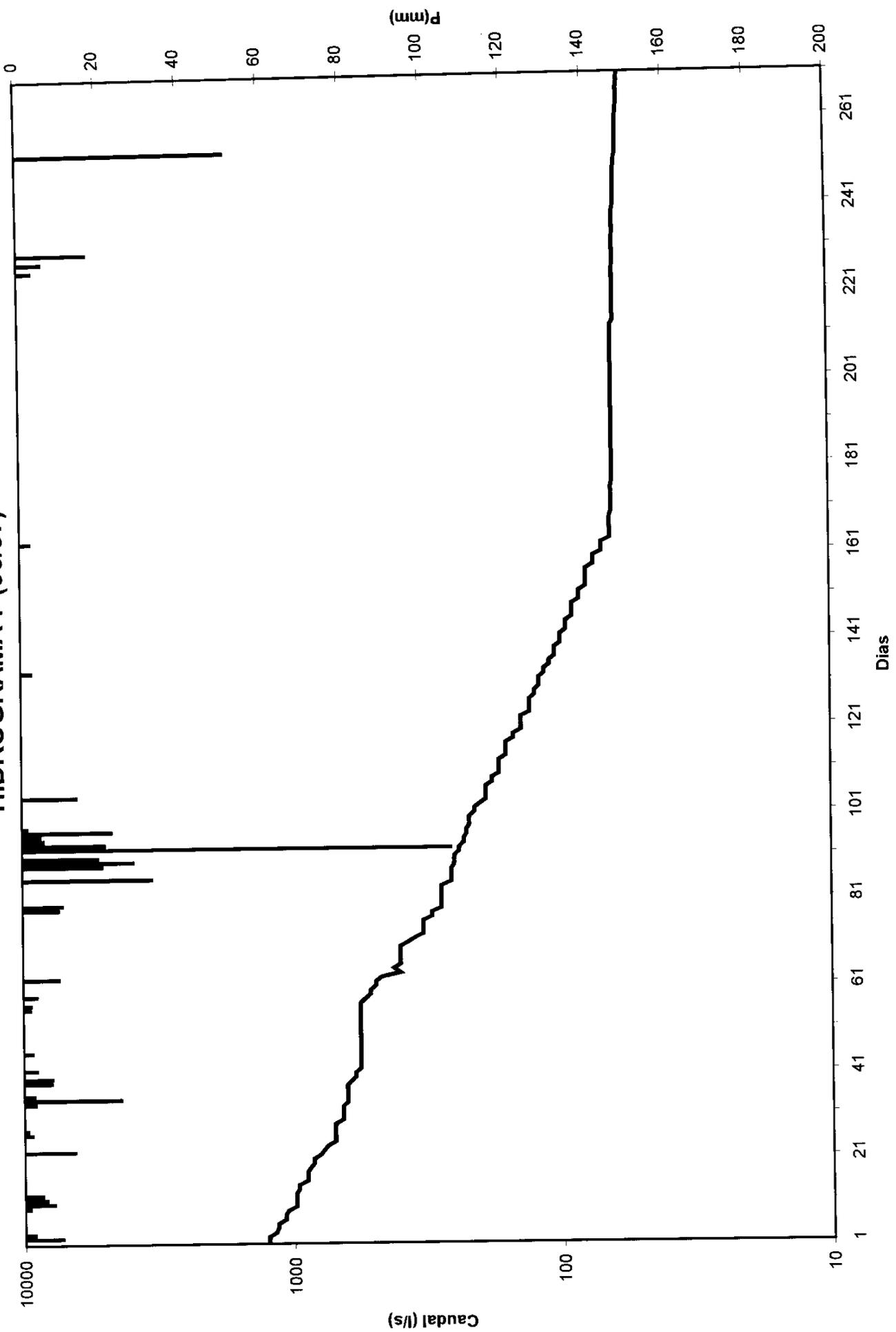
HIDROGRAMA 2 (86/87)



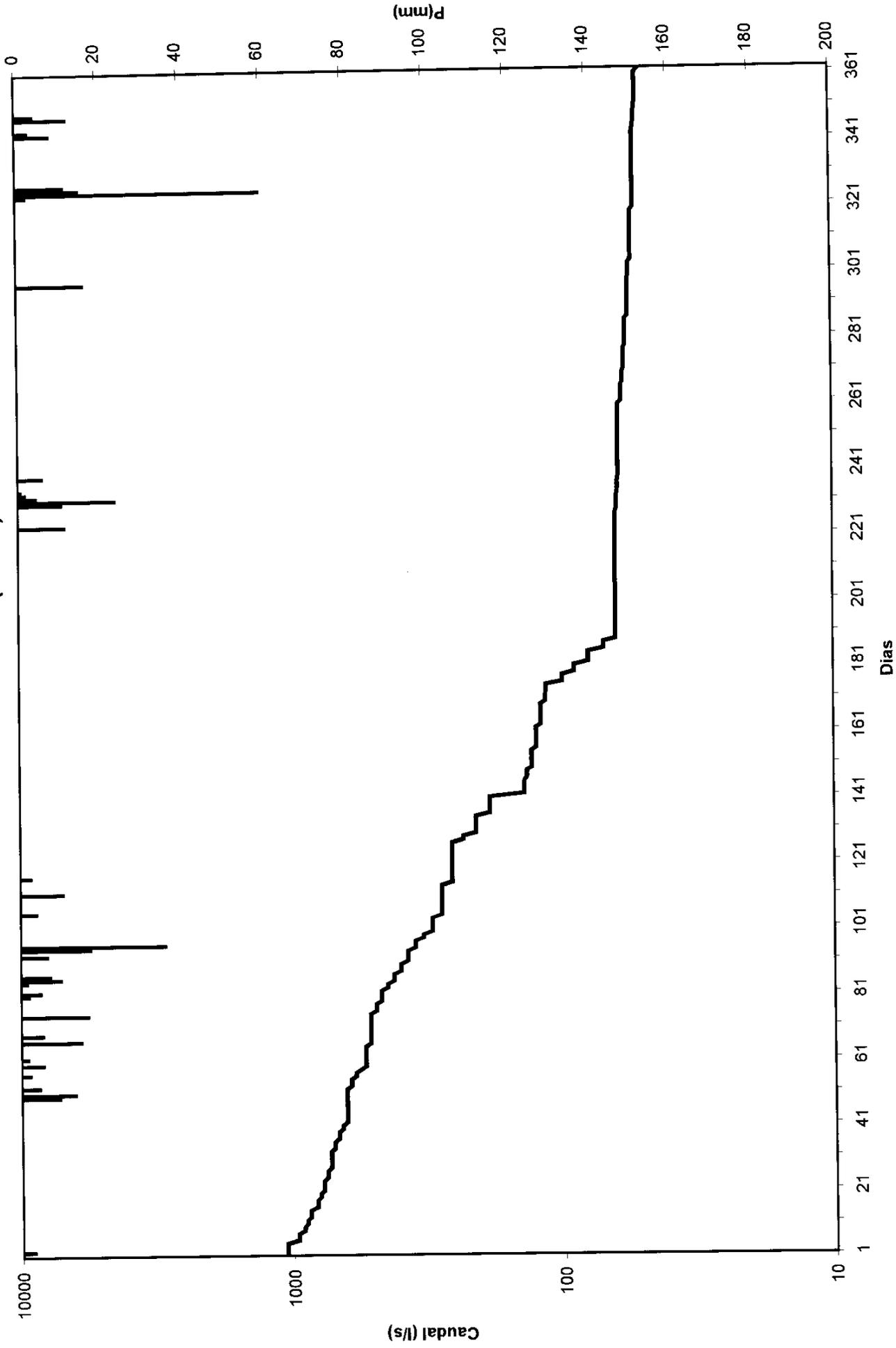
HIDROGRAMA 5 (89/90)



HIDROGRAMA 7 (96/97)



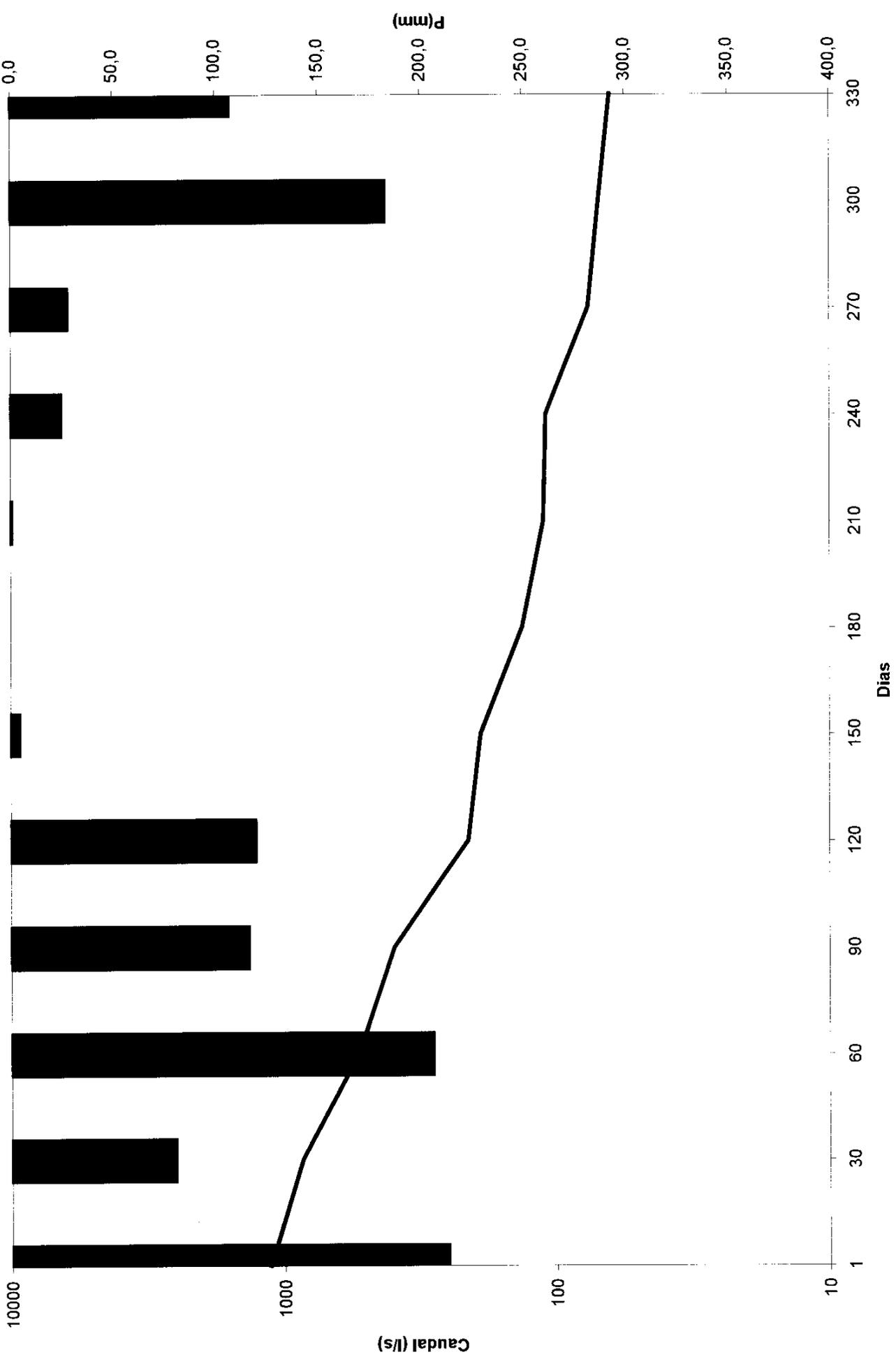
HIDROGRAMA 9 (98/99)



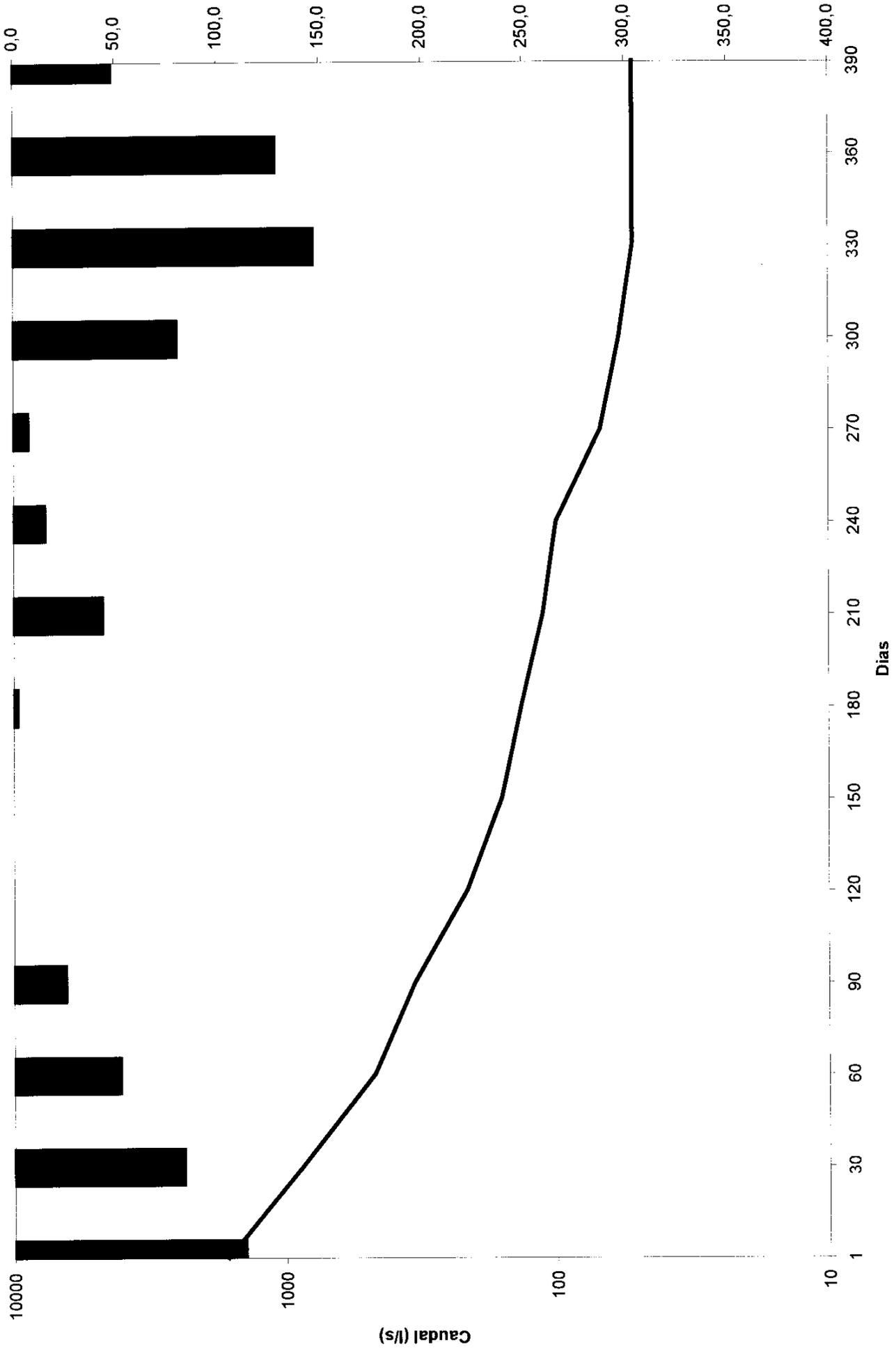
ANEXO 14

**Hidrogramas analizados de la serie mensual de datos de el manantial
de El Tempul**

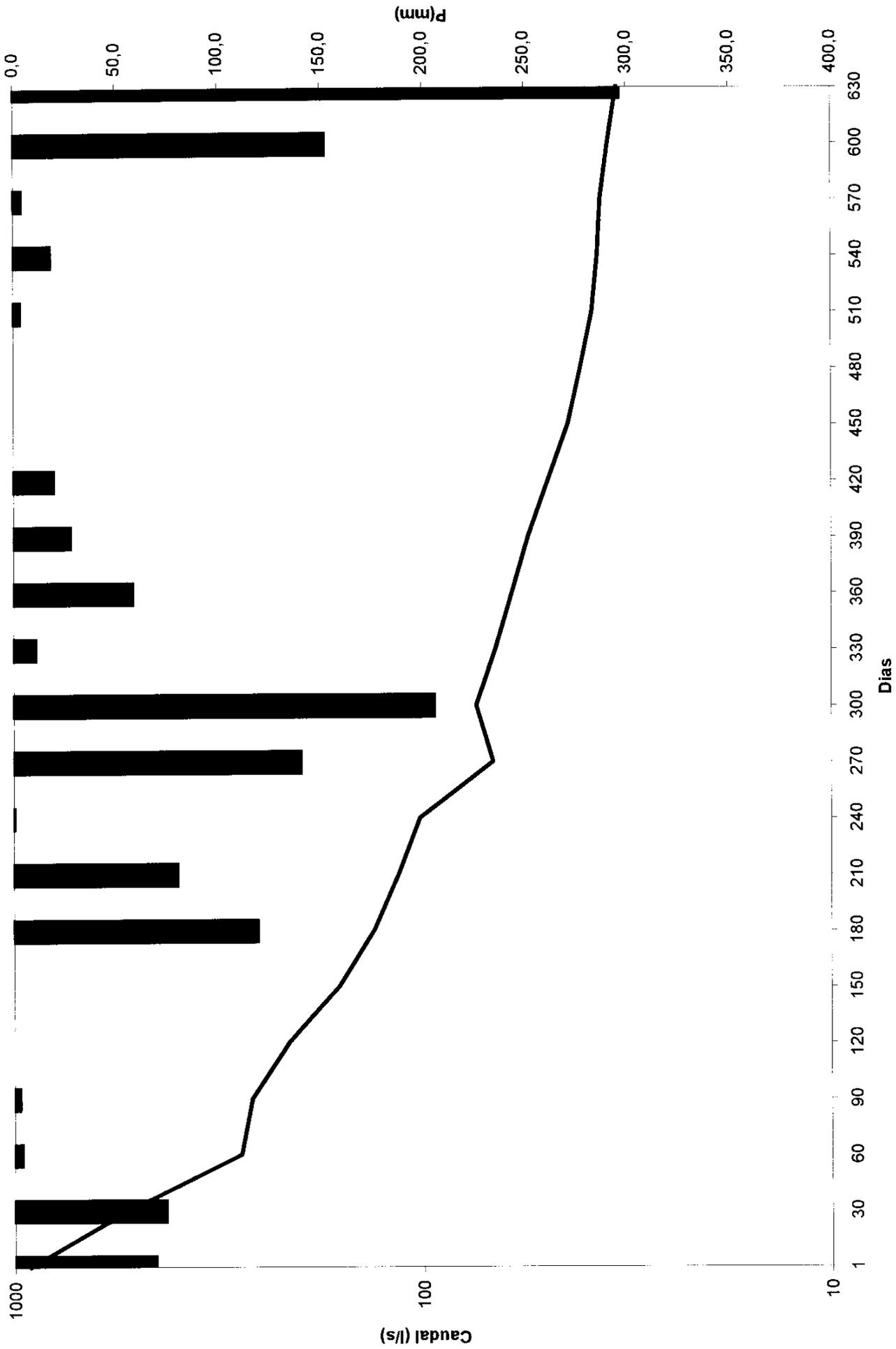
HIDROGRAMA A (08/09)



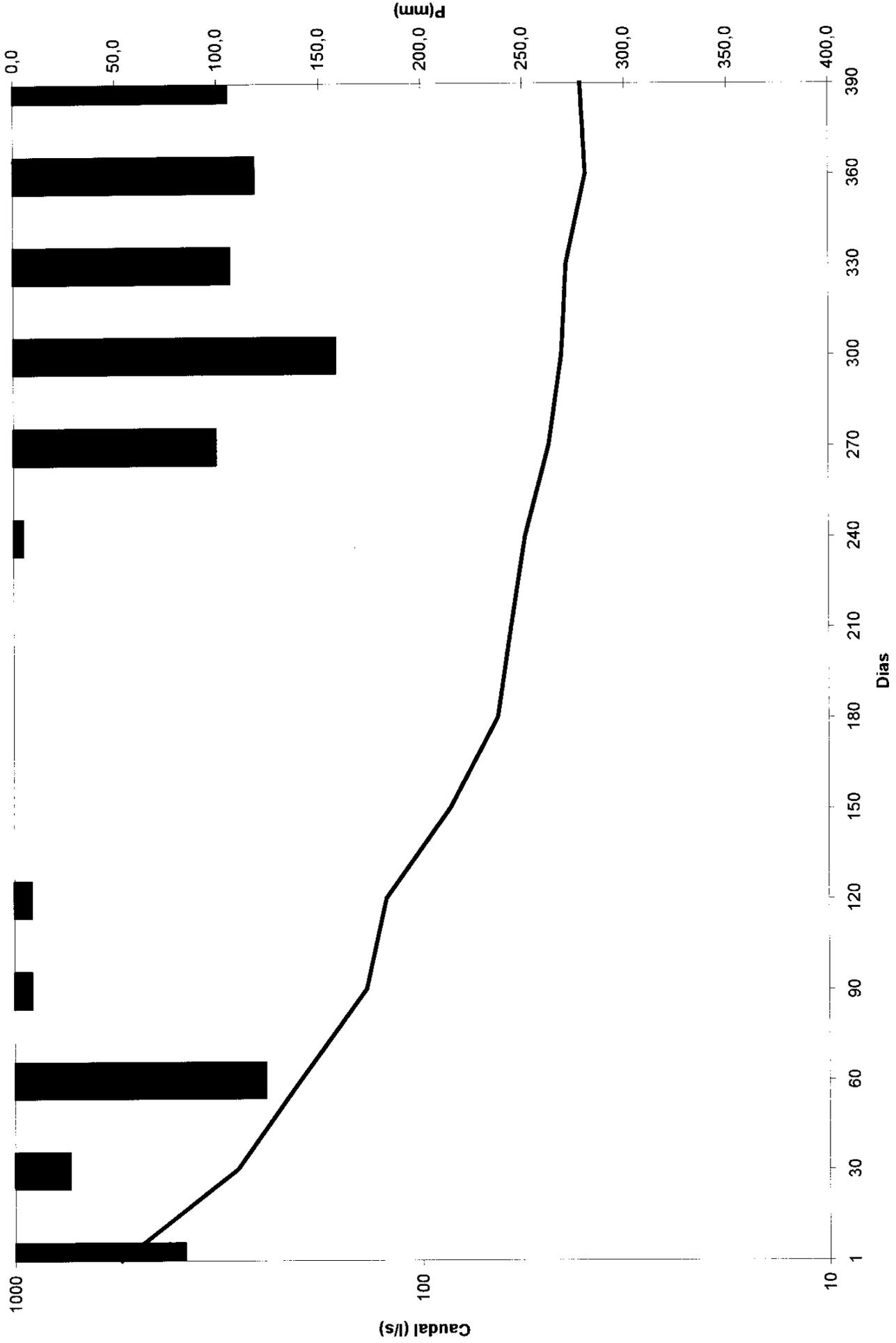
HIDROGRAMA B (12/13)



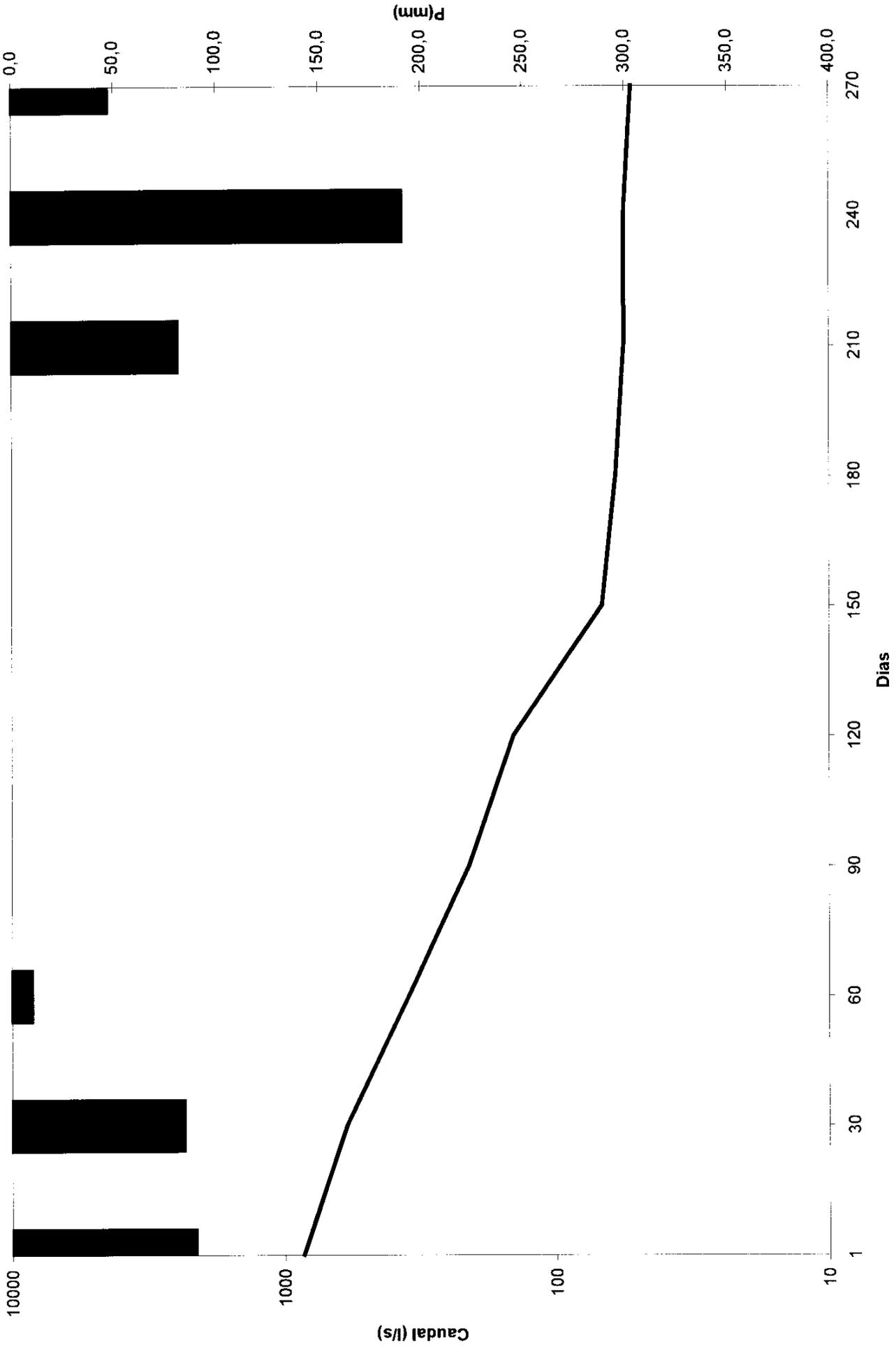
HIDROGRAMA C (48/49)



HIDROGRAMA G (73/74)



HIDROGRAMA H (86/87)



ANEXO 15

**Distribución de frecuencias de los caudales clasificados
correspondientes a la serie diaria de datos de el manantial de El
Tempul**

Clases (l/s)	Nº de días	%	% Acumulado
0-50	1469	27,01	27,01
50-100	1607	29,55	56,55
100-150	348	6,40	62,95
150-200	220	4,04	67,00
200-250	229	4,21	71,21
250-300	102	1,88	73,08
300-350	198	3,64	76,72
350-400	120	2,21	78,93
400-450	68	1,25	80,18
450-500	92	1,69	81,87
500-550	61	1,12	82,99
550-600	128	2,35	85,35
600-650	54	0,99	86,34
650-700	73	1,34	87,68
700-750	51	0,94	88,62
750-800	62	1,14	89,76
800-850	70	1,29	91,05
850-900	62	1,14	92,19
900-950	51	0,94	93,12
950-1000	54	0,99	94,12
1000-1050	28	0,51	94,63
1050-1100	76	1,40	96,03
1100-1150	36	0,66	96,69
1150-1200	23	0,42	97,11
1200-1250	22	0,40	97,52
1250-1300	38	0,70	98,22
1300-1350	37	0,68	98,90
1350-1400	14	0,26	99,15
1400-1450	4	0,07	99,23
1450-1500	5	0,09	99,32
1500-1550	3	0,06	99,37
1550-1600	3	0,06	99,43
1600-1650	17	0,31	99,74
>1650	14	0,26	100,00

ANEXO 16

**Cálculo del coeficiente de infiltración eficaz durante los años
hidrológicos en los que el manantial de El Tempul ha drenado menos
de 900 l/s**

FECHA	Q _m (l/s) Tempul	Q(m3)	P _m (mm)	P(m3/m2)	P(m3/m2) x S	Infiltración (%)
1862/63	222	7009803	507	0,507	17234600	40,7
1863/64	209	6577229	911	0,911	30984200	21,2
1864/65	403	12697984	1052	1,052	35761200	35,5
1865/66	310	9779723	682	0,682	23191400	42,2
1866/67	416	13109346	524	0,524	17802400	73,6
1867/68	140	4421455	364	0,364	12359000	35,8
1868/69	165	5195350	629	0,629	21379200	24,3
1869/70	197	6213565	673	0,673	22868400	27,2
1870/71	201	6354241	854	0,854	29049600	21,9
1871/72	209	6594297	761	0,761	25887600	25,5
1872/73	244	7681688	647	0,647	21984400	34,9
1873/74	143	4519505	442	0,442	15028000	30,1
1874/75	126	3959513	349	0,349	11869400	33,4
1875/76	152	4808715	878	0,878	29862200	16,1
1876/77	162	5109538	989	0,989	33612400	15,2
1877/78	104	3284820	383	0,383	13022000	25,2
1878/79	272	8563662	978	0,978	33258800	25,7
1879/80	209	6581146	1514	1,514	51459000	12,8
1880/81	282	8879901	429	0,429	14575800	60,9
1881/82	90	2850406	729	0,729	24772400	11,5
1882/83	211	6640441	667	0,667	22661000	29,3
1883/84	130	4106173	820	0,820	27883400	14,7
1884/85	245	7724161	1230	1,230	41820000	18,5
1885/86	293	9243245	1359	1,359	46199200	20,0
1886/87	250	7868327	1208	1,208	41078800	19,2
1887/88	310	9789139	960	0,960	32643400	30,0
1888/89	337	10633044	1076	1,076	36597600	29,1
1889/90	210	6633663	679	0,679	23082600	28,7
1890/91	226	7112148	1177	1,177	40014600	17,8
1891/92	376	11866427	1031	1,031	35054000	33,9
1892/93	211	6657672	773	0,773	26265000	25,3
1893/94	192	6042326	1369	1,369	46546000	13,0
1894/95	279	8795526	747	0,747	25381000	34,7
1895/96	127	4020544	721	0,721	24507200	16,4
1896/97	174	5496780	859	0,859	29199200	18,8
1897/98	183	5755958	1014	1,014	34479400	16,7
1898/99	224	7071622	965	0,965	32803200	21,6
1899/1900	315	9928263	1164	1,164	39589600	25,1
1901/02	383	12078064	808	0,808	27475400	44,0
1902/03	272	8573380	1002	1,002	34061200	25,2
1903/04	350	11040393	589	0,589	20022600	55,1
1904/05	86	2711587	887	0,887	30161400	9,0
1905/06	231	7298871	771	0,771	26217400	27,8
1906/07	77	2442033	641	0,641	21804200	11,2
1908/09	236	7445235	552	0,552	18761200	39,7
1909/10	333	10487198	1244	1,244	42306200	24,8
1912/13	79	2493286	504	0,504	17146200	14,5
1913/14	267	8409259	1250	1,250	42489800	19,8
1915/16	467	14733729	1014	1,014	34472600	42,7
1919/20	301	9485169	1355	1,355	46059800	20,6
1921/22	189	5947136	680	0,680	23109800	25,7
1922/23	312	9842401	1226	1,226	41697600	23,6
1924/25	280	8830768	578	0,578	19635000	45,0
1925/26	381	12009396	1010	1,010	34333200	35,0
1926/27	362	11424751	696	0,696	23670800	48,3
1928/29	187	5896675	854	0,854	29036000	20,3
1930/31	301	9504545	925	0,925	31456800	30,2
1931/32	250	7879154	1071	1,071	36400400	21,6

FECHA	Q _m (l/s) Tempul	Q(m3)	P _m (mm)	P(m3/m2)	P(m3/m2) x S	Infiltración (%)
1932/33	492	15500263	721	0.721	24500400	63,3
1934/35	144	4556418	1280	1,280	43533600	10,5
1937/38	345	10888569	859	0,859	29189000	37,3
1938/39	261	8235057	541	0,541	18390600	44,8
1941/42	320	10090429	606	0,606	20593800	49,0
1943/44	224	7055427	416	0,416	14154200	49,8
1944/45	77	2433510	774	0,774	26319400	9,2
1947/48	345	10881190	546	0,546	18574200	58,6
1948/49	62	1970419	567	0,567	19261000	10,2
1949/50	55	1734897	916	0,916	31130400	5,6
1951/52	437	13776699	917	0,917	31178000	44,2
1952/53	73	2297197	625	0,625	21233000	10,8
1953/54	210	6620242	963	0,963	32755600	20,2
1956/57	131	4143728	278	0,278	9438400	43,9
1957/58	157	4958818	964	0,964	32779400	15,1
1958/59	466	14705894	958	0,958	32585600	45,1
1960/61	284	8943440	673	0,673	22878600	39,1
1964/65	161	5068800	380	0,380	12933600	39,2
1965/66	358	11276550	540	0,540	18360000	61,4
1966/67	118	3727369	466	0,466	15847400	23,5
1967/68	181	5695657	1157	1,157	39344800	14,5
1968/69	332	10481379	887	0,887	30164800	34,7
1969/70	267	8431827	966	0,966	32830400	25,7
1970/71	314	9889883	816	0,816	27757600	35,6
1971/72	299	9429920	426	0,426	14480600	65,1
1972/73	225	7097307	631	0,631	21437000	33,1
1973/74	93	2921514	656	0,656	22307400	13,1
1974/75	67	2125227	532	0,532	18081200	11,8
1975/76	91	2863975	854	0,854	29046200	9,9
1977/78	288	9087648	730	0,730	24823400	36,6
1979/80	139	4391210	685	0,685	23302813,04	18,8
1980/81	99	3112999	572	0,572	19456653,8	16,0
1981/82	332	10477535	668	0,668	22714383,55	46,1
1982/83	202	6355659	623	0,623	21179207,17	30,0
1983/84	195	6141438	855	0,855	29068764,59	21,1
1984/85	388	12249673	1103	1,103	37485409,97	32,7
1985/86	246	7766069	931	0,931	31640400	24,5
1986/87	301	9495230	1165	1,165	39603200	24,0
1988/89	81	2548935	601	0,601	20437400	12,5
1990/91	319	10060121	765	0,765	25993000	38,7
1991/92	54	1693578	540	0,540	18360000	9,2
1992/93	44	1380986	558	0,558	18965200	7,3
1993/94	146	4590396	720	0,720	24469800	18,8
1994/95	46	1443920	336	0,336	11424000	12,6

799

MEDIA= 28,3

ANEXO 17

Cálculo del coeficiente de infiltración a partir del balance de Thornthwhite, suponiendo que la escorrentía es despreciable, a partir de datos mensuales de precipitación en la estación de El Tempul y de temperaturas en la estación del embalse de los Hurones

Capacidad de Campo de 25 mm				
	P(mm)	ETR (mm)	LLUVIA ÚTIL (mm)	C.I. (% P)
1989	806,6	284,8	521,8	64,7
1990	764,5	350,5	414	54,2
1991	540	450,9	89,1	16,5
1992	557,8	430,2	127,6	22,9
1993	719,7	332,1	387,6	53,9
1994	336	255,2	80,8	24,0
			Media	39,4
Capacidad de Campo de 50 mm				
	P (mm)	ETR (mm)	LLUVIA ÚTIL (mm)	C.I. (% P)
1989	806,6	334,8	471,8	58,5
1990	764,5	375,5	389	50,9
1991	540	475,9	64,1	11,9
1992	557,8	456	101,8	18,3
1993	719,7	357,1	362,6	50,4
1994	336	280,2	55,8	16,6
			Media	34,4

ANEXO 18

**Hidrogramas obtenidos para el periodo modelizado por años
hidrológicos**

