

ESTUDIO PARA LA REGULACIÓN Y GESTIÓN
DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÁNEOS DEL SISTEMA ACUÍFERO
"MEDIODÍA" (ALICANTE)

1ª FASE
DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN
HIPERANUAL DE DESCARGA

TOMO I/IV

MEMORIA

Empresa consultora: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE
RECURSOS NATURALES, S.A. (IDRENA)

Octubre de 1989

31933

SUPERPROYECTO : AGUAS SUBTERRÁNEAS		Nº : 9005 (art. 6)
PROYECTO AGREGADO : ASESORAMIENTO A ORGANISMOS DE CUENCA Y COMUNIDADES AUTÓNOMAS		Nº : 335
TÍTULO PROYECTO : PROYECTO PARA EL APOYO A LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS EN LAS CUENCAS DEL SEGURA (MURCIA) Y JÚCAR (COMUNIDAD VALENCIANA). 1ª Fase (1989-90)		
Nº PLANIFICACIÓN : 383/89	Nº DIRECCIÓN AGUAS : 13/89	
FECHA EJECUCIÓN INICIO : 1 Octubre 1989	FECHA EJECUCIÓN FINALIZACIÓN : 31 Marzo 1990	
INFORME : ESTUDIO PARA LA REGULACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DEL SISTEMA ACUÍFERO "MEDIODÍA" (ALICANTE). FASE 1ª : DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN HIPERANUAL DE RECARGA Y DESCARGA DEL SISTEMA ACUÍFERO		
CUENCA HIDROGRÁFICA : JÚCAR		
COMUNIDAD AUTÓNOMA : COMUNIDAD VALENCIANA		
PROVINCIAS : ALICANTE		

ÍNDICE

1.	ENTRADAS AL SISTEMA ACUÍFERO	Pág. 2
1.1.	DATOS CLIMÁTICOS DE BASE	" 4
1.2.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO	" 5
1.3.	RESULTADOS OBTENIDOS	" 8
2.	SALIDAS NATURALES DEL SISTEMA ACUÍFERO	" 21
2.1.	PUNTOS DE EMERGENCIA	" 23
2.1.1.	Fuente Bolata	" 23
2.1.2.	Fuentes de Sagra	" 24
2.1.3.	Galería de La Cava	" 24
2.1.4.	Fuentes en el Cuaternario del río Girona	" 25
2.2.	DATOS ORIGINALES DE CAUDALES DE EMERGENCIA	" 28
2.2.1.	Series brutas disponibles	" 28
2.2.2.	Primer tratamiento	" 29
2.3.	ANÁLISIS DE LOS DATOS	" 30
2.3.1.	Fiabilidad	" 30
2.3.2.	Representatividad	" 31
2.4.	GENERACIÓN DE LAS SERIES DE TRABAJO	" 36
2.4.1.	Planteamiento	" 36
2.4.2.	Metodología: objetivo y líneas generales	" 36
2.4.3.	Justificación de la metodología	" 38
2.4.4.	Reconstrucción de las series	" 39

2.4.5. Características de la serie representativa de la descarga total del sistema acuífero Mediodía	Pág. 69
3. ESTUDIO DE DECONVOLUCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS	" 78
3.1. METODOLOGÍA APLICADA	" 80
3.2. PROCESO DE CALIBRADO DE LA DECONVOLUCIÓN	" 82
3.2.1. Elección de paso de tiempo	" 82
3.2.2. Caudales máximos	" 83
3.2.3. Periodo de calado	" 85
3.2.4. Identificación de la entrada E	" 86
3.3. CÁLCULO FINAL DE LA DECONVOLUCIÓN	" 89
3.3.1. Resultados	" 89
3.3.2. La función ϕ	" 93
4. RESUMEN Y CONCLUSIONES	" 96

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 :	Esquema de situación	Pag. 27
Fig. 2 :	Reconstrucción de la serie de caudales Cava+Bolata+Sagra. Periodo 01/May/75-19/Nov/75	" 44
Fig. 3 :	Id. Periodo 01/May/76-04/Ene/77	" 46
Fig. 4 :	Id. Periodo 19/May/77-02/Dic/77	" 48
Fig. 5 :	Id. Periodo 01/Feb/78-18/Oct/78	" 50
Fig. 6 :	Id. Periodo 17/Ene/79-04/Nov/79	" 52
Fig. 7 :	Id. Periodo 26/Abr/81-30/Dic/81	" 55
Fig. 8 :	Id. Periodo 23/Mar/82-01/Nov/82	" 57
Fig. 9 :	Id. Periodo 01/Feb/83-26/Nov/83	" 60
Fig. 10:	Id. Periodo 20/Feb/85-12/Nov/85	" 62
Fig. 11:	Correlación Cava+Bolata/Sagra	" 65
Fig. 12:	Correlación Cava+Bolata/Cuaternario Girona	" 68
Fig. 13:	Cava+Bolata+Sagra. Caudal descargado en conjunto	" 70

Fig. 14:	Sistema acuífero Mediodía. Salidas naturales totales estimadas	Pág. 71
Fig. 15:	Deconvolución entradas/salidas: INF en Fontilles, salidas totales rec.	" 90
Fig. 16:	Sistema acuífero Mediodía. Generación de la serie hiperanual de salidas naturales totales	" 91
Fig. 17:	Deconvolución entradas/salidas: INF en Fontilles, Cava+Bolata+Sagra s.c.	" 94
Fig. 18:	Respuesta impulsional en el S. A. Mediodía	" 95

En el presente informe, primero de los correspondientes al ESTUDIO PARA LA REGULACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN EL SISTEMA ACUÍFERO MEDITERRANEO, se da cuenta del desarrollo de los trabajos realizados y de los resultados obtenidos durante la primera fase de la investigación, que ha tenido por objeto la DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN HIPERANUAL DE RECARGA Y DESCARGA DEL SISTEMA.

De forma simultánea a los trabajos de los que en este informe se da cuenta, se ha efectuado una actualización de los conocimientos hidrogeológicos en relación con el sistema, consistente fundamentalmente en la realización de trabajos de cartografía hidrogeológica a escala 1:25.000, definición geométrica, inventario de puntos de agua, estimación de las demandas ligadas al sistema, etc., investigación cuyo desarrollo y resultados son objeto del correspondiente informe.

1. ENTRADAS AL SISTEMA ACUÍFERO

El presente capítulo tiene por objeto la evaluación de distintas opciones de estimación de la recarga unitaria del sistema acuífero Mediodía (S.A.M.), que se considera originada de forma prácticamente exclusiva en la infiltración de lluvia útil caída sobre su área de recarga.

El peculiar régimen de precipitaciones, característico del clima mediterráneo imperante en la zona del Estudio, hace necesario la consideración de valores diarios, como mínimo, de lluvia y evaporación. En efecto, la habitual concentración en menos de 10 días de cada año de más del 50 % de la precipitación total anual, hace que carezca de representatividad la utilización de valores mensuales.

La elección del método empírico a utilizar en la estimación de la lluvia útil diaria ha estado condicionada por la disponibilidad de los necesarios datos climáticos.

La estación meteorológica completa más próxima a la zona del Estudio (aeropuerto de Alicante, en El Altet-Elche) resulta excesivamente alejada para un estudio de correlación entradas-salidas que, en principio, se pretende con paso de tiempo diario. Ello impide aplicar el método de Penman, el más recomendable de los empíricos de aplicación asequible, y obliga a hacer uso del más sencillo método de Thornthwaite, para lo que sólo son necesarios registros termopluviométricos.

1.1. DATOS CLIMÁTICOS DE BASE

La estación termopluviométrica en funcionamiento mejor situada en relación con el ámbito de recarga del S.A.M. es la de Tormos, pero sólo existen datos de precipitación en ella a partir de Febrero de 1974 (los de temperatura comienzan en Enero de 1977), lo que resulta inútil de cara al objetivo del Estudio (generación, por extensión, de una serie hiperanual de entradas y salidas al sistema acuífero).

Para la estación termopluviométrica de Vall de Laguart-Fontilles, situada inmediatamente al Sur del S.A.M., se dispone de datos termopluviométricos diarios completos a partir del mes de Octubre de año 1962, lo que supone un registro continuo y en principio fiable de 26 años de duración: periodo 1962/63-1987/88. Los valores medios característicos son los siguientes:

- Precipitación media anual 781,4 mm
- Temperatura media anual 17,44 °C

En los cuadros de datos y resultados del cálculo de evaporación y lluvia útil, que se incluyen en el ANEXO I (Tomo II/IV), están indicados los valores diarios de precipitación y temperatura media correspondientes al periodo mencionado. En la última hoja de dicho anexo y en los cuadros-resumen que van intercalados en el apartado 1.3. se indican también los valores medios mensuales de precipitación y temperatura media para el promedio del periodo.

1.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para la aplicación del método de Thornthwaite a la serie termopluviométrica disponible con objeto de estimar los valores diarios de evaporación y lluvia útil, y para la descomposición de ésta entre infiltración y escorrentía, se ha aplicado el programa THORDOS (*), cuyos principios de base son los siguientes:

- Se calculan los valores diarios de la evaporación potencial, de forma similar a como en los cálculos tradicionales se suelen determinar los valores mensuales de la misma.
- Se realizan balances diarios en los que se hacen intervenir las siguientes magnitudes:
 - reserva almacenada en el suelo al final del día anterior,
 - precipitación registrada en el día, y
 - evaporación potencial diaria.
- A diferencia de lo que sucede en los cálculos tradicionales, en los que adoptado un determinado valor fijo para la reserva útil máxima del suelo (**RMAX**), se considera que no se produce lluvia útil (parte de la precipitación que escapa a la evaporación) hasta que la mencionada reserva se encuentre al completo, el programa THORDOS adopta un planteamiento más realista, propuesto por G. GIRARD (**), que en síntesis implica:
 - adoptar dos parámetros extremos (**RMIN** y **RMAX**) para caracterizar la reserva útil de agua almacenable en el suelo;
 - aceptar que si al finalizar el día anterior la reserva contenida en el suelo presentaba un valor comprendido entre **RMIN** y **RMAX**, se producirá una cierta descomposición de la lluvia (**P**) que, en su caso, se registrase en el día, entre una parte

(*) IDRENA, 1988

(**) ORSTOM, Francia

destinada a aumentar dicha reserva, y un resto equivalente a la lluvia útil del día (LU);

- suponer que sólo cuando la reserva de agua contenida en el suelo sea inferior a **RMIN** se destinará a ella la totalidad de la precipitación registrada (hasta que se alcance dicho tope mínimo); por el contrario, toda la precipitación se convertirá en lluvia útil cuando la reserva de agua en el suelo se encuentre en su valor máximo **RMAX**; y
- admitir que la evaporación real (**ETR**) tiene lugar, hasta el máximo representado por el valor potencial calculado para la misma, a expensas de la reserva de agua almacenada en el suelo, después de que la misma se haya visto aumentada, en su caso, con una parte de la precipitación registrada en el día.
- La descomposición local de la lluvia útil entre infiltración (**INF**) y escorrentía (**ESC**) se hace de forma regresiva hasta un tope de 35 mm para la infiltración máxima diaria.

Además de los correspondientes registros diarios de precipitación y temperatura media, los datos a suministrar al programa son:

- Índices F de iluminación mensual, expresados en unidades de 12 horas.
- Valores supuestos para **RMIN** y **RMAX**, fijados en función de la naturaleza y grado de desarrollo del suelo vegetal.
- Valor estimado para la reserva inicial (**RINI**) del suelo, fijado teniendo en cuenta la pluviosidad de los días inmediatamente anteriores al de comienzo del periodo de cálculo.

El programa **THORDOS** ofrece distintas posibilidades de presentación de resultados. La que en esta aplicación se ha elegido comprende la serie de valores diarios de:

- precipitación y temperatura media, datos utilizados en el cálculo;
- evapotranspiración potencial (**ETP**);

- evapotranspiración real (ETR);
- lluvia útil (LU);
- infiltración local (INF);
- escorrentía local (ESC); y
- reserva de agua contenida en el suelo al final de cada día (RFIN).

1.3. RESULTADOS OBTENIDOS

En el ANEXO I se incluye un listado completo de datos, junto con los resultados correspondientes a la aplicación del programa THORDOS que según se señala en el capítulo 3. del presente informe, ha resultado ser la que mejor refleja el régimen de recarga y reproduce el de descarga del S.A.M. Dicha solución está caracterizada por los siguientes parámetros característicos de la reserva de agua almacenable en el suelo:

- RMIN = 25,0 mm
- RMAX = 90,0 mm
- RINI = 0,0 mm

(la lluvia registrada en Agosto y Septiembre de 1962 fue de sólo 42,5 mm)

Los resultados medios anuales correspondientes a la mencionada opción de cálculo, seleccionada como resultante del estudio de recarga por infiltración de lluvia útil, son los siguientes:

- ETP = 905,8 mm
- ETR = 366,6 mm
- LU = 412,7 mm
- INF = 227,5 mm
- ESC = 185,2 mm

En el cuadro-resumen adjunto se indican los valores medios mensuales de los datos y de los resultados correspondientes a la mencionada solución.

A título meramente comparativo se ha realizado una opción de cálculo clásica en cuanto al funcionamiento y valor característico de la reserva de agua almacenable en el suelo, adoptando para RMIN y RMAX un mismo y único valor de 100 mm.

Los valores medios anuales resultantes son:

FONTILLES

RMIN = 25.0 mm RMAX = 90.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 54.7

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	35.44	70.28	34.28	36.00	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	30.01	59.12	31.22	27.90	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	21.32	74.77	40.36	34.41	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.20	51.46	30.07	21.39	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	23.98	43.32	25.36	17.96	
MARZO	63.8	13.32	41.09	39.81	40.19	23.79	16.40	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	44.85	32.72	18.95	13.77	
MAYO	57.3	18.49	86.89	53.65	17.44	11.46	5.98	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	40.44	1.68	1.57	0.11	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.20	0.14	0.14	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.77	2.57	1.94	0.63	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	29.91	19.04	8.34	10.70	
AÑO	781.4	17.44	905.78	366.58	412.72	227.47	185.25	

- ETR = 419,2 mm
- LU = 358,5 mm
- INF = 182,4 mm
- ESC = 176,1 mm

Resulta destacable la importante subestimación (20 %) de la recarga unitaria (mm o l/m²) por infiltración de lluvia útil que deriva de la solución indicada.

En el cuadro-resumen adjunto se indican los valores medios mensuales de los datos y de los resultados correspondientes a la mencionada solución comparativa.

También se han realizado varias opciones más de aplicación del programa THORDOS, necesarias en el proceso de calibrado de la deconvolución. En los 9 cuadros adjuntos se incluye una síntesis de los resultados medios para el conjunto del periodo, de las pasadas siguientes:

- | | |
|------------------|-----------------|
| - RMIN = 0,0 mm | RMAX = 40,0 mm |
| - RMIN = 10,0 mm | RMAX = 60,0 mm |
| - RMIN = 20,0 mm | RMAX = 80,0 mm |
| - RMIN = 25,0 mm | RMAX = 80,0 mm |
| - RMIN = 30,0 mm | RMAX = 80,0 mm |
| - RMIN = 30,0 mm | RMAX = 85,0 mm |
| - RMIN = 30,0 mm | RMAX = 90,0 mm |
| - RMIN = 40,0 mm | RMAX = 80,0 mm |
| - RMIN = 40,0 mm | RMAX = 100,0 mm |

FONTILLES

RMIN = 100.0 mm RMAX = 100.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 97.2

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	37.99	53.86	23.98	29.88	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	30.20	52.90	25.60	27.30	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	21.87	69.34	34.87	34.47	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.97	50.70	28.43	22.27	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	25.00	39.62	21.14	18.48	
MARZO	63.8	13.32	41.09	41.03	36.59	20.14	16.45	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	51.49	29.06	14.29	14.77	
MAYO	57.3	18.49	86.89	68.26	14.93	8.58	6.35	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	63.37	0.04	0.04	0.00	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.46	0.00	0.00	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.93	0.00	0.00	0.00	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	31.62	11.44	5.37	6.07	
AÑO	781.4	17.44	905.78	419.19	358.47	182.43	176.04	

FONTILLES

RMIN = 0.0 mm RMAX = 40.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 17.2

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	29.47	92.39	45.40	46.99	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	23.17	71.22	37.10	34.12	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	17.45	83.61	45.18	38.43	
ENERO	72.3	10.64	22.55	18.27	56.45	32.96	23.49	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	18.86	48.46	27.44	21.01	
MARZO	63.8	13.32	41.09	25.75	44.01	25.27	18.74	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	30.85	42.85	25.20	17.65	
MAYO	57.3	18.49	86.89	33.62	26.96	18.07	8.89	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	23.82	9.60	7.52	2.08	
JULIO	7.9	25.70	161.91	6.72	1.95	1.51	0.44	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	13.30	10.01	7.27	2.74	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	20.51	31.46	14.83	16.63	
AÑO	781.4	17.44	905.78	261.77	518.97	287.75	231.22	

FONTILLES

RMIN = 10.0 mm RMAX = 60.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 32.2

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	33.46	82.42	40.37	42.05	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	27.66	64.53	33.83	30.70	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	20.01	79.20	42.84	36.37	
ENERO	72.3	10.64	22.55	20.33	53.54	30.97	22.57	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	22.62	45.68	26.37	19.31	
MARZO	63.8	13.32	41.09	33.64	41.26	24.01	17.25	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	37.36	36.28	20.71	15.57	
MAYO	57.3	18.49	86.89	43.62	20.86	13.39	7.46	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	31.66	4.47	3.67	0.79	
JULIO	7.9	25.70	161.91	8.36	0.70	0.59	0.10	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	15.79	5.55	4.01	1.55	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	25.98	25.20	11.17	14.03	
AÑO	781.4	17.44	905.78	320.49	459.68	251.92	207.75	

FONTILLES

RMIN = 20.0 mm RMAX = 80.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 47.2

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	34.95	74.12	36.26	37.86	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	29.74	60.60	32.05	28.55	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	20.67	76.20	41.29	34.91	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.20	52.18	30.43	21.76	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	23.52	43.99	25.72	18.27	
MARZO	63.8	13.32	41.09	38.66	40.40	23.73	16.66	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	42.43	33.12	19.02	14.09	
MAYO	57.3	18.49	86.89	50.97	18.18	11.90	6.28	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	37.45	2.28	2.12	0.15	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.01	0.26	0.26	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.59	3.32	2.46	0.86	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	28.86	20.89	9.27	11.63	
AÑO	781.4	17.44	905.78	354.05	425.54	234.51	191.03	

FONTILLES

RMIN = 25.0 mm RMAX = 80.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 49.7

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	35.21	73.16	35.42	37.74	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	29.81	60.08	31.58	28.50	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	20.83	75.93	41.03	34.89	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.20	52.16	30.33	21.83	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	23.74	43.65	25.33	18.32	
MARZO	63.8	13.32	41.09	39.08	40.28	23.54	16.74	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	43.11	32.53	18.43	14.10	
MAYO	57.3	18.49	86.89	51.90	17.61	11.23	6.38	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	38.88	1.82	1.69	0.13	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.16	0.16	0.16	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.74	2.93	2.19	0.74	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	29.35	20.17	8.78	11.39	
AÑO	781.4	17.44	905.78	359.01	420.48	229.71	190.77	

FONTILLES

RMIN = 30.0 mm RMAX = 80.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 52.2

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	35.44	72.29	34.60	37.69	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	29.87	59.55	31.15	28.40	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	21.00	75.64	40.72	34.92	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.20	52.15	30.11	22.04	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	23.95	43.28	24.92	18.36	
MARZO	63.8	13.32	41.09	39.42	40.15	23.30	16.86	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	43.82	32.00	17.94	14.06	
MAYO	57.3	18.49	86.89	52.66	17.12	10.69	6.44	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	40.38	1.41	1.30	0.10	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.27	0.09	0.09	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.84	2.61	1.92	0.69	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	29.76	19.50	8.35	11.14	
AÑO	781.4	17.44	905.78	363.61	415.79	225.08	190.71	

FONTILLES

RMIN = 30.0 mm RMAX = 85.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 54.7

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	35.56	70.82	34.19	36.63	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	30.00	59.09	30.95	28.14	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	21.22	75.06	40.31	34.75	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.20	51.80	30.12	21.68	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	24.07	43.14	25.04	18.11	
MARZO	63.8	13.32	41.09	39.75	40.10	23.42	16.68	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	44.73	32.09	18.16	13.94	
MAYO	57.3	18.49	86.89	53.50	17.06	10.90	6.16	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	41.14	1.35	1.25	0.09	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.28	0.08	0.08	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.85	2.43	1.79	0.65	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	30.04	18.93	8.19	10.74	
AÑO	781.4	17.44	905.78	367.35	411.95	224.39	187.57	

FONTILLES

RMIN = 30.0 mm RMAX = 90.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 57.2

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	35.69	69.39	33.46	35.92	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	30.01	58.63	30.82	27.81	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	21.54	74.49	39.85	34.64	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.20	51.44	29.95	21.49	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	24.19	42.99	25.04	17.95	
MARZO	63.8	13.32	41.09	39.94	40.04	23.58	16.46	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	45.76	32.20	18.43	13.76	
MAYO	57.3	18.49	86.89	54.36	17.00	11.00	6.00	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	41.89	1.30	1.21	0.09	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.30	0.07	0.07	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.86	2.27	1.66	0.60	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	30.28	18.38	8.11	10.27	
AÑO	781.4	17.44	905.78	371.02	408.18	223.19	184.99	

FONTILLES

RMIN = 40.0 mm RMAX = 80.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 57.2

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	35.82	70.61	33.10	37.52	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	29.98	58.54	30.12	28.42	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	21.32	75.05	40.18	34.88	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.20	52.16	29.94	22.22	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	24.23	42.64	24.14	18.50	
MARZO	63.8	13.32	41.09	39.76	39.84	22.57	17.27	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	45.48	30.92	16.88	14.03	
MAYO	57.3	18.49	86.89	54.10	16.56	10.06	6.50	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	43.08	0.76	0.73	0.03	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.42	0.01	0.01	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.92	2.16	1.52	0.65	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	30.37	18.26	7.86	10.40	
AÑO	781.4	17.44	905.78	371.68	407.53	217.11	190.42	

FONTILLES

RMIN = 40.0 mm RMAX = 100.0 mm

PERIODO 1962/63-1987/88 RINI = 0.0 RFIN = 67.2

MES	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)	INF (mm)	ESC (mm)	RFIN (mm)
OCTUBRE	126.0	18.49	67.96	36.61	64.90	31.30	33.60	
NOVIEMBRE	98.5	13.98	36.01	30.01	56.78	29.71	27.07	
DICIEMBRE	104.7	11.14	23.39	21.87	73.08	38.97	34.10	
ENERO	72.3	10.64	22.55	21.66	50.65	29.38	21.27	
FEBRERO	67.6	11.31	25.00	24.61	42.14	24.53	17.61	
MARZO	63.8	13.32	41.09	40.31	39.56	23.28	16.28	
ABRIL	74.2	15.03	53.92	48.08	31.71	18.00	13.71	
MAYO	57.3	18.49	86.89	58.51	16.32	10.60	5.72	
JUNIO	30.7	22.44	124.87	46.28	0.71	0.71	0.00	
JULIO	7.9	25.70	161.91	9.42	0.01	0.01	0.00	
AGOSTO	25.2	25.77	152.56	16.93	1.56	1.23	0.33	
SEPTIEMBRE	53.2	22.99	109.63	30.88	16.24	7.33	8.91	
AÑO	781.4	17.44	905.78	385.16	393.66	215.05	178.61	

2. SALIDAS NATURALES DEL SISTEMA ACUÍFERO .

En este capítulo, tras una breve referencia a las emergencias del sistema acuífero, se describe el proceso de elaboración de las series de caudales de descarga libre que se han utilizado en el estudio de correlación entre entradas y salidas del sistema por deconvolución.

2.1. PUNTOS DE EMERGENCIA.

La descarga del sistema acuífero Mediodía (S.A.M.), en el régimen que podría considerarse como no influenciado, tiene lugar a través de varios manantiales y de una galería de drenaje situados en los términos municipales de Tormos, Sagra, Ráfol de Almunia, Sanet y Negrals y Benidoleig. En subapartados sucesivos se describen estos manantiales, citados de más alto a más bajo en el sentido de circulación del agua subterránea.

En la Fig. 1 se representa un esquema con la situación relativa de las captaciones (con la excepción de las fuentes del Cuaternario del río Girona), conducciones de agua, con sus principales derivaciones, y secciones de aforos.

2.1.1. Fuente Bolata (nºIRH 3032/20010).

Situado en el término municipal de Tormos, muy cerca del núcleo urbano, es un manantial kárstico que surge en el cauce del barranco de su mismo nombre a una cota que oscila normalmente entre 99,5 y 100,7 m s.n.m., según que la salida de agua corresponda a un régimen de lluvias normal o torrencial. Su respuesta a la precipitación es muy rápida, de 1 a 3 días de desfase o incluso menos (en ocasiones la respuesta se produce en el mismo día), salvo que el manto esté muy deprimido por efecto de los bombeos, o después de un estiaje muy prolongado, en cuyo caso el desfase puede ser de varios días.

El caudal, como es lógico en un manantial de tipo kárstico, tiene picos muy altos (máximo de 21 m³/s según los registros existentes) y un régimen de agotamiento bastante rápido, agudizado por el efecto drenante de la galería de La Cava que capta el acuífero a una cota topográfica inferior a la de surgencia de Bolata. De hecho, la fuente se seca siempre en estiaje salvo en los años especialmente húmedos.

2.1.2. Fuentes de Sagra.

Esta denominación, que se mantendrá a lo largo del informe por razones de comodidad, incluye tres manantiales que surgen en ese término municipal. Sus denominaciones y cota de surgencia de agua son:

- Fuente del Lavadero (3032/20004), 94,07 m s.n.m.
- Fuente de Abajo (3032/20005), 92,35 m s.n.m.
- Fuente del Creisinal (3032/20006), 92,41 m s.n.m.

Estos tres manantiales son kársticos, con un régimen de descarga más regular y con picos de caudal mucho más moderados que la fuente de Bolata. En condiciones normales, su caudal conjunto oscila entre 0 l/s, habituales en estiaje, y 174 l/s, según los datos de las campañas de aforos realizadas en 1988 y 1989.

El agua de las tres fuentes se vierte al barranco de Bolata fuera de la temporada de riegos, mientras que, cuando hay demanda de los cultivos, se destina al riego en la zona de Sagra.

2.1.3. Galería de La Cava (3032/20010).

La denominada fuente de La Cava es en realidad una galería que tiene una longitud de unos 2 km, con su origen interior situado a la altura de Ráfol, y la boca junto al bco. de Bolata, en las inmediaciones de Sanet y Negrals. Aguas abajo de este punto, el canal de la galería continúa a cielo abierto en una longitud de unos 4 km hasta desembocar en el bco. de la Alberca, ya dentro del término municipal de Pedreguer. En el tramo drenante, que tiene aproximadamente 1 km de longitud, existen tres estaciones de bombeo de 41 l/s de capacidad cada una, que extraen agua para dotar regadíos en los términos de Ráfol, Benimeli y Sanet y Negrals.

La cota de lámina agua a la altura de la estación de bombeo de Ráfol era de 68,020 m s.n.m. en el mes de Noviembre de 1988.

Aunque esta valor corresponde al agua circulante por el canal, se puede estimar, en primera aproximación, que la galería tiene una cota media de drenaje del orden de 68 m s.n.m.

La construcción de la galería (año 1917), modificó el nivel de base de descarga del acuífero, fijado originalmente por las fuentes de Sagra y Bolata, situándolo unos 24 metros más bajo. Este cambio debió afectar sin duda al régimen de descarga de las fuentes citadas, no tanto a los picos subsiguientes a lluvias anormalmente intensas, como a la descarga media y al agotamiento, que deben tener ritmos de disminución más rápidos de los originales.

El caudal de La Cava oscila entre unos 500 l/s tras episodios de lluvias intensas y 0 l/s en periodos secos y, probablemente, afectada por bombeos en el acuífero. El caudal medio anual está comprendido entre 100 y 200 l/s. De estos valores se deduce un régimen bastante uniforme debido a las características de la captación.

2.1.4. Fuentes en el Cuaternario del río Girona.

Son cinco captaciones, manantiales o galerías, situadas aguas abajo de La Cava, en el Cuaternario aluvial del río Girona, junto al borde del S.A.M. por el Sur y Este.

- Fuente de Plans (3032/20078). Es un manantial-galería cuya cota de emergencia aproximada es de 70 m s.n.m.
- Molino Magnolia y Fuente de la Rueda (3032/20077). Se trata de dos surgencias separadas unos 15 m que se unen y se agregan a la fuente anterior. Su cota de surgencia aproximada es de 60 m s.n.m.
- Acequieta de Plans (3032/20076). Es una galería de unos 1.000 m longitud con una cota de surgencia de 60 m s.n.m. aproximadamente.
- Fuente Arroyo Trulléns (3032/20079). Nace en el mismo cauce del arroyo a una cota estimada de 60 m s.n.m.

- Margen Rojo (3032/30086). Es un manantial que surge a una cota aproximada de 48 m s.n.m.

Estas cinco surgencias han sido inventariadas recientemente de modo que sólo se tiene referencia de su caudal por 7 medidas realizadas por en 1989. De estos aforos se deduce un caudal variable entre 40 y 430 l/s en un año bastante húmedo.

ESQUEMA DE SITUACION

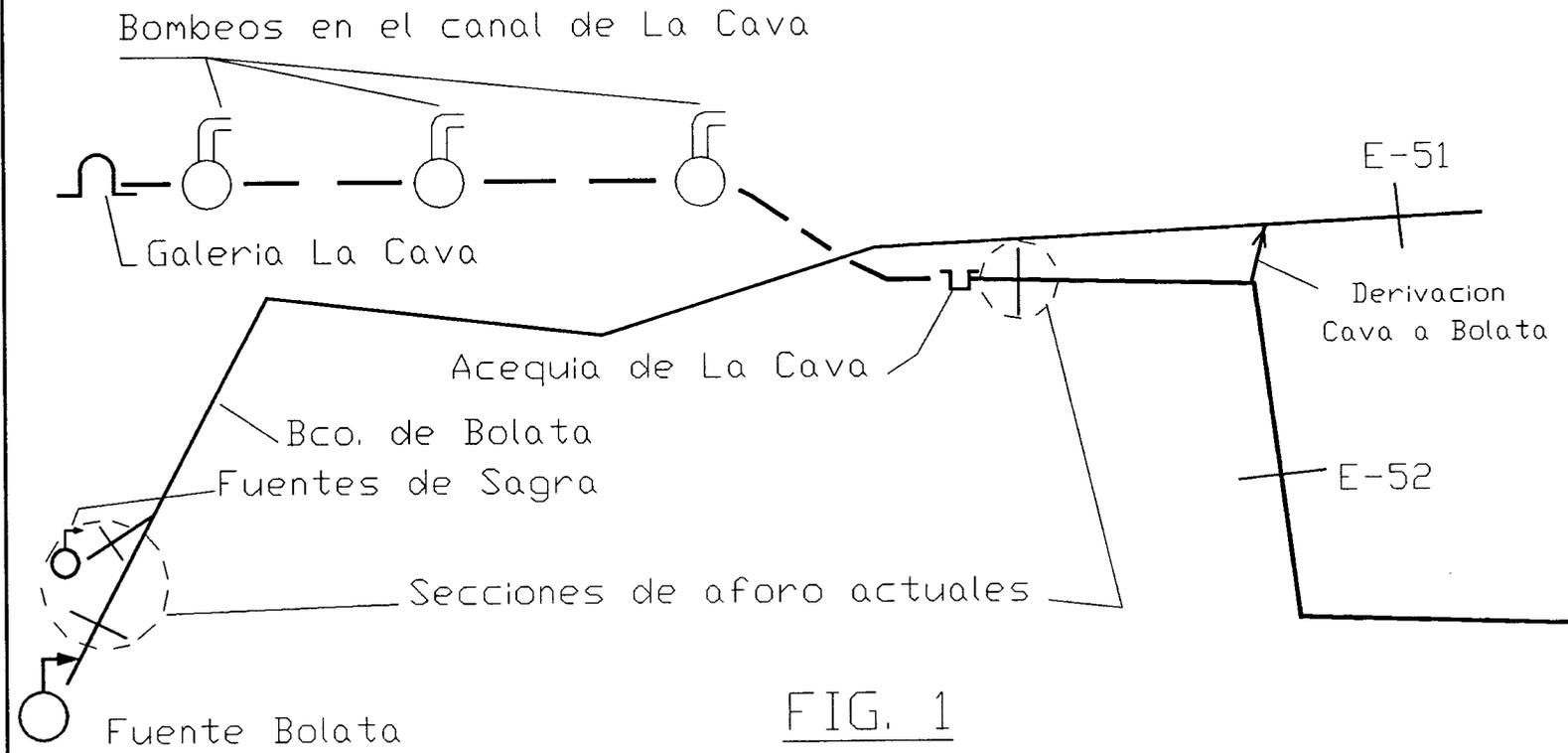


FIG. 1

2.2. DATOS ORIGINALES DE CAUDALES DE EMERGENCIA.

2.2.1. Series brutas disponibles.

Como punto de partida para establecer una serie de los caudales de emergencia del S. A. M., se dispuso de las siguientes series de datos:

- Registros continuos: estaciones de aforo.

En la zona del estudio existen dos estaciones de aforo, E-51 y E-52, pertenecientes a la red de control hidrométrico del ITGE en la cuenca del Júcar.

De la estación E-51 existen datos diarios de caudal y/o altura de lámina de agua en escala para el periodo comprendido entre el 01/10/74 y el 15/11/85. Las observaciones corresponden al caudal conjunto de las fuentes de Bolata y de Sagra para los intervalos de tiempo sin demanda de agua para riegos (normalmente desde finales de Octubre hasta principios de Mayo) dentro del periodo total citado. Durante la temporada de riegos, las observaciones sólo recogen los aportes procedentes de Bolata.

Los registros de la estación E-52 contienen datos diarios de caudal y/o altura de lámina de agua en la escala para el periodo no completo comprendido entre el 01/10/74 y el 28/02/89. Esta estación sólo controla las aportaciones de la galería de La Cava, aunque no completamente, debido al desvío ocasional de agua que se hace hacia el barranco de Bolata. Esta circunstancia, que afecta también a las observaciones de la estación E-51, se comenta en el apartado 2.3. donde se analiza la fiabilidad y representatividad de los registros de las dos estaciones de aforo.

- Registros discontinuos.

Existen datos puntuales de caudal correspondientes a aforos con molinete efectuados con periodicidad aproximadamente

mensual desde Julio de 1988 hasta Agosto de 1989. En total se dispuso de las siguientes medidas completas de caudal: 19 para La Cava, 16 para Bolata, 19 para Sagra y 7 para el Cuaternario.

2.2.2. Primer tratamiento.

Tal como se ha indicado en el párrafo anterior, los datos brutos diarios existentes de las estaciones de aforo de la galería de La Cava y del barranco de Bolata están compuestos, por una parte, por caudales deducidos de las alturas de lámina de agua en las escalas de las estaciones de aforo, y, por otra, por alturas de agua en escala, sin tratar.

En estas condiciones, la primera de las actividades emprendidas ha sido la de completado de las series de caudales para disponer de una serie básica de trabajo. Para ello, fue necesario reconstruir y extrapolar para valores altos y bajos, las curvas de gastos de las dos estaciones de aforo ya que una buena parte de las lagunas existentes eran alturas no convertidas, correspondientes a caudales que se salían del intervalo para el que están construidas las curvas originales.

De esta forma se completaron dos series de caudales diarios compuestas respectivamente por 5.120 registros para La Cava (periodo de 01/10/74 a 28/02/89 con lagunas en 16/11/85-09/04/86, 01-31/05/87 y 01-30/09/87), y por 4.064 registros para Bolata (periodo completo desde 01/10/74 hasta 15/11/85 coincidente con el de La Cava).

2.3. ANALISIS DE LOS DATOS.

El análisis realizado, centrado en las series de las estaciones de La Cava y Bolata, que suponen el grueso de las emergencias del sistema, puso de manifiesto la existencia de deficiencias tanto en la fiabilidad como en la representatividad de los datos brutos disponibles.

2.3.1. Fiabilidad

El primer problema que presentan los registros de La Cava y Bolata se refiere a la calidad intrínseca de los datos de lectura de la escala en las secciones de aforo correspondientes (E-51 y E-52 de la red de control hidrométrico del ITGE en la cuenca del Júcar), puesta ya de manifiesto en anteriores informes hidrométricos. La acequia de La Cava tiene el fondo recubierto de vegetación que, cuando se desprende o es arrancada por el agua, se acumula en una rejilla situada aguas abajo de la escala, provocando el estancamiento de agua y falseando las medidas de la altura que alcanza la lámina de agua en la escala. Aunque la sección y la rejilla se limpian de vez en cuando, circunstancia que se pone de relieve al observar los historiales, no hay un criterio general para diferenciar los registros correctos de los afectados, por lo que no pudo corregirse este efecto salvo en algunos tramos concretos que se mencionan más adelante (apartado 2.4.4.).

La estación de aforos del bco. de Bolata tiene sección variable para aguas altas y bajas: presenta alteraciones en la anchura y en la altura de lámina de agua por la presencia de piedras y el desarrollo y acumulación de abundante vegetación en el cauce. Debido a la irregularidad del régimen de las fuentes de Bolata y Sagra y a los intercambios de agua con La Cava, no se pudo identificar la distorsión provocada por esa circunstancia.

Probablemente, las mayores desviaciones que produce la defectuosa sección de Bolata se presentan en los registros correspondientes a grandes crecidas provocadas por lluvias torrenciales. En

efecto, la curva de gastos de la sección de aforos está construida con siete valores de caudal, medidos directamente con molinete, que varían entre 136 y 2.048 l/s. Este valor máximo, al que corresponde una altura en la escala de 34 cm, es el único punto de la curva de gastos para caudales superiores a 700 l/s. En consecuencia, por encima de este valor los caudales deben obtenerse por extrapolación del tramo superior de la curva de gastos, para cuyo trazado sólo se cuenta con un punto de apoyo.

Teniendo en cuenta la precariedad de la curva de gastos para caudales superiores a 700 l/s y los defectos de la sección de control (solera en cauce natural con abundante vegetación), las observaciones de la altura de lámina de agua por encima de los 34 cm (altura correspondiente al caudal máximo aforado), que se traducen en caudales de hasta 21 m³/s, ofrecen serias dudas en lo que se refiere a su fiabilidad.

Por lo que respecta a las medidas puntuales efectuadas en los años 1988 y 1989, no hay ninguna reserva ya que el error posible está dado por la tolerancia de los molinetes y este es un margen generalmente asumible.

2.3.2. Representatividad

El segundo problema concierne a la representatividad de los caudales medidos. Afecta sobre todo a las estaciones de Bolata y La Cava y, en menor medida, al grupo de manantiales del Cuaternario.

A. En el caso de las series de medidas de La Cava y Bolata, el origen de la falta de representatividad está en la relación que existe entre el canal de La Cava y el cauce de Bolata y la situación de las correspondientes escalas de las dos estaciones de aforo.

A la altura de Sanet y Negrals, el canal de La Cava, que ya está a cielo abierto, tiene una derivación hacia el barranco de Bolata que se regula mediante una compuerta, de manera que se puede

desviar total o parcialmente el agua de La Cava hacia el barranco. Esto sucede esporádicamente cuando se limpia la acequia de La Cava (derivación total) y habitualmente cuando hay excedentes (derivación parcial).

Pues bien, las dos secciones de aforo de las estaciones E-51 y E-52 están aguas abajo de esta derivación, lo cual ya desvirtúa "a priori" los caudales medidos en cada una de ellas e impide su consideración a título individual.

B. La serie de observaciones de la estación de Bolata (E-51) tiene tres efectos que influyen en su representatividad:

- 1º. El primero consiste en registrar paso de agua, incluso cuando el manantial de Bolata está seco y tampoco hay aportes de Sagra, bien porque estén secos los tres manantiales o bien porque se use todo el agua localmente. En estos casos, el agua tiene su origen en la mencionada derivación de agua desde la acequia de La Cava.
- 2º. Cuando no hay demanda para riegos, el agua de las fuentes de Sagra se vierte al Barranco. Es decir, como norma general, entre los meses de noviembre y abril (ambos inclusive), el agua que pasa por la estación E-51, además de una parte procedente de La Cava, es la suma del caudal de las fuentes de Bolata y Sagra. Por el contrario, en temporada de riegos, habitualmente de mayo a octubre, no hay aportes de las fuentes de Sagra al barranco ya que todo el agua se aplica a riegos en el entorno de esa localidad. Como los periodos de riego no son fijos, sino que dependen de la climatología, no se tiene ninguna referencia de cuándo hay aportes y cuándo no, de las fuentes de Sagra al barranco.
- 3º. Según las observaciones visuales efectuadas durante las campañas de aforos de 1988 y 1989, existe una pérdida apreciable de caudal entre el punto donde surge la fuen-

te de Bolata y la estación E-51. Esta pérdida, que no ha sido cuantificada, se debe a infiltración del agua a través del cauce del barranco, de tal manera que las observaciones de la estación E-51, al margen de cualquiera otra influencia parásita, proporcionan unos caudales siempre menores que los correspondientes a las surgencias reales de los manantiales de Bolata, o de Bolata más Sagra.

C. Por su parte, los registros de La Cava (E-52) tienen dos elementos de distorsión más que añadir al efecto de derivar parte de sus aportaciones al barranco que, por sí solo, da lugar a medidas por defecto. Estas dos alteraciones tienen importancia dispar y afectan de forma opuesta a los registros de caudales.

- La más importante de las dos es consustancial con el objetivo de esta captación, ya que es la producida por las extracciones que hacen las estaciones de bombeo acondicionadas en la propia galería, en su tramo inicial subterráneo situado, por tanto, aguas arriba de la escala. Como ya se ha señalado, estas estaciones de bombeo extraen agua de la que circula directamente por el canal, para su aplicación a riegos en los términos municipales de Ráfol, Benimeli y Sanet. El período de riegos va desde Abril a Octubre, con variaciones asociadas a la climatología: el calendario de bombeos es fijado previamente para toda la estación de riegos por los sindicatos de regantes de los tres pueblos. Evidentemente, la consecuencia de estos bombeos es que el caudal medido en la estación de aforos durante el periodo de riegos, que coincide con el de agotamiento de la emergencia, es menor que el real.
- La otra alteración se produce sólo cuando se seca la galería o su caudal es muy pequeño. En estos casos puede ocurrir que el canal se utilice para transportar

agua bombeada desde sondeos, dando entonces a registros de caudal falsos por exceso.

Como síntesis de lo anterior, se puede decir que las series de registros de caudales de la fuentes de Bolata y Sagra y de la galería de La Cava, consideradas en estado original e individualmente, tienen una fiabilidad dudosa y no son suficientemente representativas de los regímenes de descarga respectivos.

D. En el caso de las captaciones en el Cuaternario del río Girona, la duda que se planteó inicialmente se refería al origen el agua, es decir, no se trata de los datos de aforos, que son fiables, sino de la representatividad de la propia descarga, o dicho de otra manera, si pueden ser considerados como salidas del sistema acuífero Mediodía.

Por su situación, es probable que el agua drenada por estas captaciones tenga los siguientes orígenes:

- Recarga lateral subterránea desde el S.A.M.
- Retornos de riegos.
- Reinfiltración de excedentes de manantiales situados aguas arriba a través del cauce del barranco de Bolata.
- Infiltración de agua superficial desde el cauce del río Girona y sus afluentes.

En principio, no hay criterios para determinar cual es el origen predominante del agua subterránea. Sin embargo, hay una circunstancia, que unida a la observación de la pérdida de agua en el barranco de Bolata, puede resultar aclaratoria: según se observa en los aforos realizados, la evolución del caudal global de los manantiales del Cuaternario es concordante con la seguida por las emergencias del sistema acuífero Mediodía, aunque también parece haber una cierta influencia de los riegos.

Posteriormente, en los trabajos de reconstrucción de las se-

ries, se encontró una excelente correlación lineal entre el caudal global aforado en las captaciones controladas en el Cuaternario y la suma de los caudales de La Cava y Bolata. Parece claro, pues, que hay una tendencia general ligada al régimen de descarga del S.A.M.

2.4. GENERACION DE LAS SERIES DE TRABAJO

2.4.1. Planteamiento

El problema que se plantea inicialmente es reconstruir una serie de descargas que pueda ser asumida como representativa de las salidas naturales del S.A.M. para el estudio por deconvolución de la relación entre las entradas y salidas del sistema.

Según los resultados del análisis de datos llevado a cabo, está claro que no se pueden utilizar directamente las series brutas de caudales diarios disponibles porque los registros de las estaciones de aforo de la acequia de La Cava y del barranco de Bolata, consideradas individualmente, no son suficientemente representativas del régimen hidrogeológico de descarga de las captaciones cuyos caudales controlan.

Como la serie, más fiable, de aforos realizados en 1988 y 1989 es excesivamente corta y discontinua para establecer una correspondencia satisfactoria con las precipitaciones, se estableció un plan de trabajos destinado a reconstruir una serie de caudales diarios, suficientemente amplia, fiable y representativa de la descarga por emergencia del sistema.

2.4.2. Metodología: objetivos y líneas generales.

Teniendo en cuenta que las emergencias de La Cava, Bolata y Sagra constituyen el grueso de la descarga libre del sistema acuífero, el primer objetivo de la generación de series consistía en reconstruir una serie conjunta, compuesta por la suma de las series individuales de cada una de las estaciones de aforo, que tendría, por sí misma, suficiente entidad para ser utilizada como salida en los cálculos de correlación entradas/salidas por deconvolución.

Posteriormente, dentro del análisis de los datos proporcionados por los aforos de 1988 y 1989, se efectuó un estudio de corre-

lación estadística entre la suma de caudales de La Cava y Bolata y el caudal conjunto de las tres fuentes de Sagra, primero, y el caudal suma de las cinco captaciones del Cuaternario del río Girona, después.

Este estudio puso de relieve una excelente correlación en los dos casos, circunstancia que fue aprovechada para generar una nueva serie de descargas más completa (al menos en teoría) y aproximada a la descarga total del S.A.M., añadiendo a la serie reconstruida de La Cava+Bolata+Sagra las aportaciones calculadas para el Cuaternario con la correspondiente ecuación de ajuste.

De acuerdo con lo anterior, las líneas generales del plan de trabajos diseñado para el tratamiento de los datos pueden desglosarse en los pasos siguientes:

- 1º. Adopción, como serie de trabajo inicial, de la obtenida como suma de caudales diarios registrados en las estaciones de aforo E-51 (Bolata+Sagra) y E-52 (La Cava), serie CAVA+BOLATA+SAGRA (QCBS), para todo el periodo de coincidencia de dichos registros, que abarca toda la serie de Bolata+Sagra, es decir, desde el día 01/10/1974 hasta el día 15/11/1985.

Al unir las dos series de caudales se solventaba además uno de los principales defectos de los datos brutos, consistente en la falta de representatividad de las series individuales como consecuencia del paso de agua aleatorio del canal de La Cava al barranco de Bolata a la altura de la localidad de Sanet y Negrals.

- 2º. Tratamiento de la serie suma bruta anterior y reconstrucción de la serie conjunta CAVA+BOLATA+SAGRA(r) (QCBSr) con objeto de minimizar: el efecto causado por los bombeos de las estaciones situadas en el canal de La Cava y por los cortes en los vertidos de las fuentes de Sagra al barranco en la época de riegos, la afección

provocada por las extracciones de agua en sondeos, y otros efectos perturbadores menores (limpiezas, errores de lectura,..), mediante el estudio pormenorizado y la recomposición manual por tramos de la serie suma original.

- 3º. Reconstrucción de la serie de caudales CAVA+BOLATA (QCB) para el periodo 01/10/74-15/11/85, restando a la serie suma básica QCBSr los caudales diarios de SAGRA (QS) (conjunto de 3 fuentes), calculados a partir de la relación existente entre QS y QCBS, obtenida como modificación de la ecuación de ajuste encontrada en el análisis de correlación lineal entre las medidas aisladas de caudal realizadas en 1988 y 1989 para CAVA+BOLATA, por un lado, y la suma de las tres fuentes de SAGRA, por otro.
- 4º. Cálculo de la serie de 4.064 caudales diarios para las cinco fuentes del Cuaternario (QQ) aplicando a la serie QCB, deducida en el paso 3º, la ley de correlación existente entre los 7 pares de valores aislados de caudal del CUATERNARIO y de CAVA+BOLATA, medidos en las campañas de aforos de 1989.
- 5º. Reconstrucción de la serie de 4.064 caudales diarios CAVA+BOLATA+SAGRA+CUATERNARIO (QCBSC) para el periodo 1/10/74-15/11/85, representativa de las descargas totales del sistema acuífero Medio-día, sumando la serie de caudales QQ a la serie QCBSr.

2.4.3. Justificación de la metodología.

La justificación de una metodología aparentemente artificiosa para calcular la serie de caudales del Cuaternario (QQ), en vez de utilizar directamente la posible correlación existente entre la suma de caudales de Cava, Bolata y Sagra, y los caudales del Cua-

ternario empleando para ello los valores de los aforos puntuales realizados en 1989, está en el reciente conocimiento de que las aportaciones de las fuentes de Sagra se vierten al barranco de Bolata y, por tanto, están incluidas en los caudales aforados en la estación E-51.

En principio, se consideraba que la estación del barranco de Bolata sólo registraba, al margen de la interrelación con la acequia de La Cava, al agua procedente de la fuente Bolata, de manera que la suma de los registros de las dos estaciones de aforo correspondía a la suma de caudales de la galería de La Cava y de la fuente de Bolata.

Con esta referencia se efectuó una reconstrucción y generación progresiva de series de trabajo (Cava+Bolata original, Cava+Bolata(r) reconstruida, Cava+Bolata(r)+Sagra y Cava+Bolata(r)+Sagra+Cuaternario) y se realizaron los cálculos de deconvolución entradas/salidas.

El conocimiento de que la serie de caudales Cava+Bolata, base del estudio, era en realidad la suma CAVA+BOLATA+SAGRA obligó a reconsiderar la metodología utilizada en la generación de las series y a repetir una parte muy importante de los, por si mismos, laboriosos cálculos de deconvolución realizados.

Precisamente para aprovechar las series de caudales diarios CAVA+BOLATA+SAGRA ya reconstruidas y almacenadas en ficheros de cálculo informatizado, se utilizó el procedimiento indirecto de calcular la serie del Cuaternario a partir de la suma CAVA+BOLATA deducida según el procedimiento señalado en los pasos 3º y 4º descritos en el apartado anterior.

2.4.4. Reconstrucción de las series

2.4.4.1. Serie CAVA+BOLATA+SAGRA original.

La serie básica de partida QCBS se construyó por simple suma de las dos series de caudales diarios completados para las estaciones de aforo situadas en el canal de La Cava y en el cauce del bco. de Bolata. Con esta reconstrucción se absorbían teóricamente las variaciones artificiales que afectan a los registros de caudal de las estaciones de aforo de La Cava y Bolata como consecuencia del desvío de agua que se hace desde la acequia de La Cava hacia el barranco de Bolata mediante la compuerta situada aguas arriba de las dos secciones de control .

Esta serie abarca el periodo de 4.064 días comprendidos entre el 01/10/1974 y el 15/11/1985. En el Anexo II se incluyen todos los datos de esta serie junto con los de las demás series utilizadas en este trabajo. Igualmente, en la Fig. 13 se han representado las dos series, bruta y reconstruida, de caudales suma de La Cava, Bolata y Sagra.

2.4.4.2. Serie CAVA+BOLATA+SAGRA (QCBSr) reconstruida.

Tal como se ha dicho previamente, el objetivo fundamental de esta reconstrucción fue reducir al mínimo las perturbaciones causadas por los bombeos para riegos en la galería de La Cava y en sondeos que captan el acuífero, eliminar los errores de medida, y las variaciones anormales de caudal que se producen cuando hay desviación de agua desde la acequia de La Cava al barranco de Bolata, sin que exista ninguna razón aparente que las justifique (una explicación verosímil podría ser que las dos estaciones de aforo den medidas diferentes para un caudal circulante igual, debido a que el tarado de las dos estaciones no es homogéneo o a que hay una fracción del caudal circulante no controlado en alguna de las dos).

Aunque suavizado por la infiltración en el cauce del barranco de Bolata a causa de la distancia existente entre el punto de vertido y la estación de aforo E-51, el efecto que provocaría la detracción

del agua procedente de Sagra en la época de riegos, sería similar al de los bombeos. Por ello, se puede considerar que la serie básica reconstruida incluye de oficio las aportaciones de las fuentes de Sagra.

El efecto causado por las perturbaciones anteriores es, salvo excepciones puntuales, la medida de caudales por defecto, sobre todo en los periodos de estiaje. Con objeto de paliarlas en la medida de lo posible, se han introducido numerosas modificaciones en la serie original, tomando como referencia el laborioso análisis realizado y, en algunos casos, las observaciones reflejadas en los partes de control de alturas por el encargado correspondiente.

Las correcciones se han efectuado de forma manual, en unos casos asignando directamente valores cuando se trataba de pocos puntos o existían referencias muy claras para sumar valores constantes a periodos de tiempo cortos, y en otros, cuando el periodo considerado era muy amplio, calculando los nuevos valores con el apoyo de construcciones gráficas. Se utilizaron gráficos semilogarítmicos, con el tiempo (en días) en abscisas aritméticas y el caudal en ordenadas logarítmicas, con objeto de representar en forma de rectas (de manejo mucho más sencillo) las exponenciales de agotamiento.

CORRECCIONES DIRECTAS. Se han efectuado correcciones en los siguientes periodos de tiempo:

20/10/74. Sustitución del caudal anómalo por uno igual al de los días anterior y posterior.

28/01/75-01/02/75. Sustitución de valores anómalos, consecuencia de cambios de estación de aforos al pasar agua de La Cava a Bolata, por los correspondientes a una interpolación lineal entre los caudales de los días anterior y posterior al periodo.

21/01/76. Sustitución de un valor anómalo (error de medida en Bolata) por un caudal igual al del día anterior.

06/02/78. Sustitución de caudal por uno igual al de los días anteriores y posteriores.

19/10/78-06/01/79. Se añade al caudal suma diario una cantidad constante de 50 l/s que, según las anotaciones del observador, circulan por el barranco de Bolata sin ser controlados en la estación de aforos. Este agua es desviada desde la acequia de La Cava al barranco.

22-24/07/80. Sustitución del caudal de esos tres días por los correspondientes a la interpolación lineal entre los días 21 y 25. La causa de la anomalía es el cambio de escala por desviación de todo el agua hacia el barranco para reparación en La Cava.

12-22/01/81. Sustitución de una bajada anómala, incluso después de un día de lluvia, por un caudal constante igual al de los días anteriores y posterior.

14/02/81-11/03/81. Como consecuencia de un paso de agua de La Cava al barranco, se produce una caída anormal de caudal de 220 a 150 l/s, con el agravante de que el desvío se hace por haber llovido los días 10, 11, 12 y 13 Febrero. Se modifica sumando una cantidad constante de 100 l/s a todos los caudales del periodo. La razón para ello es que los valores resultantes concuerdan con los inmediatamente posteriores y dan lugar a una subida inicial que puede representar el efecto de las lluvias.

23/03/81. Se sustituye un valor anómalo por variación en el paso de agua de La Cava a Bolata, por uno concordante con los caudales de los días anteriores y siguientes al corregido.

01-22/04/81. El día inicial de este periodo se modifica el vertido de La Cava a Bolata y, en el cambio, el caudal sufre una disminución súbita de 100 l/s. Se restituyen los caudales de los 22 días sumándoles a todos 100 l/s.

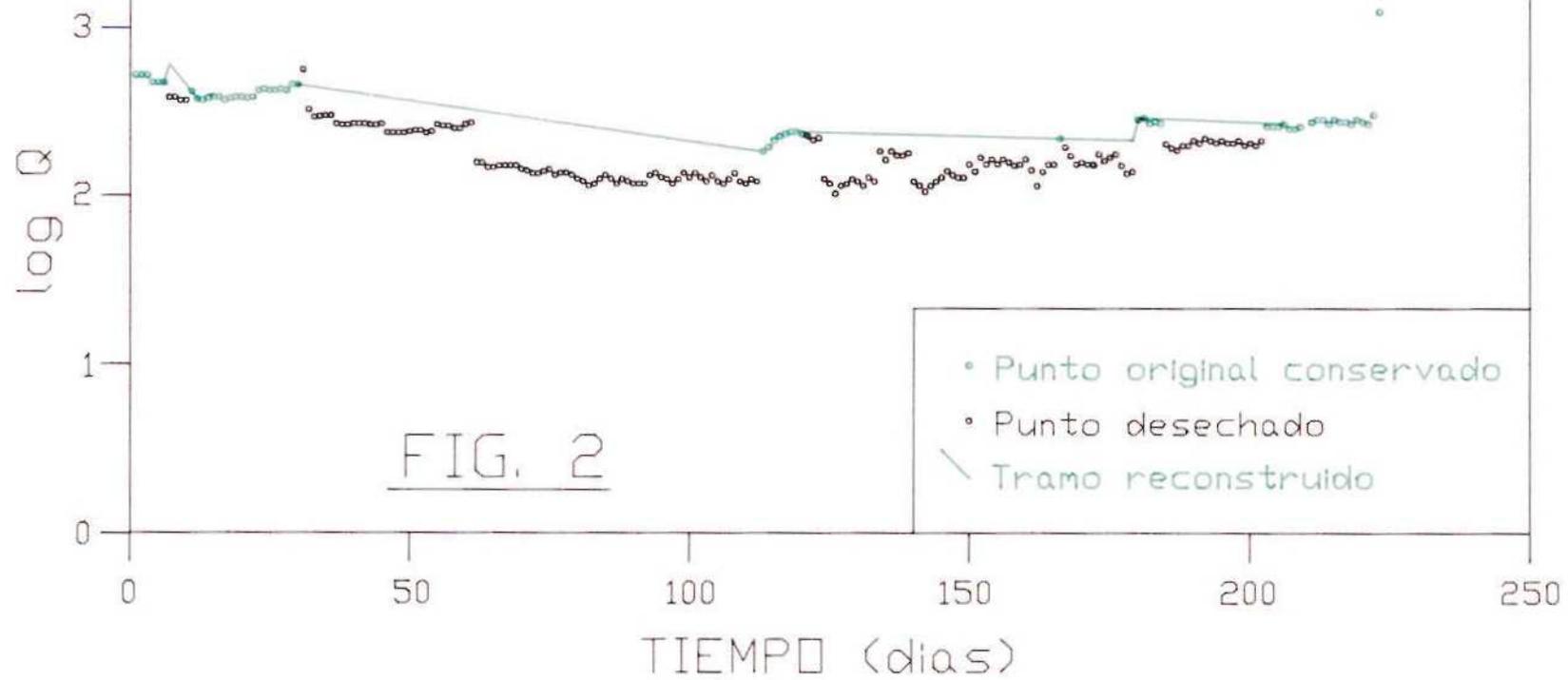
CORRECCIONES GRAFICAS. Por el procedimiento gráfico indicado anteriormente, se corrigieron 9 periodos de la serie suma CAVA+BOLATA de gran longitud (en número de días), que se describen a continuación por separado.

Como ilustración de los cambios introducidos se acompañan 9 figuras (desde la Fig. 2 hasta la 10). En ellas se representan por puntos en negro los valores de caudales que han sido sustituidos y en color los caudales que se han mantenido. Las líneas que han servido de base para las modificaciones de caudal se colorean igual que los puntos conservados. Por su parte, las fechas, precipitaciones y caudales referidos en los párrafos siguientes, están detallados en los cuadros mensuales que forman el Anexo II de este informe.

Periodo 01/05/75-19/11/75 (Fig. 2). En este periodo se han reconstruido los tramos que se describen seguidamente.

1. Se reconstruye un pico entre los días 7 y 10 de Mayo cuyos valores originales no son coherentes por la causa, ya mencionada, de la diferencia entre las estaciones de aforo al pasar agua de La Cava al barranco de Bolata. La reconstrucción se efectúa mediante una recta que es continuación en sentido inverso del descenso que se observa los días posteriores al 10 de Mayo.
2. Los días 1 de Junio y 1 de Julio hay dos descensos bruscos en el caudal que son motivados por las extracciones que se hacen en las estaciones de bombeo de La Cava. Este tramo se reconstruye según una línea de agotamiento que se apoya en los puntos representativos de los últimos días de Mayo y en el punto, correspondiente al día 21 de Agosto, en el que parece haber una parada en los bombeos, quizá debida a las lluvias.
3. Después del 21 de Agosto se conserva el tramo de subida y luego se reconstruye un nuevo tramo de agotamiento, para reemplazar una serie de puntos de caudales muy irregulares

RECONSTRUCCION DE LA SERIE DE CAUDALES CAVA+BOLATA+SAGRA
PERIODO 01/MAY/75 - 19/NOV/75



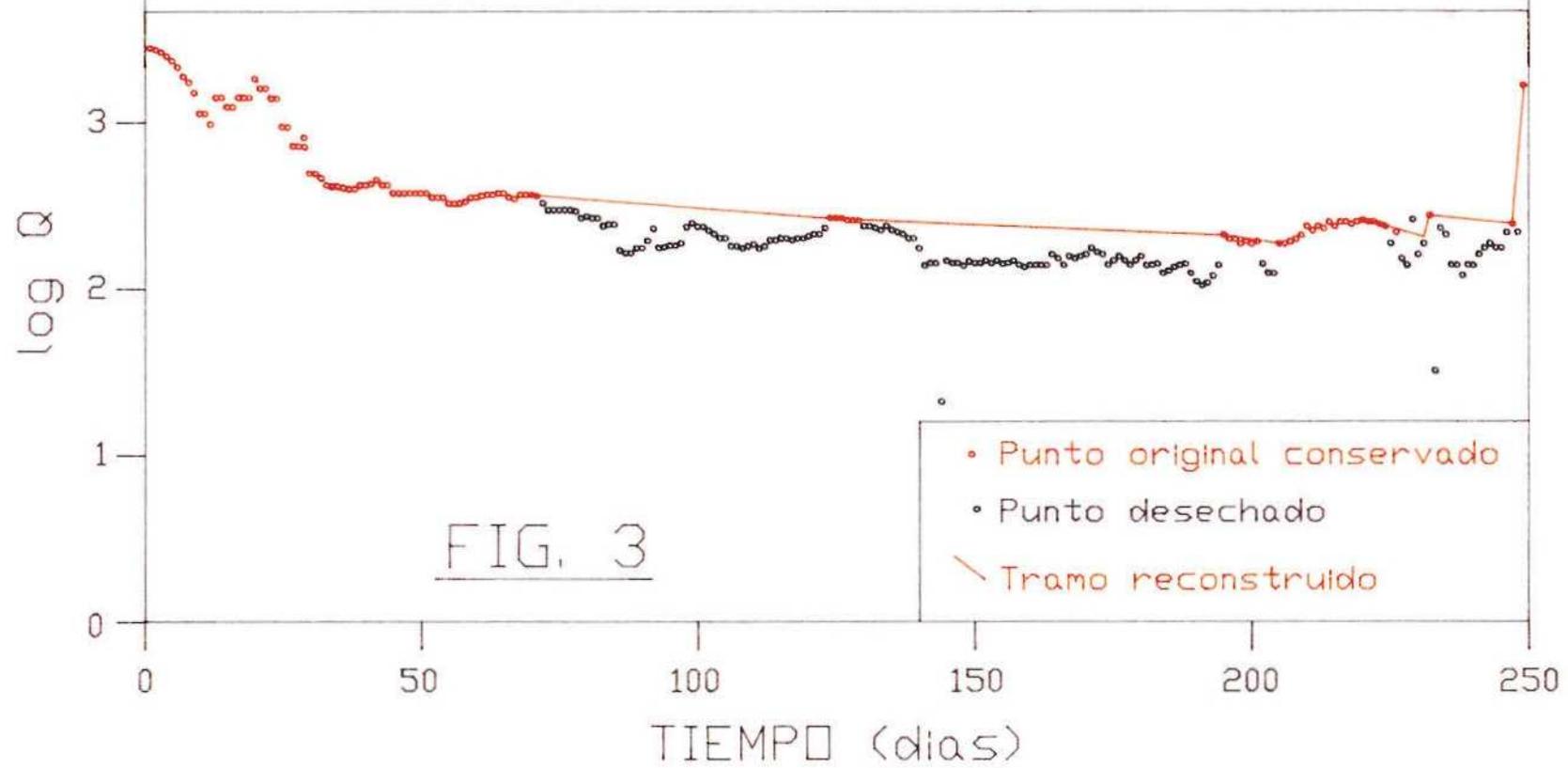
en los meses de Septiembre y Octubre. La línea representativa del agotamiento tiene su origen en el punto correspondiente al día 27 de Agosto, se apoya en el punto del 13 de Octubre y termina el día 26 de Octubre.

4. Por último, tras un pico correspondiente a lluvias intensas en los 5 últimos días de Octubre, se reconstruye un tramo formado por los 18 primeros días de Noviembre, en los que el caudal sufre una caída por el habitual desvío de agua de La Cava hacia el barranco después de lluvias. El inicio y el final de la recta reconstruida son los días 31 de Octubre y 19 de Noviembre, respectivamente.

Periodo 01/05/76-04/01/77 (Fig. 3). Aunque parece observarse una tendencia general al agotamiento, se ha modificado este periodo porque la subida que experimenta el caudal a primeros de Septiembre sólo puede ser atribuida a parada en los bombeos de La Cava: las lluvias de Agosto, además de producirse con bastantes días de antelación, no parecen ser lo suficientemente intensas para justificar la subida.

1. Se rehace, pues, un agotamiento lineal (en escala semilogarítmica) que comienza el 11 de Julio y termina en el máximo que comienza el 2 de Septiembre.
2. Seguidamente, se reconstruye otro tramo de agotamiento lineal desde el 6 de Septiembre al 11 de Noviembre, fechas que coinciden con caída y aumento súbitos de caudal sin mediar aportes de lluvia importantes, por lo que se han atribuido a los bombeos en La Cava.
3. Desde el día 17 de Septiembre de 1976 hasta el 4 de Enero de 1977 se corrigen altibajos de caudal que no tienen justificación aparente, ya que no hay riegos ni lluvias importantes. Se toman como referencia los puntos más altos de caudal. Al final se rehace un pequeño pico que correspondería a las primeras lluvias importantes de Enero y que no ha sido

RECONSTRUCCION DE LA SERIE DE CAUDALES CAVA+BOLATA+SAGRA
PERIODO 01/MAY/76 - 04/ENE/77



acusado en las observaciones directas.

Periodo 19/05/77-02/12/77 (Fig. 4). Una vez representado gráficamente este periodo, se vió que la repercusión de los bombeos en La Cava sobre el agotamiento teórico no era muy importante. No hay caídas ni recuperaciones bruscas y la recta trazada se parece mucho a la evolución de los caudales medidos. Se han modificado los tramos que se detallan a continuación.

1. Sólo se usa la recta para reconstruir un punto, día 4 de Agosto, en que el caudal medido es anormalmente pequeño y curiosamente coincide con una precipitación de 19 mm. Seguramente, la causa de este aparente contrasentido es el desvío de agua de La Cava hacia el barranco en previsión de lluvias intensas, con la variación de caudal que normalmente conlleva el desvío.
2. El siguiente tramo modificado es la reconstrucción de un pico que tiene lugar entre finales de Agosto y primeros de Septiembre. Este pico está falseado por el paso de agua que se hace desde La Cava al barranco cuando hay lluvias intensas. El proceso seguido para construir el pico fue continuar de atrás adelante la línea de agotamiento de los días 10 al 15 de Septiembre, llegar hasta el 29 de de Agosto y en este punto simular el pico trazando una línea descendente hasta el punto correspondiente al día anterior.

En la segunda quincena de Septiembre hay unas lluvias importantes (60 mm el día 17, 20 mm el 20 y 36 mm el 25) que no tienen reflejo en los caudales observados, que presentan unas oscilaciones poco lógicas. Se ha hecho una reconstrucción adaptando los picos a las subidas de caudal (cuando está clara la subida) o bien, trazando una línea recta en sentido inverso cuando parecen más claros los puntos que insinúan descenso.

3. Hay un primer pico que se hace corresponder a la suma de las lluvias de los días 17 y 20 (60 y 20 mm respectivamente). Se

RECONSTRUCCION DE LA SERIE DE CAUDALES CAVA+BOLATA+SAGRA
PERIODO 19/MAY/77 - 02/DIC/77

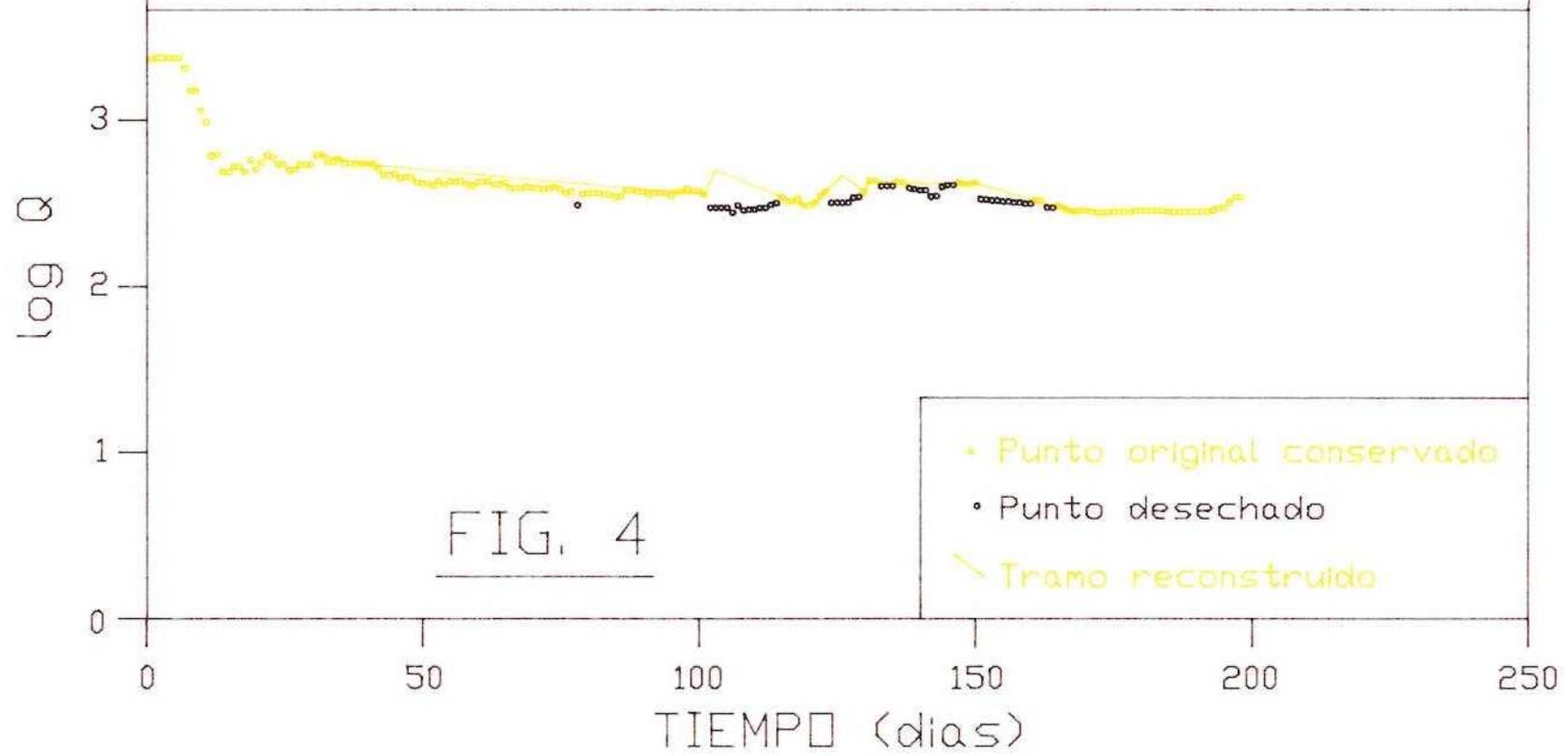


FIG. 4

reconstruye partiendo de la línea ascendente marcada por los puntos de los días 15, 16, 17 y 18, con un máximo en la vertical del día 21 y un descenso hasta el día 25 de Noviembre, en que se enlaza con otro pico bien recogido por los datos originales.

4. El resto se reconstruye de acuerdo con la tendencia general, eliminando los altibajos que carecen de sentido después de las lluvias. Se termina trazando un agotamiento lineal en el mes de Octubre en sustitución de un salto brusco ilógico originado, como es habitual, por el desvío de agua de La Cava al barranco.

Periodo 01/02/78-18/10/78 (Fig. 5). En este periodo de tiempo se modificaron los valores de caudal correspondientes a los tramos que se mencionan seguidamente.

1. Un primer grupo de puntos (del 12 al 19 de Febrero) se sustituye por un tramo rectilíneo que proporciona valores menores de caudal. Esta reconstrucción a la baja se basa en que el tramo sustituido registra una subida sin causa aparente en el caudal de La Cava. Esta subida puede deberse a la acumulación de suciedad en la rejilla de La Cava tras una pequeña lluvia del día 10 de Febrero, porque el caudal vuelve al valor previo al ascenso después de una limpieza efectuada el día 20 de Febrero, hecho que se deduce de los cambios bruscos de caudal (de repente del día 20 no pasa agua por La Cava, siendo del caudal de 269 y 261 l/s los días anterior y posterior).
2. Entre el 22 de Marzo y el 5 de Abril se suprime una caída brusca de caudal, cuya causa podría ser algún bombeo en La Cava, sustituyéndola por una recta trazada prolongando el tramo de agotamiento continuado de los días precedentes del mes de Marzo.
3. Seguidamente hay un tramo con caudal 0 en La La Cava, que debería corresponder a un pico, ya que hay lluvias que lo

RECONSTRUCCION DE LA SERIE DE CAUDALES CAVA+BOLATA+SAGRA
PERIODO 01/FEB/78 - 18/OCT/78

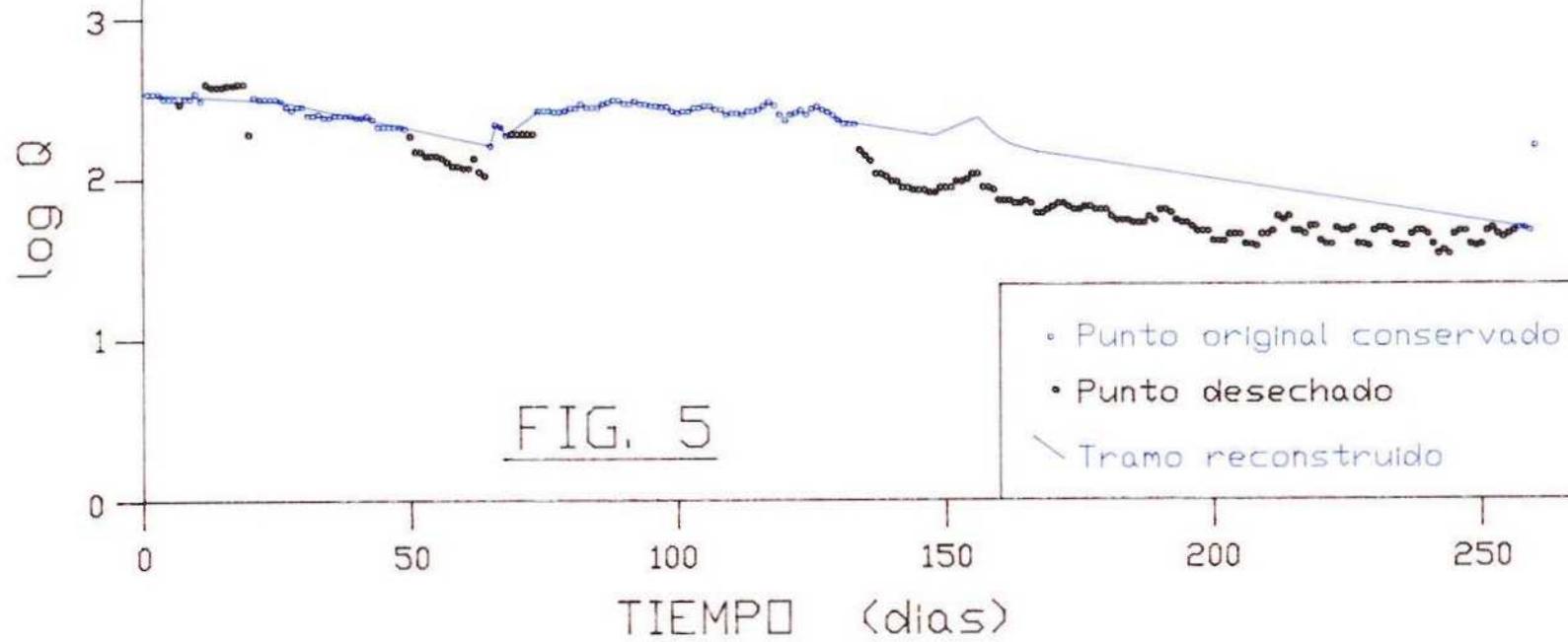


FIG. 5

justificarían, pero que a falta de mejor criterio se sustituye por un tramo rectilíneo ascendente ya que es una tendencia que se mantiene, aunque atenuada, en los días siguientes.

4. Finalmente se reconstruye un agotamiento general apoyado en los puntos correspondientes al día 13 de Junio y al día 16 de Octubre, respetando un pico subsiguiente a una lluvia intensa de 30 mm que tuvo lugar en 30 de Junio.

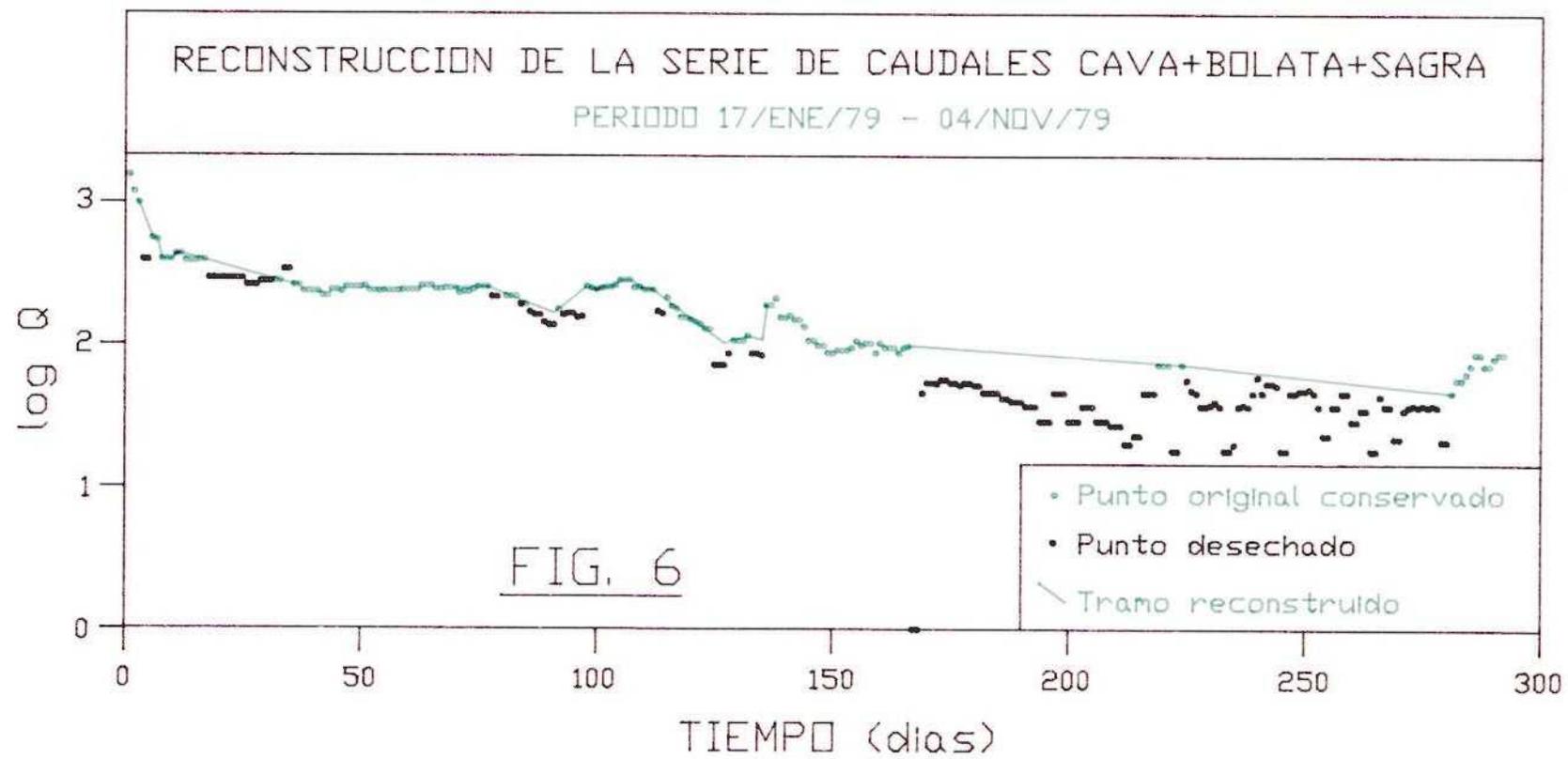
Periodo 17/01/79-04/11/79 (Fig. 6). Este periodo arranca de un estiaje acusado que se prolongó hasta el 7 de Enero de 1979, a pesar de lluvias intensas que tuvieron lugar en Octubre (56 mm el día 18 y 39 el 19) acusadas en el caudal de La Cava, Noviembre (103 mm el día 11) que no tuvieron repercusión apreciable en el caudal de La Cava, y Diciembre (44 mm entre los días 17 y 23) con repercusión sobre el caudal de La Cava aunque sin provocar, al igual que todas las anteriores, la surgencia de Bolata, que permaneció seca hasta el 7 de Enero.

La crecida que siguió a las lluvias de los días 5,6 y 7 de Enero (73 mm), reforzada por nuevas precipitaciones en los días 22 y 23 (59 mm), tuvo un agotamiento rápido, pues pasó de 2.156 l/s el 7 de Enero a 390 l/s el 31 del mismo mes. Esto parece indicar que las lluvias no fueron generalizadas sobre todo el área de recarga del acuífero.

Además, en este periodo el régimen de agotamiento fue más acusado que en años anteriores (caudales menores de 50 l/s a finales de Octubre), lo cual parece indicar que el acuífero tiene tendencia a acusar la progresiva disminución de la precipitación, la menor tasa de infiltración, y el incremento de extracción de agua por bombeo.

Los tramos reconstruidos se detallan seguidamente.

1. Los días 20 y 21 de Enero se sustituyen sus caudales, anormalmente bajos en el primer tramo de agotamiento tras el pico, por los deducidos por interpolación lineal entre los caudales



de los días anterior y posterior.

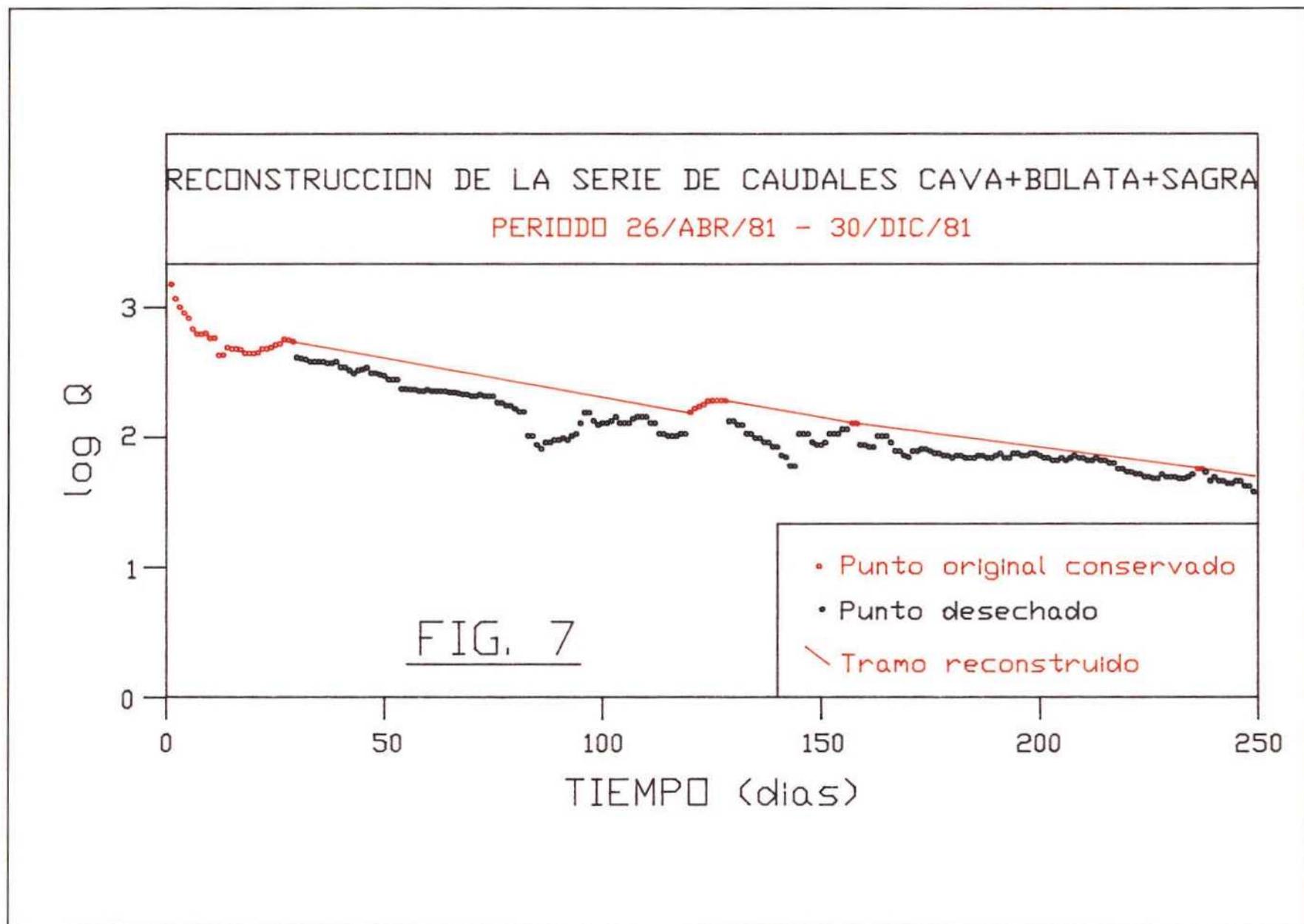
2. Entre el 3 y el 20 de Febrero se reconstruye un tramo de registros irregulares causados por el desvío de todo el agua hacia el barranco de Bolata para efectuar reparaciones en la acequia de La Cava. Se hace una reconstrucción lineal según una recta de agotamiento construida razonablemente con los puntos de los días anteriores y posteriores, con el apoyo intermedio de los caudales correspondientes a los días 17 y 18.
3. El mes de Abril de 1979 tiene unos registros irregulares tanto desde el punto de vista de tendencia general como de la continuidad diaria de las observaciones. La tendencia general supone un cambio de pendiente brusco con respecto a la evolución del mes anterior, iniciándose una línea de agotamiento rápido. Por otra parte, los caudales diarios tienen variaciones que no parecen debidas a la evolución natural por lo irregulares y poco lógicas que son. Todas estas anomalías parecen achacables, en principio, a la habitual interferencia que supone la modificación del paso de agua de la acequia de La Cava hacia el barranco de Bolata que conlleva un desequilibrio entre la medida del caudal circulante por las secciones de aforo respectivas. Con estas referencias se han reconstruido dos tramos: uno mediante el trazado de una recta de agotamiento entre los días 3 y 18 para eliminar un descenso demasiado pronunciado, y otro, suponiendo una línea continua de subida entre los días 18 y 24 como respuesta a una lluvia de 15 mm del día 15. Es posible que este segundo tramo reconstruido como una subida continua sea en realidad un pico, pero no hay referencias suficientes para restituirlo gráficamente como tal.
4. En el mes de Mayo, que registra el agotamiento total de Bolata, se conserva la tendencia general de agotamiento rápido hasta el día 23 sustituyendo los puntos que se salen de esa tendencia (días 9, 10, 21, 22 y 23) por los correspondientes

a la recta .

5. Respetando la evolución de los caudales observados, aunque no su valor, se toma como punto más bajo del agotamiento citado en el párrafo anterior el del día 23. A partir de él, se reconstruye un pequeño tramo ascendente rectilíneo, que modifica el caudal del día 24 y enlaza con la tendencia a la subida de los días siguientes (25, 26, 27 y 28). Este pico retrasado podría ser el correspondiente a la precipitación del día 19 (19 mm).
6. Después del día 24 se reconstruye un pequeño tramo lineal de vaciado paralelo a la línea que siguen los puntos correspondientes a los caudales observados (días 29, 30 y 31), enlazando seguidamente con el pico subsiguiente a la lluvia del día 31 (34 mm).
7. Durante el mes de Junio, que se conserva completo, no se aprecian efectos de bombeos con nitidez, tal vez como consecuencia de que el día 14 precipitaron 62 mm de lluvia que, enlazando con la del 31 de Mayo, pudo suplir totalmente o en parte los riegos con agua de La Cava.
8. Es a partir del 1 de Julio cuando se observa el impacto claro de los bombeos que ya afectan a las salidas hasta las lluvias de finales de Octubre que, lógicamente señalan el final de los riegos. El agotamiento se reconstruye según dos grandes tramos rectos que, siguiendo la tendencia del mes de Junio, se apoyan en los puntos correspondientes a los días 23, 24, 25 y 28 de Agosto y terminan el día 24 de Octubre.

Periodo 26/04/81-30/12/81 (Fig. 7). Este periodo es prácticamente un agotamiento continuo que tiene su origen en un punta de caudal por lluvias importantes en el mes de Abril de 1981 (135 mm entre los días 14 y 21).

1. El primer tramo reconstruido empieza a partir del día 24 de Mayo en que hay una caída brusca de caudal que señala el

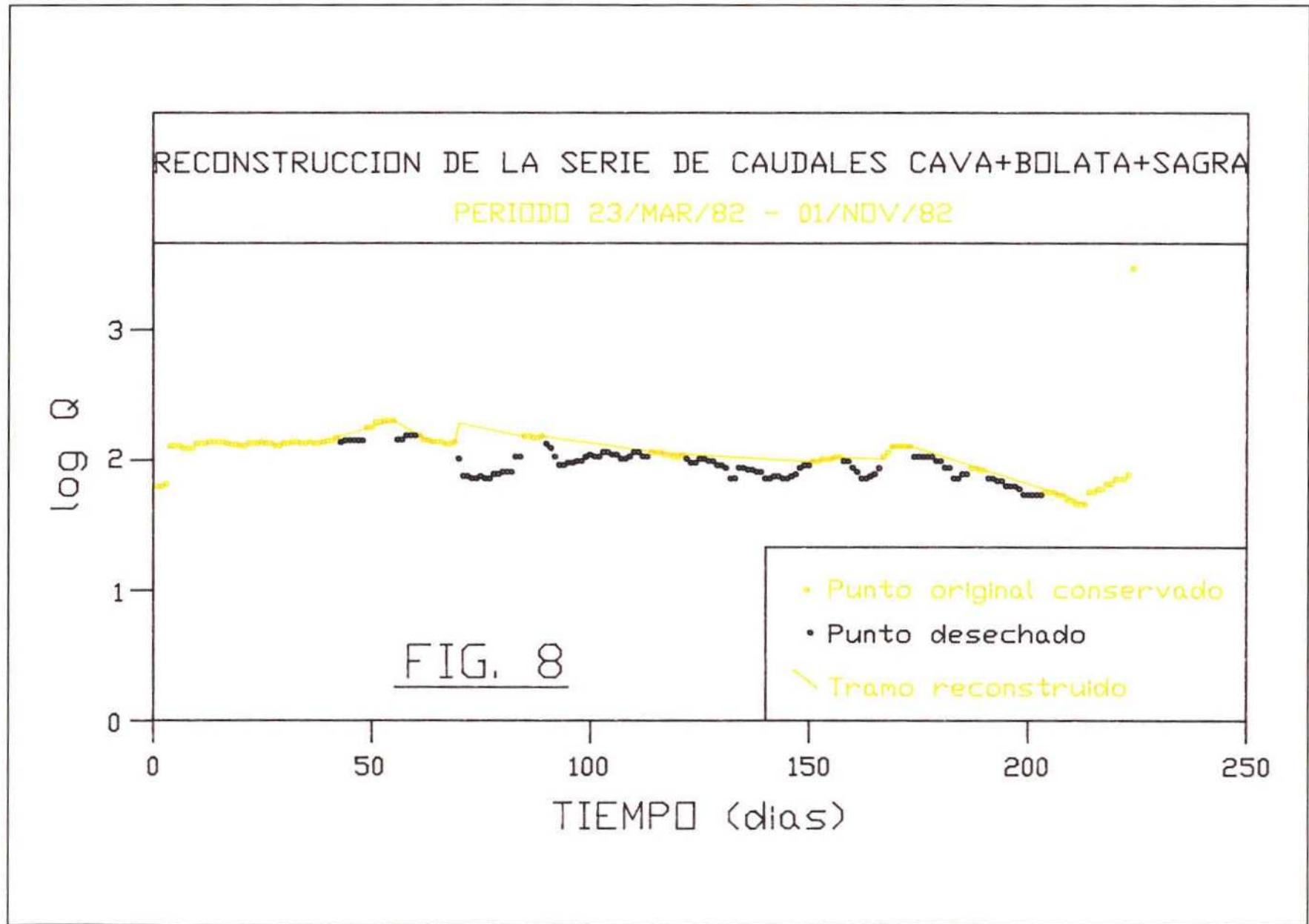


comienzo de los bombeos en el canal de La Cava. Se ha trazado una recta paralela a la tendencia que se observa en los caudales observados. En este primer agotamiento se observa un descenso adicional en los caudales observados a partir del día 10 de Julio, que, por la forma de la bajada y subida del caudal, debe corresponder a extracciones en sondeos que captan el acuífero, cuyo efecto queda absorbido por la reconstrucción realizada. Esta recta reconstruida termina con el inicio de un pico el día 23 de Agosto después de una fuerte lluvia de 43 mm de día 21.

2. El ascenso que comienza el día 23 se prolonga hasta el día 31 de Agosto inclusive. El 1 de Septiembre vuelve a producirse una bajada brusca de caudal, presumiblemente debida a la reanudación de los bombeos en La Cava. Tomando como punto inicial el correspondiente al 31 de Agosto, se ha trazado un recta de vaciado que termina el 1 de Enero de 1982 y tiene dos pequeños tramos intermedios de apoyo (días 29 y 30 de Septiembre, y 17 y 18 de Diciembre). También en este segundo agotamiento hay una influencia de bombeos en el acuífero, que se superpone a las detracciones más o menos constantes del caudal de la primera quincena de Septiembre.

Periodo 23/03/82-01/11/83 (Fig. 8). Es un periodo de tratamiento dudoso porque su comienzo enlaza con el vaciado del año hidrológico anterior, que no ha tenido recuperación por la escasez de lluvias durante el otoño e invierno de 1982. El acuífero está en un estado de agotamiento profundo, quizá acusando afecciones de bombeos durante el periodo de riegos del año 1982, que se refleja con claridad en la lenta, se podría decir "perezosa", reacción del caudal de descarga de La Cava (Bolata está seca durante todo el invierno) a las lluvias intensas ocurridas entre los días 23 y 31 de Marzo (157 mm en Fontilles, 150 mm en Tormos) que marca el principio del periodo reconstruido.

1. La primera reconstrucción afecta a las ramas ascendente y



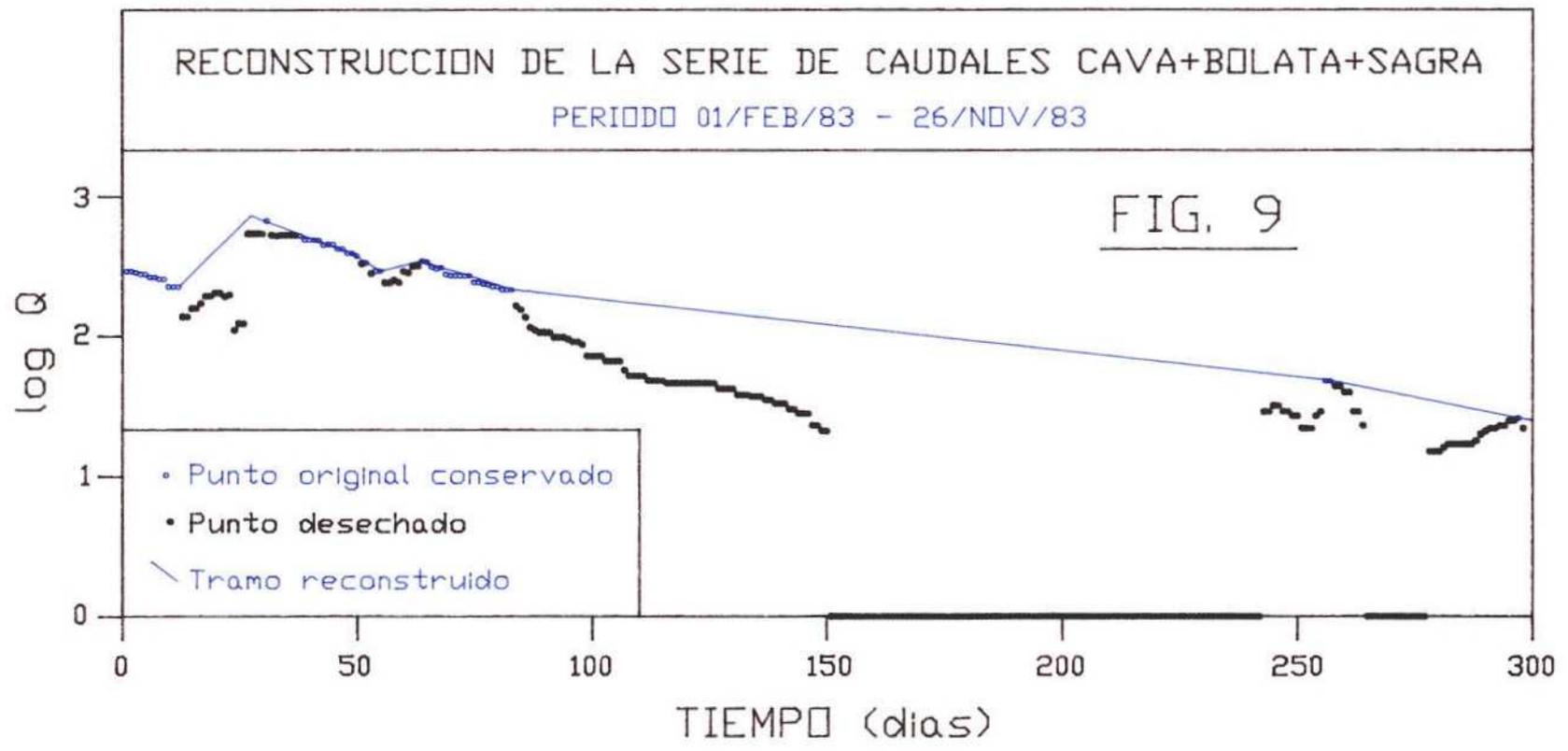
descendente de un pico suave en el mes de Mayo, que tiene un máximo aplanado entre los días 10 y 16. Las observaciones de caudal correspondientes a los días anteriores y posteriores están afectadas por los cambios en la cuantía del agua desviada de La Cava a Bolata.

2. Seguidamente se reconstruye un pico que debería corresponder a fuertes lluvias de los días 29 y 30 de Mayo (125 mm en total) y que extrañamente no se observa en los registros de las estaciones de aforo. El pico se reconstruye haciendo retroceder linealmente hasta la vertical del día 31 de Mayo el descenso que se insinúa en los días 15 a 18 de Junio, cuyos puntos representativos se emplean también como referencia inicial del agotamiento siguiente.
3. Desde el 19 de Junio se traza una recta de agotamiento que se prolonga hasta un máximo que se registra entre los días 14 y 21 de Julio. A partir de esta tramo conservado, se suaviza la pendiente del vaciado trazando una nueva recta que, partiendo del punto representativo del 21 de Julio, llega hasta un nuevo máximo que se registra en el tramo conservado comprendido entre los días 16 y 27 de Agosto. Desde este último punto se traza una nueva recta de agotamiento, manteniendo la misma pendiente que en el tramo anterior, hasta el día 4 de Septiembre en que empieza a apreciarse el efecto de la lluvia del día 3 de ese mes (28 mm). De esta manera se eliminan, al menos parcialmente, los efectos de bombeos en la galería de La Cava e incluso las extracciones en sondeos.
4. Tras el suave pico registrado entre el 7 y el 11 de Septiembre, que marca la respuesta del acuífero a la lluvia anterior, se reconstruye una recta de agotamiento con los puntos de los caudales máximos observados hasta la recuperación producida por las lluvias de Octubre. Esta recta de agotamiento tiene una pendiente superior a la que normalmente se refleja en la mayor parte de los vaciados reconstruidos, pero está forzada

por la ausencia de mejores puntos de referencia. Es posible que haya una afección de bombeos subyacente en el acuífero pero no hay mejores referencias para paliar su efecto.

Periodo 01/02/83-26/11/83 (Fig. 9). En este periodo se acentúa el efecto del déficit acumulado en la pluviometría de años anteriores, que tiene dos consecuencias. La primera es la mayor lentitud de la reacción del acuífero a las lluvias y el ritmo de agotamiento más rápido indicativo de un menor "nivel de llenado" del acuífero. La segunda consecuencia es el incremento de extracciones por bombeo en sondeos en la época de riegos, que afectan a la descarga natural hasta el punto de el agua dejó de salir por la galería de La Cava en Julio de 1983. Se han reconstruido los siguientes tramos.

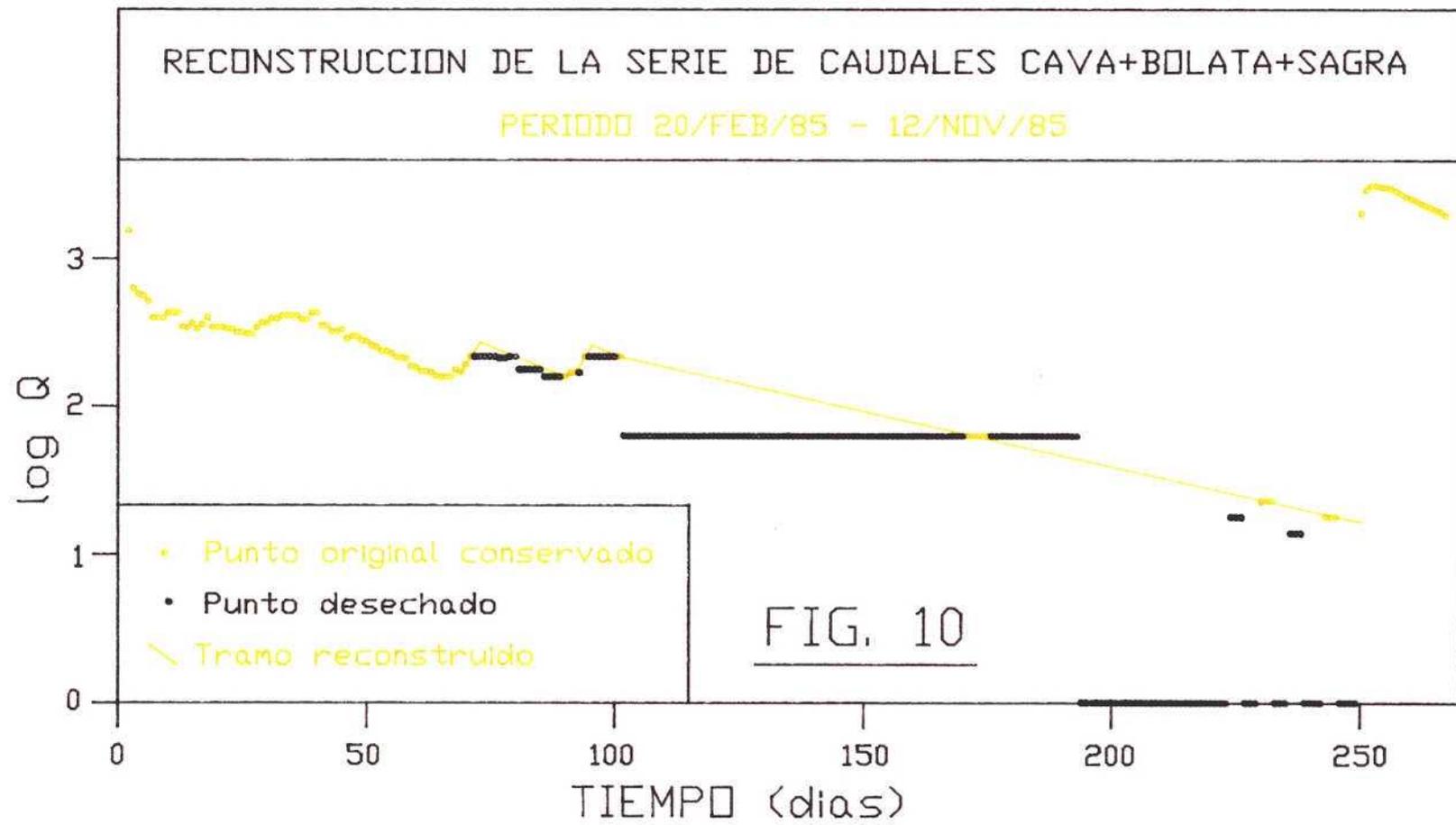
1. El primer tramo restituido es un pico (13 de Febrero a 9 de Marzo) provocado por la precipitación del día 12 de Febrero (72 mm) que no ha sido registrado correctamente como consecuencia de los cambios en el desvío de La Cava al barranco. La reconstrucción se hizo en sentido inverso partiendo de la evolución de los puntos posteriores al 3 de Marzo a los que se dió mayor peso por ser registros posteriores a la limpieza de la acequia y sección de aforo de La Cava. La recta de vaciado trazada en sentido inverso se prolonga hasta que corta a una línea ascendente trazada, desde el punto correspondiente al día 12 de Mayo, paralelamente a la subida que se aprecia en los registros de los días siguientes, rechazados porque tienen un desplazamiento anormal.
2. En segundo lugar se sustituyen dos registros, discordantes de la tendencia de descenso general, correspondientes a los días 23 y 25 de Marzo.
3. A continuación, entre 28 de Marzo y 4 de Abril, se sustituye un mínimo por un tramo con suave ascenso construido tomando como base los puntos de los días 27 de Marzo y 5 de Abril. Aunque hay una lluvia de 10 mm el día 27 de Marzo, y podría haber un pico casi inmediato, no está clara la evolu-



ción conjunta, ya que se observa un ascenso en La Cava y un descenso en Bolata según dos tendencias que se cruzan. No hay indicios para saber si se trata de la evolución natural de las dos surgencia o se debe a modificaciones en el paso de agua de Cava a Bolata, por lo cual se optó por una reconstrucción según una línea ascendente continua.

4. A este suave ascenso sigue un vaciado que se prolonga hasta el final del periodo. El agotamiento tiene un primer tramo, desde el 5 de Abril hasta el 24 de Mayo, que parece corresponder a una evolución no afectada y que, por tanto, se tomó como referencia para restituir el resto del vaciado que, a partir del 24 de Mayo, está fuertemente afectado tanto por bombeos en el canal de La Cava como por la extracción de agua en sondeos hasta el punto de anular la salida de agua espontánea en la galería de La Cava. La reconstrucción se prolonga hasta el día 27 de Noviembre apoyada en las dos únicas referencias intermedias posibles, constituidas por los puntos de los días 14 y 15 de Octubre y 24 de Noviembre. El final de la reconstrucción se ha prolongado tanto para tratar de compensar la afección de los bombeos con el efecto de las lluvias de Octubre y Noviembre, que originan una descarga pequeña pero estabilizada en unos 20-25 l/s a lo largo del mes de Diciembre.

Periodo 20/02/85-12/11/85 (Fig. 10). El último periodo tratado comienza con la resurgencia de agua en La Cava y en Bolata tras un largo periodo (desde 1 de Abril de 1984 hasta 21 de Febrero de 1985) en el que no hubo prácticamente descarga por emergencia en el acuífero de Mediodía. En el origen de la reactivación están las lluvias ocurridas los días 18 (3 mm), 19 (3 mm), 20 (5 mm) y, sobre todo, 21 (117 mm) de Febrero, que mantienen su efecto hasta el día primero de Junio, en que los bombeos vuelven a afectar a las emergencias hasta anularlas totalmente en Septiembre.



1. La primera reconstrucción, de poca importancia cuantitativa, consiste en restituir formalmente dos pequeños picos en el mes de Mayo (del 2 al 19 el primero, y del 22 al 30 el segundo) mediante rectas ascendentes y descendentes apoyadas en los puntos conservados antes y después de cada pico.
2. A partir del 31 de Mayo, en que se manifiestan claramente los efectos de bombeos, se restituye el agotamiento del acuífero mediante una recta que parte del punto correspondiente al 31 de Mayo y se apoya en su tramo final en los valores más altos observados en Octubre (días 7, 8, 9, 21 y 22). Dicha recta corta el tramo horizontal que corresponde a medidas efectuadas sólo en Bolata, que no son lógicas salvo que sea agua de La Cava, porque simultáneamente las observaciones en la sección de La Cava indican caudal nulo.

2.4.4.3. Serie CAVA+BOLATA (QCB_r)

El siguiente paso en la generación de las series representativas de las descargas del S.A.M. consistió en detraer a la serie suma de caudal conjunto QCBS_r la parte correspondiente a la descarga que se produce a través de los tres manantiales de Sagra, con el fin de calcular la serie conjunta QCB_r. Las etapas de este cálculo son las siguientes:

1. Correlación CAVA+BOLATA/SAGRA.

Se utilizaron los 10 pares de valores de medidas de caudal de Cava+Bolata y Sagra, contruidos a partir de las campañas de aforos aislados realizados durante los años 1988 y 1989.

La correlación se realizó intentando varios tipos de ajuste (lineal, logarítmico, potencial y parabólico), primero sobre el conjunto de los 10 pares de puntos, y después considerando dos grupos de puntos por separado. Por un lado se agrupan los puntos correspondientes a un caudal Cava+Bolata inferior a 406,5 l/s y, por otro, los correspondientes a caudales superiores al citado.

Estas dos tendencias tienen su justificación física en el hecho de que la base de la correlación está constituida por la suma de caudales de dos manantiales que, por su naturaleza, tienen leyes de descarga diferentes.

El resultado de las múltiples tentativas realizadas fue que los mejores ajustes se conseguían considerando los dos grupos de puntos por separado y ajustando una parábola a los puntos representativos de caudales Cava+ Bolata menores de 406,5 l/s, y una recta a los mayores.

Ambos ajustes tienen coeficientes de correlación excelentes, de $r=0,9903$ en el caso del parabólico, y de $r=0,9647$ en el lineal.

La parábola de ajuste del primer grupo de puntos corta al eje de abscisas en un punto al que le corresponde un caudal de Cava+ Bolata igual a 145,93 l/s, valor por debajo del cual el caudal de Sagra sería siempre nulo.

Teniendo en cuenta esta acotación inferior y las dos ecuaciones del doble ajuste realizado, se deducen los tres intervalos de la ley que permite obtener los caudales totales de las tres fuentes de Sagra (QS) en función de la suma de los caudales de La Cava y Bolata (QCB). Esta ley tiene las tres componentes siguientes:

$$\begin{array}{ll} \text{QCB} \leq 145,93 & \text{QS} = 0 \\ 145,93 < \text{QCB} \leq 406,54 & \text{QS} = 56,6834 * \text{QCB} - 8271,5377 \quad (r=0,9903) \\ > 406,54 < \text{QCB} & \text{QS} = 0,0457 * \text{QCB} + 103,8728 \quad (r=0,9647) \end{array}$$

En la Fig. 11 se representan los puntos correspondientes a los pares de valores Cava+ Bolata y Sagra, así como las líneas de ajuste finalmente retenidas.

2. Cálculo de SAGRA en función de CAVA+ BOLATA+SAGRA.

Mediante los cálculos oportunos se modificaron las ecuaciones de forma que permitieran calcular QSr en función de QCBSr.

CORRELACION CAVA+BOLATA (Q_{C+B}) / SAGRA (Q_S)

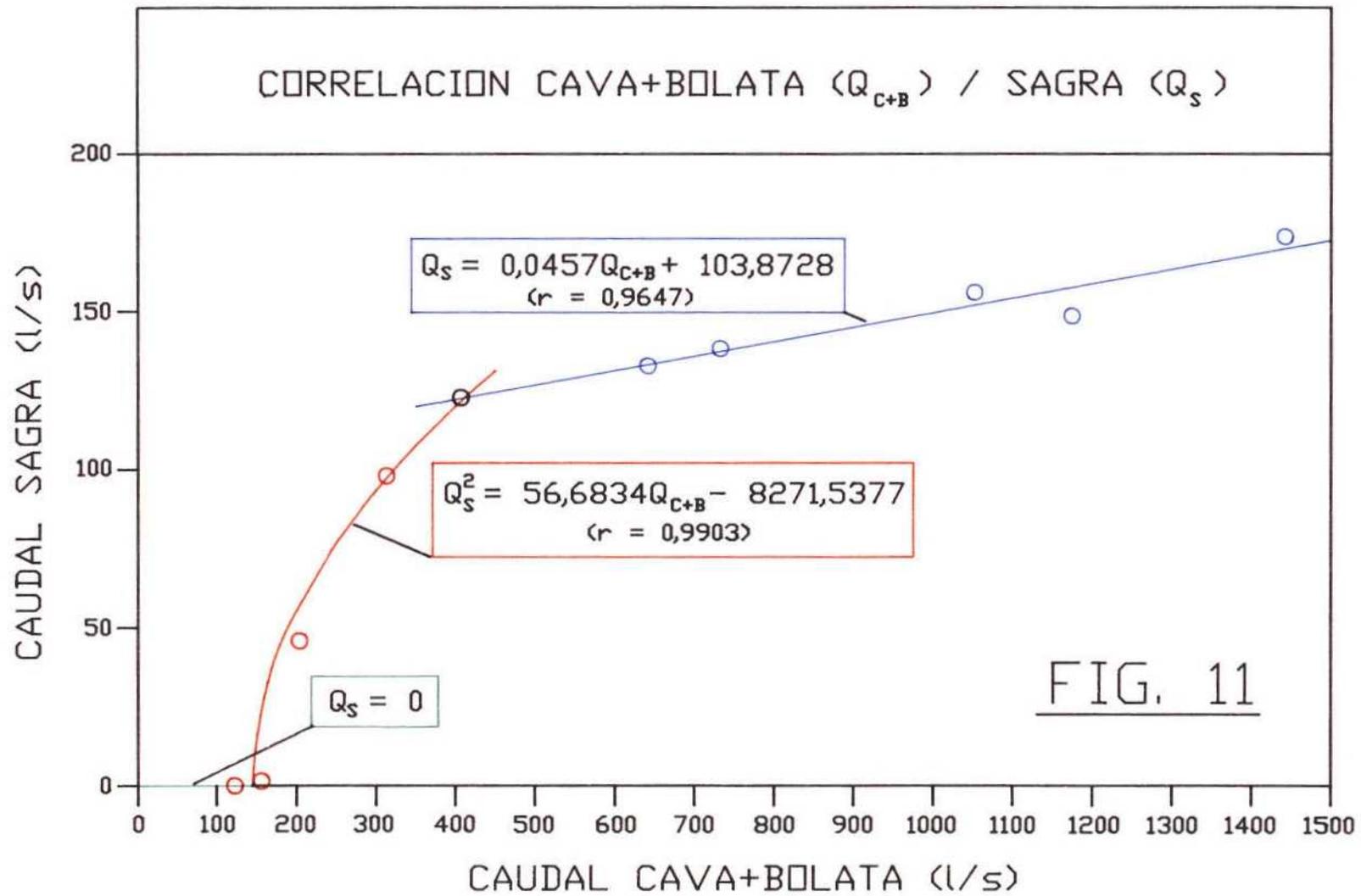


FIG. 11

Las ecuaciones transformadas y los nuevos intervalos de aplicación, son:

$$QCBS \leq 145,93 \quad QS = 0$$

$$145,93 < QCBS \leq 528,95 \quad QS^2 = 56,6834 * QCBS - 6665,0338 - 56,6834 * A$$

$$A = (56,6834 * QCBS - 7468,2857)^{1/2}$$

$$528,95 < QCBS \quad QS = 0,0437 * QCBS + 99,3333$$

3. Con la aplicación de la ley de correspondencia, dada por las 3 ecuaciones anteriores, a la serie QCBSr, se determinó la serie de 4.064 caudales diarios QSr.
4. Finalmente, restando la serie QSr de la QCBSr, se obtuvieron los 4.064 caudales diarios QCBr. El resultado correspondiente se incluye en el mencionado ANEXO II.

El cálculo se realizó de un modo automático mediante un programa creado expresamente para esta reconstrucción (y, lógicamente, también para la efectuada con las fuentes del Cuaternario que se describe en el apartado siguiente).

2.4.4.4. Serie CAVA+BOLATA+SAGRA+CUATERNARIO

La consideración de los cinco manantiales situados en el Cuaternario del río Girona aguas abajo de La Cava como salidas del S.A. Mediodía y, por tanto, la incorporación de sus caudales a la serie total de caudales de descarga, tenía la incertidumbre inicial de que no se sabe a ciencia cierta cual es el origen de sus aguas (discutido en el apartado 2.3.2) ni el porcentaje de participación en el total de cada uno en el caso probable de que sean varios los orígenes.

La duda se solventó por un procedimiento estadístico basado en el razonamiento de que si efectivamente las cinco fuentes forman parte de la descarga del sistema, su caudal debe estar

relacionado con el de La Cava y Bolata. Se procedió entonces a analizar la correlación existente entre los siete valores de caudal conjunto de los manantiales del Cuaternario y los siete valores del caudal suma de Cava+Bolata deducidos de las medidas realizadas en las campañas de control de Enero a Agosto de 1989.

Como resultado de varias leyes de ajuste tanteadas, se encontró que el mejor ajuste corresponde a una recta cuya ecuación es

$$QQ = 0,3077QCB + 72,7682$$

con un coeficiente de correlación muy bueno de $r=0,9200$.

El ajuste se ha representado en la Fig. 12 adjunta.

Este excelente ajuste, aunque la serie analizada es sólo de siete puntos, indica que existe una relación estadística entre las salidas por La Cava y Bolata y las fuentes que surgen en el Cuaternario aguas abajo, de modo que, en principio, hay que pensar que la serie de caudales de emergencia del sistema debe incluir estas cinco fuentes.

La recta de regresión da pie a hacer una observación cualitativa, a la que no puede darse más alcance que el de coincidencia por el reducido número de puntos de ajuste: el hecho de que la recta obtenida tenga una ordenada en el origen, independientemente de cual sea el valor de esta ordenada, quiere decir que cuando el caudal de Cava+Bolata sea cero (es decir, se agoten totalmente estas emergencias) aún seguirá surgiendo agua en las fuentes del Cuaternario (caudal teórico mínimo de 73 l/s según la recta). Esta circunstancia es coherente, en pura lógica hidrogeológica, con la consideración de estas captaciones como salidas del S.A.M., puesto que son las surgencias de menor cota del sistema.

La incorporación de la descarga por el Cuaternario del río Girona a la serie de decarga total del acuífero Mediodía se ha efectuado por el procedimiento siguiente: a partir de la serie total QCB_r de 4.064 registros y, utilizando la ecuación de la recta de

CORRELACION CAVA+BOLATA(Q_{C+B})/CUATERNARIO GIRONA(Q_S)

CAUDAL CUATERNARIO (l/s)

400
300
200
100
0

$$Q_c = 0,3077Q_{c+B} + 72,7682$$

(r=0,9200)

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500

CAUDAL CAVA+BOLATA (l/s)

FIG. 12

ajuste QCB/QQ, se han calculado los 4.064 caudales del CUATERNARIO que se han añadido a la serie QCBSr.

Para todas estas operaciones se ha utilizado el mismo programa de cálculo automático mencionado en el apartado precedente.

Los resultados obtenidos para todas las series de trabajo, tanto las básicas como las estimadas, están recogidos en el ANEXO II.

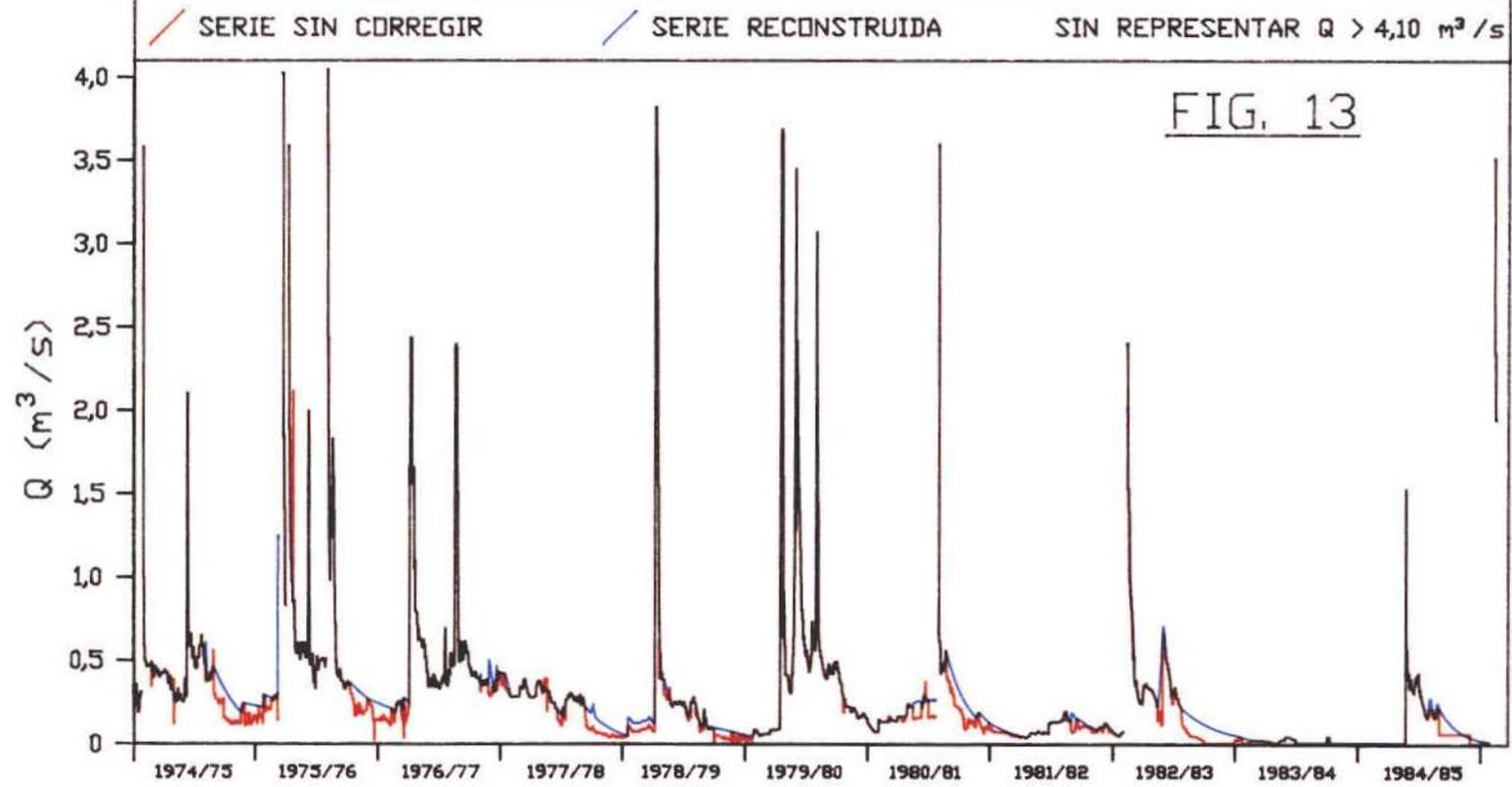
Como ilustración de todo el proceso de reconstrucción se adjuntan las Figuras 13 y 14 que representan: la Fig. 13 los caudales de CAVA+BOLATA+SAGRA brutos y reconstruidos, y la Fig. 14 los caudales totales de descarga estimados, CAVA+BOLATA+SAGRA(r)+CUATERNARIO(r).

2.4.5. Características de la serie representativa de la descarga total del sistema acuífero Mediodía

De las características de los registros de las estaciones de aforo y del procedimiento de reconstrucción descritos en todo lo anterior se deducen dos conclusiones inmediatas:

- 1º. La serie de caudales que más se aproxima a las descargas totales del S.A.M. es la constituida por la suma de las series de caudales CAVA+BOLATA+SAGRA reconstruida y CUATERNARIO estimada por correlación lineal.
- 2º. Esta serie consta de 4.064 registros de caudales diarios que es el periodo de tiempo para el que existen observaciones de altura de lámina de agua en las estaciones de aforo E-51 (Barranco de Bolata) y E-52 (Galería de La Cava) de la red hidrométrica del ITGE en la cuenca del río Júcar.
- 3º. Cuantitativamente, la serie es una aproximación por defecto a la serie real de descarga total del sistema, lo cual

MANANTIALES DE BOLATA Y SAGRA Y GALERIA DE LA CAVA
CAUDAL DESCARGADO EN CONJUNTO



SISTEMA ACUIFERO MEDIODIA

SALIDAS NATURALES TOTALES ESTIMADAS (estim. sin repres. $Q > 5,35 \text{ m}^3/\text{s}$)

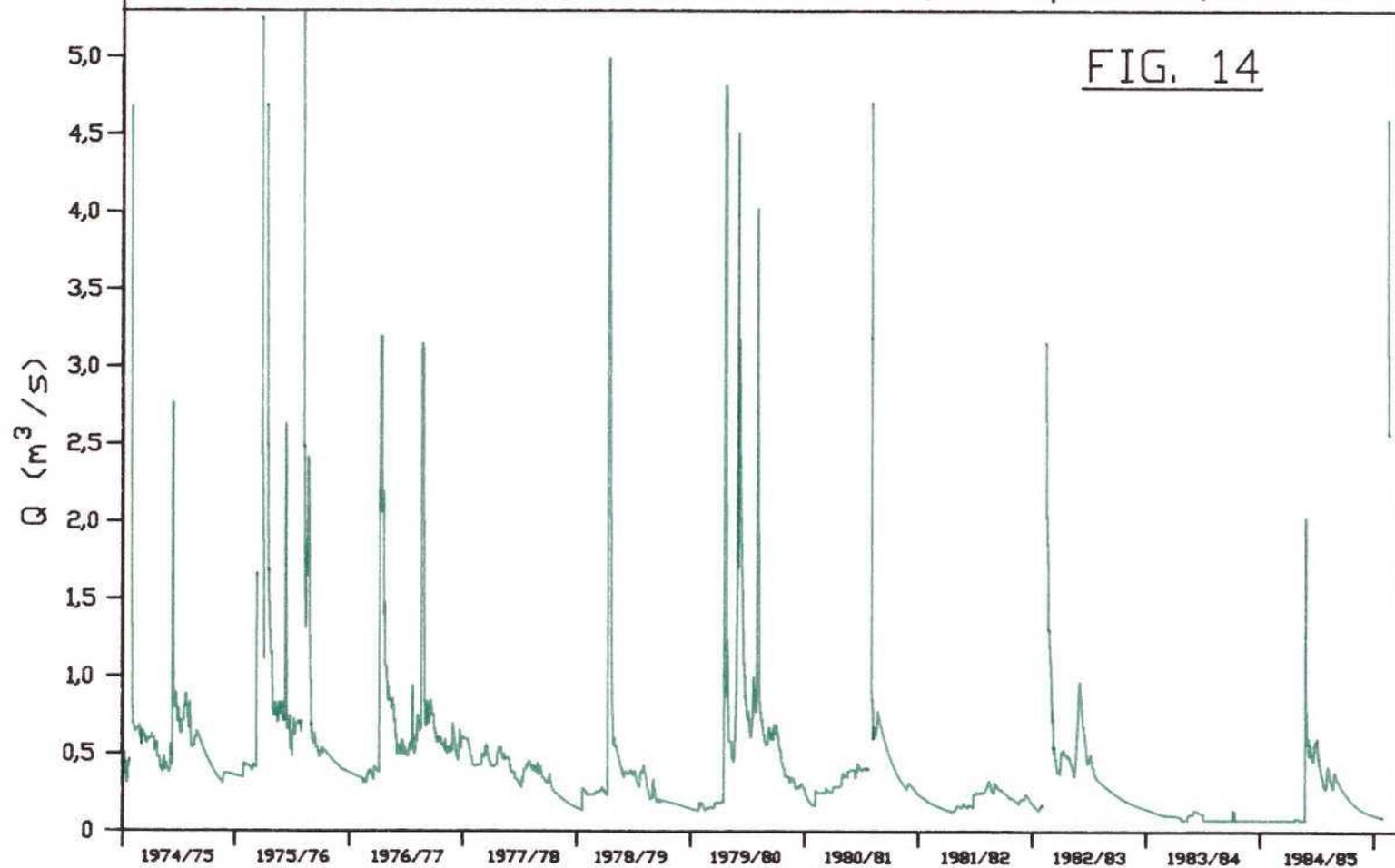


FIG. 14

sitúa los cálculos realizados para los recursos hiperanuales del lado de la seguridad, ya que, el agua perdida en el cauce del bco. de Bolata recarga al aluvial del río Girona y vuelve a salir, aunque no en su totalidad, a través de las cinco captaciones englobadas bajo la denominación de Cuaternario a lo largo de este informe. Esto significa que las series de caudales generadas recogen sólo una parte, mayor o menor, de las pérdidas mediante la serie de descargas del Cuaternario.

Ademas de estas características básicas, la serie final de descarga total del sistema, construida a partir de los registros individuales de La Cava y de Bolata presenta varias particularidades que es necesario tener presentes, puesto que deben influenciar los cálculos posteriores de los recursos medios hiperanuales del sistema.

Estas peculiaridades tienen dos orígenes: unas son inherentes a las series originales y otras que se van añadiendo a medida que se realizan manipulaciones artificiales en los datos de base, consecuencia las segundas de las simplificaciones que obligatoriamente hay que introducir a la hora de reconstruir periodos con datos dudosos.

2.4.5.1. Correlación cronológica con la lluvia.

Como parte de la revisión efectuada sobre los datos de la serie suma de caudales de La Cava y Bolata sin reconstruir, se hizo un estudio de la correspondencia existente entre las precipitaciones medidas en la estación termoplumiométrica del sanatorio de Fontilles y los caudales suma Cava + Bolata brutos.

Para el análisis se escogieron las lluvias intensas registradas en 1 ó 2 días seguidos, como máximo, puesto que con una duración tan pequeña, podrían asimilarse a impulsos puntuales sobre el sistema hidrogeológico. La respuesta del sistema a esos impulsos

(denominada respuesta impulsional en el estudio por deconvolución) es un pico de caudal de descarga con una rama inicial con una fuerte pendiente de crecimiento, y un tramo de agotamiento con una tendencia descendente lenta, de tipo exponencial.

Las dos características de los picos de respuesta sobre las que se centraron las observaciones son:

- el tiempo transcurrido desde que tiene lugar el pico de lluvia hasta que su efecto comienza a notarse en el caudal, y
- el desfase existente entre el pico de lluvia y el correspondiente máximo de caudal.

Se eligieron 20 impulsos de lluvia con sus correspondientes picos de caudal, con los siguientes resultados:

- El inicio de la respuesta en el acuífero tiene lugar el mismo día de la lluvia en 5 casos, al día siguiente en 10, al cabo de dos días en los cinco casos restantes.
- El desfase entre picos es de 1 día en 10 de los 20 casos estudiados, de 2 días en 5 casos y mayor de 2 días (entre 2 y 5) en los 5 restantes.

Aunque hay una tendencia mayoritaria a que la respuesta se inicie el mismo día o al día siguiente de la lluvia, y a que el máximo tenga lugar al día siguiente, está claro que hay una dispersión bastante importante en los desfases entre impulsos y respuestas.

Esta dispersión puede tener su origen en distintos motivos:

- irregularidad espacial del régimen de precipitaciones, clásico en todo el Levante
- incompleta representatividad de la estación de Fontilles situada fuera del ámbito superficial del sistema (aunque muy próxima al límite sur) y que es un punto frente a una longitud total del sistema de unos 22 km,

- distinto estado piezométrico del sistema en el periodo inmediatamente anterior a las lluvias, en relación con la estructura hidrogeológica del sistema, que de forma combinada pueden condicionar la puesta en marcha de diferentes mecanismos y regímenes de descarga.

La irregularidad de los desfases en el periodo de tiempo considerado puede tener influencia en el paso de tiempo a utilizar en el análisis por deconvolución que, en principio, es de 1 día, puesto que esa es la periodicidad de los registros de lluvia y caudal disponibles.

2.4.5.2. Periodos sin reconstrucción.

La existencia de tramos sin reconstruir es otra de las peculiaridades que aporta la serie suma original a las series de trabajo. Bajo la denominación de este apartado se incluyen dos tipos de tramos que probablemente hubieran necesitado una corrección por corresponder a medidas de caudal de fiabilidad dudosa o afectadas por acciones de terceros sobre el acuífero, pero que no pudieron ser modificados por carecer de criterios y bases de apoyo para ello.

1. El primero de los tipos de tramo no corregido es un periodo de tiempo largo que abarca desde el mes de Diciembre de 1983 hasta el mes de Febrero (concretamente hasta el día 19) de 1985. Este periodo corresponde a un agotamiento pronunciado del acuífero causado por el déficit de precipitaciones de los meses, e incluso años anteriores, que desemboca en la anulación de la descarga de agua a través de la galería de La Cava.

Las causas del agotamiento total a la cota de La Cava están en el déficit de precipitaciones de los meses, incluso se podría hablar de años, anteriores y, probablemente en la afección diferida de extracciones de agua del

acuífero por bombeo en pozos y sondeos, ya que durante el propio periodo en cuestión se midieron 591 mm de lluvia en la estación de Fontilles, cifra que no parece corresponder a un periodo de franca sequía.

Por tanto, hay indicios suficientes para sospechar que la falta de surgencia pueda tener su origen, al menos parcialmente, en afecciones de bombeos. En consecuencia, el mantenimiento de los datos de caudal de este periodo en las series de trabajo puede introducir un factor de desajuste en la correlación lluvia-caudales ya que supone una infravaloración de las descargas del acuífero que no es posible paliar porque no hay criterios para apoyar una reconstrucción mínimamente razonable.

A la imposibilidad descrita en los párrafos anteriores, se contrapone otra característica que es propia de la serie total reconstruida, o sea, la que tiene en cuenta los caudales de La Cava, Bolata, Sagra y Cuaternario. Esta característica tiene su origen en el procedimiento de cálculo empleado para determinar los caudales diarios conjuntos de las fuentes del Cuaternario del río Girona.

La utilización de la recta de regresión referida en el apartado 2.4.4.4., a partir de la cual se han calculado los caudales del Cuaternario en función de la suma Cava+Bolata, introduce un valor mínimo para el caudal total de descarga del acuífero, cifrado en unos 73 l/s por la ordenada en el origen de la citada recta, que afecta sobre todo a la serie de descargas en los periodos de caudales bajos.

2. El segundo tipo de tramos no reconstituidos incluye los picos de caudal que tienen lugar después de los episodios de lluvias intensas, es decir, corresponde a varios periodos de extensión temporal muy pequeña. Sobre estos tramos no se efectuado ningún tipo de modificación por

falta de referencias, a pesar de que llaman poderosamente la atención los elevados caudales registrados en la estación de aforos del barranco de Bolata (llegan hasta los 21 m³/s) deducidos de las lecturas de escala de una sección de aforos de no muy buena calidad. Estos caudales tan elevados contrastan con los datos de aforos puntuales en los que el máximo caudal medido fue de 2.048 l/s el día 12 de Diciembre de 1975 coincidiendo con una crecida provocada por lluvias intensas, 156 mm de precipitación total en los 7 días inmediatamente anteriores.

Retomando lo escrito en el apartado 2.3., el dato anterior de caudal y lluvia hace dudar razonablemente de la fiabilidad de las observaciones de las crecidas puntuales de caudal en la estación de aforos del barranco de Bolata, incertidumbre que afecta lógicamente a la serie suma de La Cava y Bolata utilizada como base en este estudio.

2.4.5.3. Alisado de los periodos de agotamiento

El procedimiento empleado para la reconstrucción de caudales, a base de tramos rectos (en coordenadas semilogarítmicas) de gran longitud, tiene una consecuencia inmediata sobre la serie reconstruida, que la diferencia drásticamente de la serie original, con independencia de los mayores valores de caudal, teóricamente más ajustados a la realidad.

Esta consecuencia es la uniformidad de las líneas de agotamiento que proporcionan valores que crecen o decrecen monótonamente en el tiempo, absorbiendo las oscilaciones naturales debidas a lluvias no torrenciales pero que indudablemente tienen su efecto sobre el acuífero. Es decir, se sustituye una serie original en la que se superponen dos tendencias, las oscilaciones naturales del caudal junto con una disminución en el nivel de base como consecuencia de las afecciones por bombeo, por una serie que

trata de restituir los caudales a su valor no afectado, elevando el nivel de base, pero que provoca el alisado de las evoluciones representativas de la respuesta del acuífero a los impulsos de precipitación.

3. ESTUDIO DE DECONVOLUCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS

Descritas en los dos anteriores capítulos las características y diferentes vías de aproximación a la recarga y descarga naturales del sistema acuífero, el presente capítulo tiene por objetivo la identificación, en la forma más realista y representativa posible, de la ley de correlación cuantitativa y cronológica (también denominable función de convolución o ley de respuesta “impulsional”) entre la primera y la segunda, es decir, entre la recarga y la descarga.

Definida dicha ley, quedará simultáneamente identificada y “parametrizada” una fiable metodología de evaluación de la recarga del sistema en función de datos climáticos accesibles. La aplicación de la misma a la serie histórica de datos climáticos representativos disponible, dará lugar a la mejor generación posible de las salidas naturales del sistema acuífero estudiado; es decir, a la más prolongada y, por tanto, representativa serie cronológica de sus recursos hídricos subterráneos.

3.1. METODOLOGÍA APLICADA

Para la realización de los cálculos de deconvolución entradas/salidas se ha hecho uso del programa GMDUEX (*), cuyo principio de funcionamiento es, en esencia, el siguiente:

- Para una determinada "memoria" M del sistema, o duración efectiva de la respuesta provocada por una cierta recarga, medida en "pasos de tiempo", el programa termina identificando la función "respuesta impulsional" ϕ , tal que aplicada a la entrada E , da lugar a una respuesta o salida calculada S coincidente al máximo posible con la real observada.

La memoria máxima admitida por el programa es de 256 pasos de tiempo, para cada uno de los cuales se calculará el correspondiente valor de la respuesta impulsional ϕ . Después de esta primera y principal etapa de memoria, para la cual se calcula libremente o con especificaciones matemáticas (unimodalidad, monotonía, lisado, etc.) la función ϕ , el programa permite la consideración de una cola de agotamiento exponencial de dicha función, parametrizada mediante el correspondiente coeficiente de agotamiento.

- La elección de los valores más realistas de la "memoria" del sistema, y de la duración de cada "paso de tiempo" (1 día, 1 semana, 1 mes, etc.) deberá ser efectuada en función del comportamiento real registrado, y teniendo en cuenta la secuencia y calidad de los datos climáticos e hidrométricos disponibles. También será necesario adoptar un valor para el posible desfase D existente entre ocurrencia de la causa y comienzo de su efecto, medido en pasos de tiempo: si el valor de cada uno de éstos es de 1 día, por ejemplo, dicho desfase equivaldrá al número de días transcurridos entre la caída de una determinada lluvia, y el comienzo de la respuesta a la misma con el inicio de un aumento en el caudal de las emergencias o una subida del nivel piezométrico.

(*) Centre d'Informatique Géologique. École des Mines de Paris, Fontainebleau.

Si los valores de la respuesta impulsional son:

$\phi(1), \phi(2) \dots \phi(M)$

la salida $S(i)$ observable en un determinado paso de tiempo i será consecuencia de las entradas registradas en los $M+D$ pasos anteriores, según la equivalencia siguiente:

$$S(i) = E(i-D)*\phi(1) + E(i-D-1)*\phi(2) + \dots + E(i-D-M+1)*\phi(M)$$

- El proceso de cálculo de los M valores de la función ϕ tiene lugar según fase sucesivas, para cada una de las cuales se determina la calidad del ajuste obtenido con la salida observada, por la aplicación de los correspondientes valores de ϕ a la entrada registrada. Dicha calidad que es reflejada mediante el correspondiente coeficiente de correlación; se calculan también los residuos o valores de la diferencia entre salidas observada y calculada, valor global cuadrático o absoluto (norma en 1-2 o en el infinito, respectivamente), medias observada y calculada, etc.
- en la 1ª fase se identifica un conjunto de M valores iguales;
- en la 2ª fase se calculan dos grupos distintos de $M/2$ valores iguales de ϕ ;
- en la 3ª fase se calculan cuatro grupos de $M/4$ valores de ϕ ; y así sucesivamente hasta un máximo de 9 fases, en la última de las cuales se calcularían 256, como máximo, valores todos diferentes de ϕ .

El programa **GMDUEX** permite una amplia gama de posibilidades de modulación de los parámetros matemáticos que caracterizan la respuesta impulsional ϕ : unimodalidad, monotonía, lisados de la función, cola exponencial, tratamiento de entradas con paréntesis de datos (por carencia o insuficiente fiabilidad de los mismos en algunos pasos de tiempo dentro de la serie de salidas observadas), primacía diferencial en el ajuste para valores extremos (en ocasiones puede interesar dar más importancia a la coincidencia entre salidas observada y calculada máximas, en detrimento de sus valores mínimos).

3.2. PROCESO DE CALIBRADO DE LA DECONVOLUCIÓN

En los próximos apartados se irá dando cuenta de las distintas etapas de tanteo y elección de entradas y salidas a correlacionar, así como de los parámetros a aplicar en cada caso, hasta llegar a la solución finalmente retenida.

El proceso guarda bastante similitud con el de calado de un modelo matemático del flujo subterráneo en un acuífero, en la medida en que es necesario ir tanteando diferentes opciones para la entrada y la salida a correlacionar, así como modular los parámetros de cálculo (paso de tiempo, memoria, ritmo de agotamiento exponencial de la fase final de la memoria, etc.).

En sucesivos apartados se irá analizando la influencia individual de cada uno de los aspectos tanteados durante el calibrado.

3.2.1. Elección de paso de tiempo

La existencia de resultados diarios para la infiltración y para la lluvia útil estimadas mediante el programa THORDOS, y la cronología también diaria de los registros hidrométricos descritos en el capítulo 2., hicieron que se comenzase tanteando un paso de tiempo de duración igual a 1 día.

Se realizaron primeramente 6 pasadas de cálculo con 256 días de memoria, con o sin desfase de 1 día en el comienzo de la respuesta, correlacionando la totalidad de la descarga natural estimada para el sistema (fuentes de Bolata y Sagra, galería de La Cava y estimación de las salidas laterales subterráneas hacia el Cuaternario del río Girona), con la infiltración o la totalidad de la lluvia útil calculadas con valores de RMIN y RMAX iguales a 10 y 60 mm respectivamente, y variando los parámetros matemáticos de la función phi. También se tanteó la no consideración de los caudales aforados superiores a 4 m³/s, con lo que se obtuvo el mejor coeficiente de correlación (0,643). Cuando se utilizó la

totalidad de la serie de caudales, el coeficiente de correlación no subió de 0,568.

La inaceptable calidad del ajuste con el indicado paso de tiempo diario se debe con toda seguridad a razones como:

- Las precipitaciones diarias registradas en Fontilles no tienen por qué ser siempre cronológicamente representativas, a ese paso de tiempo, para la totalidad del área de recarga del sistema acuífero.
- La precipitación anotada para un determinado día es la registrada entre las 7.00 horas del día anterior y la misma hora del día al que se asignan; por el contrario, se desconoce la hora a que se efectúa la lectura de escala en las estaciones de aforo. Ello puede con facilidad provocar un desfase de 1 día en el registro de la precipitación y de la medida limnimétrica, en relación con la fecha real de ocurrencia de una y otra.

Como consecuencia de lo expuesto, se decidió adoptar un paso de tiempo de duración igual a 5 días, con el que se realizaron todos los restantes tanteos de calibrado y el cálculo final de la deconvolución ya ajustada. La nueva duración del paso de tiempo y el comportamiento del sistema indujeron a utilizar una memoria de 32 pasos de tiempo, es decir, de 160 días, seguida de un agotamiento exponencial de la respuesta impulsional.

3.2.2. Caudales máximos

En los apartados 2.3.1. y 2.4.5.2. se puso ya de manifiesto la escasa fiabilidad con que están cuantificados los picos de caudal de los manantiales de Bolata y Sagra. Ello indujo a tantear diferentes valores máximos del caudal conjunto adoptado en cada caso como salida S para la deconvolución.

El tanteo se realizó utilizando siempre las siguientes entrada

y salida:

- E: INF estimada con $R_{MIN} = 10$ y 60 mm (valores con los que se efectuó la primera aplicación del programa THORDOS).
- S: Descarga natural total estimada, es decir, caudal conjunto de las fuentes de Bolata y Sagra, más el de la galería de La Cava, más la descarga lateral subterránea hacia el aluvial del río Girona.

Los resultados de las distintas opciones de tanteo realizadas fueron las siguientes:

1. Cuando se consideró la totalidad del caudal de salida (los valores reflejados en la última columna del ANEXO II, promediados para adaptarse al paso de tiempo de 5 días de duración), el coeficiente de correlación fue de sólo 0,578.
2. Cuando se fijó un valor máximo de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ para el caudal diario con el que calcular la salida a correlacionar (es decir, sin dejar de considerar ningún valor diario, pero rebajando siempre hasta ese tope los registros superiores al mismo), el coeficiente subió hasta 0,717. Esta apreciable mejora supone un apoyo a la consideración como dudosa de la fiabilidad con que están registrados los picos de caudal en Bolata+Sagra. Cuando el "limado" de los caudales diarios se realizó hasta un valor de $3 \text{ m}^3/\text{s}$, el coeficiente de correlación resultante fue de 0,747.
3. Se realizaron finalmente tres pasadas de tanteo en las que, en lugar de limitar hasta un cierto tope los caudales diarios, se optó por no utilizar los valores de la salida S (caudales medios para periodos de 5 días) superiores a un determinado valor, como si en tales días no se hubiesen efectuado lecturas de escala limnimétrica.

Cuando se ignoraron los caudales medios (en cada paso de tiempo de 5 días de duración) mayores de 6 m³/s, el coeficiente de correlación fue de 0,669.

Cuando se ignoraron todos los caudales medios superiores a 3,5 m³/s, el coeficiente de correlación subió hasta 0,759, superior incluso al conseguido limando a 3 m³/s los caudales diarios.

Cuando, finalmente, se ignoraron los caudales medios superiores a 2 m³/s, el coeficiente de correlación subió hasta 0,798.

Es evidente, como conclusión de este aspecto del calibrado, la conveniencia de no tomar en consideración los picos de caudal de la descarga natural total, motivados fundamentalmente en los registrados en las fuentes de Bolata y Sagra. Sin embargo, tal como se refleja en la Fig.13, la importancia volumétrica de tales picos en la descarga total del sistema es escasa dada la brevedad de los mismos.

3.2.3. Periodo de calado

En principio, el periodo de calibrado era el correspondiente a la disponibilidad simultanea de series de descarga para los manantiales de Bolata más Sagra, y para la galería de La Cava: 1/10/74-15/11/85. Sin embargo, tal como ha quedado descrito en el capítulo 2. y viene reflejado en el Fig. 13, los datos de caudal correspondientes a los dos últimos años de ese periodo, 1983/84 y 1984/85, presentan una fiabilidad menor, como consecuencia del carácter fuértemente deficitario de los mismos, en los que se dio un muy ajustado aprovechamiento de las descargas naturales (con importantes derivaciones no bien cuantificables, efectuadas aguas arriba de las estaciones de aforo), junto con la realización de más intensos bombeos en el sistema acuífero. En tales condiciones, el trabajo de reconstrucción de las descargas conjuntas de Bolata,

Sagra y La Cava fue frecuentemente imposible.

Por todo ello, se decidió finalmente adoptar como periodo de ajuste para la deconvolución entradas/salidas del sistema acuífero Mediodía el de los 9 años que van de 1974/75 a 1982/83, con el cual están realizadas las pasadas de ajuste de las que a partir del próximo apartado se da cuenta.

3.2.4. Identificación de la entrada E

Uno de los dos objetivos principales de esta fase del Estudio consiste en la identificación de la más realista ley de recarga del sistema acuífero mediante la infiltración de lluvia útil. Tal identificación consiste fundamentalmente en determinar los valores de RMIN y RMAX a los que corresponde la mejor correlación con la descarga natural total reconstruida para el sistema durante el periodo de calibrado finalmente adoptado (1974/75-1982/83).

Con ese objeto, se realizaron numerosas pasadas de cálculo en condiciones comparables caracterizadas por:

- Entrada E equivalente a la infiltración INF estimada por aplicación del programa THORDOS con diferentes parejas de valores RMIN, RMAX.
- Salida S correspondiente a la totalidad de la descarga natural estimada.
- No consideración de los valores de entrada (caudales medios para cada paso de tiempo de 5 días de duración) superiores a 2 m³/s.
- Memoria de sistema igual a 32 pasos de tiempo (160 días).
- Agotamiento exponencial de la función phi a partir de paso de tiempo nº 33.

Para cada pareja RMIN,RMAX se efectuaron varias pasadas

de cálculo con distintos valores del coeficiente de agotamiento exponencial (C) del tramo final de la función phi, al objeto de identificar en cada caso el máximo valor del coeficiente de correlación. El coeficiente de agotamiento en cuestión, que suele presentar valores comprendidos entre 0,93 y 0,99, representa el ritmo de agotamiento del caudal de descarga en régimen exponencial no influenciado, y equivale al máximo cociente entre el caudal medio en un paso de tiempo y el precedente, durante la fase final de vaciado en régimen no influenciado.

Los resultados obtenidos para cada pareja RMIN, RMAX fueron los siguientes:

RMIN = 10 mm, RMAX = 60 mm: $r = 0,7798$ (con $C = 0,95$)

RMIN = 20 mm, RMAX = 80 mm: $r = 0,7909$ (con $C = 0,96$)

RMIN = 30 mm, RMAX = 80 mm: $r = 0,7916$ (con $C = 0,96$)

RMIN = 30 mm, RMAX = 85 mm: $r = 0,7903$ (con $C = 0,96$)

RMIN = 30 mm, RMAX = 90 mm: $r = 0,7924$ (con $C = 0,96$)

RMIN = 30 mm, RMAX = 95 mm: $r = 0,7914$ (con $C = 0,96$)

RMIN = 30 mm, RMAX = 100 mm: $r = 0,7899$ (con $C = 0,97$)

RMIN = 40 mm, RMAX = 80 mm: $r = 0,7871$ (con $C = 0,96$)

RMIN = 40 mm, RMAX = 100 mm: $r = 0,7868$ (con $C = 0,97$)

Se puede observar que los mejores resultados corresponden al entorno de valores de 30 y 90 mm para RMIN y RMAX, respectivamente. Un mayor afinamiento en la identificación permitió determinar la siguiente entrada para la que se obtiene la mejor correlación posible con las salidas naturales totales reconstruidas:

RMIN = 25 mm, RMAX = 95 mm: $r = 0,7983$ (con $C = 0,96$).

Se analizó también el comportamiento de la totalidad de la

lluvia útil como posible entrada de la deconvolución, pero el ajuste conseguido fue siempre de menor calidad.

Por consiguiente, se puede considerar como mejor ley de recarga del sistema acuífero Mediodía la representada por los valores de INF calculados mediante el programa THORDOS con los indicados valores de RMIN y RMAX.

3.3. CÁLCULO FINAL DE LA DECONVOLUCIÓN

Identificada la más adecuada ley de recarga, se efectuó el cálculo final de la deconvolución entradas/salidas, en las siguientes condiciones:

- Entrada E: Infiltración INF según el programa THOR-DOS, con $R_{MIN} = 25$ mm y $R_{MAX} = 90$ mm
- Salida S: Descarga natural total estimada para el sistema acuífero, sin considerar los valores de la misma en cada paso de tiempo superiores a $1,5$ m³/s (con lo que se rebajó el umbral aplicado en el proceso final de calibrado)
- Periodo de calibrado: 1974/75-1982/83
- Memoria del sistema: 32 pasos de tiempo, equivalentes a 160 días, con agotamiento exponencial subsiguiente (caracterizado por un coeficiente igual a 0,990)

3.3.1. Resultados

En la Fig. 15 adjunta se han representado las serie calculada (en rojo) y "observada" (se trata en realidad de una reconstrucción de la serie medida), donde se pone de manifiesto un grado de coincidencia que puede considerarse como satisfactorio.

La correlación encontrada ha sido aplicada a la serie hiperanual de recarga, generando la serie de salidas representada en la Fig. 16 adjunta (línea en rojo), junto con la serie "observada" durante el periodo de calibrado (línea en azul).

El caudal medio hiperanual calculado para las salidas naturales totales del sistema, es decir, los recursos hiperanuales medios, ascienden a 456 l/s, equivalentes a $14,391$ hm³/a. Teniendo en cuenta que este caudal medio hiperanual corresponde a una recarga unitaria (el valor de INF correspondiente a la correlación obtenida) de $227,47$ mm/a o l/m²/a, resulta para el área de recarga del

DECONVOLUCION ENTRADAS/SALIDAS EN EL S.A. MEDIODIA

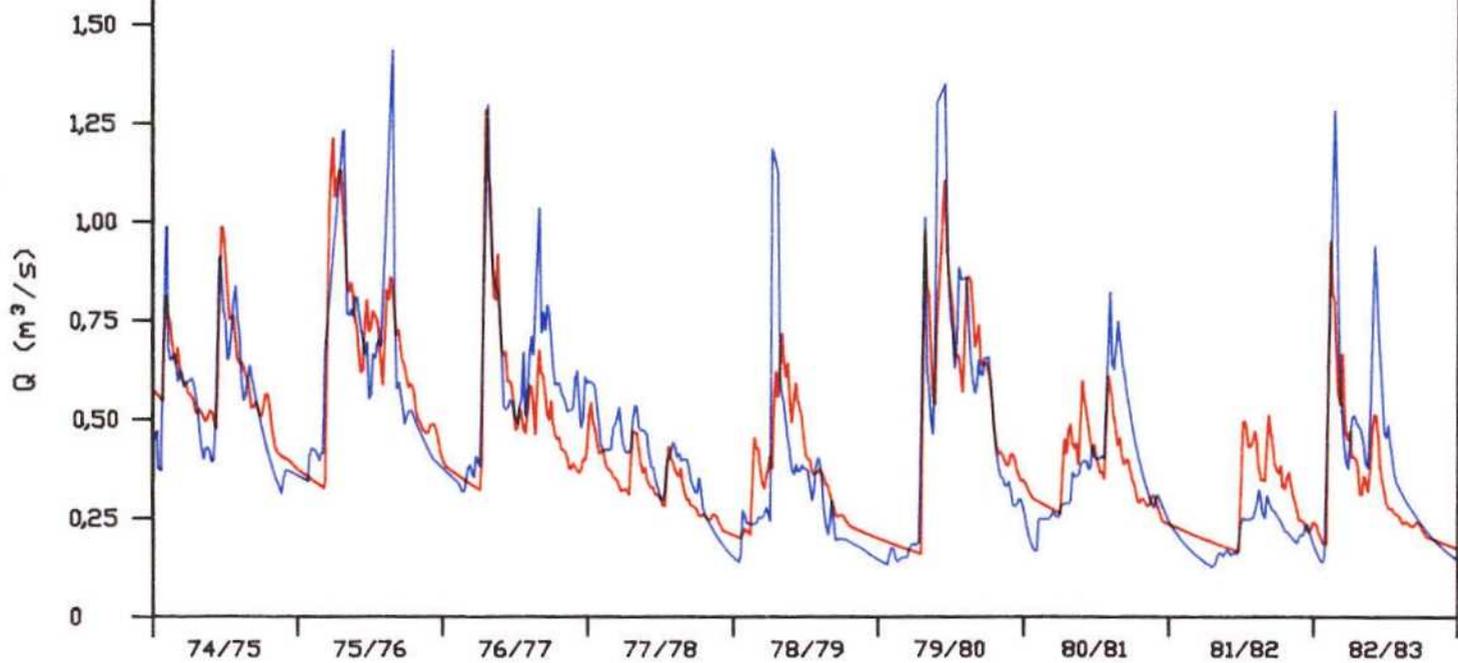
ENTRADAS: INF SEGUN FONTILLES

SALIDAS: TOTALES (rec.)

SALIDA CALCULADA $r^2 = 0,8505$

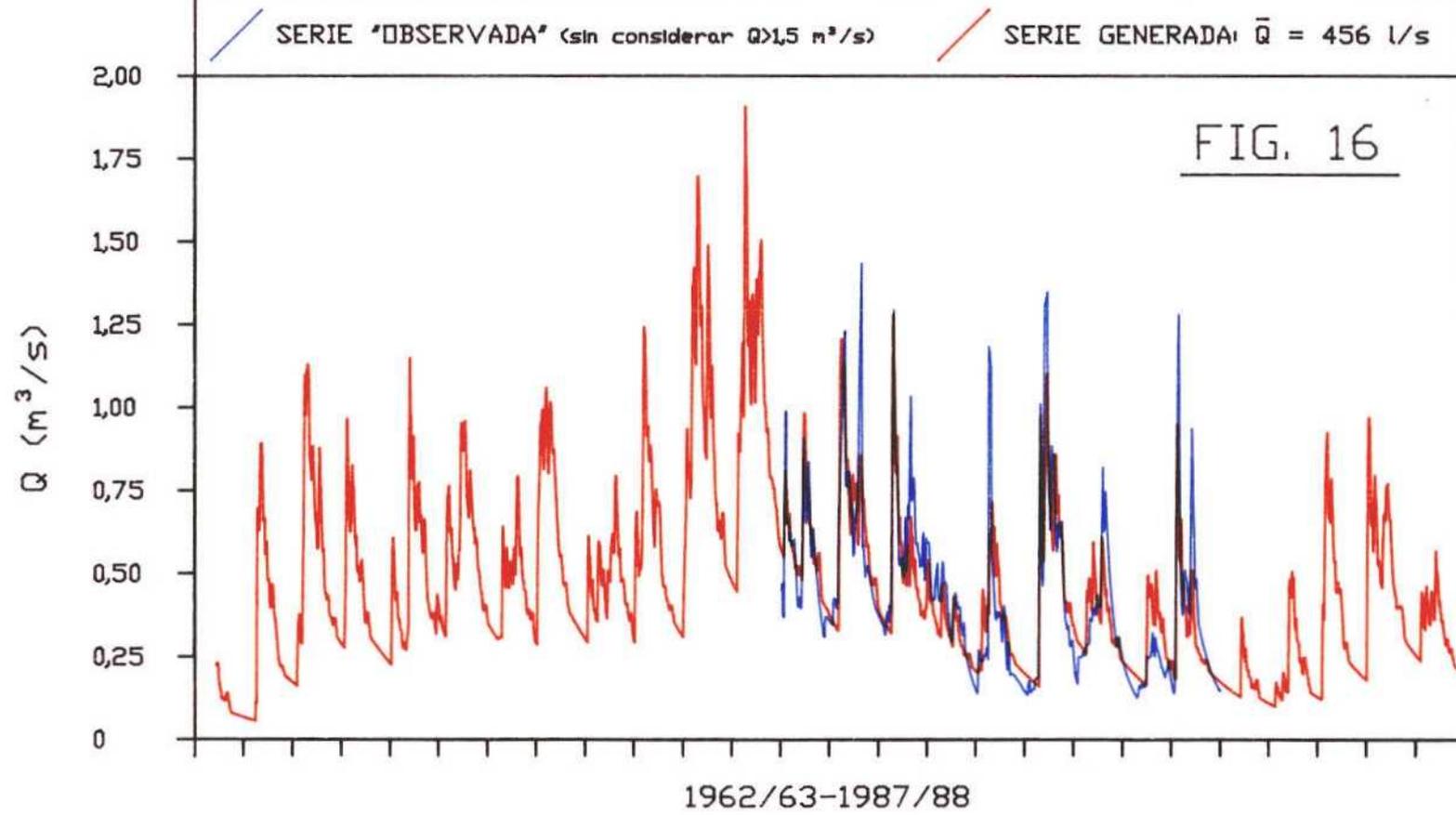
SALIDA REAL ESTIMADA

FIG. 15



SISTEMA ACUIFERO MEDITERRANEO

GENERACION DE LA SERIE HIPERANUAL DE SALIDAS NATURALES TOTALES



sistema acuífero una superficie de 63,3 km².

En el ANEXO III (tomo IV/IV), se incluye una salida completa de la aplicación del programa GMDUEX, en la que para cada una de las 6 fases de de calibrado se incluyen los siguientes resultados:

- Los 32 valores de la función ϕ o respuesta impulsional.
- Valores de la norma en l-2 y en el infinito, representativas de las sumas cuadrática y de valores absolutos, respectivamente, de los residuos o desviaciones entre la salida observada y la calculada para el periodo de calibrado.
- Valores de la media aritmética de la salida observada y de la calculada para el periodo de calibrado.
- Serie de 657 valores (tantos como pasos de tiempo de 5 días de duración existen en el periodo de calado 1974/75-1982/83), correspondientes al residuo o desviación salida observada-salida calculada.
- Representación gráfica de la función ϕ en cada fase de cálculo.

Despues de concluidas las 6 fases de cálculo, el programa proporciona los valores característicos del cálculo correspondientes a todo el periodo de reconvolución o generación de salidas.

En nuestro caso, dicho periodo no comienza exactamente el día 1 de Octubre de 1962, sino 32 pasos de tiempo (160 días) despues. Ello es así porque siendo esa la memoria del sistema y desconociéndose los valores de la entrada E para los 32 pasos anteriores al día 1, habría que suponerla 0, con lo que el cálculo de la salida durante los primeros 160 días del año hidrológico 1962/63 sería erróneo por defecto.

Los valores de las normas, medias y desviaciones o residuos,

calculados para el periodo de reconstitución lo están tomando un valor nulo para la salida "observada" fuera del periodo de calibrado, único para el que, en general, se dispone de valores reales de la misma. A ello se debe el muy inferior valor de la "media real".

A título comparativo, en la Fig. 17 adjunta se ha reflejado el resultado del ajuste conseguido cuando la salida considerada fue la descarga conjunta de las fuentes de Sagra y Bolata, más la galería de La Cava, sin ninguna reconstrucción, es decir, las salidas brutas tal como vienen reflejadas en los historiales hidrométricos. El coeficiente de correlación bajó hasta 0,8230 y es claro el peor ajuste entre curvas calculada y "observada"

3.3.2. La función phi

En la Fig. 18 adjunta se han representado los valores de la función phi, calculados y representados también por el programa, con un cierto "lisado" interpretativo de los mismos.

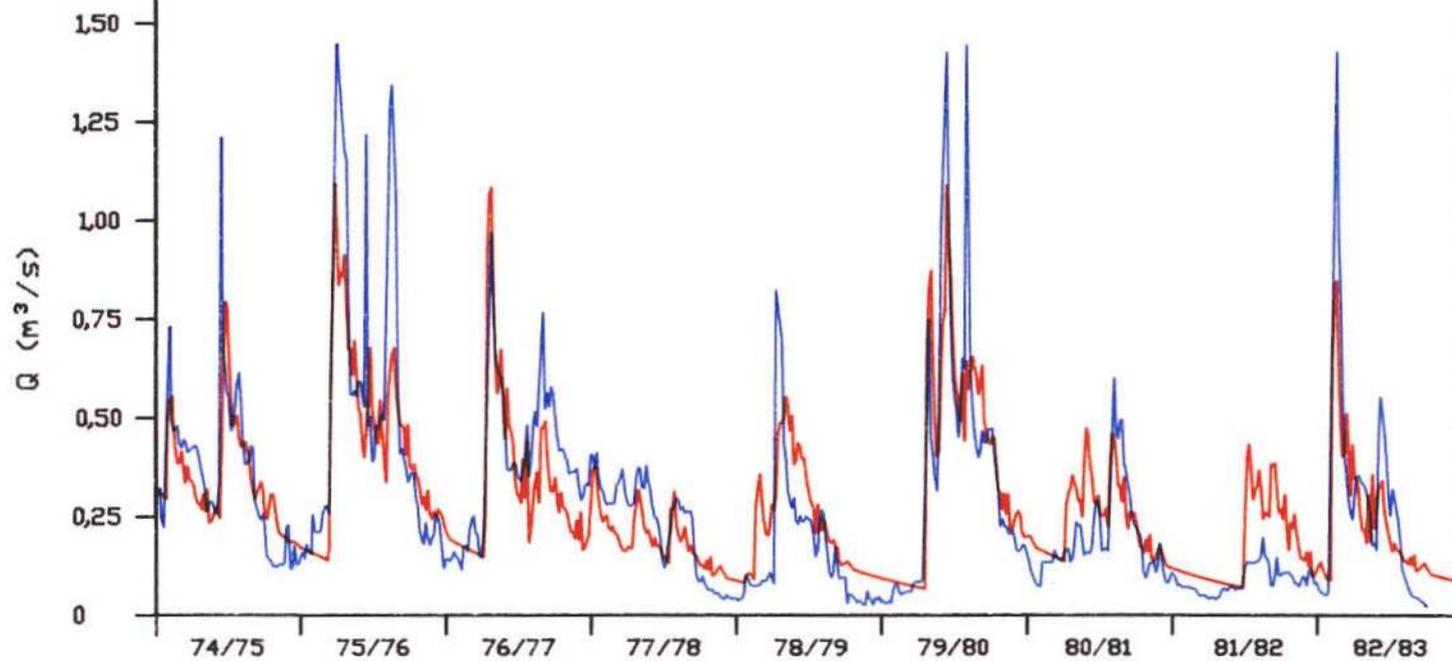
Es evidente la existencia de un primer pico de respuesta en el paso de tiempo nº 2, que con toda probabilidad corresponde a la fuente de Bolata, la que primero y más energicamente responde a la recarga por infiltración.

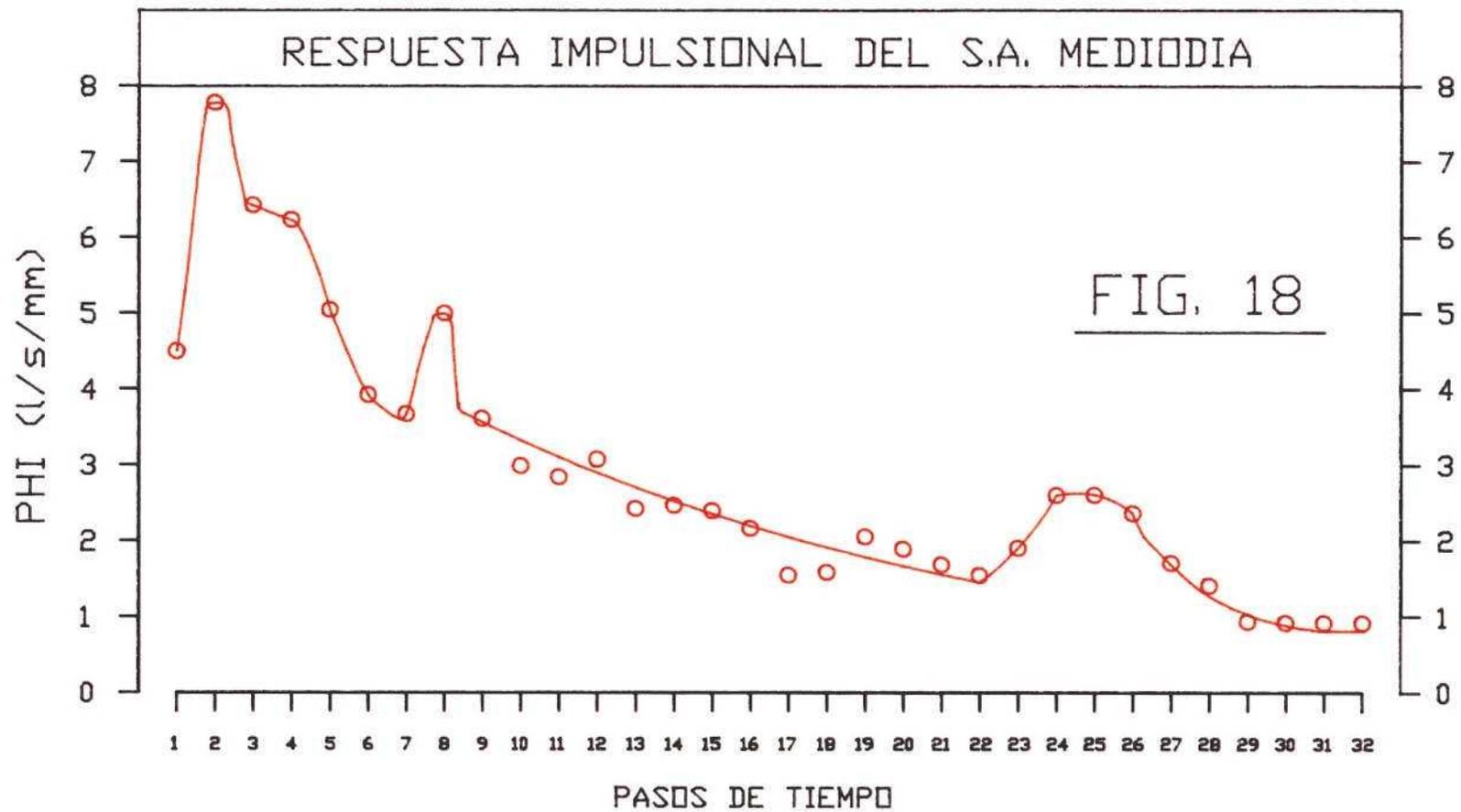
El pico de respuesta correspondiente al paso de tiempo nº 8, es decir, al cabo de 40 días de una recarga, sólo está definido por 1 valor de phi, por lo que resulta aventurado hacer interpretaciones sobre el mismo: corresponde quizá a las fuentes de Sagra?

Por el contrario, es clara la definición del tercer y más desfasado pico, entre los pasos de tiempo nº 24 y nº 26, es decir, con 120 a 130 días de desfase. Es bastante probable que este pico de respuesta refleje la reacción de la galería de La Cava.

DECONVOLUCION ENTRADAS/SALIDAS EN EL S.A. MEDIODIA
ENTRADAS: INF SEGUN FONTILLES SALIDAS: BOLATA+SAGRA+LA CAVA s.c.
— SALIDA CALCULADA $r^2 = 0,8230$ — SALIDA REAL SIN CORR.

FIG. 17





4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Después de un muy laborioso tratamiento de reconstrucción de las descargas registradas en las emergencias no forzadas del sistema acuífero Mediodía, se ha podido alcanzar un satisfactorio grado de ajuste entre la recarga por infiltración estimada a partir de los registros termopluviométricos de la estación de Vall de Laguard-Fontilles, con las salidas naturales totales estimadas para el sistema.

Las conclusiones más destacables son las siguientes:

1. La aplicación del programa THORDOS con valores de **RMIN** y **RMAX** iguales a 25 y 90 mm, respectivamente, proporciona una satisfactoria estimación de la recarga unitaria del sistema por infiltración de lluvia útil. El valor medio hiperanual de dicha recarga asciende a 227,5 mm, equivalentes al 29 % de la precipitación media hiperanual (781,4 mm/a).
2. Las salidas naturales totales del sistema acuífero presentan durante el periodo 1962/63-1987/88 un valor medio de 456 l/s, equivalentes a 14,391 hm³/a.
3. El área equivalente de recarga efectiva del sistema correspondiente a la infiltración y a la descarga total estimadas sería de 63 km².
4. La respuesta máxima del sistema acuífero ante las precipitaciones caídas sobre el mismo varían entre un desfase de sólo 5 días para la fuente de Bolata, y de aproximadamente 125 días para la galería de La Cava.
5. Se puede considerar que del valor estimado para las salidas naturales totales del sistema, del orden de un 30 % corresponde a salidas subterráneas hacia el Cuaternario aluvial del río Girona.