

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS

INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA  
PARA  
APOYO A LA GESTION HIDROLOGICA  
EN LA CUENCA DEL RIO GUADALFEO  
(GRANADA)

SERIE:  
MANUALES DE  
UTILIZACION  
DE ACUIFEROS

**INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA  
PARA APOYO A LA GESTIÓN HIDROLÓGICA  
EN LA CUENCA DEL RÍO GUADALFEO  
(GRANADA)**

---

**PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO  
Y SÍNTESIS DE RESULTADOS**

Madrid, marzo de 1991

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	Pág.	1
2.	MARCO FÍSICO .....	"	6
2.1.	CONTEXTO GEOGRÁFICO .....	"	7
2.2.	HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA.....	"	9
2.3.	HIDROGEOLOGÍA.....	"	11
2.3.1.	Unidad de la sierra de Padul .....	"	14
2.3.2.	Unidad de la sierra de Albuñuelas .....	"	15
2.3.3.	Unidad de la sierra de Almijara-Las Guájaras.....	"	16
2.3.4.	Unidad de la sierra de Lújar .....	"	19
2.3.5.	Unidad de la sierra de Escalate .....	"	22
2.3.6.	Acuífero cuaternario de Motril-Salobreña .....	"	24
2.3.7.	Acuífero de la depresión de Padul .....	"	26
2.3.8.	Otros acuíferos de menor entidad .....	"	28
3.	MODELO DE GESTIÓN COORDINADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS TOTALES DE LA CUENCA .....	"	29
3.1.	ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA GESTIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL GUADALFEO .....	"	30
3.1.1.	Infraestructura de regulación y distribución superficial .....	"	30

3.1.2.	Áreas con demandas de agua en el interior de la cuenca .....	Pág.	30
3.1.3.	Otras demandas de agua en el interior de la cuenca .....	"	33
3.1.4.	Demandas de agua en áreas adyacentes a la cuenca .....	"	34
3.1.5.	Manantiales regulables hidrogeológicamente .....	"	34
3.1.6.	El sistema acuífero aluvial Motril-Salobreña .....	"	35
3.2.	PLANTEAMIENTO ADOPTADO EN LA ELABORACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN HIDROLÓGICA PARA LA CUENCA DEL GUADALFEO .....	"	37
3.3.	POSIBILIDADES DE REGULACIÓN DEL RÍO GUADALFEO MEDIANTE EMBALSES SUPERFICIALES .....	"	42
3.3.1.	Garantía adoptada .....	"	43
3.3.2.	Programa de cálculo aplicado .....	"	43
3.3.3.	Datos utilizados .....	"	44
3.3.3.1.	Embalses de regulación .....	"	44
3.3.3.2.	Aportaciones superficiales .....	"	45
3.3.3.3.	Derivaciones .....	"	46
3.3.3.4.	Servidumbres .....	"	48
3.3.3.5.	Distribución de la demanda de agua para riego .....	"	49
3.3.4.	Resultados del cálculo de la regulación superficial .....	"	50

3.3.4.1.	<b>Opción I: Regulación en Béznar y Rules para dotar demandas internas de la cuenca del Guadalfeo.</b>		
	Series PH .....	Pág.	54
3.3.4.2.	<b>Opción II: Regulación en Béznar y Rules para dotar demandas internas de la cuenca del Guadalfeo.</b>		
	Series EU .....	"	55
3.3.4.3.	<b>Opción III: Regulación en Béznar y Rules para dotar demandas internas de la cuenca del Guadalfeo, con apoyo a la subzona A1.</b>		
	Series EU .....	"	56
3.3.4.4.	<b>Opción IV: Regulación en Béznar y Rules para dotar demandas internas de la cuenca del Guadalfeo, con apoyo a la subzona A1 y trasvase hacia el río Adra.</b>		
	Series EU .....	"	57
3.3.5.	<b>El embalse de Rules .....</b>	"	58
3.4.	<b>REGULACIÓN DEL RÍO GUADALFEO MEDIANTE EMBALSES SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS .....</b>	"	59
3.4.1.	<b>Enfoques metodológicos aplicables.....</b>	"	59

3.4.1.1.	Regulación hidrogeológica de manantiales. El programa REGMA .....	Pág.	59
3.4.1.2.	Regulación conjunta mediante embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos. Programa REGRIO2 .....	"	72
3.4.2.	Resultados del cálculo de la regulación coordinada .....	"	76
3.4.2.1.	Regulación hidrogeológica de manantiales .....	"	76
3.4.2.2.	Regulación coordinada de manantiales y embalses superficiales .....	"	91
3.4.2.3.	Regulación conjunta mediante los embalses superficiales y el sistema acuífero Motril-Salobreña .....	"	96
3.5.	EL SISTEMA ACUÍFERO MOTRIL- SALOBREÑA EN LA REGULACIÓN SUPERFICIAL CONJUNTA .....	"	106
3.5.1.	Modelo matemático del flujo subterráneo en el sistema .....	"	106
3.5.2.	Simulación matemática .....	"	115
3.5.2.1.	Recargas ligadas al río Guadalfeo .....	"	116
3.5.2.2.	Bombes desde el sistema acuífero .....	"	124

3.5.2.3. Resultados de la simulación....	Pág.	126
4. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	"	140

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	1	Unidades hidrogeológicas diferenciadas en la cuenca del Guadalfeo .....	Pág.	13
Fig.	2	Síntesis hidrológica de la cuenca del Guadalfeo .....	"	31
Fig.	3	Esquema hidrológico de la cuenca del Guadalfeo .....	"	41
Fig.	4	Régimen de afección y recuperación de un manantial .....	"	64
Fig.	5	Funcionamiento de un manantial en regulación .....	"	68
Fig.	6	Manantiales de Padul: Entorno geológico, emplazamiento de posibles sondeos de regulación y localización de sus áreas de riego .....	"	80
Fig.	7	Manantial de Cijancos: Entorno geológico, emplazamiento de un posible sondeo de regulación y localización de sus áreas de riego .....	"	81
Fig.	8	Manantiales de Vélez de Benaudalla: Entorno geológico, emplazamiento de un posible sondeo de regulación y localización de sus áreas de riego .....	"	83

Fig.	9	Manantiales del río de la Toba: Entorno geológico, emplazamiento de posibles sondeos de regulación y localización de sus áreas de riego .....	Pág.	85
Fig.	10	Manantial de La Zaza: Entorno geológico, emplazamiento de un posible sondeo de regulación y localización de sus áreas de riego .....	"	86
Fig.	11	Manantial de Rules: Entorno geológico y emplazamiento de posibles sondeos de regulación .....	"	88
Fig.	12	Regulación hidrogeológica en Rules .....	"	89
Fig.	13	Regulación conjunta del río Guadalfeo. Embalses de Béznar y Rules+ Sistema acuífero Motril-Salobreña .....	"	105
Fig.	14	Modelo matemático del flujo subterráneo en el sistema acuífero Motril-Salobreña. Calado en régimen permanente .....	"	108
Fig.	15	Evolución piezométrica en la malla 2 y en el piezómetro 1944-4-022 .....	"	109
Fig.	16	Evolución piezométrica en la malla 20 y en el piezómetro 1944-4-045 .....	"	110

Fig. 17	Evolución piezométrica en la malla 35 y en el piezómetro 1944-8-083. Evolución piezométrica en la malla 37 y en el piezómetro 1944-8-085 .....	Pág. 111
Fig. 18	Evolución piezométrica en la malla 85 y en el piezómetro 1944-8-026. Evolución piezométrica en la malla 134 y en el piezómetro 1944-8-108 .....	" 112
Fig. 19	Evolución piezométrica en la malla 139 y en el piezómetro 1944-8-109. Evolución piezométrica en la malla 146 y en el piezómetro 1944-8-033 .....	" 113
Fig. 20	Evolución piezométrica en la malla 166 y en el piezómetro 2044-5-063. Evolución piezométrica en la malla 248 y en el piezómetro 2044-5-064 .....	" 114
Fig. 21	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Malla 2 .....	" 128
Fig. 22	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Malla 20 .....	" 129
Fig. 23	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Malla 35 .....	" 130
Fig. 24	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Malla 37 .....	" 131

Fig.	25	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Malla 85 .....	Pág.	132
Fig.	26	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Malla 134 .....	"	133
Fig.	27	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Malla 139 .....	"	134
Fig.	28	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Malla 146 .....	"	135
Fig.	29	Simulación del S.A. Motril-Salobreña en la regulación conjunta. Mallas 166 y 248 ..	"	136
Fig.	30	Funcionamiento hidrodinámico del S.A. Motril-Salobreña en la regulación superficial conjunta .....	"	138

La presente síntesis ha sido realizada por el **Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE)** con la colaboración de la empresa **Investigación y Desarrollo de Recursos Naturales, S.A. (IDRENA)** y la **Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA)**.

Ha intervenido en la misma el siguiente equipo técnico:

**Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE):**

D. Juan Antonio López Geta, Ingeniero de Minas.  
Jefe de Servicio de la Dirección de Aguas Subterráneas.

D. Juan Carlos Rubio Campos, Dr. en Ciencias Geológicas.

D. Esteban de la Cruz Lozano, Delineante

**Investigación y Desarrollo de Recursos Naturales, S.A. (IDRENA):**

D. Gonzalo López Arechavala, Dr. Ingeniero de Minas.

D. Luis Ángel González Fernández, Ingeniero de Minas.

**Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A.  
(ENADIMSA):**

D. Luis Linares Girela, Dr. en Ciencias Geológicas.

D. Leovigildo Trenado Navarro, Ingeniero Técnico de Minas.

D. Andrés Rivera Martínez, Ingeniero Técnico de Minas.

D. Francisco Catalán Monzón, Auxiliar Técnico.

# **1. INTRODUCCIÓN**

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE) es un organismo autónomo del Ministerio de Industria y Energía, configurado como organismo público de investigación por la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica de 14 de abril de 1986.

La Disposición Adicional 6ª de la vigente Ley de Aguas, de 2 de agosto de 1985, encomienda al ITGE, entre otras misiones, la de prestar asesoramiento técnico a las distintas Administraciones Públicas en materias relacionadas con las aguas subterráneas.

La INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA APOYO A LA GESTIÓN HIDROLÓGICA EN LA CUENCA DEL GUADALFEO (CUENCA DEL SUR, GRANADA), de la que se da cuenta resumida en este informe de síntesis (\*), representa el resultado último de una larga serie de proyectos de investigación y controles hidrogeológicos que el ITGE viene llevando a cabo en dicha zona desde el año 1972.

Como culminación de esa prolongada y sistemática tarea de estudio y seguimiento hidrogeológico, en el presente proyecto de investigación se han analizado y evaluado diversas modalidades de integración de los más importantes sistemas acuíferos de la cuenca del Guadalfeo, en la planificación y gestión de los recursos hídricos totales de la misma, a realizar por el Organismo de Cuenca competente. El objetivo pretendido de dicha integración no es otro que el logro de la máxima regulación posible de la esorrentía total de la cuenca, con vistas a hacer frente de forma óptima a las demandas de agua definidas por la Confederación Hidrográfica del Sur (CHS), con garantía máxima en su dotación y conservación plena, cualitativa y cuantitativa, de los sistemas acuíferos implicados en la cuenca.

La investigación hidrogeológica realizada, núcleo central del presente estudio, ha tenido el siguiente contenido:

(\*) Existe un informe completo de la investigación realizada: "Investigación hidrogeológica para apoyo a la gestión hidrológica de la cuenca del río Guadalfeo (Cuenca del Sur de España, Granada)", 10 volúmenes, Madrid, diciembre de 1988. Dicho informe ha sido realizado por el ITGE con la colaboración de Investigación y Desarrollo de Recursos Naturales, S.A. (IDRENA) y de la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA).

- Análisis y diseño de la regulación hidrogeológica de los 12 manantiales más importantes de los existentes en la cuenca del Guadalfeo, que vienen siendo objeto de control por el ITGE desde hace más de una década y que, en conjunto, suponen una descarga media de 48 hm<sup>3</sup>/a. Tales surgencias representan sólo una parte de las salidas hacia el interior de la cuenca, de las unidades hidrogeológicas carbonatadas correspondientes a los mantos alpujárrides de:
  - \* Los Guájares, Salobreña, La Herradura y Trevenque, al Oeste de los ríos Ízbor y Guadalfeo, para los manantiales de Padul, Cijancos, río de La Toba y La Zaza.
  - \* Lújar y Alcázar, al Este del río Guadalfeo, para la circulación subterránea en Rules y para los manantiales de Vélez de Benaudalla.
- Asimismo, se ha llevado a cabo una detallada investigación sobre el funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero aluvial plio-cuaternario de Motril-Salobreña, definido en anteriores investigaciones hidrogeológicas, que ha culminado en la modelización matemática de su circulación subterránea.

Para que el análisis de las posibilidades de integración de las unidades hidrogeológicas mencionadas en la gestión hidrológica de la cuenca pudiese ser efectuado sobre la base de un adecuado conocimiento de la situación hidrológica actual y de la futura prevista (demandas de agua propias de la cuenca, planes de apoyo a cuencas vecinas, capacidad de regulación superficial, red de distribución, etc.), la investigación realizada ha tenido que incluir también un estudio hidroagrónico y de hidrología superficial consistente en:

- Identificación y evaluación de las demandas de agua para riego en la cuenca alta del Guadalfeo (\*).

(\*) En el presente informe se entenderá por cuenca alta del Guadalfeo la vertiente a dicho río hasta su confluencia con el Ízbor, que quedaría cubierta por el proyectado embalse de Rules. Como tramo medio cabría considerar el comprendido entre dicho punto y el azud de Lobres, cabecera del sistema acuífero "Motril-Salobreña".

- Evaluación y perspectivas de evolución de las demandas adscritas actualmente a los manantiales cuya regulación hidrogeológica podría ser integrada en la planificación hidrológica.
- Evaluación de la capacidad real de regulación superficial de los dos embalses de la cuenca (Béznar, construído, y Rules, en proyecto) para hacer frente a las demandas de agua previstas por la CHS.

Para las áreas de regadío tradicional de Motril y Salobreña, así como para las necesidades ecológicas y del abastecimiento urbano e industrial, y para los posibles apoyos a las demandas en cuencas adyacentes a la del Guadalfeo, se han aplicado las previsiones de la CHS (\*).

Mediante los trabajos de investigación citados se ha terminado caracterizando, en todos los aspectos de interés para la gestión hidrológica de la cuenca, las condiciones de integración de las fuentes de recursos consideradas (embalses superficiales, manantiales regulados hidrogeológicamente y sistema acuífero aluvial Motril-Salobreña), con las demandas de abastecimiento definidas por la CHS, elaborándose con ello un modelo o esquema de planificación y gestión para los recursos hídricos de la cuenca.

La metodología de evaluación e integración aplicada y las herramientas de gestión puestas a punto pueden ser utilizadas ante cualquier objetivo de dotación de demandas, más o menos ambicioso y diferente de los contemplados en el presente trabajo, haciendo posible la valoración de las correspondientes consecuencias hidrológicas e hidrogeológicas y, a partir de ella, determinar su viabilidad práctica.

Entre las herramientas matemáticas de planificación y gestión hidrológica e hidrogeológica aplicadas hay que señalar los siguientes programas informáticos:

(\*) Dichas previsiones están reflejadas en:

"Estudios básicos para la redacción del plan hidrológico de la cuenca hidrográfica del Sur de España. 1ª fase", 1983. Elaborado con la colaboración de INITEC.

"Estudio de viabilidad de la ampliación de la zona regable de Motril y Salobreña hasta la cota 300 (Granada)", Marzo de 1984. Elaborado con la colaboración de EUROESTUDIOS, S.A.

- **REGMA (\*)**, para el diseño y el cálculo de la regulación hidrogeológica de manantiales.
- **REGRIO1 (\*)**, para el cálculo de la regulación superficial de un río mediante embalses superficiales únicamente.
- **REGRIO2 (\*)**, para el cálculo de la regulación superficial de un río mediante embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos, en conjunto.
- **NEWSAM (\*\*)**, para la modelización matemática del flujo subterráneo en sistemas acuíferos multicapa, con flujo cuasitridimensional en mallado irregular.

(\*) IDRENA, Madrid.

(\*\*) C.I.G., Fontainebleau (Francia).

## **2. MARCO FÍSICO**

## 2.1. CONTEXTO GEOGRÁFICO

La cuenca del Guadalfeo, río que vierte directamente al Mediterráneo, se sitúa en su totalidad sobre la mitad sur de la provincia de Granada, en la que ocupa una superficie de 1.295 km<sup>2</sup>. Al Norte, está limitada por los fuertes relieves de Sierra Nevada, al Este, por las sierras de la Contraviesa y Lújar y, al Oeste, por las sierras de La Almirajara, Las Guájaras y Las Albañuelas.

La cuenca alta del Guadalfeo se asienta, en gran parte, sobre la comarca de Las Alpujarras, con altitudes que superan los 2.000 m s.n.m. en una amplia extensión.

El principal afluente por la margen derecha es el río Ízbor o Dúrcal, cuya cuenca, de 456 km<sup>2</sup> de extensión, ocupa más de la tercera parte de la superficie total de la del Guadalfeo. En su cabecera, entre la sierra de Las Albañuelas y las estribaciones de Sierra Nevada, se sitúa la depresión de Padul, de unos 50 km<sup>2</sup> de superficie. Dicha pequeña cuenca, naturalmente endorreica, corresponde a una antigua zona lagunar caracterizada por sus depósitos de turba, que fue drenada y comunicada con el río Dúrcal por medio de unas zanjas construidas artificialmente a finales del siglo XVIII. El resto de la cuenca de este río se sitúa sobre la comarca del valle de Lecrín, que constituye una zona de transición entre la vega del Genil, La Alpujarra, la propia Sierra Nevada y la zona costera, y presenta una gran personalidad a causa de su característico microclima.

En el sector suroccidental de la cuenca, sobre las estribaciones de la sierra del mismo nombre, se encuentra la zona de Las Guájaras, otra de las claramente individualizadas en la cuenca del Guadalfeo, que corresponde a la cuenca del río de La Toba (de 75 km<sup>2</sup> de extensión), afluente del Guadalfeo por su margen derecha.

La cuenca baja comprende la denominada Vega de Motril-Salobreña, ocupada por una llanura aluvial, de morfología prácticamente llana, que se extiende desde el estrecho valle por el que penetra el río Guadalfeo, procedente de su cuenca alta, hasta el mar; en el sector más próximo al litoral, esta llanura se asienta sobre un característico delta,

relacionado con la desembocadura del río.

La población conjunta de los municipios cuyas cabeceras se encuentran situadas dentro de la cuenca es de unos 50.000 habitantes; a ellos hay que añadir aproximadamente otros 50.000 de los municipios de Motril y Salobreña, poblaciones que, si bien están situadas fuera de la cuenca, están lo suficientemente próximas como para formar parte de ella desde el punto de vista socio-económico. La mayor densidad de población, con cifras de más de 200 hab./km<sup>2</sup>, se produce precisamente en esos dos municipios del sector costero, mientras que en la mayor parte de la cuenca la densidad varía entre 20 y 50 hab./km<sup>2</sup>, con áreas aisladas de alta montaña, de menor densidad aún.

La economía de la zona se basa fundamentalmente en la agricultura, con unas 15.000 ha de regadío en el total de la cuenca.

En la comarca de La Alpujarra, que ocupa la mayor parte de la cuenca alta, destaca la elevada proporción de pastizales (44%) orientados al ganado menor, y una importante superficie forestal (41%); existen también cultivos de huerta, patatas y cítricos, así como olivar y cereal de regadío.

El valle de Lecrín tiene más del 50% de sus tierras productivas dedicado a cultivos leñosos; casi el 30% de la superficie agraria útil son pastizales y un porcentaje similar es de terreno forestal. Entre los cultivos regados destacan los cítricos, hortalizas, olivar, frutales y patatas.

En la Vega de Motril-Salobreña predomina la caña de azúcar y, en menor proporción, los frutales, hortalizas y patatas; en los últimos años, en este sector próximo a la costa, se extienden los cultivos de frutos subtropicales.

La ganadería está poco extendida en la cuenca: se reduce a pequeñas explotaciones de carácter familiar.

El turismo se concentra en el área costera, donde se observa un crecimiento gradual, aunque no tan rápido como en zonas más occidentales de la Costa del Sol. También la comarca de La Alpujarra empieza

a desarrollarse en este aspecto.

Las industrias existentes también están concentradas fundamentalmente en el área costera y, sobre todo, en la zona de Motril-Salobreña, destacando las relacionadas con la explotación de la caña de azúcar y la celulosa; con menor importancia, existen algunas industrias en relación con la madera, vino, aceite y la construcción, así como varias centrales de aprovechamiento hidroeléctrico.

Lanjarón, por otra parte, presenta una actividad importante en los sectores turístico e industrial en relación con sus aguas minero-medicinales (hostelería, balnearios, embotellado de agua, etc.).

El puerto de Motril tiene importancia no sólo por su actividad pesquera, sino también en relación con el transporte comercial de los productos relacionados con la industria y agricultura de la zona.

Las explotaciones mineras de la zona de La Alpujarra-La Contraviesa son tradicionales, aunque actualmente su actividad no es ya importante.

Las comunicaciones se basan en dos arterias principales: la carretera costera de Málaga a Almería y la que, partiendo de ella, une Motril con Granada. Los diversos núcleos urbanos no situados junto a éstas, enlazan con ellas por medio de carreteras comarcales y locales de trazado generalmente difícil e irregular. Fuera de esta red, las áreas montañosas están comunicadas por escasos caminos, habitualmente en mal estado.

## 2.2. HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

El río Guadalfeo tiene una longitud total próxima a los 70 km, con una pendiente media de 4,9 %; en él pueden diferenciarse tres tramos:

- El tramo alto presenta una dirección N-S y corresponde a la cabecera, desde el nacimiento, a cota superior a los 2.500 m s.n.m., hasta la cota de 800, aproximadamente a la altura de Cádiar. Tiene una longitud de unos 19 km y una pendiente media del 13,8 %.

- El tramo medio se extiende hasta la cota 100 (aproximadamente a la altura de Vález de Benaudalla). Su dirección, primero E-W, termina siendo NE-SW. Este tramo tiene una longitud de unos 37 km y una pendiente media del 1,9 %; en él recibe el Guadalfeo sus afluentes más importantes, todos ellos por su margen derecha: Trevélez, con 33 km de longitud, Poqueira con 17, Lanjarón con 21 e Ízbor con 24; éste último recoge todos los arroyos del valle de Lecrín y el drenaje de la depresión de Padul.
- El tramo bajo del Guadalfeo se extiende aproximadamente desde su confluencia, por la margen derecha, con el río de La Toba, hasta el mar, y discurre por la Vega de Motril-Salobreña con una longitud de unos 14 km y una pendiente media del 0,7%.

El embalse de Béznar está destinado a la regulación de las aportaciones de la mayor parte de la cuenca del Ízbor; el de Rules -en proyecto- lo complementará recogiendo las aportaciones del resto de la cuenca alta y la mayor parte de la media del Guadalfeo.

La climatología de la cuenca es muy variada, como consecuencia de la gran diferencia de altitud y morfología existente entre los distintos sectores de la misma.

En los sectores pertenecientes a la cuenca alta que ocupan la vertiente meridional de Sierra Nevada, la temperatura media anual varía entre 9 y 13° C, mientras que en el sector costero esa media se aproxima a 20° C.

Las precipitaciones también varían substancialmente entre los diferentes sectores de la cuenca, con medias superiores a 1.000 mm/a en la cabecera, e inferiores a 500 en las zonas costeras. La pluviometría media de la cuenca en conjunto es de aproximadamente 675 mm/a. Se puede distinguir una estación húmeda entre los meses de octubre y abril, en los que se produce más del 80% de la precipitación total anual, y otra seca, entre junio y agosto, en que sólo se registra el 5% de la misma.

Una gran parte de las precipitaciones en la cuenca alta se produ-

cen en forma de nieve y dan lugar a un régimen hidrológico característico, muy influido por el efecto regulador del deshielo.

La evapotranspiración potencial media varía entre menos de 700 mm/a, en el área próxima a las cumbres de Sierra Nevada, y casi 1.000 en el sector costero; más de las dos terceras partes del total anual se acumulan en los meses de junio a septiembre.

De acuerdo con la clasificación de Thornthwaite el clima de la cuenca en conjunto es Mesotérmico-IV y Subhúmedo-seco.

### 2.3. HIDROGEOLOGÍA

Desde el punto de vista hidrogeológico, la cuenca del Guadalfeo y los sectores adyacentes a la misma se localizan sobre el Sistema acuífero definido por el ITGE con el nº 41, denominado "Calizas y dolomías triásicas de sierra Almirajara-sierra de Lújar", y sobre otros acuíferos de carácter detrítico, en general relacionados hidrogeológicamente con el anterior.

En el aspecto geológico, el área se sitúa sobre la Zona Bética, que se caracteriza por incluir casi exclusivamente materiales paleozoicos y triásicos. Desde el punto de vista tectónico, dicha zona de las cordilleras béticas está constituida por mantos de corrimiento tradicionalmente agrupados en tres grandes conjuntos superpuestos, que de abajo a arriba son el Nevado-Filábride, el Alpujárride y el Maláguide. La cuenca del Guadalfeo y sus sectores limítrofes se asientan fundamentalmente sobre el dominio del complejo Alpujárride y, en su parte alta (Sierra Nevada), sobre el complejo Nevado-Filábride. En los sectores del valle bajo del río Guadalfeo y de sus afluentes de la margen derecha se encuentran presentes formaciones recientes, neógeno-cuaternarias.

El complejo Nevado-Filábride es el más profundo de los que constituyen la Zona Bética. Está formado por varios mantos de corrimiento superpuestos, cuya característica común, desde el punto de vistas litoestratigráfico, es estar constituidos por formaciones metamórficas, en su mayor parte del Paleozoico; los términos más altos de

la serie, también metamórficos, corresponden al Trías. Afloran estos materiales en el sector central de Sierra Nevada, constituyendo el núcleo del edificio Bético.

El complejo Alpujárride, que se encuentra superpuesto tectónicamente al Nevado-Filábride, está constituido por varias unidades, estructuradas también en mantos de corrimiento superpuestos. Desde el punto de vista litoestratigráfico, las unidades alpujárrides presentan, como característica común, un conjunto basal de micaesquistos, filitas y cuarcitas, en su mayor parte paleozoicas, y otro superior, carbonatado, de edad triásica. Dentro de este conjunto se han distinguido varios mantos, de los que, en la cuenca del Guadalfeo, están presentes los de Lújar, Cástaras, Víboras, Alcázar, Trevenque, Murtas, Adra, La Herradura y Las Guájaras.

Las formaciones neógeno-cuaternarias ocupan los valles del Guadalfeo y de sus afluentes, fundamentalmente los de la margen derecha, y adquieren su mayor desarrollo en la depresión de Padul, valle de Lecrín y la llanura costera de Motril-Salobreña.

El elevado número de mantos de corrimiento individualizados en el Complejo Alpujárride y la tectonización interna que presentan originan una gran compartimentación en numerosos sistemas hidrogeológicos, de complejas interrelaciones y geometría. Para sistematizar la descripción hidrogeológica de la zona se han diferenciado las siguientes unidades:

- Unidad de la sierra de Padul
- Unidad de la sierra de Albuñuelas
- Unidad de la sierra de Almijara-Las Guájaras
- Unidad de la sierra de Lújar
- Unidad de la sierra de Escalate.

Por su parte, entre los acuíferos detríticos incluidos en la cuenca, los de mayor importancia son los siguientes:

- Acuífero cuaternario de Motril-Salobreña
- Acuífero de la depresión de Padul.



LEYENDA

-  ACUIFEROS CARBONATADOS
-  ACUIFEROS DETRITICOS
-  AREAS PRACTICAMENTE SIN ACUIFEROS
-  MANANTIALES SIGNIFICATIVOS
-  CAPTACIONES MAS IMPORTANTES
- ABC** DENOMINACIONES DE LAS UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DIFERENCIADAS
-  LIMITE DE LA CUENCA DEL GUADALFEO
-  LIMITE DE OTRAS CUENCAS

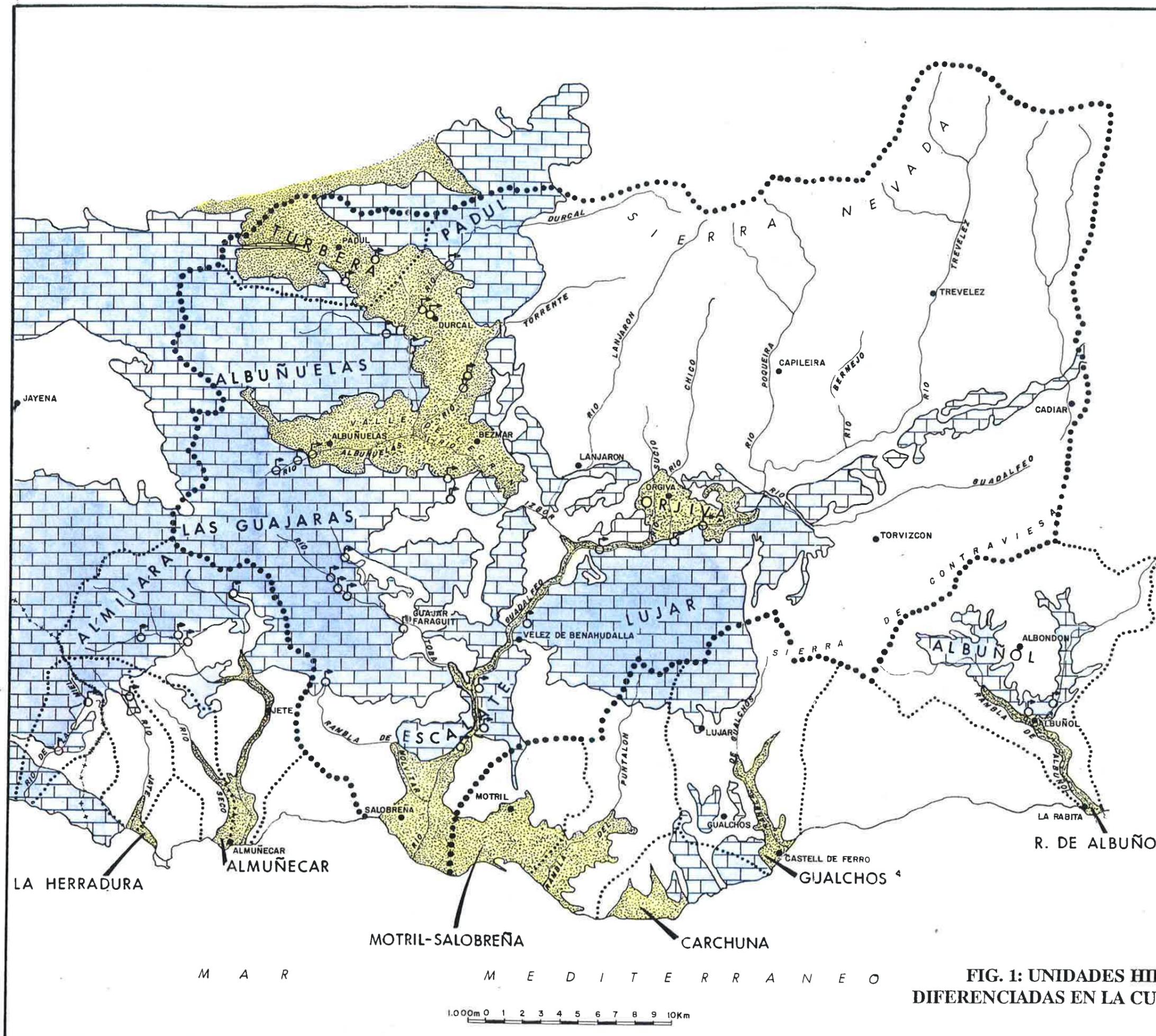


FIG. 1: UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DIFERENCIADAS EN LA CUENCA DEL GUADALFEO

En la fig. 1 adjunta se han representado de forma simplificada las distintas unidades hidrogeológicas diferenciadas en la cuenca y los más importantes manantiales de las mismas.

### 2.3.1. Unidad de la sierra de Padul

La divisoria Guadalquivir-Guadalfeo atraviesa esta unidad hidrogeológica en dirección E-W, separándola en dos sectores de superficie aproximadamente equivalente.

El acuífero de esta unidad corresponde a la formación carbonatada del manto de Trevenque, representada principalmente por dolomías que en una gran parte de la zona se hallan muy fisuradas y trituradas ("kakiritas"); su potencia, que alcanza un máximo de 1.000 m en la Silleta de Padul, es notablemente inferior en otros sectores. El substrato del acuífero está constituido por materiales filíticos de muy baja permeabilidad, que definen también su límite oriental y lo separan de la formación carbonatada del manto de Víboras, al que se halla superpuesto tectónicamente.

En sus bordes occidental y meridional, el acuífero alpujárride de la sierra de Padul se pone en contacto con los materiales detríticos neógeno-cuaternarios de las depresiones de Granada y Padul-Dúrcal, que se le superponen y a los que aporta una alimentación lateral subterránea más o menos importante, según los sectores.

En el funcionamiento hidrogeológico de esta unidad influyen decisivamente dos factores:

- por una parte, la compleja estructura interna, que crea discontinuidades capaces de romper o, al menos, dificultar la interconexión hidradinámica,
- y por otra, las relaciones existentes entre el acuífero y los cursos de agua superficiales, que lo alimentan o drenan según los sectores, en función, principalmente, de la posición relativa del río y de la superficie libre del acuífero.

La unidad se descarga, en su vertiente norte, por medio de diversos manantiales, entre los que destaca el de Huenes, y por el río Dílar; dentro de la cuenca del Guadalfeo, los ríos Dúrcal y Torrente, en su curso alto, drenan también parte de esta unidad. Sin embargo, la descarga principal se produce fundamentalmente por el límite meridional, bien sea a través de los manantiales del borde de la depresión de Padul-Dúrcal o bien, de modo no visible, alimentando a los acuíferos detríticos de ésta.

Los recursos propios de esta unidad, considerando como tales los procedentes de la infiltración directa de lluvia sobre sus 87 km<sup>2</sup>, y sin tener en cuenta la alimentación que pueda recibir por infiltración desde los cursos superficiales, han sido estimados en algo más de 21 hm<sup>3</sup>/a.

Comparada con las salidas hacia la turbera de Padul (estimadas en unos 20 hm<sup>3</sup>/a), se observa que prácticamente la totalidad de la recarga por infiltración estimada para la unidad se dirigirá hacia aquella, por lo que resultaría necesaria una mayor cifra de alimentación, que explicase las salidas subterráneas que se producen a través de los cauces de los ríos. Tal explicación estaría en la percolación desde los cauces de los ríos, cuando éstos atraviesan la unidad a cotas más elevadas que la superficie libre, y/o en una infiltración superior a la antes indicada.

### 2.3.2. Unidad de la sierra de Albuñuelas

Esta unidad carbonatada se prolonga hacia el Oeste, fuera de la cuenca del Guadalfeo, hasta limitar con la depresión terciaria de Granada, en el extremo suroriental de la misma; por el Sur, se extiende hacia la unidad de la sierra de Almijara-Las Guájaras, de la que se supone está separada por una divisoria subterránea cuyas características y localización concretas se desconocen. En sus bordes oeste, norte y este, los límites de la unidad están definidos por el contacto con los materiales neógenos de las depresiones de Granada, Padul y valle de Lecrín.

La mayor parte de los materiales aflorantes corresponde a la

formación carbonatada superior del manto de La Herradura, cuyo substrato no aflora en este sector; sin embargo, también existen algunos pequeños isleos del manto de Los Guájares.

La recarga de esta unidad procede únicamente de la infiltración directa de lluvia; su descarga está localizada en los bordes de la misma, bien a través de manantiales, o bien subterráneamente, alimentando a los acuíferos neógeno-cuaternarios que se apoyan sobre el carbonatado alpujarride.

La descarga a través del borde oriental (el que se halla localizado en la cuenca del Guadalfeo) tiene lugar fundamentalmente por medio de varios manantiales (en su mayor parte situados entre 740 y 750 m s.n.m.) cuyo caudal medio conjunto es de unos 500 l/s; entre ellos destaca el de Cijancos, con unos 200 l/s de descarga media. También en este borde oriental existe una descarga subterránea, difícilmente cuantificable, hacia la turbera de Padul y hacia el Neógeno del valle de Lecrín.

En los bordes norte y oeste de la unidad, fuera ya del ámbito de la cuenca del Guadalfeo, los manantiales son menos numerosos y también de menor caudal, aunque es seguro que existe una descarga subterránea hacia el acuífero detrítico de la depresión de Granada.

Los recursos medios de la unidad vertientes naturalmente hacia la cuenca del Guadalfeo han sido estimados en unos 40 hm<sup>3</sup>/a.

### **2.3.3. Unidad de la sierra de Almirajara-Las Guájaras**

Esta amplia y heterogénea unidad hidrogeológica está situada sobre el extremo suroccidental de la provincia de Granada y el nororiental de la de Málaga, en los que ocupa los macizos de las sierras de Cázulas, Chaparral, Almirajara y Las Guájaras; el río Guadalfeo la delimita por el Este. Incluye parte de las cuencas altas de otros ríos de la vertiente mediterránea (Verde, Jate, de la Miel, etc.).

Desde el punto de vista geológico, está localizada sobre ma-

teriales de los mantos más altos del conjunto Alpujárride (La Herradura, Salobreña y Las Guájaras), cuyas formaciones carbonatadas superiores constituyen una gran unidad hidrogeológica todavía poco conocida en su funcionamiento hidrodinámico y en sus límites.

El borde occidental de esta unidad rebasa ampliamente la cuenca del Guadalfeo y coincide con la "escama de Calixto", que funciona como una barrera que dificulta, sin interrumpirla totalmente, la interconexión hidrodinámica con la unidad más occidental de la sierra de Almirajara (unidad de las Alberquillas).

El límite meridional está constituido por el contacto de los mármoles con las formaciones esquistosas de la base, que es muy variado en su geometría de unos sectores a otros.

El límite oriental de la unidad, desde la desembocadura del río de La Tobaen el Guadalfeo hasta Pinos del Valle, es más complejo: en superficie existe, sin duda, un límite hidrogeológico impuesto por las formaciones esquistosas basales de los mantos de La Herradura y Salobreña; sin embargo, es posible que en profundidad estén laminadas y que exista una conexión hidrodinámica con los materiales carbonatados del manto de Alcázar que constituyen la unidad hidrogeológica de Escalate.

El límite norte de la unidad de la sierra de Almirajara-Las Guájaras es en su mayor parte muy poco conocido: no se poseen todavía criterios geológicos o hidrogeológicos que permitan situar y conocer el funcionamiento hidrodinámico de la separación entre esta unidad y la de la sierra de Las Albuñuelas, aunque sí parece bastante clara la existencia de la misma.

En el límite meridional, la descarga se produce por medio de numerosos manantiales situados sobre el contacto entre las formaciones esquistosas de base y el acuífero carbonatado; la mayor parte de ellos dan origen a ríos situados al oeste de la cuenca del Guadalfeo (La Miel, Jate, Verde, etc.).

En el borde oriental, la descarga se produce principalmente hacia el río de La Toba, mediante numerosos manantiales situados en o junto a su cauce, de localización no siempre precisa y caudal frecuentemente inferior a los 20 l/s; algunos de ellos, como el de Fuente Santa, situado en el contacto entre los esquistos basales del manto de Guájares y los mármoles del de Salobreña, poseen un caudal superior a 40 l/s. En conjunto, las salidas subterráneas hacia el río de La Toba han sido estimadas en unos 210 l/s.

Las descargas puntuales más importantes del borde norte corresponden a los manantiales de La Zaza (30 l/s), Pinos del Valle (20 l/s) y Hoya Artera (10 l/s), situados todos en el contacto del acuífero carbonatado del manto de La Herradura con su impermeable de base.

El río Albuñuelas, en el tramo del mismo comprendido entre el contacto del Mioceno con los mármoles alpujarrides y la cota 820 m s.n.m., recibe del acuífero, por medio de manantiales, un caudal total próximo a 80 l/s.

En el sector noroccidental de la unidad, situado ya en la cuenca del Guadalquivir, existen también numerosos manantiales situados a cotas muy diferentes, tanto en los bordes de la unidad como en su interior; el caudal total de esta descarga visible ha sido estimado en unos 350 l/s. Además, parece fuera de duda que en este borde norte de la unidad sierra de la Almirajara-Las Guájaras se produce una descarga subterránea no visible hacia los materiales detríticos miocenos del valle de Lecrín y de la depresión de Granada.

La gran disparidad de las cotas de emergencia de los manantiales existentes en los bordes de esta unidad y la presencia de otros puntos de descarga alejados de dichos bordes ponen de manifiesto la complejidad hidrogeológica de la zona.

Los recursos medios de la unidad han sido estimados en unos 90 hm<sup>3</sup>/a, de los que las salidas visibles y contabilizadas sólo suponen la mitad (unos 44 hm<sup>3</sup>/a). El resto debe corresponder a

salidas subterráneas hacia otros acuíferos limítrofes de la unidad, detríticos o carbonatados alpujárrides, sin que se pueda precisar la cuantía del flujo subterráneo que cada uno de ellos recibe; por otro lado, no existen bombeos de suficiente importancia.

El agua de la mayor parte de los manantiales de esta unidad presenta una baja mineralización, con facies bicarbonatadas calcio-magnésicas o magnesico-cálcicas, típicas de acuíferos calizodolomíticos.

#### 2.3.4. Unidad de la sierra de Lújar

La sierra de Lújar está bordeada al Norte y al Oeste por el cauce del río Guadalfeo, a cuya cuenca pertenecen las vertientes septentrional y occidental de la misma. Las vertientes meridional y oriental corresponden a cuencas de ramblas de menor entidad que descargan directamente al mar.

Las poblaciones de Órgiva, Vélez de Benaudalla, Lújar y Rubite enmarcan este macizo montañoso de escarpada topografía, que alcanza su culminación en la cota 1.824 m s.n.m.

La formación carbonatada superior del manto de Lújar constituye el acuífero fundamental de este sistema hidrogeológico, aunque también las correspondientes a los mantos de Cástaras y Alcázar pueden hallarse en comunicación hidrodinámica con él. Por su parte, los materiales pliocenos y cuaternarios de la depresión de Órgiva constituyen acuíferos subsidiarios del carbonatado de Lújar.

El acuífero de sierra de Lújar se halla bordeado al Sur y Este por las filitas basales del manto de Alcázar, que dan lugar a límites estancos; por el Norte, el acuífero está delimitado por las formaciones del manto de Cástaras. El borde occidental es más complejo: aunque son las filitas basales del manto de Alcázar las que se superponen a las calizas y dolomías de Lújar, los afloramientos de la formación carbonatada de aquél, entre Vélez de Benaudalla y la confluencia de los ríos Guadalfeo e Ízbor, parecen estar en

conexión hidrogeológica con el mencionado acuífero de Lújar. Podría ocurrir que la estrecha banda de filitas que en superficie separa a ambos acuíferos se estrechase más aún en profundidad, laminándose, o que la conexión hidrodinámica se produzca, sin más, a través de ella. En todo caso, el hecho de que la mayor parte de los manantiales cuya importancia sólo puede ser explicada atribuyéndolos al acuífero de Lújar se hallen situados sobre la formación carbonatada de Alcázar, confirma la existencia de la indicada conexión.

En consecuencia, el límite occidental de la unidad hidrogeológica de Lújar, entre Vélez de Benaudalla y la confluencia de los ríos Guadalfeo e Ízbor, debe situarse en el borde occidental de los afloramientos carbonatados del manto alpujárride de Alcázar.

La compleja estructura interna del manto de Lújar parece determinar su compartimentación en diversos "bloques", de interrelaciones hidrodinámicas y límites difíciles de definir. Tal hipótesis se apoya en dos consideraciones: los manantiales correspondientes a este gran sistema se hallan a cotas muy dispares, y los sondeos piezométricos realizados a lo largo del cauce del Guadalfeo reflejan "saltos" piezométricos considerables.

Desde un punto de vista global, la alimentación de la unidad hidrogeológica de Lújar se produce, en su mayor parte, por infiltración de lluvia y, en una menor proporción, a partir de la recarga desde el río Guadalfeo a su paso sobre la misma. La descarga tiene lugar a través de manantiales situados en su borde occidental, entre Vélez de Benaudalla y la confluencia de los ríos Guadalfeo e Ízbor. Los de Vélez son tres manantiales situados a cotas comprendidas entre 180 y 210 m s.n.m. y caudal medio conjunto de aproximadamente 400 l/s. Existe en ese mismo sector un cuarto manantial-galería, el de El Algarrobo, situado a unos 320 m s.n.m., cuyo régimen de descarga es muy irregular: frecuentemente seco, su caudal ha llegado a superar los 400 l/s.

El manantial de Rules, situado en el mismo cauce del Guadal-

feo, a unos 200 m s.n.m., tiene un caudal medio es de unos 130 l/s. Sin embargo, esta descarga es sólo la parte visible, forzada a emerger, de una importante circulación subterránea a través del estrecho y poco potente aluvial del río en dicha transversal de su curso medio, que, en conjunto, ha sido evaluada en unos 490 l/s de caudal medio.

El resto de los manantiales que descargan la unidad de Lújar en las proximidades del río Guadalfeo tienen, en conjunto, un caudal medio inferior a 100 l/s.

El Neógeno de la depresión de Órgiva, que en su mayor parte se apoya directamente sobre el acuífero carbonatado de Lújar, parece estar alimentado por éste y, al mismo tiempo, drenado por el río Guadalfeo en el tramo del mismo comprendido entre 300 y 340 m s.n.m. El caudal correspondiente a este drenaje difuso y no localizado ha sido estimado en unos 200 l/s. Por otra parte, los aforos diferenciales realizados en el río Guadalfeo, a su paso sobre los materiales carbonatados del extremo NE de la unidad de Lújar (entre 400 y 500 m s.n.m.), ponen también de manifiesto un incremento de caudal de aproximadamente 1 m<sup>3</sup>/s que, en su mayor parte, debe corresponder a descarga de la misma. Por el contrario, entre Órgiva y Rules, el río Guadalfeo parece perder unos 400 l/s, que pasarían a recargar al acuífero de Lújar.

La recarga media del sistema hidrogeológico de Lújar procedente de la infiltración de lluvia se ha estimado en unos 53 hm<sup>3</sup>/a, a los que es necesario añadir los aproximadamente 400 l/s en que se ha evaluado la recarga desde el río; se totalizan así unos recursos medios aproximados de 66 hm<sup>3</sup>/a.

La descarga, al no existir extracciones por bombeo de importancia, se produce por medio de los ya descritos manantiales del borde occidental (aproximadamente en un 50 %), y (el otro 50 %) en forma de aportes difusos al río y al Neógeno de Órgiva, en el borde Norte, hasta un total equivalente a la recarga indicada.

La mayor parte del agua subterránea de esta unidad es

bicarbonatada cálcico-magnésica, con salinidad total próxima a 500 mg/l. En el manantial de Rules las facies son sulfatadas-cloruradas cálcicas y algo más mineralizadas (1.000 a 1.500 mg/l); próximo a éste existe una surgencia termal (27° C), con facies sulfatadas cálcicas y salinidad total del orden de 3.000 mg/l.

### 2.3.5. Unidad de la sierra de Escalate

La unidad de la sierra de Escalate, situada entre la zona costera y Vélez de Benaudalla, da lugar a los relieves montañosos carbonatados que limitan por el Norte la vega costera de Motril-Salobreña. El río Guadalfeo la atraviesa de Norte a Sur por medio de un estrecho cañón que separa los macizos de Espartinas (437 m s.n.m.), al Oeste, y Escalate (654 m s.n.m.), al Este.

El acuífero corresponde a los materiales carbonatados del manto de Alcázar, cuyo substrato esquistoso-filítico sólo aflora en un pequeño sector al Norte de la unidad.

La formación carbonatada superior del manto de Alcázar está constituida por calizas y dolomías recristalizadas que alcanzan un espesor máximo de 400 m, aunque en sólo unos kilómetros, hacia el Este y hacia el Norte, sufre una brusca disminución de potencia y queda reducida a poco más de una decena de metros.

Desde el punto de vista tectónico, la unidad de Escalate posee una estructura a grandes rasgos tabular en la mayor parte de su extensión y especialmente en el macizo occidental de Espartinas. En el macizo oriental de Escalate se convierte en un bloque monoclinal buzante hacia el Sur, como consecuencia de la reducción progresiva de espesor que sufre hacia el Norte la formación carbonatada superior.

La estructura se halla rodeada en sus bordes occidental y meridional por materiales de los mantos de La Herradura y Salobreña corridos sobre el de Alcázar. Ligados a los materiales carbonatados, que constituyen el acuífero fundamental de esta unidad, aparecen otros cuaternarios (el pie de monte de Molvizar

y el aluvial del Guadalfeo) que se apoyan o adosan a la formación carbonatada, haciendo posible la relación hidrogeológica entre ambos acuíferos.

La alimentación de la unidad de Escalate tiene principalmente lugar por infiltración de lluvia sobre los 18 km<sup>2</sup> de extensión de los afloramientos, estimada en 3,5 hm<sup>3</sup>/a; algunos cursos superficiales, especialmente la rambla de Escalate, se infiltran en el acuífero casi en su totalidad, y también parece existir una recarga desde el río Guadalfeo.

En la actualidad, la descarga se produce fundamentalmente por medio de algunos manantiales, por bombeo en pozos o sondeos y de forma lateral subterránea hacia el pie de monte de Molvizar, el cual, a su vez, recarga lateralmente al acuífero aluvial Motril-Salobreña.

Hay que mencionar también la existencia de una importante obra de captación, consistente en una galería excavada someramente en el estrecho aluvial del Guadalfeo, en el tramo del mismo situado sobre la unidad de Escalate. Con una longitud de unos 4 km, la galería sigue el curso del río drenando la parte más superficial de la importante circulación subterránea existente en el mencionado relleno detrítico; es posible que, indirectamente, drene también al acuífero carbonatado de Escalate. La salida de la galería está situada junto al azud de Lobres, del que parten las acequias para los riegos tradicionales de Motril y Salobreña. La galería y otras obras artificiales, como la construcción de la nueva carretera paralela al cauce del Guadalfeo, el encauzamiento del río, las captaciones en el acuífero carbonatado, etc., han modificado substancialmente en los últimos años el régimen natural de descarga de la unidad, haciendo desaparecer alguna de las surgencias visibles más importantes de la misma. Ejemplo de ello es el manantial de Pago Alto de Lobres, situado en el contacto entre el acuífero carbonatado de Escalate y el aluvial del Guadalfeo, que sólo descarga cuando existe circulación superficial sobre el lecho del río o cuando el azud de Lobres provoca embalse.

El agua subterránea es, en general, bicarbonatada cálcico-magnésica; sólo en alguno de los pequeños manantiales termales de las proximidades de Lobres se dan facies sulfatadas cálcicas.

### **2.3.6. Acuífero cuaternario de Motril-Salobreña**

El acuífero de Motril-Salobreña, el más importante de los acuíferos detríticos del litoral granadino (supone casi el 75 % de la superficie total de éstos), coincide con una llanura suavemente inclinada hacia el mar, que se extiende entre Salobreña y Puntalón. Motril es el núcleo de población más importante de los situados sobre ella, seguido de Salobreña.

El acuífero está constituido por los aluviales (gravas, arenas, limos y arcillas) del río Guadalfeo y de la rambla del Puntalón, que suponen 35 de los 42 km<sup>2</sup> de extensión total, y por los pies de monte de dicha rambla y la de Molvizar, adosados al aluvial.

El substrato sobre el que se apoyan estos materiales está constituido por los materiales de los mantos alpujárrides anteriormente descritos; destaca la presencia de un afloramiento carbonatado de ese substrato, sobre el que se asienta Salobreña. Las columnas de sondeos mecánicos realizados por el ITGE y las correspondientes a sondeos de explotación, de propiedad privada, que han podido ser interpretadas, así como las distintas campañas de sondeos eléctricos realizadas han permitido definir con aceptable aproximación la morfología de este substrato, en la que destaca el papel del río Guadalfeo y, en menor medida, la rambla del Puntalón. El espesor máximo de aluvial debe superar ampliamente los 200 m en la desembocadura del río, sin que, por el momento, se pueda precisar más dicho valor.

— Todos los bordes no costeros del acuífero aluvial corresponden a materiales metapelíticos, excepto en su límite norte, donde se apoya sobre las formaciones carbonatadas de Escalate o el pie de monte de Molvizar, y en el extremo nordeste, donde entra en contacto con los sedimentos asociados a la rambla del Puntalón.

Los pies de monte de Molvizar y del Puntalón constituyen acuíferos de mediocres características hidrodinámicas, con una circulación subterránea casi "en cascada" en dirección al aluvial, en importante contraste hidrodinámico con éste. Ello ha inducido a considerar individualizadamente el acuífero aluvial de Motril-Salobreña, dejando fuera de él los dos pies de monte indicados. Por otra parte, no parece existir una conexión hidrodinámica directa de cuantía apreciable entre el aluvial y el acuífero carbonatado de Escalate.

Las isopiezas del acuífero, representadas en la fig. 14, reflejan el funcionamiento hidrodinámico del mismo y ponen de manifiesto la influencia que tiene en su recarga la percolación desde alguno de los cursos superficiales (río Guadalfeo, algunas acequias, la rambla de Los Alamos, cerca de Motril, etc.) y la muy localizada importancia de las entradas laterales subterráneas.

El modelo matemático del flujo subterráneo, del que se da cuenta resumida en el apartado 3.5.1., ha permitido contrastar las diferentes estimaciones de recarga y descarga del acuífero, relativas al trienio 1986/86-1987/88.

- La recarga, evaluada en 47,3 hm<sup>3</sup>/a, tiene los siguientes componentes:
  - 17,5 hm<sup>3</sup>/a      entradas laterales subterráneas, de los que 15,5 hm<sup>3</sup>/a corresponden a las que tienen lugar por la estrecha cabecera del aluvial del Guadalfeo en Lobres.
  - 16,9      "      infiltración de excedentes de riego y, en muy inferior medida, de lluvia.
  - 12,9      "      percolación desde cursos de agua superficiales, de los que 11,5 hm<sup>3</sup>/a proceden del propio río Guadalfeo.
  
- La descarga tiene los siguientes componentes:
  - 17,1 hm<sup>3</sup>/a      bombeo en pozos y sondeo.

- 30 hm<sup>3</sup>/a caudal estimado por diferencia para las salidas subterráneas al mar.

En la evolución piezométrica del acuífero tiene una gran influencia el calendario local de riegos: los máximos tienen lugar al final de la primavera, los mínimos ocurren en otoño. La amplitud de las oscilaciones estacionales varía entre máximos de casi 20 m, en el sector más estrecho del aluvial del Guadalfeo, y menos de 1 m en las proximidades de la costa.

La transmisividad del acuífero está generalmente comprendida entre 50 y 200 m<sup>2</sup>/h, con espesores saturados de 25 a 200 m. La porosidad eficaz, generalmente comprendida entre 10 y 17 %, presenta un valor medio global del 14,2 %.

Las características químicas del agua subterránea presentan notables variaciones espaciales: en el sector occidental, más directamente influido por la infiltración procedente del Guadalfeo, la mineralización es menor y las facies son bicarbonatadas cálcicas o cálcico-magnésicas; por el contrario, en el sector oriental es mayor el contenido en cloruros y sulfatos y las facies son bicarbonatadas-cloruradas sódico-magnésicas, en el borde norte de este sector, y bicarbonatadas-sulfatadas magnésico-cálcicas en el área central del mismo.

La calidad del agua para usos agrícolas se sitúa entre las clases C2-S1 y C3-S1 de salinidad media a alta con bajo contenido en sodio, con un uso limitado a suelos con drenaje eficiente.

De acuerdo con las normas de la O.M.S. en cuanto a potabilidad, el agua es tolerable salvo en puntos muy localizados en los que se da exceso de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mg<sup>++</sup> y SO<sub>4</sub><sup>=</sup>.

### 2.3.7. Acuífero de la depresión de Padul

La depresión de Padul es una antigua cuenca endorreica de unos 50 km<sup>2</sup> de superficie, ocupada por materiales recientes, que actualmente es drenada hacia el río Dúrcal gracias a unas zanjas construidas a finales del siglo XVIII.

La zona de Padul está situada en el extremo noroccidental de una fosa de subsidencia, alargada en dirección NW-SE, que se extiende hasta el valle de Lecrín. Dicha fosa está delimitada por fallas normales, de funcionamiento intermitente desde su formación - posiblemente durante el Plioceno - hasta el Cuaternario reciente, que han dado lugar a la consiguiente acumulación de materiales.

La serie terciario-cuaternaria que constituye el relleno está formada por calizas bioclásticas, calcarenitas, limos, arcillas, areniscas y conglomerados. En el centro de la cuenca tuvo lugar una sedimentación lagunar con depósitos de limo, arcilla y turba, que, hacia los bordes, se indentan con depósitos fluviales y de pie de monte.

El conjunto formado por el relleno pliocuaternario y las capas de turba depositadas sobre él posee globalmente una permeabilidad muy baja, debido a su carácter predominantemente arcilloso, por lo que el interés hidrogeológico de la zona está localizado únicamente en los acuíferos carbonatados alpujárrides que la rodean (unidades de la sierra de Padul y de Las Albuñuelas).

La piezometría de la depresión y de su entorno inmediato refleja la existencia de una circulación subterránea desde los acuíferos alpujárrides hacia el relleno pliocuaternario; en el seno de éste tiene lugar un flujo subterráneo de dirección predominantemente vertical y sentido ascendente, que termina descargándose a través de la red superficial de acequias y zanjas ("madres") que confluyen en la que, cerca de Cozvíjar, comunica la turbera con el río Dúrcal. También la evapotranspiración en el sector central de la turbera contribuye a la descarga subterránea.

Los manantiales existentes sobre el contacto entre los acuíferos alpujárrides y el relleno pliocuaternario, que reflejan la incapacidad de éste para absorber toda la descarga subterránea de aquellos, poseen un caudal conjunto comprendido entre 7 y 10 hm<sup>3</sup>/a; las entradas laterales subterráneas en el Pliocuaternario han sido

estimadas en 15 a 17 hm<sup>3</sup>/a. A las cifras anteriores hay que añadir aproximadamente 1,5 hm<sup>3</sup>/a de recarga procedente de precipitación directa y de la escorrentía superficial que fluye hacia la depresión.

La descarga de la turbera a través de la zanja de drenaje de Cozvíjar ha sido estimada en 19 hm<sup>3</sup>/a, a los que es necesario añadir al menos otros 5 hm<sup>3</sup>/a por evapotranspiración.

### 2.3.8. Otros acuíferos de menor entidad

Localizadas en su mayor parte en las proximidades del río Guadalfeo y sus afluentes y, en general, drenadas por ellos, existen numerosas unidades carbonatadas de pequeñas dimensiones, muy fragmentadas tectónicamente y, en consecuencia, también desde el punto de vista hidrogeológico.

En los bordes suroeste y sur de Sierra Nevada y en las proximidades de la confluencia entre los ríos Ízbor y Guadalfeo, esas pequeñas unidades forman parte de los mantos de Víboras, Cástaras y Alcázar. La mayor parte de los correspondientes acuíferos son drenados a través de pequeños manantiales; en otros casos, se descargan de modo difuso a través de los cursos de agua que los atraviesan.

También existen otros acuíferos detríticos de menos entidad, entre los que merecen destacarse los del valle de Lecrín y la depresión de Órgiva, aunque su importancia deriva de la relación hidrogeológica que tienen con los acuíferos carbonatados alpujarrides, de los que reciben la mayor parte de su recarga.

**3. MODELO DE GESTIÓN COORDINADA DE LOS  
RECURSOS HÍDRICOS TOTALES DE LA CUENCA**

### **3.1. ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA GESTIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL GUADALFEO**

En la fig. 2 adjunta se ha representado una síntesis hidrológica de la cuenca del Guadalfeo, con indicación de los elementos a incluir en la planificación y gestión hidrológica de la misma. Tales elementos son:

#### **3.1.1. Infraestructura de regulación y distribución superficial**

Las principales obras superficiales de regulación y distribución de agua para riego, abastecimientos públicos y usos industriales existentes actualmente en la cuenca son:

- Embalse de Béznar, de 55,8 hm<sup>3</sup> de capacidad útil, situado sobre el río Ízbor, a una cota de 485 m s.n.m.
- Azudes de Vélez de Benaudalla y de Lobres, y canales de derivación que parten de ellos para la dotación de las áreas de regadío tradicional en la vega costera de Motril y Salobreña.

Las infraestructuras de regulación y distribución superficiales en proyecto son:

- Embalse de Rules, de 58,6 hm<sup>3</sup>, de capacidad útil, situado sobre el río Guadalfeo inmediatamente aguas abajo de su confluencia con el Ízbor. La cota prevista para el umbral de la toma es 170 m s.n.m.
- Túneles y canales de conducción desde el río Ízbor, inmediatamente aguas abajo del embalse de Béznar, para las aportaciones reguladas por el mismo con destino al riego en la ampliación de la cota 300.

#### **3.1.2. Áreas con demandas de agua para riego en la cuenca**

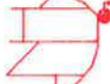
Conviene diferenciar tales áreas según su localización respecto de los dos embalses mencionados:

##### **Aguas arriba del embalse de Béznar**

Existen 4.008 ha de cultivos regados con una demanda

# SÍNTESIS HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL GUADALFEO

## LEYENDA

-  ÁREAS DE RIEGO DE LA CUENCA ALTA O DEPENDIENTES DE LOS MANANTIALES DEL RÍO DE LA TOBA Y DE VÉLEZ DE BENAUDALLA
-  AMPLIACIÓN DE RIEGO DE LA COTA 300
-  ÁREAS DE REGADÍO TRADICIONAL DE MOTRIL Y SALOBREÑA
-  CONDUCCIÓN PARA EL RIEGO EN LA AMPLIACIÓN DE LA COTA 300
-  POSIBLES CONDUCCIONES HACIA CUENCAS ADYACENTES
-  MANANTIALES REGULABLES Y AFLORAMIENTOS DE LAS RESPECTIVAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS CARBONATADAS
-  SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL MOTRIL-SALOBREÑA
-  EMBALSE EXISTENTE: BÉZJAR
-  EMBALSE EN PROYECTO: RULES
-  AZUD DE DERIVACIÓN Y ACEQUIAS PARA LOS REGADÍOS TRADICIONALES DE MOTRIL Y SALOBREÑA
-  DIVISORIAS HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL GUADALFEO Y DE LAS CUENCAS PROPIAS DE LOS EMBALSES

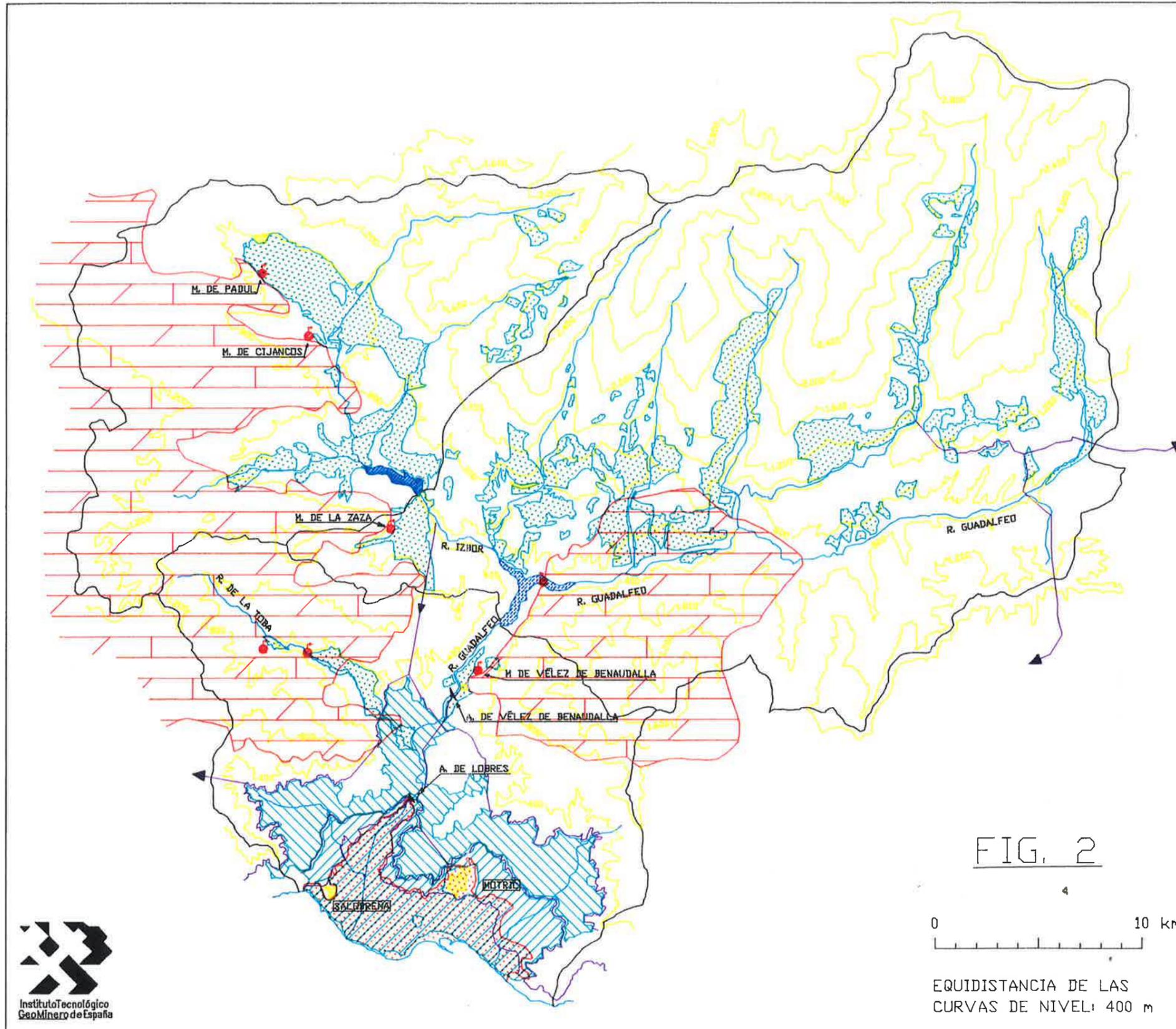


FIG. 2

0 10 km

EQUIDISTANCIA DE LAS CURVAS DE NIVEL: 400 m

de agua de 22,2 hm<sup>3</sup>/a, equivalentes a 5.543 m<sup>3</sup>/ha/a. La distribución mensual de dicha demanda es la siguiente (en hm<sup>3</sup>):

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
2,12	1,31	0	0	0,06	2,05	2,28	3,05	2,95	2,83	3,10	2,46

### Cuenca propia del embalse de Rules

Las 7.074 ha de cultivos regados situadas en la cuenca superficial vertiente al Guadalfeo entre el emplazamiento de los dos embalse presentan una demanda de 52,8 hm<sup>3</sup>/a, equivalentes a 7.465 hm<sup>3</sup>/ha/a. La distribución mensual de dicha demanda es la siguiente (en hm<sup>3</sup>):

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
2,39	0,33	0,02	0,08	0,14	1,85	8,55	11,0	12,0	6,94	5,95	3,63

Aguas abajo del emplazamiento previsto para el embalse de Rules existen dos áreas de riego tradicional, localizadas en los términos municipales de Motril y Salobreña, cuya dotación depende de las aportaciones circulantes por el río Guadalfeo a la altura de los respectivos azudes de derivación. Por otro lado, está previsto el acondicionamiento y puesta en regadío de una parte del área situada entre las cotas 100 y 300, correspondientes a los términos de Motril, Salobreña, Vélez de Benaudalla, Guájar Fondón, Molvízar e Ítrabo.

### Áreas de riego tradicional

Los denominados "Riegos tradicionales", situados por debajo de la cota 50 m s.n.m. y regados mediante las acequias que parten del azud de Lobres, están constituidos por 2.960 ha de cultivos que presentan una demanda de agua para riego de 49,7 hm<sup>3</sup>/a, equivalentes a 16.790 m<sup>3</sup>/ha/a.

Los "Nuevos regadíos" están situados entre las cotas 50 y 100 m s.n.m. y son regados con aportaciones derivadas en el azud de Vélez de Benaudalla; corresponden a 2.740 ha de cul-

tivos regados cuya demanda de agua para riego asciende a 27,5 hm<sup>3</sup>/a, equivalentes a 10.036 m<sup>3</sup>/ha/a.

En conjunto, por tanto, el área de riego tradicional de Motril y Salobreña ocupa una superficie de 5.700 ha y presenta una demanda de agua de 77,2 hm<sup>3</sup>/a, equivalentes a 13.543 m<sup>3</sup>/ha/a. La distribución mensual de la demanda unitaria de agua para el total del riego tradicional indicado es la siguiente (en m<sup>3</sup>/ha):

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
1.092	618	820	678	741	730	980	1.478	1.492	1.816	1.842	1.256

### Riegos de la cota 300

Ha comenzado la transformación en regadío de diversas áreas de Motril, Salobreña y Molvizar, situadas entre 100 y 300 m s.n.m., dotadas provisional y parcialmente mediante elevaciones desde canales de riego. La superficie de cultivos regados previstos en total para dicha ampliación asciende a 3.600 ha, con una demanda unitaria de agua para riego de 9.700 m<sup>3</sup>/ha/a, distribuida de la siguiente forma (en m<sup>3</sup>/ha):

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
181	0	0	0	0	0	406	1.251	2.081	2.395	2.210	1.176

### 3.1.3. Otras demandas de agua en el interior de la cuenca

De acuerdo con las previsiones de la CHS, se han considerado las siguientes ampliaciones o mejoras de dotación de las demandas actuales en el interior de la cuenca:

- 1<sup>a</sup> Demanda de agua para el riego de 823 ha de cultivos, correspondientes a la prevista ampliación y mejora de los existentes en el valle de Lecrín, en las inmediaciones del embalse de Béznar, aguas arriba de la presa (margen izquierda). Su valor total asciende a 4,32 hm<sup>3</sup>/a: 0,62 hm<sup>3</sup> en mayo, junio y septiembre, y 1,23 en julio y agosto.

2ª Demanda futura del abastecimiento público, urbano e industrial, estimada en 25,1 hm<sup>3</sup>/a: 2,84 hm<sup>3</sup> en los meses de octubre a junio, y 3,84 en julio, agosto y septiembre.

3ª Caudal ecológico en el cauce de los ríos Ízbor y Guadalfeo, aguas abajo de los embalses de Béznar y Rules, respectivamente, evaluado en el 10 % de las aportaciones medias disponibles en cada uno de ellos: caudal constante de 6,00 hm<sup>3</sup>/a entre los dos embalses, y de 9,14 hm<sup>3</sup>/a aguas abajo del de Rules.

### 3.1.4. Demandas de agua en áreas adyacentes a la cuenca

En la planificación hidrológica realizada por la CHS está contemplada la posibilidad de apoyar o dotar las siguientes demandas de agua localizadas en cuencas adyacentes a la del Guadalfeo:

1ª Tránsito de un caudal constante de hasta 950 l/s continuos (30 hm<sup>3</sup>/a) desde el Alto Guadalfeo (partiendo del río Trevélez) hacia el río Adra (aguas arriba del embalse de Benínar).

2ª Mejora de la dotación de riego y abastecimiento en la denominada subzona A1 (\*), lo que supondría el tránsito de un caudal de 21,1 hm<sup>3</sup>/a, distribuido mensualmente de la siguiente forma (en hm<sup>3</sup>):

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
1,16	0,68	0,84	0,73	0,78	0,77	1,20	2,08	2,57	3,83	3,74	2,68

### 3.1.5. Manantiales regulables hidrogeológicamente

En las figs. 2 y 3 están reflejados de forma simbólica los manantiales cuya regulación hidrogeológica ha sido analizada y evaluada. La descarga natural media de los mismos, agrupados

(\*) Corresponde a las cuencas de los ríos Jete, Verde y Seco de Almuñécar, adyacentes por el Oeste a la del Guadalfeo, y a la cuenca de la rambla de Gualchos, situada inmediatamente al Este.

según su localización en las cuencas vertientes a los embalses de Béznar y de Rules, es la que a continuación se indica:

Aguas arriba del embalse de Béznar

Padul y Cijancos ..... 12,40 hm<sup>3</sup>/a

Entre los embalses de Béznar y de Rules

La Zaza ..... 0,94 id.

Rules ..... 15,53 id.

Aguas abajo del embalse de Rules

Vélez de Benaudalla ..... 12,67 id.

Río de La Toba ..... 6,52 id.

Total ..... 48,06 hm<sup>3</sup>/a

La descarga conjunta indicada representa aproximadamente un 17 % de las aportaciones naturales totales de la cuenca.

**3.1.6. El sistema acuífero aluvial Motril-Salobreña**

Son varios y de distinto signo los factores que hacen de este acuífero un elemento difícilmente evitable en una planificación hidrológica para la cuenca del Guadalfeo, e incluso para el entorno de la misma.

Por una parte, dos características de tipo estratégico dan a la utilización del sistema un alto interés:

- La localización del mismo, subyacente a la más extensa e importante de las áreas de demanda de agua de toda la cuenca del Guadalfeo (las ocasionadas por los riegos tradicionales en la vega de Motril y Salobreña y por el abastecimiento urbano e industrial concentrado en dicha zona), hace que se simplifique notablemente la infraestructura de distribución del agua bombeada desde el mismo.
- Resulta sumamente fácil la captación del acuífero en prácti-

camente cualquier punto del sistema: la superficie piezométrica libre (el acuífero es libre en los 43 km<sup>2</sup> de extensión del sistema) es generalmente alcanzable a menos de 20 m de profundidad, y normalmente se pueden cortar varias decenas de metros de espesor saturado.

Por otro lado, el funcionamiento hidrodinámico del sistema, en general, y la recarga y descarga del mismo, en especial, se verán fuertemente afectados por el régimen e infraestructura de regulación que se establezca para el río Guadalfeo, y por los planes de riego que se lleven a la práctica sobre la vega de Motril y Salobreña:

- Del orden de un tercio de la recarga total media del sistema acuífero (15,5 sobre 47,3 hm<sup>3</sup>/a) procede en la actualidad de la circulación subterránea existente en el estrecho relleno aluvial de los tramos alto y medio del Guadalfeo, que entronca con el sistema acuífero a la altura del azud de Lobres. Dicho flujo subterráneo, fuertemente conectado con la escorrentía superficial, se verá muy afectado por la regulación que se consiga en las aportaciones circulantes por el río, como también lo sería por la propia construcción de una presa en Rules, que interrumpiría totalmente la mencionada circulación subterránea.
- Casi una cuarta parte (11,5 de los 47,3 hm<sup>3</sup>/a) de la recarga total del sistema procede de la percolación desde el cauce del río, y es evidente la influencia que en el valor de la misma tendrá la opción que se adopte respecto de la regulación superficial.
- El componente más importante de la recarga del sistema acuífero aluvial Motril-Salobreña corresponde a la infiltración de los excedentes de riego (16,9 de los 47,3 hm<sup>3</sup>/a). Es, por tanto, evidente la influencia que en el funcionamiento del sistema acuífero tendrá también el aspecto hidroagrícola de la planificación hidrológica de la cuenca, particularmente el

referido a los riegos de la vega de Motril y Salobreña.

Las consideraciones anteriores no significan que se deba propugnar el mantenimiento de la situación actual de la recarga del sistema acuífero, mediante la no modificación de la regulación actual del río, la no perturbación del flujo subterráneo a través de su relleno aluvial aguas arriba de Lobres, o el mantenimiento de las actuales dotaciones y del calendario de riegos sobre la vega de Motril y Salobreña. Pero sí será necesario valorar la repercusión que en el funcionamiento del acuífero y en las posibilidades de explotación del mismo tendría cualquier modificación en los aspectos indicados.

Finalmente, la necesidad de incluir el sistema acuífero aluvial Motril-Salobreña en la planificación hidrológica de la cuenca del Guadalfeo deriva también de su carácter costero: es indispensable valorar la repercusión en la intrusión marina de cualquier plan de explotación del acuífero proyectable para el futuro, tanto si no se modifica el régimen del flujo subterráneo aguas arriba del azud de Lobres, como, especialmente, si se produce una alteración apreciable en el mismo.

La herramienta idónea para calcular las consecuencias y determinar la viabilidad de cualquier plan de explotación para el acuífero aluvial es el ya realizado modelo matemático del flujo subterráneo en el mismo, elaborado en el marco de la presente investigación y de cuyos resultados se incluye un resumen en el apartado 3.5.1.

### **3.2. PLANTEAMIENTO ADOPTADO EN LA ELABORACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN HIDROLÓGICA PARA LA CUENCA DEL GUADALFEO**

En la elaboración del modelo de gestión hidrológica para la cuenca del Guadalfeo se han integrado los elementos indicados en el apartado anterior teniendo en cuenta que:

1º. De acuerdo con las previsiones de la CHS, las demandas de agua para riego, abastecimiento urbano e industrial y necesidades ecológicas en el interior de la cuenca, a dotar mediante los planes de regulación proyectados serían:

Regadío tradicional de Motril-Salobreña .....	77,2	hm <sup>3</sup> /a
Mejora y ampliación de los riegos de Lecrín.....	4,3	"
Caudal ecológico aguas abajo de Rules .....	9,1	"
Ampliación de riegos de la cota 300 .....	34,9	"
Abastecimiento urbano e industrial .....	25,1	"
<b>Total .....</b>	<b>150,7</b>	<b>hm<sup>3</sup>/a</b>

2º. Los posibles trasvases hacia cuencas adyacentes a la del Guadalfeo supondrían, según la CHS, las siguientes dotaciones:

Para riego y abastecimiento en la subzona A1 .....	21,1	hm <sup>3</sup> /a
Derivación máxima hacia el río Adra .....	30,0	"
<b>Total máximo .....</b>	<b>51,1</b>	<b>hm<sup>3</sup>/a</b>

3º. Además de las áreas de riego existentes o en proyecto, a las que se preve atender mediante la regulación del río Guadalfeo con las dotaciones indicadas en el párrafo 1º, existen otras numerosas áreas de riego dispersas a lo largo de los tramos medio y alto de la cuenca, que han sido identificadas (ver fig. 2) y valoradas en el marco de la presente investigación. La demanda conjunta de tales áreas de riego asciende a 80,6 hm<sup>3</sup>/a, y de las encuestas efectuadas para evaluarlas se desprende que, en general, las mismas se encuentran razonablemente dotadas mediante captaciones y aprovechamientos locales de agua cuyo origen es generalmente subterráneo.

4º. De lo indicado en los tres párrafos anteriores resulta que la regulación que habría que conseguir en las aportaciones naturales totales de la cuenca del Guadalfeo, para poder dotar todas sus demandas actuales y las previstas, y apoyar a las cuencas adyacentes, asciende a 282 hm<sup>3</sup>/a. Para valorar el alcance de ese esfuerzo regulador, hay que tener en cuenta que las aportaciones naturales

totales de la cuenca hasta el emplazamiento proyectado para el embalse de Rules han sido estimadas por la CHS en los siguientes valores:

- 245 hm<sup>3</sup>/a según los estudios básicos del plan hidrológico, realizados en 1983.
- 286 " según el estudio de viabilidad de la ampliación de riego de la cota 300, elaborado en 1984.

Ante las previsiones de demanda global expuestas, el diseño de un esquema o modelo que pudiera servir de base a la gestión hidrológica susceptible de aplicación a la cuenca del Guadalfeo ha comprendido las siguientes fases, que vienen descritas de forma resumida en los próximos capítulos:

- I. Se ha comenzado analizando y evaluando la capacidad real de **regulación superficial estricta** de los embalses de Béznar (construído) y Rules (en proyecto), para hacer frente a las demandas previstas, en distintos supuestos de prioridad de las mismas. Para realizar dicha valoración se han utilizado alternativamente las dos estimaciones de la CHS sobre las aportaciones propias de los dos embalses citados.
- II. Se ha analizado, calculado y diseñado la regulación hidrogeológica de los más importantes manantiales existentes en la cuenca, teniendo en cuenta su localización, aprovechamiento actual y perspectivas de evolución del mismo.
- III. Se han calculado después los resultados que se derivarían de la puesta en práctica de una **regulación coordinada**, es decir, mediante la coordinación entre la regulación que podrían conseguir los dos embalses superficiales mencionados y, de modo independiente pero simultáneo, la regulación hidrogeológica de los manantiales indicados en el apartado 3.1.5.
- IV. Con objeto de profundizar en las posibilidades de regulación coordinada de aportaciones superficiales y subterráneas, se ha complementado la fase anterior calculando las posibilidades de regu-

**lación conjunta** de los dos embalses considerados y del sistema acuífero aluvial de Motril-Salobreña.

A diferencia del planteamiento de la regulación coordinada, en el que las regulaciones implicadas en la coordinación son cualitativamente completas (es decir, que tanto una como otra proporcionan aportaciones debidamente adaptadas a la distribución temporal de la demanda a dotar), en la regulación conjunta se hace colaborar a los embalses superficiales y a los sistemas acuíferos, de forma que sea la suma de las aportaciones de origen superficial (los desembalses) y las de origen subterráneo (obtenidas mediante bombeo en sondeos) la que, en conjunto, resulte adaptada a dicha distribución, sin que en general lo estén cada una de ellas por separado.

- V. Finalmente, se ha analizado el funcionamiento hidrodinámico que se registraría en el sistema acuífero implicado, como consecuencia de su utilización en la regulación conjunta propuesta. Para ello se ha utilizado el correspondiente modelo matemático del flujo subterráneo elaborado con esa finalidad.

Como ilustración del esquema de demandas de agua que se preve dotar en y desde la cuenca, y de fuentes de dotación de las mismas con recursos hídricos superficiales y subterráneos naturalmente convergentes en el río Guadalfeo, se incluye la fig. 3 en la que de forma simbólica se han reflejado:

- Como áreas de demanda de agua para riego:
  - los regadíos dispersos del Alto Guadalfeo,
  - el regadío tradicional de Motril y Salobreña
  - la prevista mejora y ampliación de los riegos del valle de Lecrín, junto al embalse de Béznar, y
  - la también prevista ampliación de regadío de la cota 300.
- Los dos embalses superficiales considerados.
- Los manantiales a regular hidrogeológicamente, distinguiendo respecto de ellos las tres siguientes situaciones:

# ESQUEMA HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL GUADALFED

LEYENDA	
	ÁREAS DE RIEGO DE LAS CUENCAS ALTAS DE LOS RÍOS IZBOR Y GUADALFED
	ÁREA DE RIEGO LIGADA A UN MANANTIAL REGULABLE
	AMPLIACIÓN DE RIEGO DE LA COTA 300
	RIEGOS TRADICIONALES DE MOTRIL Y SALOBREÑA
	MANANTIAL REGULABLE Y SU CORRESPONDIENTE SISTEMA ACUÍFERO CARBONATADO
	MANANTIALES DE PADUL-CIJARCOS
	ID. LA ZAZA
	ID. RÍO DE LA TOBA
	ID. VÉLEZ DE BENAUDALLA
	ID. RULES
	SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL "MOTRIL-SALOBREÑA"
	CANAL

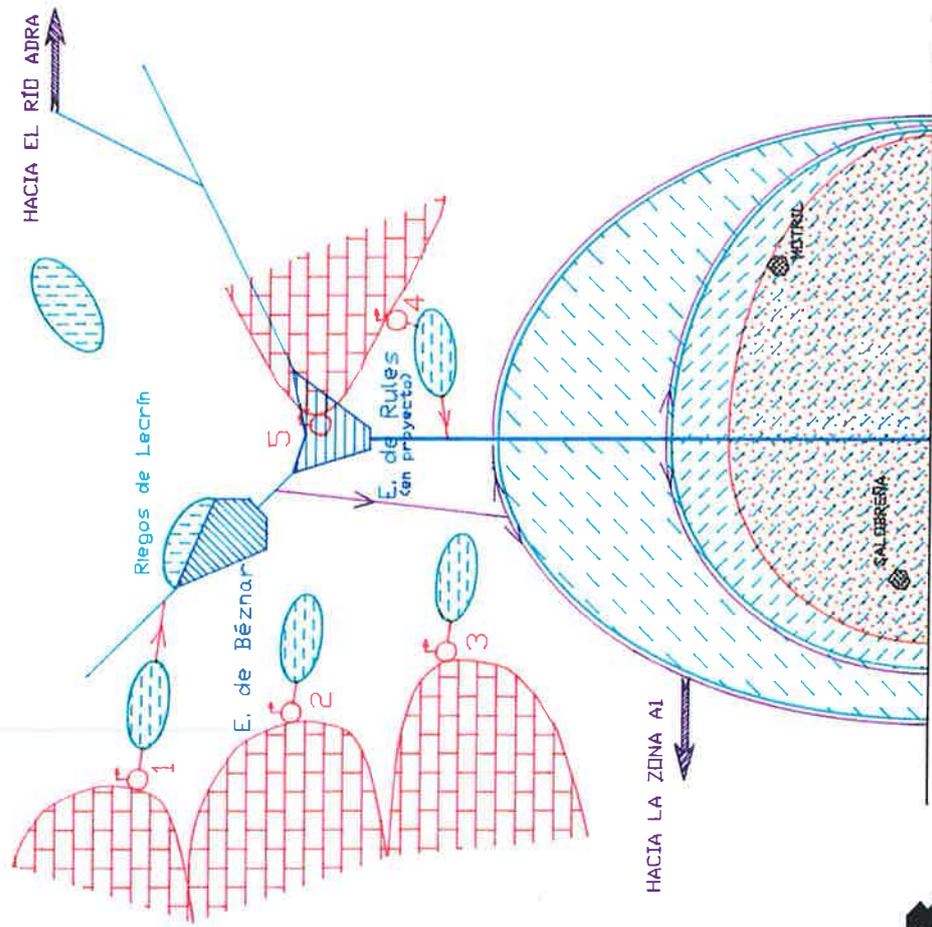


FIG. 3

- la de los manantiales de Padul, Cijancos y Vélez de Benaudalla, en los que, después de dotar adecuadamente las demandas de riego y abastecimiento que en la actualidad son atendidas mediante su descarga natural, es planteable la regulación hidrogeológica de los mismos en apoyo de la regulación que puedan efectuar los embalses;
  - la de los manantiales de La Zaza y del río de La Toba, en los que parece claramente prioritario enfocar su regulación hidrogeológica a la mejora y/o ampliación de las demandas locales dependientes de ellos (\*); y
  - la del manantial y circulación subterránea en Rules, para la que no existen demandas propias adyacentes, por lo que su posible regulación hidrogeológica podría estar destinada a apoyar la regulación superficial.
- El sistema acuífero aluvial "Motril-Salobreña".
  - Los posibles trasvases de apoyo a cuencas vecinas.

### **3.3. POSIBILIDADES DE REGULACIÓN DEL RÍO GUALFEO MEDIANTE EMBALSES SUPERFICIALES**

Regular las aportaciones circulantes por un punto determinado de un río equivale a conseguir que las mismas se encuentren disponibles en él según la misma ley temporal relativa que la de la demanda a atender desde el mismo. Dado que, generalmente, las aportaciones de un río suelen presentarse según leyes temporales diferentes, cuando no opuestas, a las que caracterizan a la demanda, el método más sencillo para conseguir la regulación perseguida consistirá en retener o embalsar excedentes cuando las aportaciones superen a las demandas, para utilizarlos cuando el desequilibrio cambie de signo.

(\*) De hecho, se ha iniciado ya la ampliación de regadíos en las inmediaciones del río de La Toba ("Nuevos regadíos de Guájar-Faragüit").

### 3.3.1. Garantía adoptada

Son muy variados los criterios que se pueden adoptar en cuanto al grado de cumplimiento de la coincidencia entre las dos leyes temporales implicadas en una regulación (la de presentación de las aportaciones y la de ocurrencia de las demandas): desde la exigencia de una estricta dotación de la demanda atendible, sin permitir déficit alguno en ninguno de los meses del periodo de referencia, hasta la aceptación de déficits, condicionados de muy diversas formas (\*).

En la investigación hidrogeológica de la que se da cuenta en este informe, se ha optado por un criterio estricto o de garantía estadísticamente máxima en el cálculo de la regulación. Ello ha sido así porque, como más adelante se detallará, la moderada duración y las discrepancias existentes entre las series de aportaciones disponibles para el cálculo, han hecho aconsejable optar por un máximo grado de exigencia en la garantía de suministro. Además, el cálculo de la capacidad de regulación superficial en la cuenca del Guadalfeo no ha constituido un fin específico de la investigación realizada, de carácter fundamentalmente hidrogeológico, sino más bien un medio a partir del cual poder caracterizar las modalidades, el alcance y las consecuencias de las actuaciones hidrogeológicas (regulación hidrogeológica de manantiales y utilización del sistema acuífero "Motril-Salobreña") necesarias para hacer viable la máxima dotación posible de las demandas proyectadas por la CHS.

### 3.3.2. Programa de cálculo aplicado

Para el cálculo de la capacidad de regulación superficial del río Guadalfeo se ha utilizado el programa REGRIO1, que presenta los siguientes rasgos más significativos:

- Puede operar en régimen estricto o con distintas opciones de

(\*) Se puede imponer un cierto tope máximo para el déficit anual y/o para los mensuales, fijar un máximo para el número de meses, consecutivos o no, con déficit en cada año, etc.

déficits condicionados. En la presente aplicación del programa se ha optado por un régimen estricto: en cada embalse, se ha supuesto la repetición de una serie de aportaciones, sin admitir que se registre déficit en ninguno de los meses del periodo de cálculo, y haciendo que en uno de ellos, al menos, se agote la capacidad útil del embalse considerado.

- Llega por tanteos a la solución que implique variación nula de las reservas en el embalse, entre el comienzo y el final del periodo de cálculo.
- Las pérdidas por evaporación son calculadas proporcionalmente al llenado del embalse.
- Permite calcular el estado acumulado de la regulación de un determinado río o tramo de río hasta el emplazamiento de cada uno de sus embalses, la regulación conjunta de un sistema de embalses situados sobre ríos sucesivamente convergentes y la regulación en una o más cabeceras de demandas.

### 3.3.3. Datos utilizados

El cálculo de la capacidad de regulación superficial del río Guadalfeo mediante los dos embalses considerados ha sido realizado con los siguientes datos:

#### 3.3.3.1. Embalses de regulación

Los datos característicos de los mismos son los siguientes:

##### Capacidad útil

Embalse de Béznar .....	55,8	hm <sup>3</sup>
Embalse de Rules .....	58,6	"

##### Pérdidas por evaporación

Los coeficientes de evaporación **A**, equivalentes al cociente entre la pérdida por evaporación registrada sobre cada

embalse en un determinado mes, y el volumen embalsado medio registrado en el mismo son los siguientes:

**Embalse de Béznar: A ( $\text{mes}^{-1} \cdot 10^5$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
233	181	133	128	153	199	235	302	396	567	585	391

**Embalse de Rules: A ( $\text{mes}^{-1} \cdot 10^5$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
307	237	174	168	201	261	310	397	520	745	769	514

**3.3.3.2. Aportaciones superficiales**

Se ha contado con dos diferentes conjuntos de series históricas de aportaciones en los emplazamientos de los embalses de Béznar y Rules.

- El primero está constituido por las dos series de **aportaciones naturales totales (ANT)** incluidas en los estudios básicos del **plan hidrológico** realizados por la CHS, que corresponden al periodo 1945/46-1975/76, y a las que abreviadamente se hará referencia como series PH. Los valores medios en dicho periodo son los siguientes:

**Embalse de Béznar:  $\text{ANT}_{\text{PH}}$  ( $\text{hm}^3$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	Año
5,72	5,74	6,66	7,40	6,83	7,52	6,94	7,52	7,61	5,85	4,86	4,84	77,5

**Embalse de Rules:  $\text{ANT}_{\text{PH}}$  ( $\text{hm}^3$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	Año
13,8	16,9	19,3	21,2	21,2	24,6	25,2	33,8	31,1	17,9	10,2	10,0	245,1

- El segundo conjunto de series foronómicas corresponde a las **aportaciones disponibles propias (ADP)** durante el

periodo 1950/51-1979/80 y ha sido elaborado también por la CHS en el marco del estudio de viabilidad de la ampliación de regadío de la cota 300; de forma abreviada serán citadas como series EU. Sus valores medios en el periodo indicado son:

**Embalse de Béznar:  $ADP_{EU}$  ( $hm^3$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	Año
4,66	5,30	6,24	7,06	6,42	7,05	6,11	6,33	5,63	3,75	2,73	3,16	64,5

**Embalse de Rules:  $ADP_{EU}$  ( $hm^3$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	Año
9,88	12,0	14,9	20,4	19,0	20,4	21,5	26,4	19,6	7,55	2,26	2,68	176,5

Se dispone también de una reconstrucción de las aportaciones aforadas en el emplazamiento del embalse de Béznar, elaborada también en el marco de los estudios básicos del plan hidrológico, para el periodo 1945/46-1975/76, mediante la cual se ha podido observar que existe una cierta discrepancia entre las series PH y EU (\*).

Ante la carencia de criterio para optar por uno u otro conjunto de series foronómicas, los cálculos de la regulación para dotar demandas internas de la cuenca han sido realizados con ambos.

**3.3.3.3. Derivaciones**

Las derivaciones a aplicar en el cálculo de la capacidad

(\*) Tomando como base de comparación los 26 años del periodo común de datos de dichas dos series (1950/51-1975/76), las 26 parejas de valores de la aportación anual disponible (AAD) en el emplazamiento del embalse de Béznar presentan una muy pobre correlación lineal:

$$AAD_{PH} = AAD_{EU} \cdot 0,9806 + 5,7955 \quad (r^2 = 0,6088)$$

Las medias anuales de las dos series de aportaciones disponibles son:

AAD <sub>PH</sub> .....	69,54	hm <sup>3</sup> /a
AAD <sub>EU</sub> .....	65,00	"

de regulación de los dos embalses dependen, obviamente, de las series de aportaciones que se utilicen: naturales o disponibles.

1º En las opciones de cálculo en que se han utilizado aportaciones naturales, las derivaciones aplicadas han sido:

- Para el embalse de Béznar, por un lado, las derivaciones ( $DER_{PH}$ ) que van implícitas en la elaboración de las series PH (\*). Sus valores mensuales son:

**Embalse de Béznar:  $DER_{PH}$  (hm<sup>3</sup>)**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
0,70	0	0	0	0	0	0,35	0,61	1,57	2,00	2,00	1,48

Se ha aplicado también la derivación provocada por la prevista dotación de los riegos del valle de Lecrín ( $DER_{VL}$ ). Sus valores mensuales son:

**Embalse de Béznar:  $DER_{VL}$  (hm<sup>3</sup>)**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
0	0	0	0	0	0	0	0,62	0,62	1,23	1,23	0,62

- Para el cálculo de la regulación posible mediante el proyectado embalse de Rules se han aplicado como únicas derivaciones propias del mismo las generadas en Alto Guadalfeo ( $DER_{AG}$ ) (\*\*). Sus valores mensuales son:

**Embalse de Rules:  $DER_{AG}$  (hm<sup>3</sup>)**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
2,39	0,33	0,02	0,08	0,14	1,85	8,55	11,0	12,0	6,94	5,95	3,63

(\*) La diferencia entre las aportaciones naturales y las disponibles en Béznar, según los estudios básicos del plan hidrológico es de 8,71 hm<sup>3</sup>/a. Sin embargo, como se indica en el apartado 3.1.2., las 4.008 ha de cultivos regados existentes aguas arriba del embalse de Béznar generan derivaciones que ascienden a 22,2 hm<sup>3</sup>/a (esa es la demanda actual de agua, aceptablemente atendida, de los mismos).

(\*\*) Tal evaluación, única disponible, ha sido realizada en el marco de la presente investigación.

2º En las opciones de cálculo en que se han utilizado aportaciones disponibles o "aforadas" no han sido aplicadas, como es lógico, derivaciones ocasionadas por consumos actuales; sólo se han tenido en cuenta las correspondientes a las previsiones de mejora y ampliación de riegos en el interior de la cuenca, o de trasvases para apoyo a cuencas adyacentes:

- Para el embalse de Béznar se han considerado únicamente las derivaciones ocasionadas por la prevista mejora y ampliación de los riegos del valle de Lecrín ( $DER_{VL}$ ).
- Para el cálculo correspondiente a Rules se ha contemplado, como opción alternativa, el posible trasvase de 950 l/s continuos, como máximo, desde la cuenca alta del Guadaldeco (\*) hacia el río Adra. Ello supondría efectuar una derivación ( $DER_{AD}$ ) cuyos valores máximos mensuales serían:

Embalse de Rules:  $DER_{AD}$  ( $hm^3$ )

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
2,55	2,46	2,55	2,55	2,32	2,55	2,46	2,55	2,46	2,55	2,55	2,46

#### 3.3.3.4. Servidumbres

Se han considerado las siguientes servidumbres, ésto es, demandas de dotación prioritaria:

- Para el embalse de Béznar se ha fijado un caudal ecológico constante equivalente a  $6,0 \text{ hm}^3/\text{a}$  y la dotación de la demanda de agua para riego en la ampliación de la cota 300, que asciende a  $34,9 \text{ hm}^3/\text{a}$ . Los valores mensuales de

(\*) Está contemplada la posibilidad de que el trasvase mencionado partiese desde el río Trevélez, a la altura de la estación de aforo nº 40, en cuyo caso la aportación media derivable sería probablemente inferior a unos  $20 \text{ hm}^3/\text{a}$ . De acuerdo con las series de aportaciones disponibles propias de Rules, en dicho punto sólo se podría derivar una aportación media de  $28,5 \text{ hm}^3/\text{a}$ .

la indicada servidumbre ( $SER_{EC300}$ ) son:

**Embalse de Béznar:  $SER_{EC300}$  ( $hm^3$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
1,16	0,49	0,51	0,51	0,46	0,51	1,95	5,01	7,98	9,13	8,47	4,73

- En todas las opciones de cálculo de la regulación posible mediante el embalse de Rules se ha considerado el suministro de un caudal ecológico constante equivalente a  $3,1 \text{ hm}^3/\text{a}$  (\*) y la dotación de  $25,1 \text{ hm}^3/\text{a}$  para abastecimiento urbano e industrial. Los valores de dicha servidumbre ecológica y de abastecimiento ( $SER_{ECAB}$ ) son:

**Embalse de Rules:  $SER_{ECAB}$  ( $hm^3$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
2,11	2,10	2,11	2,11	2,08	2,11	2,10	2,11	2,10	3,11	3,11	3,10

Se ha considerado como servidumbre opcional para el embalse de Rules el trasvase de  $21,1 \text{ hm}^3/\text{a}$  para apoyo a las demandas de riego y abastecimiento en la subzona A1 ( $SER_{A1}$ ). Sus valores mensuales son:

**Embalse de Rules:  $SER_{A1}$  ( $hm^3$ )**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
1,16	0,68	0,84	0,73	0,78	0,77	1,20	2,08	2,57	3,83	3,74	2,68

**3.3.3.5. Distribución de la demanda de agua para riego**

Salvo en una opción preliminar de cálculo, referida únicamente al embalse de Béznar con objeto de verificar su capacidad para dotar la ampliación de la cota 300, en todas las restantes se ha supuesto que la explotación de los dos embalses estaría destinada

(\*) Caudal que se añadiría al suministrado desde el embalse de Béznar.

a dotar la demanda de agua para riego en las 5.700 ha de cultivos tradicionales de Motril y Salobreña. Los correspondientes porcentajes mensuales de la demanda de riego (PMDR) son:

**Cultivos tradicionales: PMDR (%)**

O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
8,06	4,56	6,06	5,01	5,47	5,39	7,24	10,9	11,0	13,4	13,6	9,27

**3.3.4. Resultados del cálculo de la regulación superficial**

Se han realizado cuatro opciones de cálculo de la capacidad de regulación superficial hiperanual estricta en los embalses de Béznar y de Rules, con destino a los regadíos tradicionales de Motril y Salobreña, después de dotar las servidumbres y derivaciones correspondientes a cada caso (\*).

- La **opción I** y la **opción II** corresponden al cálculo de la capacidad de regulación de los dos embalses, en conjunto, para dotar exclusivamente demandas de agua localizadas en el interior de la cuenca del Guadalfeo. La única diferencia existente entre ambas opciones está en el carácter de las series de aportaciones utilizadas en los cálculos:
  - series PH de aportaciones naturales para el periodo 1945/46-1975/76, en la **opción I**, y
  - series EU de aportaciones disponibles para el periodo 1950/51-1979/80, en la **opción II**.
- La **opción III**, en la que se han utilizado las series EU, añade a las demandas contempladas en las dos opciones anteriores, la dotación como servidumbre de 21,1 hm<sup>3</sup>/a para apoyar el

(\*) De forma accesoria, se han realizado dos opciones más:

**Opción O** de carácter preliminar con objeto de verificar la capacidad del embalse de Béznar para dotar la ampliación de regadío de la cota 300.

**Opción III'** correspondiente a las mismas demandas que la opción III (las internas de la cuenca más el apoyo a la subzona A1), pero calculada con las series PH de aportaciones naturales.

abastecimiento y el riego en la subzona A1.

- La **opción IV** sólo se diferencia de la **opción III** en incluir, además, la derivación de hasta 950 l/s continuos desde el Alto Guadalfeo (\*) hacia el río Adra.

En los dos cuadros dobles adjuntos se reflejan los valores medios hiperanuales de los datos y resultados correspondientes a las opciones de cálculo descritas, con las siguientes abreviaciones:

- ANP** : Aportaciones naturales propias, es decir, generadas en la cuenca vertiente "propia" (\*\*) del punto considerado (embalse o sistema de embalses) (series PH).
- ADP** : Aportaciones disponibles propias (series EU).
- DER** : Derivaciones propias del punto considerado, es decir, ocasionadas por consumos localizados en la cuenca "propia" del punto considerado.
- SER** : Servidumbres asignadas al punto considerado.
- ARR** : Aportación regulada para riego mediante la regulación.
- VEM** : Volumen embalsado medio en el embalse considerado o en el sistema.
- EVAP** : Pérdidas por evaporación en el embalse considerado o en el sistema.
- EXC** : Excedentes o vertidos sin regular por el embalse considerado o por el sistema.
- GR** : Grado de regulación resultante para el embalse considerado o para el sistema de embalses.
- CU** : Capacidad útil del embalse considerado.

(\*) Como si el punto de partida de dicho posible trasvase fuese a estar en el mismo embalse de Rules, lo que obviamente no constituye más que un supuesto de cálculo hidrológico, de muy costosa viabilidad infraestructural.

(\*\*) Como en todas las ocasiones anteriores, debe entenderse por cuenca "propia" de un embalse la vertiente al mismo, con exclusión de las correspondientes a los situados aguas arriba, si los hay.

### CUENCA DEL GUADALFEO

REGULACIÓN SUPERFICIAL HIPERANUAL ESTRICTA MEDIANTE LOS EMBALSES DE BÉZJAR Y RULES

$CU_{Béznar} = 55,8 \text{ hm}^3$

$CU_{Rules} = 58,6 \text{ hm}^3$

**OPCIÓN I: Regulación para demandas internas de la cuenca. Series PH**

	ANP ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	DER ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	SER ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	ARR ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	VEM ( $\text{hm}^3$ )	EVAP ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	EXC ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	GR (%)
Embalse de Béznar	77,49	13,01	40,92	12,19	42,55	1,48	9,90	85,32
Embalse de Rules	167,59	43,04	28,23	21,16	51,23	2,35	94,91	59,72
Sistema de embalses	245,08	56,05	69,15	21,16	93,78	3,82	94,91	59,72

**OPCIÓN II: Regulación para demandas internas de la cuenca. Series EU**

	ADP ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	DER ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	SER ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	ARR ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	VEM ( $\text{hm}^3$ )	EVAP ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	EXC ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	GR (%)
Embalse de Béznar	64,45	4,34	40,92	12,48	38,41	1,34	5,38	89,57
Embalse de Rules	176,47	0	28,23	82,70	47,23	2,21	81,19	64,83
Sistema de embalses	240,92	4,34	69,15	82,70	85,65	3,55	81,19	64,83

## CUENCA DEL GUADALFEO

**REGULACIÓN SUPERFICIAL HIPERANUAL ESTRICTA MEDIANTE LOS EMBALSES DE BÉZJAR Y RULES**

$CU_{Béznar} = 55,8 \text{ hm}^3$

$CU_{Rules} = 58,6 \text{ hm}^3$

**OPCIÓN III: Regulación para demandas internas de la cuenca,  
con apoyo a la subzona A1. Series EU**

	ADP ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	DER ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	SER ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	ARR ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	VEM ( $\text{hm}^3$ )	EVAP ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	EXC ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	GR (%)
Embalse de Béznar	64,45	4,34	40,92	12,48	38,41	1,34	5,38	89,57
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	60,79	46,68	2,18	82,07	64,47
Sistema de embalses	240,92	4,34	90,21	60,79	85,09	3,52	82,07	64,47

**OPCIÓN IV: Regulación para demandas internas de la cuenca,  
con apoyo a la subzona A1 y trasvase hacia el río Adra. Series EU**

	ADP ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	DER ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	SER ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	ARR ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	VEM ( $\text{hm}^3$ )	EVAP ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	EXC ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	GR (%)
Embalse de Béznar	64,45	4,34	40,92	12,48	38,41	1,34	5,38	89,57
Embalse de Rules	176,47	28,53	49,29	36,45	46,91	2,20	77,87	66,21
Sistema de embalses	240,92	32,86	90,21	36,45	85,32	3,54	77,87	66,21

En los próximos subapartados se incluye una síntesis de los resultados de cada opción de cálculo.

### 3.3.4.1. Opción I: Regulación en Béznar y Rules para dotar demandas internas de la cuenca del Guadalfeo. Series PH

Los resultados más significativos son:

- Los grados de regulación acumulada conseguibles en los dos embalses serían:
  - 85,3 % en Béznar, y
  - 59,7 % en Rules.
- Con las series foronómicas utilizadas, las demandas atendibles en régimen hiperanual estricto (de garantía estadísticamente máxima) mediante la regulación de los dos embalses en conjunto serían:
  - Se podrían dotar sin problemas los 69,1 hm<sup>3</sup>/a de servidumbre impuestas a los dos embalses:
    - 9,1 hm<sup>3</sup>/a de caudal ecológico,
    - 34,9 " de los riegos de la cota 300, y
    - 25,1 " de abastecimiento urbano e industrial.
  - Se podrían dotar sin prácticamente ninguna dificultad 13,0 hm<sup>3</sup>/a para demandas de los riegos existentes en la cuenca vertiente al embalse de Béznar:
    - 8,7 hm<sup>3</sup>/a que, según el plan hidrológico, requieren las demandas de los cultivos existentes en la actualidad (\*); y
    - 4,3 " de los riegos del valle de Lecrín.
  - De los 52,8 hm<sup>3</sup>/a en que han sido evaluadas las demandas de los riegos existentes en la actualidad en la cuenca

(\*) Sin embargo, es preciso tener en cuenta que la demanda de los riegos existentes aguas arriba de la presa de Béznar ha sido evaluada, en el marco de la presente investigación, en 22,2 hm<sup>3</sup>/a.

alta del Guadalfeo (excluida la del Ízbor), sólo podrían ser dotados, en promedio hiperanual, 43,0 hm<sup>3</sup>/a (\*).

- Finalmente, el sistema de embalses sólo podría proporcionar 21,2 hm<sup>3</sup>/a para la dotación de las 5.700 ha de riegos tradicionales en las vegas de Motril y Salobreña, cuya demanda asciende a 77,2 hm<sup>3</sup>/a.

Por consiguiente, con los datos hidrológicos utilizados (series PH de aportaciones naturales), un régimen hiperanual estricto de regulación en los dos embalses sólo permitiría dotar las demandas de 1.562 de las 5.700 ha de cultivos tradicionales en las vegas de Motril y Salobreña. Además, se pone de manifiesto una apreciable infradotación de los cultivos existentes en el Alto Guadalfeo.

#### 3.3.4.2. Opción II: Regulación en Béznar y Rules para dotar demandas internas de la cuenca del Guadalfeo. Series EU

Los resultados más significativos son:

- Los grados de regulación acumulada conseguibles en los dos embalses serían:
  - 89,6 % en Béznar, y
  - 64,8 % en Rules.
- Con los datos utilizados, además de los riegos del valle de Lecrín y las mismas servidumbres que en la opción I (\*\*), el sistema de embalses podría proporcionar hasta 82,7 hm<sup>3</sup>/a para la dotación de los riegos tradicionales en las vegas de Motril y Salobreña (su demanda es de 77,2 hm<sup>3</sup>/a).

Por consiguiente, con los datos hidrológicos utilizados en esta

(\*) Además, en trece de los 31 años de la serie PH se registrarían déficits anuales en la dotación de dichos riegos superiores al 20 %.

(\*\*) La utilización de aportaciones disponibles hace que se ignore el grado de dotación que puedan recibir los riegos existentes en las cuencas del Ízbor y alta del Guadalfeo.

ocasión - series EU de aportaciones disponibles - un régimen hiperanual estricto de regulación en los dos embalses permitiría dotar sin problemas las demandas de las 5.700 ha de cultivos tradicionales en las vegas de Motril y Salobreña.

### 3.3.4.3. Opción III: Regulación en Béznar y Rules para dotar demandas internas de la cuenca del Guadalfeo, con apoyo a la subzona A1. Series EU

Además de los objetivos de regulación adoptados en la anterior, y calculados con las mismas series de aportaciones, en ésta opción se ha incluido la dotación preferente de 21,1 hm<sup>3</sup>/a para apoyo al riego y al abastecimiento en la subzona A1. Los resultados más significativos son:

- Los grados de regulación acumulada conseguibles en los dos embalses serían:
  - 89,6 % en Béznar, y
  - 64,5 % en Rules.
- Con los datos utilizados, las demandas atendibles en régimen estricto (de garantía estadísticamente máxima) mediante la regulación de los dos embalses en conjunto serían:
  - Se podrían dotar sin problemas los 90,2 hm<sup>3</sup>/a de servidumbre impuestas a los dos embalses:
    - 9,1 hm<sup>3</sup>/a de caudal ecológico,
    - 34,9 " de los riegos de la cota 300,
    - 25,1 " de abastecimiento urbano e industrial, y
    - 21,1 " para riego y abastecimiento en la subzona A1.
- Finalmente, el sistema de embalses podría proporcionar sólo 60,8 hm<sup>3</sup>/a para los riegos tradicionales en las vegas de Motril y Salobreña, registrándose, por tanto, un déficit de 16,4 hm<sup>3</sup>/a en la dotación de los mismos.

Por consiguiente, con los datos hidrológicos utilizados en esta

ocasión - series EU de aportaciones disponibles - un régimen estricto de regulación en los dos embalses, con apoyo a la subzona A1, sólo permitiría dotar las demandas de 4.488 de las 5.700 ha de cultivos tradicionales en las vegas de Motril y Salobreña (\*).

#### 3.3.4.4. Opción IV: Regulación en Béznar y Rules para dotar demandas internas de la cuenca del Guadalfeo, con apoyo a la subzona A1 y trasvase hacia el río Adra. Series EU

Además de los objetivos de regulación adoptados en la opción anterior, en ésta se ha incluido la derivación de hasta 950 l/s de aportaciones propias del embalse de Rules hacia el río Adra, aguas arriba del embalse de Benínar. Los resultados más significativos son:

- Los grados de regulación acumulada conseguibles en los dos embalses serían:
  - 89,6 % en Béznar, y
  - 66,2 % en Rules.
- Con los datos utilizados, además de los riegos de Lecrín y las mismas servidumbres que en la opción III (90,2 hm<sup>3</sup>/a), las demandas atendibles mediante los dos embalses serían:
  - Se podrían derivar 28,5 hm<sup>3</sup>/a hacia el río Adra, con un mínimo anual de 24,6 hm<sup>3</sup>/a.
  - El sistema de embalses podría proporcionar sólo 36,4 hm<sup>3</sup>/a para la dotación de los riegos tradicionales en las vegas de Motril y Salobreña, en los que, por consiguiente, se registraría un déficit de 40,7 hm<sup>3</sup>/a.

Por consiguiente, con los datos hidrológicos utilizados en esta ocasión - series EU de aportaciones disponibles - un régimen

(\*) Se han realizado también los cálculos correspondientes a una opción III', con las series PH de aportaciones naturales. Los resultados encontrados indican que, en el indicado supuesto hidrológico, no sería posible dotar ni una sola de las hectareas de riegos tradicionales.

hiperanal estrieto de regulación en los dos embalses, con apoyo a la subzona A1, y derivación de hasta 950 l/s desde el embalse de Rules hacia el río Adra, sólo permitiría dotar las demandas de 2.691 de las 5.700 ha de cultivos tradicionales en las vegas de Motril y Salobreña.

### 3.3.5. El embalse de Rules

En el anterior apartado se ha evaluado, para distintas opciones en cuanto a datos y supuestos de gestión, la capacidad de regulación superficial de un sistema de embalses constituido por el de Béznar, ya construido, y el de Rules, en proyecto. Es útil, por tanto, valorar el incremento de regulación que en cada una de las opciones analizadas supondría la construcción del segundo de dichos embalses.

En todas las opciones mencionadas, el incremento de regulación derivado de la existencia del embalse de Rules es medible en forma de aumento del caudal regulado ( $\Delta QR$ ), o de la superficie regable ( $\Delta SR$ ) en los cultivos tradicionales de Motril y Salobreña, a los que en todos los casos se ha supuesto enfocada la regulación superficial. Los resultados calculados son los siguientes:

<u>OPCIÓN</u>	<u><math>\Delta QR</math> (hm<sup>3</sup>/a)</u>	<u><math>\Delta SR</math> (ha)</u>	<u>Observaciones</u>
I	9,0	662	Series PH
II	70,2	5.185	Series EU
III	48,3	3.567	Apoyo a A1
IV	24,0	1.770	Apoyo a A1 y Adra

Las opciones I y II, que no tienen objetivos de regulación exteriores a la cuenca, y sólo se diferencian entre sí en los datos hidrológicos con los que han sido calculadas, son cualitativamente comparables con la regulación hidrogeológica de la circulación subterránea en Rules, que, según se describe en el apartado

3.4.2.1., permitiría dotar las demandas de 1.147 ha de los riegos tradicionales de Motril y Salobreña. La infraestructura de regulación necesaria resultaría bastante sencilla y de impacto ambiental prácticamente nulo.

### **3.4. REGULACIÓN DEL RÍO GUADALFEO MEDIANTE EMBALSES SUPERFICIALES Y SISTEMAS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS**

Los resultados expuestos en el capítulo anterior, en relación con las posibilidades de regulación que ofrecerían los embalses de Béznar y Rules para dotar demandas internas y adyacentes a la cuenca, ponen de manifiesto un claro interés para la puesta en práctica de una regulación global de la escurrentía total de la cuenca del Guadalfeo, en la que intervengan igualmente los sistemas acuíferos más importantes localizados o implicados en la misma, no sólo como fuentes marginales de recursos, sino también como elementos capaces de contribuir a una más completa regulación de la cuenca.

#### **3.4.1. Enfoques metodológicos aplicables**

En un contexto hidrológico como el de la cuenca hidrográfica del río Guadalfeo son varios los planteamientos complementarios con los que llevar a cabo una regulación global de su escurrentía total: la de origen estrictamente superficial, es decir, la que nunca ha sido subterránea, y la propiamente subterránea.

##### **3.4.1.1. Regulación hidrogeológica de manantiales.**

###### **El programa REGMA**

Regular hidrogeológicamente un manantial significa conseguir, mediante bombeo en sondeos adecuadamente próximos, una adaptación de la ley temporal de descarga conjunta (la bombeada, más la que el manantial siga proporcionando en régimen afectado) a la ley temporal de la demanda que se desee atender.

Si la regulación es planteada con un criterio hidrológi-

camente **estricto**, la adaptación indicada deberá implicar que nunca, a lo largo del periodo de cálculo, se registren déficits. Con otro planteamiento, podrían adoptarse distintos criterios de garantía inferiores a la máxima: prescripción de un porcentaje máximo de meses con déficits, fijación de un valor relativo máximo para los mismos, etc. Desde el punto de vista hidrogeológico, la regulación puede ser **conservativa**, es decir, con restablecimiento de las reservas del correspondiente sistema acuífero al final de cada ciclo de cálculo, o aceptar una cierta explotación, programada de antemano y controlada, de dichas reservas.

En esencia, calcular la regulación hidrogeológica de un manantial para la dotación de una cierta demanda consiste en determinar:

- la localización de los sondeos de explotación-regulación necesarios, en función de las condiciones hidrogeológicas e hidrodinámicas del correspondiente acuífero;
- la capacidad de bombeo a instalar en los mencionados sondeos de explotación-regulación;
- la magnitud de la demanda de agua atendible mediante la regulación planteada;
- el calendario o programa representativo de los bombeos de explotación-regulación que será necesario llevar a cabo para, junto con la descarga (afectada) del manantial, dotar con la garantía establecida la demanda atendible; y
- el régimen tipo o representativo de la descarga afectada del manantial, como consecuencia de los bombeos a realizar.

En el presente estudio se ha optado por una **regulación hidrológicamente estricta e hidrogeológicamente conservativa**, es decir, con garantía estadísticamente máxima, y restable-

cimiento del régimen no influenciado de descarga del manantial al finalizar la serie histórica de referencia para los cálculos.

Básicamente, la información necesaria para llevar a cabo los cálculos indicados incluye:

- historial hidrométrico representativo de la fuente,
- análisis y evaluación de las dotaciones y demandas relacionadas con el manantial, y
- análisis del funcionamiento hidrogeológico e hidrodinámico de la fuente.

El cálculo se apoya fundamentalmente en:

- un modelo matemático predictivo realizado mediante el programa REGMA,
- un estudio estadístico del abanico de soluciones obtenidas; y
- un análisis de sensibilidad a la eventual indeterminación del parámetro hidrodinámico de afección-regulación (TA o tiempo de agotamiento).

El paquete de programas de cálculo informático elaborado para el estudio de la REGulación de MANantiales se fundamenta en un régimen pluriexponencial de afección y recuperación de la descarga de los mismos cuando se encuentra bajo la influencia de bombeos realizados en sondeos más o menos próximos que, por supuesto, capten el mismo acuífero (\*).

### Fundamentos del programa

Adoptada la ley exponencial para la afección, la caracte-

(\*) Dicho régimen ha podido ser rigurosamente verificado de forma experimental en varios manantiales correspondientes a contextos hidrogeológicos diversos.

rización exacta de la misma requiere sólo de la fijación del denominado **TIEMPO DE AGOTAMIENTO** o parámetro **TA**, definido como a continuación se indica:

- si **QPF** es el valor medio del caudal natural o potencial de la fuente, la ley de variación del caudal en disminución o descenso **QFDES** durante la afección será

$$QFDES = QPF \cdot e^{a \cdot t/TA} \quad \text{siendo} \quad a = -2 \cdot \ln 10$$

- la expresión indicada implica la elección del parámetro **TA** como equivalente al valor del tiempo de afección al cabo del cual el caudal de la fuente afectada queda reducido al 1 % de su valor en régimen no influenciado.

Para una determinada pareja manantial-sondeo de bombeo, de caudal natural y capacidad instalada dados, el valor del parámetro **TA** será una constante en la que estarán integrados los siguientes factores:

- distancia manantial-sondeo,
- cociente **QB/QPF** entre el caudal de bombeo y el caudal potencial de la fuente, y
- características hidrogeológicas e hidrodinámicas del acuífero en el entorno del manantial y del sondeo.

Cuando se trate de calcular la capacidad de regulación de un cierto manantial mediante un sondeo instalado preexistente, la determinación del correspondiente valor de **TA** será posible sólo mediante la ejecución de un **ensayo de afección**, de realización y técnica interpretativa específicas. Cuando, por el contrario, se esté analizando la regulación máxima de un manantial, sin que se cuente todavía con sondeos o prescindiendo de los existentes, se deberá utilizar un cierto abanico de valores de **TA** delimitado en función del contexto hidrogeológico, y efectuar después el oportuno análisis de sensibilidad.

La caracterización de la ley exponencial no precisa, por el contrario, de la fijación previa de ningún parámetro hidrodinámico: se debe aceptar que, en su restablecimiento, la fuente va a dejar de proporcionar (en relación con el que en régimen natural o no influenciado habría dado) el mismo volumen de agua subterránea que hasta el momento de iniciarse la recuperación, se hubiera extraído en exceso del acuífero.

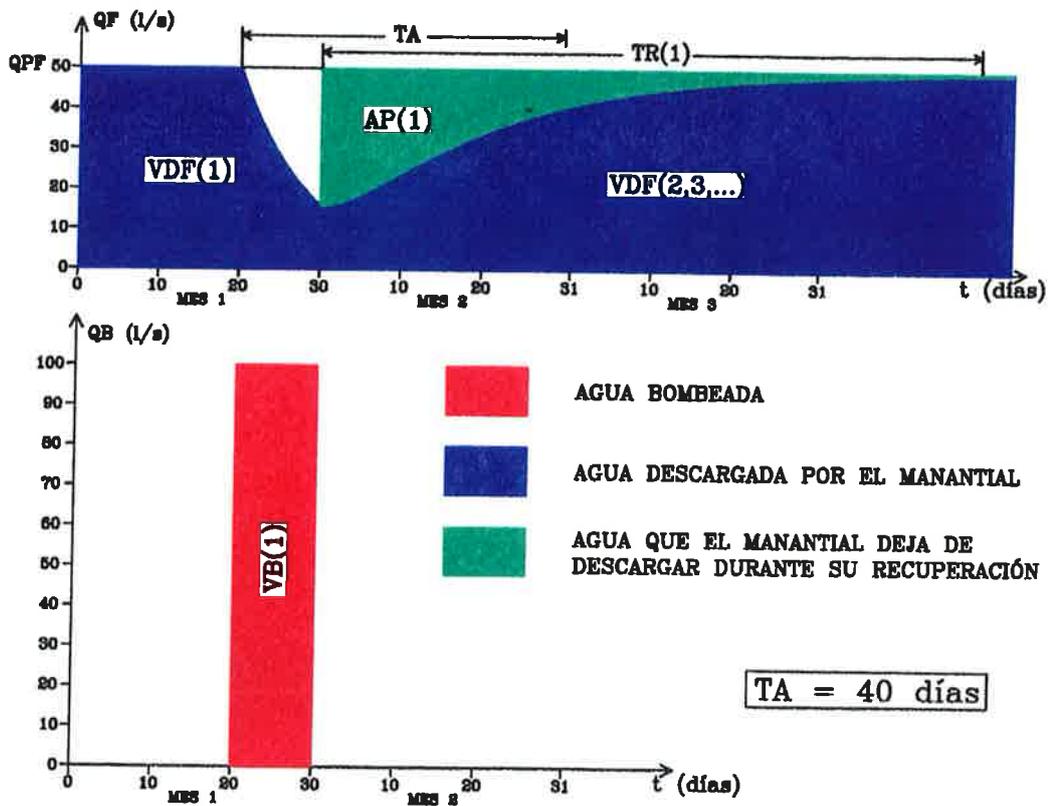
Al dar comienzo el bombeo correspondiente a un determinado mes del periodo de cálculo, es posible que como consecuencia de bombeos efectuados en meses anteriores, quede por "compensar" una determinada "afección pendiente" o "exceso de extracción" de agua del acuífero (\*). Una vez realizado el bombeo correspondiente al mes en cuestión, la indicada afección pendiente (AP) resultará incrementada en la diferencia entre la descarga conjunta (bombeo y descarga afectada de la fuente) y la descarga que durante dicho mes habría proporcionado la fuente en el caso de que no se hubiese realizado el mencionado bombeo (aunque la misma hubiese estado todavía afectada por los bombeos realizados en meses anteriores). Con el final del bombeo, se iniciaría una recuperación progresiva del caudal de la fuente hacia su valor potencial, según una ley exponencial a la que correspondería un determinado valor de tiempo de recuperación (TR) (\*\*).

En la fig. 4 adjunta se ha representado la evolución que experimentaría el caudal de un manantial (de valor, supuesto constante e igual a 40 l/s en régimen natural o no influenciado), bajo la afección provocada por un bombeo de caudal constante igual a 100 l/s. Las características del acuífero y la localización del manantial y del sondeo son tales que el valor de TA asciende, por ejemplo, a 40 días (duración del bombeo

(\*) Es decir, la diferencia entre el volumen acumulado de agua subterránea obtenida del acuífero (por bombeo y por descarga del manantial), y el que el mismo habría proporcionado hasta ese momento en régimen no influenciado.

(\*\*) El valor de TR es siempre el resultado de un cálculo matemático (mediante integración) a partir del valor de AP.

## RÉGIMEN DE AFECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE UN MANANTIAL



**MES 1**

$$QF = QPF \cdot \exp(a \cdot t / TA) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{para } (NDM - NDB) < t < NDM \\ [t \text{ contado a partir} \\ \text{del origen del} \\ \text{eje de abscisas}] \end{array} \right.$$

$$AP(1) = VDF(1) + VB(1) - 86.4 \cdot QPF(1) \cdot NDM(1)$$

**MESES 2, 3, ...**

$$QF = QPF \cdot (1 - (1 - \exp(a \cdot (NDB + t) / TA)) \cdot \exp(a \cdot t / TR)) \quad \left\{ \begin{array}{l} [a = -2 \cdot \ln 10] \\ [t \text{ contado a partir} \\ \text{del comienzo de} \\ \text{la recuperación}] \end{array} \right.$$

- QPF : CAUDAL POTENCIAL DE LA FUENTE
- QF : CAUDAL INSTANTÁNEO DE LA FUENTE
- VDF : VOLUMEN DESCARGADO POR LA FUENTE
- AP : AFECCIÓN PENDIENTE
- NDM : NÚMERO DE DÍAS DEL MES
- NDB : NÚMERO DE DÍAS DE BOMBEO
- VB : VOLUMEN BOMBEADO

**FIG. 4**

ininterrumpido que conseguiría reducir el caudal de la fuente a sólo 0,4 l/s) (\*).

### Datos necesarios

Cuando la regulación esté destinada a una demanda de riego (\*\*) son:

- **Historial de caudales del manantial**
- **Demanda unitaria de riegos**
- **Servidumbres** o demandas de dotación preferente garantizada: un abastecimiento público, un riego preexistente, etc.
- **Recursos exteriores:** el programa contempla la posible existencia de dos diferentes recursos exteriores, como los aportados por otro manantial no afectado por la regulación, por un canal o por un río por los que circulen recursos ajenos al acuífero, etc.
- **Coefficiente de utilización:** representa el grado de utilización máxima aceptado para la instalación de bombeo, referido al número total de horas de cualquier mes (en el presente estudio se ha adoptado siempre un valor igual a 0,80).
- **Caudal de bombeo:** se puede optar por un valor constante prefijado para el mismo, o bien dejar que sea el programa el que calcule la capacidad necesaria de bombeo a instalar. El primer supuesto corresponde normalmente al caso en que se desee determinar la regulación conseguible de un manantial mediante uno o varios sondeos ya

(\*) Para el ejemplo reflejado en dicha figura, resultan los siguientes valores significativos, correspondientes al mes nº 1:  
VDF(1) = 112.057,2 m<sup>3</sup>  
VB(1) = 86.400,0 "  
AP(1) = 68.857,2 "  
TR(1) = 81,9 d

(\*\*) Existen otras opciones de cálculo (regulación para abastecimiento, regulación con recursos exteriores, etc.)

existentes; la opción de caudal no prefijado es generalmente la más adecuada para el diseño de la regulación máxima posible para un manantial que esté descargando en régimen no influenciado, sin sondeos de bombeo que lo puedan afectar.

- **Tiempo de agotamiento.** El valor de TA, necesario para el cálculo de una regulación mediante sondeos preexistentes, podrá ser obtenido mediante un **ensayo de afectación**. Si los sondeos con los que regular el manantial no existen aún, como sucede en el caso que nos ocupa, se deberá delimitar un intervalo probable para los valores del tiempo de agotamiento, tanto en la opción de caudal fijo como en la de variable, y realizar después un análisis de sensibilidad de los resultados en función de las variaciones de TA.

#### Resultados del cálculo

Los resultados que proporciona el programa REGMA son los siguientes:

- **Superficie de riego garantizable máxima (\*)**
- **Caudal de bombeo necesario (\*\*)**
- **Funcionamiento hidrogeológico del sistema de regulación.** El programa calcula, mes a mes, los valores de las siguientes magnitudes:

**NDB**                    número de días de bombeo intensivo

**NDDAF**                número de días de descarga afectada de la fuente

(\*) La garantía mencionada está necesariamente ligada a la representatividad hidrogeológica hiperanual del historial de caudales potenciales del manantial con el que se haya contado, lo mismo que sucede en el cálculo de una regulación superficial con los historiales foronómicos utilizados.

(\*\*) Es un resultado a obtener sólo en el caso de que el mismo no haya sido impuesto como dato.

<b>NDDMF</b>	número de días de descarga máxima o no influenciada de la fuente
<b>VDF</b>	volumen descargado por la fuente (m <sup>3</sup> )
<b>VB</b>	volumen que es necesario bombear (m <sup>3</sup> )
<b>RER1</b>	remanente o parte no utilizada del primer recurso exterior considerado (m <sup>3</sup> )
<b>RER2</b>	id. para el segundo recurso exterior.
<b>AP</b>	afección pendiente (m <sup>3</sup> )
<b>ESS</b>	escorrentía subterránea sobrante (m <sup>3</sup> )
<b>DES</b>	déficit de escorrentía subterránea (m <sup>3</sup> )

### Proceso de cálculo

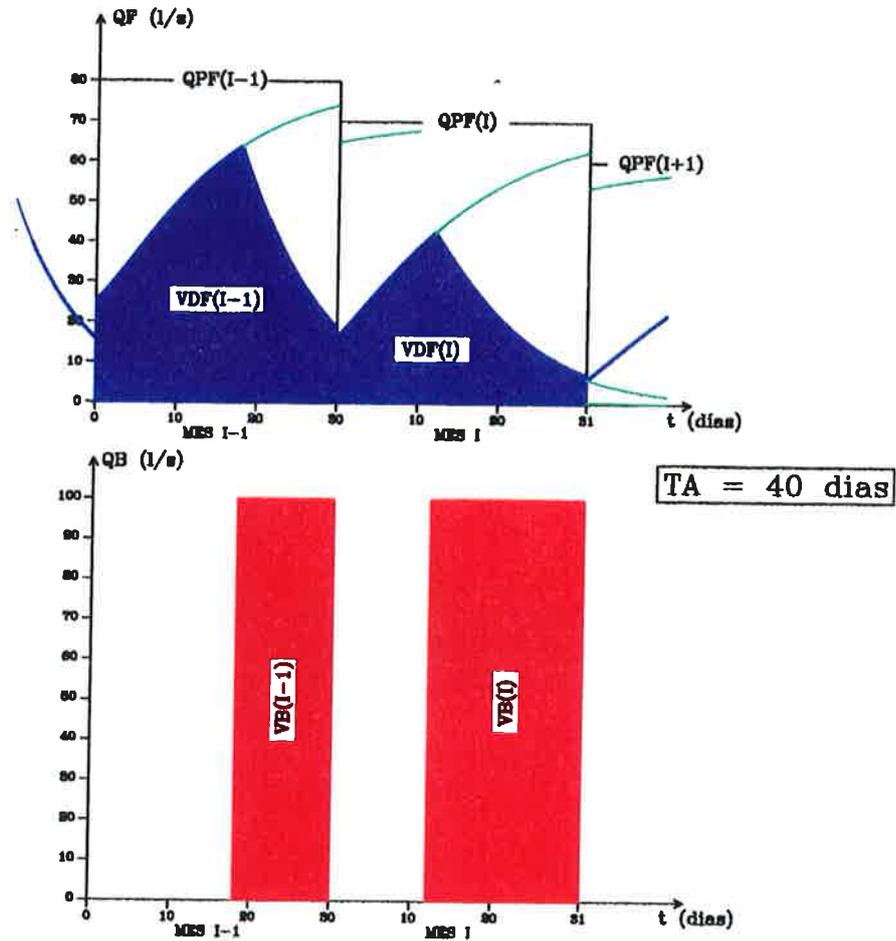
Pasando por la serie foronómica de referencia, se evalúa mes a mes el volumen de agua que será necesario obtener mediante bombeo, tal que sumado al que proporcione la fuente afectada, cubran exactamente la demanda total a atender, de acuerdo con el valor de superficie de riego que se esté tanteando. Si al finalizar la serie (en el mes precedente al que se haya tomado como inicial) el caudal de la fuente se ha recuperado hasta su valor potencial, la superficie de riego tanteada coincidirá con la que se ha denominado **superficie de riego garantizado máxima (SRGMX)**.

En la fig. 5 adjunta se ha representado el proceso de cálculo para un mes intermedio cualquiera I, en uno de los diversos casos posibles.

Los resultados que se obtengan (valor de **SRGMX**, fun-

(\*) Se han querido reflejar en la figura la discretización temporal de un caudal variable en el manantial: obsérvense las roturas de continuidad que tienen lugar en los cambios de mes, es decir, al pasar de un paso de tiempo al siguiente. Las expresiones analíticas reflejadas en la fig. 5 corresponden al caudal de la fuente en recuperación (QFREC), al comienzo del mes I, y al caudal en descenso (QFDES) como consecuencia del bombeo que tiene lugar en una segunda etapa del mismo mes I.

## FUNCIONAMIENTO DE UN MANANTIAL EN REGULACIÓN



MES I

$$Q_{FREC} = A \cdot \exp\left[\frac{a \cdot t}{TR(I)}\right]$$

$$Q_{FDES} = Q_{FREC} \cdot \exp\left\{a \cdot [t - NDM(I) + NDB(I)] / TA\right\}$$

con :

$$A = \left\{1 - \exp\left[\frac{a \cdot (NDM(I-1) + t)}{TR(I-1)}\right]\right\} \cdot \exp\left[\frac{a \cdot (NDB(I-1) + t)}{TA}\right]$$

$$a = -2 \cdot \ln 10$$

Q<sub>FDES</sub> : CAUDAL DE LA FUENTE EN DESCENSO

Q<sub>FREC</sub> : CAUDAL DE LA FUENTE EN RECUPERACIÓN

**FIG. 5**

cionamiento de la fuente, programa de bombeos a realizar, etc.) dependerán apreciablemente del mes elegido para poner en marcha la regulación hidrogeológica planteada (\*). Por ello, el programa REGMA calcula (y almacena) los resultados correspondientes a regulaciones iniciadas sucesivamente en cada uno de los meses de la serie de referencia: la solución concreta a retener de entre las varias encontradas deberá ser consecuencia de un análisis estadístico e hidroagroclimático.

### Eficacia de la regulación hidrogeológica de un manantial

Sin entrar de momento en el aspecto económico del tema, se han definido los siguientes índices de eficacia:

- **Índice de eficacia hidráulica 1 (IEH1)**, equivalente al cociente entre la demanda de agua que sería posible atender anualmente mediante la puesta en práctica de la regulación planteada y el volumen de agua que para ello sería necesario bombear en un año medio.
- **Índice de eficacia hidráulica 2 (IEH2)**, equivalente al cociente entre el incremento de la demanda de agua a atender como consecuencia de la puesta en práctica de la regulación y el volumen de agua a bombear (\*\*).
- **Índice de eficacia hidrogeológica (IEHG)**, equivalente al cociente entre la demanda total a atender si se pusiese en práctica la regulación y el volumen total de agua subterránea descargada del acuífero por bombeo y por la propia fuente (\*\*\*).

(\*) Ello debe ser así porque, iniciada la pasada de cálculos en un mes cualquiera de la serie foronómica, serán determinantes las mayores o menores posibilidades de recuperación que tenga la fuente durante los meses finales de aquella, es decir, durante los meses inmediatamente anteriores al elegido para comenzar la regulación. Pero habrá meses para los que carezca de viabilidad una regulación hidrogeológica comenzada en ellos.

(\*\*) Es evidente el interés de obtener el mayor valor posible para los índices IEH1 y IEH2, que representan una especie de "tasas de beneficio hidráulico".

(\*\*\*) El índice de eficacia hidrogeológica en la regulación de un manantial se corresponde con el grado de regulación en un embalse y, a diferencia de los dos anteriores, tiene un tope inalcanzable en la práctica igual a 1.

- **Índice de eficacia agrícola (IEA)**, equivalente al aumento relativo que como consecuencia de la puesta en ejecución de la regulación, experimentaría la superficie de riego atendible (\*).

De cara a coordinar la regulación hidrogeológica de los manantiales más importantes de la cuenca del Guadalfeo, con la regulación superficial que efectuen los embalses de Béznar y Rules, se plantean dos situaciones diferentes:

1ª Regulación coordinada de manantiales y embalses superficiales, "en serie"

En primer lugar, nos encontramos con la existencia de manantiales situados en la cuenca vertiente a los embalses destinados a la regulación superficial y que son regulables hidrogeológicamente con el objetivo de dotar las mismas demandas que éstos. En una situación así, siempre será hidrológicamente interesante llevar a cabo una **coordinación "en serie" entre embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos**. Este procedimiento de regulación coordinada supone una cierta "especialización" en la gestión de los embalses, según que sean de tipo convencional (embalses superficiales) o se trate de sistemas acuíferos ("embalses subterráneos").

En efecto, si se consigue que al menos una parte de la escorrentía subterránea que forma parte de la aportación propia de los embalses superficiales, llegue a éstos ya regulada mediante técnicas y medios hidrogeológicos, resultará posible una más eficaz dedicación de dichos embalses a regular la componente que sólo ellos pueden regular: la escorrentía estrictamente superficial.

A efectos del cálculo, el hecho de que a un embalse

(\*) En los casos, que a veces se presentan, de que la demanda de las servidumbres de dotación prioritaria superen en algún mes a la totalidad de la descarga no influenciada del manantial, el valor de la superficie de riego garantizable sin regulación (SRGSR) será negativo y el presente índice superará, sin límite, el valor de 1. En los restantes casos tendrá dicho valor por tope máximo.

llegase ya regulada una parte de sus aportaciones equivale, de hecho, a que la misma "pasase de largo" o, lo que es igual, que dejase de llegar al embalse en cuestión.

El planteamiento expuesto es aplicable a los manantiales de Padul y Cijancos (después de asegurar la dotación de sus demandas locales actuales) en relación con el embalse de Béznar, en cuya cuenca vertiente se encuentran. Será, por tanto, cuestión de calcular la capacidad de regulación superficial de dicho embalse cuando le llegue ya regulada una parte de sus aportaciones propias (o, lo que es lo mismo, cuando la misma le deje de llegar "reguladamente"). A dicha capacidad de regulación habrá que añadir los resultados conseguibles mediante la regulación hidrogeológica de los citados manantiales.

El manantial de La Zaza se encuentra en la cuenca vertiente al proyectado embalse de Rules, pero parece prioritario que su regulación hidrogeológica esté destinada sólo a la mejora y ampliación de los riegos locales. Además su descarga resulta irrelevante frente a las aportaciones propias del embalse.

## 2ª Regulación coordinada de manantiales y embalses superficiales, "en paralelo"

Existen también otros manantiales, situados aguas abajo de los embalses superficiales, pero en cabecera de las áreas de demanda principal de la cuenca, y cuyas escasas perspectivas de mayor aprovechamiento local hacen planteable su dedicación a apoyar a los embalses superficiales en la dotación de tales áreas. Se trataría en este caso de llevar a cabo una coordinación "en paralelo" entre embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos": tanto los primeros como los manantiales por los que se descargan los segundos serían regulados de forma independiente, pero simultáneamente y para el mismo objetivo.

Este segundo planteamiento de regulación coordinada es aplicable en la cuenca del Guadalfeo a los manantiales de Vélez de Benaudalla, después de dotar de forma prioritaria sus demandas de riego actuales. Los manantiales del río de la Toba, en situación hidrológica similar a los de Vélez debieran ser regulados hidrogeológicamente para hacer posible la dotación de la ampliación de regadío en curso (los "Nuevos regadíos de Guájar-Faragüit").

#### 3.4.1.2. Regulación conjunta mediante embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos. Programa REGRIO2

El último de los enfoques de regulación global aplicables a la cuenca del Guadalfeo deriva de la siguiente esquematización:

Desde un punto de vista puramente conceptual, un río regulado por un embalse hasta un cierto grado, a su paso por un punto cualquiera de su curso, puede ser visto como la superposición de dos cauces distintos:

- por uno de ellos circularían únicamente sus aportaciones reguladas, es decir, todos los años la misma serie de doce volúmenes mensuales (\*);
- por el otro sólo discurrirían los excedentes, ésto es, una irregular serie de volúmenes, a veces nulos, equivalentes a la parte de las aportaciones no evaporada en los embalses, que éstos, por falta de capacidad, no han podido retener y han debido verter - son los vertidos- , más todas o la mayor parte de las aportaciones vertientes al río aguas abajo de los embalses.

Si al cauce de excedentes se le incorporasen en cantidad y momento oportunos aportaciones de otro origen (subterráneo en nuestro caso, aunque podría tratarse de otro tipo de

(\*) Si la regulación no fuese estricta se registrarían déficits condicionados en la citada serie de 12 valores.

recursos hídricos: aguas residuales depuradas, por ejemplo), dispondríamos en él de una nueva circulación conjunta susceptible de ser descompuesta en una nueva parte regulada (equivalente a la mejora de regulación conseguida) y una parte, menor que antes, que sigue estando sin regular.

El planteamiento expuesto constituye, en esencia, el fundamento metodológico de la regulación superficial conseguible mediante la utilización conjunta de embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos, en la que los desembalses superficiales parcialmente regulados son complementados con agua subterránea bombeada, para dar lugar, en conjunto, a una aportación regulada, de origen mixto.

Para la puesta en práctica de una regulación con ese enfoque habrá que determinar, una vez fijado el objetivo de regulación a conseguir, cual deberá ser la contribución a la misma de cada uno de los embalses superficiales disponibles, es decir, cuánto y cuándo deberán desembalsar, y cual deberá ser el aporte neto procedente del sistema o sistemas acuíferos subterráneos, especificando el régimen de utilización de los mismos: magnitud y calendario de dichos aportes. De forma complementaria, será necesario fijar también el emplazamiento de la red de sondeos con los que obtener dicho aporte en condiciones adecuadas.

Con objeto de poder determinar los programas de desembalses superficiales y de aportes netos de origen subterráneo necesarios (\*) para, en conjunto, alcanzar un preestablecido grado de regulación, así como las series de excedentes sin regular resultantes, se ha aplicado el programa REGRIO2.

El programa presenta las siguientes características más

(\*) Cuando el sistema acuífero a utilizar no presente ninguna conexión hidráulica natural con el río a regular, es decir, cuando no exista posibilidad de afección al mismo por los bombeos que se efectúen en el acuífero, el mencionado aporte neto coincidirá con el bombeo a realizar para obtenerlo. Si la afección pudiese producirse, el bombeo tendría que superar al aporte neto en la cuantía de la misma durante el tiempo que dura el bombeo (este caso abre, por otro lado unas posibilidades de regulación conjunta aun más amplias).

destacables que lo distinguen del REGRIO1, al que complementa:

- Puede operar en régimen estricto o con distintos tipos de déficits condicionados, pero puede suceder (\*) que el embalse no llegue nunca a vaciarse por completo.
- Fijar un determinado grado de regulación a conseguir significa determinar de antemano el volumen de agua que, en conjunto, hay que suministrar mes a mes. Dicho volumen es, en cada mes, igual a la suma de:
  - las servidumbres asignadas al embalse durante el mes en cuestión, y
  - el porcentaje mensual de las demandas de riego aplicado al volumen anual a regular para riego .
- A su vez, fijar el grado de regulación supone determinar el volumen anual a regular para riego (\*\*).
- Determinado el volumen de agua que, en conjunto, hay que suministrar en un mes cualquiera, se puede optar por uno u otro de los dos siguientes criterios de actuación:
  - Sólo después de que, una vez agotadas, hayan resultado insuficientes las disponibilidades superficiales totales del mes (\*\*\*), se hace entonces intervenir como complemento el aporte neto de agua subterránea bombeada desde el acuífero; es decir, no se realiza ninguna anticipación o adelanto en los bombeos. Es evidente que, operando de esta forma,

(\*) Cuando se adopte una política de adelantamiento de los bombeos.

(\*\*) Dicho volumen debe ser igual a la diferencia entre la aportación regulada total (el porcentaje prefijado de la aportación media total) y la suma de la servidumbre anual asignada al embalse más el valor medio anual de las derivaciones efectuadas aguas arriba del mismo.

(\*\*\*) Volumen embalsado al final del mes anterior, más las entradas netas al embalse durante el mes, menos evaporación mensual.

resultará mínimo el volumen total de agua a bombear, porque sólo se bombeará cuando resulte estrictamente indispensable

- Se admite efectuar bombeos en meses en que sería factible atender la demanda total comprometida, sólo mediante disponibilidades superficiales (aunque el embalse superficial quedase con una reserva excesivamente reducida al final del mes): bombear algo en tales meses, aunque no fuese estrictamente necesario hacerlo, permitiría contar al final de los mismos con una reserva capaz de hacer menores las necesidades de bombeo en meses posteriores. Si esta política de anticipación de bombeos fuese adecuadamente programada, se conseguiría disminuir el valor del máximo bombeo (determinante de la capacidad de bombeo a instalar), aunque, como contrapartida, resultarían más elevados los valores del bombeo total a realizar, de los excedentes sin regular y de las pérdidas por evaporación (debido a que al utilizar agua subterránea del acuífero con más frecuencia de lo estrictamente indispensable, el llenado medio del embalse resultaría mayor).

- El programa REGRIO2 permite optar por una u otra de las dos políticas expuestas y, si se elige anticipar los bombeos, modular dicha anticipación mediante el denominado "índice de adelantamiento de bombeos" o parámetro ALFA (\*). La elección del más adecuado valor para dicho índice será fundamentalmente el resultado de un compromiso entre bombeo total y bombeo instantáneo máximo; es decir, de una óptima dosificación entre inversión y gastos de explotación.

(\*) Los valores de dicho parámetro a introducir en el programa son números reales  $\geq 1$ . Cuando ALFA = 1,0 la anticipación de bombeos es la menos energética.

- En la aplicación del programa **REGRIO2** se impone a todos y cada uno de los embalses el logro del prefijado grado de regulación, respecto de las aportaciones que les son específicamente propias, lo que hace que los resultados correspondientes a un sistema de embalses no sean, como con el **REGRIO1**, la suma de los obtenidos para los situados más aguas abajo en cada río convergente de una red hidrográfica, sino para todos los que componen el sistema.

### 3.4.2. Resultados del cálculo de la regulación coordinada

Tal como se puso de manifiesto en el apartado 3.3.4., las opciones **III** y **IV** de la regulación superficial, en el marco de las cuales se apoyarían las demandas de agua para riego y abastecimiento en la subzona **A1** o, además, se trasvasarían 28,5 hm<sup>3</sup>/a hacia la cuenca del río Adra, respectivamente, suponen, en un régimen hiperanual y estricto de explotación de los embalses, unos déficits importantes en la dotación de los riegos tradicionales de las vegas de Motril y Salobreña (1.212 y 3.009 ha, respectivamente). Por tanto, se trata ahora de analizar las posibilidades de que dichos déficits puedan ser cubiertos en el marco de una **regulación superficial coordinada** con la regulación hidrogeológica de manantiales y **conjunta** con el sistema acuífero Motril-Salobreña; en dicho análisis se aplicará la metodología expuesta en los apartados anteriores.

#### 3.4.2.1. Regulación hidrogeológica de manantiales

Los 12 manantiales cuya regulación hidrogeológica ha sido analizada en el presente estudio son los que se indican a continuación, agrupados según su localización hidrogeológica (ver apartado 3.1.5.):

- **Manantiales de Padul y Cijancos**
  - La Raja
  - Los Molinos
  - Mal Nombre

- Los Mísqueres
- Povedano
- Cijancos
- **Manantiales de La Zaza**
  - La Zaza
- **Manantiales del río de la Toba**
  - La Fuente Santa
- **Manantiales de Rules**
  - Rules
- **Manantiales de Vélez de Benaudalla**
  - Fuente Nueva
  - El Nacimiento
  - El Torchal

La descarga de los manantiales indicados representa en conjunto una escorrentía subterránea de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir,  $48 \text{ hm}^3/\text{a}$ , equivalente al 17 % de la escorrentía total de la cuenca, aproximadamente. En la actualidad, las demandas de agua para riego y abastecimiento ligadas a los citados manantiales, atendidas sin problemas de dotación mediante la descarga natural de los mismos, asciende a sólo  $8,20 \text{ hm}^3/\text{a}$ .

De los  $48 \text{ hm}^3/\text{a}$  de descarga total indicada, sólo  $12,4$  corresponden a manantiales (los de Padul y Cijancos) localizados aguas arriba de un embalse de regulación superficial (el de Béznar). Los sobrantes no aprovechados localmente de la descarga subterránea restante pueden ser estimados en unos  $30 \text{ hm}^3/\text{a}$ , y, aunque es muy complejo evaluar la parte de ellos que se termina perdiéndose en el mar (\*), es probable que la misma resulte no inferior a  $20 \text{ hm}^3/\text{a}$ .

(\*) Téngase en cuenta que cuando tales sobrantes llegan al Guadalfeo, confluyen con otros excedentes superficiales y subterráneos de la cuenca. Los excedentes medios descargados en el mar durante el periodo 1972/73-1987/88 han sido estimados en  $36 \text{ hm}^3/\text{a}$ .

La regulación hidrogeológica planteada para todos los manantiales estudiados podría llevarse a cabo sin especiales problemas técnicos: no se presenta ninguna dificultad para la localización de los necesarios sondeos de bombeo regulador, ni para la adecuada captación del correspondiente acuífero.

Por lo que respecta al destino a dar a la regulación hidrogeológica de los manantiales estudiados, los criterios adoptados han sido los siguientes:

- En todos los manantiales en que existen demandas de agua ligadas a su descarga (todos, salvo el de Rules), se ha previsto una dotación prioritaria de las mismas.
- Cuando tales demandas se encuentran en expansión o tienen perspectivas de ello, el único destino contemplado para la regulación hidrogeológica ha sido la dotación y ampliación de las mismas. Ese ha sido el tratamiento dado a la regulación de los manantiales de La Zaza y del Río de La Toba.
- Cuando no existe aprovechamiento local de un manantial (caso que se da en el de Rules) o el existente está claramente por debajo de las posibilidades del mismo (Padul, Cijancos y Vélez de Benaudalla), se ha considerado también, además de la expansión de las demandas locales, la regulación hidrogeológica con destino a las demandas del riego tradicional en las vegas de Motril y Salobreña, después de haber garantizado la dotación de las demandas locales en su valor actual.

En las figs. 6 a 11 se ha representado el entorno geológico de los 12 manantiales seleccionados, la localización de los sondeos de bombeo con los que efectuar su regulación hidrogeológica y las áreas de riego dependientes de los mismos.

Como síntesis de los resultados obtenidos cabe destacar los siguientes:

## MANANTIALES DE PADUL Y CIJANCOS (Figs. 6 y 7)

Descarga media de los manantiales ..... 12,4 hm<sup>3</sup>/a

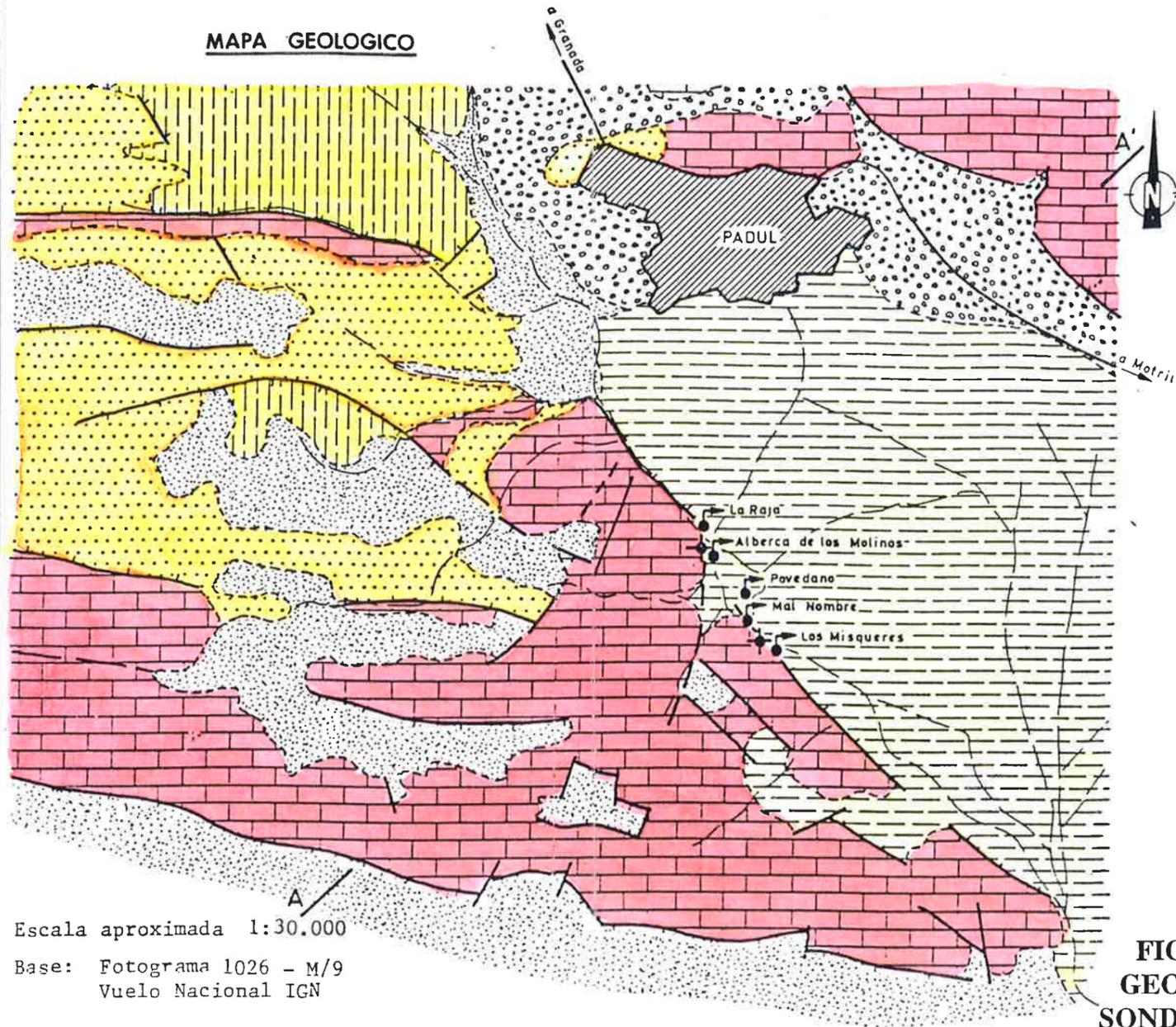
### A. Regulación para apoyo a los regadíos tradicionales de Motril y Salobreña (después de dotar los regadíos locales actuales):

- Superficie de regadío tradicional de Motril y Salobreña atendible con la descarga de los manantiales, sin regulación ..... 378 ha
- Superficie de regadío tradicional de Motril y Salobreña atendible mediante la regulación de los manantiales..... 764 "
- Capacidad de bombeo necesaria .. 780 l/s
- Frecuencia media del bombeo ..... 122 d/a
- Excedentes finales sin regular ..... 0,17 hm<sup>3</sup>/a
- Índice de eficacia hidrogeológica conseguible en la regulación..... 99,7 %

### B. Regulación para ampliación de los regadíos locales:

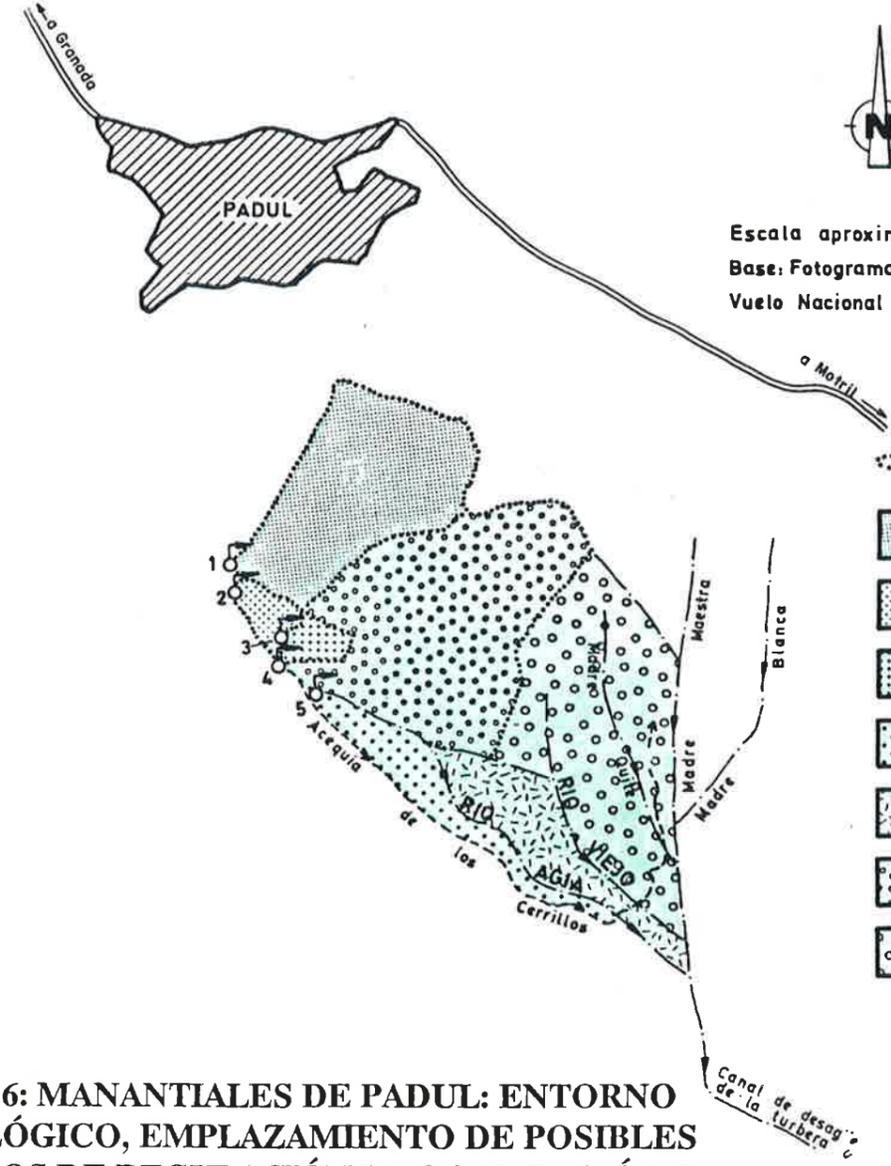
- Superficie de regadío local existente en la actualidad ..... 347 ha
- Superficie de regadío local atendible con la descarga de los manantiales, sin regulación ..... 1.156 "
- Superficie de regadío local atendible mediante la regulación de los manantiales ..... 1.992 ha
- Capacidad de bombeo necesaria .. 711 l/s
- Frecuencia media del bombeo ..... 130 d/a
- Excedentes finales sin regular ..... 0,87 hm<sup>3</sup>/a
- Índice de eficacia hidrogeológica conseguible en la regulación..... 93,0 %

MAPA GEOLOGICO



Escala aproximada 1:30.000  
Base: Fotograma 1026 - M/9  
Vuelo Nacional IGN

RIEGO DE LOS MANANTIALES DE LA TURBERA DE PADUL



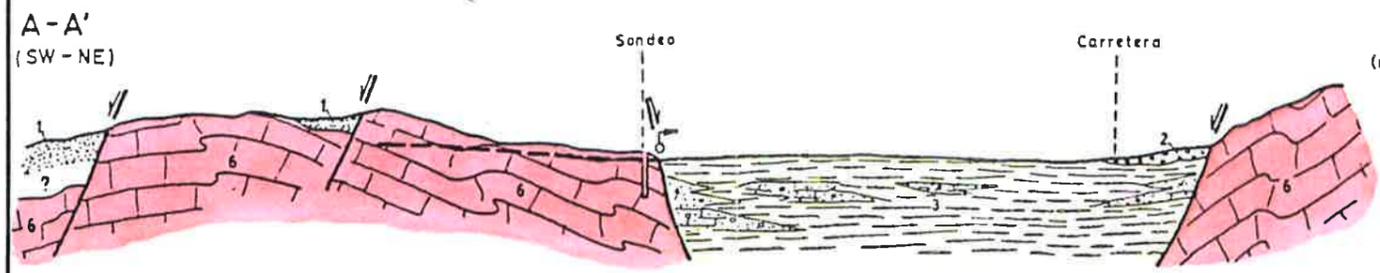
Escala aproximada 1:30.000  
Base: Fotograma 1026 - M/10  
Vuelo Nacional I.G.N.

LEYENDA

- AREA DE RIEGO.
- LA RAJA. (1)
- LOS MOLINOS. (2)
- POVEDANO. (3)
- MAL NOMBRE. (4)
- LOS MISQUERES. (5)
- SOBRANTES DE LOS MOLINOS Y POVEDANO
- SOBRANTES DE MAL NOMBRE

FIG. 6: MANANTIALES DE PADUL: ENTORNO GEOLÓGICO, EMPLAZAMIENTO DE POSIBLES SONDEOS DE REGULACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SUS ÁREAS DE RIEGO

CORTE GEOLOGICO

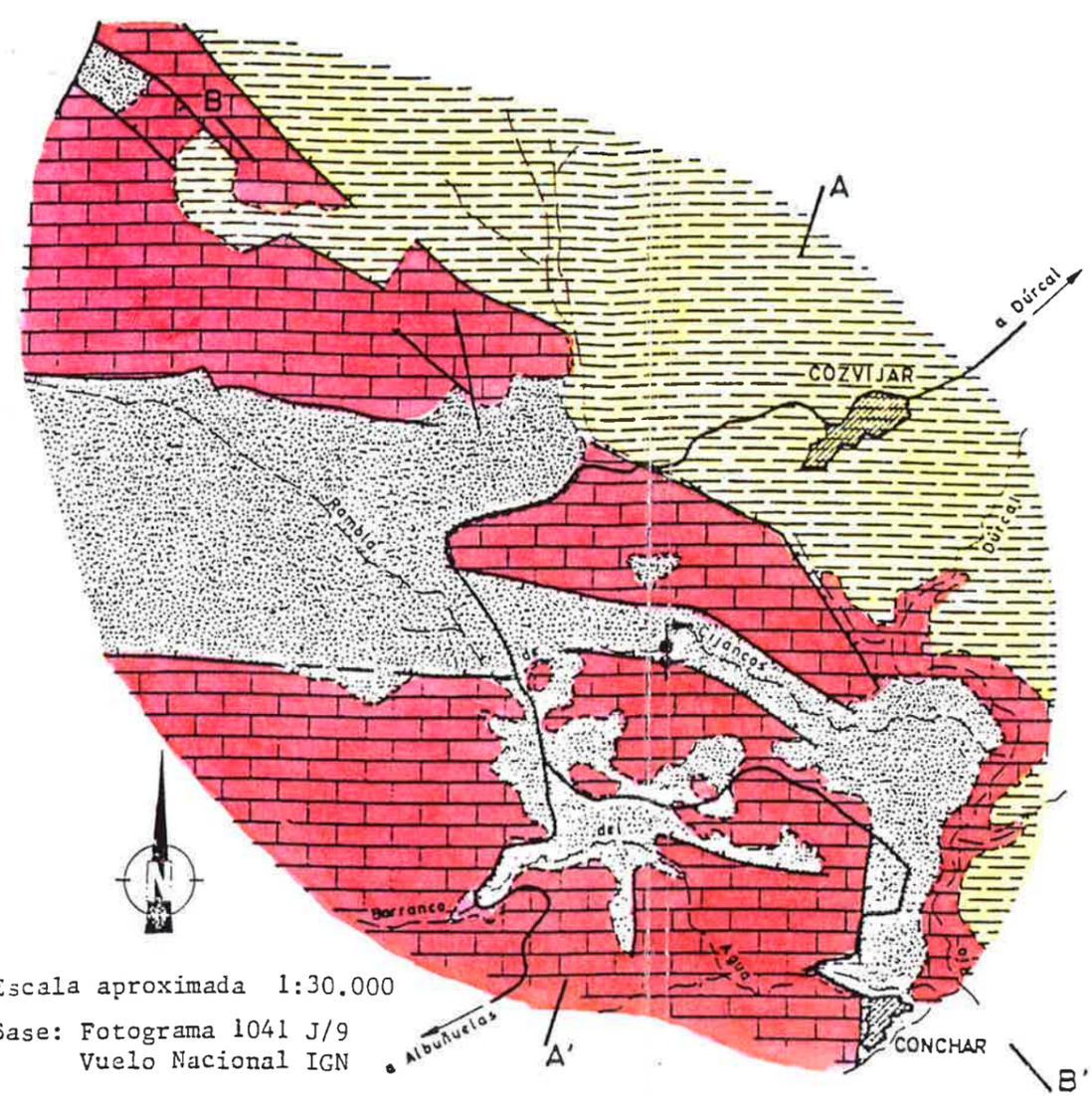


Escala horizontal ~1:30.000  
Escala vertical 1:25.000

LEYENDA

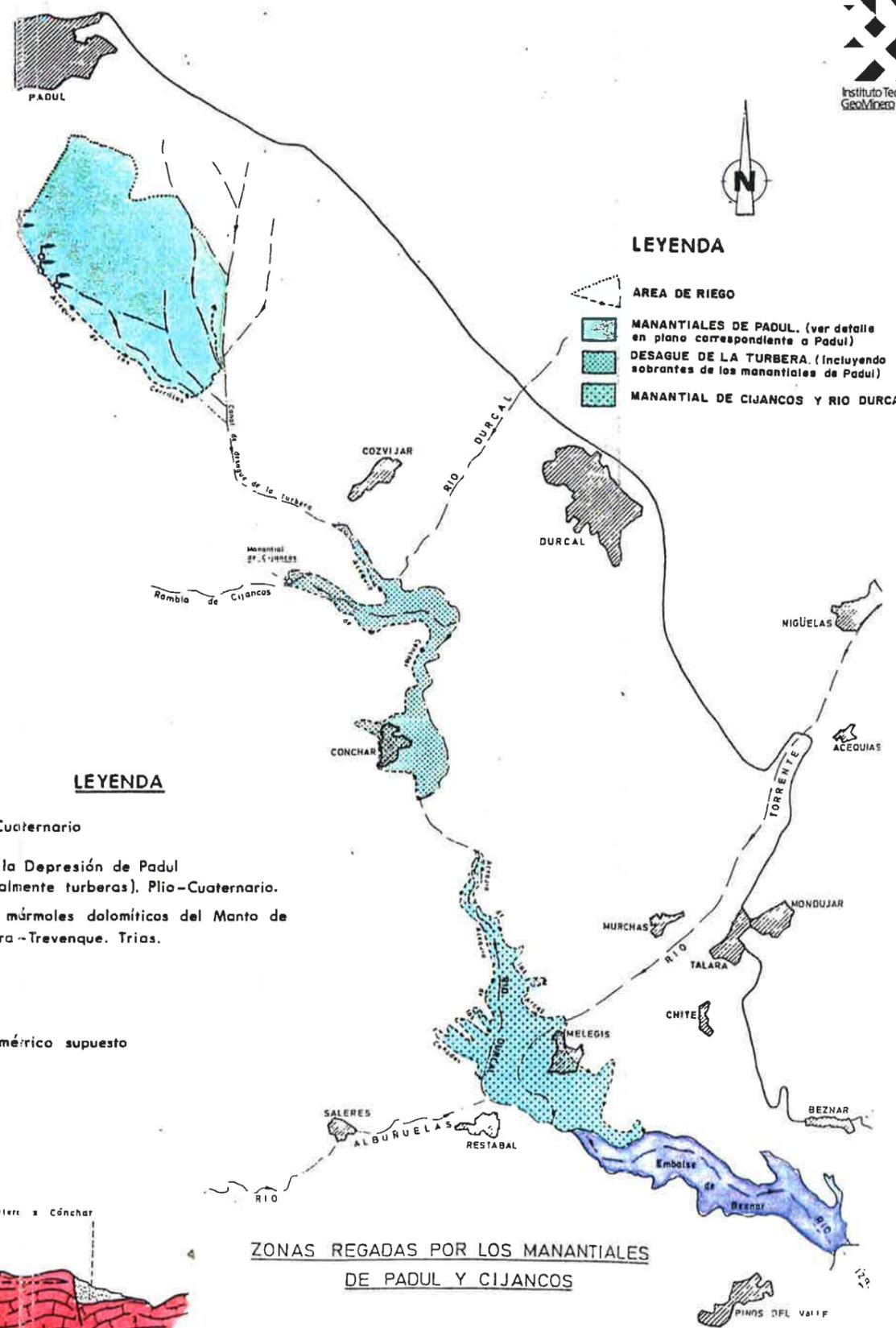
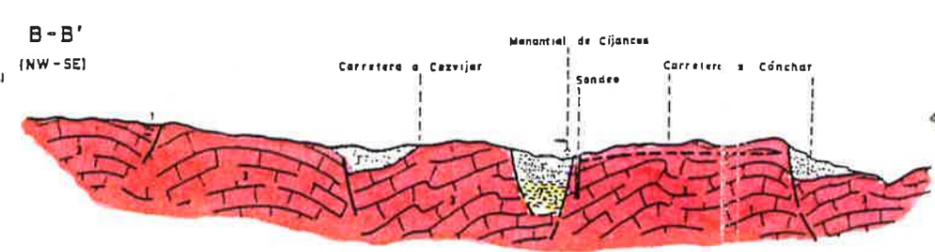
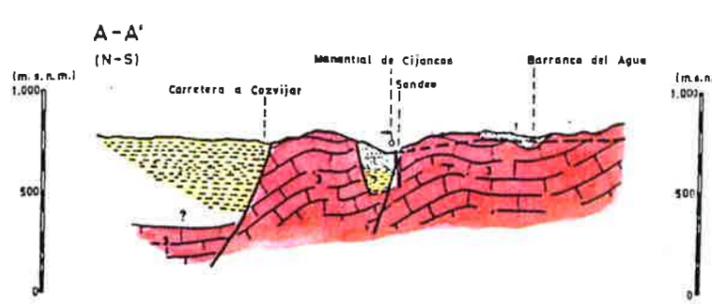
- Aluviales. Cuaternario.
- Conos de deyección. Plio-Cuaternario.
- Relleno de la Depresión de Padul (fundamentalmente turberas). Plio-Cuaternario.
- Limos, arenas, yesos y conglomerados. Mioceno-Plioceno.
- Materiales detríticos con predominio de calcarenitas. Mioceno.
- Dolomías y mármoles dolomíticos del Manto de La Herradura-Trevenque. Triás.
- Manantial.
- Sondeo.
- Nivel piezométrico supuesto.

MAPA GEOLOGICO



Escala aproximada 1:30,000  
Base: Fotograma 1041 J/9  
Vuelo Nacional IGN

CORTES GEOLOGICOS



ZONAS REGADAS POR LOS MANANTIALES DE PADUL Y CIJANCOS

**FIG. 7: MANANTIAL DE CIJANCOS: ENTORNO GEOLÓGICO, EMPLAZAMIENTO DE UN POSIBLE SONDEO DE REGULACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SUS ÁREAS DE RIEGO**

### MANANTIALES DE VÉLEZ DE BENAUDALLA (Fig. 8)

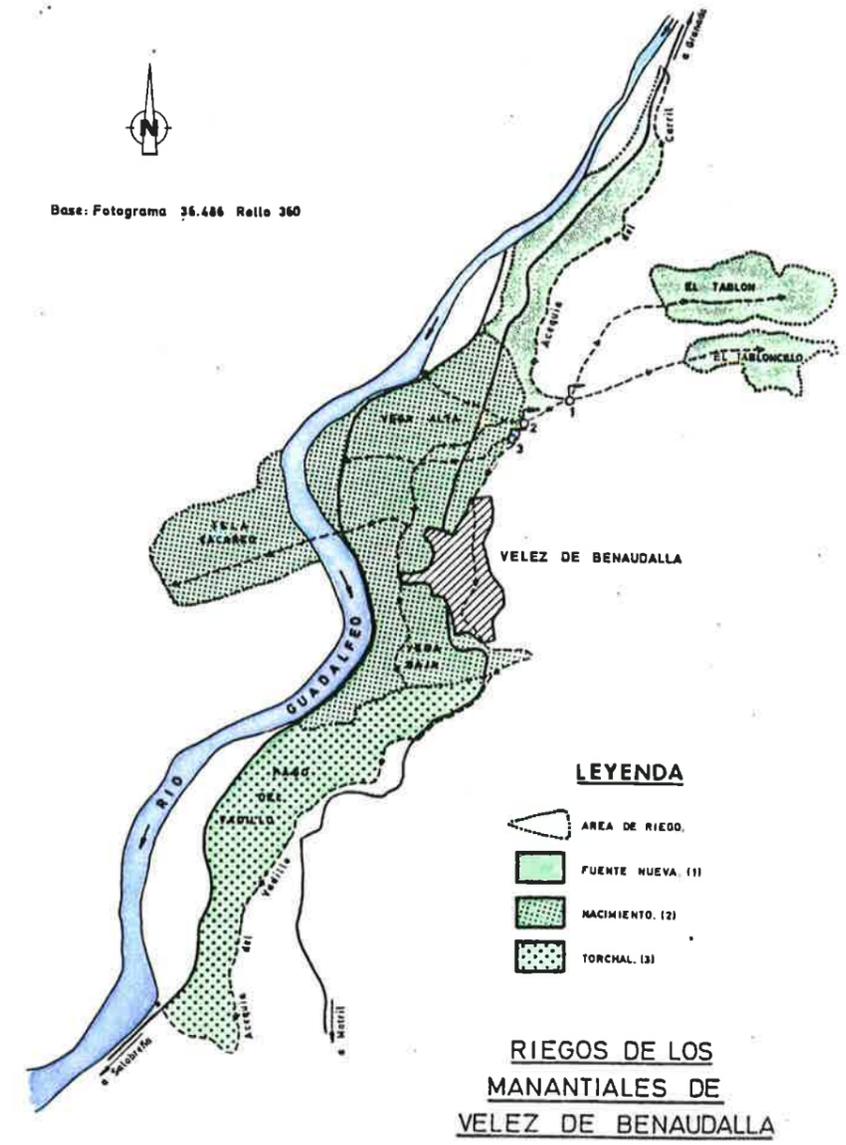
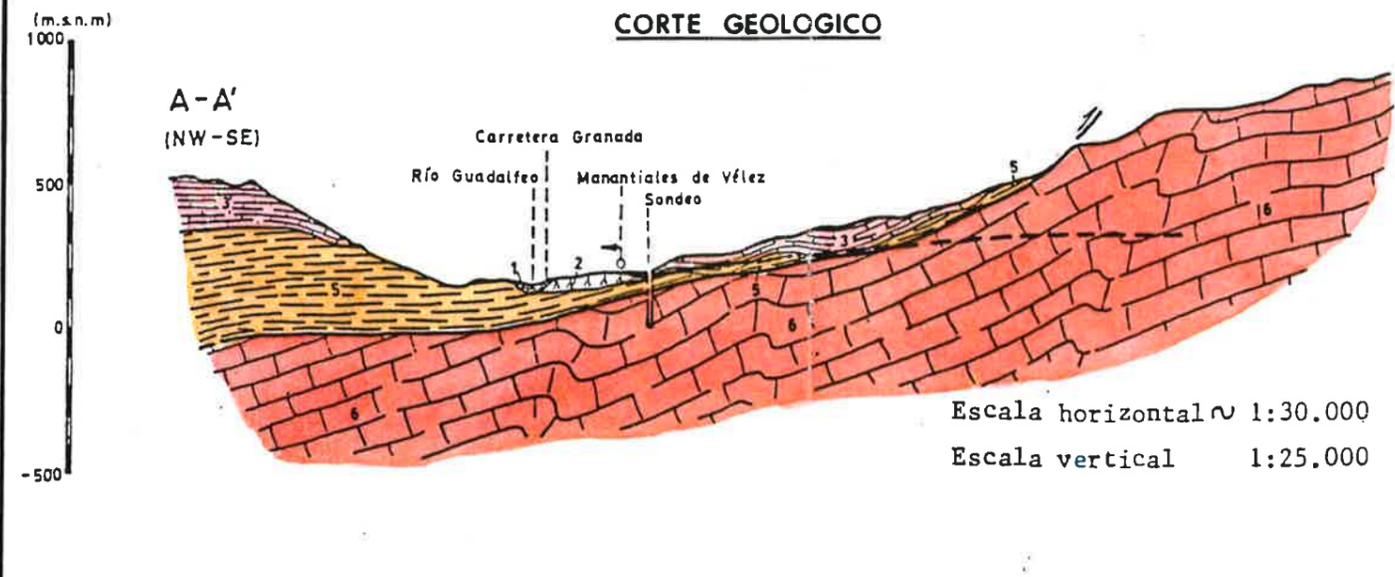
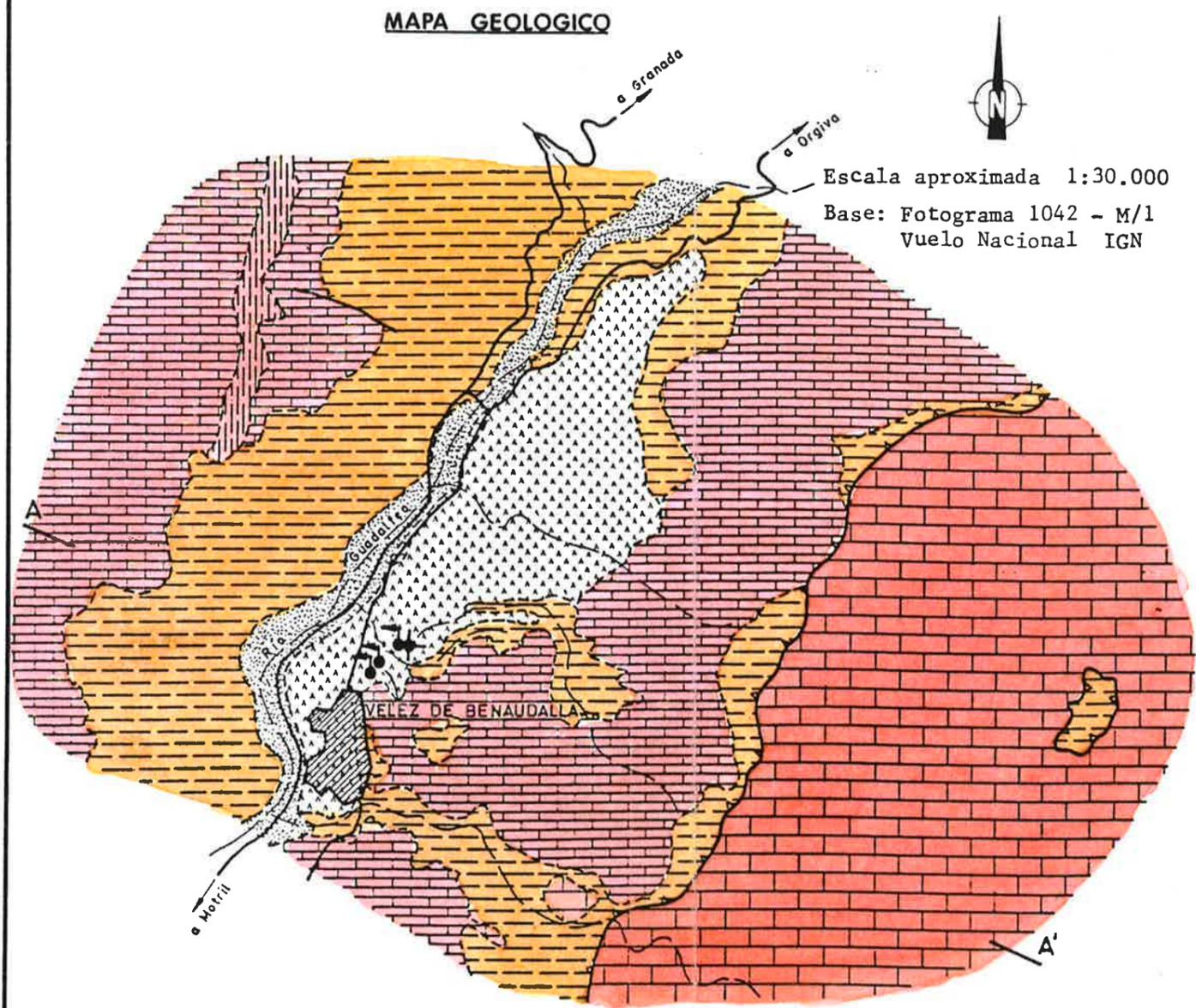
Descarga media de los manantiales ..... 12,7 hm<sup>3</sup>/a

#### **A. Regulación para apoyo a los regadíos tradicionales de Motril y Salobreña (después de dotar los regadíos locales actuales):**

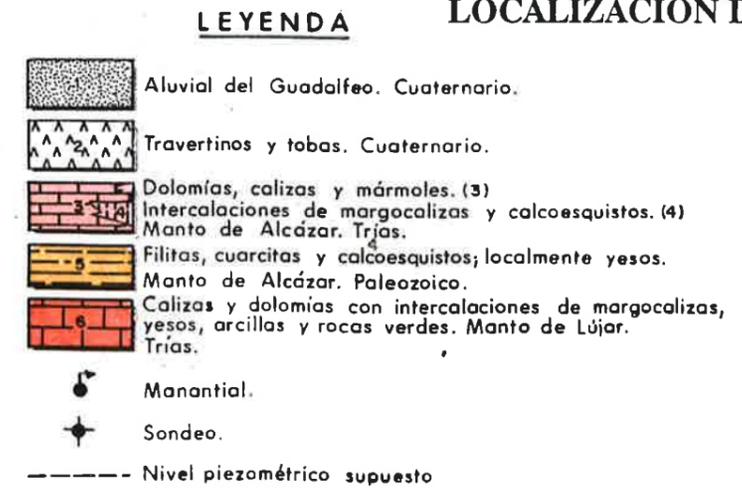
- Superficie de regadío tradicional de Motril y Salobreña atendible con la descarga de los manantiales, sin regulación ..... 170 ha
- Superficie de regadío tradicional de Motril y Salobreña atendible mediante la regulación de los manantiales..... 623 "
- Capacidad de bombeo necesaria .. 590 l/s
- Frecuencia media del bombeo ..... 91,9 d/a
- Excedentes finales sin regular ..... 3,55 hm<sup>3</sup>/a
- Índice de eficacia hidrogeológica conseguible en la regulación..... 72,1 %

#### **B. Regulación para ampliación de los regadíos locales:**

- Superficie de regadío local existente en la actualidad ..... 54,8 ha
- Superficie de regadío local atendible con la descarga de los manantiales, sin regulación ..... 231 "
- Superficie de regadío local atendible mediante la regulación de los manantiales ..... 688 ha
- Capacidad de bombeo necesaria .. 576 l/s
- Frecuencia media del bombeo ..... 66,1 d/a
- Excedentes finales sin regular ..... 5,58 hm<sup>3</sup>/a
- Índice de eficacia hidrogeológica conseguible en la regulación..... 55,9 %



**FIG. 8: MANANTIALES DE VÉLEZ DE BENAUDALLA: ENTORNO GEOLÓGICO, EMPLAZAMIENTO DE UN POSIBLE SONDEO DE REGULACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SUS ÁREAS DE RIEGO**



### MANANTIALES DEL RÍO DE LA TOBA (Fig. 9)

Descarga media de los manantiales ..... 6,52 hm<sup>3</sup>/a

Regulación para dotación de los "Nuevos regadíos de Guájar-Faragüit" (\*) (después de atender los regadíos tradicionales locales) :

- Superficie de regadío tradicional local existente en la actualidad ..... 139 ha
- Superficie de "Nuevos regadíos de Guájar-Faragüit" atendible con las descargas de los manantiales, sin regulación ..... 58,2 "
- Superficie de "Nuevos regadíos de Guájar-Faragüit" atendible mediante la regulación de los manantiales ..... 257 "
  - Capacidad de bombeo necesaria .. 482 l/s
  - Frecuencia media del bombeo ..... 81,8 d/a
  - Excedentes finales sin regular ..... 1,61 hm<sup>3</sup>/a
  - Índice de eficacia hidrogeológica conseguible en la regulación ..... 76,4 %

### MANANTIAL DE LA ZAZA (Fig. 10)

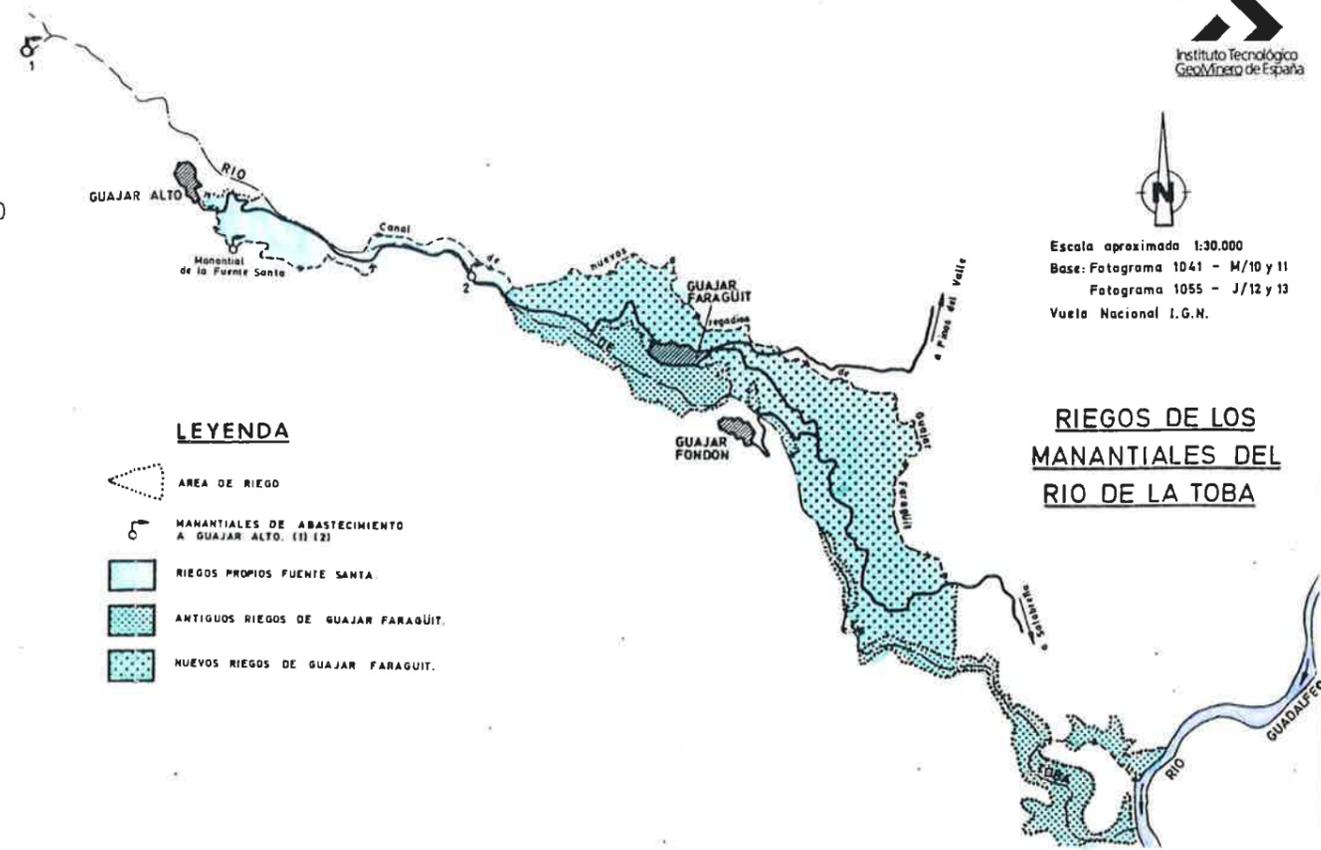
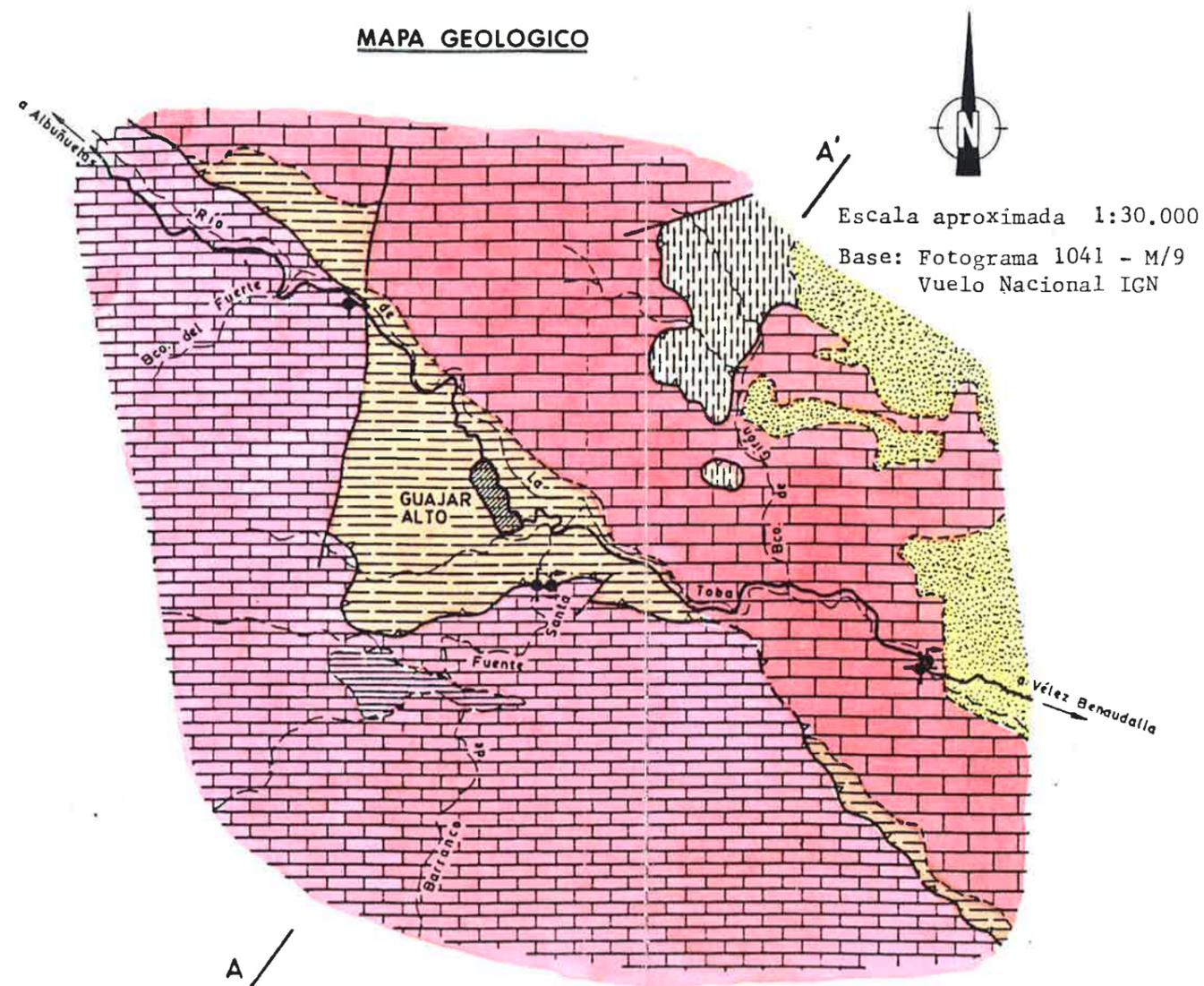
Descarga media del manantial ..... 0,94 hm<sup>3</sup>/a

Regulación para mejora y ampliación del regadío local:

- Superficie de regadío local existente en la actualidad ..... 122 ha
- Superficie de regadío local atendible con la descarga del manantial, sin regulación ..... 116 "

(\*) Ha comenzado la transformación en regadío de una superficie de 263 ha, cuya dotación podría estar asegurada mediante la regulación hidrogeológica descrita.

**MAPA GEOLOGICO**

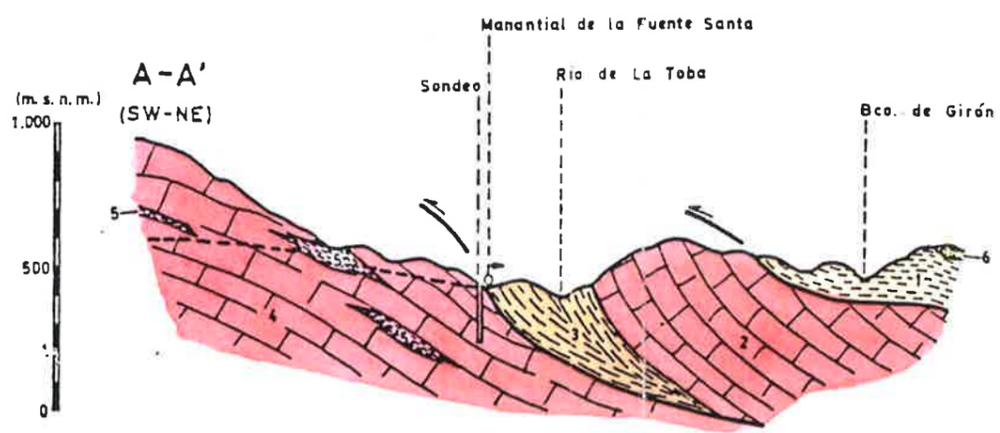


**RIEGOS DE LOS  
MANANTIALES DEL  
RIO DE LA TOBA**

**LEYENDA**

- AREA DE RIEGO
- MANANTIALES DE ABASTECIMIENTO A GUAJAR ALTO. (1) (2)
- RIEGOS PROPIOS FUENTE SANTA.
- ANTIGUOS RIEGOS DE GUAJAR FARAGUIT.
- NUEVOS RIEGOS DE GUAJAR FARAGUIT.

**CORTE GEOLOGICO**



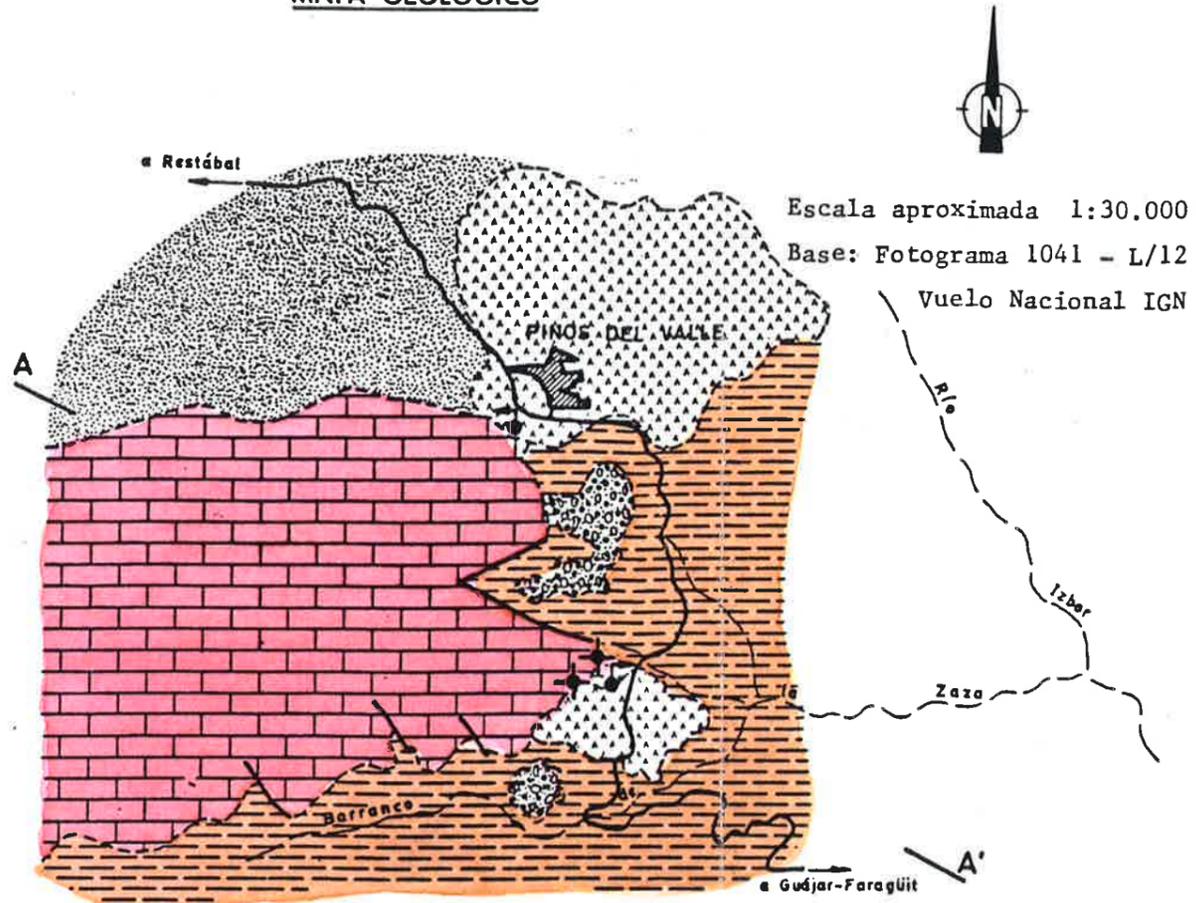
Escala horizontal ~ 1:30.000  
Escala vertical 1:25.000

**LEYENDA**

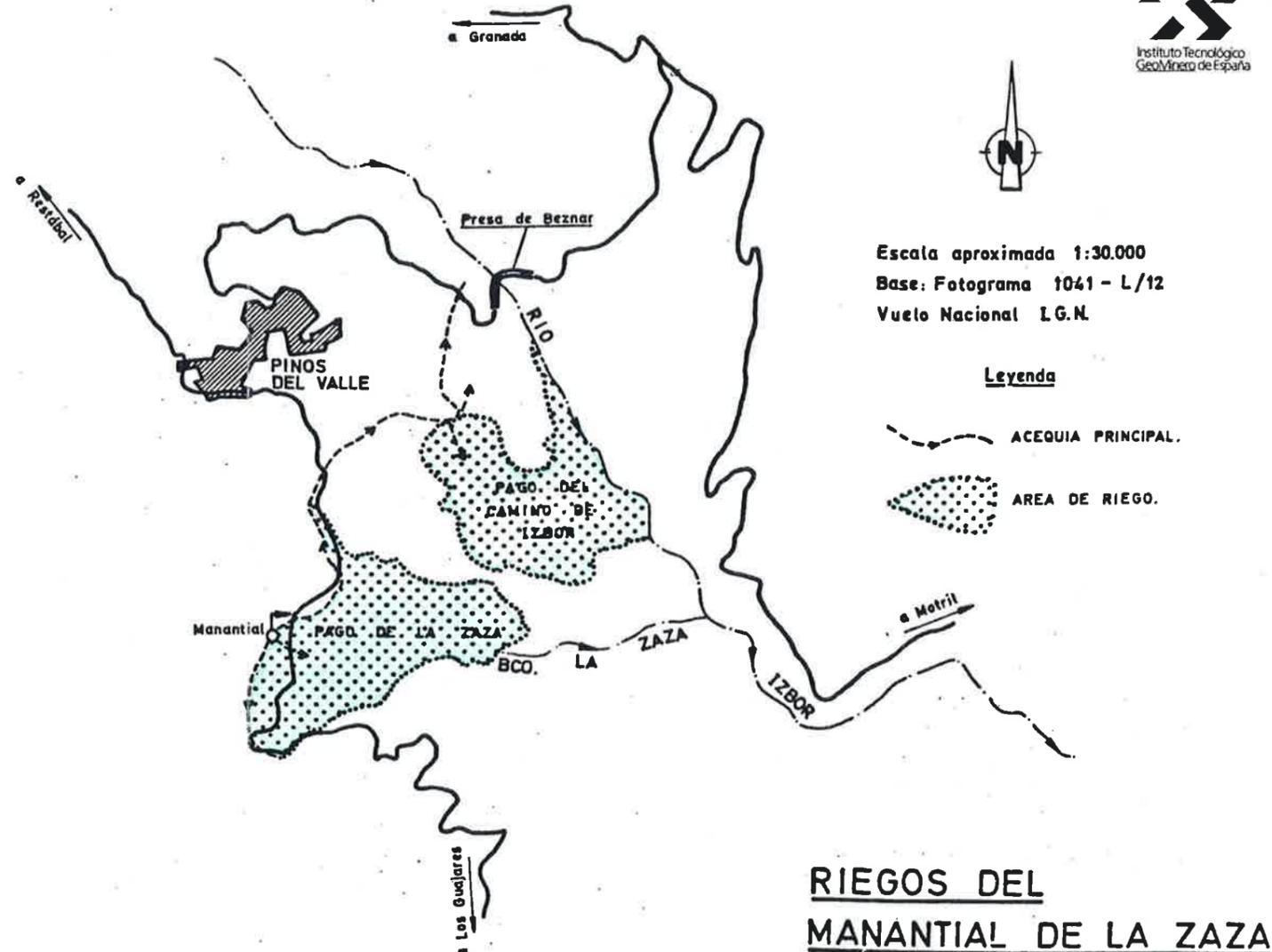
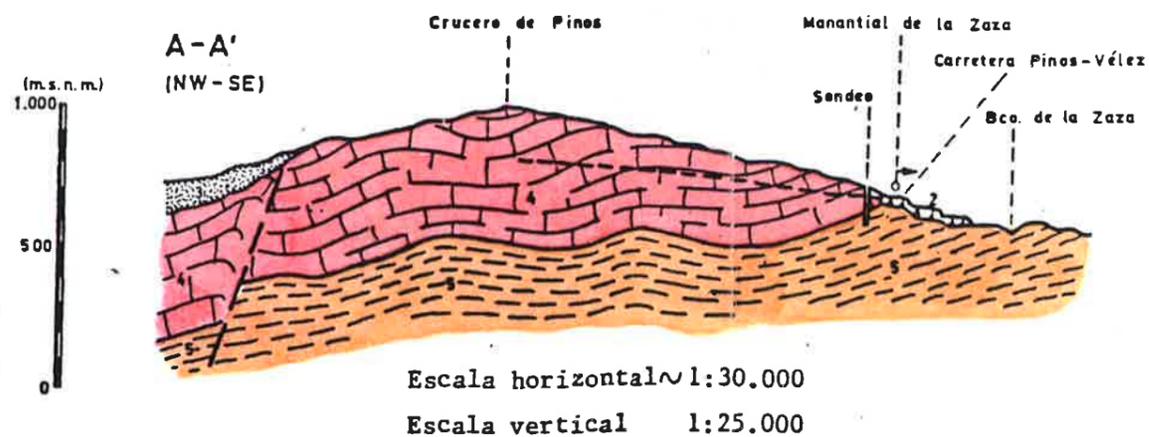
- Arenas, limos y conglomerados. Mioceno.
- Formación esquistosa del Manto de Los Guájares (?) Paleozoico.
- Formación de mármoles del Manto de Los Guájares. Trias.
- Formación esquistosa basal del Manto de Los Guájares (?) Paleozoico.
- Formación de mármoles del Manto de Salobreña. (4) Intercalaciones esquistosas. Trias. (5)
- Manantial.
- Sondeo.
- Nivel piezométrico supuestos.

**FIG. 9: MANANTIALES DEL RÍO DE LA TOBA: ENTORNO GEOLÓGICO, EMPLAZAMIENTO DE POSIBLES SONDEOS DE REGULACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SUS ÁREAS DE RIEGO**

**MAPA GEOLOGICO**



**CORTE GEOLOGICO**



**RIEGOS DEL  
MANANTIAL DE LA ZAZA**

**FIG. 10: MANANTIAL DE LA ZAZA: ENTORNO  
GEOLOGICO, EMPLAZAMIENTO DE UN POSIBLE  
SONDEO DE REGULACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SUS  
ÁREAS DE RIEGO.**

**LEYENDA**

- Cuaternario indiferenciado. Depósitos generalmente cementados.
- Travertinos y tobas. Cuaternario.
- Margas, arenas y linos, relleno de la Depresión de Albuñuelas. Neógeno - Cuaternario.
- Formación de mármoles del Manto de La Herradura. Triás.
- Formaciones esquistosas de la base del Manto de La Herradura. Paleozoico.
- Manantial.
- Sondeo.
- Nivel piezométrico supuesto.

-	Superficie de regadío local atendible mediante la regulación del manantial .....	207	ha
•	Capacidad de bombeo necesaria ..	41	l/s
•	Frecuencia media del bombeo .....	118	d/a
•	Excedentes finales sin regular .....	0,26	hm <sup>3</sup> /a
•	Índice de eficacia hidrogeológica consequible en la regulación.....	72,0	%

**CIRCULACIÓN SUBTERRÁNEA EN RULES** (Fig. 11)

Escorrentía subterránea media ..... 15,5 hm<sup>3</sup>/a

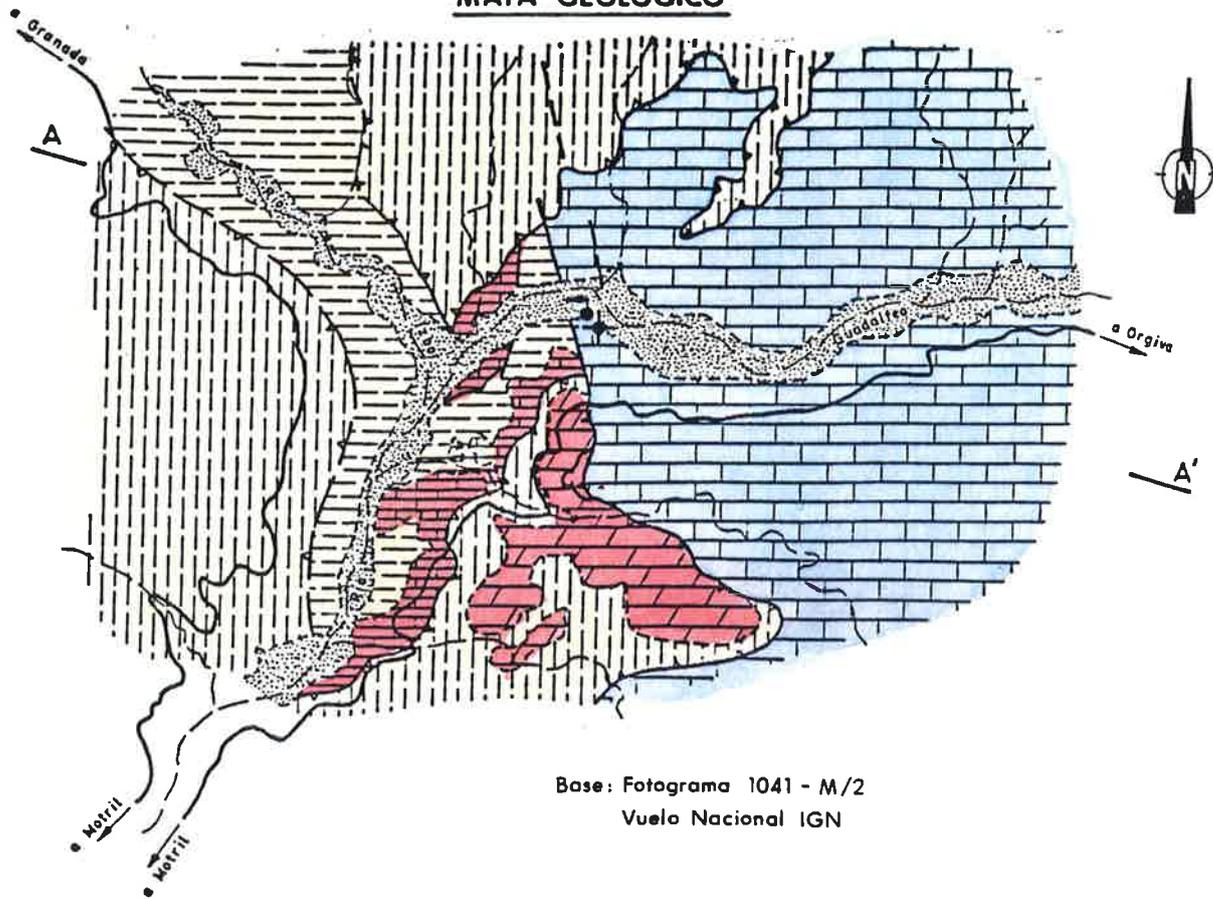
**Regulación para apoyo a los regadíos tradicionales de Motril y Salobreña:**

-	Superficie de regadío tradicional de Motril y Salobreña atendible con la descarga del manantial de Rules, sin regulación .....	205	ha
-	Superficie de regadío tradicional de Motril y Salobreña atendible mediante la regulación de la circulación subterránea en Rules .....	1.147	"
•	Capacidad de bombeo necesaria ..	986	l/s
•	Frecuencia media del bombeo .....	117	d/a
•	Excedentes finales sin regular .....	0,01	hm <sup>3</sup> /a
•	Índice de eficacia hidrogeológica consequible en la regulación.....	99,9	%

En la fig. 12 adjunta se ha reflejado la variación de los distintos índices de medida de la eficacia de la regulación hidrogeológica de la circulación subterránea en Rules (\*), en función de los valores del tiempo de agotamiento. Se observa

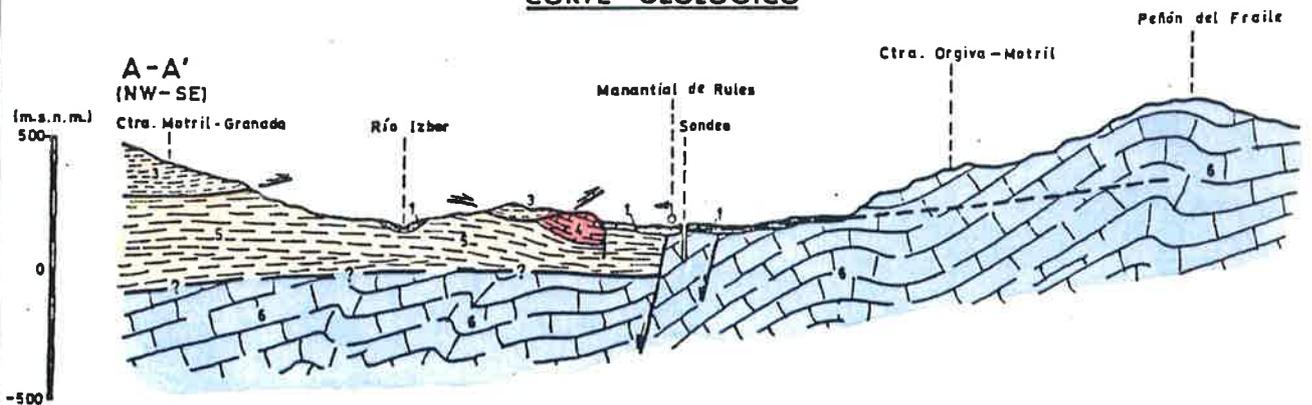
(\*) Además de los cuatro índices presentados en 3.4.1.1. se ha representado también el valor de la intensidad de bombeo (IB) o fracción del número de días del año en que, en promedio, sería preciso utilizar la instalación de bombeo.

## MAPA GEOLOGICO

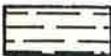


Base: Fotograma 1041 - M/2  
Vuelo Nacional IGN

## CORTE GEOLOGICO



## LEYENDA

	ALUVIAL DE LOS RIOS GUADALFEO E IZBOR. CUATERNARIO		FILITAS, CUARCITAS Y CALCOESQUISTOS; LOCALMENTE YESOS. MANTO DE CASTARAS. PALEOZOICO.
	DOLOMIAS, CALIZAS Y MARMOLES. MANTO DE ALCAZAR. TRIAS.		CALIZAS Y DOLOMIAS CON INTERCALACIONES DE MARGOCALIZAS, YESOS, ARCILLAS Y ROCAS VERDES.
	FILITAS, CUARCITAS Y CALCOESQUISTOS; LOCALMENTE YESOS. MANTO DE ALCAZAR. PALEOZOICO.		MANANTIAL
	CALIZAS Y DOLOMIAS. MANTO DE CASTARAS. TRIAS.		SONDEO
			NIVEL PIEZOMETRICO SUPUESTO

**FIG. 11: MANANTIAL DE RULES: ENTORNO GEOLÓGICO, EMPLAZAMIENTO DE UN POSIBLE SONDEO DE REGULACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SUS ÁREAS DE RIEGO**

# REGULACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN RULES

SRGMX = 1.147 ha      QBOM = 986 l/s      SRGSR = 205 ha

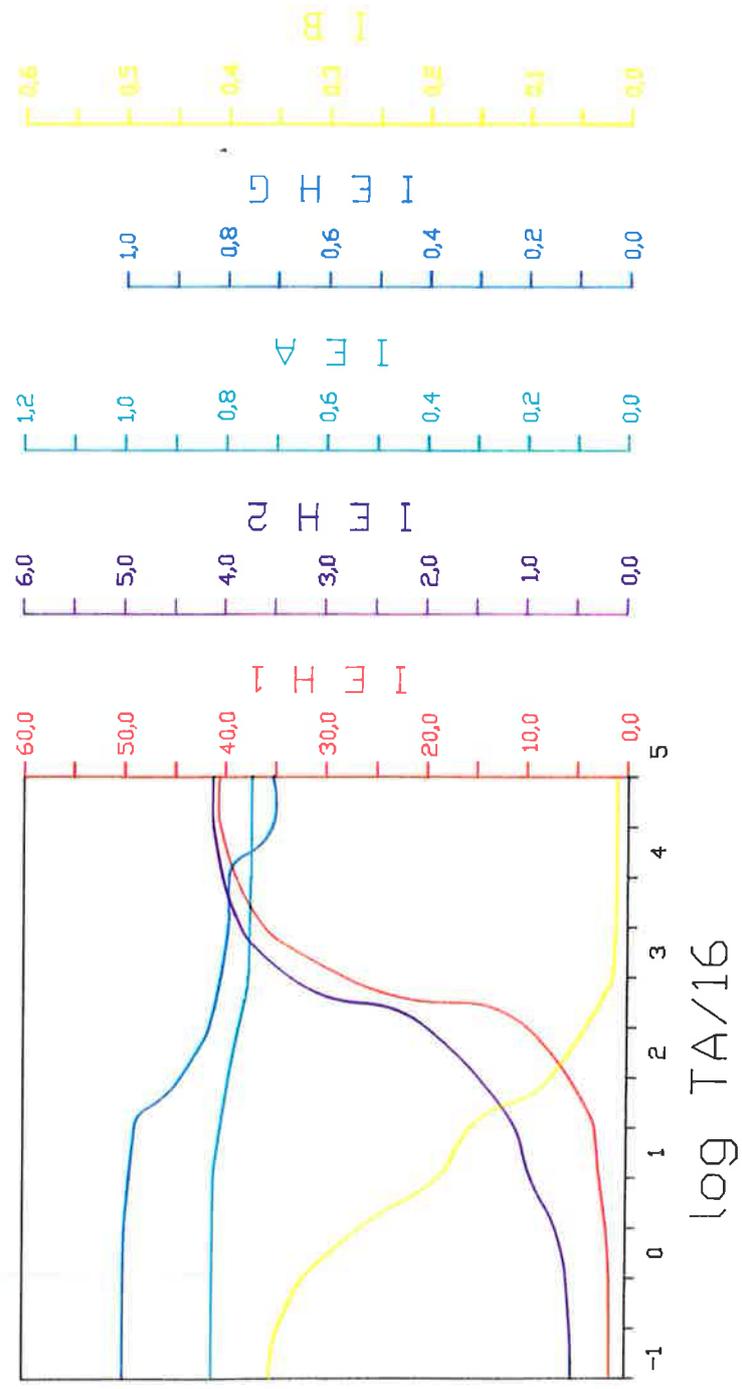


FIG. 12

en ella que, para valores TA no superiores a 16 días (\*):

- la eficacia hidrogeológica o grado de regulación conseguible es de casi el 100 %, y
- se alcanza un muy elevado incremento relativo y absoluto de la superficie de riego garantizable: desde 205 ha, sin regulación, hasta 1.147 ha, mediante ella.

### ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA CONJUNTA

Por consiguiente, los resultados globales de la regulación de los 12 manantiales considerados, en el caso de que para los de Padul, Cijancos y Vélez de Benaudalla se optase por el apoyo a los regadíos tradicionales de Motril y Salobreña (después de dotar las demandas locales actuales de los mismos), y por la mejora y ampliación de los regadíos locales en el caso de los manantiales del río de La Toba y La Zaza, serían los siguientes:

Escorrentía subterránea total .....	48,1	hm <sup>3</sup> /a
- Superficie de regadío local existente en la actualidad, dependiente de los manantiales del río de La Toba y La Zaza .....	261	ha
- Superficie de regadío local atendible con la descarga de los manantiales del río de La Toba y La Zaza, sin regulación .....	313	"
- Superficie de regadío local atendible mediante la regulación de los manantiales .....	604	"
• Capacidad de bombeo necesaria ..	523	l/s

(\*) Valor estimado como adecuado para los necesarios sondeos de bombeo en un contexto hidrogeológico e hidrodinámico como el de Rules.

- Frecuencia media del bombeo ..... 99,8 d/a
- Excedentes finales sin regular ..... 1,87 hm<sup>3</sup>/a
- Índice de eficacia hidrogeológica  
conseguido en la regulación..... 75,8 %

- Superficie de regadío tradicional de Motril y Salobreña atendible con la descarga de los manantiales de Padul, Cijancos, Vélez de Benaudalla y Rules, sin regulación ..... 753 ha

- Superficie de regadío tradicional de Motril y Salobreña atendible mediante la regulación de los manantiales de Padul, Cijancos y Vélez de Benaudalla y de la circulación subterránea en Rules..... 2.534 "
- Capacidad de bombeo necesaria .. 2.356 l/s
  - Frecuencia media del bombeo ..... 110 d/a
  - Excedentes finales sin regular ..... 3,73 hm<sup>3</sup>/a
  - Índice de eficacia hidrogeológica  
conseguido en la regulación..... 91,2 %

#### 3.4.2.2. Regulación coordinada de manantiales y embalses superficiales

A la vista de los resultados expuestos en el apartado anterior, en un primer objetivo de gestión hidrológica global, se ha analizado la **regulación coordinada** mediante los embalses de Béznar y Rules, "en serie" con los manantiales de Padul y Cijancos, y "en paralelo" con los manantiales de Vélez de Benaudalla.

##### Manantiales de Padul y Cijancos

Por su localización en cabecera de la cuenca, la regulación hidrogeológica de los manantiales de Padul y Cijancos modificaría el régimen de aportaciones al embalse de Béznar. Por ello, ha sido necesario repetir los cálculos correspondien-

tes a las opciones III y IV de la regulación superficial, aplicando unas nuevas derivaciones al embalse de Béznar:

- La regulación hidrogeológica de los manantiales de Padul y Cijancos para dotación de los riegos tradicionales de Motril y Salobreña fue calculada dando a sus demandas locales actuales, que ascienden a 2,011 hm<sup>3</sup>/a, el carácter de servidumbres de dotación prioritaria. Por corresponder a consumos actuales en la cuenca vertiente al embalse de Béznar, tales servidumbres, en teoría, están ya descontadas en las series EU de aportaciones disponibles en el embalse, con las que han sido calculadas las opciones III y IV.

Por otro lado, la regulación hidrogeológica de Padul y Cijancos para apoyo a los riegos de Motril Salobreña, después de dotar sus demandas locales, ocasionaría unas derivaciones totales (DES) de aportaciones propias del embalse de Béznar de 12,221 hm<sup>3</sup>/a de valor medio.

- Por consiguiente, los nuevos cálculos de la capacidad de regulación en Béznar/Rules coordinada con la regulación hidrogeológica de Padul y Cijancos, deberán ser realizados aplicando a las series EU de aportaciones disponibles en Béznar unas derivaciones que sean iguales a la diferencia entre los valores de DES ocasionados por la regulación hidrogeológica, y las servidumbres correspondientes a las demandas actuales. Dichas derivaciones tendrán, por tanto, un valor medio de 10,210 hm<sup>3</sup>/a.

Con estas nuevas derivaciones a las aportaciones en el embalse de Béznar, añadidas a las correspondientes a los riegos del valle de Lecrín, se han realizado las opciones III-bis y IV-bis de cálculo de la regulación superficial en los embalses de Béznar y Rules, manteniendo en todo lo demás los datos correspondientes a las opciones III y IV.

En los dos cuadros reflejados en la hoja adjunta se indica

## CUENCA DEL GUADALFEO

**REGULACIÓN SUPERFICIAL HIPERANUAL ESTRICTA MEDIANTE LOS EMBALSES DE BÉZNAR Y RULES,  
EN COORDINACIÓN CON LA REGULACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE MANANTIALES**

**OPCIÓN III-bis: Regulación para demandas internas de la cuenca,  
con apoyo a la zona A1. Series EU**

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	3,01	37,88	1,32	4,77	90,54
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	51,32	46,67	2,18	81,46	64,73
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	51,32	84,55	3,51	81,46	64,73

**OPCIÓN IV-bis: Regulación para demandas internas de la cuenca,  
con apoyo a la zona A1 y trasvase hacia el río Adra. Series EU**

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	3,01	37,88	1,32	4,77	90,54
Embalse de Rules	176,47	28,53	49,29	26,98	46,87	2,20	77,25	66,47
Sistema de embalses	240,92	42,95	90,21	26,98	84,76	3,53	77,25	66,47

un resumen de los resultados de dichas dos opciones. De su comparación con los correspondientes a las opciones III y IV resultan las siguientes diferencias:

- 1º. Aumento en el grado de regulación superficial (GR), especialmente en el embalse de Béznar. Los valores de dicho incremento en las opciones III-bis y IV-bis, en relación con las opciones III y IV (es decir, sin regulación hidrogeológica de Padul y Cijancos) son:

Opción III-bis / III      Opción IV-bis / IV

ΔGR en Béznar .....	+ 0,97 %	+ 0,97 %
ΔGR en Rules .....	+ 0,26 %	+ 0,26 %

- 2º. Reducción de la aportación regulada para riego (ARR) en Béznar/Rules con destino a los cultivos tradicionales de Motril y Salobreña, de valor prácticamente igual en las opciones III-bis y IV-bis, en relación con las opciones III y IV, respectivamente. El valor de la misma es:

Opción III-bis / III      Opción IV-bis / IV

ΔARR en Béznar ..	- 9,47 hm <sup>3</sup> /a	- 9,47 hm <sup>3</sup> /a
ΔARR en Rules ....	- 9,46 hm <sup>3</sup> /a	- 9,47 hm <sup>3</sup> /a

La disminución indicada supone una reducción en la superficie de riego tradicional atendible mediante la regulación superficial de 699 ha. Sin embargo, la regulación hidrogeológica de los manantiales de Padul y Cijancos, tal como se describe en el apartado anterior, permitiría dotar el riego de 764 ha de dichos cultivos.

- 3º. Disminución de los excedentes (EXC) no regulados finales (en Rules). Los valores de la misma son:

Opción III-bis / III      Opción IV-bis / IV

ΔEXC en Rules .....	- 0,62 hm <sup>3</sup> /a	- 0,61 hm <sup>3</sup> /a
---------------------	---------------------------	---------------------------

- 4º. Disminución del volumen embalsado medio mensual

(VEM), cuyos valores son:

Opción III-bis / III    Opción IV-bis / IV

$\Delta VEM$  (sistema) ... - 0,54 hm<sup>3</sup>/a                      - 0,57 hm<sup>3</sup>/a

5º. Disminución de las pérdidas por evaporación (EVAP) en el conjunto de los dos embalses, cuyos valores son:

Opción III-bis / III    Opción IV-bis / IV

$\Delta EVAP$  (sistema) .. - 0,01 hm<sup>3</sup>/a                      - 0,02 hm<sup>3</sup>/a

Se produce, por tanto, un incremento de 65 ha en la superficie regable de los cultivos tradicionales de Motril y Salobreña, como consecuencia de la coordinación entre regulación hidrogeológica de Padul y Cijancos y regulación mediante embalses, tanto en la opción III-bis respecto de la III, como en la opción IV-bis con relación a la IV (\*).

#### Manantiales de Vélez de Benaudalla

La regulación hidrogeológica de los manantiales de Vélez de Benaudalla no modificaría el régimen de aportaciones a los embalse; en consecuencia, la superficie regable mediante la misma, 623 ha, sería añadible a la que se pudiese dotar mediante la de los dos embalses superficiales con el apoyo de la regulación hidrogeológica de Padul y Cijancos.

#### Resultado de la regulación coordinada

Por consiguiente, la regulación hidrogeológica de los manantiales de Padul, Cijancos y Vélez de Benaudalla, de forma coordinada con la que se consiguiese mediante los dos embalses superficiales considerados, permitiría, en todos los casos, dotar los 90,2 hm<sup>3</sup>/a de servidumbres asignadas al

(\*) Es preciso tener en cuenta que ese relativamente modesto incremento de la superficie regable no constituye la única medida de la mejora conseguida: el menor llenado medio mensual de los embalses, además de disminuir los excedentes y las pérdidas por evaporación, los pone en mejores condiciones para laminar avenidas no contempladas en las series foronómicas utilizadas (de sólo 30 años de duración).

sistema de embalses: riegos de Lecrín, ampliación de la cota 300, abastecimiento y caudal ecológico.

- Si, además, se destinasen 21,1 hm<sup>3</sup>/a para apoyo a la subzona A1 (servidumbre asignada al embalse de Rules), la superficie de cultivos tradicionales de Motril y Salobreña regables sería de 5.176 ha, disminuyendo hasta 524 ha el déficit de dotación a dichos cultivos.
- Si además de apoyar a la subzona A1, se derivasen hacia la cuenca del Adra hasta 950 l/s (28,5 hm<sup>3</sup>/a), la superficie de cultivos tradicionales de Motril y Salobreña regables sería de 3.379 ha. Resultaría así un déficit de 2.321 ha en dichos cultivos.

#### 3.4.2.3. Regulación conjunta mediante los embalses superficiales y el sistema acuífero Motril-Salobreña

A la vista de los resultados que se han derivado de las opciones III-bis (con apoyo a A1) y IV-bis (con apoyo a A1 y trasvase al Adra) de la regulación superficial, a añadir a las regulaciones hidrogeológicas de los manantiales de Padul, Cijancos y Vélez, parece prudente que el paso siguiente, es decir, el análisis de la regulación conjunta mediante los embalses y el sistema acuífero aluvial Motril-Salobreña, se centre únicamente en la primera de esas dos posibilidades (\*).

En síntesis, los resultados del cálculo correspondiente a la indicada opción III-bis de regulación superficial, coordinada con las regulaciones hidrogeológicas de Padul, Cijancos y Vélez de Benaudalla son los siguiente:

- La regulación superficial mediante los embalse de Béznar y Rules permitiría dotar las siguientes demandas y servidumbres:

(\*) En efecto, como más adelante se comprobará, cubrir el déficit de 524 ha de riego tradicional es más o menos el esfuerzo complementario máximo que se puede recabar del sistema acuífero en una gestión conservativa del mismo, tanto en lo cuantitativo como, sobre todo, por lo que respecta al riesgo de intrusión marina.

• Riegos de Lecrín .....	4,3	hm <sup>3</sup> /a
• Ampliación de riegos de la cota 300 ..	34,9	"
• Abastecimiento urbano e industrial ..	25,0	"
• Caudal ecológico .....	9,1	"
• Apoyo a la subzona A1 .....	21,1	"
<b>Total .....</b>	<b>94,5</b>	<b>hm<sup>3</sup>/a</b>

- Para la dotación del riego tradicional de Motril y Salobreña se cuenta con las siguientes aportaciones reguladas:

• Regulación hidrogeológica de los manantiales de Padul y Cijancos .....	10,3	hm <sup>3</sup> /a
• Regulación superficial mediante los embalses de Béznar y Rules .....	51,3	"
• Regulación hidrogeológica de los manantiales de Vélez de Benaudalla	8,4	"
<b>Total .....</b>	<b>70,1</b>	<b>hm<sup>3</sup>/a</b>

- Dado que la demanda de agua para el riego tradicional de Motril y Salobreña asciende a 77,2 hm<sup>3</sup>/a, resulta todavía un déficit de 7,1 hm<sup>3</sup>/a, equivalente a 524 ha de dichos cultivos.

Para compensar el déficit indicado, sería necesario que entre los dos embalses superficiales, conjuntamente con aportaciones de agua subterránea procedentes del sistema acuífero Motril-Salobreña, proporcionasen 58,4 hm<sup>3</sup>/a regulados para los riegos tradicionales. De acuerdo con la metodología expuesta en el apartado 3.4.1.2. y con la forma de operar del programa REGRIO2, dicho objetivo podría ser cubierto de la siguiente forma:

- Manteniendo para el embalse de Béznar el objetivo de regulación calculado en la opción III-bis: 3,01 hm<sup>3</sup>/a regulados para los riegos tradicionales, lo que supone un grado de regulación del 90,5 % respecto de sus aporta-

ciones propias.

- Asignando al embalse de Rules, de forma conjunta con el sistema acuífero, el objetivo de regular los 55,4 hm<sup>3</sup>/a restantes.
- Teniendo en cuenta que las aportaciones disponibles propias del embalse de Rules ascienden a 176,5 hm<sup>3</sup>/a, y que tiene asignadas 49,3 hm<sup>3</sup>/a de servidumbres (\*), el indicado objetivo de regulación conjunta para riego en ese embalse significa que se debe conseguir un grado de regulación del 59,3 % respecto de sus aportaciones propias.

En consecuencia, se ha aplicado el programa REGRIO2 manteniendo un objetivo de regulación conjunta en Béznař del 90,54 % de sus aportaciones propias, y fijando en el 59,33 % de sus aportaciones propias el grado de regulación a conseguir mediante el conjunto Rules-sistema acuífero Motřil-Salobreña.

Por lo que respecta a la política de anticipación de los bombeos que sería preciso efectuar para conseguir los aportes netos de agua subterránea necesarios, se ha analizado una amplia gama de posibilidades: desde la no anticipación de los bombeos, hasta adelantos de los mismos caracterizados por valores del parámetro ALFA comprendidos entre 1,0 y 7,0.

En los cuatro cuadros dobles adjuntos se refleja un resumen de los resultados completos de la regulación conjunta estricta, con indicación de los siguientes valores medios durante el periodo de cálculo (1950/51-1979/80), para cada uno de los dos embalses y para el sistema que ambos conforman:

(\*) Según se detalla en el apartado 3.3.3.4., los destinos de dichas servidumbres son:

3,15	hm <sup>3</sup> /a	para	caudal ecológico a proporcionar por el embalse de Rules
25,08	"	"	abastecimiento urbano e industrial
21,06	"	"	apoyo a la subzona A1

- ADP** : Aportaciones disponibles propias, es decir, generadas en la cuenca vertiente "propia" del punto considerado (embalse o sistema de embalses) (series EU).
- DER** : Derivaciones propias del punto considerado, es decir, ocasionadas por consumos localizados en la cuenca "propia" del punto considerado.
- SER** : Servidumbres asignadas al punto considerado.
- GR** : Grado de regulación impuesto como objetivo al embalse considerado, o resultante para el sistema de embalses, a alcanzar mediante la regulación conjunta.
- ARR** : Aportación regulada para riego mediante la regulación conjunta, suma de los desembalses parcialmente regulados para tal fin por el embalse considerado y de los aportes netos de agua subterránea complementarios de dichos desembalses.
- VEM** : Volumen embalsado medio en el embalse considerado o en el sistema.
- EVAP** : Pérdidas por evaporación en el embalse considerado o en el sistema.
- EXC** : Excedentes o vertidos sin regular por el embalse considerado o por el sistema.
- ANIMX** : Valor instantáneo máximo del aporte neto de agua subterránea necesario para, junto con los desembalses parcialmente regulados por el embalse considerado, alcanzar el grado de regulación conjunta prefijado para el mismo.
- ANM** : Valor medio del aporte neto de agua subterránea necesario.

En la fig. 13 se han reflejado las variaciones de las magnitudes más características de la misma, en función del valor del parámetro **ALFA** (\*). Se observa como para un valor igual a 4 de dicho parámetro resulta el más favorable conjunto de las citadas magnitudes:

- El valor de **ANIMX**, del que depende la capacidad de bombeo a instalar, resulta mínimo (1,688 m<sup>3</sup>/s).
- Los valores de **ANM** y **EXC** aumentan de forma mucho más fuerte a partir de **ALFA** = 4,0.

Las magnitudes más significativas de la solución retenida son:

$$\begin{aligned} \text{ANIMX} &= 1,69 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{ANM} &= 0,79 \text{ hm}^3/\text{a} \\ \text{EXC} &= 75,22 \text{ "} \end{aligned}$$

Las tres indicadas magnitudes tienen una importante incidencia hidrogeológica en el sistema acuífero Motril-Salobreña:

- El valor de **ANIMX** va a condicionar el de la capacidad de bombeo que habría que instalar.
- El valor de **ANM** determina el bombeo medio que sería preciso realizar.
- El valor de **EXC** equivale a los excedentes superficiales circulantes por el río, una parte de los cuales se infiltrarían en el sistema acuífero.

Queda ahora por analizar el funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero aluvial Motril-Salobreña cuando estuviese sometido a un régimen hidrodinámico caracterizado por las indicadas magnitudes.

(\*) De forma convencional, se ha supuesto un valor de **ALFA** nulo para el caso de no anticipación de los bombeos.

**CUENCA DEL GUADALFEO**

**REGULACIÓN SUPERFICIAL CONJUNTA ESTRICTA MEDIANTE LOS EMBALSES DE BÉZJAR Y RULES  
Y EL SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL "MOTRIL-SALOBREÑA"**

SIN ADELANTAMIENTO DE BOMBEO

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	ANIMX (m <sup>3</sup> /s)	ANM (hm <sup>3</sup> /a)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	90,54	3,01	37,88	1,32	4,77	0	0
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	59,33	55,41	44,85	2,11	75,00	2,91	0,56
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	67,68	58,42	82,73	3,43	75,00	2,91	0,56

ALFA = 1,0

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	ANIMX (m <sup>3</sup> /s)	ANM (hm <sup>3</sup> /a)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	90,54	3,01	37,88	1,32	4,77	0	0
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	59,33	55,41	44,85	2,11	75,00	2,91	0,56
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	67,68	58,42	82,73	3,43	75,00	2,91	0,56

**CUENCA DEL GUADALFEO**

**REGULACIÓN SUPERFICIAL CONJUNTA ESTRICTA MEDIANTE LOS EMBALSES DE BÉZJAR Y RULES  
Y EL SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL "MOTRIL-SALOBREÑA"**

ALFA = 2,0

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	ANIMX (m <sup>3</sup> /s)	ANM (hm <sup>3</sup> /a)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	90,54	3,01	37,91	1,33	4,77	0,05	0,01
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	59,33	55,41	44,94	2,11	75,05	1,90	0,62
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	67,68	58,42	82,85	3,44	75,05	1,90	0,62

ALFA = 3,0

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	ANIMX (m <sup>3</sup> /s)	ANM (hm <sup>3</sup> /a)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	90,54	3,01	37,92	1,33	4,78	0,07	0,01
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	59,33	55,41	45,04	2,12	75,11	1,78	0,68
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	67,68	58,42	82,96	3,44	75,11	1,78	0,68

**CUENCA DEL GUADALFEO**

**REGULACIÓN SUPERFICIAL CONJUNTA ESTRICTA MEDIANTE LOS EMBALSES DE BÉZNAR Y RULES  
Y EL SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL "MOTRIL-SALOBREÑA"**

ALFA = 4,0

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	ANIMX (m <sup>3</sup> /s)	ANM (hm <sup>3</sup> /a)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	90,54	3,01	37,93	1,33	4,78	0,08	0,01
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	59,33	55,41	45,16	2,12	75,22	1,69	0,79
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	67,68	58,42	83,09	3,45	75,22	1,69	0,80

ALFA = 5,0

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	ANIMX (m <sup>3</sup> /s)	ANM (hm <sup>3</sup> /a)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	90,54	3,01	37,94	1,33	4,78	0,08	0,01
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	59,33	55,41	45,39	2,13	75,53	1,86	1,10
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	67,68	58,42	83,33	3,46	75,53	1,86	1,11

**CUENCA DEL GUADALFEO**

**REGULACIÓN SUPERFICIAL CONJUNTA ESTRICTA MEDIANTE LOS EMBALSES DE BÉZJAR Y RULES  
Y EL SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL "MOTRIL-SALOBREÑA"**

ALFA = 6,0

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	ANIMX (m <sup>3</sup> /s)	ANM (hm <sup>3</sup> /a)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	90,54	3,01	37,95	1,33	4,78	0,08	0,01
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	59,33	55,41	45,77	2,14	76,04	1,92	1,63
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	67,68	58,42	83,71	3,47	76,04	1,92	1,64

ALFA = 7,0

	ADP (hm <sup>3</sup> /a)	DER (hm <sup>3</sup> /a)	SER (hm <sup>3</sup> /a)	GR (%)	ARR (hm <sup>3</sup> /a)	VEM (hm <sup>3</sup> )	EVAP (hm <sup>3</sup> /a)	EXC (hm <sup>3</sup> /a)	ANIMX (m <sup>3</sup> /s)	ANM (hm <sup>3</sup> /a)
Embalse de Béznar	64,45	14,43	40,92	90,54	3,01	37,96	1,33	4,78	0,08	0,01
Embalse de Rules	176,47	0	49,29	59,33	55,41	46,42	2,17	76,90	1,93	2,52
Sistema de embalses	240,92	14,43	90,21	67,68	58,42	84,38	3,50	76,90	1,93	2,53

# REGULACIÓN CONJUNTA DEL RÍO GUADALFED

EMBALSES DE BÉZNAR Y RULES + SISTEMA ACUÍFERO MÓTRIL-SALOBREÑA

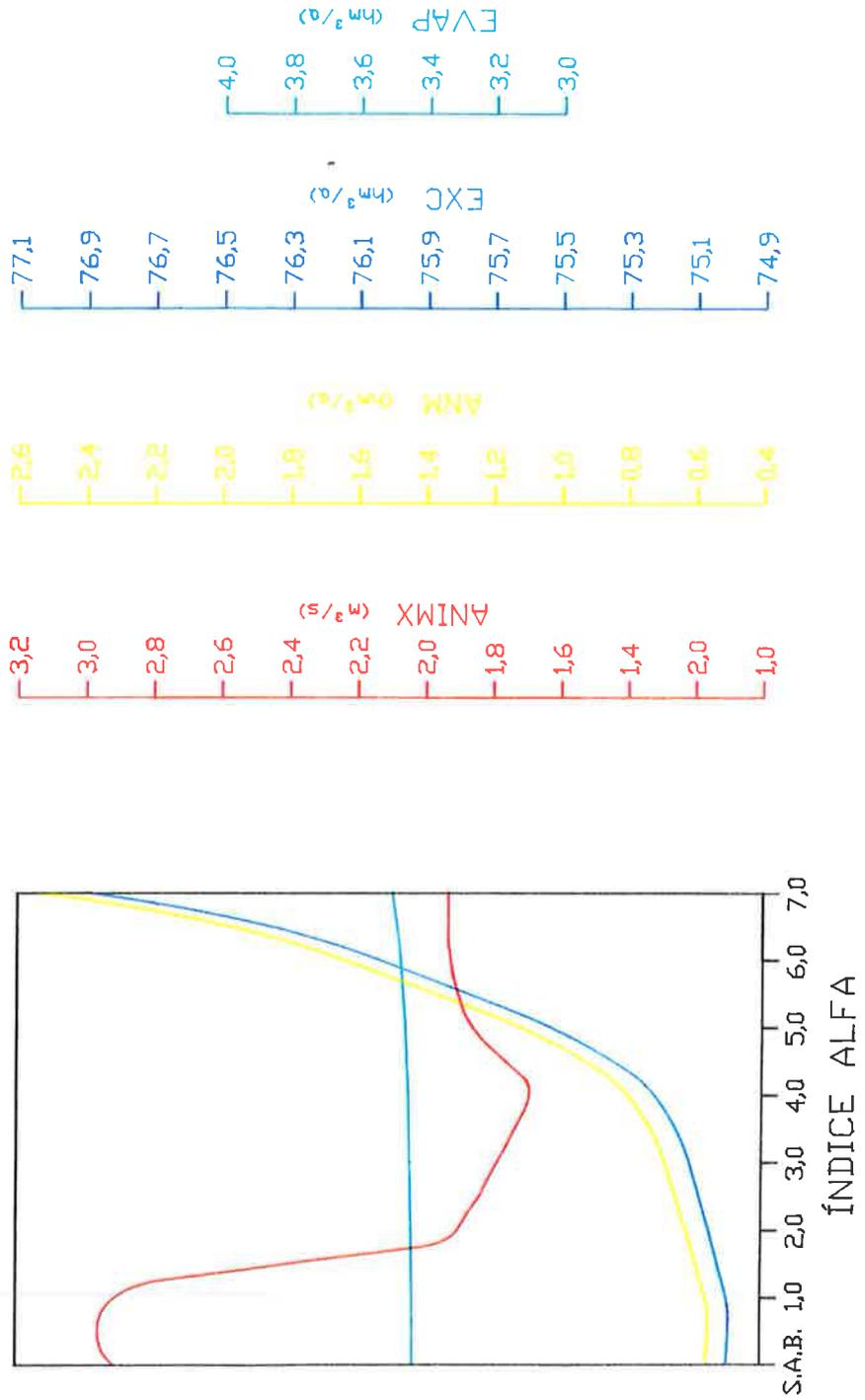


FIG. 13

### **3.5. EL SISTEMA ACUÍFERO MOTRIL-SALOBREÑA EN LA REGULACIÓN SUPERFICIAL CONJUNTA**

La puesta en práctica de la regulación conjunta mediante los dos embalses superficiales y el sistema acuífero Motril-Salobreña, descrita en el capítulo anterior, introduciría modificaciones apreciables en la recarga y descarga del sistema, debido a que:

- sería preciso obtener de él unos aportes netos de agua subterránea de valor medio poco importante (del orden de 25 l/s, en promedio), pero con máximos ocasionales de hasta 1,69 m<sup>3</sup>/s; y
- resultaría seriamente alterado el régimen y la magnitud de las aportaciones de agua circulantes subterráneamente y en superficie por el aluvial del río Guadalfeo, en su incorporación al sistema acuífero y, con ello, se vería afectada una parte importante de la recarga de éste, porque:
  - la construcción de la presa de Rules, anclada en el substrato muy poco permeable sobre el que está depositado el aluvial, interrumpiría totalmente la circulación subterránea existente ahora en el mismo, en dirección hacia el sistema, y
  - serían diferentes los excedentes superficiales circulantes sobre el sistema acuífero, entre el azud de Lobres y el mar, una parte de los cuales recargan por percolación al sistema acuífero citado.

Por consiguiente, es necesario valorar - simulándolas mediante un modelo de flujo subterráneo representativo - las consecuencias hidrodinámicas de dichas alteraciones, en un doble aspecto:

- evolución de la superficie libre del acuífero, y
- avance del frente de agua del mar en la franja costera del sistema acuífero.

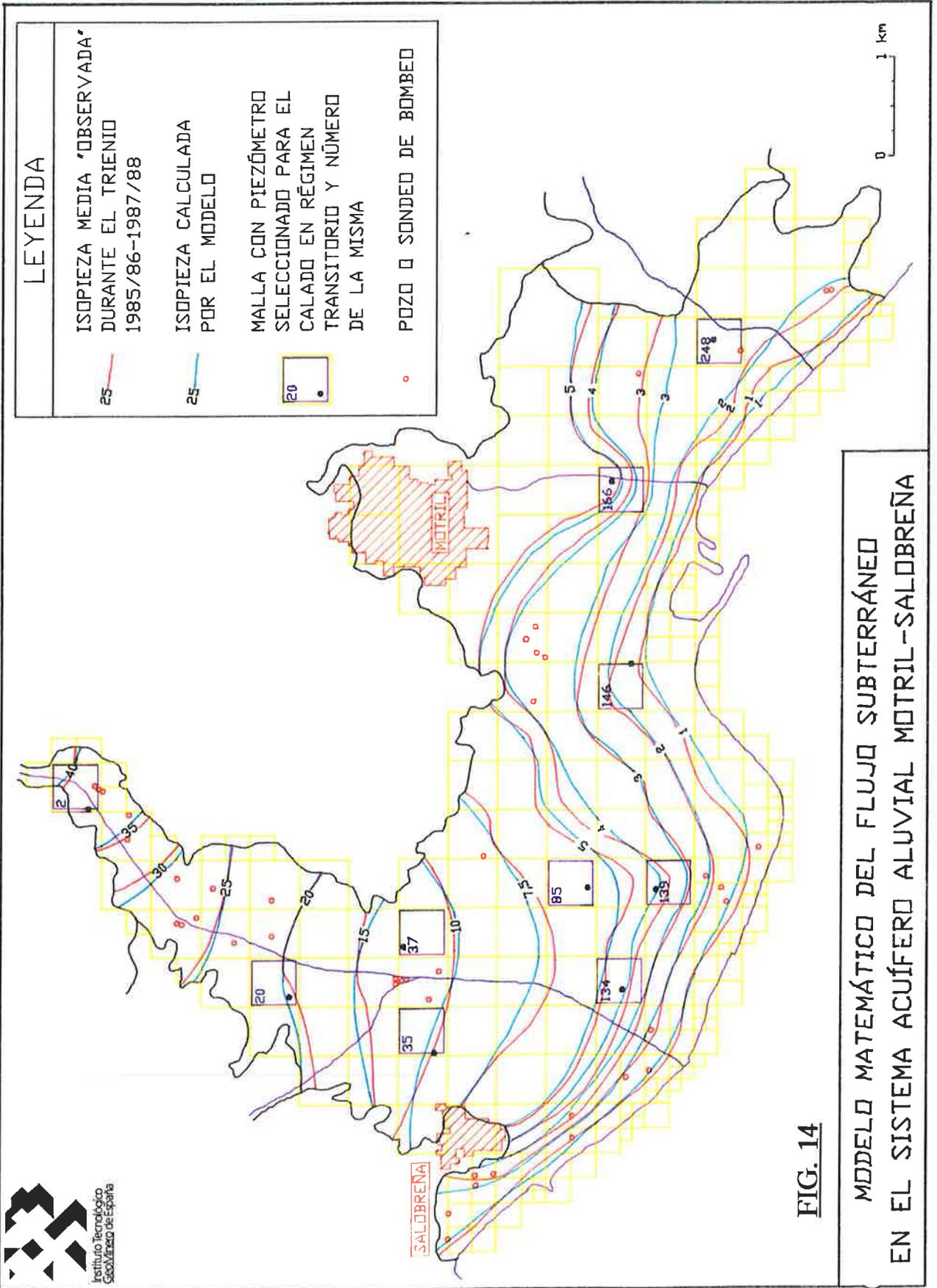
#### **3.5.1. Modelo matemático del flujo subterráneo en el sistema**

El proceso de modelización de la circulación subterránea en

el sistema acuífero aluvial de Motril-Salobreña durante el trienio 1985/86-1987/88, realizado mediante el programa **NEWSAM**, ha puesto de relieve una satisfactoria coincidencia entre las hipótesis de partida sobre el funcionamiento hidrodinámico del sistema, y el comportamiento real registrado en el mismo durante el periodo mencionado.

En particular, es de destacar la validez de las siguientes características hidrodinámicas:

- Se trata de un acuífero libre, con circulación subterránea bi-dimensional básicamente horizontal.
- La recarga lateral subterránea a través de los límites del aluvial sólo presenta un valor apreciable (con los caudales medios que se indican) en:
  - Límite aguas arriba del sistema (azud de Lobres)..... 15,46 hm<sup>3</sup>/a    490 l/s
  - Contactos del aluvial con los pies de monte de Molvízar y El Puntalón ..... 1,36 "    43 "
  - Borde suroeste del peñón carbonatado de Salobreña .... 0,63 "    20 "
- La recarga por infiltración sobre la vega de Motril-Salobreña procede fundamentalmente de los excedentes del riego en la misma, resultando despreciables, frente a ellos, la originada en la lluvia útil. La citada recarga ha sido evaluada en 16,93 hm<sup>3</sup>/a, equivalentes a 536 l/s continuos.
- Es muy importante la recarga que recibe el sistema acuífero mediante percolación desde el cauce del río Guadalfeo, cuando por el mismo circulan excedentes superficiales. También presenta alguna importancia la recarga desde el cauce de la rambla de Los Alamos:
  - Desde el cauce del Guadalfeo ..... 11,49 hm<sup>3</sup>/a    364 l/s



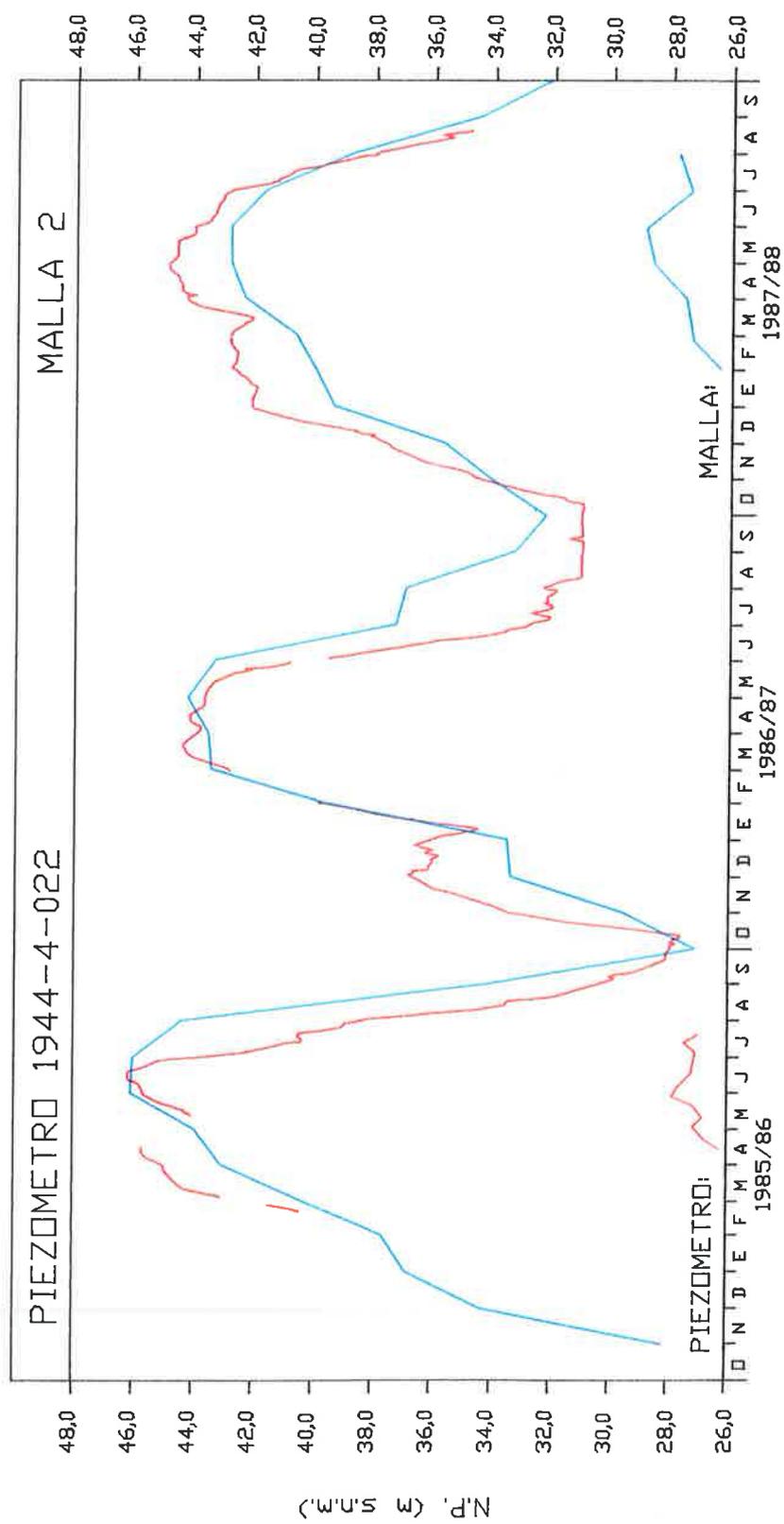


FIG. 15

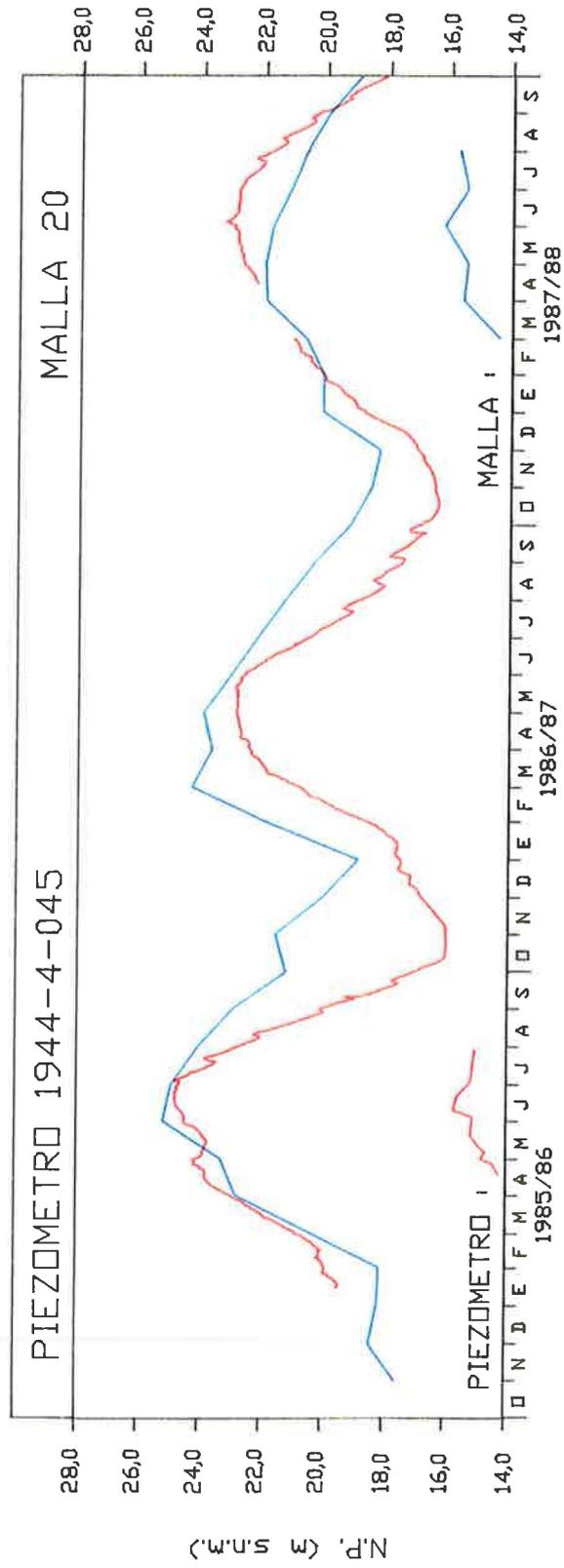


FIG. 16

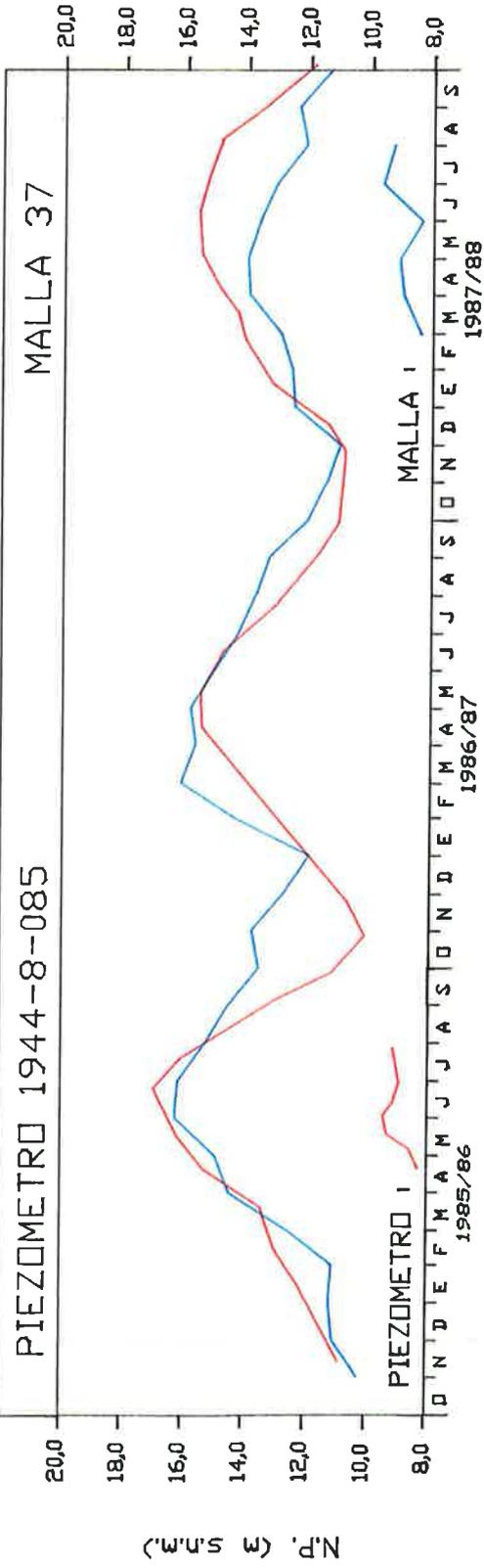
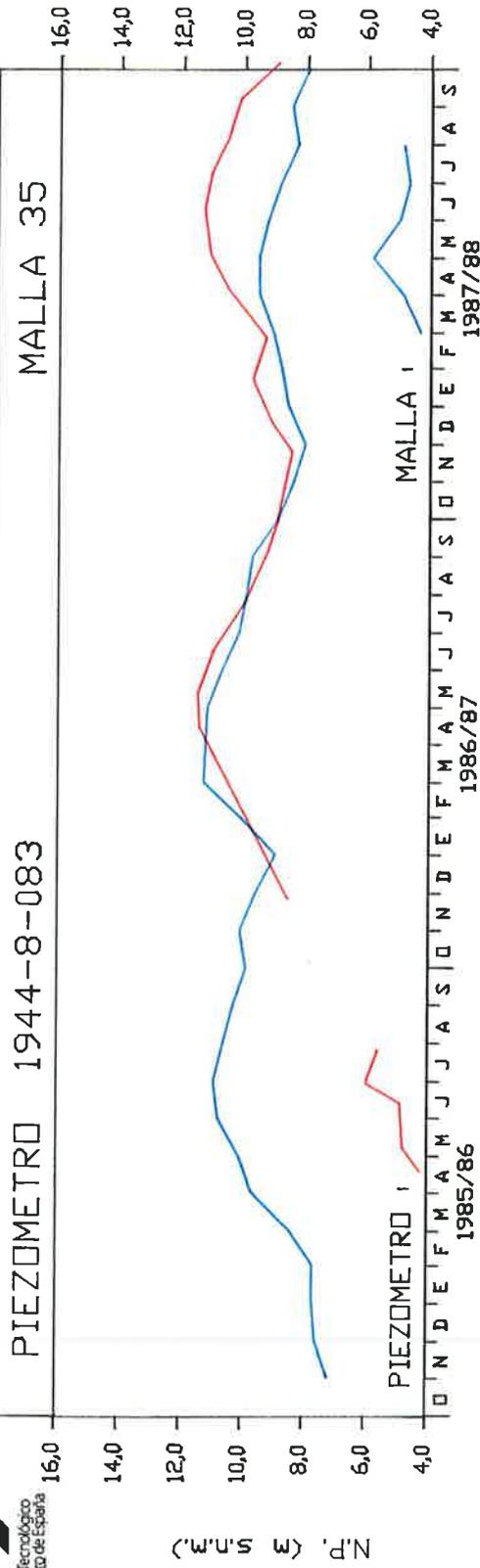


FIG. 17

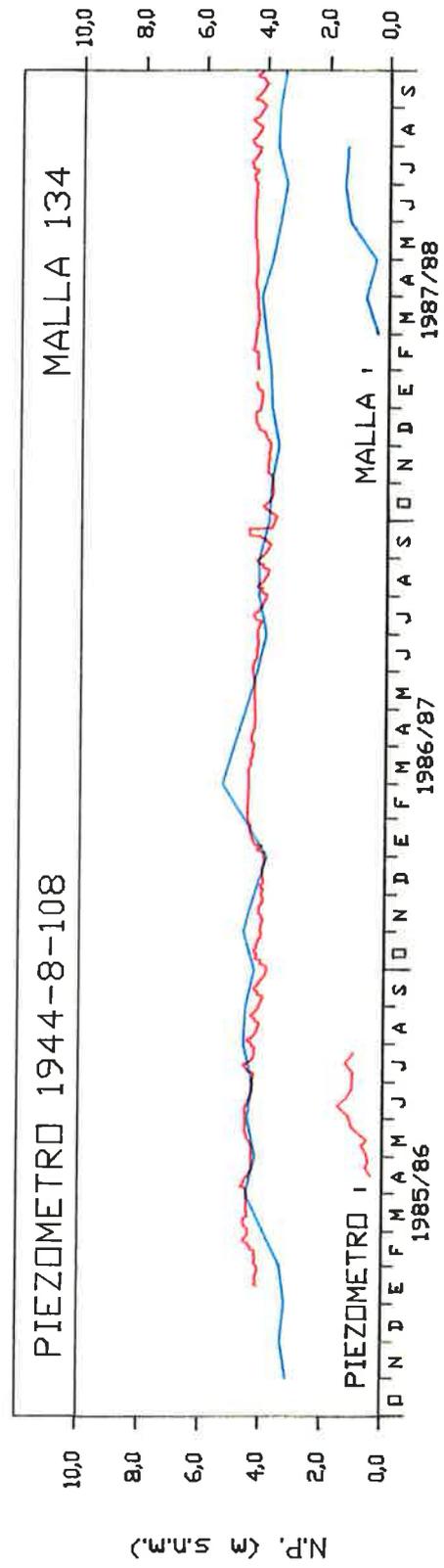
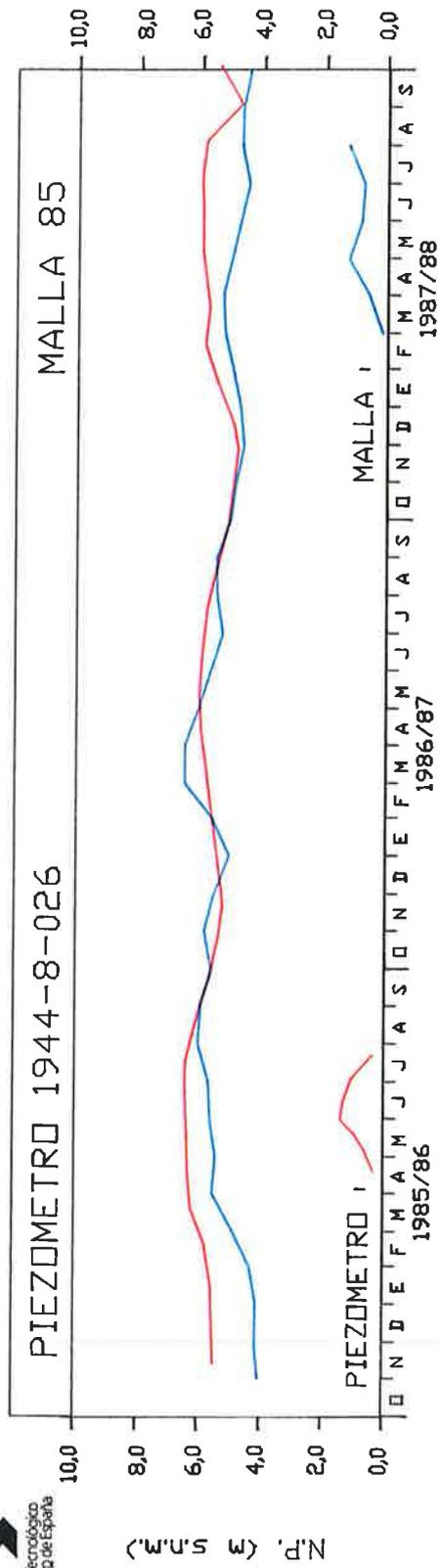


FIG. 18

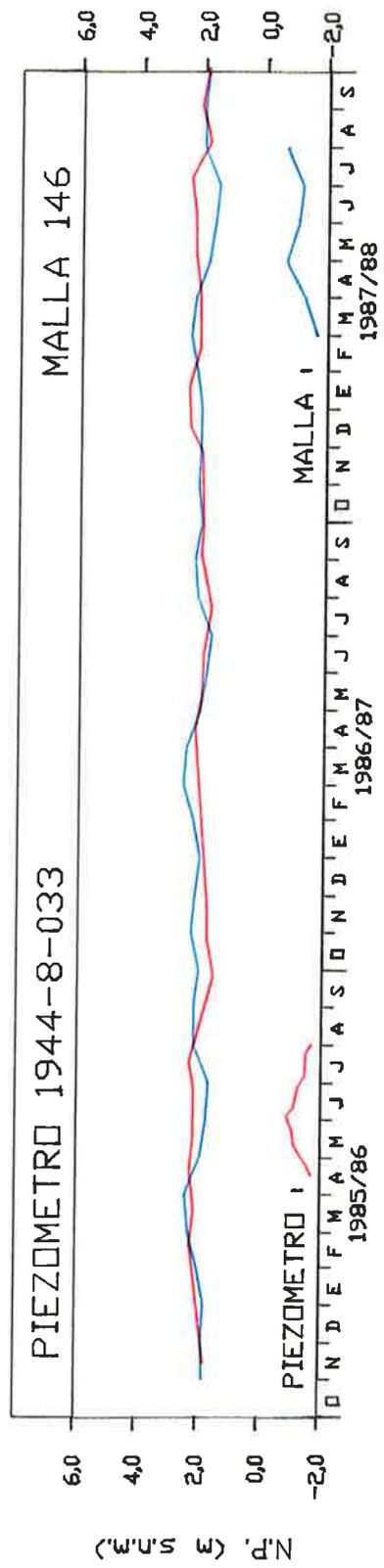
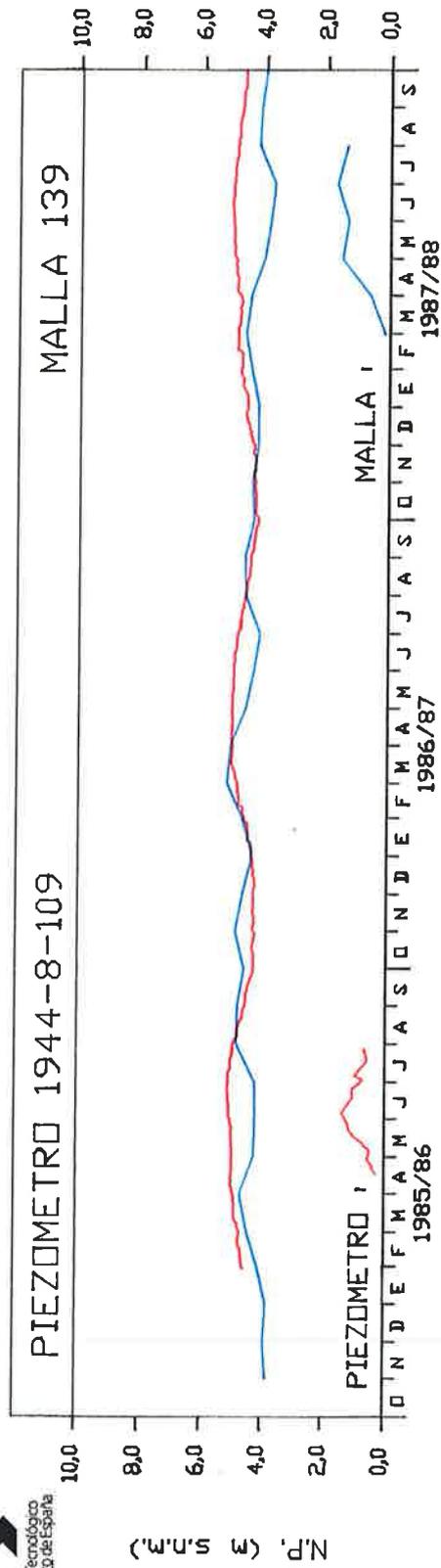


FIG. 19



Instituto Tecnológico  
del Gobierno de España

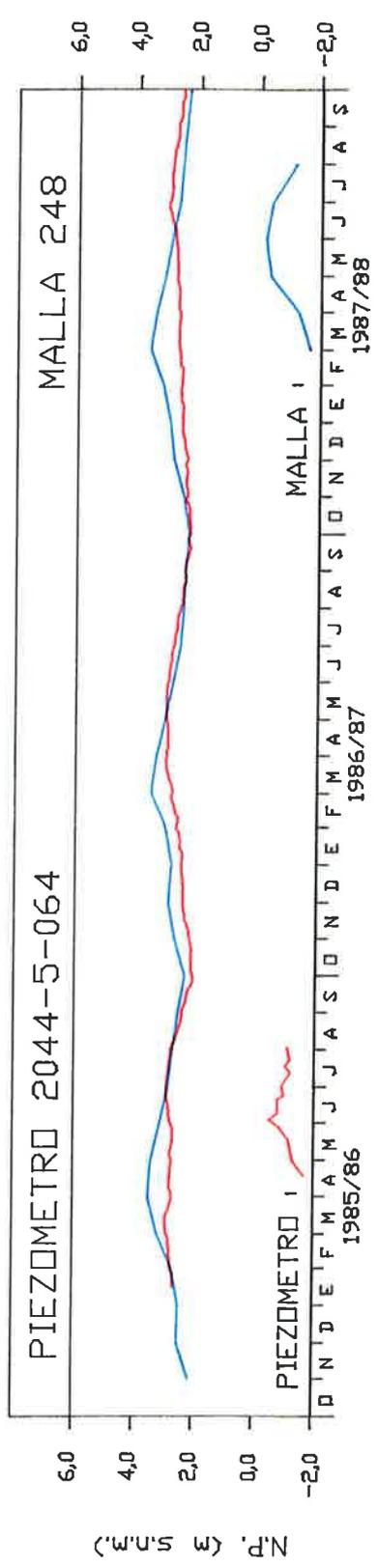
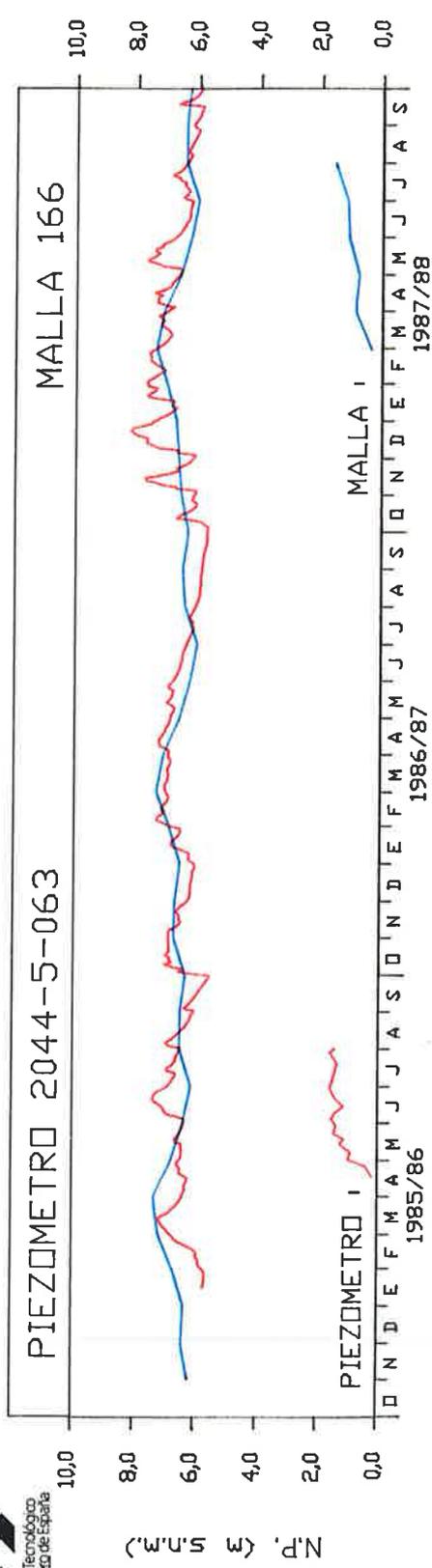


FIG. 20

- Desde Los Álamos ..... 1,42 hm<sup>3</sup>/a    45 l/s
- Por consiguiente, la recarga total del sistema acuífero Motril-Salobreña asciende a 47,33 hm<sup>3</sup>/a, equivalentes a 1.499 l/s continuos.
- Las salidas por bombeo desde pozos y sondeos en el sistema ascendieron en promedio durante el periodo de referencia a 17,11 hm<sup>3</sup>/a, equivalentes a 542 l/s.
- De lo anterior se deduce un valor de 30 hm<sup>3</sup>/a equivalentes a 960 l/s continuos, para las salidas subterráneas del acuífero aluvial hacia el mar.

Como ilustración de la calidad del calibrado conseguido en el modelo, en la fig. 14 se han reflejado las isopiezas calculadas en régimen permanente y un promedio de las observadas durante el trienio de referencia para la modelización. En las figs. 15 a 20 se ha reflejado el calibrado del régimen transitorio en 10 mallas representativas del modelo.

### 3.5.2. Simulación matemática

Como periodo de simulación se ha elegido el de 30 años que ha servido para el cálculo de la regulación superficial conjunta, es decir, 1950/51-1979/80.

Para valorar el comportamiento hidrodinámico del sistema en el marco de la regulación conjunta, se han admitido las siguientes hipótesis:

- 1<sup>a</sup>. Se supone que la recarga del sistema acuífero por la infiltración de los excedentes de riego se va a mantener, durante el periodo de valoración, en los valores medios mensuales registrados durante el trienio 1985/86-1987/88, que sirvió de referencia para la modelización matemático del flujo subterráneo en el sistema acuífero.
- 2<sup>a</sup>. Se admite también la continuación de los bombeos realizados actualmente en el acuífero, aplicando para cada malla, en

cada uno de los meses del periodo de valoración, los 12 valores medios mensuales registrados en el trienio de referencia.

El mantenimiento de los bombeos actuales, a los que se añadirían los necesarios para proporcionar los aportes netos de agua subterránea necesarios para la regulación conjunta, supone en la práctica un apreciable margen de seguridad en el funcionamiento del sistema acuífero. En efecto, los 17,11 hm<sup>3</sup>/a a que asciende actualmente la explotación por bombeo están destinados a dotar demandas cubiertas por los objetivos de la regulación superficial conjunta, y es de prever, por tanto, que con la puesta en práctica de ésta se registrase una reducción notable en tales bombeos.

- 3<sup>a</sup>. Se ha supuesto que por el cauce del Guadalfeo, aguas abajo de la presa de Rules, sólo circularán los excedentes sin regular por dicho embalse.

En los próximos subapartados se resumen las modificaciones que se registrarían en la recarga y descarga del sistema, y las consecuencias hidrodinámicas de las mismas.

#### 3.5.2.1. Recargas ligadas al río Guadalfeo

Se debe prever que los excedentes vertidos por el embalse de Rules experimentarían unas pérdidas por percolación desde el lecho del cauce, en su recorrido de 10,5 km de longitud hasta alcanzar el azud de Lobres, y que tales pérdidas, uniformizadas por la circulación subterránea en el seno del estrecho relleno aluvial, representarían el nuevo valor de la recarga lateral subterránea al sistema acuífero a la altura del citado azud.

La parte de los excedentes de Rules no infiltrada entre la presa y el azud de Lobres, que pasaría a circular sobre el sistema acuífero, puede ser tratada como lo fueron en la elaboración del modelo del flujo subterráneo los excedentes

superficiales realmente registrados en el azud de Lobres:

- una fracción se perdería por percolación desde el lecho del cauce hacia el sistema acuifero, según una ley parabólica, y
- el resto se perdería en el mar.

Para estimar las pérdidas por percolación en el tramo Rules-Lobres se han tanteado distintos valores para el coeficiente  $a$  en la ley parabólica experimentalmente encontrada para el tramo Lobres-mar

$$- [\Delta Q/l]^2 = a \cdot Q$$

y se ha encontrado que:

- con un valor de  $a$  igual a 3, prácticamente idéntico al que se encontró para el tramo de 1,2 km inmediatamente anterior a la desembocadura del río en el mar, y
- aplicando al recorrido del río sobre el sistema acuífero las leyes de percolación encontradas experimentalmente (\*),

resulta la siguiente distribución media de los excedentes de la regulación superficial conjunta en el embalse de Rules (con una anticipación de bombeos caracterizada por  $ALFA = 4,0$ ) durante el periodo 1950/51-1979/80 :

**Circulación subterránea en el aluvial del Guadalfeo a la altura del azud de Lobres, entrante en el sistema acuífero ..... 15,7 hm<sup>3</sup>/a      497 l/s**

(\*) Los valores del coeficiente  $a$  encontrados para los 5 tramos diferenciados en el cauce del río entre el azud de Lobres y la desembocadura fueron, de aguas abajo a aguas arriba:

Tramo	A (1,2 km)	.....	3,09
id.	B (1,5 km)	.....	27,79
id.	C (1,8 km)	.....	65,10
id.	D (1,0 km)	.....	12,32
id.	E (2,0 km)	.....	25,23

Percolación total hacia el sistema acuífero, entre el azud de Lobres y el mar..... 26,1 hm<sup>3</sup>/a      826 l/s

Pérdidas del río en el mar ..... 33,5 "      1.061 "

A título comparativo, señalemos que la distribución media de las aportaciones ligadas al corredor aluvial del Guadalfeo, circulantes entre el azud de Lobres y el mar, durante el periodo 1972/73-1987/88 ha sido la siguiente:

Circulación subterránea en el aluvial del Guadalfeo a la altura del azud de Lobres, entrante en el sistema acuífero ..... 15,5 hm<sup>3</sup>/a      490 l/s

Percolación total hacia el sistema acuífero, entre el azud de Lobres y el mar..... 29,6 "      937 "

Pérdidas del río en el mar ..... 36,0 "      1.142 "

Resulta destacable la notable similitud de las distribuciones medias encontradas para el periodo de simulación 1950/51-1979/80, y para el periodo 1972/73-1987/88.

Para la simulación matemática del funcionamiento hidrodinámico del acuífero durante el periodo de 30 años indicado, se ha partido de la serie de excedentes mensuales de la regulación conjunta, aplicando de la siguiente manera las recargas al sistema :

- Se ha supuesto constante, como en la modelización matemática del flujo subterráneo, la recarga lateral subterránea a la altura del azud de Lobres, con un valor de 497 l/s.
- La percolación mensual en cada malla de modelo ha sido estimada del mismo modo que para la modelización del flujo subterráneo.

SISTEMA ACUIFERO ALUVIAL DE MOTRIL-SALOBREÑA

CAUDALES MEDIOS INFILTRADOS DESDE EL CAUCE DEL GUADALFEO DURANTE EL TRIENIO 1985/86-1987/88 (L/s)

MALLA	OCTUBRE	NOVIEMB	DICIEMB	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	AÑO
1	11.4	16.4	18.9	26.5	35.7	32.2	26.1	22.7	8.3	0.0	0.0	0.0	16.4
2	28.6	41.0	47.3	66.2	89.2	80.5	65.3	56.7	20.8	0.0	0.0	0.0	41.0
6	13.7	19.7	22.7	31.8	42.8	38.6	31.4	27.2	10.0	0.0	0.0	0.0	19.7
7	25.7	37.0	42.6	59.7	80.3	72.5	58.8	51.0	18.8	0.0	0.0	0.0	37.0
11	14.8	21.3	24.6	34.4	46.4	41.9	34.0	29.5	10.8	0.0	0.0	0.0	21.3
10	11.4	13.0	18.2	24.9	35.6	31.7	24.8	21.3	7.8	0.0	0.0	0.0	15.6
15	17.5	20.0	28.0	38.3	54.8	48.8	38.1	32.7	12.0	0.0	0.0	0.0	24.0
20	6.7	6.4	10.3	14.0	21.0	18.4	13.6	12.2	4.2	0.0	0.0	0.0	8.8
21	19.4	18.4	29.8	40.7	60.9	53.5	39.3	35.5	12.2	0.0	0.0	0.0	25.6
26	24.2	23.0	37.2	50.8	76.1	66.8	49.1	44.3	15.3	0.0	0.0	0.0	32.0
31	24.2	23.0	37.2	50.8	76.1	66.8	49.1	44.3	15.3	0.0	0.0	0.0	32.0
36	24.2	23.0	37.2	50.8	76.1	66.8	49.1	44.3	15.3	0.0	0.0	0.0	32.0
41	13.8	10.9	17.3	31.8	46.1	35.4	21.8	25.8	6.4	0.0	0.0	0.0	17.3
80	13.8	10.9	17.3	31.8	46.1	35.4	21.8	25.8	6.4	0.0	0.0	0.0	17.3
81	10.7	8.5	13.4	24.7	35.8	27.5	16.9	20.0	5.0	0.0	0.0	0.0	13.4
79	1.2	0.9	1.5	3.1	4.4	3.2	1.4	2.5	0.4	0.0	0.0	0.0	1.5
126	1.1	0.8	1.4	2.9	4.1	2.9	1.3	2.3	0.4	0.0	0.0	0.0	1.4
130	1.8	1.4	2.3	4.8	6.8	4.9	2.1	3.8	0.6	0.0	0.0	0.0	2.4
131	4.2	3.1	5.2	10.9	15.2	10.9	4.8	8.6	1.3	0.0	0.0	0.0	5.3
SUMA	268.3	298.8	412.5	599.0	853.6	738.9	548.8	510.4	171.4	0.0	0.0	0.0	364.0

CAUDALES DEL RIO GUADALFEO VERTIDOS AL MAR (L/s)

OCTUBRE	NOVIEMB	DICIEMB	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	AÑO
42.7	22.8	68.8	307.7	350.4	170.1	27.5	192.6	3.6	0.0	0.0	0.0	97.7

SISTEMA ACUIFERO ALUVIAL DE MOTRIL-SALOBREÑA

CAUDALES MEDIOS INFILTRADOS DESDE EL CAUCE DEL GUADALFEO DURANTE EL PERIODO 1972/73-1987/88 (L/s)

MALLA	OCTUBRE	NOVIEMB	DICIEMB	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	AÑO
1	34.9	51.8	50.3	44.8	54.4	46.5	41.2	46.9	41.5	13.6	1.2	2.7	35.7
2	87.2	129.5	125.8	112.0	136.0	116.3	102.9	117.1	103.6	34.1	3.0	6.7	89.2
6	41.9	62.2	60.4	53.7	65.3	55.8	49.4	56.2	49.7	16.4	1.4	3.2	42.8
7	78.6	116.7	113.3	100.9	122.5	104.7	92.7	105.5	93.3	30.7	2.7	6.1	80.3
11	45.3	67.3	65.4	58.2	70.7	60.4	53.5	60.9	53.9	17.7	1.6	3.5	46.4
10	37.3	54.1	52.9	46.2	57.3	48.3	42.2	48.7	43.5	12.2	0.3	2.8	37.0
15	57.3	83.2	81.4	71.0	88.0	74.3	64.9	74.9	66.8	18.7	0.5	4.2	56.9
20	24.7	35.2	34.0	29.3	36.7	30.7	26.1	31.0	27.7	6.7	0.0	1.7	23.5
21	71.6	102.2	98.5	85.0	106.5	88.9	75.6	90.1	80.5	19.3	0.0	4.9	68.3
26	89.5	127.6	123.0	106.2	133.0	111.1	94.5	112.5	100.5	24.1	0.0	6.2	85.3
31	89.5	127.6	123.0	106.2	133.0	111.1	94.5	112.5	100.5	24.1	0.0	6.2	85.3
36	89.5	127.6	123.0	106.2	133.0	111.1	94.5	112.5	100.5	24.1	0.0	6.2	85.3
41	63.9	90.4	83.4	72.8	91.4	74.1	60.1	76.7	68.8	14.2	0.0	3.9	58.0
80	63.9	90.4	83.4	72.8	91.4	74.1	60.1	76.7	68.8	14.2	0.0	3.9	58.0
81	49.6	70.2	64.7	56.5	70.9	57.5	46.7	59.5	53.4	11.0	0.0	3.0	45.1
79	6.6	9.2	8.3	7.5	9.2	7.3	5.7	7.6	6.8	1.3	0.0	0.4	5.8
126	6.0	8.4	7.7	6.7	8.5	6.7	5.3	7.0	6.3	1.2	0.0	0.3	5.3
130	10.0	14.0	12.8	11.1	14.2	11.2	8.8	11.7	10.5	2.0	0.0	0.6	8.9
131	22.6	31.6	28.7	25.1	31.9	25.1	19.7	26.3	23.6	4.5	0.0	1.3	19.9
SUMA	969.9	1399.4	1340.0	1172.2	1454.0	1215.1	1038.5	1234.4	1100.1	290.1	10.7	67.7	937.1

CAUDALES DEL RIO GUADALFEO VERTIDOS AL MAR (L/s)

OCTUBRE	NOVIEMB	DICIEMB	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	AÑO
2954.5	2183.8	1355.4	1209.7	2156.0	992.3	674.2	1156.1	969.9	106.3	0.0	21.9	1141.7

CAUCE DEL RIO GUADALFEO ENTRE EL EMBALSE DE RULES Y EL AZUD DE LOBRES

CAUDALES MEDIOS INFILTRADOS DURANTE EL PERIODO 1950/51-1979/80 (l/s)		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80		
OCTUBRE	NOVIEMB	DICIEMB	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	AÑO
0.0	81.7	322.3	754.1	854.3	958.9	1037.6	1090.8	873.7	20.8	0.0	0.0	496.9

SISTEMA ACUIFERO ALUVIAL DE MOTRIL-SALOBREÑA

CAUDALES MEDIOS INFILTRADOS DESDE EL CAUCE DEL GUADALFEO DURANTE EL PERIODO 1950/51-1979/80 (l/s)		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80		1950/51-1979/80	
MALLA	OCTUBRE	NOVIEMB	DICIEMB	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	AÑO
1	0.0	4.0	18.6	45.5	51.8	58.1	62.8	65.5	51.4	0.7	0.0	0.0	29.7
2	0.0	10.1	46.6	113.8	129.6	145.2	156.9	163.8	128.6	1.8	0.0	0.0	74.3
6	0.0	4.9	22.4	54.6	62.2	69.7	75.3	78.6	61.7	0.9	0.0	0.0	35.7
7	0.0	9.1	42.0	102.5	116.7	130.8	141.4	147.5	115.8	1.6	0.0	0.0	66.9
11	0.0	5.3	24.2	59.2	67.3	75.5	81.6	85.2	66.9	1.0	0.0	0.0	38.6
10	0.0	4.1	19.6	49.0	56.0	62.7	67.7	70.4	54.6	0.6	0.0	0.0	31.9
15	0.0	6.3	30.1	75.3	86.1	96.3	104.0	108.3	83.9	0.9	0.0	0.0	49.0
20	0.0	2.5	12.5	32.4	37.2	41.5	44.8	46.6	35.4	0.3	0.0	0.0	21.0
21	0.0	7.3	36.3	94.0	108.0	120.4	129.9	135.1	102.7	0.8	0.0	0.0	60.9
26	0.0	9.1	45.3	117.4	134.8	150.4	162.3	168.7	128.3	1.0	0.0	0.0	76.0
31	0.0	9.1	45.3	117.4	134.8	150.4	162.3	168.7	128.3	1.0	0.0	0.0	76.0
36	0.0	9.1	45.3	117.4	134.8	150.4	162.3	168.7	128.3	1.0	0.0	0.0	76.0
41	0.0	5.6	30.6	84.6	98.3	108.9	117.3	121.8	90.3	0.1	0.0	0.0	54.5
80	0.0	5.6	30.6	84.6	98.3	108.9	117.3	121.8	90.3	0.1	0.0	0.0	54.5
81	0.0	4.3	23.7	65.6	76.3	84.5	91.0	94.6	70.1	0.1	0.0	0.0	42.3
79	0.0	0.5	3.0	8.6	10.1	11.1	12.0	12.4	9.1	0.0	0.0	0.0	5.5
126	0.0	0.5	2.8	7.9	9.3	10.2	11.0	11.4	8.4	0.0	0.0	0.0	5.1
130	0.0	0.8	4.7	13.2	15.5	17.1	18.4	19.1	14.0	0.0	0.0	0.0	8.5
131	0.0	1.8	10.5	29.8	34.9	38.4	41.4	42.9	31.4	0.0	0.0	0.0	19.1
SUMA	0.0	99.9	494.0	1272.9	1462.0	1630.7	1759.6	1831.2	1399.6	11.6	0.0	0.0	825.5

CAUDALES DEL RIO GUADALFEO VERTIDOS AL MAR (l/s)

OCTUBRE	NOVIEMB	DICIEMB	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	AÑO
0.0	31.7	410.4	2078.1	2320.9	2122.6	2107.8	2320.7	1431.5	0.0	0.0	0.0	1061.1

**SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL MOTRIL-SALOBREÑA  
BOMBEO MEDIOS DURANTE EL TRIENIO 1985/86-1987/88 (l/s)**

**MALLAS**

	2	7	10	11	15	16	21	22	31	36	44	53	54	58
OCTUBRE	112,8	312,2	6,1	2,1	0	0,1	0,7	17,4	17,9	281,2	2,1	5,9	2,3	3,0
NOVIEMBRE	5,0	34,9	5,5	1,4	0,1	0,2	0,7	16,1	4,6	265,2	5,3	5,3	1,8	2,8
DICIEMBRE	11,9	53,0	5,6	1,2	0,1	0,1	0,7	14,6	3,0	208,0	6,0	4,9	1,9	2,1
ENERO	0	0	6,1	1,2	0,1	0	0,7	1,6	4,0	179,1	3,8	5,3	2,0	2,1
FEBRERO	0	0,1	7,1	1,2	0	0	0,8	0,6	3,8	210,0	5,0	5,3	2,2	2,1
MARZO	0	0,1	6,8	1,6	0	0	0,7	0,7	6,8	221,5	7,3	4,8	2,3	2,3
ABRIL	0	0,1	7,1	2,9	0	0	0,8	1,9	12,4	207,9	6,9	5,6	2,3	3,6
MAYO	0	51,1	7,7	3,5	0	0	0,8	2,0	19,3	231,6	11,2	5,1	2,5	3,4
JUNIO	17,4	200,0	8,4	4,4	0	0,1	0,8	3,9	26,3	227,9	12,0	5,2	2,3	4,3
JULIO	66,4	316,1	9,6	5,1	0	0,1	0,9	6,1	24,9	304,2	12,2	0	8,4	4,6
AGOSTO	169,7	443,6	9,6	4,9	0	0,1	0,9	6,2	33,1	256,6	11,3	0	8,0	5,8
SEPTIEMBRE	200,4	388,1	9,2	3,9	0	0,1	0,9	6,6	33,4	290,4	11,0	5,4	6,0	5,0
<b>AÑO</b>	<b>48,9</b>	<b>151,0</b>	<b>7,4</b>	<b>2,8</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,8</b>	<b>6,5</b>	<b>15,8</b>	<b>240,4</b>	<b>7,9</b>	<b>4,4</b>	<b>3,5</b>	<b>3,4</b>

**SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL MOTRIL-SALOBREÑA  
BOMBEO MEDIOS DURANTE EL TRIENIO 1985/86-1987/88 (l/s)**

**MALLAS**

	59	74	75	92	94	117	123	132	170	192	193	218	248	262
OCTUBRE	0,9	2,3	0,8	0,1	26,9	1,4	0,2	0,1	4,7	0,6	4,6	0,1	0,9	21,6
NOVIEMBRE	1,0	0,7	0,7	0	6,9	0,4	0,1	0	3,7	0	2,8	0,1	0,6	16,8
DICIEMBRE	1,3	0,6	0,6	0	5,5	1,2	0	0	2,2	0	2,8	0,1	0	21,3
ENERO	1,2	0,8	0,4	0	5,0	0,4	0	0	1,9	0	3,3	0,1	0	13,9
FEBRERO	1,2	0,8	0,4	0,1	2,3	0,5	0	0	0,7	0	3,4	0,1	0	12,6
MARZO	1,5	1,4	0,8	0,1	3,9	0,5	0,2	0	1,0	0	4,0	0,1	0	13,4
ABRIL	1,8	1,6	0,7	0,1	6,3	2,5	0,5	0	1,3	0	4,0	0,1	0,2	15,1
MAYO	2,2	1,6	0,6	0,1	7,3	1,4	0,4	0	1,6	0	3,9	0,1	0	16,5
JUNIO	1,4	2,9	0,7	0,1	12,0	4,3	0,5	0,3	1,5	0	7,2	0,2	0	21,8
JULIO	3,0	3,4	1,2	0	22,4	9,3	1,1	0,3	2,8	0,2	9,8	0,2	0,6	29,8
AGOSTO	5,5	3,9	1,3	0	23,4	9,3	1,1	1,1	3,7	0,3	11,0	0,2	0,8	32,5
SEPTIEMBRE	4,3	3,3	1,3	0	19,2	6,9	1,0	0,9	3,8	0,1	8,1	0,2	0,8	28,0
AÑO	2,1	1,9	0,8	0	11,8	3,2	0,4	0,2	2,4	0,1	5,4	0,1	0,3	20,3

En las tres hojas adjuntas se incluyen las hojas resumen de la distribución estimada para los excedentes superficiales durante los periodos 1950/51-1979/80 y 1972/73-1987/88, y durante el trienio 1985/86-1987/88 (\*).

### 3.5.2.2. Bombeos desde el sistema acuífero

No parece existir, en general, conexión hidráulica a través de medio poroso saturado entre el río (cuando por él circulen aportaciones, evidentemente) y el acuífero aluvial; ello hace que no resulten posibles afecciones o interacciones entre aguas superficiales y subterráneas inducidas por bombeos en el sistema acuífero. En consecuencia, los aportes netos de agua subterránea con los que el sistema debería contribuir en el marco de la regulación conjunta planteada, equivaldrían directamente a los bombeos con los que obtenerlos.

Por consiguiente, los bombeos a simular durante el periodo 1950/51-1979/80 son la suma de los siguientes:

1º. Los bombeos que en promedio mensual se han realizado durante el trienio 1985/86-1987/88, ya que se ha supuesto la continuación de los mismos. Sus valores en cada malla vienen reflejados en los dos cuadros adjuntos.

2º. La serie de aportaciones subterráneas necesarias para la puesta en práctica de la regulación conjunta, respecto de las cuales es preciso identificar las mallas en las que estarían situados los necesarios sondeos.

Para llevar a cabo tal identificación se han aplicado únicamente criterios hidrogeológicos, seleccionando mallas con:

- un espesor saturado medio de unos 30 m como mí-

(\*) Tales salidas han sido elaboradas mediante programas informáticos específicos: INFGDF1, INFGDF2 e INFGDF3..

nimo,

- una transmisividad mínima de 100 m<sup>2</sup>/h, y
- una localización lo más próxima posible de la cabecera del sistema acuífero.

Malla nº	T (m <sup>2</sup> /h)	e (m)	NS	QB (l/s)
41	280	104	3	300
42	300	45	2	200
36	250	51	2	200
80	350	168	2	200
82	320	108	2	200
84	250	48	1	100
31	250	36	1	100
37	500	27	2	200
21	250	29	1	100
26	120	29	1	100
			17	1.700

En el cuadro adjunto se indican los números de las mallas seleccionadas, ordenadas según la prioridad con que serán utilizadas en la simulación de los bombeos, junto con los correspondientes valores de la transmisividad (T) y del espesor saturado medio (e). Se indica también el número de sondeos de bombeo (NS) que se deberían realizar en cada malla y, suponiendo para los mismos una productividad individual media de 100 l/s, la capacidad de bombeo (QB) instalada en cada malla.

Sólo en 13 de los 360 meses del periodo a simular sería preciso realizar bombeos para suministrar los aportes de

origen subterráneo necesarios para la regulación conjunta. Dichos bombeos, cuyos valores en cada malla y durante cada mes serían los indicados en el cuadro adjunto, han sido calculados utilizando las capacidades de bombeo reflejadas más arriba, según el orden indicado, hasta suministrar el aporte de agua subterránea necesario.

De la comparación entre los bombeos medios realizados durante el trienio 1985/86-1987/88 y los que sería necesario realizar, además, durante los 30 años del periodo de cálculo de la regulación conjunta, para obtener las aportaciones de origen subterráneo necesarias para la misma, resultan los siguientes valores más significativos:

#### Bombeos en el trienio 1985/86-1987/88

Promedio anual .....	17,11 hm <sup>3</sup> /a .....	542 l/s
Máximo mensual (agosto) .....	2,80 hm <sup>3</sup> /m ....	1.044 "

#### Complemento de bombeos para la regulación conjunta

Promedio hiperanual .....	0,79 hm <sup>3</sup> /a .....	25,2 l/s
Máximo anual (3 <sup>er</sup> año) .....	10,43 " .....	331 "
Máximo mensual (agosto, 3 <sup>er</sup> año) .....	4,52 hm <sup>3</sup> /m ....	1.688 "

#### 3.5.2.3. Resultados de la simulación

Con objeto de reflejar gráficamente el comportamiento hidrodinámico del sistema, en las figs. 21 a 29 se ha representado la evolución que experimentaría la superficie piezométrica libre del acuífero en las mismas 10 mallas del modelo matemático del flujo subterráneo que, por corresponder a piezómetros seleccionados, fueron utilizadas para el calado en régimen transitorio.

En la fig. 30 se han representado, sobre el mallado del modelo, las mallas del mismo más significativas en cuanto al funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero en el marco de la regulación superficial conjunta.

**SISTEMA ACUÍFERO ALUVIAL MOTRIL-SALOBREÑA**  
**BOMBEO A REALIZAR PARA LA REGULACIÓN CONJUNTA CON LOS EMBALSES SUPERFICIALES (l/s)**  
**PERIODO 1950/51-1979/80**

		<b>MALLAS</b>												
		41	42	36	80	82	84	31	37	21	26			
Julio	3 <sup>er</sup> año	300	200	124	---	---	---	---	---	---	---			
Agosto	"	300	200	200	200	200	100	100	200	100	87			
Septiembre	"	300	200	200	200	200	100	100	200	100	36			
Octubre	4 <sup>o</sup> año	300	200	200	200	141	---	---	---	---	---			
Noviembre	"	300	41	---	---	---	---	---	---	---	---			
Agosto	"	300	200	200	144	---	---	---	---	---	---			
Septiembre	"	300	200	200	200	48	---	---	---	---	---			
Octubre	5 <sup>o</sup> año	300	200	200	200	200	25	---	---	---	---			
Noviembre	"	268	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
Septiembre	"	78	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
Septiembre	8 <sup>o</sup> año	99	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
Octubre	21 <sup>o</sup> año	42	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
Diciembre	"	282	---	---	---	---	---	---	---	---	---			

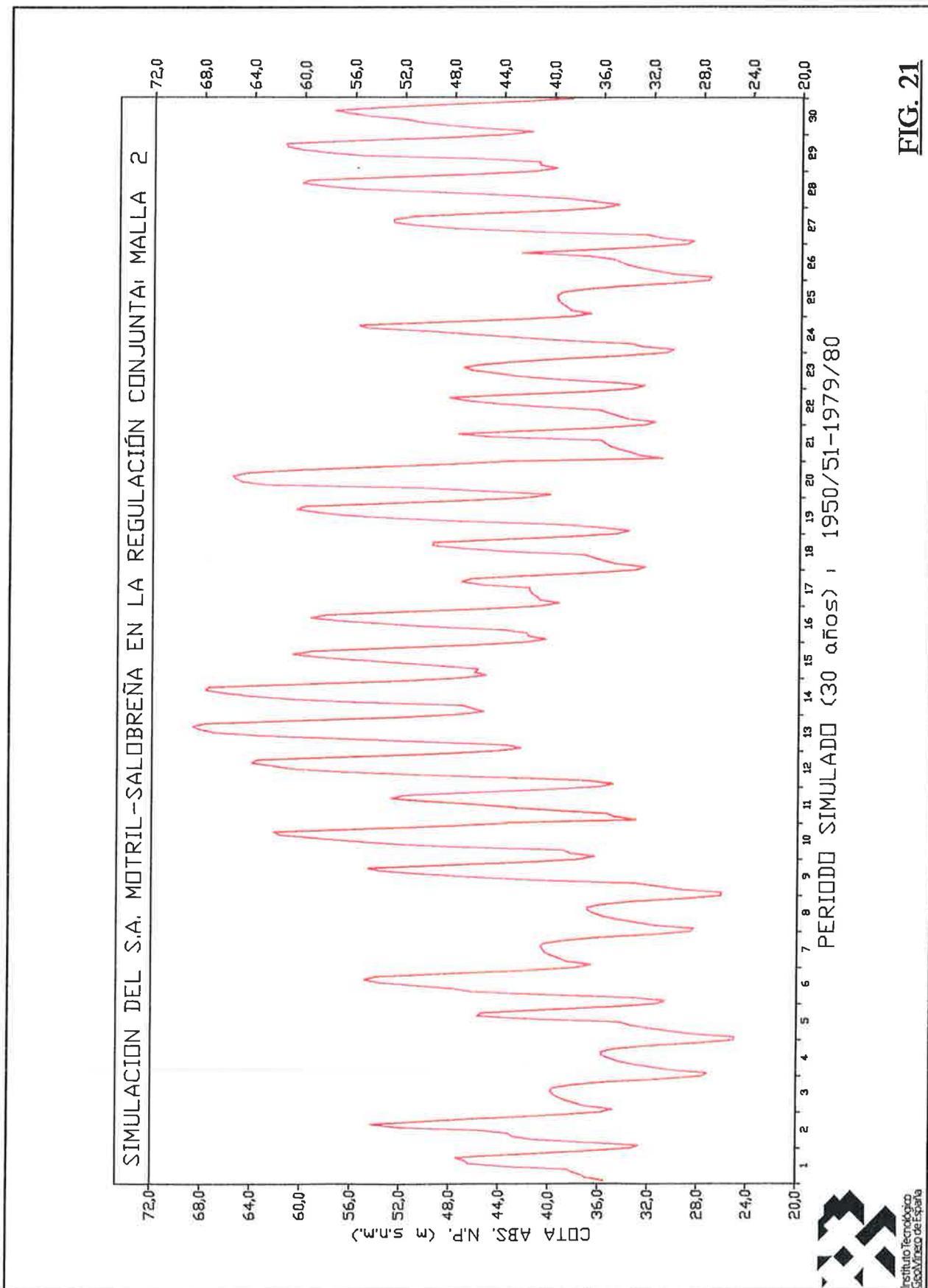


FIG. 21



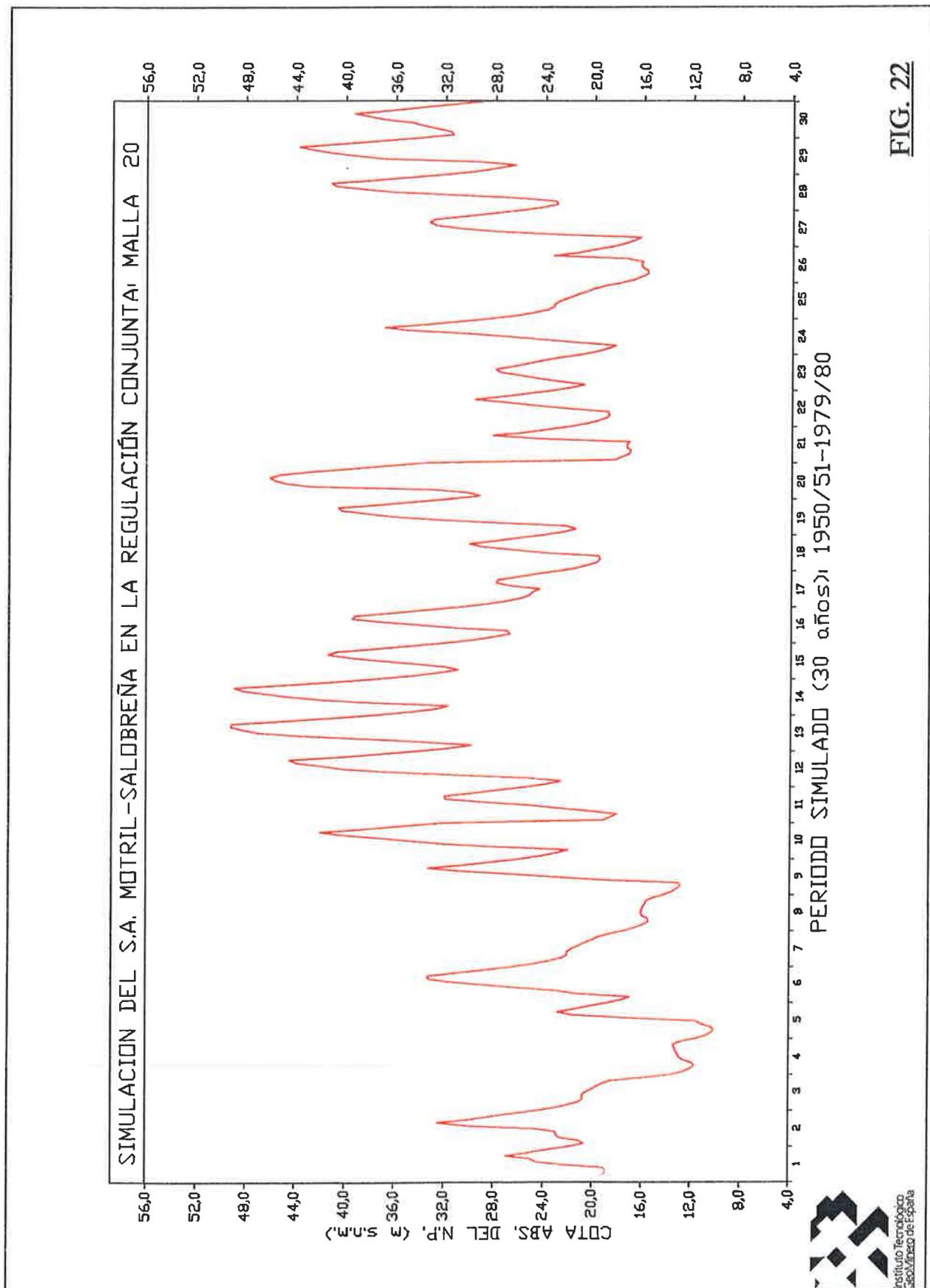
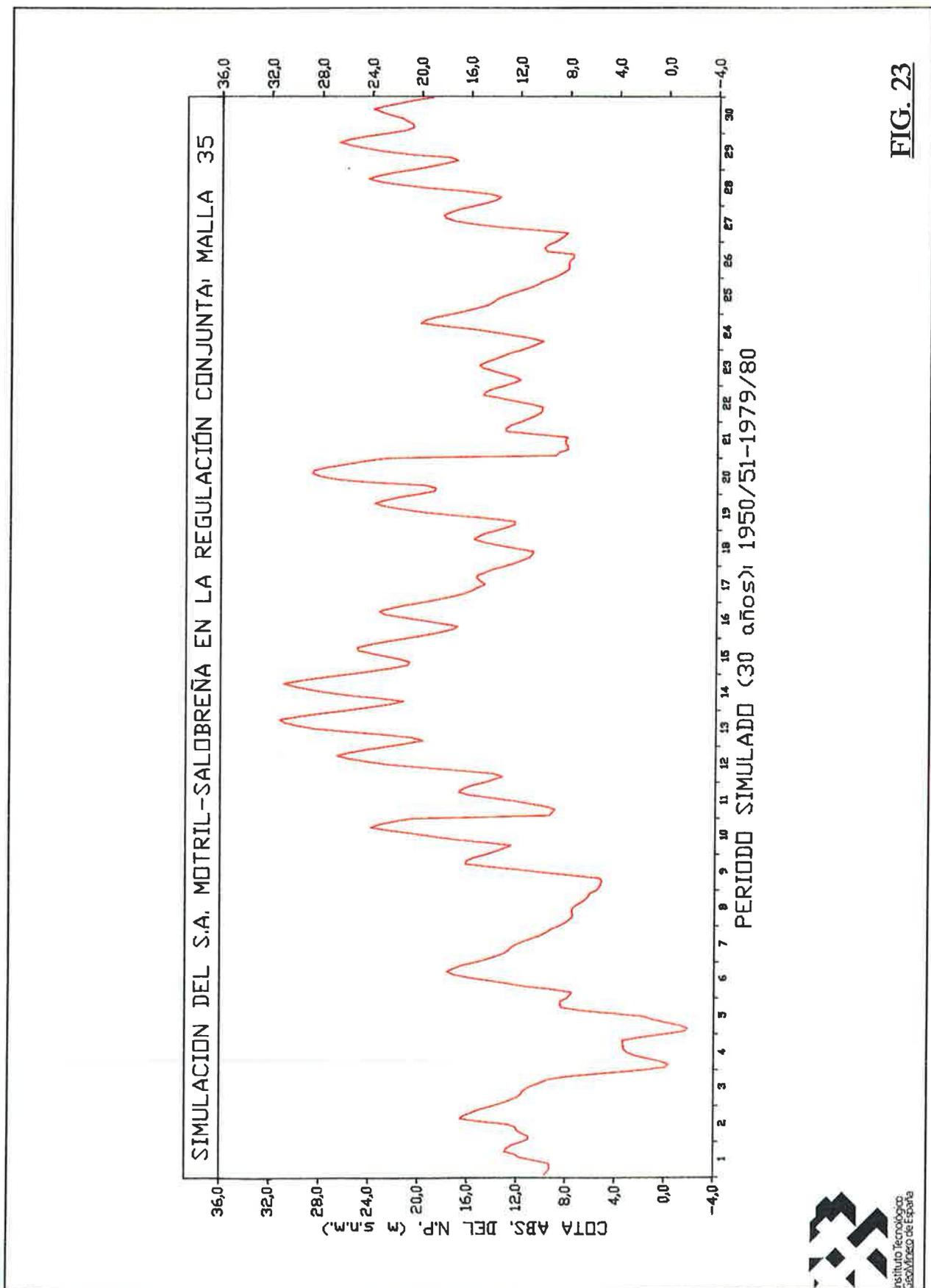


FIG. 22





**FIG. 23**



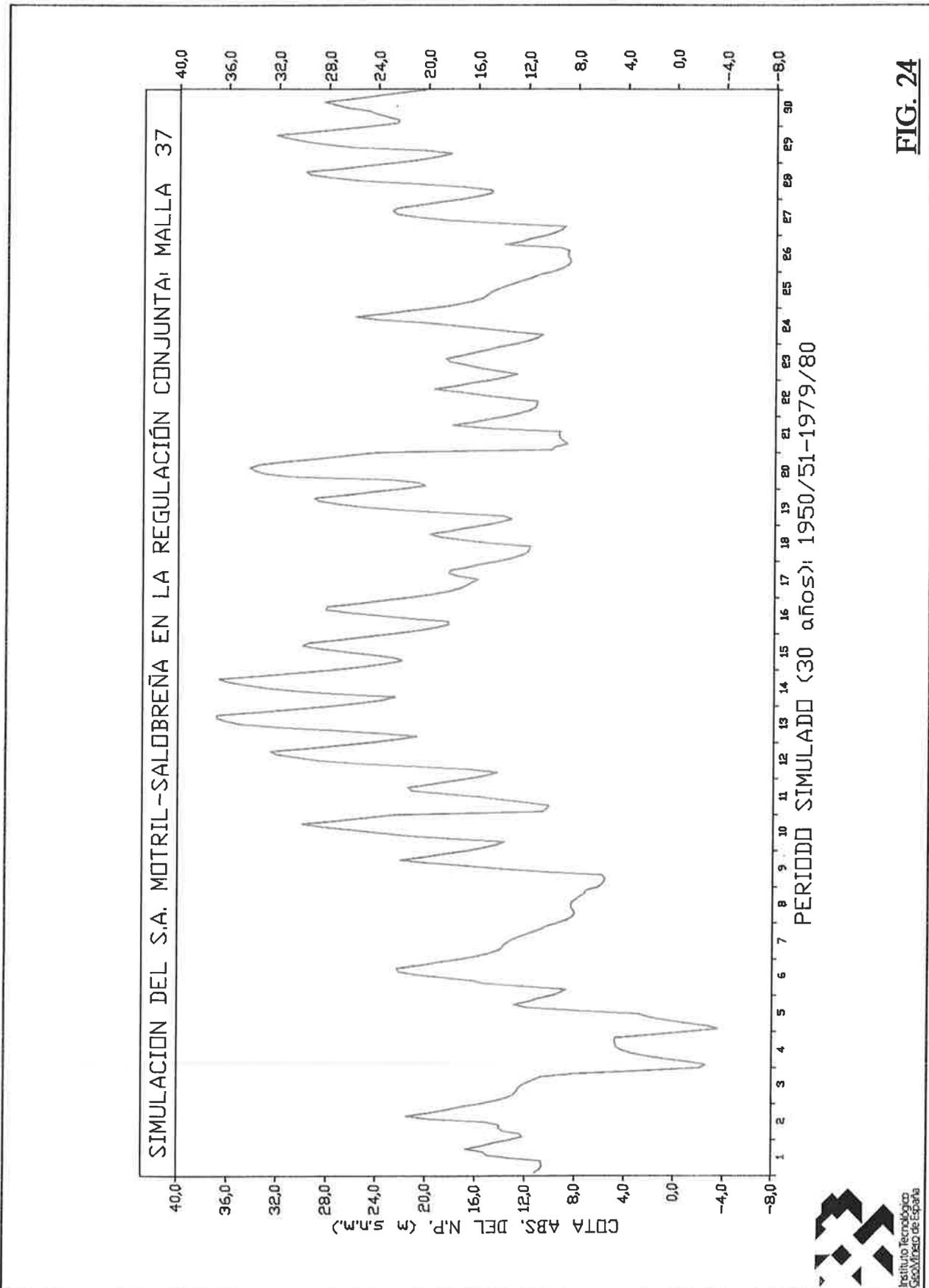
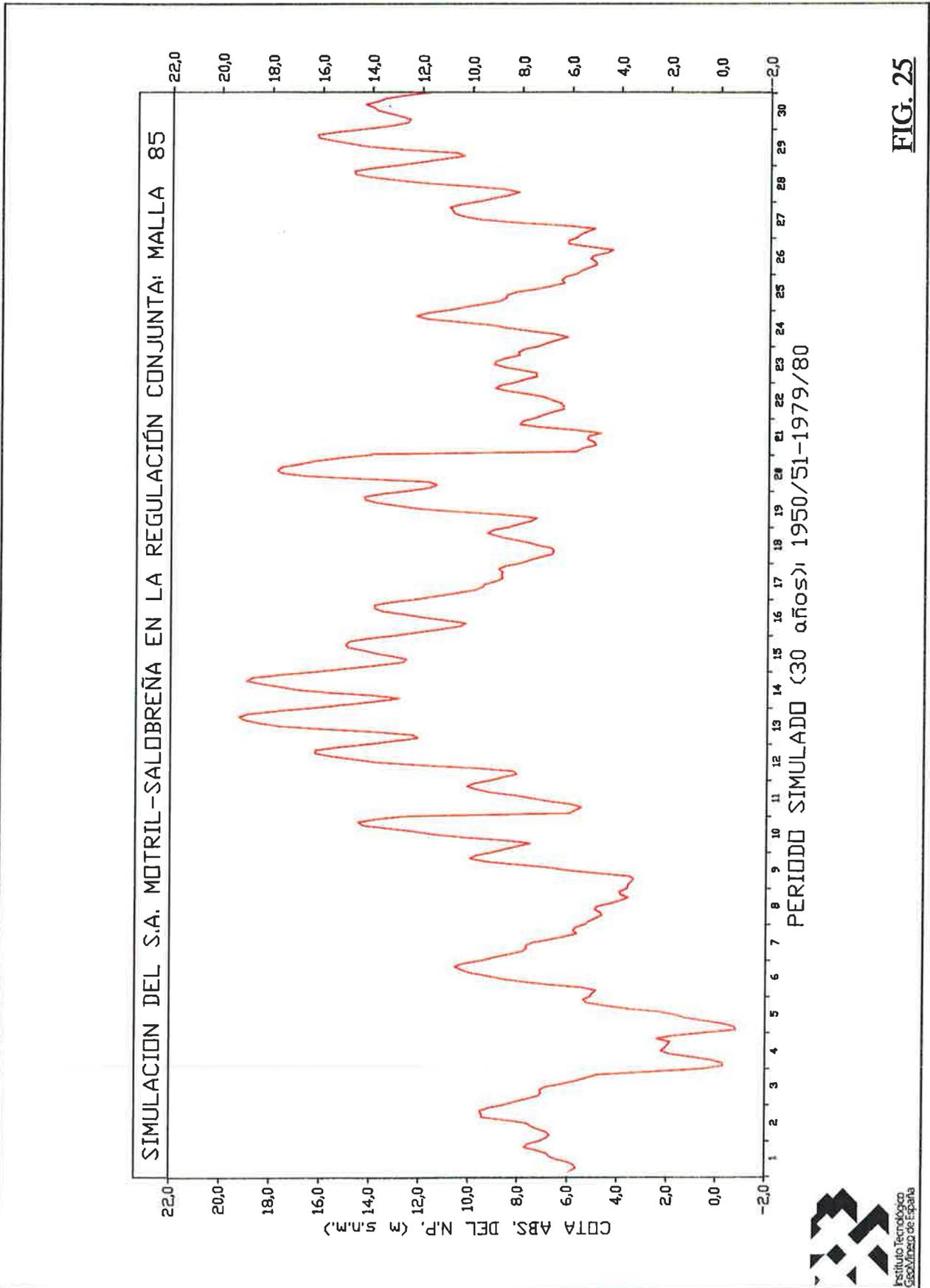


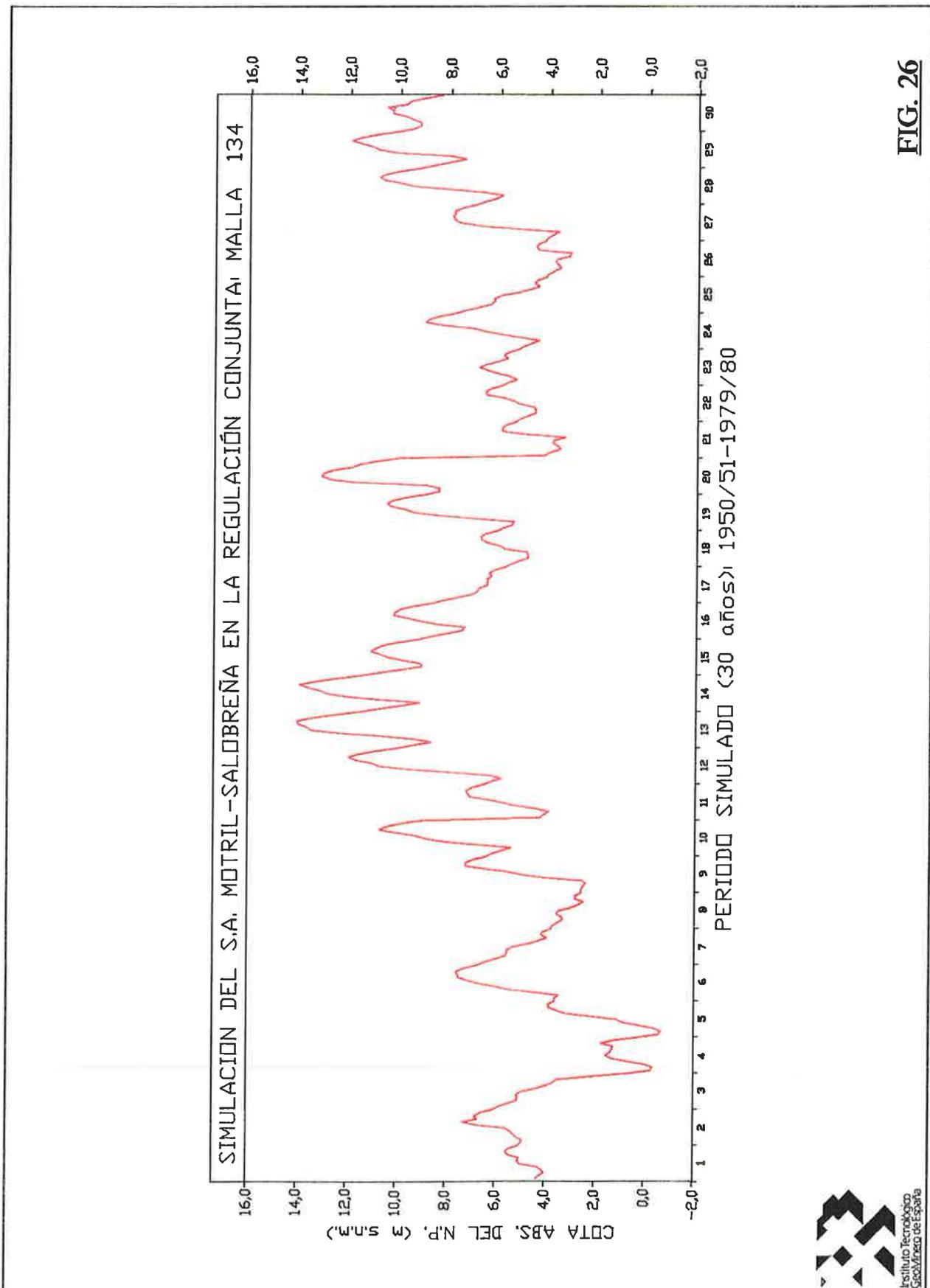
FIG. 24





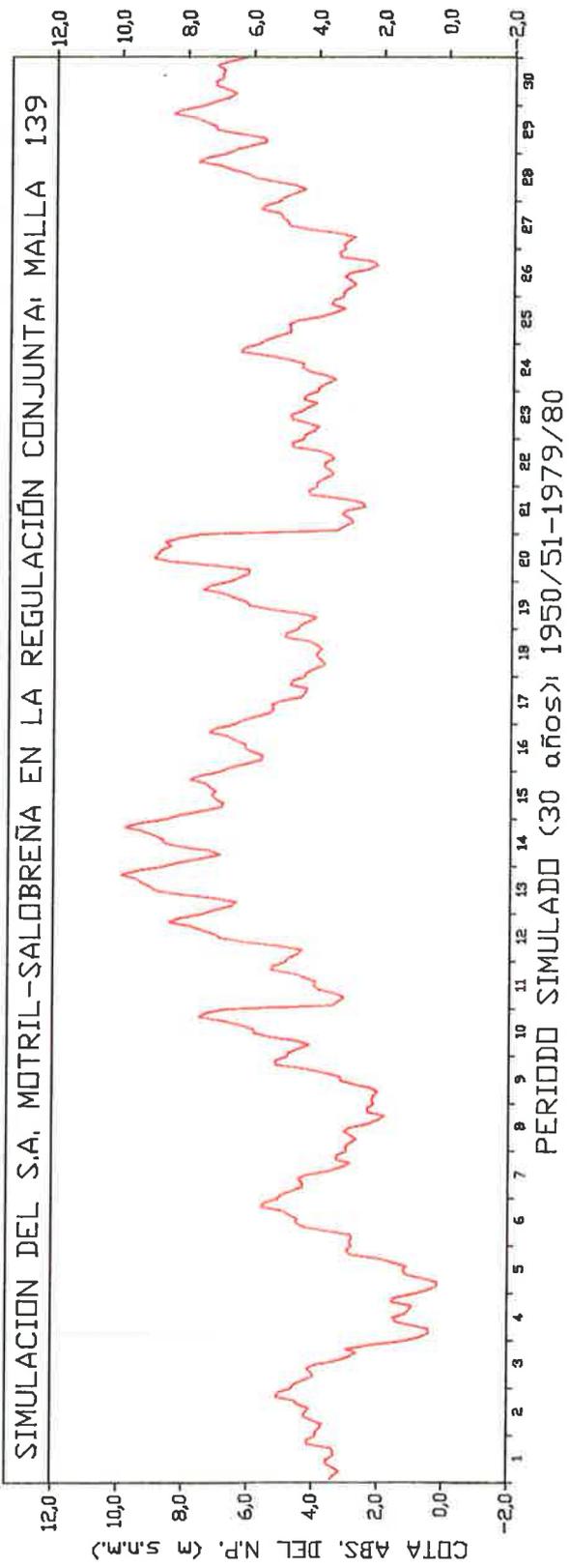
**FIG. 25**





**FIG. 26**





**FIG. 27**

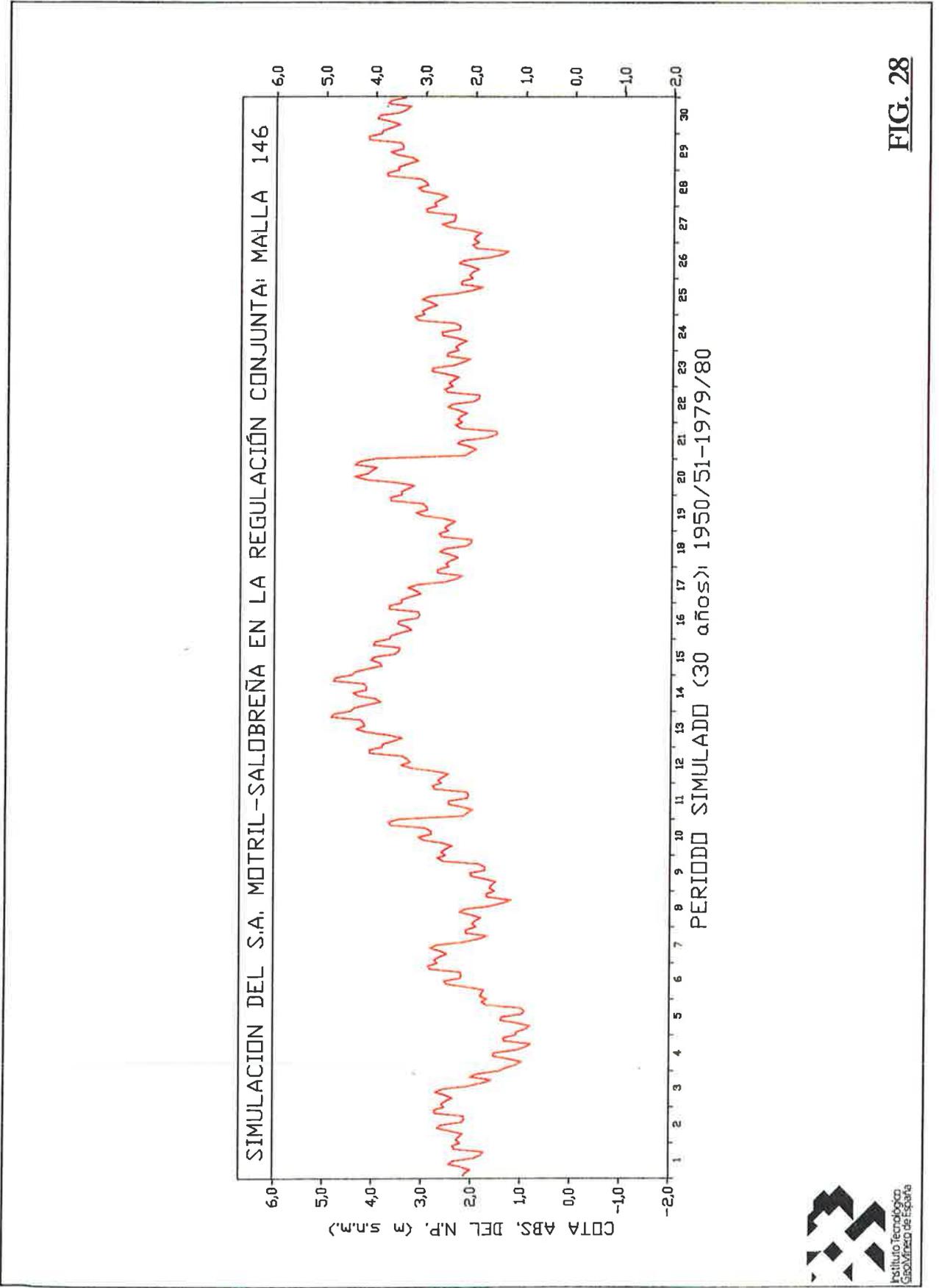


FIG. 28



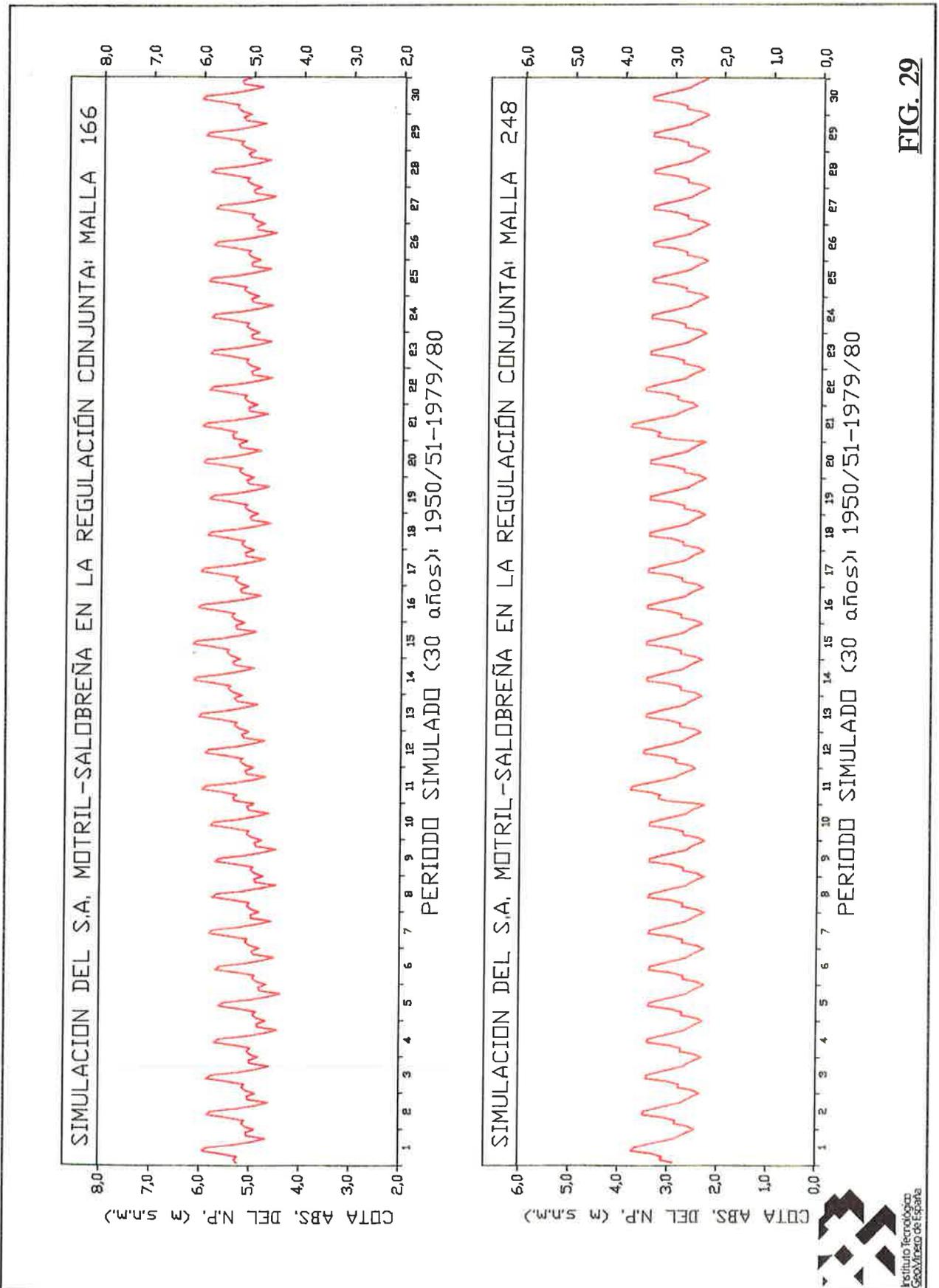


FIG. 29



La posición más baja de la superficie libre del acuífero en las más significativas de las mallas citadas y la fecha de su ocurrencia son las siguientes:

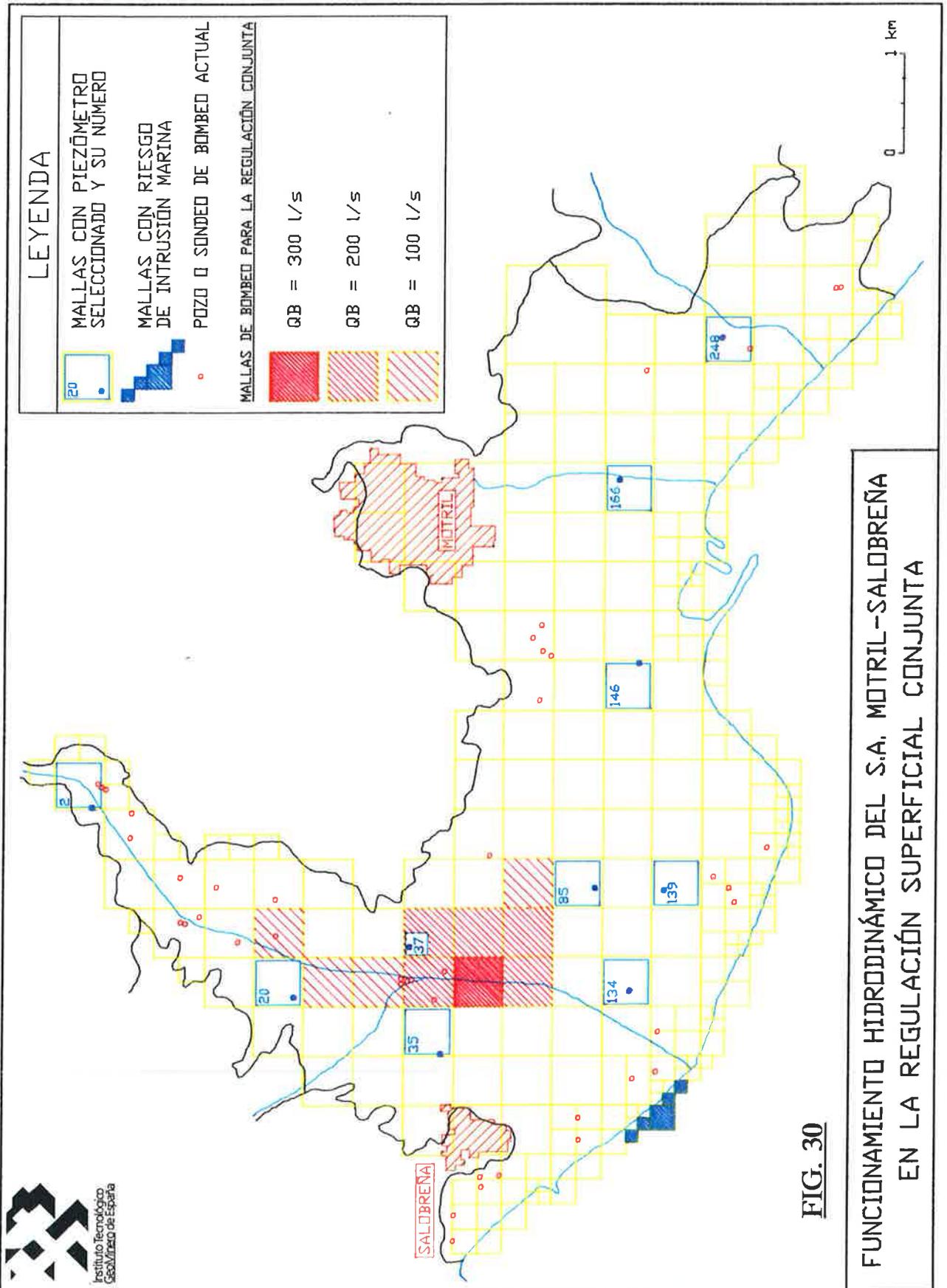
-	Malla	2:	25,03	m s.n.m.	octubre	5º	año
-	id.	20:	10,03	"	diciembre	"	
-	id.	35:	- 1,91	"	noviembre	"	
-	id.	37:	- 3,69	"	octubre	"	
-	id.	85:	- 0,85	"	"	"	
-	id.	134:	- 0,68	"	noviembre	"	
-	id.	139:	0,16	"	"	"	
-	id.	146:	0,80	"	junio	4º	año

Los picos de bombeo para la regulación conjunta, correspondientes a julio-septiembre 3º año y octubre-noviembre 4º año, y a agosto-septiembre 4º año y octubre-noviembre 5º año, superpuestos a los bombeos actuales serían los inductores principales de una muy ligera y breve intrusión marina a lo largo de un limitado tramo de la costa. De ella se ha podido efectuar únicamente un análisis volumétrico, con los siguientes resultados:

- El tramo de costa afectado, de unos 850 m de longitud, sería el correspondiente a las mallas 111, 114, 118, 121 y 124, situadas inmediatamente al Noroeste de la desembocadura del río.
- Sólo en dos meses (no consecutivos) de los 360 del periodo simulado se registra un flujo de agua de mar hacia el sistema acuífero.

Los valores del caudal de agua de mar entrante serían:

<u>Malla</u>	<u>noviembre 4º año</u>	<u>noviembre 5º año</u>
111	0,08 l/s	1,00 l/s
114	0,24 "	2,35 "
118	0,21 "	1,69 "
121	0,19 "	2,16 "



124

0,04 l/s

2,05 l/s

Los valores indicados se prestan a los siguientes comentarios:

- Desde el punto de vista cualitativo, el aporte de salinidad representado por los minúsculos caudales indicados, durante dos meses (no consecutivos), resultaría evidentemente despreciable, aunque no deja de ser indeseable cualquier invasión de agua de mar, por reducida que sea.
- La intrusión marina indicada tendría lugar en el supuesto de que los bombeos necesarios para la regulación conjunta planteada se superpusiesen a los bombeos actuales, y ello constituye un supuesto sumamente conservador ya que éstos son dedicados a dotar demandas que serían plenamente atendidas en el marco de la regulación conjunta analizada. Además, incluso en los dos años cruciales (3º y 4º), en los que se superponen los picos de bombeo para la regulación conjunta con los bombeos actuales, aquellos no suponen más del 60 % del bombeo promedio actual.
- En cualquier caso, parece obvia la inviabilidad de plantearse unos objetivos de regulación superficial conjunta estricta más ambiciosos que los correspondientes a la **opción III**, es decir, la dotación de las demandas internas de la cuenca y el apoyo al riego y abastecimiento en la subzona **A1**.

#### **4. RESUMEN Y CONCLUSIONES**

Como conclusiones más significativas del planteamiento, desarrollo y resultados derivados del modelo de gestión hidrológica propuesto para la cuenca del Guadalfeo, cabe destacar las siguientes:

1ª. De acuerdo con los planes y valoraciones establecidos por la CHS, las demandas de agua para riego, abastecimientos y caudales ecológicos, que se preve dotar en el interior de la cuenca del Guadalfeo mediante la regulación superficial de dicho río que realicen los embalses de Béznar (construido) y Rules (en proyecto), ascienden a 150,7 hm<sup>3</sup>/a:

- 77,2 hm<sup>3</sup>/a para las 5.700 ha de regadíos tradicionales de las vegas de Motril y Salobreña,
- 4,3 " para la mejora de las 823 ha de regadíos del valle de Lecrín,
- 34,9 " para la ampliación de regadíos de la cota 300, con una superficie de 3.600 ha,
- 9,1 " de caudal ecológico en los ríos Ízbor y Guadalfeo, y
- 25,1 " para abastecimiento urbano e industrial.

A la indicada dotación de demandas "internas" habría que añadir la previsión de destinar 51,1 hm<sup>3</sup>/a para apoyo a cuencas adyacentes a la del Guadalfeo:

- 21,1 hm<sup>3</sup>/a para apoyo al riego y al abastecimiento urbano en la subzona A1 (\*), y
- 30,0 " a trasvasar, como máximo, a la cuenca del río Adra, aguas arriba del embalse de Benínar.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que además de las demandas a atender mediante la regulación superficial, existen en el interior de la cuenca, generalmente aguas arriba de los dos embalses mencionados, áreas de riego dispersas, no incluidas en los

(\*) Corresponde a las cuencas de los ríos Jete, Verde y Seco de Almuñécar, y a la de la rambla de Gualchos.

indicados planes, con una superficie conjunta de 11.276 ha (\*). Sus demandas de agua para riego, que en general parecen estar aceptablemente dotadas con recursos de origen subterráneo, ascienden a 80,6 hm<sup>3</sup>/a:

- 22,2 hm<sup>3</sup>/a correspondientes a cultivos situados aguas arriba del embalse de Béznar,
- 52,8 " de cultivos localizados en la cuenca propia del proyectado embalse de Rules, y
- 5,6 " de cultivos situados aguas abajo de Rules, dotados mediante los manantiales de Vélez de Benaudalla y del río de La Toba.

2ª. Por consiguiente, el esfuerzo regulador global que habría que llevar a cabo en la cuenca del Guadalfeo para poder dotar la totalidad de las demandas de agua existentes en la actualidad y proyectadas para un futuro próximo, en el interior y en las inmediaciones de la misma, asciende a 282 hm<sup>3</sup>/a.

Frente a dicha demanda, las aportaciones naturales totales de la cuenca son, según dos estimaciones recientes, elaboradas por la CHS:

- 245 hm<sup>3</sup>/a según los estudios básicos del plan hidrológico, realizados en 1983 (series PH) (\*\*), o
- 286 " según el estudio de viabilidad de la ampliación de regadíos de la cota 300 (series EU) (\*\*\*).

3ª. La evaluación, realizada mediante el programa REGRIO1, de la capacidad de regulación superficial de los embalses de Béznar (construido) y Rules (en proyecto), en el supuesto de que ambos

(\*) 4.008 ha en la cuenca vertiente al embalse de Béznar  
7.074 " en la cuenca propia del proyectado embalse de Rules, y  
194 " de riegos dependientes de los manantiales del río de La Toba y de Vélez de Benaudalla.

(\*\*) "Estudios básicos para la redacción del plan hidrológico de la cuenca hidrográfica del Sur de España. 1ª fase", 1983. Elaborado por INITEC.

(\*\*\*) "Estudio de viabilidad de la ampliación de la zona regable de Motril y Salobreña hasta la cota 300 (Granada)", marzo de 1984. Elaborado por EUROESTUDIOS, S.A.

fuesen explotados en régimen hiperanual estricto (\*), y aplicando diversos supuestos de gestión de la cuenca y de datos hidrológicos para el cálculo, ha proporcionado los siguientes resultados:

1. No parece existir ninguna dificultad para que el embalse de Béznar, de 55,8 hm<sup>3</sup> de capacidad útil, después de atender los riegos de Lecrín (4,3 hm<sup>3</sup>/a) y proporcionar 6,0 hm<sup>3</sup>/a de caudal ecológico, pueda dotar los 34,9 hm<sup>3</sup>/a en que han sido evaluadas las demandas de riego de la prevista ampliación de la cota 300. Esta conclusión es independiente de los datos hidrológicos con que se ha realizado el cálculo.
2. La determinación de las posibilidades de regulación superficial mediante el sistema de embalses Béznar/Rules, con los 58,6 hm<sup>3</sup> de capacidad útil proyectada para el segundo de ellos, varía sustancialmente según los datos hidrológicos con que se efectue el cálculo:
  - a) Si se utilizan las series PH de aportaciones naturales, resulta la siguiente capacidad de regulación conjunta:

4,3	hm <sup>3</sup> /a	para los riegos del valle de Lecrín,
34,9	"	para la ampliación de la cota 300,
25,1	"	para abastecimiento urbano e industrial,
9,1	"	de caudal ecológico (aguas abajo de Rules), y
21,2	"	para los riegos tradicionales de las vegas de Motril y Salobreña, cuyas demandas ascienden a 77,2 hm <sup>3</sup> /a.

Es decir, sólo se podrían dotar 1.562 de las 5.700 ha de riegos tradicionales de Motril y Salobreña, salvo, claro está, que se renunciase a la mayor parte de las dotaciones anteriores (ampliación de la cota 300, mejora del abastecimiento, etc.).

(\*) La moderada duración de las series foronómicas disponibles y las discrepancias existentes entre ellas hacen aconsejable optar por una garantía estadísticamente máxima en el cálculo de la regulación superficial.

- b) Si, por el contrario, se utilizan las series EU de aportaciones disponibles o "aforadas", resulta la siguiente capacidad de regulación conjunta:

4,3	hm <sup>3</sup> /a	para los riegos del valle de Lecrín,
34,9	"	para la ampliación de la cota 300,
25,1	"	para abastecimiento urbano e industrial,
9,1	"	de caudal ecológico (aguas abajo de Rulles), y
82,7	"	para los riegos tradicionales de las vegas de Motril y Salobreña, cuyas demandas ascienden a 77,2 hm <sup>3</sup> /a.

Es decir, se podrían dotar con un ligero margen de seguridad las 5.700 ha de riegos tradicionales de Motril y Salobreña.

3. La ausencia de perspectivas que se derivarían de la utilización de las series PH ha hecho que, en el análisis de opciones de regulación más ambiciosas que la sola dotación de demandas internas, se hayan utilizado exclusivamente las series EU de aportaciones disponibles. Sin embargo, ello no supone, en principio, una mayor fiabilidad para éstas.
4. De acuerdo con los datos hidrológicos incluidos en el estudio de viabilidad de la ampliación de la cota 300, la puesta en práctica de los objetivos contemplados en la opción III, es decir, la regulación hiperanual estricta con apoyo a la subzona A1, implicaría un déficit de 16,4 hm<sup>3</sup>/a en la dotación de los riegos tradicionales de Motril y Salobreña, es decir, 1.212 ha de los mismos quedarían sin dotar por la regulación superficial.
5. De acuerdo también con los datos hidrológicos incluidos en el citado estudio de viabilidad, la puesta en práctica de la opción IV, es decir, el apoyo a la subzona A1 y el trasvase de 28,5 hm<sup>3</sup>/a a la cuenca del río Adra, implicaría un déficit de 40,8 hm<sup>3</sup>/a en la dotación de los riegos tradicionales de Motril

y Salobreña, es decir, 3.009 ha de los mismos quedarían sin dotar por la regulación superficial.

Por otro lado, desde un punto de vista exclusivamente hidrológico, la derivación de hasta 950 l/s de aportaciones propias del embalse de Rules, sólo resultaría viable si la misma partiese desde el propio embalse, lo que, por otro lado, haría necesarias unas muy importantes obras de infraestructura. Si el punto de derivación estuviese situado en el río Trevéz se sería muy problemático derivar más de 20 hm<sup>3</sup>/a de aportación media (no regulada).

6. En el marco de una posible gestión hidrológica exclusivamente dedicada a la dotación de demandas internas de la cuenca del Guadalfeo, es decir, sin apoyo a la subzona A1 ni trasvase al río Adra, podría resultar hidrológicamente alternativa y económicamente interesante la regulación hidrogeológica de la circulación subterránea en Rules, de muy elevada eficacia hidrológica y nulo impacto ambiental, frente a la construcción del embalse proyectado para dicho emplazamiento.
- 4<sup>a</sup>. La coordinación de la regulación superficial mediante los embalses de Béznar y Rules, con la regulación hidrogeológica de los manantiales de Padul, Cijancos y Vélez de Benaudalla permitiría acortar el déficit de dotación de las demandas de riego tradicional en las vegas de Motril y Salobreña en relación con el calculado en las opciones III (1.212 ha) y IV (3.009 ha), hasta quedar reducido, en un régimen hiperanual estricto a:  

524	ha	en la opción III-bis y
2.321	"	en la opción IV-bis.
- 5<sup>a</sup>. La puesta en práctica de una regulación conjunta o complementaria, mediante los dos embalses superficiales y el sistema acuífero aluvial Motril-Salobreña, coordinada con la regulación hidrogeológica de los manantiales mencionados, permitiría cubrir el déficit (524 ha) correspondiente a la opción III-bis. Tal objetivo, en el

que, como margen de seguridad, se supone la continuación de los actuales bombeos de agua subterránea en el sistema acuífero, representaría aproximadamente el máximo esfuerzo adicional recabable del sistema acuífero, en el marco de una regulación hiperanual estricta.

La aplicación del programa REGRIO2 ha permitido determinar que, con una política de anticipación de bombeos caracterizada por un valor de  $ALFA = 4,0$ , se optimizaría la intervención del sistema acuífero en dicha regulación conjunta:

1. Sería necesario disponer de una capacidad de bombeo complementaria (\*) de  $1,69 \text{ m}^3/\text{s}$ .

2. El bombeo medio hiperanual a realizar en el sistema ascendería a  $17,90 \text{ hm}^3/\text{a}$ :

17,11  $\text{hm}^3/\text{a}$  explotación actual (542 l/s) y

0,79 " complemento de bombeo para la regulación conjunta (25,2 l/s).

3. Si bien el bombeo medio complementario es muy reducido, los máximos del mismo son importantes (\*\*):

331 l/s de máximo anual (3<sup>er</sup> año)

1.688 " de máximo mensual (agosto, 3<sup>er</sup> año)

Asimismo, los excedentes superficiales que seguirían registrándose en el marco de la regulación conjunta modificarían la recarga del sistema a la altura del azud de Lobres y por percolación desde el lecho del río, y las pérdidas de éste en el mar. Los correspondientes valores medios pasarían a ser (\*\*\*):

(\*) La capacidad de bombeo instalada en la actualidad en los sondeos localizados en el sistema asciende a  $2,53 \text{ m}^3/\text{s}$ .

(\*\*) Dichos máximos son, en todo caso, comparables a los correspondientes al bombeo medio realizado durante el trienio 1985/86-1987/88:

542 l/s de promedio anual y  
1.044 " de máximo mensual (en agosto)

(\*\*\*) Los valores medios correspondientes al periodo 1972/73-1987/88 han sido:

490 l/s recarga lateral subterránea a la altura del azud de Lobres,  
937 " percolación hacia el sistema acuífero, y  
1.142 " pérdidas del río en el mar.

497	l/s	recarga lateral subterránea a la altura del azud,
826	"	percolación desde el lecho, y
1.061	"	pérdidas del río en el mar.

- 6ª. El funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero Motril-Salobreña, analizado mediante simulación matemática de los bombeos y de la recarga indicados en la conclusión anterior, aplicados al periodo de cálculo de la regulación superficial conjunta (1950/51-1979/80), ha reflejado una satisfactoria evolución de la superficie piezométrica libre del acuífero aluvial y una contención aceptable de la intrusión marina.

Se plantea, no obstante, un ligero riesgo de breve intrusión sobre el tramo de costa de unos 850 m de longitud situado inmediatamente al Noroeste de la desembocadura del Guadalfeo en el mar, que tendría lugar únicamente en 2 meses aislados de la serie de 360 simulados. El caudal instantáneo máximo de agua de mar que podría llegar a entrar a lo largo del indicado frente ascendería a 9,25 l/s en uno de los dos meses (noviembre, 5º año), y a 0,76 l/s en el otro (noviembre, 4º año).

Sin embargo es preciso tener en cuenta el doble margen de seguridad que va implícito en los indicados resultados:

1. La adopción de un régimen hiperanual y estricto o de garantía estadísticamente máxima, en el cálculo de la regulación superficial, en el que no se han permitido déficits de dotación en ninguno de los meses del periodo de simulación. Un criterio menos exigente en la dotación de demandas, como el contemplado en el estudio de viabilidad de la ampliación de riegos de la cota 300, redundaría obviamente en una disminución del indicado riesgo de ligera intrusión.
2. Se ha supuesto el mantenimiento de todos los bombeos que se realizan actualmente en el sistema acuífero, a pesar de que los mismos están destinados a dotar demandas de riego y abastecimiento urbano e industrial que se preve atender en su totalidad mediante la propia regulación, por lo que es de

prever que se registrase una sustancial reducción de los mismos.

- 7<sup>a</sup>. En cualquier caso, parece claro el calificativo de "máximos" que cabe asignar a los objetivos de dotación de demandas de agua contemplados en la **opción III** de la regulación superficial hiperanual estricta: dotación de las demandas internas de la cuenca del Guadalfeo, actuales y proyectadas, y apoyo a la subzona **A1**, constituida por las vecinas áreas de Almuñécar, La Herradura, Gualchos, Jete, Otívar y Lentegí .