

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

ANALISIS DETALLADO DEL ESTADO ACTUAL DE LOS  
ACUIFEROS COSTEROS DEL LITORAL LEVANTINO.  
POSIBILIDADES PARA LA OPTIMIZACION DE SU  
GESTION.

MEMORIA. TOMO-I

Valencia, Diciembre 1981



## INDICE

	Pag.
1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	2
3. AREA DE ESTUDIO	3
4. PLAN DE TRABAJO	5
5. METODOLOGIA DE TRABAJO	6
5.1. ACTUALIZACION DEL USO DEL AGUA SUBTERRANEA	7
5.2. REVISION DE LAS CONDICIONES DE BORDE CON LOS ACUIFEROS CALIZOS	8
5.3. REINTERPRETACION DE LA GEOFISICA REALIZA <u>DA</u> EN LAS PLANAS	13
5.4. ANALISIS DETALLADO DEL PROCESO DE ALIMEN <u>CI</u> <u>ON</u> Y DESCARGA DE LOS ACUIFEROS COSTEROS	15
5.4.1. Entradas laterales	17
5.4.2. Infiltración de los excedentes de riegos, procedentes de aguas su-- perficiales y subterráneas	20
5.4.3. Infiltración del agua de lluvia	20
5.4.4. Bombeos para usos agrícolas, urbanos e industriales.	20
5.4.5. Descarga subterránea al mar	21
5.4.6. Salidas por drenes y bombeos en marja <u>l</u> lerias.	25
5.4.7. Descarga por manantiales	28

	Pag.
5.4.8. Relación acuíferos - río	28
5.5. MEJORA SOBRE CONOCIMIENTO DE SU COMPOR <u>TAM</u> TAMIENTO HIDRAULICO	29
5.6. ESTUDIO DE LA CALIDAD ACTUAL DEL AGUA Y SU EVOLUCION ESPACIAL Y TEMPORAL COMO CONSECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES CONTAMI <u>N</u> NANTES	30
5.7. ANALISIS DE LA PROBLEMATICA PLANTEADA POR EL USO ACTUAL DEL AGUA	31
5.8. PLAN DE ACTUACIONES FUTURAS PARA LA UTI <u>L</u> LIZACION MAS ADECUADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS	38
6.1. PLANA DE CASTELLON-SAGUNTO	39
6.1.1. Introducción	40
6.1.2. Definición	41
6.1.3. Funcionamiento hidráulico	46
6.1.4. Uso actual del agua subterránea	54
6.1.5. Balance	59
6.1.6. Análisis de la problemática planteada por el uso actual del agua subterránea	70
6.1.7. Calidad del agua subterránea y su evo- lución.	71
6.1.8. Proposiciones para la optimización de la gestión del agua subterránea	75
6.2. PLANA DE GANDIA-DENIA	80
6.2.1. Introducción	81
6.2.2. Definición geometría del embalse subte- rráneo	82
6.2.3. Funcionamiento hidráulico	88

	Pag.
6.2.4. Uso actual del agua	93
6.2.5. Balance	94
6.2.6. Análisis de la problemática planteada por el uso Actual del agua subterránea	111
6.2.7. Calidad química y su evolución	116
6.2.8. Proposiciones para la optimización de la gestión del agua subterránea	118
 6.3. PLANA DE OROPESA-TORREBLANCA	 126
6.3.1. Introducción	127
6.3.2. Definición geométrica del embalse subterráneo	128
6.3.3. Funcionamiento hidráulico	136
6.3.4. Uso actual del agua subterránea	145
6.3.5. Balance	146
6.3.6. Análisis de la problemática planteada por el uso actual del agua subterránea	156
6.3.7. Calidad química del agua y su evolución	160
6.3.8. Proposición para la optimización de la gestión del agua subterránea	163
 6.4. PLANA DE VINAROS - PEÑISCOLA	 166
6.4.1. Introducción	167
6.4.2. Definición geométrica del embalse subterráneo	169

	Pag.
6.4.3. Funcionamiento hidráulico	177
6.4.4. Uso actual del agua subterránea	184
6.4.5. Balance	188
6.4.6. Análisis de la problemática planteada por el uso actual del agua subterránea	296
6.4.7. Calidad química del agua y su evolución	208
6.4.8. Proposiciones para la optimización de la gestión del agua subterránea	212
6.5. PLANA DE VALENCIA	215
6.5.1. Introducción	216
6.5.2. Definición geométrica del embalse subterráneo	217
6.5.3. Funcionamiento hidráulico	227
6.5.4. Uso actual del agua subterránea	236
6.5.5. Balance	239
6.5.6. Análisis de la problemática planteada por el uso actual del agua subterránea	253
6.5.7. Calidad química del agua y su evolución	254
6.5.8. Proposiciones para la optimización de la gestión del agua subterránea	256
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	260

#### ANEJOS

- . REGADIOS EN LA PLANA DE VALENCIA
- . ACTUALIZACION DEL USO DEL AGUA SUBTERRANEA EN LOS ACUIFEROS DEL LITORAL LEVANTINO.

## 1. ANTECEDENTES

Dentro del Plan Nacional de Investigación de las Aguas Subterráneas (P.I.A.S.), integrado a su vez en el Plan Nacional de Investigación Minera (P.N.I.M.), el INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA estudió los sistemas acuíferos en las cuencas del Guadiana, Segura, Júcar, Sur, Guadalquivir, Islas Baleares, Duero, Ebro, Tajo y Norte.

En el caso concreto de la cuenca del Medio y Bajo Júcar se estudiaron los sistemas acuíferos nºs. 50, 51, 52, 53, 54, 55 y 56. Posteriormente a ello, se continuó en dichos sistemas, dentro del Plan de Conservación y Gestión de Acuíferos, mediante una serie de acciones destinadas a suministrar la información y conocimiento adecuado para la gestión y conservación de las aguas subterráneas.

Dentro de este último Plan, se integra este Proyecto cuyos objetivos fundamentales tienden al conocimiento detallado de los acuíferos costeros del litoral levantino. Este conocimiento permitirá la elaboración de un plan general de utilización y conservación de sus acuíferos.

#### 6.1.5.2. Infiltración por agua de lluvia

Para su determinación durante el período correspondiente al modelo se analizaron los datos de siete estaciones termopluviométricas situadas en el acuífero detrítico y en sus bordes. El valor de la infiltración se estimó al considerar la diferencia entre la lluvia y la evapotranspiración potencial según Thornthwaite. Los valores obtenidos fluctuaron entre el 18 y 32% de la precipitación total, y se aplicaron a las áreas de influencia de cada estación. El valor obtenido con esas hipótesis ascendió a  $50 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Actualmente se ha seguido idéntico procedimiento para estimar el valor medio correspondiente al período en estudio, dicho valor para cada uno de los sectores se indica en el cuadro adjunto. El valor correspondiente al conjunto de la plana asciende a  $35 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

#### 6.1.5.3. Infiltración por excedentes de riego con aguas superficiales

Las áreas de regadío abastecidas con aguas superficiales ascendían en el 1972 a : 12.300 ha pertenecientes al sector denominado riegos tradicionales del río Mijares; y 9.680 ha. denominadas como de riegos mixtos que se abastecían fundamentalmente con aguas superficiales, del río Palancia y de la Rambla de la Viuda, aunque a veces se tenían que cubrir los déficits en el suministro mediante aguas subterráneas.

De aquella fecha hasta el momento actual, y como consecuencia de la sequía, las superficies regables mixtas han pasado progresivamente a abastecerse, casi exclusivamente, con agua sub-

terránea, especialmente a partir del año 1979. La última actualización de las superficies regables, realizada durante el 1981, ha puesto de manifiesto que los regadíos con aguas superficiales se reducen al dominio de los riegos tradicionales del Mijares.

Los cultivos en la Plana son fundamentalmente cítricos. Las dotaciones medias obtenidas a partir de muestreos son del orden de  $8.000 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

La alimentación media al acuífero por este concepto se ha estimado en  $60,0 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Para el período de simulación del modelo se estimó en  $80 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

#### 6.1.5.4. Infiltración por regadíos con agua de manantiales.

Dentro de la Plana se han abastecido tradicionalmente 1.530 ha. con las aguas de los manantiales de : Quart, La Llosa y El Molino. Las superficies regables para cada una de ellas es de 830, 283 y 420 ha. respectivamente.

A causa de la sequía y de las extracciones que se realizan en sus proximidades el caudal de las fuentes ha disminuido y como consecuencia el número de hectáreas por ellas abastecidas. Actualmente se considera que el caudal natural de estas fuentes podría abastecer satisfactoriamente solamente a unas 300 ha.

El valor medio estimado, teniendo en cuenta la evolución regresiva indicada, se evalúa en unos  $3,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

#### 6.1.5.5. Salidas subterráneas al mar

Estas salidas fueron cuantificadas por vez primera durante la realización del modelo, su suma ascendía a  $75 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Dichas salidas no se producían de igual forma a lo largo de toda la costa, se concentraban fundamentalmente en las mallas costeras de ordenadas, vease plano nº 3, 19 a 21 y 8 a 15 inclusive. Las restantes mallas costeras presentaban salidas nulas - despreciables. Dentro de las denominadas mallas excedentarias, existían algunas como la 19-14 y 19-15 que presentaban valores de salidas muy pequeños.

En las zonas del litoral, correspondientes a las mallas en equilibrio, o con salidas muy pequeñas, es donde se han iniciado los fenómenos de intrusión. Dichas zonas están situadas : al NE de la desembocadura del río Palancia, al Este de Moncófar y al NE de Castellón, próximo a Benicasim.

Para estimar el valor actual y el correspondiente al período en estudio, se han extrapolado a partir de la piezometría de la red de control, el valor de la descarga subterránea al mar considerando para ello la relación entre ésta y la piezometría de los bordes de la Plana durante la realización del modelo. Los resultados obtenidos se indican en el cuadro adjunto. El valor medio total asciende a  $60 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

6.1.5.6. Descargas por emergencias del borde próximo al mar y bombeo en marjalerias.

En las proximidades de Castellón y Almenara existen un número importante de fuentes que provienen de la descarga del acuífero. Estas zonas se encuentran también surcadas por una serie de canales de regadío y desagüe que sirven también de drenes y reciben por tanto el agua del acuífero. La cuantificación de esta descarga por medición directa, a pesar de las dificultades encontradas, se ha realizado mediante las estaciones de aforo del IGME indicadas a continuación. Este factor también ha sido tenido en cuenta en la construcción del modelo hidrológico obteniéndose la magnitud del mismo ( $40 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) como resultado de su puesta a punto.

Para la obtención del valor medio, en este concepto, a partir de los datos del modelo, se ha extrapolado su relación funcional con las salidas subterráneas al mar. Los datos obtenidos, de este modo, se han comparado con las medidas directamente en las estaciones de aforo. Los valores obtenidos por los dos procedimientos son:

- Mediante los datos del modelo	23	$\text{hm}^3/\text{año}$
- Mediante aforo directo	28,50	$\text{hm}^3/\text{año}$
- Gola Casablanca (E-29+E-28+E-31-E.9)	17,30	$\text{hm}^3/\text{año}$
- Motores de Castellón (E-56+E-57+E-58)	11,25	$\text{hm}^3/\text{año}$

#### 6.1.5.7. Descarga por manantiales

En el acuífero existen descargas localizadas producidas como consecuencia de un contraste de transmisividad, las más importantes son las de Almenara, La Llosa y el Molino. La primera y última se han controlado sistemáticamente, la segunda se ha medido periódicamente. Durante la realización de modelo se simuló la condición de emergencia para todas ellas. Para la obtención de los valores correspondientes al período del balance 1972-1981 se dispone de dos series de datos, los correspondientes a los afloros realizados y los deducidos mediante la extrapolación de la correlación entre entradas laterales y caudales de descargas obtenida a partir de los datos del modelo y el control piezométrico de la zona.

Los valores medios obtenidos por uno y otro procedimiento son:

- Mediante datos del modelo ...	23,5 hm <sup>3</sup> /año
- Mediante aforo directo	19,60 "
. Manantiales de Almenara	3,30
. Manantial de la Llosa	3,00
. Fuente del Molino	13,30
TOTAL ....	19,60

#### 6.1.5.8. Extracción neta del acuífero mediante bombeos

Existen un total de 600 pozos y sondeos equipados con una potencia instalada de 48.000 CV que se utilizan para el abastecimiento de la población, industria y agricultura.

La extracción neta total anual obtenida por encuesta directa en cada una de las instalaciones, ha sido, para el año 1972 y la media del período, de la forma siguiente:

##### 1.972

. Abastecimiento urbano	38	hm <sup>3</sup> /año
. Abastecimiento industrial	20	"
. Uso agrícola	76	"
TOTAL ..	134	"

##### Media del período (1972-1981)

. Abastecimiento urbano	48,5	hm <sup>3</sup> /año
. Abastecimiento industrial	22,00	"
. Uso agrícola	96,20	"
TOTAL ..	166,70	"

#### 6.1.5.9. Variación en el almacenamiento en el acuífero

Como consecuencia de la disminución de alimentación al acuífero por efecto de la sequía y del incremento de las extracciones, la superficie piezométrica ha registrado un descenso - que, para el período en estudio, supone una variación de almacenamiento media anual de  $14,5 \text{ hm}^3$ .

#### 6.1.5.10. Balance

El balance para la media del período 1972-1981, se detalla a continuación y se esquematiza en la fig. nº 21 adjunta.

##### Entradas

Alimentación lateral	161,80	$\text{hm}^3/\text{año}$
Infiltración por lluvia	35,0	"
Infiltración por excedentes de riego con aguas superficiales	60,0	"
Infiltración por excedentes de riego con agua de manantiales	3,50	"
TOTAL.....	260,30	"

## 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos del estudio se pueden indicar del modo siguiente:

- Análisis detallado de la geometría, condiciones de borde y muro, potencia, extensión lateral, etc., y funcionamiento hidráulico de los acuíferos costeros del litoral levantino.
- Evaluación y determinación de la problemática planteada por el uso de sus recursos y reservas hidráulicas.
- Elaboración de planes generales para la optimización de su utilización y conservación.
- Aplicación y desarrollo de estas metodologías a los acuíferos costeros de las planas de Castellón y Oropesa-Torreblanca.

Salidas

. Descarga por manantiales	19,60	hm <sup>3</sup> /año
. Descarga por emergencias del borde Este y bombeos en arjalerias	28,50	"
. Extracción neta del acuífero mediante bombeo	160,70	"
. Descarga subterránea al mar	60,00	"
TOTAL	275,10	"

Variación de almacenamiento : - 14,50 hm<sup>3</sup>

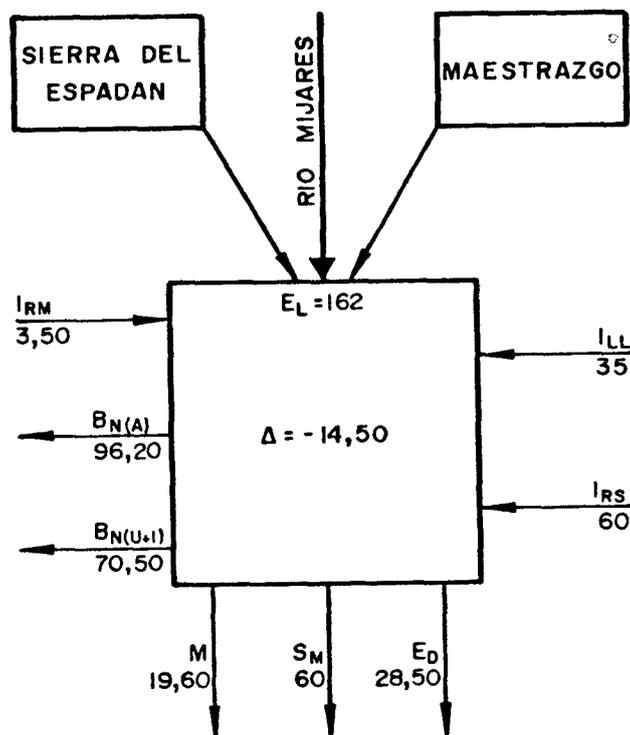


FIG: 21

BALANCE DE LA PLANA DE CASTELLON-SAGUNTO (1972-1981)

Sectores	$E_L$	$I_{IL}$	$I_{RM}$	$I_{RS}$	$S_M$	$E_D$	M	BN(A)	BN(u+I)	$\Delta$
A	47,50	8,00	2,00		17,00			23,00	22,00	-4,5
B	52,00	6,50	0,60		7,00	17,30	6,30	27,0	5,0	-3,5
C	59,60	19,0	0,90	60,00	36,00	11,20	13,30	45,00	40,00	-6
D	2,70	1,50			0,00			1,20	3,50	-0,5
TOTAL	161,80	35,00	3,50	60,00	60,00	28,50	19,60	96,20	70,50	-14,50

. El límite de la interfacies no penetra en los acuíferos calizos de borde excepto en las proximidades de Almenara y Benicasim.

. Los sectores donde la zona de difusión es más amplia, coinciden con Moncófar, Sagunto y Benicasim.

Hay que hacer constar que dicha situación límite depende fundamentalmente de las salidas subterráneas al mar, puesto que ellas condicionan la inclinación general de la superficie de la interfacies.

#### 6.1.7. Calidad del Agua Subterránea y su Evolución

Las aguas son fundamentalmente de facies sulfatada cálcica y evolucionan hacia otras cloruradas sódicas en las proximidades litoral.

Los datos actuales mantienen las tendencias puestas de manifiesto por el primer informe de calidad. Es decir, menor concentración salina en las inmediaciones del río Mijares, con incrementos alrededor de los ríos Seco y Palancia, para alcanzar el máximo en las zonas de Moncófar-Chilches y Benicasim debido a la intrusión salina. (planos nºs. 10 y 11).

Las alteraciones de calidad más notables puestas de manifiesto desde entonces son las siguientes:

- Crecimiento notable del contenido en  $\text{NO}_3^-$ , siguiendo la tendencia apuntada en el último muestreo considerado en el primer informe, en el cual se aprecia un brusco aumento en relación con las campañas precedentes.

A lo largo de los sucesivos muestreos efectuados se observa que este incremento se ha mantenido, si bien a un ritmo apreciablemente menor, siendo frecuentes, concentraciones comprendidas entre 80 mg/l y 110 mg/l (excepcionalmente se ha llegado a alcanzar valores próximos a 170 mg/l.

- El residuo seco presenta igualmente tendencia a un moderado crecimiento, si bien en algunos casos se puede hablar de estabilización. La cuantía del incremento se estima inferior a un 15-20%, situándose en las zonas en las que no se detecta intrusión salina con valores comprendidos entre 600 y 1200 mg/l, con valores mínimos en las inmediaciones del río Mijares. El mayor peso específico, en el incremento detectado, se debe al  $\text{SO}_4^{2-}$ , que presenta tendencia generalizada al aumento, superándose con frecuencia los 400 mg/l.

- La presencia de nitritos y  $\text{NH}_4$  queda reducida a eventuales apariciones en concentraciones muy bajas sin continuidad posterior. La DQO muestra esta tónica si bien en ocasiones supera el valor de 3 mg/l fijado por el C.A.E. En cualquier caso el valor promedio no representa ningún incremento con respecto a la obser

da en campañas precedentes.

- Los metales pesados se encuentran a niveles de trazas en esporádicas apariciones sin continuidad. El muestro de V-78, es, de todos los observados, el que detectaba mayor presencia de tales elementos, siempre en concentraciones muy inferiores a las admisibles.
- El contenido en cloruros se mantiene prácticamente estacionario en las aguas no pertenecientes a la facies clorurada sódica y se encuentra en progresivo crecimiento en zonas actualmente afectadas por intrusión salina. Así, en el área de Moncófar la concentración en este ión prácticamente se ha duplicado, alcanzándose valores de hasta 2.500 mg/l.

Al Sur de Benicasim sucede prácticamente lo mismo, alcanzándose cifras superiores a 1.500 mg/l.

Por el contrario el mínimo contenido en cloruros se dan en las inmediaciones del río Mijares con 50 mg/l aproximadamente, mientras que en la zona de Sagunto la situación se mantiene estacionaria debido a la disminución de las extracciones.

- Practicamente todos los abastecimientos sobrepasan, en uno o más componentes, los límites finados como admisibles por el C.A.E., éstos son:

- . 3024-7012 (Benicasim)  
 $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y R.S.
- . 2927-3022 (Burjasot)  
 $\text{NO}_3$  y eventualmente DQO
- . 3026-1037 (Monc6far)  
 $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y R.S.
- . 3025-2007 (Castell6n)  
 $\text{NO}_3^-$  y eventualmente DQO
- . 3025-2039 (Castell6n)  
Eventualmente  $\text{NO}_3^-$
- . 2926-3001 (Sagunto)  
 $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{NO}_3^-$
- . 3025-6012 (Castell6n)  
 $\text{NO}_3$
- . 3025-1026 (Castell6n)  
 $\text{NO}_3$  y eventualmente DQO

### 6.1.8 Proposiciones para la Optimización de la Gestión del Agua Subterránea

La gestión de los recursos subterráneos de la Plana de Castellón-Sagunto debe perseguir esencialmente los objetivos siguientes:

- De una parte, proporcionar para cada uso el agua de calidad más adecuada.
- De otra, satisfacer las necesidades urbanas, industriales y agrícolas existentes.

#### 6.1.8.1. Usos agrícolas

El problema está planteado por la intrusión salina, ocasionado precisamente por las extracciones que se realizan en gran parte para este uso. Se proponen las acciones siguientes:

##### . Area de Benicasim.

Se recomienda utilizar en invierno los sobrantes de la Fuente del Molino para recargar el acuífero, que para el período en estudio ascienden a un valor medio de  $5 \text{ hm}^3/\text{año}$ , utilizando las captaciones existentes, con lo que se elevará la superficie piezométrica de la zona y consecuentemente se frenará la intrusión salina. Alternativamente, previa regulación de la citada fuente, bombear en ella durante la época de demanda transportando los caudales al área en cuestión, al mismo tiempo que se disminuyen las extracciones en la misma medida que los volúmenes aportados.

Esta medida deberá ser complementada con la importación, de agua subterránea procedente de los acuíferos calizos del borde SW, sobre todo actualmente a causa de la sequía, ya que los sobrantes de la fuente, que en años de pluviosidad normal son suficientes para compensar el déficit existente, han descendido para el año 1980-1981 a un valor de  $0,8 \text{ hm}^3$ .

. Area de Moncófar

La solución del problema planteado se basa en la importación de agua subterránea de buena calidad.

- a) Aguas subterráneas de los acuíferos mesozóicos de borde.
- b) Aguas superficiales procedentes de los sobrantes del regadio de Burriana, que en un 80% se concentran en el período abril-septiembre coincidente con la mayor demanda de regadíos.
- c) Aguas depuradas procedentes de usos urbanos de las poblaciones de Villareal y Burriana (unos 200 l/sg).

. Area de Sagunto

La problemática de esta zona se podría paliar mediante:

- a) Recarga artificial con las aguas residuales de Sagunto ( $3,8 \text{ hm}^3/\text{año}$ ).
- b) Utilización de los sobrantes de la fuente de Almendra ( $3,3 \text{ hm}^3/\text{año}$ )

- c) Importación del agua subterránea de los acuíferos mesozóicos de borde.
- d) Recarga artificial con las aguas superficiales - del Mijares .

Simultáneamente a los problemas descritos en estas zonas concretas de la Plana de Castellón, como en todo acuífero costero, la extracción prolongada e incontrolada de las reservas en los períodos de baja pluviosidad-época de los más bajos niveles en el embalse subterráneo- provoca un avance generalizado del agua del mar dentro del acuífero, y desplaza la interfase hacia el interior, reduciendo las reservas de agua dulce del mismo y limitando por tanto el espacio geométrico en que se debe operar la extracción. La capacidad de regulación que suministran en general las reservas de un acuífero, en estos casos desgraciadamente no puede ser utilizada si se quiere evitar la intrusión. Se impone, pues, reducir, las extracciones en estos períodos con la consiguiente necesidad de aportar nuevos recursos exteriores.

De ahí se piensa en la necesidad de incrementar al máximo la regulación hiperanual del río Mijares -no se olvide que la mayor parte de su escorrentía tiene un origen subterráneo- lo que permitiría . asegurar los regadíos tradicionales existentes.

Dicha regulación se juzga que puede aumentar -aparte de la que se consiga por la vía clásica de construcción de - embalses superficiales si ello es posible- integrando en el sistema los embalses subterráneos de la Unidad Jurásica (Javalam--

bre) del Sistema del Maestrazgo; para ello habría que realizar baterías de captaciones en el curso alto del Mijares, aguas arriba del embalse Arenós, captaciones que funcionarían fundamentalmente, en los referidos períodos secos, vertiendo las aguas bombeadas al cauce del río.

Por último y como solución complementaria, existe la posible aplicación en el riego de las aguas residuales de los núcleos urbanos próximos, convenientemente tratadas, ya sean solas o mezcladas con agua de otra procedencia. Los estudios específicos que deben realizarse con esta finalidad indicarán los caudales disponibles, así como el aporte de fertilizantes naturales al terreno que supondrían el uso de estas aguas, además de la recarga del acuífero que proporcionaría el retorno del regadío, con la consiguiente contribución a frenar la intrusión marina.

#### 6.1.8.2. Usos urbanos e Industriales

A medio plazo el acuífero detrítico de la Plana tendra que destinarse, prácticamente en exclusiva, a satisfacer demandas agrícolas -dado el creciente contenido en nitrato de sus aguas por acción de las prácticas agrícolas- y por consiguiente ser sustituidas las actuales fuentes de suministro por otras procedentes de los acuíferos calizos situados en los Sistemas Acuíferos del interior.

### 3. AREA DE ESTUDIO

Se sitúa en la cuenca del Medio y Bajo Júcar, correspondiendo a los acuíferos costeros de los sistemas n<sup>os</sup> 50, 51, 55 y 56, definidos por el IGME, en su Mapa de Síntesis de Sistemas Acuíferos de España Peninsular, Baleares y Canarias.

La extensión superficial del área a estudiar es de unos 2.200 Km<sup>2</sup>. Su situación se indica en la figura nº 1 adjunta.

Para retardar al máximo esta perspectiva se recomienda:

a) Una labor de asesoramiento a los municipios de la Plana para que el vertido de residuos, sólidos y líquidos, se realice mediante vertederos controlados, u otros procedimientos técnicos adecuados.

Exigencia a la industria de la depuración adecuada de sus aguas de prácticas contaminantes.

b) Establecer perímetros de protección de las captaciones destinadas al uso humano, de forma que se proteja la calidad de sus aguas de prácticas contaminantes.

c) Revisión de las captaciones de dudosas características técnicas en relación con su protección.

d) Establecer para los Organismos correspondientes un sistema de asesoramiento a los agricultores sobre el uso de fertilizantes y pesticidas, sistema que respetando e incluso ayudando a la economía agrícola minimice el aporte de elementos químicos a las aguas subterráneas.

6.2. PLANA DE GANDIA - DENIA

o

### 6.2.1. Introducción

La Plana de Gandia - Denia, se extiende desde Tabernes de Valldigna hasta Denia. Ocupa toda la llanura costera y los Valles de los rios Jaraco, Serpis y Girona; comprende también el Valle de Pego. Tiene una longitud de unos 45 Kms., y una anchura variable entre 10 y 2 Kms. La superficie es de  $240 \text{ Km}^2$  aproximadamente. Limita al Norte con la Plana de Valencia y la Sierra de las Agujas. Al W con las Sierras de Barsella, Falconera, Ador, Mustalla, Segaria y Solana de la Llosa y al Sur con el Montgó. El limite Este lo constituye el mar Mediterráneo.

Las cotas del terreno varian desde unos 100 m., en el borde de los Valles hasta cero en su limite con el mar.

Existen en el interior de la plana dos zonas topográficamente deprimidas y permanentemente encharcadas, separadas del mar por un cordón de dunas, estas son las marjaleras de Jaraco y Pego.

El acuífero detrítico de Javea queda comprendido entre los cabos de San Antonio y San Martín; se trata de un área deprimida, toda ella bajo la cota 60 y más de la mitad, por debajo de 20 m.s.n.m., rodeada al Norte por el Montgó y al Sur y Este por las estribaciones de las Sierras de Benitachell y Castell de la Solana.

El río Gorgos cruza la zona de E a W, constituyendo sus aluviones el acuífero detrítico con una superficie de  $12 \text{ Km}^2$ .

### 6.2.2. Definición Geométrica del Embalse Subterráneo

El acuífero detrítico de Gandia-Denia y el de Javea están formados por materiales cuaternarios, y eventualmente, pliocuaternarios correspondientes a depósitos aluviales de llanuras de inundación, de pie de monte y sedimentos de playa. Son unos sedimentos muy heterométricos constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas. Localmente hay depósitos de turba en las áreas pantanosas existentes.

En los alrededores de Beniarbeig se han incluido dentro del acuífero detrítico las calizas del Mioceno inferior.

De manera general los materiales se hacen cada vez más finos y potentes, a medida que nos alejamos del área de erosión, que son las alineaciones carbonatadas. De igual manera, las granulometrias son más gruesas en las proximidades de los cauces de los ríos, con una disminución más o menos gradual al alejarnos de los mismos.

#### 6.2.2.1. Reinterpretación de la Campaña Geofísica Realizada en el Año 1.972

El muro impermeable del acuífero varia desde las margas del Keuper y Neocomiense, hasta los depósitos detríticos y margosos del Mioceno inferior y medio.

En el plano 12 se representa el mapa de isohipsas del muro del acuífero; la cota del muro varia entre - 200 m., en las proximidades de Daimuz y 100 m.s.n.m. en las proximidades de Orba. Existen tres zonas en las que el acuífero reposa discordante sobre las

calizas cretácicas; en dos de estas zonas, (Pego y Denia), el fenómeno coincide con áreas de intrusión marina al estar las calizas saturadas de agua salina.

En el plano nº 13 se representa el mapa de isopacas del cuaternario, el espesor del detrítico oscila entre 10 m. en el contacto con los bordes carbonatados y 200 m. en las proximidades de Daimuz. Como ya se ha dicho, la potencia aumenta hacia el mar y en los cauces de los ríos.

En el plano nº 14 se representa el plano de espesores saturados del acuífero detrítico. El espesor saturado varía entre 200 m. en las proximidades de Daimuz y 10 m. en el contacto con los bordes carbonatados; en áreas de esta última zona se anula ocasionalmente. El valor medio es de unos 60 m.

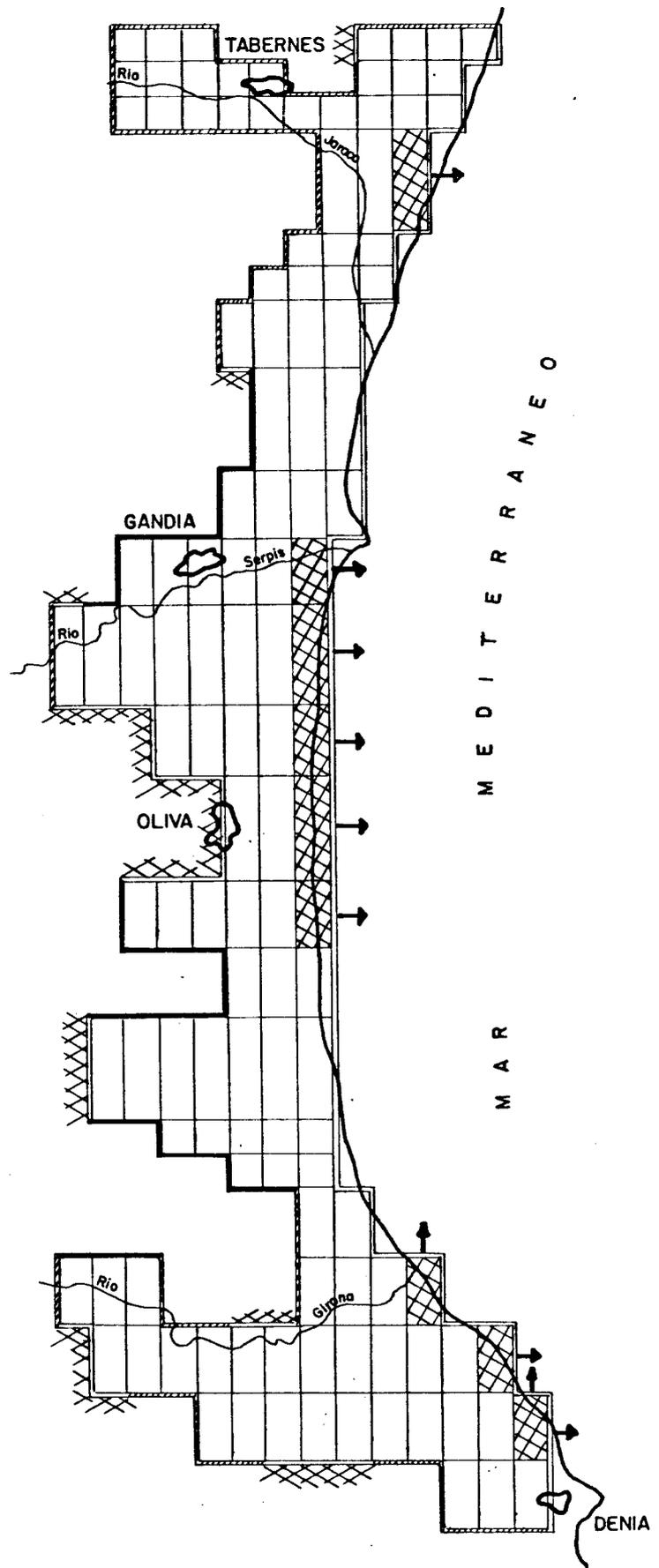
Planimetrando el mapa de isoespesor saturado y considerando un coeficiente de almacenamiento medio del 5%, se obtiene un volumen de agua en el embalse subterráneo de  $500 \text{ hm}^3$ .

En el acuífero detrítico de Javea no se dispone de datos geofísicos y los sondeos existentes no llegan hasta el muro impermeable, por lo que se desconoce su espesor. El sustrato impermeable lo constituyen las margas del Mioceno (Tap).

#### 6.2.2.2. Revisión de las condiciones de Borde

En la fig. 22 se representan las condiciones de borde del acuífero, utilizando como unidades de longitud las de cada uno de los lados de las mallas exteriores del modelo matemático.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25



1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 + 13 + 14 + 15 + 16 —

- LIMITE POTENCIAL VARIABLE
- GRAN ALIMENTACION
- //// PEQUEÑA ALIMENTACION
- XXXX LIMITE A FLUJO NULO
- ↑ SALIDAS AL MAR IMPORTANTES
- ==== LIMITE POTENCIAL CONSTANTE

RECLASIFICACION DE LAS MALLAS  
UTILIZADAS EN EL MODELO DEL  
PERIODO 1973 - 74

Se han distinguido cuatro tipos de límites:

- límite a potencial constante.
- límite a potencial variable, con gran área de alimentación .
- límite a potencial variable, con pequeña área de alimentación.
- límite de flujo nulo.

En las mallas exteriores de límite a potencial aproximadamente constante, que son precisamente las limitrofes con el mar Mediterráneo, se han distinguido aquellas con salidas importantes de agua al mar, de las que tienen salidas poco importantes e incluso intrusión marina.

Las dos zonas con alimentación lateral nula ó cuasinula son las de Palma de Gandia-Sur de Oliva y Beniarbeig-Montgó, que comprenden las mallas 2-11 a 4-14 y 2-22 a 10-24, respectivamente.

En la primera zona el borde impermeable esta formado, en la parte Norte, por el Keuper que constituye el límite septentrional de los acuíferos de Ador (Subunidad de Solana, Benicadell, Almirante y Mustalla), en la parte meridional, por el impermeable de base de dicha subunidad.

En la segunda zona, el borde impermeable esta formado por el impermeable de base del acuífero de Solana de la Llosa y por Mioceno Medio ("Tap"). Al Norte de Pedreguer existen tres celdas que alimentan al detrítico a partir del acuífero carbonatado de Solana de la Llosa, pero su alimentación es poco importante.

Las tres zonas con borde permeable pero de poca alimentación son las de, Sur de Favareta-Jeresa, Norte de Vergel-Benimeli y Montgó; que comprenden las celdas 14-1 a 7-9; 8-20 a 5-21 y 11-24 a 15-25, respectivamente.

En la primera zona, la alimentación proviene de los - acuíferos de Sierra las Agujas y de Barig.

En la segunda, el borde está constituido por las calizas del acuífero de Segaria.

En la tercera zona, el borde permeable está formado por las calizas del acuífero del Montgó, probablemente aislado.

En el resto de los bordes, la alimentación es importante; esta alimentación proviene, de los siguientes acuíferos y subunidades:

- Acuífero de Sierra Grossa
- Acuífero de Albueroa - Gallinera - Mustalla.
- Subunidad de Almudaina - Alfaro - Mediodia - Segaria.

El concepto de "alimentación importante" puede ser matizable, especialmente en las dos zonas meridionales, ya que los acuíferos de Mustalla y Mediodia - Segaria, descargan fundamentalmente - por las susgencias de Las Aguas, Solinar, Salado y Tormos, Sagra, Balsa Sineu, respectivamente; seguramente debido a que el espesor saturado del detrítico es insuficiente para evacuar subterráneamente tales descargas; es decir que aunque el acuífero carbonatado - presenta gran extensión, su conexión con el detrítico es restringida.

De las correlaciones caudal de entrada en los bordes altura piezometrica, realizadas, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Para el sector alimentado por los acuíferos de Albuerca - Gallinera - Mustalla y Segaria (Sur de Oliva - Vergel), las entradas se anulan cuando en el piezometro 6008, la cota piezometrica desciende por debajo de 3. m.s.n.m.
- Para el sector alimentado por los acuíferos de Almudaina - Alfaro - Mediodia y Solana de la Llosa, (Vergel - Pedreguer), las entradas se anulan cuando en el piezometro 2034 la cota piezometrica desciende por debajo de 75 m.s.n.m.

Este fenomeno es debido al poco espesor del acuífero detrítico, en el contacto con las calizas de borde, lo que causa que el muro del acuífero detrítico corte a la superficie piezometrica, cuando ésta desciende por debajo de ciertas cotas. Este hecho contribuye a explicar las importantes surgencias en los contactos calcareo-detríticos. (Surgencias de Tormos y Sagra).

No se revisan las condiciones de borde en el acuífero de Javea porque aun no han sido definidas, ya que no se ha realizado modelo matematico alguno.

### 6.2.3. Funcionamiento Hidraulico

#### 6.2.3.1. Características Hidraulicas y Piezométricas

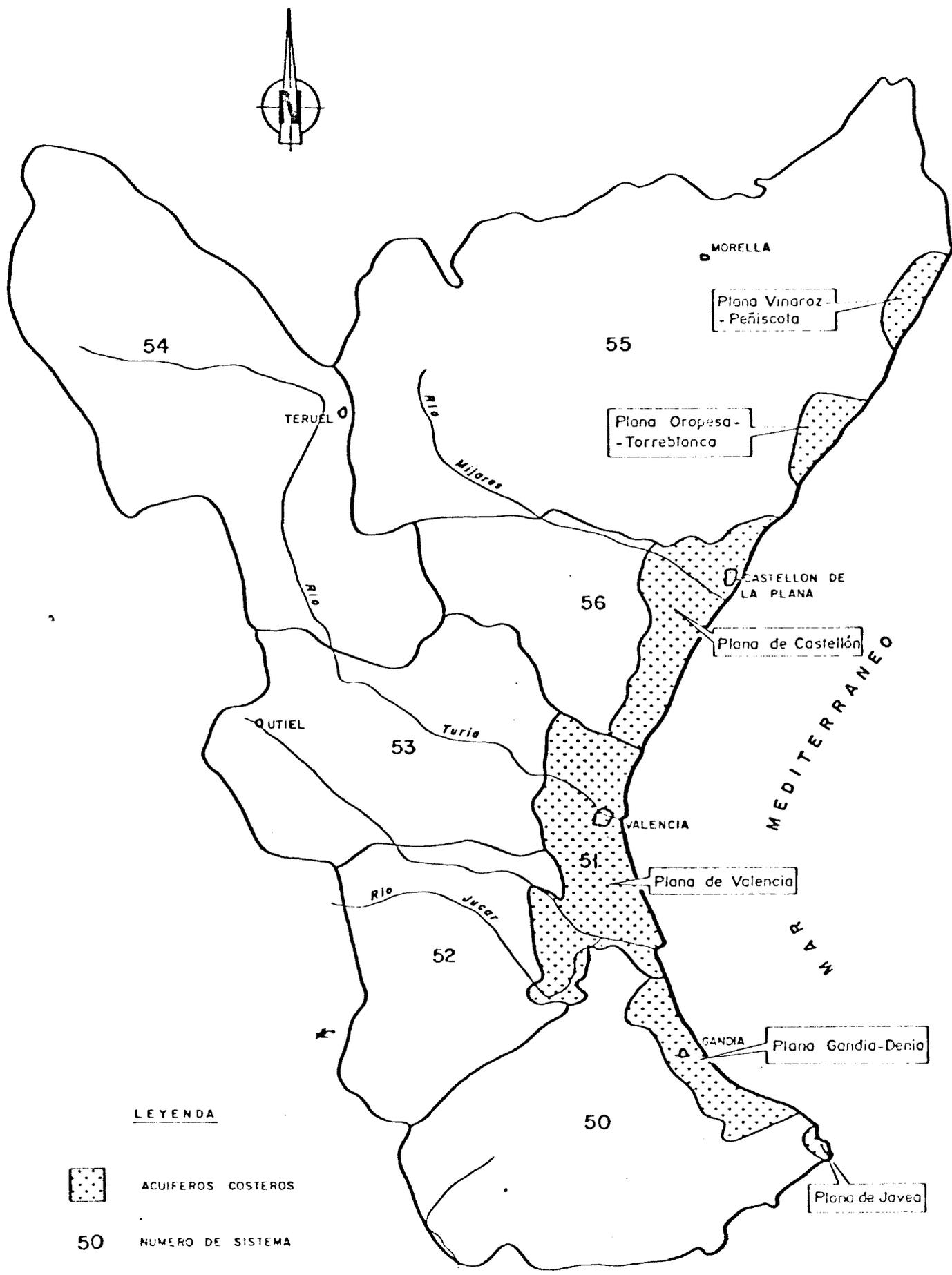
Se consideran representativos los parametros hidráulicos obtenidos a partir del modelo matemático de flujo; en las figuras 23 y 24 se representan los valores ajustados de transmisividad y almacenamiento, espacialmente discretizados. Las transmisividades quedan comprendidas en el siguiente intervalo  $500 < T < 3000 \text{ m}^2/\text{día}$ , con un valor medio, para el conjunto del acuífero - de  $1500 \text{ m}^2/\text{día}$ .

Los almacenamientos estan comprendidos en el intervalo  $5\% < S < 15\%$ , con un valor medio para el conjunto del acuífero de  $S = 7\%$ .

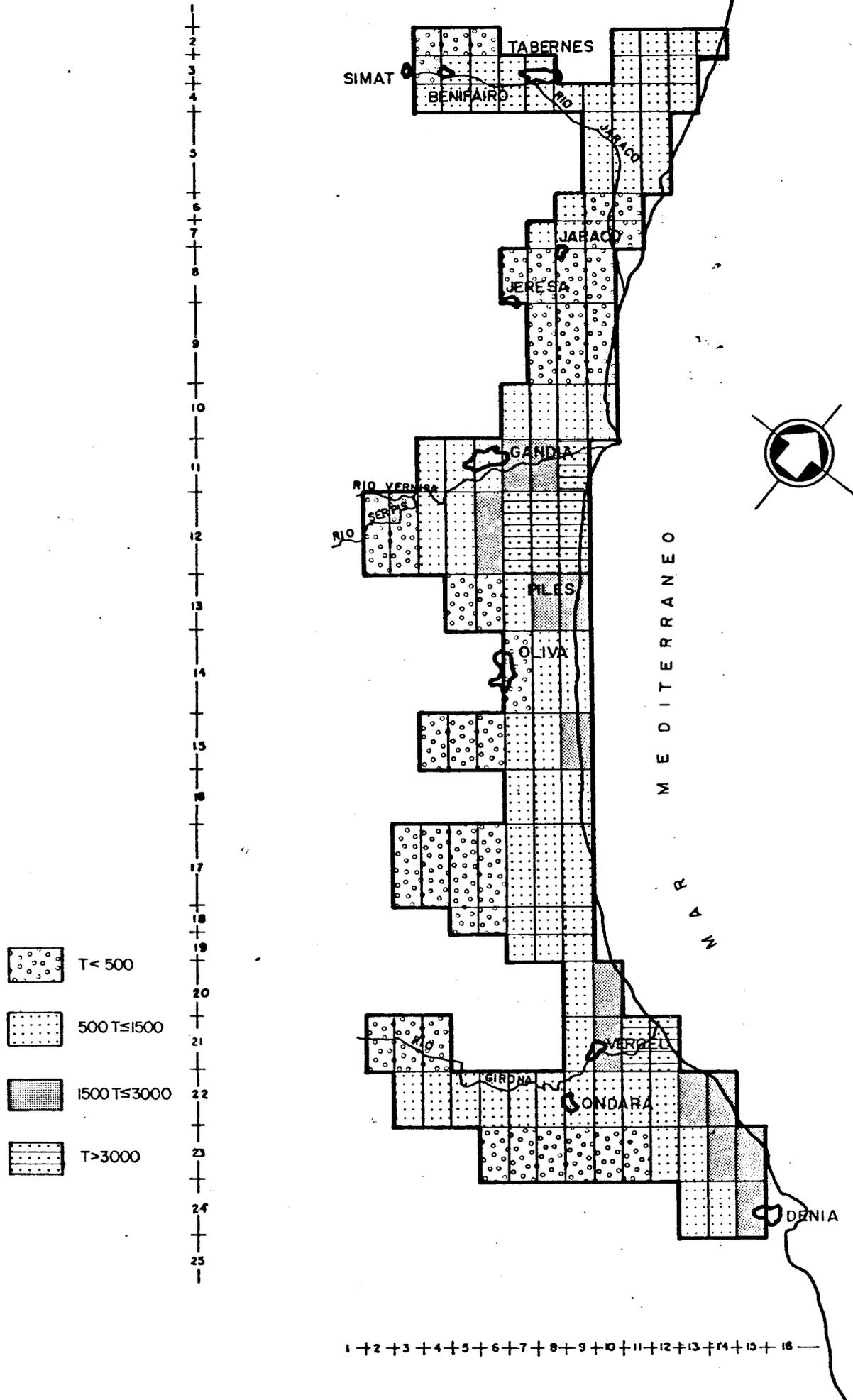
Los valores más altos de transmisividad aparecen en las zonas de mayor espesor saturado.

Los valores más elevados de almacenamiento, se observan en las proximidades de los cauces de los ríos.

Para el acuífero de Javea, por no disponer aun de modelo matematico, se ha estimado una transmisividad comprendida entre  $750$  y  $7500 \text{ m}^2/\text{día}$  que, de forma general, aumenta hacia el litoral ya que el espesor del acuífero también lo hace, al igual que la clasificación de los materiales. La estimación se ha realizado a

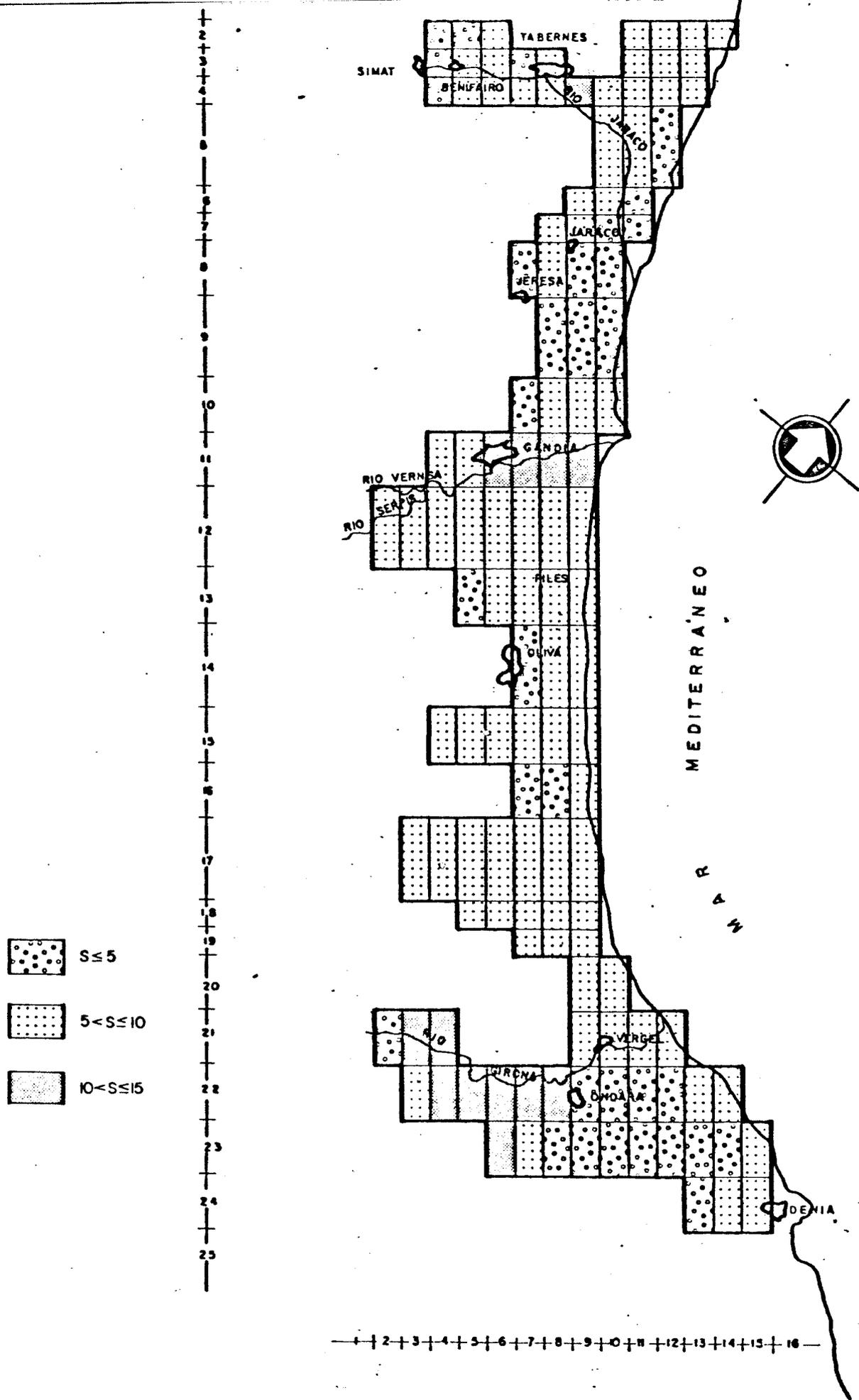


SITUACION DE LOS ACUIFEROS COSTEROS EN EL LITORAL LEVANTINO



-  T < 500
-  500 ≤ T ≤ 1500
-  1500 ≤ T ≤ 3000
-  T > 3000

VALORES DE TRANSMISIVIDAD (m<sup>2</sup>/dia)



VALORES DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (%)

partir de los datos de caudal específico, mediante la relación de Walton.

En el plano 16 se representan las isopiezas de Julio de 1981. El sentido preferencial circulación del agua subterránea es WSW-ENE, WE en Javea, desde el borde calizo de recarga hacia el mar.

En el acuífero de Javea y en tres zonas del de Gandia-Denia, se observa una depresión de la superficie piezometrica, que llega a alcanzar cotas inferiores al nivel del mar, con inversión del gradiente y por tanto del sentido de circulación del agua, produciendose fenomenos de intrusión marina. Los ríos Jaraco y Serpis drenan al acuífero como muestran las inflexiones de las curvas isopiezas.

En los piezometros de control de la evolución piezometrica de los acuíferos, se observan los siguientes fenomenos:

- La amplitud de las oscilaciones interanuales es mayor en los piezometros situados en el borde de recarga y tanto más cuanto menor es la alimentación lateral. Esta amplitud, que puede llegar a ser de 10 metros, aumenta con la sequia en los piezometros más occidentales y disminuye en los próximos al mar.
- La respuesta piezometrica a las lluvias tiene un desfase de uno a dos meses, según sea la profundidad de la superficie piezometrica y el estado de saturación -

del suelo en el momento de la precipitación.

#### 6.2.3.2. Analisis Detallado del Proceso de Alimentación y Descarga

La alimentación al acuífero de Gandia-Denia proviene de los siguientes conceptos, enumerados a continuación por orden de importancia:

- Infiltración de lluvia.
- Infiltración de regadíos.
- Entradas subterráneas de los acuíferos carbonatados
- Infiltración de los ríos Jaraco (tramo bajo), Girona, Gallinera y Gorgos

Las entradas laterales se concentran en los sectores Jeresa-Palma de Gandia, Sur de Oliva-Norte de Vergel y Tormos-Benimeli, correspondientes a los acuíferos carbonatados de Barig, Mustalla y Mediodia, respectivamente.

Las salidas se efectúan de la siguiente forma, por orden de importancia:

- Bombeos en sondeos y drenes de marjalería.
- Salidas ocultas al mar.
- Evaporación en las marjalerías.
- Descarga del acuífero a los ríos Jaraco, Serpis y Barranco de la Alberca.

Las salidas al mar se concentran en los sectores de Miraflores, Grao de Gandia-Río Vedat y Este de Tabernes.

#### 6.2.4. Uso Actual del Agua

El agua subterránea se utiliza en la Plana de Gandia-Denia, mayoritariamente en el regadío de las extensas áreas cultivadas, que totalizan en la actualidad unas 18.000 has, predominantemente de citricos, de las que un 50% de riegan con aguas de la Plana, si bien este porcentaje aumenta en periodos secos, por reducción de los recursos superficiales. El caudal extraído para regadío es del orden de  $70 \text{ hm}^3/\text{año}$  (Bombeo bruto).

El consumo urbano-industrial asciende a unos  $30 \text{ hm}^3/\text{año}$ , para el abastecimiento a una población de 190.000 habitantes, fuertemente incrementada en verano.

En el acuífero de Javea se riegan, con agua subterránea, unas 400 has., en su mayor parte de citricos, extrayendo del acuífero alrededor de  $1,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ , para tal uso. El uso urbano - asciende aproximadamente a  $1 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Puede resultar chocante el bajo volumen anual utilizado - para regadío, en el acuífero de Javea, esto es debido a la alta - eficiencia derivada del sistema de riego por goteo.

En el plano nº 17 se representan las áreas regadas - en el año 1981.

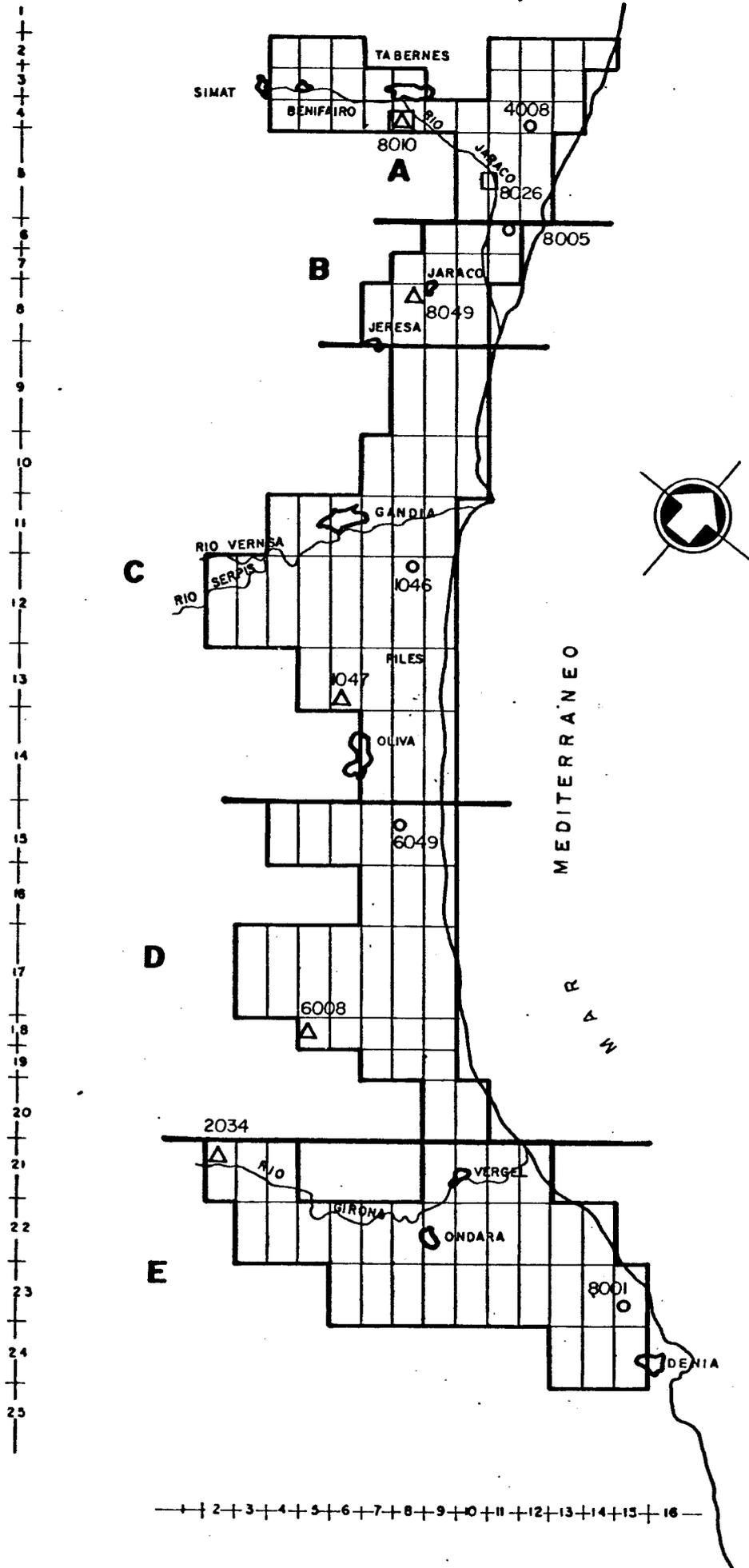
### 6.2.5. Balance

Para la realización del balance hiperanual, periodo Noviembre 1973 - Octubre 1981, se ha dividido el acuífero de Gandia-Denia en cinco zonas, denominadas en la figura 25 como A,B, C,D y E.

El modelo matematico, realizado en el periodo Noviembre 1973- Octubre 1974, discretiza el acuífero en celdas de superficie variable (de 1 a 3 Km<sup>2</sup>); cada una de las zonas ahora definidas agrupa varias de estas celdas, de tal manera que los límites Norte y Sur de cada zona son aproximadamente paralelos a la dirección del flujo subterráneo.

El criterio de división ha sido conseguir la odefinición de unas zonas que cumplan lo mejor posible las siguientes condiciones:

- La limentación lateral proviene de uno ó varios acuífferos carbonatados, de tal forma que un mismo acuífero de borde no debe alimentar a más de una zona de la Plana.
- Cada división define zonas con salidas al mar impor--tantes ó con intrusión marina.
- En cada zona queda incluido el cauce de uno ó varios



- △ Piezometro utilizado para determinar las entradas laterales
- " " " " " salidas al mar
- " " " " " la relación rio-acuífero

DEFINICION DE GRUPOS DE MALLAS  
CON CARACTERISTICAS HOMOGENEAS

de los ríos de la Plana, procurando que su recorrido se verifique siempre dentro de la misma zona.

- Constituir áreas de funcionamiento hidrogeológico homogeneo y dispar respecto a las demás, agrupando en una misma zona aquellos elementos característicos diferenciadores (marjaleras, tipos de riego, etc.)

Las superficies respectivas, en Km<sup>2</sup>, son las siguientes:

ZONA	SUPERFICIE	SUPERFICIE DE MARJAL
A	33	6
B	16	3
C	75	2
D	55	10
E	65	0
total plana	244	21

Una vez realizada la división se han calculado en cada zona, los distintos terminos del balance para el periodo Noviembre 1973 - Octubre 1981; a continuación se resume la metodología seguida.

#### - Infiltración de Lluvia (ILL)

Primeramente se ha determinado el exceso pluviométrico anual, entendido como diferencia entre la pluviometría y la evapotranspiración potencial. Para la pluviometría se ha tomado como estación representativa la E-076 - Benifairo de Valldigna. La evapo-

transpiración se ha calculado por el metodo de Blaney y Cridle.

Se ha despreciado el factor capacidad de campo.

Para las áreas de secano se ha supuesto una evaporación del 50% sobre el resto de la zona.

Al exceso pluviometrico o lluvia útil se le ha aplicado un coeficiente de escorrentia superficial, variable entre el 0 y el 25%; el valor resultante se ha multiplicado por la superficie no inundada de cada zona, obteniendo así la infiltración.

- Entradas laterales procedentes de los acuíferos carbonatados (EL<sub>c</sub>)

Para determinar este término se han hallado primeramente, para cada zona, las correlaciones piezometria— entradas laterales, utilizando los datos del modelo matematico de flujo (fig. 26), una vez calculada la relación se ha extrapolado esta para los diferentes años del periodo, deduciendo las entradas laterales a partir de los valores piezometricos medidos. Los piezometros representativos definidos para cada zona se encuentran en la fig. 25; se ha procurado escoger aquellos piezometros próximos a las áreas de mayor alimentación lateral. En algunas zonas, el término puede estar sobrevalorado por no reflejarse en la piezometría el incremento de explotaciones en los acuíferos de borde.

#### 4. PLAN DE TRABAJO

Para la consecución de los objetivos del Proyecto, definidos en el apartado 2, se han realizado los trabajos siguientes :

- . Actualización del uso del agua en las planas litorales.
- . Mejoras del conocimiento geométrico de los acuíferos -- fundamentalmente de sus condiciones de borde y muro.
- . Mejora del conocimiento existente sobre sus mecanismos de alimentación y descarga.
- . Estudio detallado de la calidad actual del agua y su -- evolución espacial y temporal. Determinación de áreas - de vulnerabilidad a la degradación de los recursos subterráneos.
- . Estudio de la problemática planteada por el uso actual del agua.
- . Plan de actuaciones futuras para la utilización más adecuada de los recursos.

- Relación río acuífero. ( $I_R$  ó  $S_R$ ).

Para el río Jaraco, único contemplado en el modelo de flujo, se ha seguido la misma metodología anteriormente explicada. Los piezómetros utilizados y la relación río-acuífero se encuentran en las figs. 25 y 27. Para los ríos Girona y Serpis se han calculado los terminos por diferencia en el balance, atendiendo a consideración hidrogeológicas.

- Relación lateral entre zonas del acuífero ( $E_L$  ó  $S'_L$ )

Esta relación se ha obtenido por ajuste del balance de acuerdo con criterios hidrogeológicos.

- Infiltración de regadíos ( $I_{RE}$ )

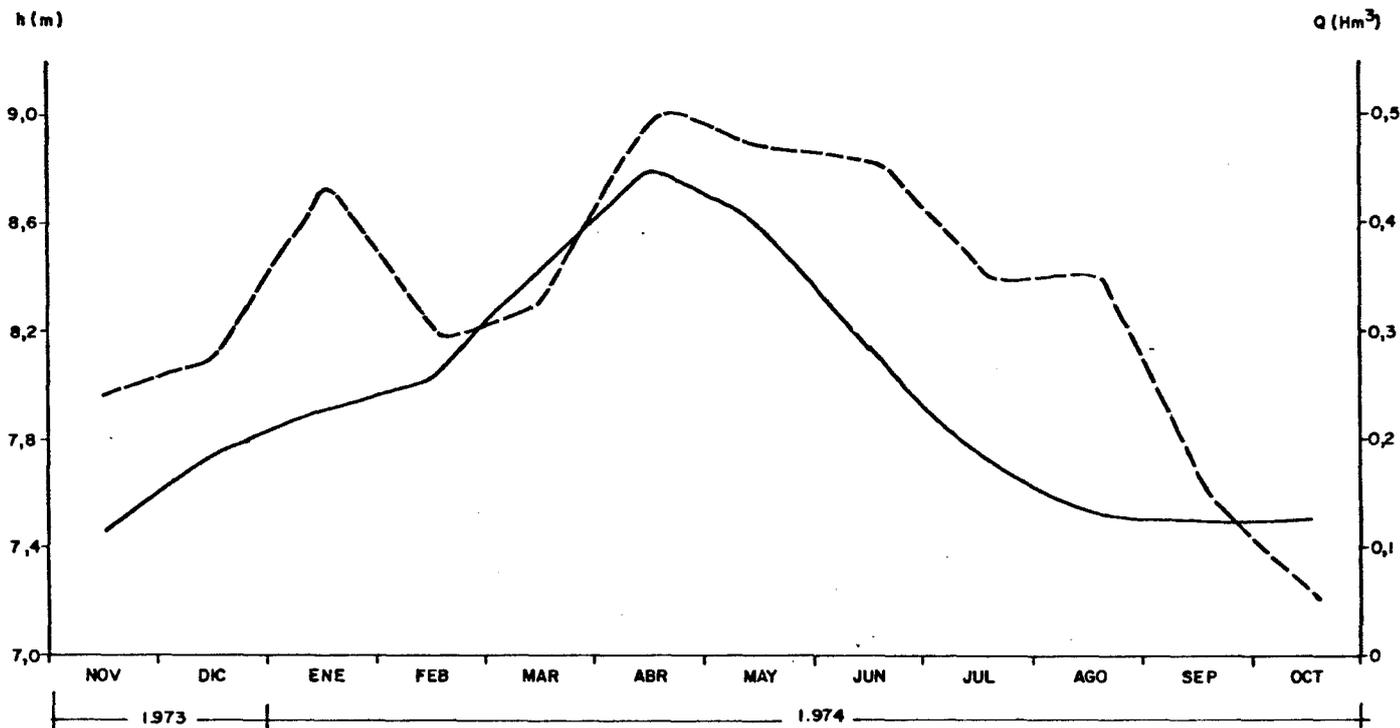
Este término no se ha contabilizado independientemente puesto que como salida se ha considerado el bombeo neto para regadío; únicamente para la zona C, en que este es nulo, se ha contabilizado aquel.

- Entradas totales ( $E_T$ )

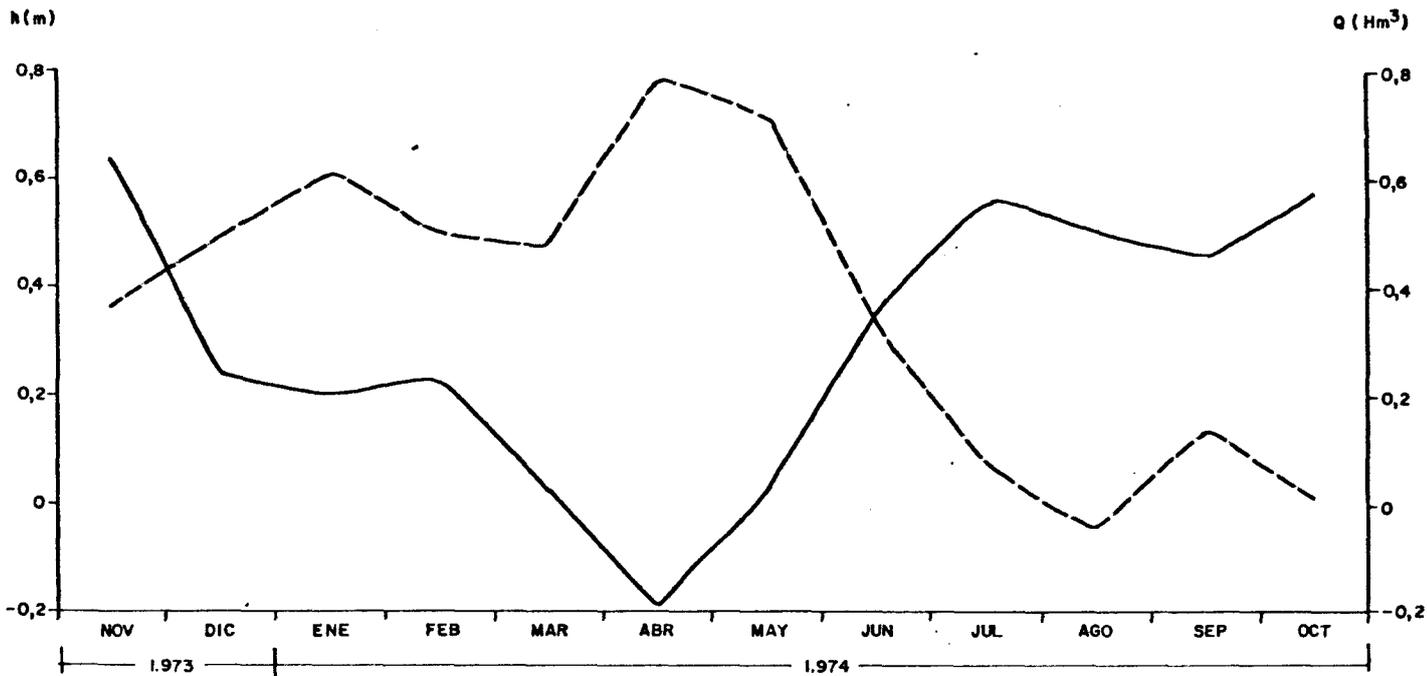
Este término se obtiene como suma de todos los anteriores:

$$E_T = I_{LL} + E_{LC} + I_R + E_L + I_{RE}$$

CORRELACION COTA PIEZOMETRICA - SALIDAS AL RIO JARACO ZONA "A" PIEZOMETRO 8010



CORRELACION COTA PIEZOMETRICA - RECARGA DEL RIO JARACO ZONAS "A" y "B" PIEZOMETRO 8026



— CAUDAL (Q)  
 - - - COTA PIEZOMETRICA (h)

PLANA GANDIA-DENIA. RELACION RIO ACUIFERO

- Bombeo neto para regadio (B.n.r.)

Para la determinación de este término se han seguido los siguientes pasos.

- Cálculo del déficit pluviométrico para cada zona y año, entendiendo este como la diferencia entre evapotranspiración potencial según Blaney y Criddle y pluviometría. Este déficit se asimila al bombeo neto necesario.

- Determinación de los bombeos brutos para regadío en el periodo Noviembre 1973 - Octubre de 1974, a partir del inventario de puntos acuíferos.

- Cálculo de la infiltración de regadíos, como diferencia entre la dotación empleada según el inventario de regadíos y el consumo teórico de la planta según Blaney y Criddle. El coeficiente de infiltración es próximo al 50%.

- Determinación del bombeo bruto necesario para satisfacer, en el año 1973-1974, la demanda de riego.

- Cálculo del porcentaje de agua subterránea, procedente de los acuíferos carbonatados, utilizada en el riego para el año 1973-1974. El 50% de la misma se infiltra en el acuífero detrítico, disminuyendo el bombeo neto procedente de este acuífero.

Con todos estos elementos se determina, para el primer año del balance, el bombeo neto para regadío procedente de la Plana, como un porcentaje del bombeo neto total necesario; este

porcentaje se aplica al resto de los años del balance, obteniendo así el término (B.n.r.).

Se han diferenciado las has., regadas con aguas superficiales (manantiales de borde) en el año 1973-74, restando su infiltración del bombeo neto calculado.

Para los manantiales en los que se dispone de estación de aforos (Simat de Valldigna, Bco. Bolata y La Cava), se ha calculado, para cada año, la superficie regable en función de los respectivos caudales, suponiendo que el deficit era cubierto con agua subterránea procedente del acuífero detrítico.

- Bombeo bruto para abastecimiento urbano e industrial  
(B.b.u.i.)

Se ha obtenido, para el año 1973-74, del inventario de puntos acuíferos y se ha extrapolado su valor para años sucesivos suponiendo un crecimiento de la demanda del 3% anual. Este término puede estar sobrevalorado puesto que algunas de las captaciones se usan conjuntamente para usos urbano-industriales y agrícolas.

Se ha supuesto que no existen retornos del agua bombeada.

- Salidas al mar ( $S_M$ )

Este término se ha determinado extrapolando la correlación piezometría - Salidas al mar, para el período abarcado por el modelo de flujo, (fig.26 ), a los subsiguientes años del balance.

Se han elegido 5 piezómetros representativos de cada una de las zonas (fig. 25), procurando que no estuviesen afectados por fenómenos de intrusión marina; no obstante en alguna zona puede estar sobrevalorado este término por encontrarse el piezómetro representativo afectado por este fenómeno, lo que causa una estabilización aparente, e incluso aumento, de la piezometría por "relleno" del acuífero con agua salobre.

- Evaporación en las marjalerias (E)

El término debe considerarse como una evaporación adicional, que se suma a la evapotranspiración calculada anteriormente. Su valor se ha cuantificado en 350 m.m.

- Bombes de agua subterránea en las marjalerias ( $B_M$ )

Este término se ha determinado por diferencias en el balance, comprobando los resultados obtenidos con los datos existentes de las estaciones de drenaje.

El término engloba las salidas al mar por drenes en las marjalerias.

Salidas totales ( $S_T$ )

El término se obtiene como suma de todos los anteriores

$$S_T = B.n.r. + B.b.a.i. + S_M + E + S_R + B_M$$

Volumen de desembalse hiperanual ( $\Delta$ )

- Para el cálculo de éste término se han seguido los siguientes pasos:

- Trazado de las curvas de isodescensos para el periodo Julio 1974 - Julio 1981. (Plano 18).

- Cálculo del volumen de terreno vaciado en el periodo, por planimetrado de la superficie comprendida entre las isocurvas. (Vit).

- Determinación del coeficiente de almacenamiento medio entre las distintas isocurvas, a partir de los resultados del modelo de flujo. (Si)

El volumen de agua desembalsado viene entonces definido por la expresión  $\Delta = \sum V_{it.Si}$ .

Se desprecia el volumen de desembalse, desde la isocurva o hasta el mar, por la laboriosidad que representaría calcular el volumen de agua intruido desde el mar en el período y - por considerar que este volumen es poco importante.

No se considera el desembalse en los períodos Noviembre 1973 - Julio 1974 y Julio 1981, por no disponer para ellos de curvas de isodescensos, no obstante, el valor puede considerarse despreciable.

En el cuadro adjunto, se resume por zonas el balance hiperanual medio, para el período Noviembre 1973 - Octubre 1981, en el acuífero, señalando con asteriscos los valores deducidos por diferencia en el balance. Los valores se expresan en  $hm^3$ .

Puede observarse que el elemento de alimentación más importante es la infiltración de agua de lluvia, con un valor medio para el período de  $70 \text{ hm}^3/\text{año}$ . La infiltración de regadíos es también considerable, pero en el balance no queda reflejada, - por haberse descontado del bombeo bruto. El valor de las entradas laterales es bajo, como ya se comentaba al escribir sobre las condiciones de borde, esto es debido al poco espesor saturado del acuífero detrítico en el contacto con los carbonatados, lo que produce que estos descarguen, en la mitad sur de la Plana, a través de manantiales situados en el contacto. En las zonas A y C, alcanzan

BALANCE MEDIO (Noviembre 1973 - Octubre 1981)

Zona	I <sub>LL</sub>	E <sub>LC</sub>	I <sub>R</sub>	E <sub>L</sub>	I <sub>RE</sub>	E <sub>T</sub>	B.n.r.	Bbai	S <sub>M</sub>	E	S <sub>R</sub>	B <sub>M</sub>	S <sub>L</sub>	S <sub>t</sub>	Δ
A	9	9,8	3,4	0	0	22,2	3,1	3,1	1,5	2	1,1	4 *	8	22,8 *	-0,7
B	3	2,8	1	10,5 *	0	17,3	4,4	5,5	0,3	1	0	6 *	0	17,2	0
C	25	6,1	0	0	9,2 *	40,3	0	14,5	14	0,7	10 *	0	2,5 *	41,7	- 1,3
D	15	1,1	0	0	0	16,1	0	9,9	3,6	3,4	0	1,2 *	0	18,1	- 2
E	18	2,2	1,4 *	0	0	21,6	5	5,1	13,2	0	0	0	0	23,3	- 1,7
Total Plana	70	22	5,8	-	-	97,8	3,4	38,1	32,6	7,1	11,1	11,2	-	103,5	- 5,7

mayor importancia por existir mayor superficie de contacto acuífero carbonatado-detrítico.

Los bombeos netos para regadío son bajos, debido al alto porcentaje de reinfiltración y al riego procedente de elementos exteriores al sistema.

A pesar de la existencia de áreas con intrusión marina, las salidas al mar son importantes, esto se explica porque estas se producen en lugares concretos, a modo de "pasillos" de agua dulce que limitan las zonas de intrusión.

Las zonas de baja descarga al mar (A,B y D), coinciden lógicamente con las áreas de intrusión.

Son de destacar las importantes salidas en la zona C, que "empujan" la interfase de tal manera que en ningún sondeo de la zona se capta la zona de difusión.

En la zona E, pueden estar sobrevaloradas las salidas al mar en detrimento de la infiltración procedente del río Girona.

Los desembalses son poco importantes en el periodo considerado, del orden del 10% del volumen embalsado en el instante inicial, a pesar de referirse a un periodo seco; esto sucede, en parte, porque la disminución de la infiltración de lluvia y el aumento del bombeo neto para regadíos es compensado, en un alto porcentaje, por la disminución de las salidas al río, por el aumento de la infiltración del río y por la disminución del bombeo desde las marjales.

rias y de otra parte, por la considerable capacidad del embalse, lo que produce que los porcentajes de desembalse sean bajos.

Consideramos conveniente realizar algunas aclaraciones respecto a la determinación de algunos de los términos del balance en ciertas zonas:

- Las entradas y salidas laterales, entre zonas del acuífero, concretamente en las zonas A, B, y C, se han determinado por ajuste en el balance y teniendo en cuenta la situación de las estaciones de bombeo de la marjalería de Jaraco. Los 10,5 hm<sup>3</sup>/año medio que, procedentes de las zonas A y C, entran en la B, son bombeadas al mar desde las estaciones situadas en esta zona, por tanto se trata de entradas laterales indirectas e inducidas por el drenaje.

- Los bombeos de drenaje de agua subterránea de la marjalería de Jaraco, estimados en 10 hm<sup>3</sup>/año medio, se han obtenido también por ajuste en el balance y se ha comprobado que se aproximan a la realidad, puesto que el bombeo total, según los datos existentes, es de 15 hm<sup>3</sup>/año, por lo que la fracción de bombeo correspondiente a lluvia útil y a escorrentía superficial sería de 5 hm<sup>3</sup>/año, valor que se considera muy aceptable.

- Para la marjalería de Pego, se ha obtenido un drenaje de agua subterránea de 1,2 hm<sup>3</sup>/año medio, el bombeo total, según los datos disponibles, ascendería a 15 hm<sup>3</sup>/año.

### 5.1. ACTUALIZACION DEL USO DEL AGUA SUBTERRÀNEA

Para ello se han realizado los trabajos siguientes :

- Actualización del inventario de cultivo de superficies vegetales y cartografía de las mismas a escala -- 1:33.000. La superficie actualizada tiene una extensión mínima de 1.500 Km<sup>2</sup>.
- Revisión del inventario de puntos acuíferos.
- Determinación de los módulos de riego reales.
- Estimación de las necesidades reales de las plantas.
- Cálculo de las tasas de reinfiltración por regadíos.
- Distribución interanual de las demandas reales.
- Evaluación de los consumos agrícolas, urbanos e industriales por planas.

Los resultados de los trabajos realizados se resumen en los epígrafes correspondientes a "El uso del agua subterránea" - en cada uno de los capítulos correspondientes a cada una de las planas y se detallan en los anejos denominados "REGADIOS EN LA PLANA DE VALENCIA" y "ACTUALIZACION DEL USO DEL AGUA SUBTERRANEA EN LOS ACUIFEROS DEL LITORAL LEVANTINO".

Aquí el problema es más complejo puesto que la marja leria recoge parte de las aguas de los manantiales de borde ( - (Las Aguas, Solinar, Salado y Balsa Sineu), pero se desconoce - su cuantía. La cifra de drenaje de agua subterránea tal vez es - te calculada por defecto ya que no se considera en el balance - la infiltración del río Gallinera, también desconocida.

- Para la zona C, el término Ire se ha calculado, para los tres últimos años del balance, suponiendo que el embalse de Beniarrés no fue capaz de satisfacer la demanda agrícola, debido a la sequía y su área de regadío fue abastecida con agua subterránea. Por tanto este término ha disminuido en los últimos años.

Las salidas al río Serpis, estimadas en  $10 \text{ Hm}^3/\text{año}$  - ° medio, se han calculado por ajuste del balance. Estas salidas se produjeron en los cuatro primeros años del balance:

$$(1973 - 74) = 43 \text{ hm}^3$$

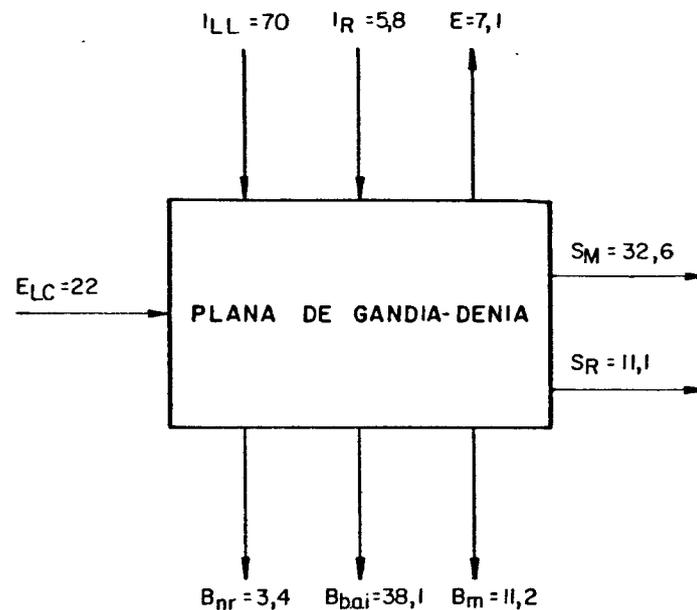
$$(1974 - 75) = 7 \text{ hm}^3$$

$$(1975 - 76) = 13 \text{ hm}^3$$

$$(1976 - 77) = 17 \text{ hm}^3$$

A partir de 1.979, las salidas son nulas.

En el croquis adjunto se resume el balance.



Para el acuífero de Javea no existe modelo matemático de flujo, por tanto, no se puede realizar un balance cuantitativo.

- Se estima que la infiltración media del agua de lluvia no sobrepasa el valor de  $2,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

- La alimentación lateral puede considerarse despreciable.

- La recarga natural producida por el río Girona, puede considerarse nula en los últimos años.

- Las salidas por bombeo neto, pueden estimarse en  $2 \text{ hm}^3/\text{año}$ , ya que la infiltración de regadíos es muy baja por ser las dotaciones reducidas.

- Las salidas al mar pueden considerarse nulas.

Se comprueba que el acuífero está actualmente en un equilibrio hidráulico, con salidas al mar casi nulas; esto produce un avance de la interfase agua dulce - agua salobre, especialmente

en el periodo seco (1977-81). En los últimos años, el proceso de salinización ha sido lento, pero se debe tener en cuenta que con anterioridad al año 1973, se extraían del acuífero  $9 \text{ hm}^3/\text{año}$  para usos agrícolas y urbanos, lo que produjo la salinización de gran parte de este, por la evidente desigualdad entre las entradas y salidas de agua subterránea.

#### 6.2.6. Análisis de la Problemática Planteada por el Uso Actual Actual del Agua Subterránea.

La problemática derivada de la explotación de agua subterránea se refiere al deterioro de la calidad química ya que, en la actualidad y a escala global, el acuífero está en equilibrio, por tanto no existe problema, a nivel de acuífero, de explotaciones por debajo de la cota 0 m.s.n.m.

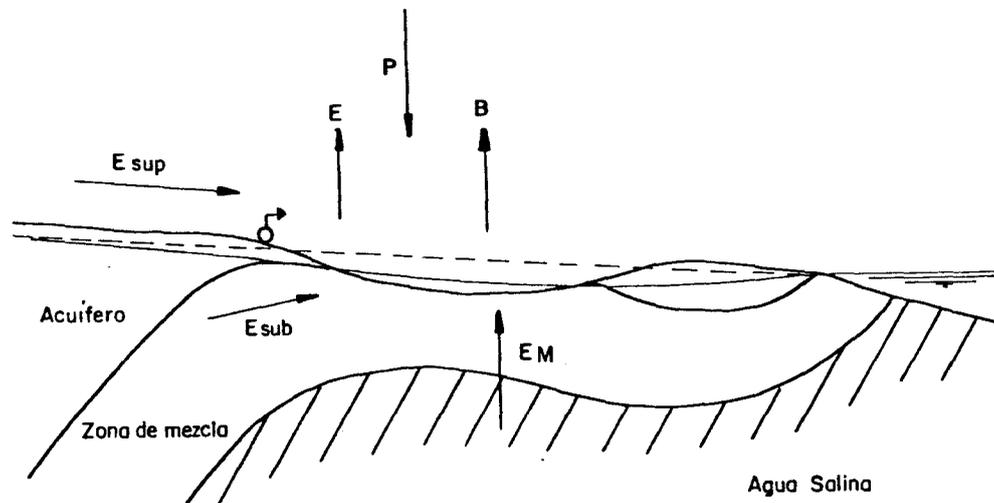
Dentro del primer concepto, el deterioro de la calidad preocupante y progresivo es causado, en ciertas áreas, por los iones característicos de la intrusión marina.

En el fenómeno de la salinización hay que diferenciar dos tipos de intrusión marina, conceptualmente distintos en cuanto a las causas que los producen. El primer tipo corresponde a situaciones puntuales de sobreexplotación, lo que produce una depresión de la superficie piezométrica, con la consiguiente intrusión marina. El segundo tipo es debido a la desecación de las marjalerías, para cultivar la superficie anteriormente inundada.

En la plana existen dos marjalerías, Jaraco y Pego, de 11 y 10 Km<sup>2</sup> de superficie, respectivamente. Se trata de zonas de baja permeabilidad, inundadas por situarse la cota del terreno por debajo de la cota piezométrica y por actuar de receptáculo a la elevada escorrentía superficial originada, especialmente en el caso de Pego, por los manantiales de borde, que corresponden a la salida de los acuíferos carbonatados, originados

en el contacto de los materiales permeables con los semipermeables de la marjaleria.

El esquema de funcionamiento hidraulico de estas zonas es el siguiente:



- - - Superficie piezometrica inicial  
 ————— " " final.

P = precipitación

E = evapotranspiración

$E_M$  = entradas del mar

Esub = Entradas del acuífero

Esup = " superficiales

B = Bombeos de drenaje

Se cumple la siguiente relación:

$$B = E_M + E_{sub} + E_{sup} + P - E$$

Como puede verse, la irracionalidad del sistema es -  
considerable, se podría admitir la relación:

$$B = P - E + E_{sup1}$$

siendo  $E_{sup1}$ , la escorrentia superficial en sentido estricto, -  
con lo cual posiblemente se evitaria el fenomeno de la intrusión  
marina. Lo inadmisibile, tanto desde la óptica del consumo energe  
tico, como de la planificación hidráulica, es bombear ó drenar -  
el agua subterránea del acuífero y de los manantiales de borde -  
produciendo la consiguiente intrusión marina y el subsiguiente -  
bombeo de agua de mar.

En los planos 19 y 20 se representan las curvas de -  
igual concentración en ion  $cl^-$ , para diferentes cotas de fondo -  
de pozo, en Junio de 1978 y junio de 1981. Practicamente todas -  
las zonas de la Plana estan afectadas por la intrusión marina,  
salvo el área comprendida entre Gandia y Oliva.

La interfase, en las zonas intruidas, adopta la forma  
de una "silla de montar", salvo en la marjalera de Pego en don-  
de constituye un domo.

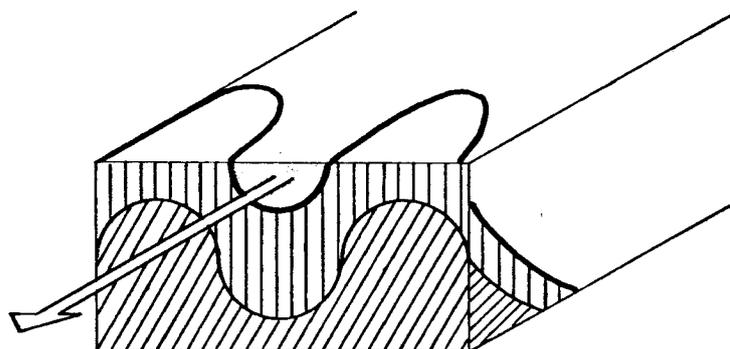
Las respectivas zonas de difusión son amplias y proyecta  
tadas sobre la cota topográfica resultan formas semicirculares,  
con el radio perpendicular a la costa condicionado en su direc---  
ción por los siguientes factores:

- áreas de mayor explotación.
- áreas de mayor espesor saturado.
- áreas con substrato permeable.

Las zonas de intrusión están limitadas por "pasillos" de agua continental causados por la menor explotación en ellos y en algún caso por recarga natural de los ríos (Río Girona).

En el período Junio 1978 - Julio 1981, se observa un avance de la intrusión y un ensanchamiento de la zona de difusión, debido a la menor alimentación del acuífero, incremento del bombeo neto y consiguiente disminución de las salidas al mar.

En el plano 21 se representa la proyección sobre el terreno de las curvas intersección de la interfase, considerada como la superficie de concentración 150 mg/l en ion  $\text{Cl}^-$ , con planos de igual cota; es decir, las isohipsas de la interfase, para junio de 1981. Puede observarse en general que el ángulo que forma la interfase con el plano de cota o es muy bajo, esto es, su penetración hacia el muro del acuífero, muy importante, por lo que las salidas preferenciales al mar deben producirse por zonas restringidas del acuífero y próximas a la cota o, según el esquema siguiente:



- Interfase
- |||||| zona de mezcla
- ////// agua salina
- zona de salidas al mar.

En este plano también se representa el límite de la interfase, considerado como la intersección de las isohipsas de igual valor de la interfase y del muro impermeable del acuífero.

### 6.2.7. Calidad química y su evolución

Las aguas presentan variadas facies hidroquímicas; bicarbonatadas calcicas en las proximidades del borde calizo; sulfatadas calcicas en la zona central regada desde el Embalse de Beniarrés; cloruradas calcicas en las proximidades de la costa - que pasan a cloruradas sódicas en las zonas de intrusión marina y bicarbonatadas magnésicas en alguna zona restringida.

El residuo seco es casi siempre superior a 500 mg/l.

Se observa de manera general un empeoramiento de la calidad de las aguas desde los bordes calizos hacia al mar. Las causas principales pueden ser, la disolución de iones de los materiales acuíferos según el sentido de la esorrentía; el reciclado de las aguas de irrigación que van aumentando su concentración en sales por evaporación y por el empleo de abonos; y por evaporación en aquellas zonas en que el nivel piezométrico se encuentra a poca profundidad, además de los intercambios iónicos.

Es de destacar la alta concentración de las aguas de la marjalera de Pego y alrededores, aguas en su mayoría cloruradas. Esto es debido, en parte, a la presencia de un manantial salado, a los fortísimos bombeos en el interior de la marjalera - que están provocando una intrusión del agua del mar en un amplio cono, con inversión de gradiente, y a la fuerte evaporación.

El uso tan frecuente de los abonos nitrogenados debe ser la causa principal de la alta concentración de  $\text{NO}_3^-$  que se encuentra por sectores. Así, se tiene zonas con concentraciones superiores a los 150 mg/l en los alrededores de Ondara, Vergel, Oliva, Jaraco, y Tabernes de Valldigna. Este hecho, es muy a tener en cuenta para las captaciones de agua subterránea dedicadas al consumo humano por sus graves consecuencias, sobre todo para la población infantil.

En cuanto a la evolución de la calidad de las aguas subterráneas, se observan los siguientes fenómenos:

- Aumento de la concentración de los iones característicos de la intrusión marina en los alrededores de Gandia, Vergel, Tabernes, Jaraco-Jeresa, Pego-Oliva y Javea.
- Aumento de la degradación en los alrededores del cauce del Girona, por vertidos urbanos e industriales.
- Aumento general de la concentración en  $\text{NO}_3^-$  debido a la baja pluviometría del periodo (1977-81).

Los únicos abastecimientos urbanos con calidad química deteriorada son los de Tabernes de Valldigna, Denia, Ondara y Piles, los iones responsables del deterioro son el  $\text{NO}_3^-$  y en Denia, el  $\text{Cl}^-$ .

En los planos 22 y 23, se representa la evolución de los iones más característicos.

## 5.2. REVISION DE LAS CONDICIONES DE BORDE CON LOS ACUIFEROS CALIZOS.

El comportamiento hidráulico de los acuíferos de las -- planas costeras ha sido simulado mediante modelos numéricos -- (1972-1973). La resolución matemática del problema se basó fundamentalmente en la aplicación del modelo de Prickett y Lonquist. El programa utilizado fue el SIDA (Simulación Digital y Acuíferos), dicho programa tiene en cuenta factores tales como emergencias y posibles relaciones río-acuífero. El tratamiento de los datos, permite obtener resultados fáciles de analizar: salidas gráficas de variaciones piezométricas y caudales mensuales y -- anuales correspondientes a entradas o salidas por las mallas.

Uno de los datos a introducir en el modelo, para su -- ajuste, fueron las condiciones en los límites con los materiales calizos del borde Oeste, dichas condiciones, a la luz de los conocimientos actuales, parecían no ser suficientemente precisas -- por lo que se ha impuesto una revisión completa y exhaustiva de todas ellas.

La revisión realizada tiene una importancia fundamental, para los futuros calados de los modelos realizados, y podrá dar lugar a variaciones sustanciales con respecto a la magnitud de -- recursos estimados a partir de las anteriores simulaciones.

#### 6.2.8. Proposiciones para la optimización de la gestión del agua subterránea

En este epígrafe se debe contemplar la gestión de las aguas subterráneas desde dos ópticas diferentes pero relacionadas; la gestión en cuanto a la cantidad de agua subterránea y la gestión en cuanto a la calidad de estas aguas.

Desde el punto de vista del uso cuantitativo del agua, se observa en el balance hiperanual que existen unos recursos no utilizados, cuyo desglose se indica a continuación.

- Salidas al río Serpis: 10 hm<sup>3</sup>/año medio.
- Drenajes de las marjalerías: 11 hm<sup>3</sup>/año medio.
- Las salidas al mar se evalúan en 32 hm<sup>3</sup>/año medio, si bien desigualmente repartidas según las zonas, de tal manera que en la zona B son nulas, produciéndose intrusión marina.
- Evaporación en las marjalerías: 7 hm<sup>3</sup>/año medio.
- La variación de embalse, estimada en 6 hm<sup>3</sup>/año medio, puede considerarse como un recurso negativo, no obstante, teniendo en cuenta que el período considerado es un ciclo seco es posible que en un balance hiperanual más amplio, este déficit no se hubiese producido. A estos recursos hay que sumar los siguientes conceptos:

- Las salidas al mar de los ríos Jaraco, Serpis, Girona y Gorgos, son desconocidos por no existir estaciones foronómicas

- Las salidas al mar de los ríos Barranquet, Bullens-Vedat y Racons-Regalacho, se estiman en  $120 \text{ hm}^3/\text{año}$  medio, según los datos de las estaciones E - 21, 22 y 23, del Proyecto de gestión y conservación de acuíferos de la Cuenca Media y Baja del Río Júcar. Estas salidas incluyen, los drenajes de la marjalera de Pego ( $15 \text{ hm}^3/\text{año}$  medio), las descargas de los acuíferos carbonatados de Almirante-Mustalla y Segaria ( $100 \text{ hm}^3/\text{año}$  medio), la escorrentía superficial y al bombeo de agua salina.

Para la optimización del uso de estos recursos totales, se ennumeran las siguientes proposiciones:

- Incremento de las explotaciones en area comprendida entre Gandia y Piles (zona C). En esta zona se pueden incrementar las explotaciones, en una primera fase, en  $10 \text{ hm}^3/\text{año}$ , en orden a anular las salidas al río Serpis y manteniendo unas salidas al mar de  $14 \text{ hm}^3/\text{año}$ , con objeto de mantener la interfase en su posición actual.

- Regulación de las surgencias de Mustalla y Balsa Si-neu, con una explotación media hiperanual de unos  $100 \text{ hm}^3/\text{año}$ , mediante captaciones en los acuíferos carbonatados de Mustalla y Mediodia-Segaria.

Esta regulación permitiría, además de utilizar unos recursos que actualmente se pierden al mar, disminuir el encharcamiento de la marjalera de Pego, por consiguiente el drenaje

y subsiguientemente, la intrusión marina.

- Regulación de las surgencias de Bolata, Sagra y La Cava (acuífero del Mediodía) y área de Simat de Valldigna (acuífero de Barig), mediante la explotación de los acuíferos carbonatados de borde. No se conoce con precisión el caudal medio hi'eranual conjunto no utilizado para riego, aunque puede estimarse en unos 15 hm<sup>3</sup>/año medio.

- Recarga artificial en el acuífero de Javea a partir de las avenidas del río Gorgos.

- Utilización de aguas residuales tratadas, para riego, ó, para su inyección en las proximidades de la costa a modo de barrera a la intrusión salina.

Desde el punto de vista de la calidad de las aguas subterráneas, cabe distinguir dos problemas fundamentales en función del deterioro actual; el problema de la contaminación por nitratos y el problema de la contaminación por intrusión marina.

En cuanto al problema de la contaminación por nitratos se apuntan las siguientes soluciones:

- Reducción de las dosis de abonado, actualmente excesivas. Para que esta medida no resulte perjudicial para el cítrico, debe ser acompañada de una reducción de la dotación de riego actualmente excedentaria en un 100%. Eliminando el vehículo de transporte de la contaminación al acuífero, se eliminaría ésta.

- Utilización de las aguas del acuífero detrítico para regadío e industria y captación de los acuíferos carbonatados de borde para usos urbanos. De esta forma, la presencia de nitratos en el acuífero detrítico, no constituiría ningún problema.

En cuanto al problema de la intrusión marina, se proponen las siguientes soluciones, atendiendo a las causas predominantes que la producen, aunque todas están interrelacionadas:

a) Intrusión causada por extracción areal excesiva.

El factor predominante sería un déficit en las salidas ocultas del acuífero al mar. Las zonas en que predomina este factor son las A y E del acuífero de Gandia-Denia y en todo el acuífero de Javea.

- Para la zona A (Norte de Tabernes de Valldigna), la solución más realista consiste en abandonar las explotaciones actuales y sustituir sus caudales por captaciones situadas en los alrededores de Tabernes de Valldigna.

- Para la zona E, la solución más aconsejable es también el abandono de las captaciones situadas, a menos de 5 Kms. de distancia del núcleo urbano de Denia, al E y W de Setla y al W de Vergel y la sustitución de sus caudales por captaciones situadas al Sur de Ondara, zona protegida de la intrusión marina. Un aumento de las salidas ocultas al mar y por tanto, un desplazamiento favorable de la interfase se conseguiría, bien por recarga artificial de las avenidas del río Girona, bien por regulación del acuífero carbonatado del Mediodia-Segaria. En cuanto a la segunda alternativa, se considera que, por analogía

con la situación en la zona C, aumentando las salidas al mar en  $10 \text{ hm}^3/\text{año}$  medio, desaparecería el fenómeno de desplazamiento areal de la interfase tierra adentro; para conseguir esto, bastaría con trasladar la explotación de los  $5 \text{ hm}^3/\text{año}$  medio de bombeo neto para regadio, en el acuífero detrítico, al acuífero carbonatado de Mediodía-Segaria.

- En el acuífero de Javea, se deben prohibir nuevas captaciones, e incluso suspender algunas de las existentes.

Como nuevos recursos para lograr un balance hidráulico que permita mantener unas salidas al mar capaces de desplazar de forma positiva la interfase, se citan los siguientes:

. Recarga artificial de las avenidas del río Gorgos; captación de recursos del acuífero de Castelar-Soldetes; captación de las posibles salidas ocultas al mar de la Sierra de Benitachell.

En general y para este tipo de intrusión, la sustitución de parte de los recursos del acuífero, por recursos de los carbonatados de borde, puede solucionar el problema.

b) Intrusión causada por extracción puntual excesiva

Las áreas en que predomina este factor son:

Alrededores del Grao de Gandia (zona C) y alrededores de Oliva (zonas C y D).

En el primer caso el problema es irrelevante y se solucionaria sustituyendo las escasas captaciones afectadas, próximas al Grao, por otras situadas al Sur, en los alrededores de Gandia.

Para la zona de Oliva, la solución más conveniente es sustituir parte de los recursos aportados desde las captaciones actuales, por los provenientes de la regulación del acuífero carbonatado de Almirante-Mustalla.

c) Intrusión causada por drenaje de las marjaleras

Las soluciones a este problema ya han sido citadas al comentar la optimización desde la óptica de la cantidad de agua.

- Regulación de las surgencias de borde.
- Utilización de la escorrentia superficial en sentido estricto, antes de su vertido a la marjalera, por ejemplo mediante recarga artificial en el acuífero.

No obstante, la intrusión, restringida al área desecada no resulta perjudicial, pues las captaciones limitrofes pueden ser sustituidas por otras, aguas arriba.

Existen otros problemas de contaminación puntual, por vertidos urbano-industriales; para la corrección de estos fenómenos se proponen las siguientes acciones:

- Exigir a la industria la depuración de sus efluen--tes antes de su eliminación

- Asesorar a los municipios para que el vertido de resíduos sólidos se realice mediante vertederos controlados y - procedimientos técnicos adecuados.

- Depuración de los residuos líquidos urbanos antes - de su vertido en los cauces naturales que atraviesan el acuífero.

Para la puesta en práctica de algunas de estas accio-nes, se requiere la realización de estudios previos. A continuación se indican las líneas de investigación más inmediatas:

- Inventariar y analizar el carácter de todos los fo-cos de contaminación existentes.

- Realizar una investigación geofísica más detallada que la actualmente disponible, con objeto de lograr una mayor precisión en la geometría del acuífero y de su relación con el carbonatado infrayacente, es especialmente importante afinar - el conocimiento de la conexión lateral acuífero detrítico -carbonatado. Para el acuífero de Javea, la recomendación adquiere el carácter de necesidad, puesto que no existe prospección geofísica alguna.

- Completar y mantener al día el inventario de puntos acuíferos, con control de volúmenes extraídos, tanto en sondeos como en drenes de marjal.

- Realización de un modelo matemático de flujo en el acuífero de Javea.

- Control foronómico de los ríos: Jaraco, Serpis, Girona y Gorgos, y de las surgencias de la zona de Pego.

- Estudio específico de las marjaleras, con trabajos de detalle sobre hidrología, posición de la interfase, drenaje de las mismas, origen de los manantiales salinos de borde, nivelación topográfica, etc..

o - Determinación de la variación de reservas producida por el avance de la interfase.

- Estudio de regulación de los acuíferos carbonatados de borde.

- Estudio hidrológico de la Cuenca del río Gorgos, con objeto de estimar las aportaciones disponibles para su recarga en el acuífero de Javea.

- Precisión de las entradas laterales al acuífero por contraste con el balance de cada uno de los acuíferos carbonatados de borde.

Los km<sup>2</sup> de cartografía hidrogeológica revisados para la redefinición de estas condiciones en los límites, se estiman en unos 1.200 km<sup>2</sup>. El área de trabajo se indica esquemáticamente en la figura nº 2.

La conexión del acuífero detrítico con la de borde se produce generalmente como indica la figura nº 3 adjunta.

En el esquema (A) la alimentación al acuífero detrítico procedente del mesozóico se produce exclusivamente a través del nivel permeable (1); se restringe anulándose en sentido W-E; -- cuando el nivel piezométrico en el calizo se sitúa por debajo de su muro; y se anula totalmente cuando dicho nivel se sitúa a cotas 0 m.s.n.m. El esquema (B) es muy parecido al (A), con la diferencia, muy importante, de que la alimentación se anula antes de que el nivel piezométrico en el calizo esté a 0 m.s.n.m., concretamente cuando éste se sitúa a la altura del contacto con el impermeable de base del detrítico, que en este caso está situado -- muy por encima del mar.

Los sistemas de conexión existentes son, en la mayor -- parte de los casos parecidos a los indicados y condicionan la alimentación lateral del acuífero detrítico. Desde este punto de vista, se han analizado los bordes, en contacto con el acuífero calizo, distinguiendo en ellos los aspectos siguientes :

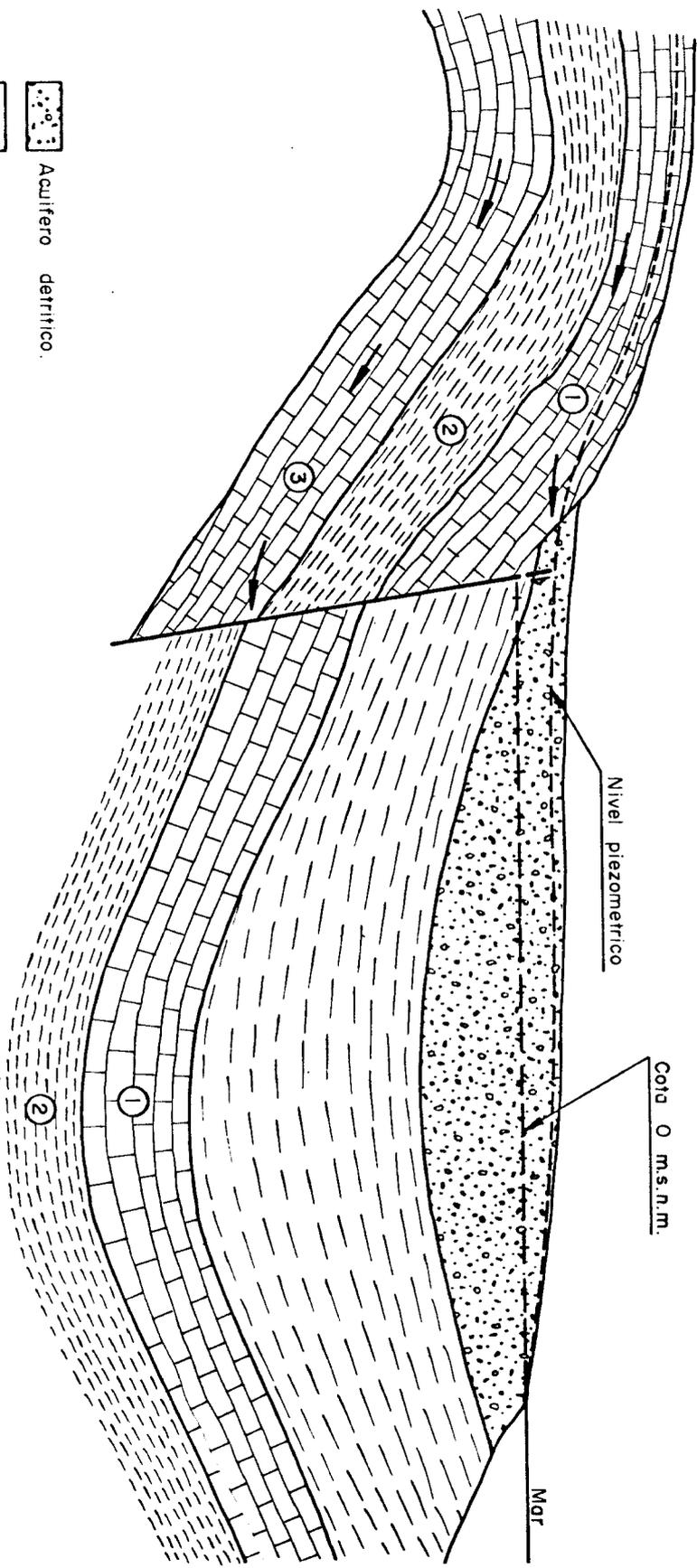




ESQUEMA GENERAL DE CONEXION HIDRAULICA DEL ACUIFERO DETRITICO  
 CON LOS MESOZOICOS DEL BORDE OCCIDENTAL

W.

E.



-  Acuifero detritico.
-  Impermeable de base del acuifero detritico.
-  Nivel permeable del acuifero mesozoico.

FIG: 3 b

- . limites a flujo nulos
- . Potencial variable con gran área de alimentación.
- . Potencial variable con pequeña área de alimentación.
- . Potencial variable con alimentación condicionada, por un mínimo piezométrico.

El primer concepto no necesita explicación. El segundo y el tercero correspondería a una situación de alimentación constante, condicionada exclusivamente por los propios recursos de los acuíferos calizos, que a su vez dependen de la cuantía de su extensión superficial. El cuarto y último, está relacionado muy directamente con la cota del techo del impermeable de base del acuífero detrítico, puesto que dicha cota condiciona el nivel piezométrico mínimo en el acuífero calizo, para que exista alimentación lateral al detrítico.

Para la definición exacta en cada malla del nivel piezométrico mínimo a partir del cual cesa la alimentación lateral, sería necesario complementar la geofísica existente, aumentando su densidad.

### 5.3. REINTERPRETACION DE LA GEOFISICA REALIZADA EN LAS PLANAS.

La interpretación de la geofísica realizada durante el PIAS atendía fundamentalmente a el estudio de la geometría de los acuíferos detríticos más superficiales.

Estos acuíferos son los más importantes en cuanto a explotación y fueron entonces el objetivo fundamental del modelo.

Posteriormente, a medida que se inició su degradación, se ha puesto de relieve, y de forma natural por la necesidad de disponer de aguas subterráneas de buena calidad para usos domésticos y agrícolas, el interés de mejorar el conocimiento sobre otros aspectos tales como la conexión geométrica con los bordes calizos occidentales, la redefinición de las potencias, variaciones de facies y extensión lateral y conexión-hidráulica con el mar.

En síntesis, la reinterpretación de la geofísica, como consecuencia de la mayor cantidad de datos de apoyo disponibles, ha permitido incrementar el conocimiento sobre los aspectos siguientes:

- Variación lateral y vertical de los acuíferos existentes en las planas.
- Conexión hidráulica con el mar.
- Conexión geométrica e hidráulica de los acuíferos litorales superficiales y profundos, con los situados en el borde Oeste.

Parte de estos conocimientos se han plasmado en mapas de isoespesor saturado del acuífero detrítico, y de isohípsas de su impermeable de base. Estos últimos permiten observar las zonas propicias a la intrusión marina, que corresponden generalmente a

sectores deprimidos y las áreas donde la alimentación, al acuífero detrítico, se pueda interrumpir por situarse el nivel piezométrico por debajo del impermeable de base del detrítico.

#### 5.4. ANALISIS DETALLADO DEL PROCESO DE ALIMENTACION Y DESCARGA DE LOS ACUIFEROS COSTEROS.

La alimentación a los acuíferos detríticos costeros se realiza fundamentalmente del modo siguiente:

- Entradas laterales por sus bordes occidentales, fundamentalmente procedentes de los acuíferos calizos que los limitan.
- Infiltración de las excedentes de riego, procedentes de aguas superficiales y subterráneas.
- Infiltración de ríos.
- Infiltración del agua de lluvia.

Las salidas se pueden desglosar también del modo siguiente:

- Bombeos para usos agrícolas, urbanos e industriales.
- Descarga subterránea al mar.
- Salidas por drenes y bombeos en marjalerías.
- Descargas por manantiales.
- Salidas a ríos.

Todos estos capítulos fueron debidamente evaluados mediante los modelos numéricos en régimen variable que se comenzaron a realizar a partir de 1972.

Aunque dicha evaluación fue debidamente precisa, los datos obtenidos deberían revisarse y actualizarse mediante el ajuste y nueva simulación para períodos más amplios.

Hasta que esto se realice se ha procedido a su estimación tal como se indica a continuación.

#### 5.4.1. Entradas laterales

En la estimación de este factor se ha supuesto la hipótesis de que las entradas laterales condicionan la piezometría en el borde detrítico, y por lo tanto en un piezómetro que en él se ubique. Vease fig. 4. La evolución de ambas variables se indica esquemáticamente en la fig. 5. El desfase (D) entre sus valores máximos y mínimos depende de la velocidad media de circulación en el acuífero detrítico y de la distancia del piezómetro al borde calizo.

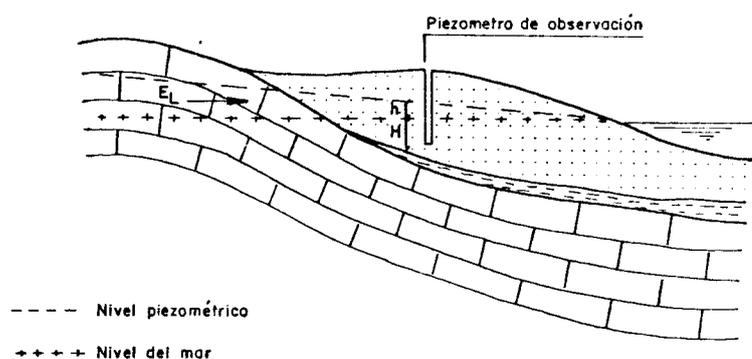
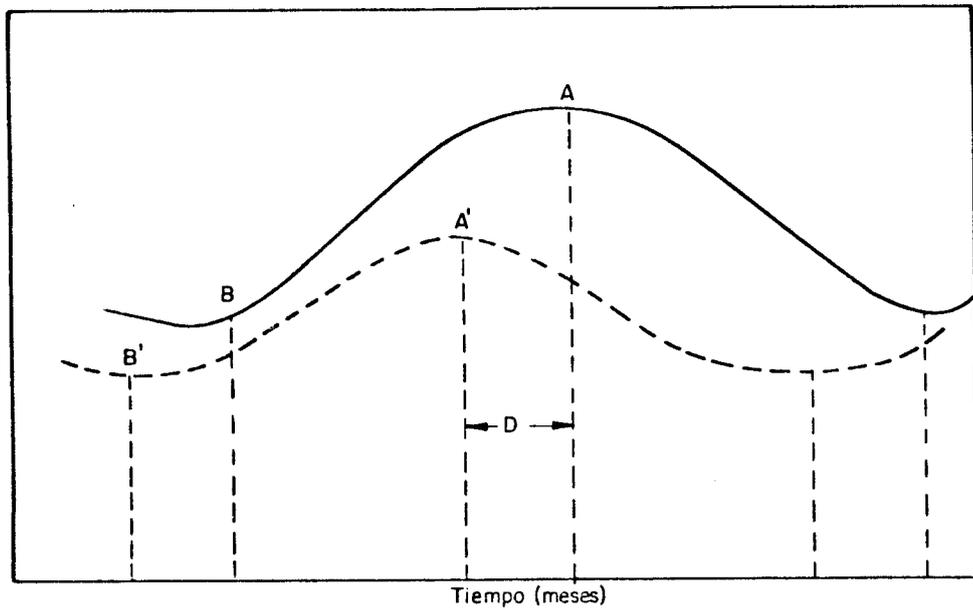


Fig. 4 Esquema de funcionalidad entre entradas laterales y piezometría de borde en el Acuífero detrítico.

La relación funcional, vease fig. 6 adjunta, puede demostrarse que sin gran pérdida de rigor podría representarse por :

$$E_L = A (H \cdot h^x + h^{x+1})$$

en el que :



- Piezometria (m.s.n.m.)
- - - Entradas laterales ( $\text{hm}^3/\text{mes}$ )
- D Desfase entre piezometria y entradas laterales

FIG:5: Evolución de las entradas laterales y la piezometria del borde detrítico.

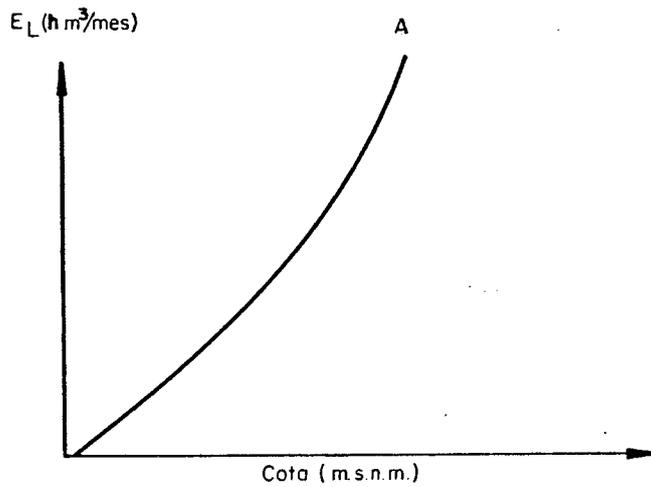


FIG:6 Expresion grafica de la relacion funcional entre entradas laterales y piezometria del borde detrítico.

$$x = \frac{n-1}{n}$$

$$E_L = \text{Entradas laterales : hm}^3/\text{mes}$$

$$A = \text{Constante adimensional}$$

$$H = \text{Potencia media saturada del acuífero detrítico por debajo del nivel del mar : metros}$$

$$h = \text{Altura piezométrica sobre el nivel del mar : metros}$$

$$n = \text{Exponente generalmente comprendido entre 0,5 y 3.}$$

Para el cálculo de las entradas laterales en las planas se han dividido éstas en sectores, de características parecidas y se han correlacionado los datos de entradas, deducidos mediante el modelo, con la piezometría media del conjunto de mallas del sector, representado por uno de los puntos de control utilizados para el calaje. La función obtenida ha permitido cuantificar, a partir de los datos piezométricos posteriores a la realización del modelo, las series mensuales de entradas laterales.

Los criterios utilizados para la determinación de dichos sectores, han sido, en la mayor parte de los casos, los siguientes :

- La alimentación lateral debe poder identificarse, proceda de uno o más acuíferos de borde.
- Cada sector se caracteriza fundamentalmente por salidas subterráneas o por fenómenos de intrusión salina.
- Los ríos quedan incluidos a lo largo de su recorrido por las planas generalmente en un sólo sector.
- Las áreas o sectores diferenciados deben tener funcionamiento hidrogeológico similar.

#### 5.4.2. Infiltración de los excedentes de riego, procedentes de aguas superficiales y subterráneas.

A partir de los trabajos indicados en el epígrafe 5.1. se ha calculado la infiltración de los excedentes por regadíos. Para ello ha bastado actualizar los cultivos en el 1981, estimar la evolución durante el período en estudio de las superficies -- regables desde el 1972, y aplicar las tasas de reinfiltración -- adecuadas a cada cultivo y tipo de riego.

#### 5.4.3. Infiltración del agua de lluvia

Para el cálculo de la infiltración por agua de lluvia se ha partido de la lluvia útil, diferencia entre evapotranspiración real (ETR) y la pluviometría (P). Dicha lluvia útil, en la mayor -- parte de los casos, se ha considerado equivalentemente a la infiltración eficaz por estimarse que la escorrentía superficial es -- prácticamente despreciable en las planas.

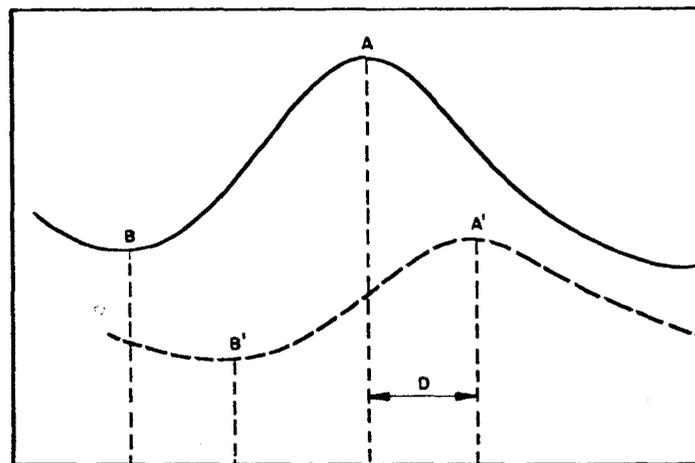
#### 5.4.4. Bombeos para usos agrícolas, urbanos e industriales

El valor de los bombeos para usos agrícolas se ha obtenido a partir de los datos básicos indicados en el epígrafe 5.1.

Las extracciones para la satisfacción de las demandas -- industrial y urbana, se han estimado, dada la dificultad de su de terminación, mediante las encuestas efectuadas durante la realiza ción de los modelos, y las llevadas a cabo durante los años 1980-1981, la extrapolación de datos intermedios se ha obtenido al con siderar que el crecimiento anual de la demanda es del 3%.

#### 5.4.5. Descarga subterránea al mar

Fueron evaluadas por vez primera mediante la realización de los modelos. Para su extrapolación, a partir del año correspondiente a su realización, se ha considerado un sistema parecido al empleado con las entradas laterales, es decir, la piezometría, en el detrítico próximo al mar, condiciona las salidas subterráneas a éste.



Tiempo (meses)

- = Salidas subterráneas al mar
- = Piezometría (m.s.n.m.)
- D = Desfase entre piezometría y salidas subterráneas.

Fig. nº 7. : Evolución de las salidas subterráneas al mar con la piezometría de borde en el acuífero - detrítico.

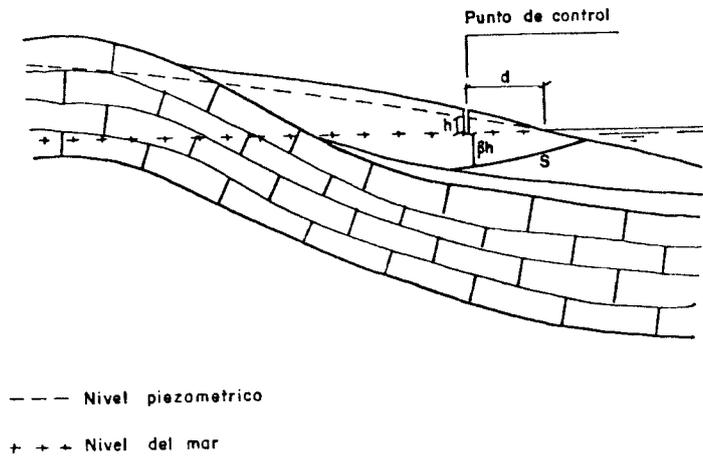


Fig. 8. Situación de piezómetro utilizado por correlación y estimación de salidas subterráneas al mar.

En los casos en el que el piezómetro utilizado en el modelo no se controle actualmente, se han estimado las descargas -- por algunos de los procedimientos siguientes :

- Considerar que la relación entre entradas laterales y descargas subterráneas sincrónicas para mallas perpendiculares a la dirección del flujo subterráneo, es -- actualmente idéntica a la existente durante la realización del modelo.
- Suponer que la relación entre descargas subterráneas sincrónicas en dos sectores contiguos de la plana, es actualmente similar a la existente durante la realización del modelo.

En los raros casos en que se ha tenido que aplicar alguna de estas dos hipótesis, ya que generalmente los piezómetros utilizados durante la realización del modelo se miden actualmente, se ha tenido en cuenta cual de ellas podría ser más aplicable a cada caso, considerando fundamentalmente la incidencia de las variaciones de distribución espacial y temporal en las explotaciones, dentro de cada uno de los sectores.

#### 5.4.6. Salidas por drenes y bombeos en marjaleras.

Estas salidas se localizan en las proximidades de la costa y están relacionadas con la piezometría en los bordes. Para su determinación se han utilizado dos procedimientos :

- Obtención a partir de la piezometría de borde en el acuífero detrítico.
- Estimación a partir de las salidas subterráneas al mar.

En el primero de los casos se ha definido experimentalmente la función que relaciona la piezometría con las salidas por drenes, considerando que estas son parte de las salidas subterráneas que emergen antes del mar, al cortar la superficie piezométrica a la superficie topográfica, tal como se indica en la fig. 9, adjunta. Los datos utilizados son los obtenidos a partir del periodo de simulación. A partir de la función determinada, en cada caso, y las series piezométricas se han generado las series de medidas correspondientes al período en estudio.

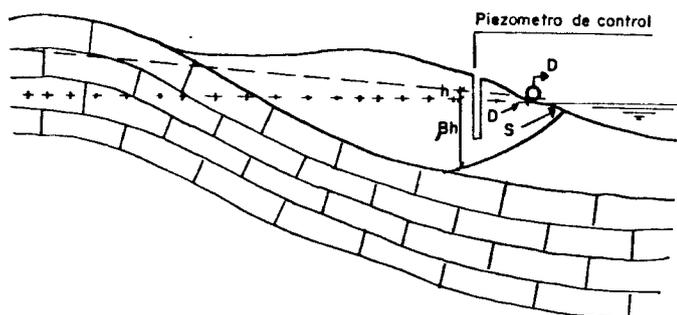


Fig. 9 Esquema indicativo del origen de los marjales.

Para su obtención a partir de las salidas subterráneas al mar se ha considerado que tal como se intuye en la fig. 9 adjunta, existe una relación lineal entre la cuantía de las salidas procedentes de marjalerías y las salidas subterráneas al mar. Por ello, a veces, se han obtenido los valores de las primeras a partir de las segundas mediante la función definida experimentalmente a partir de los datos del modelo.

Las descargas en marjalerías han sido también cuantificadas, en la mayor parte de los casos a partir de las estaciones de aforo instaladas y controladas por el IGME. Los valores obtenidos por este último procedimiento coinciden con la extrapolación a partir del modelo, y permiten verificar la validez de la metodología indicada anteriormente.

#### 5.4.7. Descarga por manantiales

Las descargas por manantiales, dentro del acuífero detrítico, pueden asimilarse en líneas generales, aunque en algunos casos puedan tener origen distinto, a intersecciones de la superficie piezométrica con la topográfica. Su situación puede ser próxima a la línea de costa, o por el contrario, en las proximidades del borde en contacto con los acuíferos mesozóicos.

Según que sea uno u otro caso el valor de su descarga estará relacionado con el de las salidas subterráneas o con el de las entradas laterales, de las mallas externas, perpendiculares a la dirección del flujo que las origina. Estas relaciones son en principio lineales.

En los trabajos correspondientes a cada una de las planas, se ha estimado este parametro, utilizando la metodología más adecuada a cada caso. Los valores obtenidos se han contrastado con las medidas en las estaciones de aforo instaladas por el IGME, los resultados han sido concordantes, en todos los casos - demostrando la validez del método.

#### 5.4.8. Relación Acuíferos - Río

La relación acuífero-río ha sido definida en cada caso y para cada plana. Los valores de la descarga subterránea a los ríos o la infiltración de éstos a los acuíferos ha sido cuantificada por dos métodos.

- Medición directa de caudales.
- Estimación a partir de la piezometría del acuífero - mediante las relaciones de funcionalidad obtenidas - a partir de los resultados del modelo.

El primer procedimiento se ha utilizado en el caso de los ríos Júcar y Mijares. El segundo se ha aplicado en todos.

Para ello se han definido los sectores en los que el río es influente o efluente, y se ha determinado, en cada uno de ellos, la relación funcional entre piezometría y caudales de descarga o infiltración para los datos del modelo. Mediante la aplicación de estas funciones experimentales, y las series piezométricas existentes, se ha cuantificado la descarga o infiltración de los ríos.

#### 5.5. MEJORA SOBRE CONOCIMIENTO DE SU COMPORTAMIENTO HIDRAULICO

El funcionamiento hidráulico, en régimen no influenciado, de un acuífero está fijado fundamentalmente por sus parámetros hidráulicos y por sus condiciones de borde. Consecuencia de esto, y para una alimentación determinada, es la topografía de la superficie piezométrica.

Esta última superficie se controla desde el 1972, en todas las planas costeras, mediante una densa red de piezómetros compuesta por 525 puntos.

A partir de los niveles, en ellos medidos, se confeccionan bimensualmente planos de isopiezas que muestran la evolución espacial y temporal de la superficie libre del agua subterránea, a la vez que permiten determinar las direcciones preferenciales de circulación y evidenciar las áreas de sobreexplotación y recarga preferencial.

A la vez, el estudio de la evolución hiperanual e interanual de la piezometría en cada uno de los puntos, permiten predecir los niveles de estiaje.

#### 5.6. ESTUDIO DE LA CALIDAD ACTUAL DEL AGUA Y SU EVOLUCION ESPACIAL Y TEMPORAL COMO CONSECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES CONTAMINANTES.

La calidad natural del agua subterránea ha sido degradada por las acciones contaminantes que el hombre desarrolla.

A partir de los datos existentes, en la Oficina Regional del IGME en Valencia, se ha estudiado la incidencia de las prácticas contaminantes en la calidad natural del agua subterránea.

Estos datos proceden de las Redes de Control de la intrusión Salina en Acuíferos costeros y de la Red General de la Vigilancia del agua Subterránea, ambas impuestas y controladas por el IGME desde el 1976.

La metodología de trabajo adoptada se ha centrado fundamentalmente en los puntos siguientes :

- Análisis de la evolución espacial y temporal de los parámetros indicativos de los procesos de degradación.
- Ilustración de esta evolución mediante mapas, con diagramas de Stiff modificados, para todos los puntos de la Red General de Vigilancia de la Calidad del Agua - Subterránea.
- Determinación de la distribución espacial de la zona de difusión de la interfases agua dulce-agua de mar.
- Situación del límite de la interfases y determinación de las isohípsas de su techo.

De los trabajos indicados anteriormente : el punto primero y segundo no necesitan explicación por su simplicidad; el tercero y cuarto se indicarán con detalle en el epígrafe 5.7.

#### 5.7. ANALISIS DE LA PROBLEMATICA PLANTEADA POR EL USO ACTUAL DEL AGUA.

La explotación de los recursos subterráneos de los acuíferos costeros conlleva riesgos importantes por su conexión hidráulica con el mar. Dicha explotación no puede ser nunca integral, debido a que hay que dejar una parte de los recursos verter al mar para mantener un equilibrio hidráulico con éste.

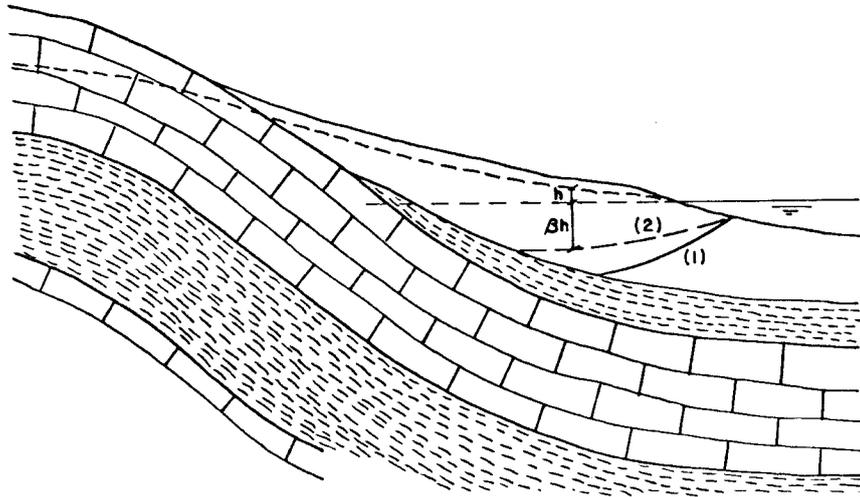
En los acuíferos costeros del litoral levantino, y como consecuencia de su explotación no programada, se han producido procesos muy importantes de intrusión salina, prueba de ello, son las extensas áreas salinizadas, en las proximidades de Denia, Jávea, Pego, Jaraco, Sagunto, Moncófar, Benicasim, Oropesa, Torreblanca, Vinaroz y Benicarló.

La evolución de estos problemas de intrusión y el estudio de su posible control revisten gran interés desde el punto de vista científico y económico.

Para el estudio de la problemática planteada por el uso del agua se ha realizado los trabajos siguientes :

- Estimación de la forma, penetración y fluctuación de la interfases agua dulce-agua salada.
- Determinación de las áreas del acuífero protegidas naturalmente frente a la intrusión salina.
- Determinación de los sectores litorales más salinizados o en fase de salinización.

La interfases agua dulce-agua salada no es estática, sino que depende del potencial hidráulico en el acuífero costero y por lo tanto de su alimentación y de sus extracciones. En la Fig. nº 10, se indica que, a medida que disminuyen las salidas subterráneas al mar, la interfases disminuye su curvatura volviéndose cada vez más plana. En una situación límite, cuando las salidas subterráneas se anulasen, la superficie de separación agua dulce-agua salada sería un plano horizontal.



- (1) POSICION INICIAL
- (2) POSICION FINAL

FIG:10 DESPLAZAMIENTO DE LA INTERFACIES EN UN ACUIFERO COSTERO AL DISMINUIR SUS RECURSOS

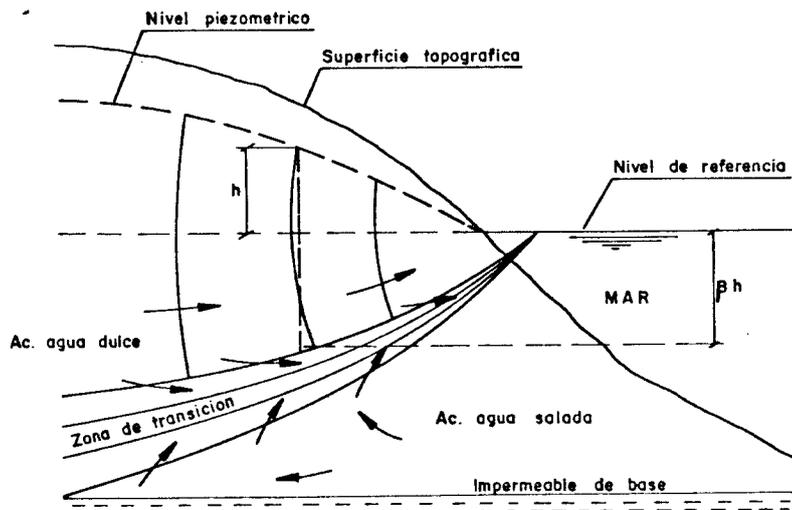


FIG:11 SISTEMA ESQUEMATICO DE TRANSICION ENTRE LAS SITUACIONES LIMITES DEL AGUA DULCE Y SALADA

El espesor de la interfases, zona de difusión, no es nulo, sino que en algunos casos puede constituir una amplia área, en la que existe un gradiente de densidades y por lo tanto de mezcla entre el agua marina y el agua salada. Este fenómeno se esquematiza en la Fig. 11 adjunta.

El límite máximo de penetración de la interfase, para una situación de potencial hidráulico determinado, está condicionado por su intersección con el impermeable de base del -- acuífero, vease Fig. nº 12, de este modo si éste se levanta su ficientemente en las proximidades de la costa, puede constituir una protección adecuada. Sin embargo, hay que considerar, que una determinada situación de levantamiento, que en algunos casos puede constituir una barrera frente a la intrusión salina, puede no serlo en condiciones más desfavorables, puesto que a medida que disminuyen las salidas subterráneas al mar la inter facies se aplanan y aumenta por tanto sus posibilidades de pe-- netración tierra adentro. En consecuencia solamente puede -- existir una protección continua, frente a la intrusión salina-- en el caso de que el impermeable de base se situase por encima del nivel del mar, en todo el contacto con el litoral.

En vista de lo anterior la metodología adoptada para la realización de los trabajos, antes indicados, ha sido la si guiente :

- Selección, en cada plana, de puntos de control cuya cota de fondo sea la correspondiente a una profundidad determi nada. En la Fig. nº 13, serían los grupos indicados por los --

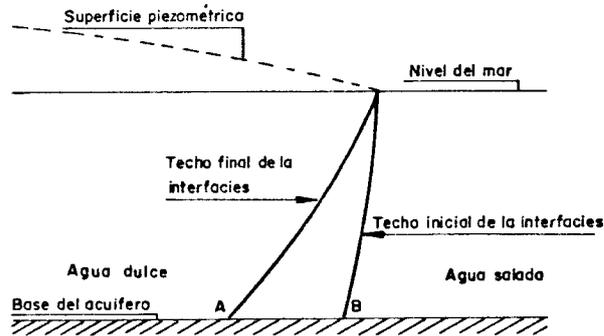
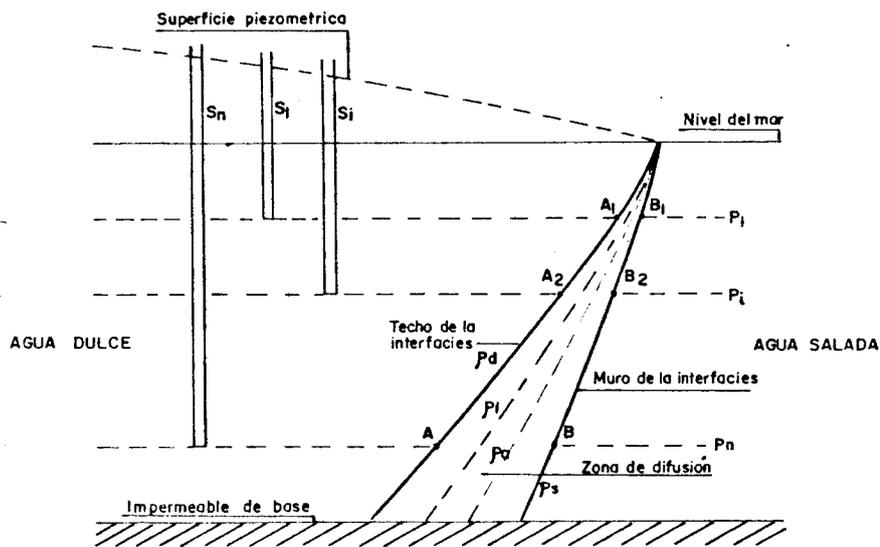


FIG.12: Intersección de la interfaces con el impermeable de base del acuífero en una situación de avance tierra adentro.



- $P_d$  = Densidad del agua dulce
- $P_i$  = Densidad de la isolinea 1 de la zona de difusión
- $P_n$  = Densidad de la isolinea n de la zona de difusión
- $P_s$  = Densidad del agua salada
- $P_i$  = Plano de cota i respecto al mar

FIG.13: Disposición esquemática de los grupos de sondeos utilizados para la determinación de la anchura de la zona de difusión.

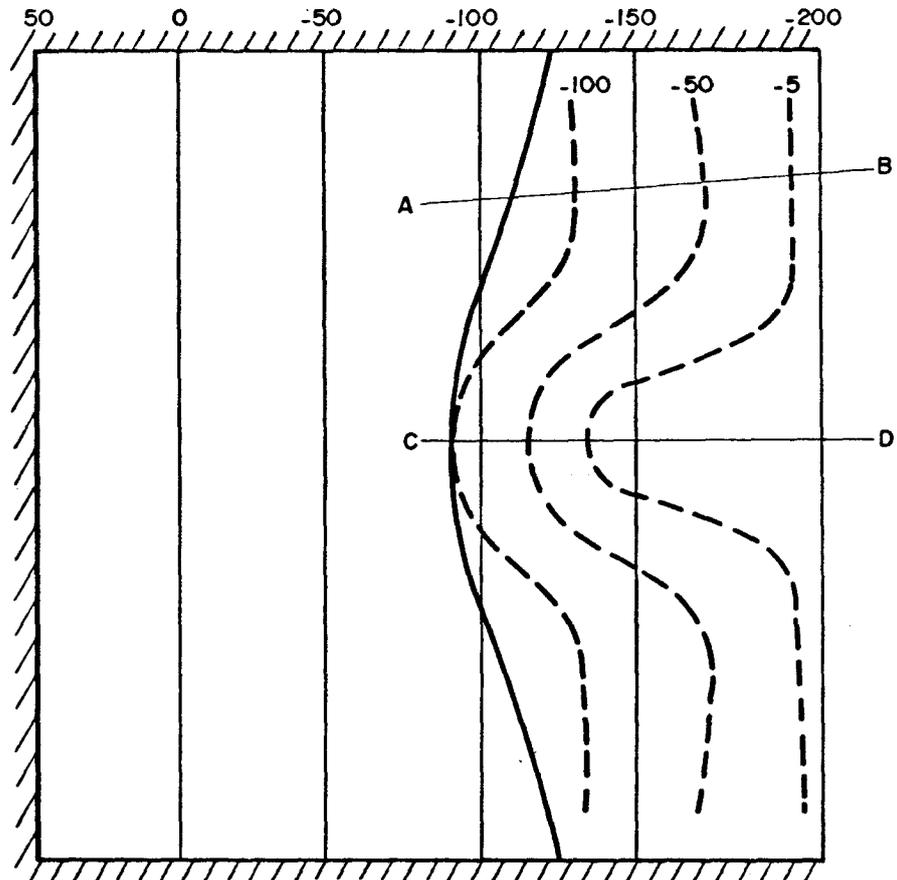
sondeos  $S_1$ ,  $S_i$  y  $S_n$  correspondientes a los planos  $P_1$ ,  $P_i$  y  $P_n$  de cota  $Z_1$ ,  $Z_i$  y  $Z_n$  respectivamente.

- Realización para cada campaña de muestreo, de planos de isolíneas de igual concentración en cloruros, con los datos correspondientes a cada grupo de pozos de igual cota -- en fondo. Mediante cada uno de estos planos se pueden definir, vease Fig. nº 13, para cada profundidad las isolíneas límites de la interfase y por consiguiente la anchura de la zona de difusión.

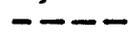
- Elección de una isolínea, generalmente 150 ppm de  $Cl^-$  como techo de las interfases y extrapolación de su avance tierra adentro en función de los datos antes obtenidos.

- Intersección de las isohípsas del techo impermeable de base del acuífero detrítico con las isohípsas del techo de los interfases. Dicha intersección constituye, vease Fig. nº 14, el límite máximo de avance de los interfases, en las condiciones hidráulicas prefijadas.

La determinación de zonas litorales actualmente protegidas frente a la intrusión o en mayor o menor grado de salinización se deduce de la determinación de la penetración máxima de la interfases y de las isohípsas de su techo. Las zonas de gradadas se caracterizan por una situación tal como la indicada en el corte C D, mientras que las zonas protegidas corresponderían a las del A.B. Ambas situaciones se ilustran en el esquema adjunto.



BORDES DEL ACUIFERO DETRITICO

-  Permeables e impermeables
-  Isohipsas del techo del impermeable de base (m.s.n.m.)
-  Interseccion de la interfases con el impermeable de base
-  Isohipsas del techo de la interfases. (m.s.n.m)

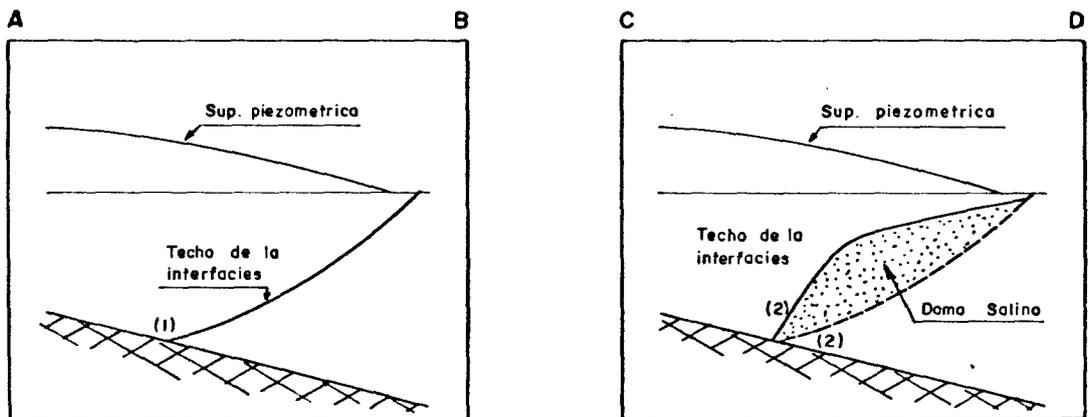


FIG. 14. ILUSTRACION GRAFICA SOBRE EL SISTEMA UTILIZADO PARA LA DETERMINACION DE LA PENETRACION Y TOPOGRAFIA DEL TECHO DE LA INTERFASE.

5.8. PLAN DE ACTUACIONES FUTURAS PARA LA UTILIZACION MAS  
ADECUADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS.

Del estudio detallado de la problemática planteada - por el uso actual del agua, se han definido una serie de áreas en las que se tendrían que evitar o en el mejor de los casos - disminuir las extracciones que actualmente se realizan.

Para todas y cada una de ellas se han propuesto una serie de medidas encaminadas a la mejor utilización de los recursos hidráulicos.

En principio y de forma general éstas son :

- Trasvases de recursos subterráneos de áreas próximas.
- Proyectos de recarga artificial.
- Reordenación de las explotaciones.
- Utilización conjunta de recursos superficiales y subterráneos.
- Utilización en usos agrícolas de aguas residuales.
- Proposición de barreras contra la intrusión.

6.1. PLANA DE CASTELLON - SAGUNTO

### 6.1.1. Introducción

La Plana de Castellón-Sagunto se extiende desde Puzol, hasta Benicasim, teniendo como límites el mar al Este, al Oeste los macizos calizos y/o areniscosos de la Sierra del Espadan, y al Norte, las estrípciones del Sistema del Maestrazgo.

Su extensión es de unos 550 Km<sup>2</sup> desarrollandose su parte meridional en la provincia de Valencia-Cuenca Baja del río - Palancia-y la Septentrional en la de Castellón.

Sobre el acuífero, que se aloja en materiales detríticos de arenas y gravas pertenecientes en Mioceno-Cuaternario, existen unas 47.000 has., de regadio de los cuales practicamente 32.000 se riegan a partir de aguas extraídas del propio acuífero y el resto con aguas superficiales de los ríos Mijares y - Palancia. Asimismo las necesidades urbanas e industriales de las poblaciones situadas en la Plana se satisfacen con aguas subterráneas de este acuífero.

### 6.1.2. Definición Geométrica de los Embalses Subterráneos

Dentro del subsistema hidrogeológico de la Plana de Castellón se pueden diferenciar dos embalses subterráneos: el inferior, de naturaleza carbonatada y/o areniscosa; y el superior - constituido por materiales detríticos, procedentes de la erosión transporte y deposición de los materiales mesozóicos que lo limitan por el borde septentrional y occidental.

El superior es actualmente el más conocido y el único explotado.

Tal y como se ha indicado anteriormente está compuesto por materiales detríticos del tipo arenas, gravas y arcillas.

La definición de la forma del embalse ha sido posible - gracias al uso combinado de la geofísica, el inventario de puntos acuíferos, la realización de sondeos de reconocimiento y la geología superficial.

La prospección geofísica realizada durante el Proyecto de Investigación de Acuíferos de la Cuenca del Medio y Bajo Júcar (PIAS) se compone de tres campañas sucesivas: una primera con 86 S.E.V. de abertura AB=3.000 m, denominada Puzol-Sagunto (SA) y la Plana de Castellón (CS); una segunda con 67 S.E.V. de AB=500 m., para estudio de la interfases denominada IF; y por último la tercera de 51 S.E.V. de AB=2000 m., complementaria de la primera y denominada Castellón-Benicasim (CE).

El inventario de puntos acuíferos consta de un total de 1.200 puntos entre pozos, sondeos y manantiales. Para cada uno de ellos se anotan sus principales características litológicas, constructivas además de las correspondientes al uso del agua, volúmenes bombeados, distribución mensual, etc.

Los sondeos de reconocimiento hidrogeológico realizados asciende a 8, y suman un total de 2.100 metros perforados.

La geología superficial ha permitido revisar y definir la conexión hidráulica con los materiales de borde occidental y establecer hipótesis sobre la naturaleza y disposición del acuífero calizo infrayacente. Para ello se ha revisado una cartografía hidrogeológica a escala 1:50.000 de unos 2.500 Km<sup>2</sup>. Dicha superficie abarca parte de las hojas de: Sagunto, Segorbe, Castellón de la Plana, Moncófar, Alcora y Villafamés.

La actual reinterpretación de la geofísica ha permitido definir con mayor exactitud la forma y distribución del relleno detrítico y de su impermeable de base.

Los resultados de dicha reinterpretación se plasman en los planos n<sup>os</sup>. 1 y 2 en los que se indican las isolíneas de espesor del acuífero y las isohípsas del techo del impermeable de base.

Los mayores espesores de relleno suelen coincidir con los cauces actuales de los ríos Mijares y Palancia. A excepción de los situados en las proximidades de Benavites y Nules.

Desde el punto de vista zonal existen dos áreas netamente diferenciadas en el acuífero: la zona Norte, entre Almenara y Benicasim, denominada Plana de Castellón en sentido estricto; y la zona Sur, entre Almenara y Puzol, que correspondería a la Plana de Sagunto.

En la Plana de Sagunto los mayores espesores de materiales acuíferos corresponden a las inmediaciones del cauce actual del río Palancia y a las proximidades de Benavites. En estos lugares la potencia del acuífero alcanza valores máximos de 140 y 200 m. respectivamente. En sentido amplio se puede decir que el espesor de relleno aumenta de Oeste a Este hasta un máximo, próximo a la línea Almenara-Puerto de Sagunto, para disminuir a continuación.

Del mismo modo en la Plana de Castellón los mayores espesores del relleno detrítico se localizan en las proximidades del cauce del río Mijares, y al SW de Nules. El fenómeno es parecido al de la Plana de Sagunto, la potencia aumenta de Oeste a Este hasta alcanzar un máximo según la línea Nules-Castellón, para disminuir después a continuación.

El mapa de isohipsas adjunto permite esbozar la topografía del muro del acuífero. Dicho muro se sitúa entre 0 m.s.n.m., y 100 b.s.n.m. en la Plana de Sagunto y entre 50 m.s.n.m. y 150 m.b.n.m. en la Plana de Castellón. En el litoral las cotas están comprendidas entre 20 y 100 m.b.n.m. En los sectores en los que el muro impermeable del acuífero está más alto son, en principio, menos vulnerables a la intrusión salina, por el contrario los de cota más baja presentan un riesgo mayor. Corresponden a estos últimos casos las áreas litorales situadas frente a Benavites, Burreiana, Almazora, Sagunto y Moncofar, las dos últimas en fase grave de salinización.

La conexión del acuífero detrítico con los de borde se produce generalmente como indica la figura nº 3 adjunta.

En el esquema (A) la alimentación al acuífero detrítico procedente del mesozóico se produce exclusivamente a través del nivel permeable (1); se restringe anulándose en sentido WE, cuando el nivel piezométrico en el calizo se sitúa por debajo de su muro; y se anula totalmente cuando dicho nivel se sitúa a cota 0 m.s.n.m.

El esquema (B) es muy parecido al (A) si se exceptúa la diferencia, muy importante, de que la alimentación se anula antes de que el nivel piezométrico en el calizo esté a 0 m.s.n.m., concretamente cuando éste se sitúa a la altura del contacto con el impermeable de base del detrítico, que en este caso está situado muy por encima del mar.

La existencia de un sistema u otro de conexión, que en la mayor parte de los casos podrían ser parecidos a los indicados, condiciona la alimentación lateral del acuífero detrítico. Desde este punto de vista, se han analizado los bordes, en contacto con el acuífero calizo, distinguiendo en ellos los aspectos siguientes:

- . Límites a flujo nulos
- . Potencial variable con gran área de alimentación.
- . Potencial variable con pequeña área de alimentación.
- . Potencial variable con alimentación condicionada por un mínimo piezométrico.

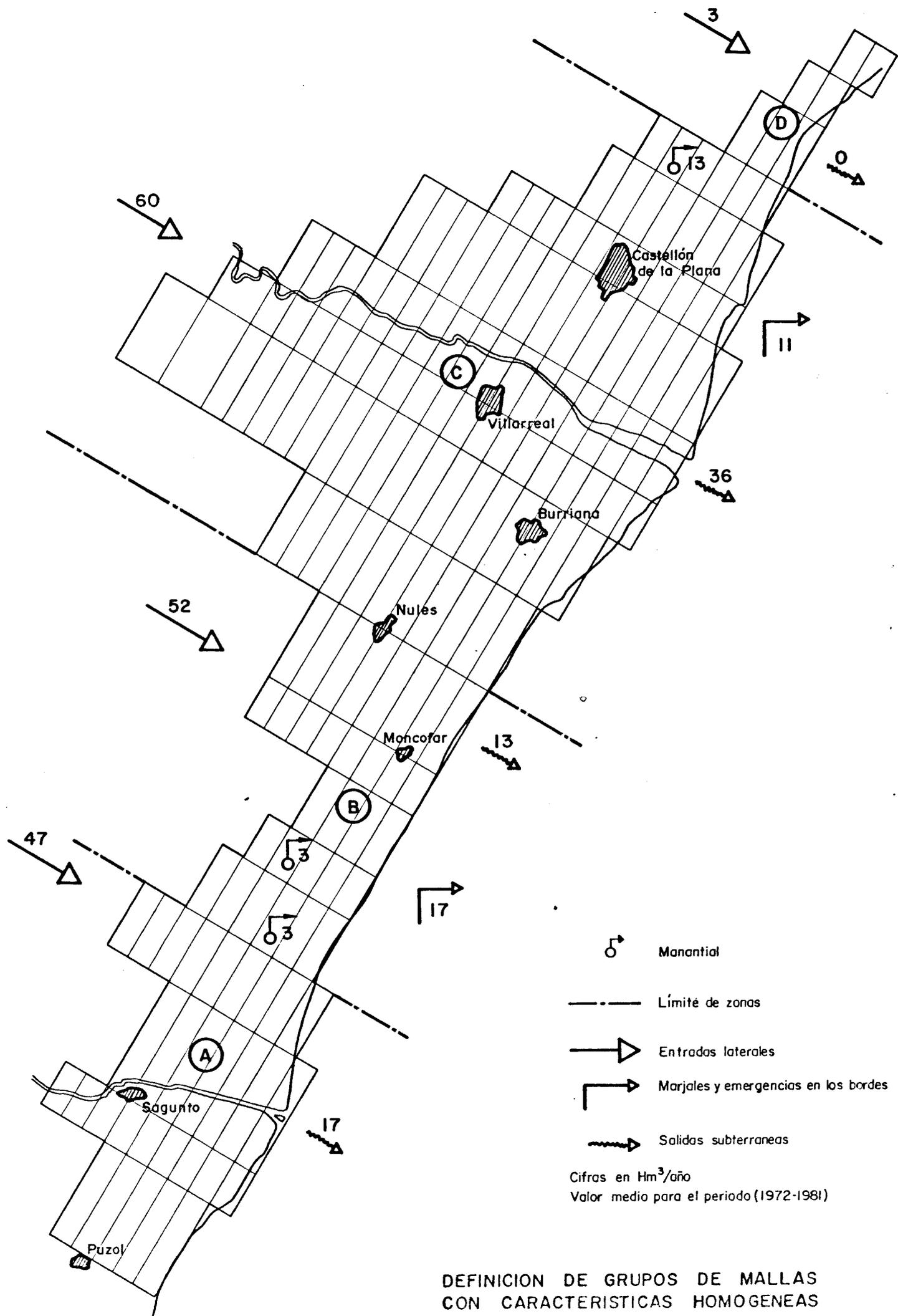
El primer concepto no necesita explicación. El segundo y el tercero correspondería a una situación de alimentación constante, condicionada exclusivamente por los propios recursos de los acuíferos calizos, que a su vez dependen de la cuantía de su extensión superficial. El cuarto y último, está relacionado muy directamente con la cota del techo del impermeable de base del acuífero detrítico, puesto que dicha cota condiciona el nivel piezométrico mínimo en el acuífero calizo, para que exista alimentación lateral al detrítico. En el plano nº 3 adjunto se indica la reclasificación de las mallas, utilizadas en el modelo realizado en 1972-1973, en función de los tres primeros criterios anteriormente indicados.

Para la definición exacta en cada malla del nivel piezométrico mínimo a partir del cual cesa la alimentación lateral, sería necesario complementar la geofísica existente, aumentando el número de perfiles geoelectrónicos disponibles. Esto se ha intentado suplir actualmente mediante el análisis de los resultados procedentes de las correlaciones realizadas entre las entradas laterales, cuantificadas por el modelo, y la piezometría de las mallas de características en los bordes parecidas, se indican en las figuras n<sup>os</sup>. 19 y 20 adjuntas, y permiten deducir los resultados, expuestos a continuación, que por otra parte confirman el mapa de isohípsas del techo del impermeable de base adjunto. Dichos resultados globalmente expuestos son:

- En los sectores A, B y D de la fig. n<sup>o</sup> 15 adjunta, las entradas laterales al acuífero detrítico se anulan en su mayor parte por valores piezométricos, en los materiales de borde mesozóicos, próximos y superiores a 0 m.s.n.m.
- En el sector C, que ocupa gran parte de la Plana de Castellón, las entradas laterales se anulan generalmente para cotas próximas a 30 m.s.n.m., en los acuíferos mesozóicos de borde.

### 6.1.3. Funcionamiento Hidráulico

Las propiedades hidráulicas del acuífero dependen fundamentalmente de su transmisividad y de su coeficiente de almacenamiento. La determinación convencional de estos parámetros se realiza mediante bombeos de ensayo o se estima mediante la utiliza--



ción de caudales específicos obtenidos a partir del inventario de puntos de agua.

Sin embargo, cualquiera de estas determinaciones, en un medio fundamentalmente anisótropo, como el que nos ocupa, es representativa de un entorno más o menos próximo al punto de realización del ensayo y difícilmente se puede extrapolar a áreas más amplias y mucho menos al conjunto del acuífero.

Por ello se considera mucho más representativo de las propiedades hidráulicas del acuífero, los valores obtenidos en la fase final del proceso de ajuste del modelo, puesto que en él se integran todos los valores obtenidos puntualmente. Los valores estimados por este procedimiento (veanse figuras nºs. 16 y 17) se encuentran comprendidos entre 500 y 6000 m<sup>2</sup>/día para todo el acuífero. Los máximos valores de Transmisividad están asociados a las zonas de mayor espesor de acuífero saturado, que corresponden generalmente a las proximidades de los cauces actuales de los ríos Mijares y Palancia. Los valores del coeficiente de almacenamiento se sitúan entre el 5 y 15%, lo que es usual en este tipo de acuíferos, detríticos y libres. Los valores más altos se sitúan en la subunidad de la Plana de Castellón en las proximidades y al Sur del río Mijares. Los menos elevados corresponden generalmente a los materiales de la Subunidad de la Plana de Sagunto.

La profundidad del nivel de saturación se controla en toda la unidad desde el 1972, mediante una red de 62 puntos de agua. A partir de estos datos se realizan de forma sistemática



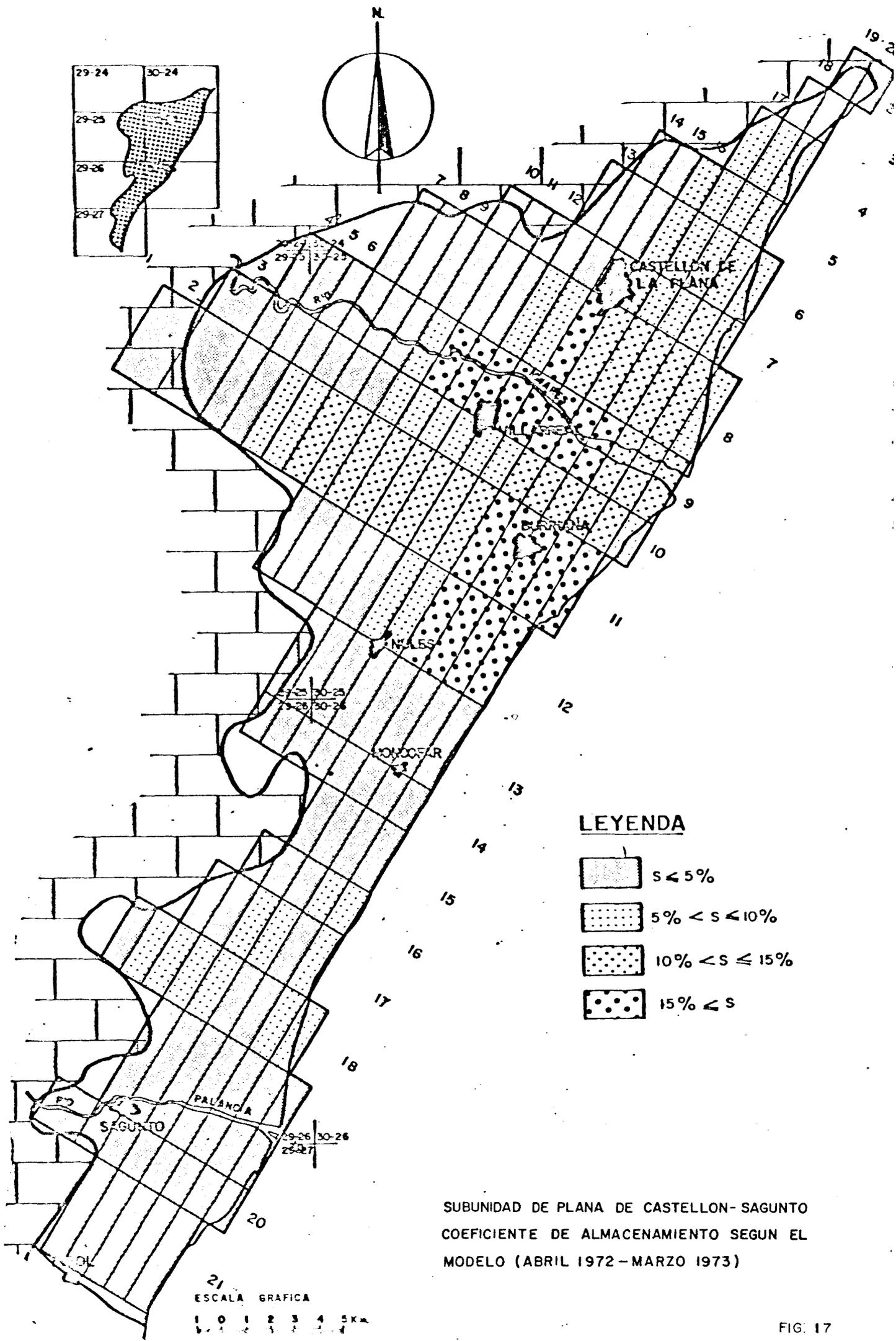


FIG. 17

mapas piezométricos, que definen la morfología de la superficie libre del agua en el acuífero para cada campaña de control, generalmente bimensual. Algunas de las conclusiones, que se deducen de este control son:

- Se observa un descenso generalizado de niveles hasta el 1976, posterior recuperación hasta alcanzar un máximo comprendido entre el último semestre de 1977 y primer trimestre de 1978; seguido de un brusco descenso hasta 1979 que prosigue hasta hoy, más o menos amortiguados según las zonas. A grandes rasgos se puede correlacionar la evolución piezométrica con las secuencias de precipitaciones registradas en la zona. Así, en la estación meteorológica del Embalse Ma Cristina se ha registrado una precipitación media de 412 mm. para el período 1972-1981, en él la sequía del año 1975-1976, con tan solo 238 mm, encaja con el mínimo piezométrico alcanzado a mediados de este último año; las lluvias de 1976-77 con 620 mm. producen el máximo alcanzado a finales del 1977 principios del 1978; y finalmente, el brusco descenso en la piezometría registrado inmediatamente después encaja con la sequía subsiguiente, en la que destaca el año 1978-79 con tan solo 383 mm.
- La magnitud de la respuesta a la lluvia es variable de unas zonas a otras, su intensidad es mayor en los límites occidentales de la unidad, y concretamente en las zonas de mayores entradas laterales tales co-

mo Cuart de les Valls y Faura (en la subunidad del Bajo Palancia) y las de Bechí y Rambla de la Viuda (en la subunidad de la Plana de Castellón).

- Las máximas fluctuaciones anuales (10 m. generalmente) se producen también en las zonas de alimentación preferencial próximas al borde mesozóico. Las mínimas (menos de 1 metro) en las proximidades del litoral.
  
- Las características de la superficie piezométrica, veanse planos n<sup>os</sup>. 4 y 5 adjuntos, no han variado sustancialmente si se exceptúa: la acentuación de ciertos rasgos morfológicos en las proximidades de Moncófar y Villareal, característicos de importantes descensos; la aparición de otros, antes inexistentes en las inmediaciones del río Palancia, sin duda relacionados con las extracciones en IV P.S.I. de Sagunto y las realizadas al SE de Faura; y la aparición de ciertos indicios al S. de Castellón que apunta a la creación de una nueva zona deprimida con presuntos problemas de intrusión salina.
  
- La circulación se mantiene invariable a grandes rasgos con flujo preferencial en sentido NW-SE a excepción de las inversiones locales de Sagunto y Moncófar.

- Las áreas con problemas de sobreexplotación quedan perfectamente definidas en el mapa de isodescensos adjuntos, vease planos nº 6 y coincide con las zonas de; Moncófar, W de Villareal, Faura y IV P.S.I. de Sagunto. De estas, solamente la citada en último lugar, presenta un estado semiestacionario como consecuencia del acertado sistema de explotación actual.

La alimentación al acuífero detrítico de la Plana de Castellón (Subunidades de Plana de Sagunto y Plana de Castellón s. str) se realiza del modo siguiente: Alimentación lateral por los acuíferos mesozóicos de borde, dependiente de la superficie de captación de recursos y de la cota piezométrica mínima de alimentación; infiltración directa de agua de lluvias; infiltración de aguas superficiales procedentes de la infiltración directa de los ríos Mijares y Palancia; y infiltración de los excedentes de riegos con aguas superficiales.

Sus salidas se desglosan también a continuación: Salidas subterráneas al mar; salidas por drenes y emergencias difusas próximas a la costa; descarga de manantiales y bombeos netos para usos agrícolas, industriales y urbanos.

Las entradas laterales, cuantificadas según el modelo en un 60% de la alimentación total, no se reparten uniformemente a lo largo del borde occidental. Se concentran fundamental-

mente en las mallas, vease plano nº 3 adjunto, siguientes: 2-11, 9-12, 12-13, 12-14, 14-14, 15-14, 16-15, 14-17, 16-21, 14-5, 15-5, 16-5, y 4-9.

Las salidas subterráneas al mar se realizan fundamentalmente en las mallas de borde de ordenadas: 19 a 21 inclusives y 15 a 8 inclusives. Las restantes, 18 a 16 inclusive y 5 a 2 inclusive, según los datos del modelo, se podían definir como áreas en "equilibrio", en ellas las salidas subterráneas eran muy pequeñas, nulas o se producían ligeras entradas de agua de mar..La extensión actual de estas áreas de equilibrio se pueden haber modificado en detrimento de las excedentarias, vease plano nº 3 adjunto, como consecuencia de que el balance actual, como se verá en el epígrafe posterior, no coincide con el del modelo.

#### 6.1.4. Uso Actual del Agua Subterránea

Existen en la Plana de Castellón-Sagunto más de 600 pozos y sondeos equipados, con una potencia instalada próxima a 5000 C.V. utilizados para el abastecimiento de los núcleos urbanos, industriales y áreas regables.

El agua subterránea se consume mayoritariamente en el abastecimiento de extensas áreas regables, que totalizan actualmente unas 31.740 ha. (fig 18). La evolución de la extensión de dichas superficies, a causa de la ampliación de áreas de regadíos

o la sustitución parcial o total del agua superficial por subterránea podría resumirse así:

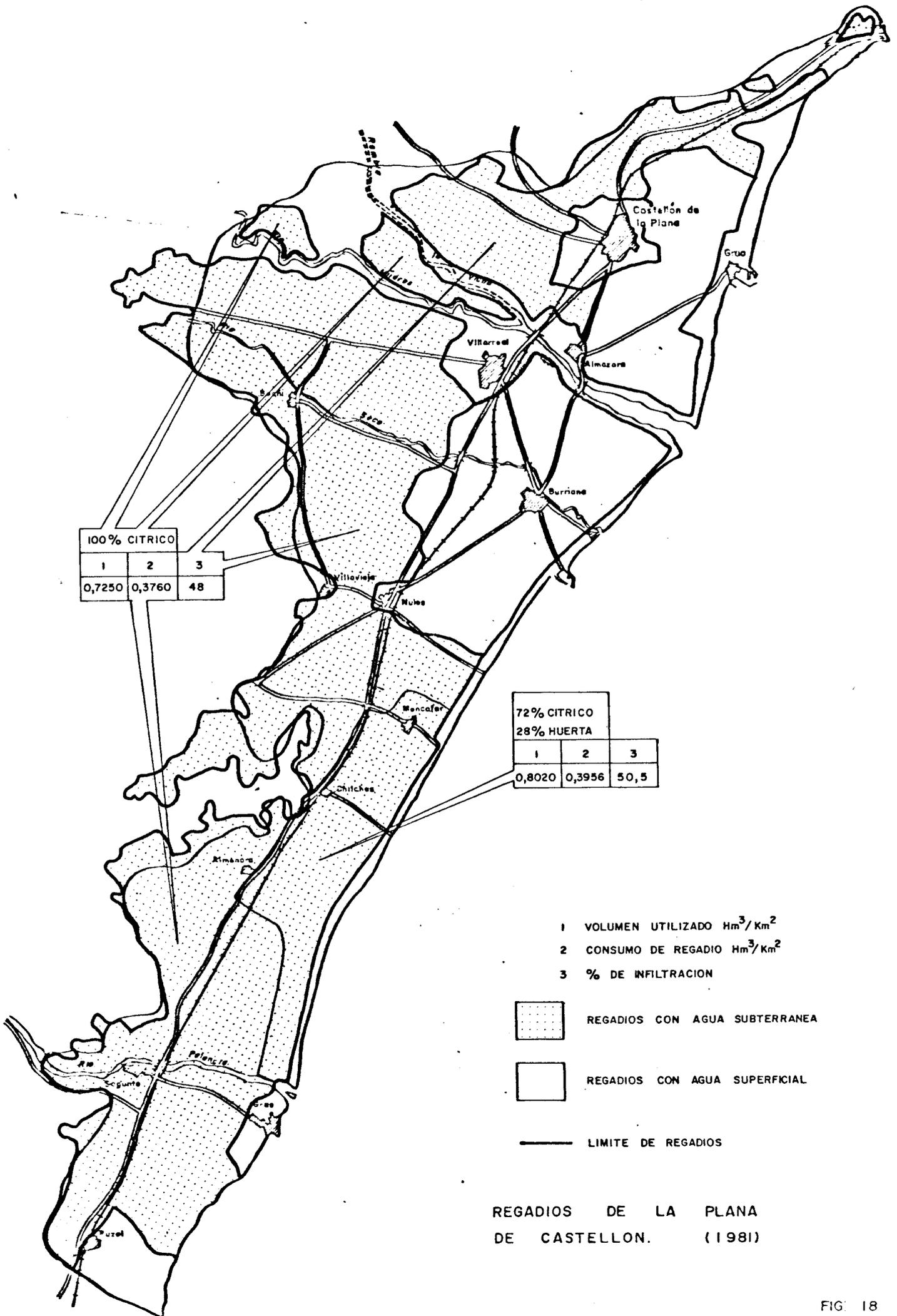
Año 1.972

. Regadios tradicionales, con agua subterránea	21.000 ha
. Superficies abastecidas con las fuentes de Cuart, La Llosa y El Molino	1.530 ha
. Riegos mixtos del Palancia y Rambla de la - Viuda	9.680 ha
TOTAL .....	32.210 ha

Año 1.981

. Regadios actuales con agua subterránea	31.440 ha
. Superficies abastecidas con las fuentes del Cuart, La Llosa y el Molino	300 ha
TOTAL .....	31.740 ha

A la vista de los datos correspondientes al año 1972 y 1981, resaltan dos aspectos importantes: uno de ellos es la reducción considerable de la superficie de riego abastecida mediante las fuentes; y otra más importante aún, es la práctica - desaparición del uso del agua superficial en las zonas tradicionalmente consideradas como de riegos mixtos.



Estas transformaciones, no se han producido de forma brusca, sino naturalmente a medida que las disponibilidades de aguas superficiales o de fuentes ha sido menor se perforaban nuevos pozos o se ponían en funcionamiento antiguas obras de captación existente. La evolución del consumo neto para uso agrícola se indica en el cuadro adjunto.

De igual modo el consumo urbano e industrial del agua subterránea se ha incrementado, como consecuencia fundamental de la mejora del nivel de vida. Los volúmenes bombeados para el abastecimiento de una población de derecho de 330.650 habitantes que en verano asciende a 435.000 y las industrias existentes, se indican también en el cuadro anterior.

Plana de Castellón. Volumen consumido de agua  
Subterránea.

Año Abril a Marzo)	Uso (hm <sup>3</sup> /año)		
	Agricultura	Abto. urbanos e industriales	TOTAL
1972-1973	84,50	63,20	147,70
1973-1974	91,20	65,10	156,30
1974-1975	103,80	67,00	170,80
1975-1976	106,5	69,00	175,50
1976-1977	66,70	71,15	137,85
1977-1978	64,25	73,25	137,50
1978-1979	113,70	75,50	189,20
1979-1980	122,50	77,75	200,25
1980-1981	116,60	80,05	196,65
Valor medio (1972-1981)	96,64	71,25	167,89

### 6.1.5. Balance

El funcionamiento del acuífero de la Plana de Castellón Sagunto está condicionado por los factores siguientes:

#### Entradas

- Alimentación lateral por los acuíferos calizos del borde Oeste y Norte.
- Infiltración por agua de lluvia.
- Infiltración por excedentes de riego con aguas superficiales.
- Infiltración por excedentes de riegos con agua de manantiales situados dentro y fuera del acuífero.

#### Salidas

- Descarga por manantiales
- Descargas por emergencias del borde Este
- Extracción neta del acuífero mediante bombeos.
- Descarga subterránea al mar.

#### 6.1.5.1. Entradas laterales

Las entradas que circulan por los acuíferos calizo-dolomíticos y de areniscas fisuradas de los bordes, tienen una cota piezométrica superior al detrítico y existe la conexión adecuada entre ambos, para que en la mayor parte de los sectores se pueda

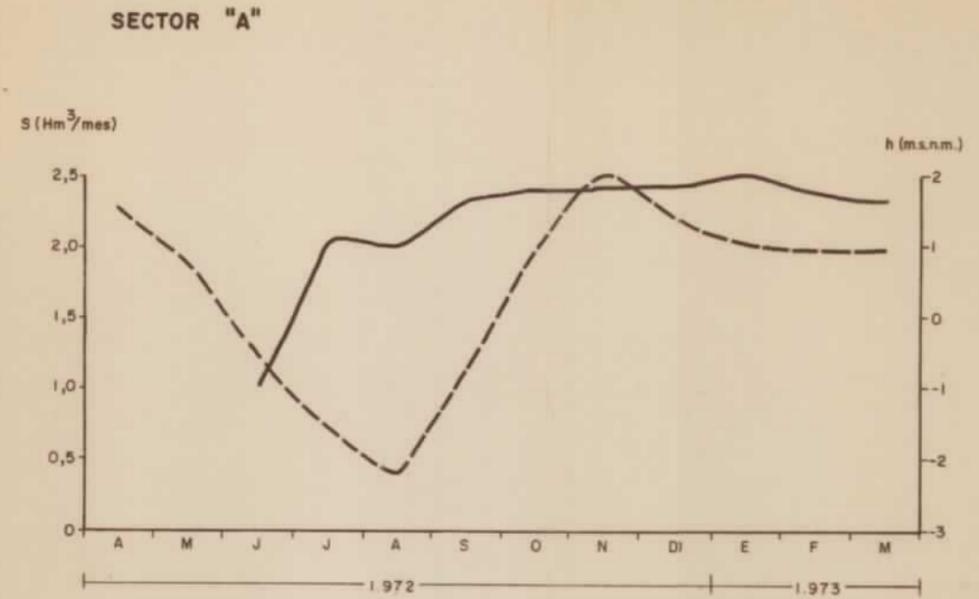
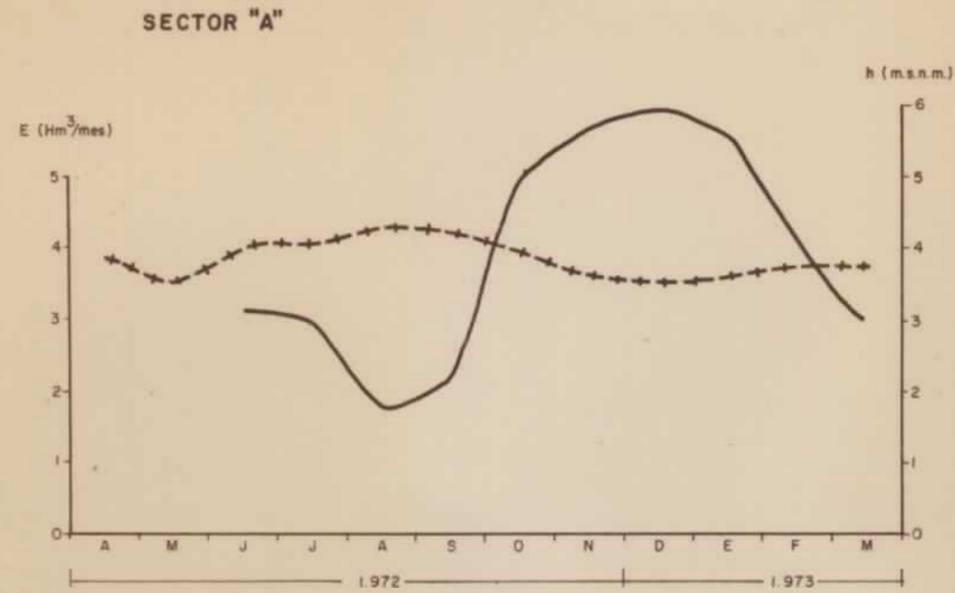
permitir el paso de un acuífero a otro.

Las entradas laterales fueron evaluadas por primera vez mediante el modelo matemático en régimen transitorio realizado para el periodo Abril 1972 a Marzo de 1973. Dicho modelo está actualmente en fase de revisión para simular un período más largo.

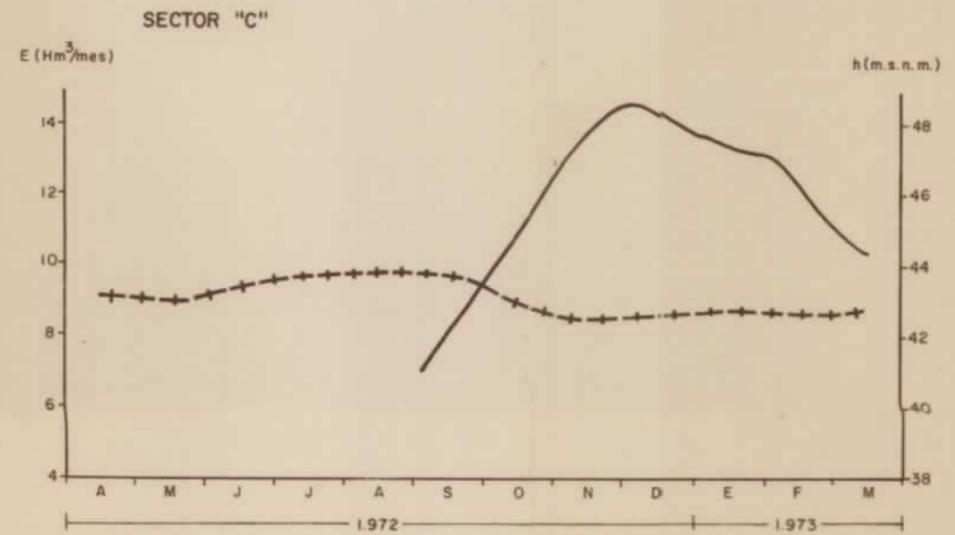
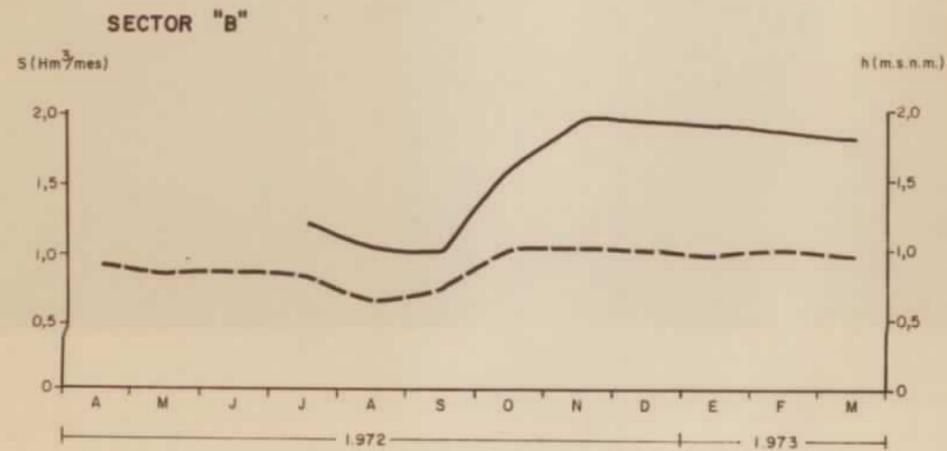
Con el fin de realizar este ensayo de balance y disponer de los datos correspondientes al período de estudio, se han estimado las entradas actuales mediante la relación existente entre la piezometría en los bordes del acuífero detrítico y el valor de dichas entradas. Dicha relación se ha obtenido de los valores de ambas variables durante el período de simulación del modelo. En los gráficos de la fig. 19 se indican la evolución de ambos parámetros.

El valor medio corregido y homogeneizado mediante la variación de almacenamiento obtenida del mapa de isodescensos por sectores y para el conjunto de la Plana, se indica en el cuadro adjunto.

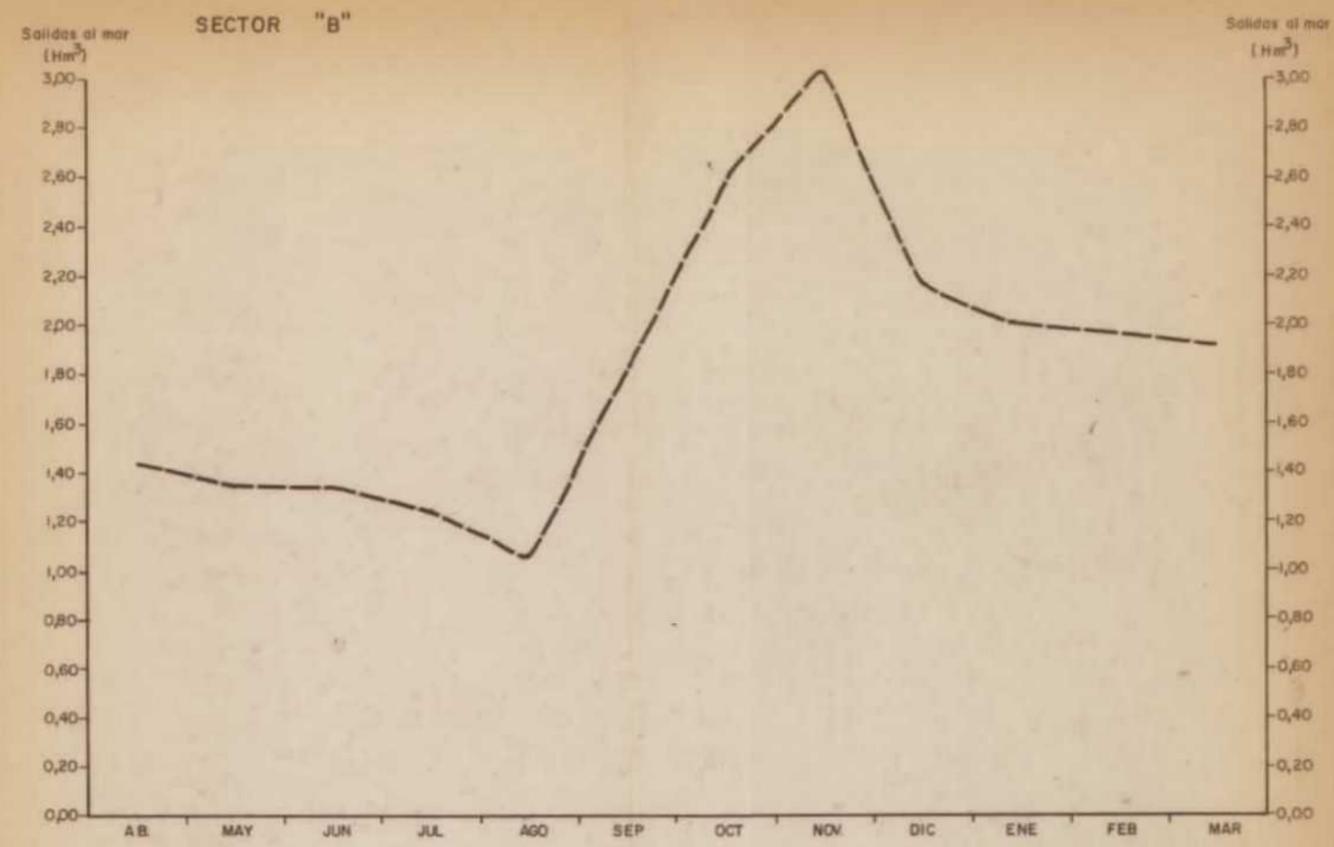
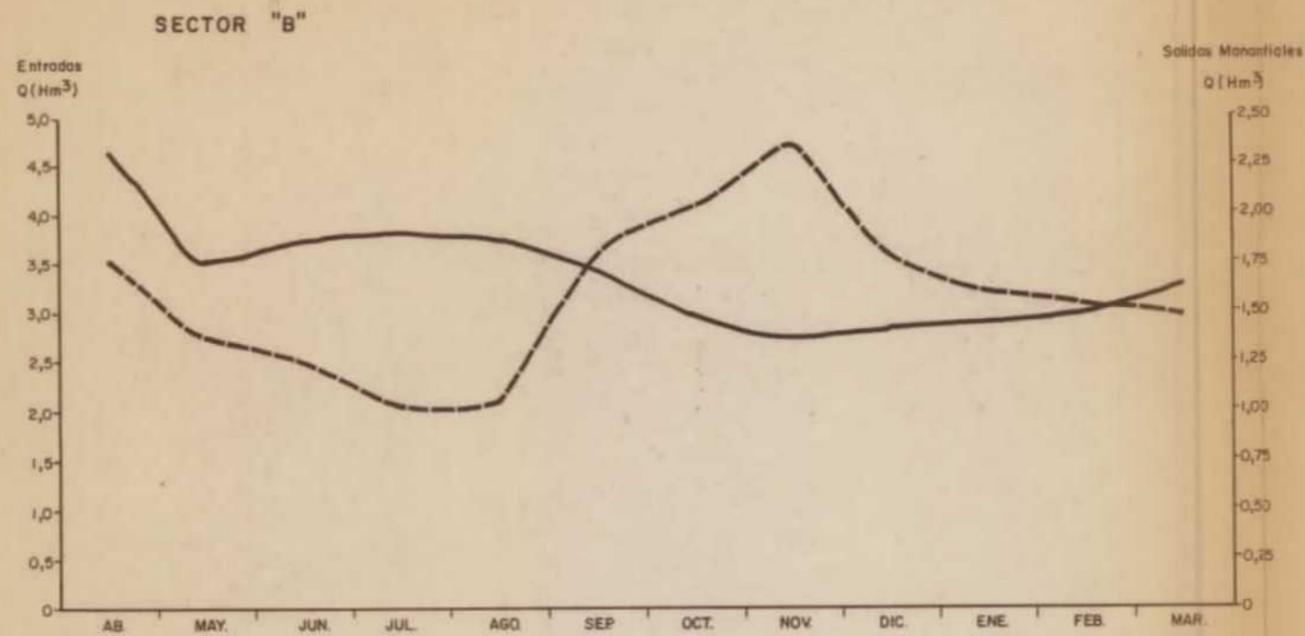
Cabe indicar que las entradas laterales calculadas durante la realización del modelo ( $198 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) son ligeramente superiores a las estimadas actualmente como valor medio correspondiente al período 1972-1981 que ascienden a  $162 \text{ h}^3/\text{año}$ .



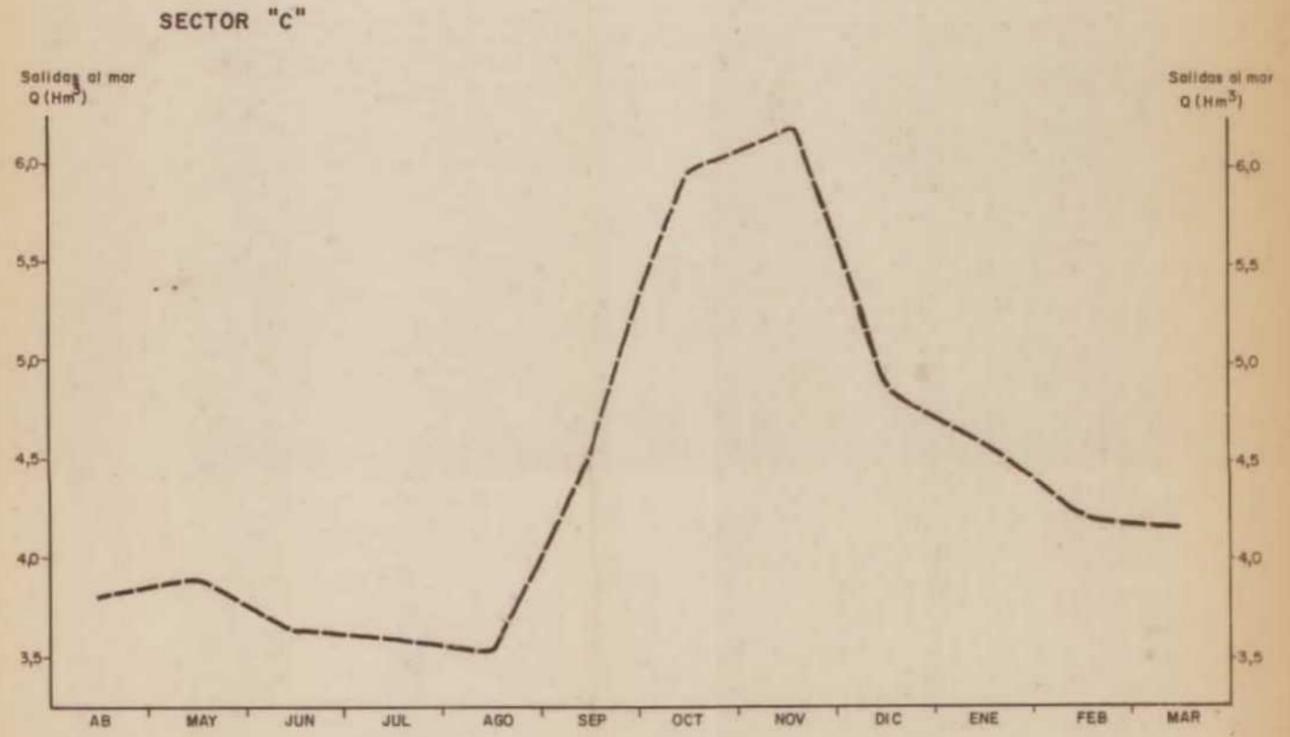
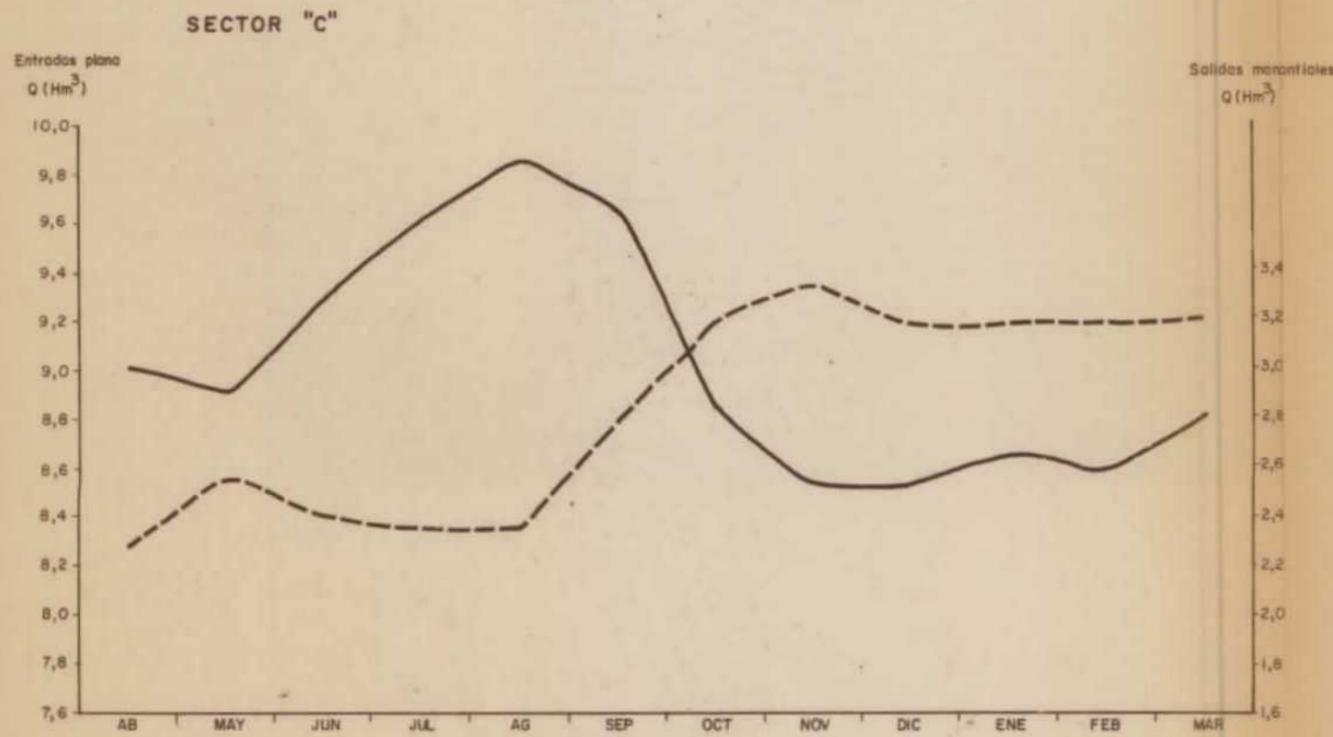
— PIEZOMETRIA  
 + + + + ENTRADAS LATERALES (E)  
 - - - - SALIDAS SUBTERRANEAS AL MAR (S)



PLANA DE CASTELLON. EVOLUCION PIEZOMETRICA EN LOS BORDES DEL ACUIFERO DETRITICO Y ENTRADAS Y SALIDAS SUBTERRANEAS SEGUN EL MODELO MATEMATICO (1.972-1.973), PARA ALGUNOS SECTORES DE LA PLANA.

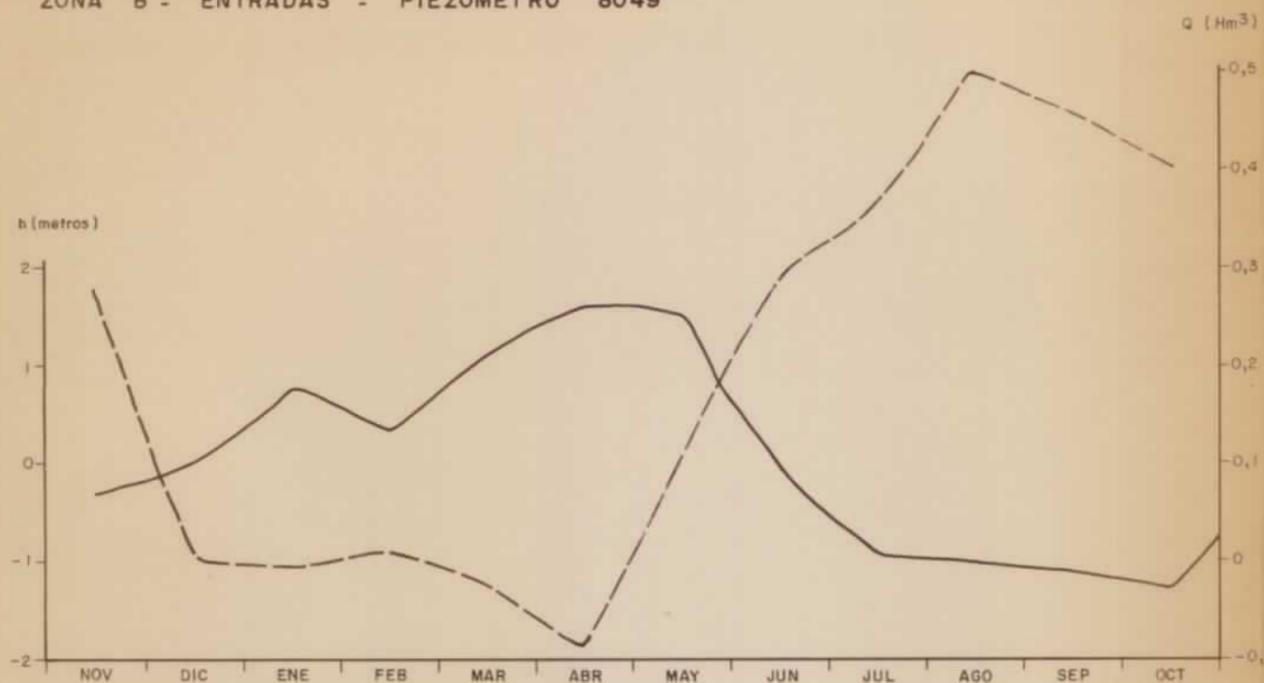


— Entradas  
 - - - Salidas

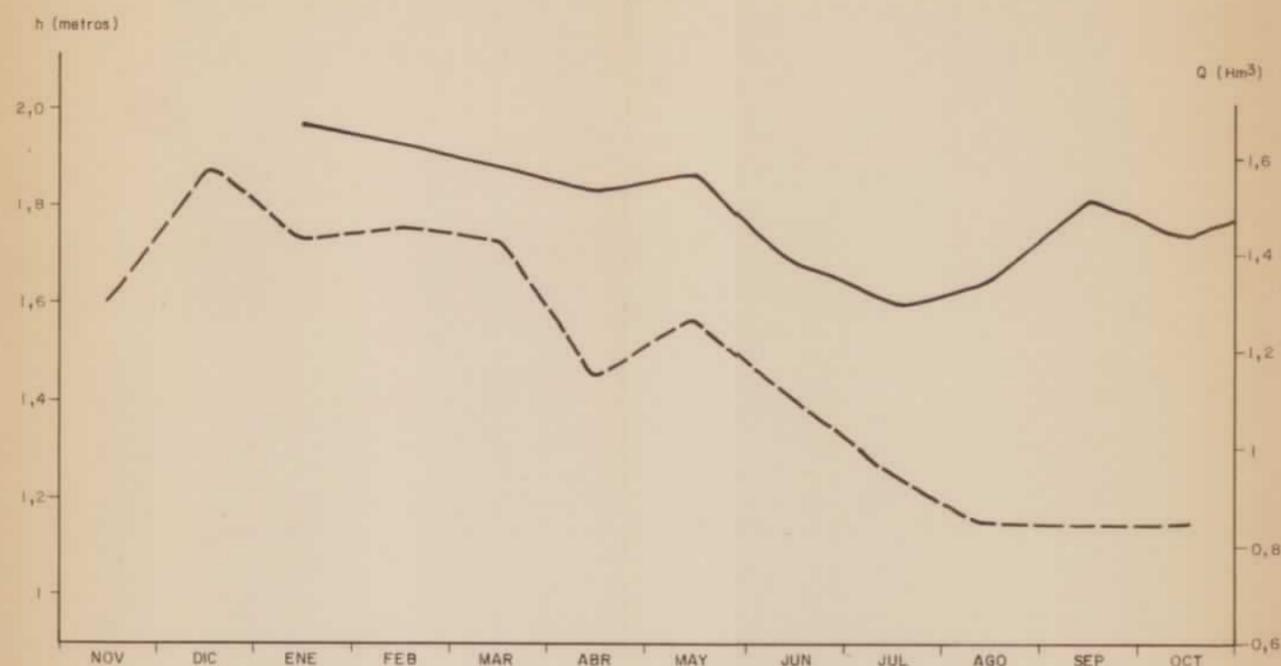


PLANA DE CASTELLON. EVOLUCION SECTORIAL SEGUN EL MODELO MATEMATICO (1.972-1.973) DE: SALIDAS POR MANANTIALES, DRENAJE EN MARJALERIAS, SALIDAS SUBTERRANEAS AL MAR Y ENTRADAS LATERALES.

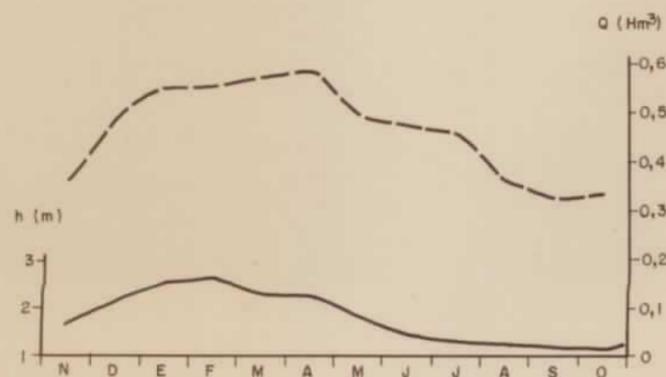
ZONA B - ENTRADAS - PIEZOMETRO 8049



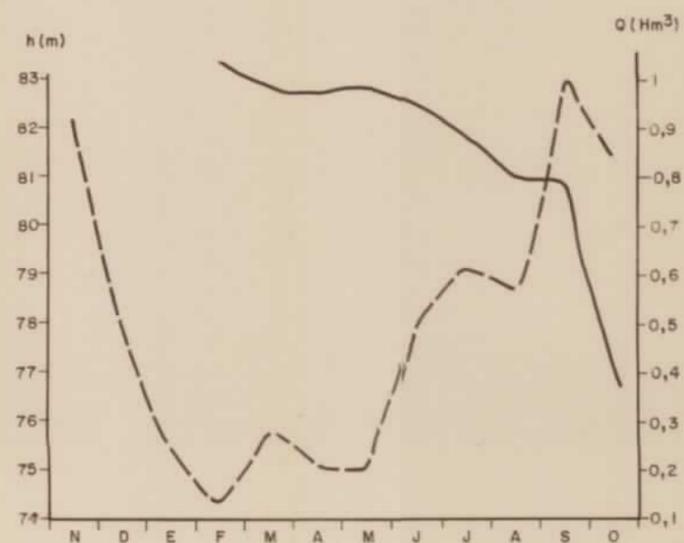
ZONA C - SALIDAS - PIEZOMETRO 1046



ZONA D - SALIDAS - PIEZOMETRO 6049



ZONA E - ENTRADAS - PIEZOMETRO 2034



--- CAUDAL (Q)  
 — COTA PIEZOMETRICA (h.)

PLANA DE GANDIA - DENIA. CORRELACION COTA PIEZOMETRICA - ENTRADAS Y SALIDAS LATERALES. AÑO 1973-74