

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-II

Valencia, Diciembre 1981



31748

6.3. PLANA DE OROPESA-TORREBLANCA

### 6.3.1. Introducción

La unidad de Oropesa-Torreblanca comprende el área adyacente a la costa mediterránea entre las localidades de Alcocebre y Oropesa. Tiene una extensión de 90 Km<sup>2</sup> aproximadamente, en la que prácticamente toda su superficie se encuentra bajo la cota 100 m.

Como su nombre indica se trata de una extensión "plana"-costera enmarcada por los macizos montañosos de las estribaciones orientales del Maestrazgo, constituidos en este área por -- las sierras de Les Santes, Cabanes y Torreblanca, hacia el oeste; sierra de Irta al norte y sierra de Oropesa al sur.

La temperatura media anual es de 16°C, con valores extremos de 9°C y 26°C en los meses de enero y agosto respectivamente. La precipitación media anual es de 400 mm/año.

Desde el punto de vista geomorfológico, se trata de un extenso campo de derrame de origen árido, en donde se puede distinguir una llanura costera sensiblemente horizontal y una rampa de erosión que se extiende hasta los bordes de los macizos montañosos periféricos, penetrando en ellos, a veces de manera importante, como es el caso del barranco de Estopet en la sierra de Irta y del Barranco de Chinchilla en la sierra de Oropesa.

Igualmente se desarrollan marjales costeros a ambos lados de los conos de deyección asociados a los cauces más importantes. (Río San Miguel).

### 6.3.2. Definición geométrica del embalse subterráneo

La plana de Oropesa-Torreblanca es de origen fundamentalmente tectónico, con evidentes retoques erosivos, de edad miocena y post-miocena. Se trata del relleno de una depresión tectónica litoral, efectuado en una primera fase miocena, coincidiendo con un primer hundimiento de la costa y un posterior período de erosión, subsiguiente al cual, y simultáneo con un nuevo hundimiento, se produjo un nuevo relleno, esta vez de fanglomerados y depósitos fluvio-torrenciales relativamente modernos, los cuales constituyen el soporte del acuífero detrítico existente. La litología de éstos es de facies detríticas, con conglomerados brechoides, heterométricos y heterogéneos alternantes con lentejones difusos de arenas gruesas, limos y arcillas, encima de la cual se encuentran depósitos recientes de los que los más importantes son conos de deyección y coluviones, aluviones de cauces de ramblas, dunas costeras y depósitos de marjales y turberas (estas últimas muy desarrolladas en la zona de Torreblanca y Torrenostra).

La potencia de estas formaciones recientes varía entre 0 y 20 m.

En conjunto, pues, la secuencia litológica de los materiales postorogénicos que rellenan la plana comienza con materiales margosos con eventuales intercalaciones conglomeráticas y calizas atribuibles al Mioceno, que juegan el papel de sustrato impermeable del nivel acuífero constituido por los materiales conglomeráticos plio-cuaternarios suprayacentes, encima de los cuales se encuentran los depósitos recientes ya comentados.

### 6.3.2.1. Reinterpretación de la campaña de prospección geofísica

Con objeto de investigar las características estructurales y morfológicas del sustrato mesozóico, así como de los materiales de la "formación plana", se realizó en su día una campaña de prospección geofísica de 48 SEV repartidos en ocho perfiles, siete de ellos transversales a la plana y el octavo longitudinal a la misma.

Las limitaciones entonces existentes a la hora de interpretar los datos obtenidos continúan en la actualidad vigentes al persistir las causas que lo originaron, tales como el escaso número de sondeos profundos para el talonaje y la ausencia de testificaciones eléctricas de éstos, así como la baja densidad de SEV en la campaña efectuada. Por otro lado apenas se han realizado nuevos sondeos y los pocos perforados lo han sido en los afloramientos mesozóicos circundantes, por lo que apenas existen criterios que permitan dar otra interpretación diferente a la ya existente.

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto una cierta uniformidad en la secuencia geoelectrica detectada, es de cir:

- Formación resistente superficial
- Formación conductora
- Sustrato resistente complejo

La formación resistente superficial es asimilable a los conglomerados pliocuaternarios, salvo en las inmediaciones de los afloramientos mesozóicos. Este conjunto se divide a su vez en dos partes: una parte seca, muy resistente, que en las inmediaciones de la marjalería se hace conductora por la presencia de materiales arcillosos, y otra saturada con resistividades que varían entre 200 ohms.m. en el interior y 12 ohm.m. en la costa debido al progresivo aumento de la arcillosidad y a la degradación de la calidad del agua.

En los planos n<sup>os</sup>. 24 y 25 se representan las curvas isopacas e isohipsas del muro de la formación resistente superficial. En ellos se observan como el espesor crece paulatinamente hacia la costa hasta alcanzar 85 m.b.n.m. y como éste es máximo a lo largo de una serie de paleocauces de entre los que destacan los situados en las inmediaciones de los ríos San Miguel y Chinchilla, quizá correspondiendo con una red de drenaje intramiocena de dirección coincidente con la de la actual.

La formación conductora subyacente es asimilable al Mioceno margoso, si bien cabe la posibilidad que en ocasiones se trate de margas mesozóicas. En cualquier caso se trata de una formación impermeable que separa el acuífero pliocuaternario del mesozóico en toda la plana, excepción hecha de las inmediaciones de los afloramientos, en donde ambos acuíferos entran en contacto al desaparecer, normalmente por acuñaamiento, esta formación.

Su espesor varía entre 0 m. en el límite occidental de la plana y más de 100 m. en el centro de la misma. Hacia el litoral se observa una disminución del espesor que no ha de ser tomado como tal, ya que posiblemente se trate de distorsiones introducidas por la presencia de agua salada, siendo lo más presumible - que se mantenga la potencia hacia el este.

El sustrato mesozóico presenta resistividades correspondientes a una secuencia caliza con intercalaciones margosas, destacando un nivel resistivo superficial asimilable al Cenomaniense o Aptiense, con un espesor que oscila entre 50 y 100 m. seguido - de un nivel conductor de potencia próxima a 50 m., probablemente Albiense o Aptiense inferior, a continuación del cual se encuentra un nivel muy resistivo de espesor definido.

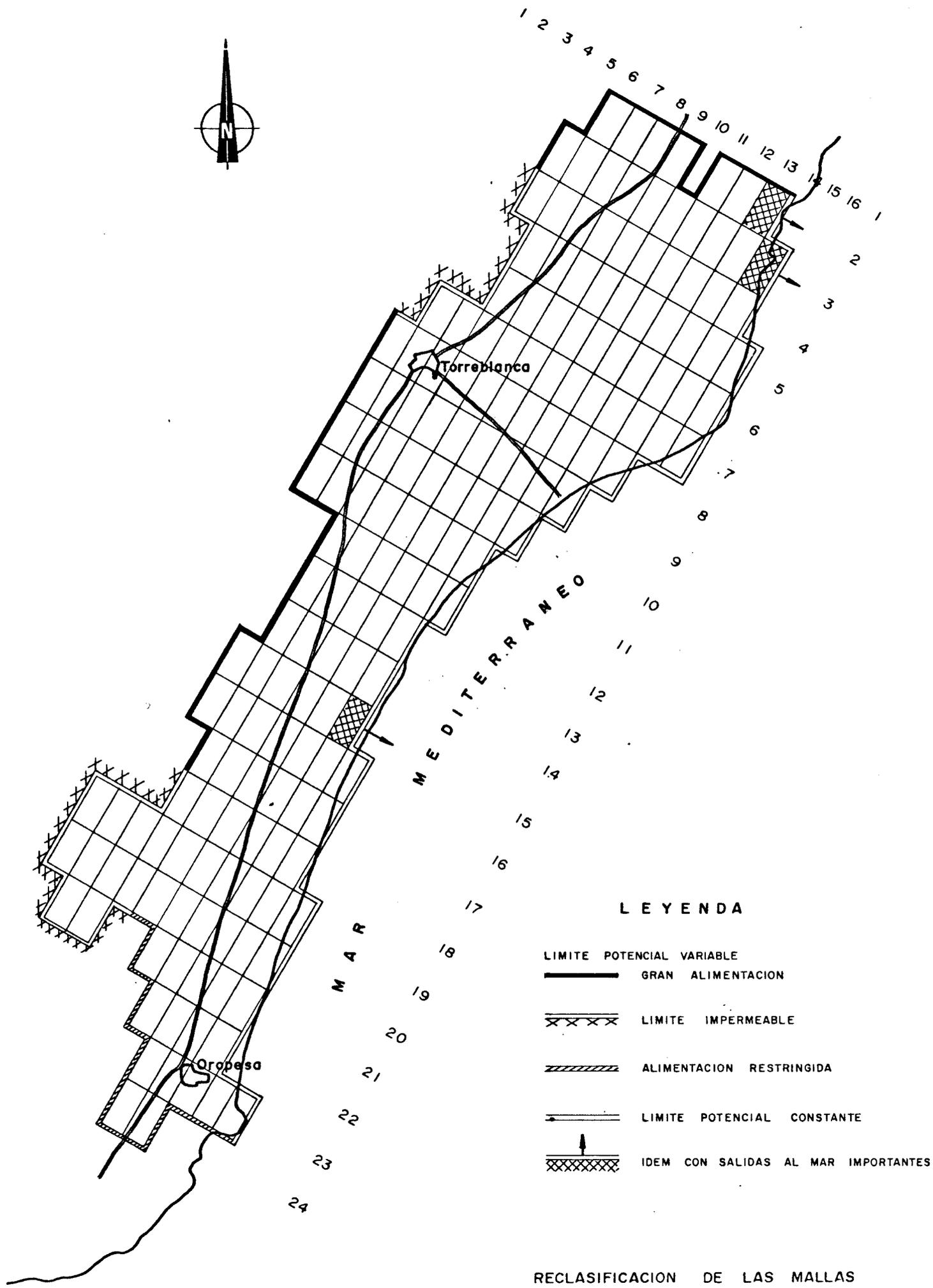
Su morfología está controlada por un mecanismo mixto - de erosión y fractura de directriz catalánide que provocan el hundimiento progresivo del sustrato en dirección al mar. La magnitud de esta inclinación es variable; más atenuada en las inmediaciones del río San Miguel, en donde los materiales mesozóicos descienden hasta alcanzar una cota de 75-100 m.b.n.m. a 2 Km. de la costa, para a partir de ahí situarse prácticamente horizontal, y más acentuado al norte de Oropesa, alcanzándose rápidamente una profundidad de 150-200 m.b.n.m., con una ligera recuperación que da lugar a un incipiente umbral situado a 100 m.b.n.m. coincidiendo aproximadamente con la línea de costa.

El perfil longitudinal indica una morfología relativamente uniforme cuyas características pueden ser explicadas por fenómenos erosivos sin tener que recurrir a fracturas en "teclas de piano" que, en todo caso, serían de escasa importancia.

#### 6.3.2.2. Revisión de las condiciones de borde

Las características en el control del acuífero detritico están íntimamente ligadas a la litología de los materiales con los que entra en contacto, naturaleza del mismo y, fundamentalmente, posición topográfica del sustrato impermeable del acuífero detrítico, que al situarse por encima del nivel piezométrico puede impedir la alimentación lateral del mismo. (figura nº 28)

En la zona septentrional, los materiales mesozóicos correspondientes al Horst situado en las estribaciones surorientales de la Sierra de Irta se prolongan bajo el relleno detrítico de la plana hasta ser afectados por una falla. La conexión hidráulica entre el acuífero calizo, representado en este caso por calizas aptienses, y el acuífero detrítico debería estar dificultado, de acuerdo con los datos suministrados por la prospección geofísica, por la existencia de un nivel conductor entre ambos que parece corresponder a un tramo margoso cretácico al que en zonas más alejadas se le superponen materiales impermeables miocenos.



- LEYENDA**
- LIMITE POTENCIAL VARIABLE**  
 GRAN ALIMENTACION
  - LIMITE IMPERMEABLE
  - ALIMENTACION RESTRINGIDA
  - LIMITE POTENCIAL CONSTANTE
  - IDEM CON SALIDAS AL MAR IMPORTANTES

RECLASIFICACION DE LAS MALLAS UTILIZADAS EN EL MODELO.

Este fenómeno está en contraposición con los datos piezométricos disponibles, que indican inequívocamente la existencia de flujo por esta zona. Esto puede ser atribuido tanto a la existencia de pequeñas fallas no detectadas -25 a 50 m. de salto que enfrenten ambas formaciones acuíferas, como al posible error en la confección de los planos de isopiezas inducido por piezómetros que captan el acuífero calizo en lugar del detrítico (3123-2003, 3123-6001 y 3123-2005.)

Algo similar sucede en el "graben" subsecuente del barranco de Estopet, que provoca que los materiales de la plana penetren dentro de la sierra de Irtá, en donde los mapas de isopiezas denuncian la existencia de flujo en contraposición con la información geofísica disponible, que indica la presencia de materiales impermeables, probablemente miocenos, a modo de umbral por encima de la zona de fluctuación del nivel piezométrico. Habida cuenta la escasa densidad espacial de los puntos que inducen a generalizar, quizá prematuramente, esta última apreciación, se considerará en adelante que el límite septentrional ocupado por las mallas exteriores (4,3), (5,2), (6,1), (7,1), (8,1), (9,1), (10,2), (11,1), (12,1) y (13,1) es de transferencia a potencial variable.

El límite noroccidental, entre el río San Miguel y Torreblanca, se ha considerado impermeable ya que en esta zona afloran los materiales miocenos que constituyen el sustrato impermeable del acuífero. Tanto el trazado de las líneas isopiezas

como los datos suministrados por la prospección geofísica avalan esta hipótesis, por lo que en lo sucesivo se considerará que el aporte a través de las mallas exteriores nº (3,4), (4,6), (5,6), (5,5) y (4,4) es despreciable.

En la zona comprendida entre Torreblanca y la carretera que conduce a Cabanes, los materiales acuíferos mesozóicos, en este caso calizos del Cenomaniense y Aptiense, se prolongan bajo los materiales detríticos de la plana hasta ser afectados casi inmediatamente por una falla. A lo largo de este límite los materiales miocenos impermeables que separan ambos acuíferos, o no están representados o se sitúan a cotas notablemente inferiores a la de fluctuación del nivel piezométrico, razón por lo que es posible la transferencia lateral a través del mismo. Se considerará pues como borde a potencial variable.

Inmediatamente al Sur, entre esta carretera y el barranco de Chinchilla, se detecta mediante geofísica la presencia de materiales impermeables por encima del nivel piezométrico que impide la alimentación lateral de la plana, hecho que queda reflejado en la piezometría de la zona, en donde se observó la presencia de una zona deprimida, debido tanto a lo elevado de las extracciones como a lo deficiente de la alimentación. En lo sucesivo, pues, debe considerarse la aportación a través de las ma-

llas externas (5,21), (4,22), (3,22), (2,21), (1,20), (1,19), (2,18), (3,18) y (4,18) como despreciable.

Por último, en el límite con la Sierra de Oropesa, las calizas gargasienses se prolongan bajo los materiales detríticos de la plana hasta ser afectados por otra falla sin que existan a priori, ningún impedimento a la alimentación lateral que los derivados de la escasa superficie de los afloramientos de esta sierra y su presunta desconexión hidráulica mediante materiales paleozoicos y triásicos del sistema acuífero mesozóico del interior. Con estas reservas, se considerará este límite a potencial variable con alimentación restringida.

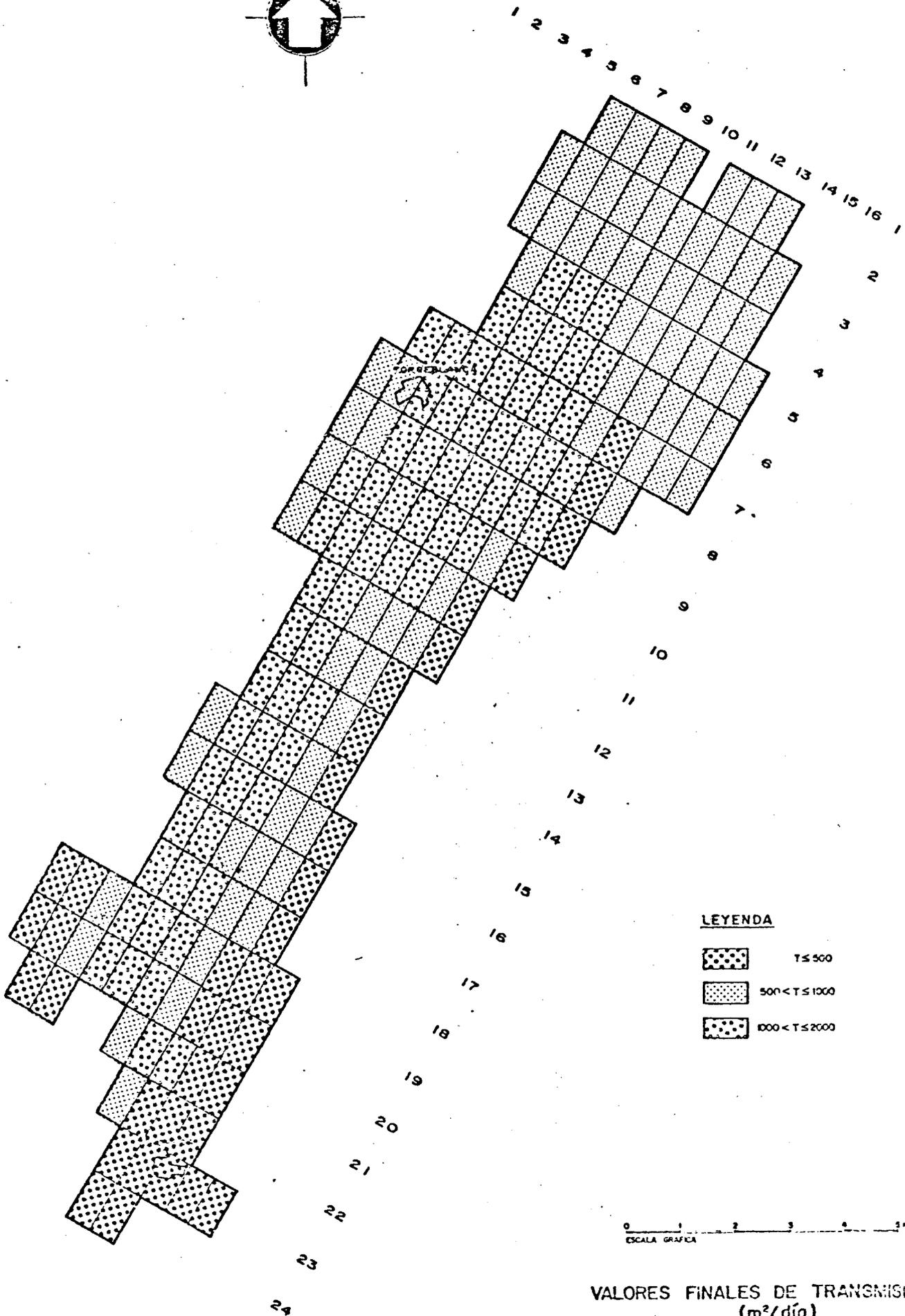
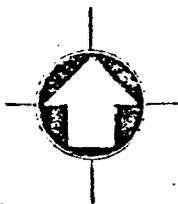
### 6.3.3. Funcionamiento hidráulico

#### 6.3.3.1. Características hidráulicas y piezométricas

El escaso incremento de nuevos puntos acuíferos impiden la ampliación del conocimiento existente acerca de los parámetros hidráulicos fundamentales.

El estado actual de conocimientos sobre el particular es el siguiente :

Los valores más altos de la transmisividad corresponden a la zona del borde cretácico de la sierra de Les Santes y a los alrededores de Torreblanca, con valores que llegan hasta 2.000 m<sup>2</sup>/día. Los más bajos corresponden a las zonas de marjalería, con valores inferiores a 500 m<sup>2</sup>/día. Teniendo en cuenta el-



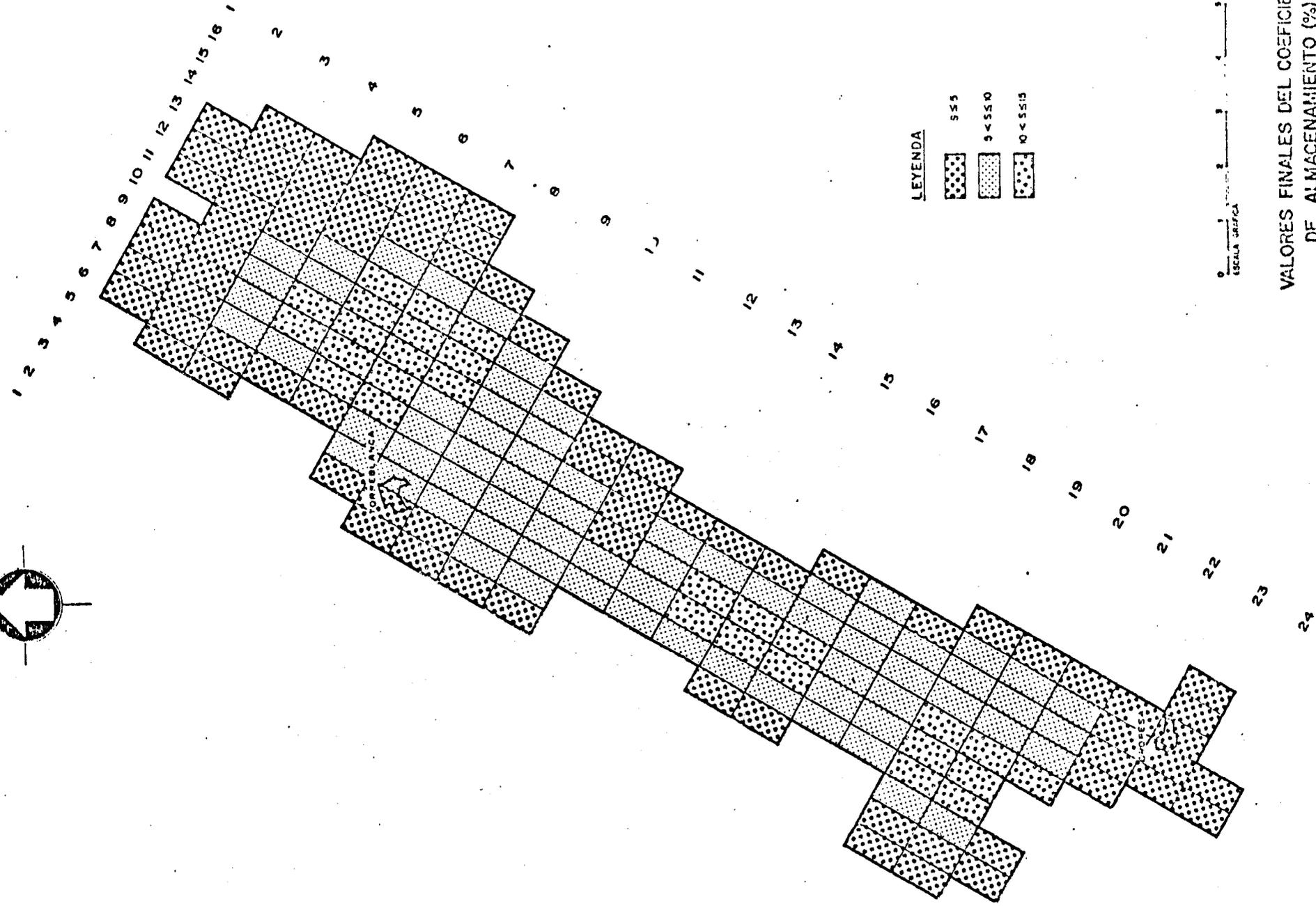
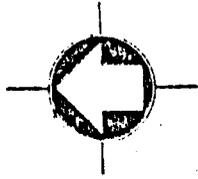
**LEYENDA**

-   $T \leq 500$
-   $500 < T \leq 1000$
-   $1000 < T \leq 2000$

0 1 2 3 4 5 km  
ESCALA GRAFICA

VALORES FINALES DE TRANSMISIVIDAD  
(m<sup>2</sup>/día)

MODELO MATEMATICO  
DE LA PLANA DE  
OROPESA TORREBLANCA



VALORES FINALES DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (%)

MODELO MATEMATICO DE LA PLANA DE OROPESA TORREBLANCA

espesor del acuífero estos valores corresponden a permeabilidades horizontales comprendidas entre  $1.10^{-2}$  y  $5.10^{-2}$  cm/sg. -- (Fig. 29).

El coeficiente de almacenamiento medio varía entre valores menores al 5%, en la zona del borde norte y en los de la marjalería, a valores próximos al 15% al E. de Torreblanca y N. de Oropesa (Fig. 30).

La interpretación conjunta de estos valores muestra -- que al E. de Torreblanca, inmediaciones del río Chinchilla y N. de Oropesa, los sedimentos están relativamente bien clasificados y con pequeña proporción de arcilla.

En contraposición, la zona de marjalería y borde norte corresponden a áreas fundamentalmente limo-arcillosas.

#### 6.3.3.1.1. Características piezométricas

La profundidad de la capa varía notablemente en función de la topografía. En las proximidades de la costa se distinguen tres zonas bien diferenciadas : En las inmediaciones del río -- San Miguel se alcanza rápidamente profundidades superiores a -- los 10 m. debido a ser una zona de topografía más elevada; En la zona central, ocupada por la marjalería, la profundidad es inferior a 1 m. mientras que la zona comprendida entre la marjalería y Oropesa, a 1 Km. de la costa, la capa se sitúa a 5 m. de profundidad.

Hacia el interior la superficie piezométrica se sitúa a profundidad creciente como consecuencia de la elevación topográfica, hasta alcanzar profundidades que oscilan alrededor de 40 m. en los bordes calizos y 80 m. en el barranco de Estopet.

En términos de valores absolutos el nivel piezométrico se sitúa a 0 m.s.n.m. en el borde de la sierra de Oropesa, 0,5 m.s.n.m. en el de las sierras de Les Santes, Cabanes y Torreblanca, y entre 1 y 2,5 m.s.n.m. en el de la sierra de Irta, mientras que en el borde costero el nivel piezométrico se sitúa bajo el nivel del mar en toda su extensión, excepción hecha de las marjalerías y zonas comprendidas entre Alcocebre y río San Miguel. Las oscilaciones interanuales varían entre 0,25 y 0,5 m. de las proximidades de la costa y 2-3 m. en los bordes N y W, con tendencia al descenso en los meses de junio a octubre, y aumento entre noviembre y mayo.

La morfología de la capa pone de manifiesto una escorrentía generalizada en dirección NW-SE, excepción hecha del sector septentrional, en donde ésta tiene una fuerte componente sur, incluso suroeste, con importantes inversiones de flujo en la zona de Oropesa-Río Chinchilla y Torreblanca, donde las fuertes extracciones han originado amplias zonas deprimidas por debajo del nivel del mar, separadas a modo de umbral por el área de surgencias que representa la marjalería.

La evolución piezométrica en el período de control de 1974-1981 (planos 26 y 27), no ha hecho sino acentuar estos rasgos, aumentando la superficie del área deprimida por debajo del nivel del mar, si bien en la zona de Oropesa se ha observado cier

ta atenuación del valor máximo de la depresión. En líneas generales en este período de tiempo, se ha observado un descenso paulatino de niveles en una cuantía comprendida entre 0,5 y 1 m. en los bordes de las sierras de Oropesa, Les Santes y Cabanes; entre 1 y 3 m. en el macizo de Torreblanca y sierra de Irtá, e inferior a 0,5 m. en la línea de costa (plano 28).

#### 6.3.3.2. Análisis del proceso de alimentación y descarga

La alimentación del acuífero mio-cuaternario se realiza fundamentalmente a partir de la infiltración directa del agua de lluvia, reinfiltración de los excedentes de regadíos, infiltración a partir de eventuales escorrentías en los cauces de los ríos San Miguel y Chinchilla y, fundamentalmente, alimentación lateral de los acuíferos mesozóicos de borde.

Las salidas se desglosan en los siguientes apartados :-  
Bombeos netos para usos agrícolas y urbanos, flujo subterráneo al mar y salidas por emergencias más o menos difusas en la zona de Marjalería.

Como se indica en el epígrafe 6.3.2.2. los datos piezométricos y geofísicos son contradictorios con respecto a la alimentación lateral de la zona situada al norte del río San Miguel. Ante el mayor peso específico de los datos piezométricos, en favor de una supuesta alimentación, se ha optado por seguir con el criterio actualmente existente en favor de la alimentación, con las reservas lógicas derivadas de la poca fiabilidad de la columna litológica de algunos de los piezómetros utilizados en este área (3123-2003).

La hipotética alimentación provendría fundamentalmente de los materiales transmisivos del Portlandiense-Neocomiense en el barranco de Estopet y calizas del Aptense en las proximidades de Alcocebre.

En la zona situada entre el río San Miguel y carretera a Cabanes la alimentación se produciría a través de los materiales calizos del Aptense-Cenomanense, únicos niveles transmisivos que entran en contacto con el acuífero mio-cuaternario, excepción hecha de la zona del norte de Torreblanca, que es impermeable.

Dado que estos materiales se disponen a modo de monoclinales buzantes al NW en dirección opuesta al flujo y con el sustrato impermeable emergiendo localmente por encima del nivel piezométrico, en condiciones poco aptas para la circulación, es previsible que gran parte de la misma se efectúa a través de los niveles transmisivos infrayacentes (Portlandiense-Neocomiense y Lías-Dogger), los cuales verterían el agua directamente al mar sin alimentar previamente el acuífero miocuaternario.

Inmediatamente al sur, en la zona próxima al barranco de Chinchilla y carretera a Cabanes la alimentación está impedida por la presencia de margas miocenas. En cualquier caso el acuífero mesozóico en esta zona presenta reducido interés debido al acuñamiento de los niveles transmisivos jurásicos (Lías Dogger y Portlandiense) por la acción del umbral de la sierra de Les Santes, y situarse las calizas aptienses frecuentemente drenadas por encima del nivel piezométrico.



5% HUERTA 20% CITRICO 10% FRUTAL 65% ALMENDRO		
1	2	3
0,5325	0,3600	32

5% FRUTAL 25% ALMENDRO 25% HUERTA 45% CITRICO		
1	2	3
0,7112	0,3782	47

15% HUERTA 30% ALMENDRO 15% FRUTAL 40% CITRICO		
1	2	3
0,6425	0,3690	43

70% CITRICO 25% FRUTAL 5% HUERTA		
1	2	3
0,6825	0,3600	47

TERMINO DE CABANES

TERMINO DE ALCALA DE CHIVERT

Torreblanca

Oropesa

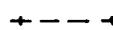
**REGADIOS EN LA PLANA DE OROPESA - TORREBLANCA (1981)**

- 1 VOLUMEN UTILIZADO  $Hm^3/Km^2$
- 2 CONSUMO DE REGADIO  $Hm^3/Km^2$
- 3 % DE INFILTRACION

 REGADIOS CON AGUA SUBTERRANEA

 MARJALERIA

 SECANO

 LIMITE TERMINO MUNICIPAL

ESCALA: 1/100.000

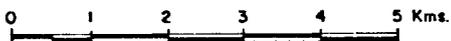


FIG:31

Por último, la alimentación lateral en el sector más meridional queda restringida al flanco oriental de la sierra de Oropesa. El caudal transferido corresponde a aguas infiltradas en dicha sierra ante la imposibilidad de drenar recursos provenientes de zonas más interiores a causa de la barrera hidráulica que suponen los afloramientos triásicos y paleozóicos de la sierra de Les Santes.

Las descargas por emergencias localizadas del acuífero miocuaternario se sitúan en la marjalería de Torrenostra, instalada en la intersección de la superficie piezométrica con una zona deprimida del terreno, la cual es drenada por un conjunto de cinco acequias en la Gola del Trenc (3123-5026), y por el -- llamado canal Norte que descarga a la Gola de la Guardia Civil (3124-1023). Esta marjalería se sitúa en el centro de la plana y representa el drenaje de la zona que es alimentada por las calizas aptienses-cenomanenses, entre Torreblanca y carretera de Cabanes.

En las inmediaciones de Oropesa existía antiguamente otra zona de marjalería que constituía la emergencia más notable existente en este sector de la plana. El hecho de que dejase de funcionar al poco de iniciado las extracciones masivas, así como lo reducido de su tamaño, indica la escasa cuantía de la -- alimentación del acuífero mesozóico en esta zona.

La descarga subterránea a lo largo de la costa es uniforme, presentando valores muy acentuados en las proximidades de Alcocebre, en las mallas externas (14-2) y (15-3), y mínimos en el sector meridional próximo a Oropesa con inversiones de -- flujo prácticamente permanentes en las mallas (12-24 y 12-22), y eventuales en las mallas (11-18), (12-19), (12-20), (12-21) - (12-10), (13-9), (14-8), (15-8), (16-7) y (16-6).

#### 6.3.4. Uso actual del agua subterránea

El agua subterránea se consume fundamentalmente en el abastecimiento de regadíos, en su mayoría dotados con aguas procedentes del acuífero mio-cuaternario.

La superficie ocupada por los mismos es actualmente de 4.410 ha repartidas como sigue ( Fig. 31) :

Zona A	683 ha.
Zona B	2.885 ha.
Zona C	842 ha.

que supone un incremento del 20% con respecto a la superficie -- existente en 1974.

La demanda urbana satisfecha con aguas procedentes del acuífero miocuaternario es la correspondiente a las localidades de Alcalá de Chivert, Torreblanca, Cabanes y Oropesa, quedando en ella englobada la escasa demanda industrial existente, al conectar la mayoría de las pequeñas industrias con la red de distribución urbana.

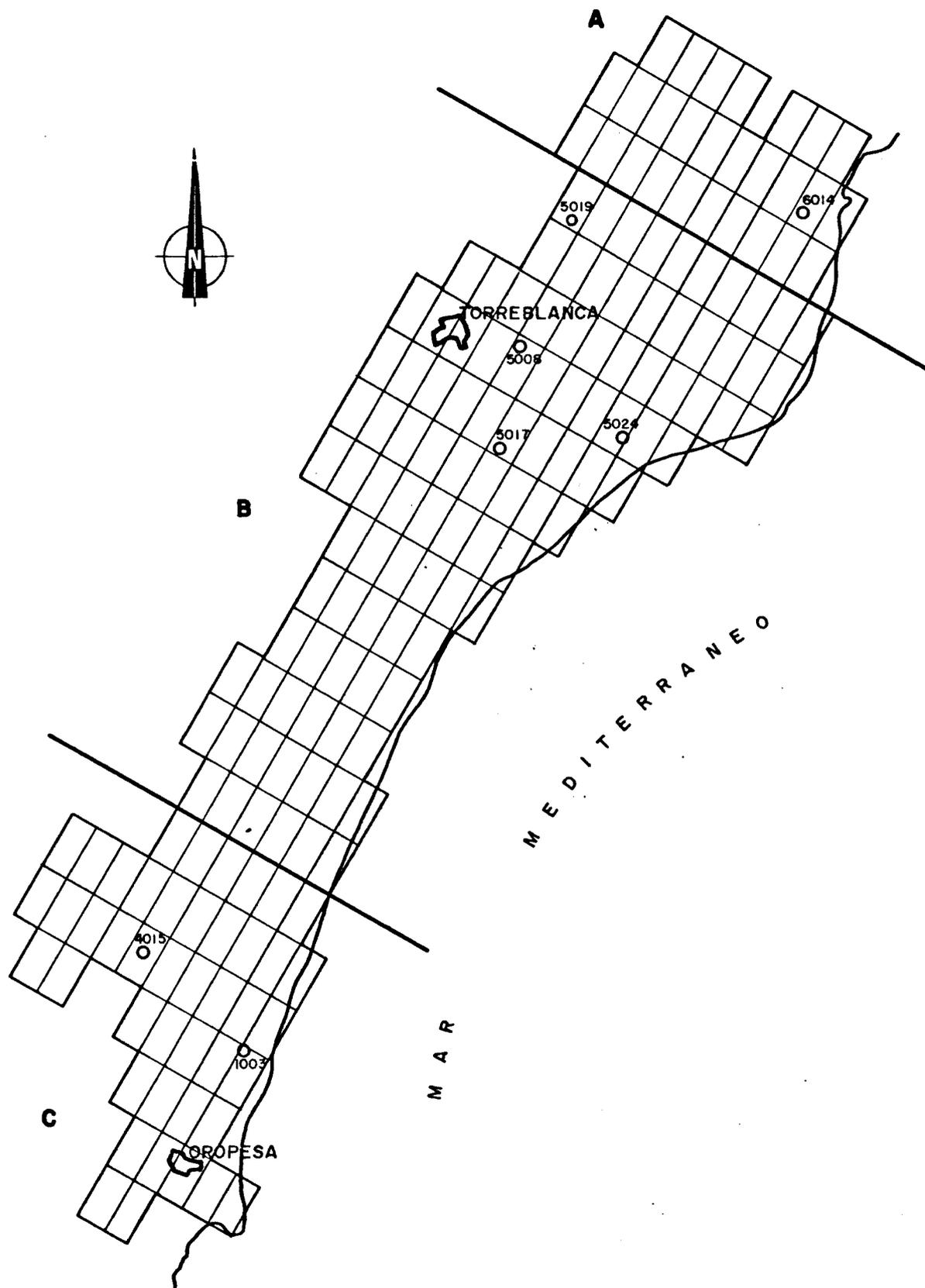
En el cuadro adjunto se indican los volúmenes netos bombeados para cubrir las diferentes demandas.

Año	Agricultura	Abto. urbano e industrial	TOTAL
1973-1974	8,12	2,4	10,52
1974-1975	14,40	2,5	16,90
1975-1976	14,44	2,5	16,95
1976-1977	8,18	2,6	10,78
1977-1978	12,40	2,7	15,10
1978-1979	19,00	2,8	21,80
1979-1980	16,24	2,8	19,04
1980-1981	22,73	2,9	25,63

#### 6.3.5. Balance

En el Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Media y Baja del río Júcar, se elaboró un modelo matemático de la Plana de Oropesa-Torreblanca, que permitió cuantificar los términos del balance hidráulico para el período comprendido entre Junio de 1973 y Mayo de 1974.

En el presente estudio se ha realizado el balance para el año medio del ciclo 1973-1981. Para un análisis más detallado del mismo se ha dividido la plana en tres zonas, de acuerdo con las características hidrogeológicas de sus bordes (Fig. nº 32).



DEFINICION DE GRUPOS DE MALLAS  
CON CARACTERISTICAS HOMOGENEAS

### 6.3.5.1. Infiltración agua de lluvia

Con los datos de la estación pluviométrica nº 500 (Almazora) y los valores mensuales medios de la evapotranspiración potencial, obtenidos mediante el método de Blanney-Criddle aplicados a los cultivos más representativos de la zona, (cítricos, almendros, frutales y huerta), se ha determinado la evapotranspiración real y en consecuencia los excedentes mensuales que pasan a alimentar el acuífero, ya que se considera que la escorrentía superficial en la plana es prácticamente nula.

Los consumos estimados expresados en mm. han sido :

JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TOTAL
76,4	85,6	72,6	59	76,8	36,9	-	-	-	51,7	45,6	70	574,7

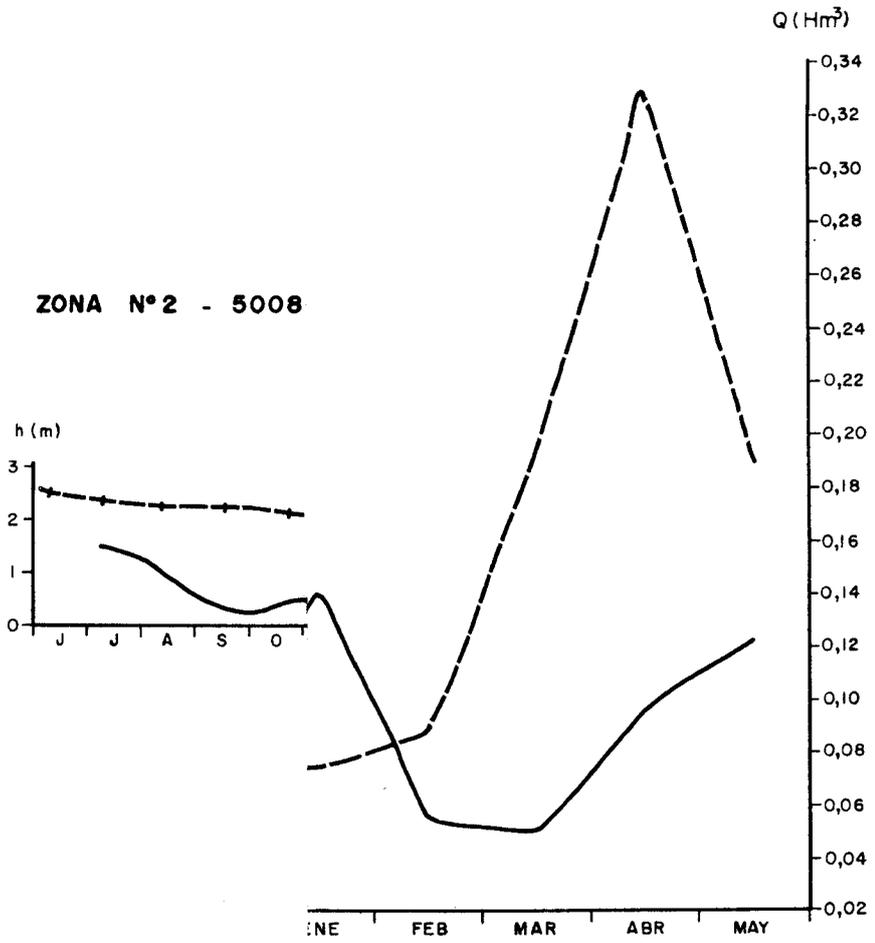
Las infiltraciones anuales medias para el período considerado han sido :

Zona A	1,03 hm <sup>3</sup>
Zona B	3,99 "
Zona C	1,67 "
TOTAL	6,69 "

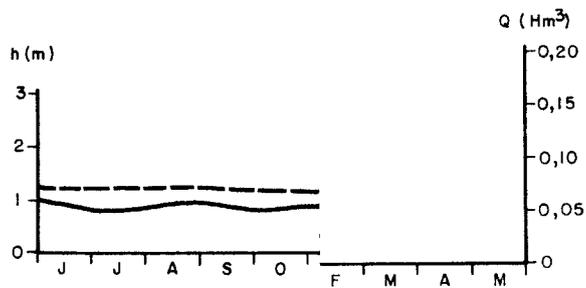
### 6.3.5.2. Infiltración de los regadíos

Se ha considerado como tal la diferencia existente entre el agua empleada en los regadíos y los consumos calculados a partir de Blanney y Criddle. El valor media anual según las zonas y el porcentaje que ello representa es el siguiente (Fig. 31):

**ZONA N° 2 - 5008**



**ZONA N° 1 - 6014**



PLAS, SALIDAS Y EMERGENCIAS.

Zona A	2,24 hm <sup>3</sup>	50%
Zona B	7,83 "	45%
Zona C	2,39 "	46%

Los regadíos se basan exclusivamente en las extracciones de aguas subterráneas del embalse miocuaternario.

#### 6.3.5.3. Entradas laterales

Para calcularlas se han utilizado los valores mensuales de las aportaciones laterales suministrados para cada zona por el modelo matemático para el período 1973-1974.

Para ello se ha correlacionado estos valores de evolución piezométrica de un punto acuífero representativo durante este período y aplicada la ley obtenida en la evolución piezométrica habida posteriormente (Fig. 33).

Los puntos piezométricos utilizados y las aportaciones laterales medias obtenidas han sido :

Zona A	3123-5019	2,26 hm <sup>3</sup>
Zona B	3123-5008	2,46 "
Zona C	3024-4015	1,59 "
TOTAL		6,31 "

#### 6.3.5.4. Bombeo Bruto

Unicamente se consideran las extracciones destinadas a satisfacer la demanda urbana y agrícola. La demanda industrial--

es muy reducida, cubriendo sus necesidades conectando con la -- red de distribución urbana.

La determinación de su cuantía en los años en los que no se disponía de datos se ha efectuado igualando el bombeo neto al déficit agrícola existente ese año y considerando el rendi -- miento deducido de los coeficientes de infiltración antes mencio -- nados.

Para la determinación de la superficie en regadío exis -- tente en cada año se ha interpolado entre las cifras de los años 1973 y 1981, considerando que el incremento ha sido lineal y pró -- ximo a 125 ha/año.

La distribución actual de los regadíos y los caudales -- anuales medios bombeados para fines agrícolas y urbanos son res -- pectivamente los siguientes :

Zona A	683 ha	4,45 hm <sup>3</sup>	0,92 hm <sup>3</sup>
Zona B	2.885 ha	17,30 "	1,74
Zona C	842 ha	5,12	0
TOTAL	4.410 ha	26,87 "	2,66

#### 6.3.5.5. Salidas al mar

Para su evaluación se ha seguido una metodología similar a la mencionada en el epígrafe (6.3.5.3.).

Los piezómetros utilizados para la correlación han sido los n<sup>os</sup>. 3123-6014 en la zona A; 3123-5017 en la zona B y 3124-1003 en la zona C. Las salidas medias anuales obtenidas son las siguientes :

Zona A	0,65 hm <sup>3</sup>
Zona B	0,89 hm <sup>3</sup>
Zona C	0,20 hm <sup>3</sup>
TOTAL	1,74 hm <sup>3</sup>

#### 6.3.5.6. Salidas por emergencias

Se ha considerado como tal aquellas que dan lugar a la marjalería de Torrenostra, única verdaderamente significativa de la plana, que es drenada por una serie de acequias en las que destaca la denominada "Apolo".

El control de la misma se interrumpió en 1976 ante las malas condiciones existentes para el aforo y, consiguientemente, poca fiabilidad de las mismas. Por ello el caudal de emergencia ha sido obtenido del modelo matemático correlacionando los datos del modelo con la evolución piezométrica en el punto-acuífero n<sup>o</sup> 3123-5024, según la metodología antes mencionada. El valor medio anual para el período 1973-1981 ha sido de 1,35-hm<sup>3</sup>.

Cabe destacar que las emergencias entre los años 1978-1979 y 1980-1981 han sido nulas.

6.3.5.7. Balance

De acuerdo con lo expuesto en epígrafes anteriores, el balance medio anual para el período 1973-1981, se resumen en el siguiente cuadro :

$$E_L + I_{LL} + I_R = B_B + S_M + E \pm \Delta$$

$E_L$	=	entradas laterales
$I_{LL}$	=	infiltración lluvia
$I_R$	=	infiltración regadíos
$B_B$	=	bombeos brutos
$S_M$	=	salidas al mar
$E$	=	emergencias
$\Delta$	.	variación reservas

	Entradas hm <sup>3</sup> /año medio)				Salidas (hm <sup>3</sup> /año medio)			
	E <sub>L</sub>	I <sub>LL</sub>	I <sub>R</sub>	Total	B <sub>B</sub>	S <sub>M</sub>	E	T Δ
Zona A	2,26	1,46	2,24	5,96	5,37	0,65	0	6,02
Zona B	2,46	5,70	7,83	15,99	19,04	0,89	1,35	21,28
Zona C	1,59	2,39	2,39	6,37	5,12	0,20	0	5,32
Total Plana	6,31	9,55	12,46	28,32	29,53	1,74	1,35	32,62

Los análisis de estos resultados son congruentes con la evolución piezométrica observada en la plana, excepción hecha de la zona C en donde se constatan entradas superiores a las salidas, en clara contradicción con la evolución piezométrica en la misma. Este hecho es atribuido tanto a la sobreestimación de las entradas laterales como al error introducido al considerar que no hay transferencia entre las diferentes zonas en las que se ha dividido el acuífero para su estudio.

#### 6.3.5.8. Variación de reservas

El déficit puesto de manifiesto por el balance hidráulico supone un consumo de reservas que se traduce en una disminución del nivel piezométrico y avance simultáneo de la interfase agua dulce-agua salada.

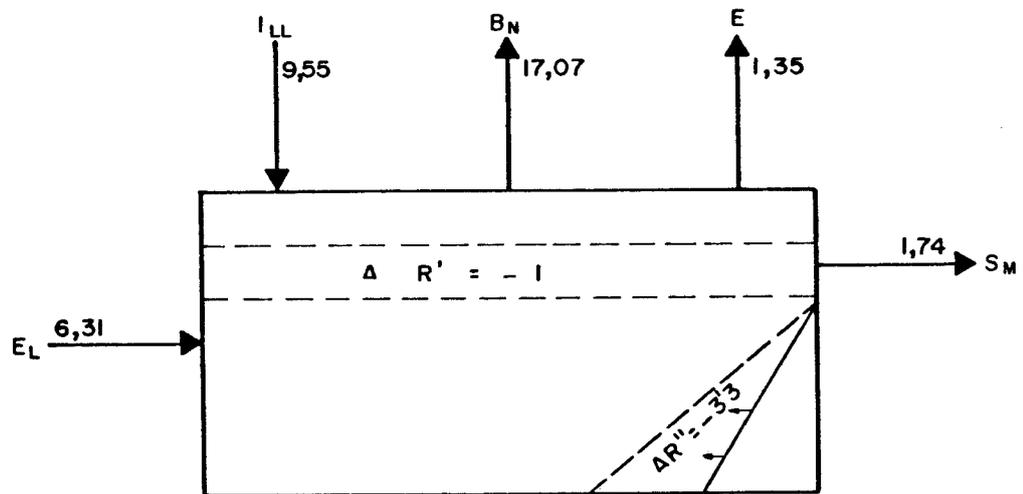
En el cuadro adjunto se expone la variación de reservas calculadas a partir del plano de isodescensos producidos en el -

período 1974-1981, (plano nº 28), en combinación con los datos de los coeficientes de almacenamientos (Fig. nº 30) resultantes después del ajuste final del modelo matemático, así como el déficit deducido del balance hidráulico anteriormente expuesto.

	(1)	(2)	(3)
	Disminución reservas (1974-1981)	Disminución media anual de reservas (hm <sup>3</sup> )	Déficit medio anual calculado (hm <sup>3</sup> )
Zona A	1,12	0,12	0,06
Zona B	4,43	0,63	5,29
Zona C	1,85	0,26	-1,05
Total Plana	7,13	1,01	4,30

La diferencia existente entre las columnas (2) y (3) es lógica si se tiene en cuenta que los déficits medios anuales calculados para las zonas A y C son por defecto ya que probablemente estén sobrevalorados los valores de las entradas laterales. Por otra parte, la disminución media anual de reservas se ha realizado a partir de la disminución de niveles piezométricos sin tener en cuenta la producida por el avance de la interfase. Con objeto de que coincidiese el déficit medio anual, calculado mediante el balance, y la disminución real de reservas, sería necesario admitir un avance medio del pié de la interfase del orden de 75 m/año (Fig. 34).

PLANA DE OROPESA - TORREBLANCA  
BALANCE HIDRAULICO



Cifras en  $Hm^3/año$

- $E_L$  = ENTRADAS LATERALES
- $I_{LL}$  = INFILTRACION LLUVIA
- $B_N$  = BOMBEOS NETOS
- $E$  = EMERGENCIAS
- $S_M$  = SALIDAS AL MAR
- $\Delta R$  = VARIACION DE RESERVAS

### 6.3.6. Analisis de la Problematica Planteada por el Uso Actual del Agua Subterránea

La explotación de aguas subterráneas en cifras superiores a la de los recursos del acuífero miocuaternario, ha dado lugar a un generalizado proceso de intrusión salina especialmente acentuado en aquellas áreas costeras en las que el acuífero alcanza su máximo desarrollo en profundidad, tales como las existentes en las inmediaciones del río San Miguel, Oropesa y barranco de Chinchilla. Este fenómeno es puesto de manifiesto por numerosos indicadores, entre los que destaca el ión  $\text{Cl}^-$ , que en las inmediaciones de Torreblanca alcanza valores próximos a 500 mg/l; 1.500 mg/l en la zona de Oropesa y cifras parecidas al NW de esta ciudad, que contrastan con los valores de 250 mg/l en Torreblanca y 500 mg/l en Oropesa en julio de 1977.

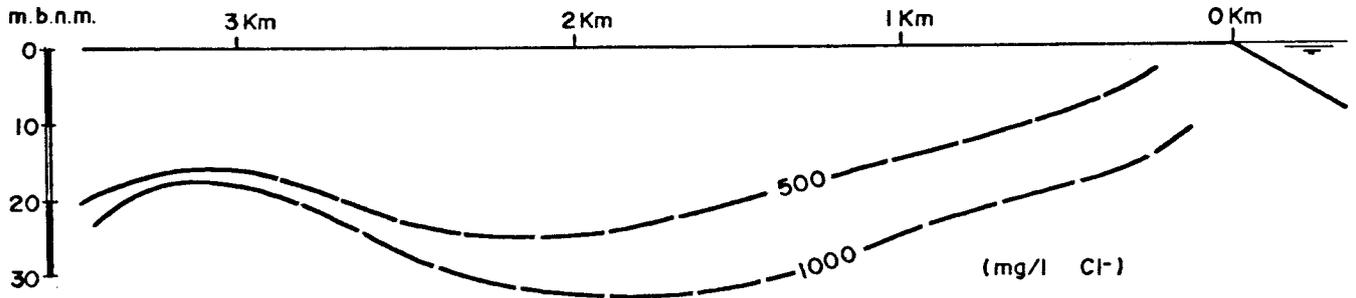
En los planos n.ºs. 29 y 30 se han representado los mapas de isocloruros a profundidades comprendidas entre 0-10 m, 10-20 m. y superiores a 20 m. correspondientes a los meses de julio de 1978 y 1981 respectivamente. En ellos se observa que el proceso de intrusión es actualmente mucho activo en la mitad meridional de la plana, con la aparición de nuevas áreas invadidas como la situada en el extremo sur de la marjalería de Torrenuestra y crecimiento de las existentes, alcanzándose en la práctica totalidad de la plana, incluido el borde oeste

de la misma, concentraciones próximas a 500 mg/l de ión  $\text{Cl}^-$ . Si consideramos que la interfase coincide con el límite convencional de 150 mg/l. de ión  $\text{Cl}^-$ , hay que admitir que la intrusión salina afecta a la totalidad del acuífero detrítico e incluso al borde oriental del acuífero calizo del interior.

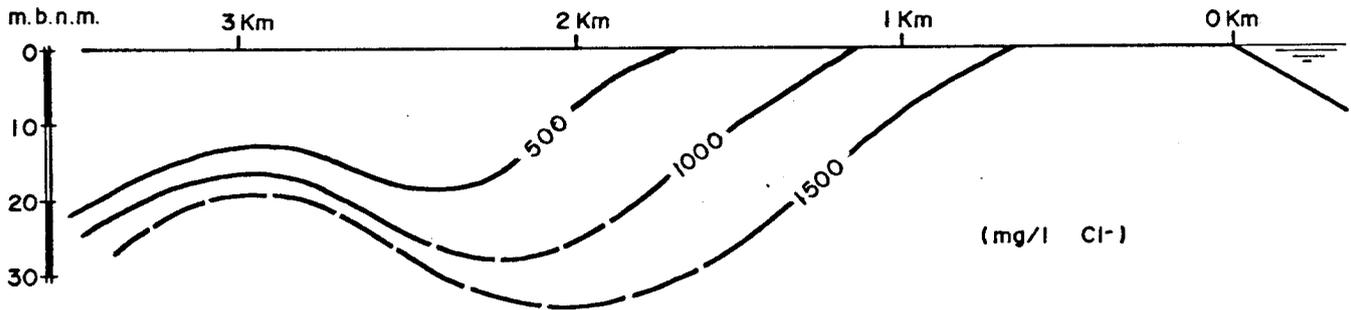
En la fig. nº 35, se han representado las líneas de igual contenido en cloruros en un plano vertical en las zonas de Oropesa y Torreblanca para los meses de Julio de 1978 y Julio de 1981 respectivamente. En ellos se confirma lo dicho anteriormente, poniéndose en evidencia la existencia de un domo salino al NW de Oropesa, al parecer en estado estacionario.

La actual situación de degradación contradice los datos obtenidos mediante la correlación entre intrusión salina en las diferentes zonas y la evolución piezométrica en piezómetros cercanos a la costa, que únicamente indican intrusión para la zona C (Oropesa), a razón de  $0,2 \text{ hm}^3/\text{año}$  por término medio para el período 1973-1981, con mayor incidencia en el período 1973-1981, en el que se da un valor medio de  $0,46 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Este hecho debe ser atribuido a la sobrevaloración de los aportes laterales provenientes del acuífero mesozóico del interior.

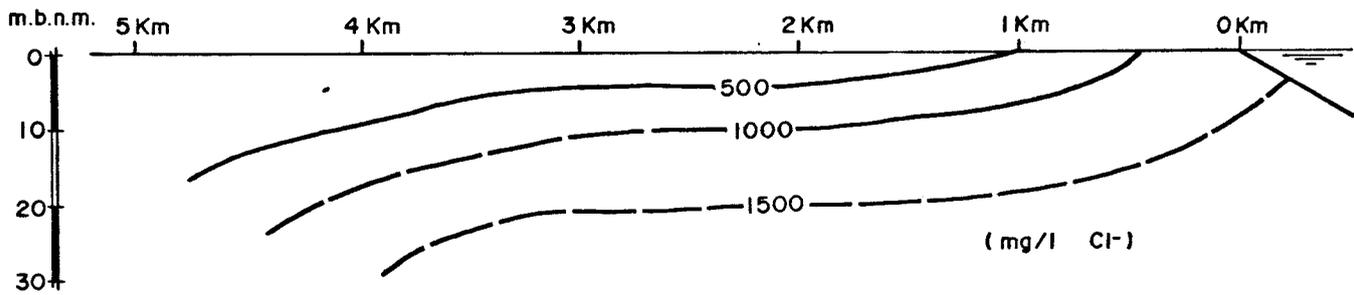
OROPESA - JULIO / 78



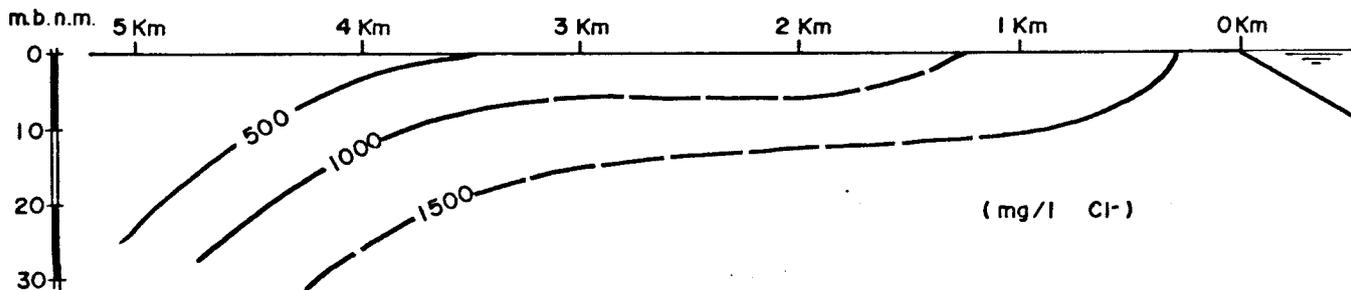
OROPESA - JULIO / 81



TORREBLANCA - JULIO / 78



TORREBLANCA - JULIO / 81



LINEAS DE ISOCLORUROS EN SECCION VERTICAL

Tal como se ha indicado en el epígrafe (6.3.5.8.) el déficit anual medio para el total de la plana es de  $4,3 \text{ hm}^3$ , ante el cual el acuífero reacciona descendiendo los niveles piezométricos, lo que supone una disminución de reservas por este concepto de  $1 \text{ hm}^3/\text{año}$ , siendo los  $3,3 \text{ hm}^3$  restantes compensados por la entrada de agua marina y consiguiente avance de la interfase.

De proseguir el actual ritmo de sobreexplotación, es de esperar que contenido en ión  $\text{Cl}^-$ , antes de que termine la presente década, será por término medio superior a  $2.500 \text{ mg/l}$ .

### 6.3.7. Calidad Química del Agua y su Evolución

Desde el Proyecto de Investigación Hidrogeológica realizado en el período 1972-1975, se dispone de una serie de análisis químicos que sirvan de punto de partida para el estudio de la evolución posterior del quimismo del agua subterránea.

En líneas generales se trataba de aguas de facies bicarbonatadas cálcicas que hacia el litoral evolucionaban a otras de facies cloruradas sódicas, pasando por estadios intermedios de facies bicarbonatadas sódicas.

El residuo seco aumentaba desde valores inferiores a 500 mg/l en el borde oeste hasta valores superiores a 3.000 mg/l en la costa. El ión sulfato evolucionaba en este mismo sentido desde 20-50 mg/l hasta alcanzar valores próximos a 200 mg/l, mientras que el ión bicarbonato mostraba una evolución muy atenuada en sentido contrario a las anteriores, con concentraciones comprendidas entre 350 mg/l y 250 mg/l.

La concentración de ión nitrato se situaba entre 10 y 50 mg/l con máximo en zonas de mayor actividad agrícola.

La distribución de cloruros era similar a la del residuo seco, y oscilaba entre valores inferiores a 75 mg/l en el borde interior y superiores a 1.000 mg/l en puntos localizados próximos a la costa, con máximo absoluto en las zonas sobreexplotadas del E. de Torreblanca y N. de Oropesa.

$$\text{Las relaciones } \frac{r \text{ Cl}^-}{r \text{ CO}_3\text{H}} \frac{r \text{ Mg}^{++}}{r \text{ Ca}^{++}} \text{ y } \frac{(e \text{ Cl}^- - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+))}{r \text{ Cl}^-}$$

crece en dirección al mar, con valores máximos en las proximidades de la costa y mínimo en zonas de regadío y oscilan entre 10 y 1 en el primer caso; 1 y 0,5 en el segundo; y 0,5 y 0,1 en el tercero, mientras que la relación  $\frac{r \text{ SO}_4^{=}}{r \text{ Cl}^-}$  sigue una pauta inversa con valores mínimos próximos a 0,1 en las inmediaciones del mar y zonas intrusivas y máximos de 0,4 en zonas de regadío.

Considerando aparte las modificaciones introducidas por el incremento generalizado de la intrusión salina, ya comentada, la evolución habida hasta la fecha se puede concretar en los siguientes puntos (planos 31 y 32).

- Incremento moderado del contenido salino, en un porcentaje próximo al 15-25%. El mayor peso específico de tales incrementos se debe al crecimiento del ión bicarbonato por encima de la media. Este fenómeno parece atribuible a la recirculación de las aguas de regadío.
- Progresivo incremento del contenido en nitratos en la práctica totalidad de la plana, en donde después del período 1976-1977, en el que se constató una estabilización, incluso regresión, con valores más usuales -

comprendidos entre 10 y 25 mg/l. En la actualidad -  
estos se sitúan entre 30 y 50 mg/l, con máximos que -  
alcanzan 96mg/l al norte de Oropesa.

- Presencia esporádica de  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}^+$  y metales pesados, -  
en concentraciones muy inferiores a los fijados como  
admisible por el C.A.E.
- La DQO se encuentra normalmente por debajo de 2 mg/l  
si bien ocasionalmente supera el límite de 3 mg/l.

En general se observa que el contenido iónico de las a  
guas puede oscilar alrededor del 50% en un mismo punto de control.  
Son especialmente notables las oscilaciones en lo referente al -  
ión sulfato, nitrato y elementos químicos minoritarios.

La degradación detectada no ha afectado hasta la fecha  
de manera notable a ninguno de los abastecimientos controlados.  
Unicamente en el caso de Cabanes se supera eventualmente valores -  
de la DQO por encima de 3 mg/l y se observa un progresivo incremen-  
to de nitratos, que de proseguir alcanzaría pronto el límite de -  
30 mg/l fijado por el C.A.E.

### 6.3.8. Proposición para la Optimización de la Gestión del Agua Subterránea

A la vista de lo expuesto se considera oportuno la adopción de una serie de iniciativas destinadas tanto a la mejora del conocimiento del funcionamiento hidráulico del acuífero y eliminación de cuantas incertidumbres existen, como a evitar la progresiva degradación de la calidad del agua. En cuanto a lo primero cabe destacar:

- Completar el conocimiento de las características geométricas del acuífero en la zona septentrional del mismo (Barranco de Estopet) mediante una campaña adicional de prospección geofísica.
- Revisar y mantener al día el inventario de puntos acuíferos, con especial énfasis en la identificación del sistema acuífero captado.
- Aumentar la densidad de la red de control piezométrico especialmente en los bordes interiores de la plana.
- Iniciación de estudios encaminados a determinar la viabilidad de proceder a la recarga artificial del acuífero. A este respecto sería prioritario determinar si la salinidad que actualmente muestran las aguas de drenaje de la marjalera, único excedente en unión de las aguas residuales disponibles para

tal fin, son reflejo de la calidad química del acuífero en la zona, o procede de la invasión marina a través de las acequias de drenaje durante mareas vivas.

En cuanto a las iniciativas a tomar con objeto de preservar la calidad química del acuífero cabe citar.

- . Recomendar el establecimiento de un perímetro de protección que contemple entre otras medidas la prohibición expresa de efectuar nuevas captaciones para uso agrícola en toda la plana.
- . Proceder al abandono de aquellas captaciones que muestren más alto grado de salinización. Su falta sería compensada con agua procedente de captaciones efectuadas en el acuífero mesozóico de las sierras de Irtá, Cabanes y Torreblanca.
- . Inventariar y analizar el carácter de todos los focos contaminantes existentes.
- . Asesorar a los municipios para que los vertidos de residuos urbanos se efectúen mediante vertederos controlados y procedimientos técnicos adecuados.

- . Orientar al agricultor sobre el tipo de abono a utilizar y su dosificación adecuada, para que la degradación de las aguas sea la menor posible.
  
- . Ampliar la red específica de control de la intru sión, especialmente en lo referente a piezómetros representativos de zonas profundas del acuífero.

6.4. PLANA VINAROS - PEÑISCOLA

#### 6.4.1. Introducción

La subunidad hidrogeológica de la Plana de Vinaroz-Peñiscola ocupa una extensión superficial de unos 120 Km<sup>2</sup> y corresponde al área adyacente al Mediterráneo entre las localidades de Peñiscola y Alcanar. Al norte limita con la sierra de Montsiá, al sur con las sierras de Irta y Valdanca, al este con el mar Mediterráneo y al oeste con la Plana de la Cenia-Tortosa por medio de los afloramientos cretácicos que aparecen entre Calig y Alcanar.

Geomorfológicamente se trata de un extenso campo de derrame fluviotorrencial, de origen árido, donde se distingue una zona reducida de llanuras costeras horizontales, y una extensa rampa de erosión que se extiende hasta la base de las sierras marginales, y penetra en ellas formando "golfos" erosivos o las atraviesa en dirección NO, reduciéndolas a una cadena de montes-islas. Normalmente la pendiente de esta rampa es suave, pero en contacto con los macizos marginales se transforma en un glacis muy empinado.

La génesis de la Plana es fundamentalmente tectónica, con retoque erosivo, y su edad es reciente, miocena y postmiocena. Se trata del relleno continental mioceno de una depresión tectónica litoral en vías de hundimiento. Tras un período erosivo un nuevo hundimiento coincidió con nuevos aportes, esta vez de depósitos fluviotorrenciales modernos.

Los principales ríos de la zona son: Cenia, Barranco de la Barbiguera, Ser vol, Barranco de Agua Oliva, Seco y Alcalá. Practicamente permanecen secos durante su recorrido por la Plana, excepto en las grandes avenidas.

La agricultura está muy desarrollada y gran parte del área es tierra de regadío ,destacando, como en toda la costa levantina, el cultivo de cítricos.

El desarrollo industrial no es muy importante y se centra, fundamentalmente, en los núcleos de Vinaroz y Benicarló, siendo el resto de la zona eminentemente agrícola.

El clima es de tipo mediterráneo litoral, con temperaturas medias de unos 17° C y poca amplitud en sus oscilaciones, con valores altos de la humedad relativa. La precipitación media es del orden de los 500 mm.

Es una zona de gran desarrollo turístico, especialmente en los meses estivales.

## 6.4.2. Definición Geométrica del Embalse Subterráneo

### 6.4.2.1. Reinterpretación de la Geofísica Realizada en la Plana

Con objeto de reconocer la naturaleza litológica y potencia de los sedimentos miocuaternarios, así como la naturaleza del sustrato mesozoico, se realizó por la Empresa TECNHYDROS - en 1.972 una campaña de geofísica en la Plana de Vinaroz-Peñiscola, consistente en 62 sondeos eléctricos verticales con una separación máxima entre electrodos de corriente de  $AB= 2.000$  metros.

Según los resultados de esta campaña se han podido diferenciar tres niveles:

- Formación resistente superficial
- Formación conductora
- Sustrato resistente.

La formación resistente superficial corresponde al - acuífero detrítico miocuaternario, que está constituido por arenas, gravas y conglomerados con proporción escasa de arcillas. La resistividad de este conjunto es superior a 40 ohm.m. y generalmente comprendida entre 70 y 200 ohm.m. El espesor oscila entre 0-25 metros en la mitad meridional del borde occidental y valores de 100-125 m., en las inmediaciones de Vinaroz y sectores nororientales. El espesor saturado de agua dulce sobrepasa los 25 metros en la mayor parte de la Plana, (plano33), alcanzandose - valores de 75 metros al SO de Benicarló y Vinaróz, y máximos cercanos a los 100 metros al Sur de Alcanar; hacia la costa disminu

ya el espesor saturado de agua dulce debido a la posición de la interfacias. En las zonas próximas a los bordes el espesor del relleno detrítico disminuye, existiendo sectores en los que el espesor saturado es nulo, bien porque desaparece el depósito detrítico, bien porque su muro se encuentra por encima de la superficie piezométrica.

Con objeto de conocer la morfología del muro del acuífero miocuaternario se ha elaborado el plano de sus isohipsas, (Plano 34), en el que se observa que la cota del muro desciende desde los bordes hacia la costa, alcanzándose valores superiores a - 100 m. en el sector septentrional de la Plana. Entre el SO de Benicarló y Vinaroz se aprecia una zona alargada a modo de valle y ligeramente paralela al litoral, en la que el muro del acuífero se encuentra más deprimido que en su entorno, alcanzando valores mínimos de - 75 m.

La formación conductora corresponde al conjunto mioceno, fundamentalmente arcilloso, que separa el acuífero detrítico miocuaternario del sustrato acuífero mesozoico. Está constituido esencialmente por arcillas y margas con escasa proporción de arenas y gravas. La resistividad de esta formación es inferior a 40 ohm.m. y generalmente comprendida entre 20 y 30 ohm.m. El espesor de esta capa confinante aumenta desde 0 metros en los bordes de los macizos circundantes a valores próximos a 250 metros en las inmediaciones de Vinaroz; el espesor medio es del orden de 150-200 metros (Plano 35)

El sustrato resistente corresponde al acuífero calizo mesozoico, que está constituido por calizas, probablemente de edad jurásica en la zona sur de la Plana, y de edad cretácica al norte. La resistividad del sustrato es del orden de los 400 ohm. m. en el sector meridional y de 800 ohm.m. en el septentrional. La profundidad a la que se encuentra esta formación aumenta desde los bordes (25-50 m) hasta las inmediaciones de Vinaroz (350-400 m). En el plano 36 se ha representado la profundidad del sustrato.

Según ha puesto de manifiesto la prospección geofísica el sustrato se encuentra afectado en el sur por dos fallas de dirección NO-SE; la más meridional provocaría el hundimiento del bloque norte con salto próximo a los 100 metros, mientras que la otra daría lugar al ascenso del bloque septentrional, con salto semejante. Entre Benicarló y Vinaroz parece existir otra falla, paralela al litoral y próxima a la línea de costa, que elevaría el bloque oriental, con un salto de unos 100-150 m, e incluso 200 metros en las inmediaciones de Vinaroz; su existencia, no obstante, no es del todo segura.

Algunos sondeos eléctricos dan la impresión de que el sustrato no es homogéneo y que puede contener algunos niveles margosos de cierta consideración (unos 30-50 metros). No obstante, se ha considerado como un sólo conjunto por la relativa poca importancia hidrogeológica de este hecho, y por lo dificultoso que hubiese sido su diferenciación mediante la investigación geofísica.

En el límite septentrional (Sierra de Montsiá) se diferencian dos sectores: en el más cercano a la costa y perpendicular a la misma el límite se ha considerado a flujo nulo; en el otro sector las calizas cretácicas de la sierra de Montsiá se ponen lateralmente en contacto con el acuífero detrítico de la Plana, produciéndose alimentación lateral del mismo a partir de las calizas de Montsiá. En este caso el límite es a potencial variable con área de alimentación reducida.

En el límite meridional y suroccidental se han considerado los bordes de las sierras de Irtá y Valdanca como límites a flujo nulo, pues el acuífero detrítico se encontraría desconectado de los materiales carbonatados de dichos macizos por medio de la formación arcillosa miocena. En el sector comprendido entre ambas sierras los depósitos detríticos de la Plana contactan con los de la depresión de Santa Magdalena de Pulpis, produciéndose una alimentación lateral muy débil como consecuencia de la reducida dimensión de dicha depresión. El límite es, por tanto, a potencial variable con área de alimentación reducida.

En el sector occidental, entre Cáliz y Alcanar, la Plana de Vinaroz-Peñiscola limita con la de Cenia-Tortosa, constituida ésta última por materiales detríticos terciario-cuaternarios de baja permeabilidad. Por esta razón, y a pesar de la amplia extensión superficial de la Plana Cenia-Tortosa, el flujo de agua que aporta lateralmente a la Plana de Vinaroz-Peñiscola es reducido. El límite es a potencial variable con extensa área de alimentación.

#### 6.4.2.2. Revisión de las condiciones de borde

Para el estudio hidrogeológico de la Plana de Vinaroz-Peñíscola se realizó un modelo matemático de la misma, cuyo periodo de simulación fué diciembre - 73 a noviembre - 74. La superficie modelada excede ligeramente los límites de la Plana, siendo de unos 150 Km<sup>2</sup> para el acuífero detrítico y 190 Km<sup>2</sup> para el calizo.

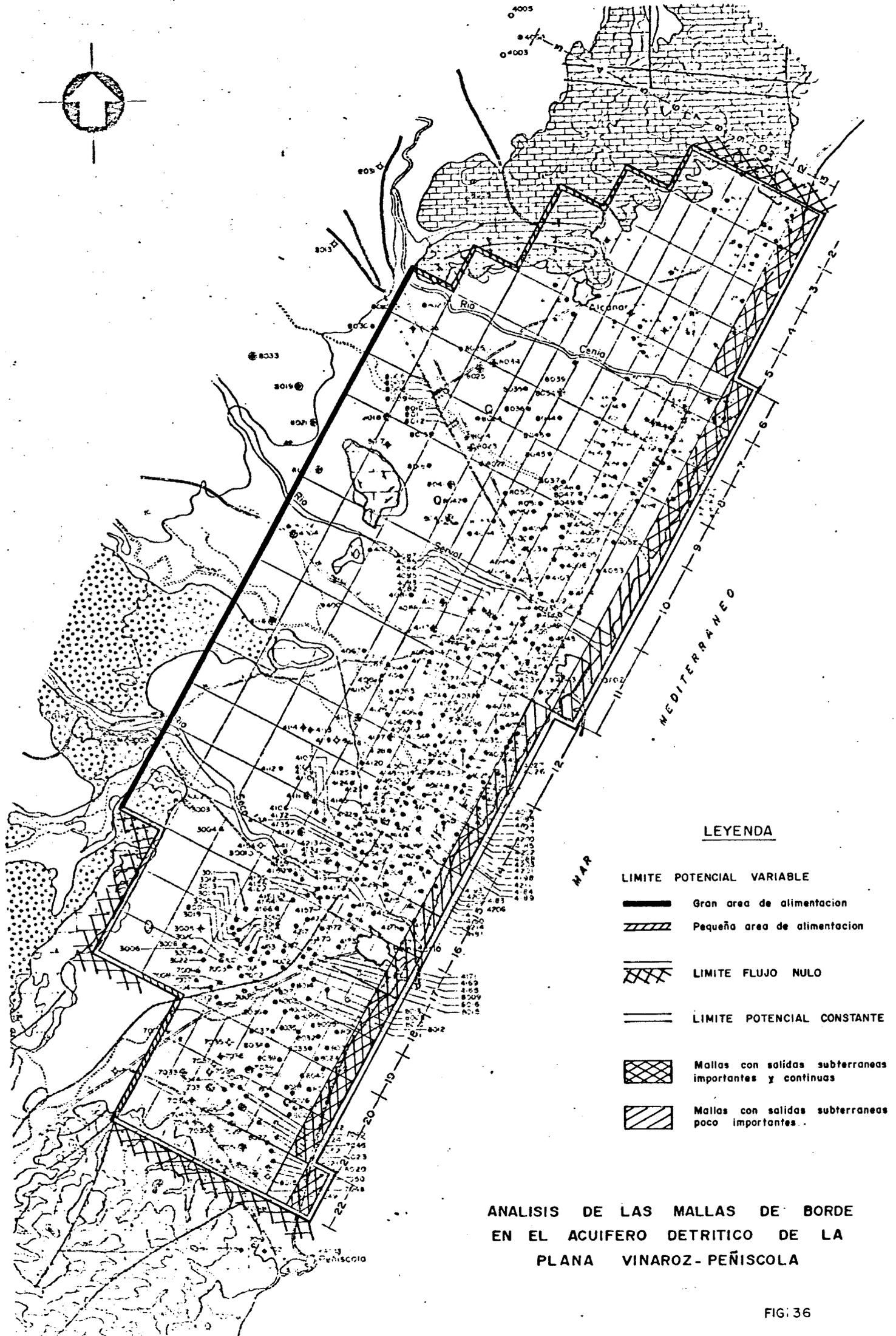
A continuación se van a revisar las condiciones de borde impuestas al modelo para cada uno de los acuíferos que componen la Plana Vinaroz-Peñíscola.

##### 6.4.2.2.1. Acuífero detrítico miocuaternario

El acuífero detrítico miocuaternario limita al norte con la sierra de Montsiá, al sur con las sierras de Irta y Valdancha, al este con el mar Mediterráneo y como límite oeste se ha considerado la alineación de afloramientos cretácicos que se extienden entre Cáliz y Alcanar.

A continuación se van a estudiar, con ayuda de los datos suministrados por la prospección geofísica realizada, las condiciones para cada uno de estos límites, en base a la naturaleza litológica y secuencia de los materiales, forma de la superficie piezométrica y morfología del muro del acuífero.

El límite oriental es a potencial constante e igual a la cota del nivel del mar.



ANÁLISIS DE LAS MALLAS DE BORDE  
 EN EL ACUÍFERO DETRÍTICO DE LA  
 PLANA VINARÓZ-PEÑÍSCOLA

Sería conveniente realizar una campaña de geofísica, con gran número de sondeos eléctricos verticales, en todo el borde occidental, entre Calig y Alcanar, con objeto de conocer exactamente la geometría del acuífero en esta zona y la evolución en profundidad del sustrato calizo mesozoico.

En la figura 36 se esquematizan las condiciones de borde del acuífero miocuaternario.

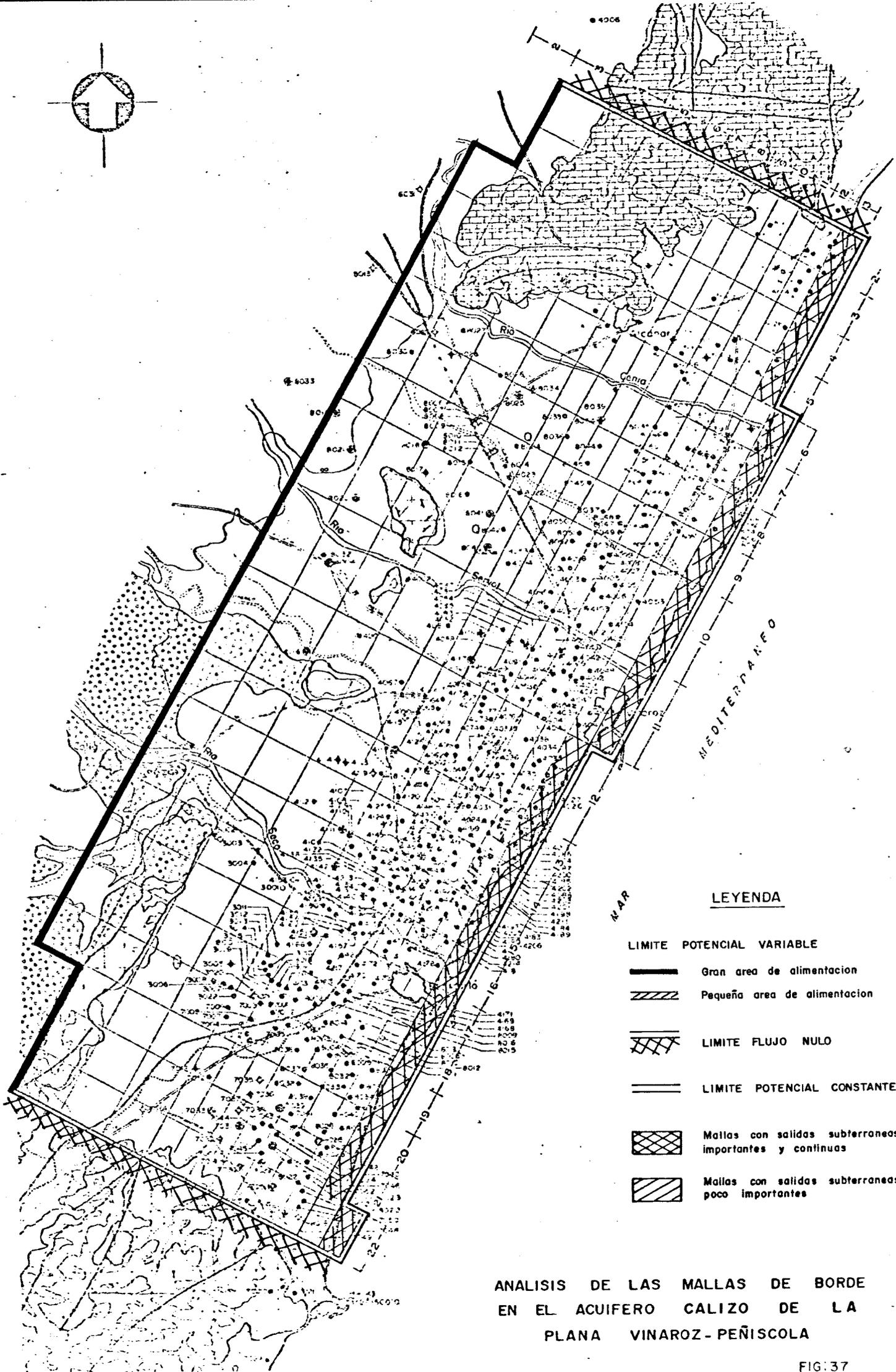
#### 6.4.2.2.2. Acuífero calizo mesozoico

Los bordes septentrional y meridional se les considera como límites a flujo nulo porque en ellos las curvas isopiezas son aproximadamente perpendiculares a éstos y por tanto sin posibilidad de entrada o salida de agua.

El borde oriental es límite a potencial constante e igual a la cota del nivel del mar.

El borde occidental es límite a potencial variable con extensa área de alimentación. El flujo procede del resto de la formación acuífera mesozoica del Maestrazgo.

En la figura 37 se esquematizan las condiciones de borde del acuífero calizo mesozoico.



**LEYENDA**

- LIMITE POTENCIAL VARIABLE**
- Gran area de alimentacion**
- Pequeña area de alimentacion**
- LIMITE FLUJO NULO**
- LIMITE POTENCIAL CONSTANTE**
- Mallas con salidas subterraneas importantes y continuas**
- Mallas con salidas subterraneas poco importantes**

**ANALISIS DE LAS MALLAS DE BORDE EN EL ACUIFERO CALIZO DE LA PLANA VINAROSZ - PEÑÍSCOLA**

### 6.4.3. Funcionamiento Hidraulico

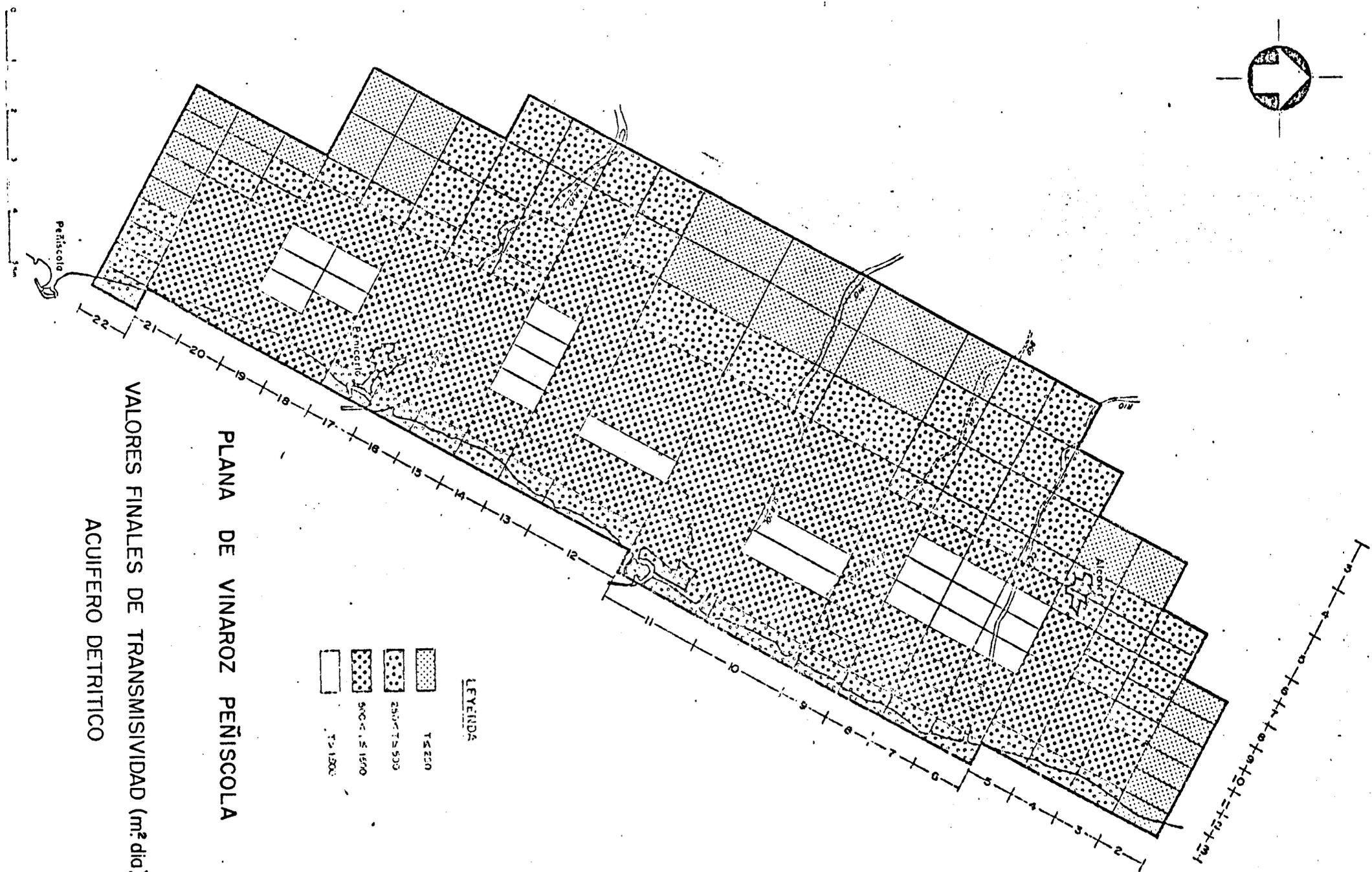
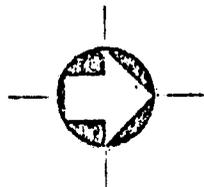
#### 6.4.3.1. Características Hidraulicas y Piezometricas

##### 6.4.3.1.1. Acuífero detrítico miocuaternario

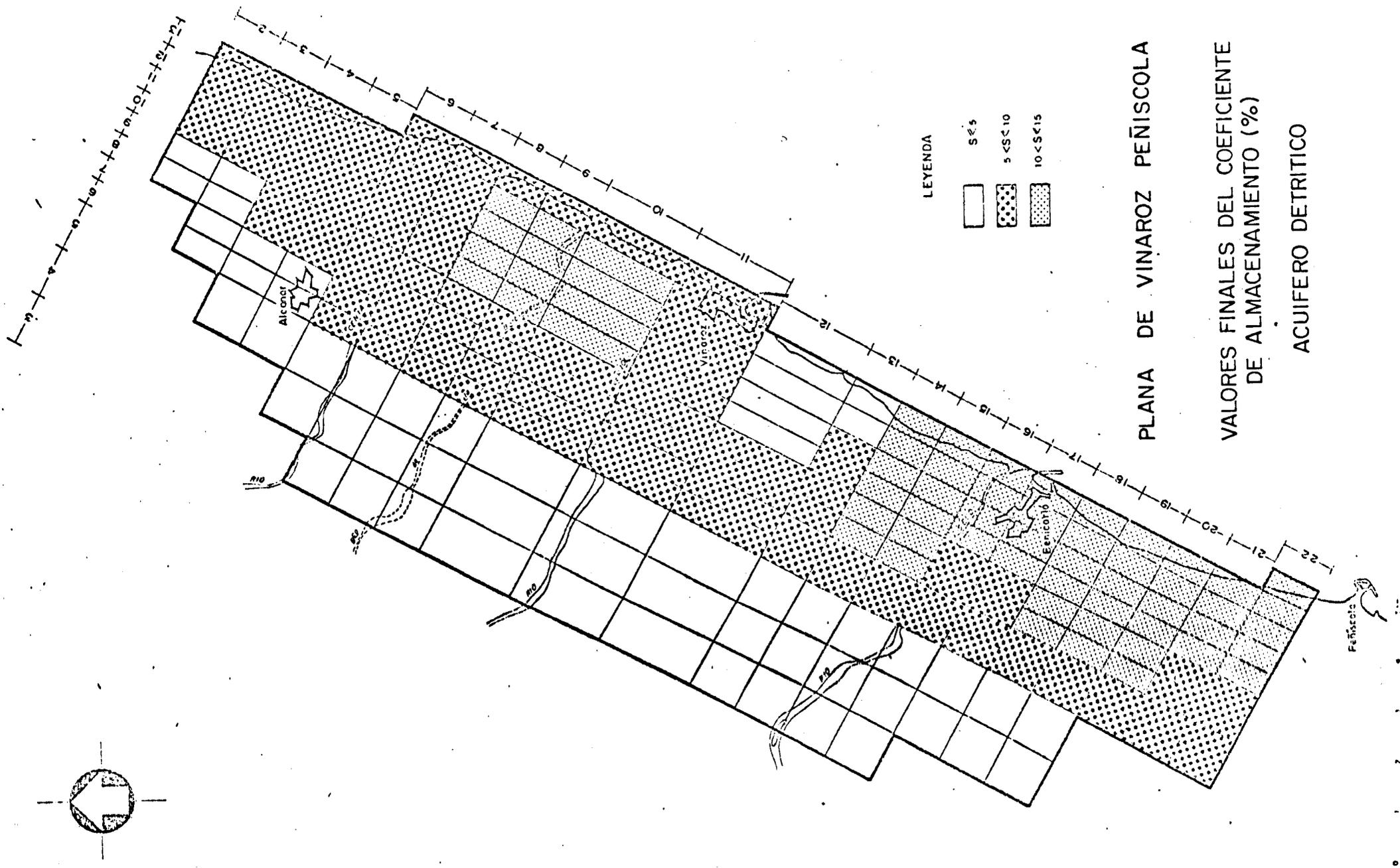
Las transmisividades varían entre valores inferiores a  $250 \text{ m}^2/\text{día}$ , en las zonas de borde de las sierras Irtá y Montsiá, así como en la entrada del río Servol a la Plana y valores superiores a  $1.500 \text{ m}^2/\text{día}$ , en las zonas de mayor espesor saturado, que corresponden a la alineación sur de Alcanar-norte de Vinaroz-suroeste de Benicarló. En la mayor parte de la Plana la transmisividad está comprendida entre  $500$  y  $1.500 \text{ m}^2/\text{día}$  (figura nº 38).

El coeficiente de almacenamiento alcanza los máximos valores (entre el 10% y el 15%) al norte de Vinaroz y entre Benicarló y Peñiscola; los valores mínimos (inferiores al 5%) se localizan en el sector occidental y al sur de Vinaroz; en el resto de la Plana están comprendidos entre el 5% y el 10%. Los valores más bajos se obtienen en aquellas zonas donde la proporción de limos y arcillas es mayor, mientras que los más altos corresponden a sectores con escasa proporción de materiales finos. (figura 39).

La cota de la superficie piezometrica desciende desde el borde occidental, donde se situa a unos 3. m.s.n.m. hacia la costa, donde se sitúa a 0 metros (plano 37). El sentido de la escorrentía es, por tanto, de oeste a este.



PLANA DE VINARÓZ PEÑÍSCOLA  
VALORES FINALES DE TRANSMISIVIDAD (m<sup>2</sup>/día)  
ACUIFERO DETRÍTICO



LEYENDA

- $S < 5$
- $5 < S < 10$
- $10 < S < 15$

PLANA DE VINARÓZ PEÑÍSCOLA

VALORES FINALES DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (%)

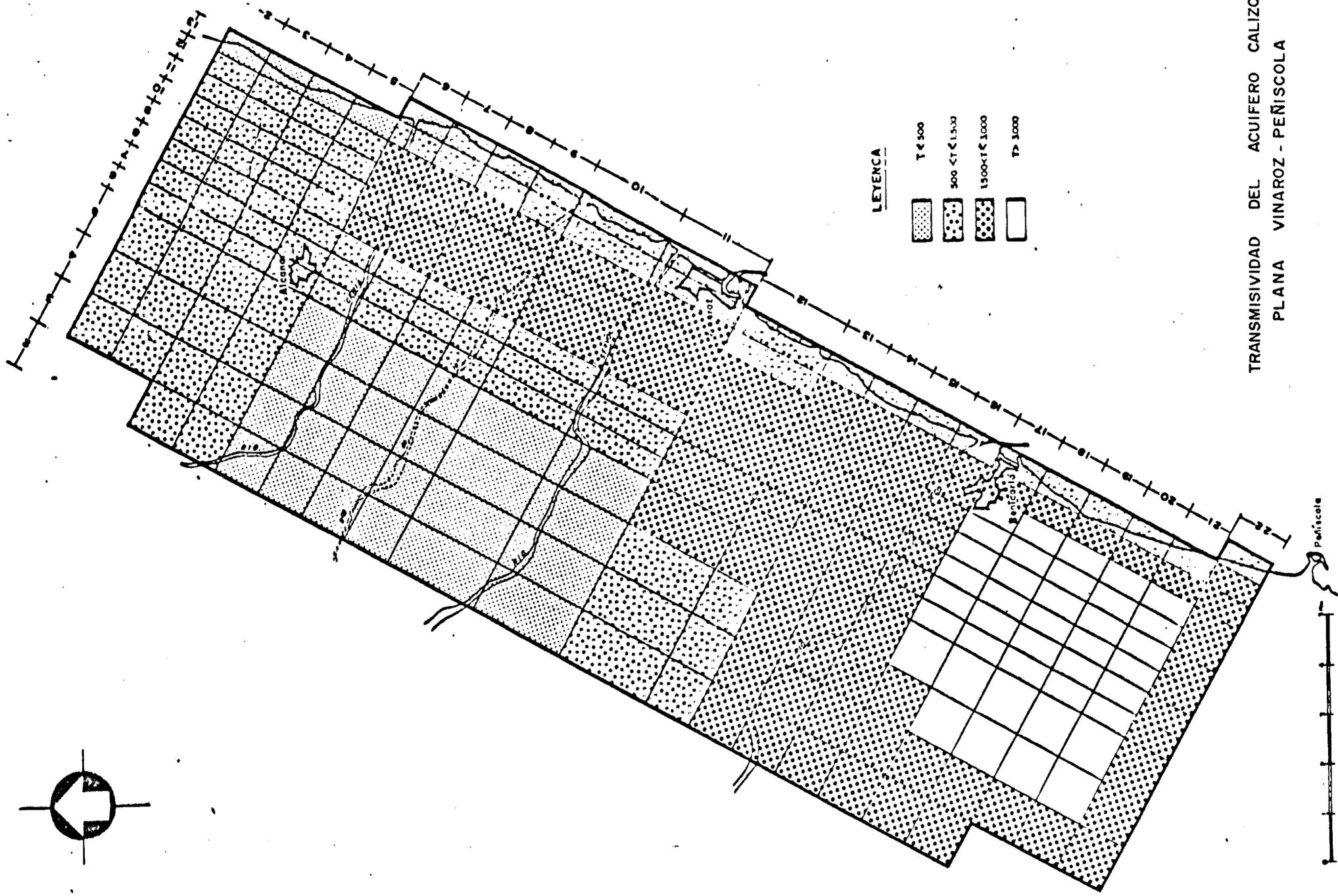
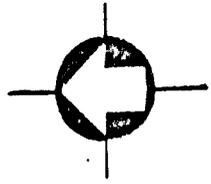
ACUIFERO DETRITICO

Existen dos zonas, una entre Vinaroz y Alcanar, y otra en las proximidades de Benicarló, en las que la superficie piezométrica permanece bajo el nivel del mar como consecuencia de las intensas extracciones de agua subterránea en las mismas, que provoca la inversión de gradiente hacia el interior. Las variaciones estacionales del nivel oscilan entre 0,25-0,50 m en el borde este y 1-2 m en el borde oeste. El descenso acumulado de la capa para el ciclo hiperanual (1974-1981) ha sido notable (planos 38 y 39) con valores de 1 metro a una distancia de la costa de 0,5- 1Km y de 3 metros en el borde occidental, a excepción del período 1976-78 en que se observa una importante recuperación de los niveles. Este descenso ha sido producido por la disminución considerable de la pluviosidad y aumento de la extracción de agua, durante dicho periodo de tiempo.

#### 6.4.3.1.2. Acuífero calizo mesozoico

Las transmisividades están comprendidas entre menos de 500 m<sup>2</sup>/día, en el borde occidental entre Alcanar y el río Servol, y valores superiores a 3.000 m<sup>2</sup>/día (del orden de 4.000 m<sup>2</sup>/día), en el sector situado al suroeste de Benicarló. En general, las calizas júrasicas tienen transmisividad entre 1500 y 4000 m<sup>2</sup>/día, mientras que las cretácicas, entre 500 y 3000 m<sup>2</sup>/día (figura 40).

El coeficiente de almacenamiento se estima comprendido entre  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ .



LEYENDA

-   $T < 500$
-   $500 < T < 1500$
-   $1500 < T < 3000$
-   $T > 3000$

TRANSMISIVIDAD DEL ACUÍFERO CALIZO  
PLANA VINARÓZ - PEÑÍSCOLA

La cota de la superficie piezométrica desciende desde unos 6-7 m, en el borde occidental, hasta el nivel del mar, en la costa (Plano 40). El sentido de la escorrentía es, por consiguiente, de oeste hacia el este. Las variaciones estacionales del nivel son del orden de los 2-3 metros en el borde occidental. El descenso acumulado de la superficie piezométrica para el período 1974-1981 ha sido muy notable, (planos 41 y 42), pues se han llegado a alcanzar valores de hasta 6 metros, a excepción del período 1976-78 en que los niveles experimentaron una acusada recuperación. Este descenso se ha producido, fundamentalmente, por la considerable disminución de la pluviosidad en dicho período de tiempo, así como por el aumento de la extracción de agua.

#### 6.4.3.2. Análisis del Proceso de Alimentación y Descarga de los Acuíferos

##### 6.4.3.2.1. Acuífero detrítico miocuaternario

Las entradas al acuífero provienen de alimentación lateral de los depósitos detríticos de la Plana Cenia-Tortosa, infiltración directa del agua de lluvia e infiltración de los excedentes de riego con aguas del acuífero calizo de la Plana Vinaroz-Peñiscola.

La infiltración de los ríos que atraviesan la Plana es prácticamente nula, pues permanecen en seco durante todo su recorrido por la misma, excepto en grandes avenidas.

Las salidas se producen por bombeos netos para usos agrícolas, industriales y urbanos, y por descarga subterránea del acuífero al mar.

Según el modelo matemático, las entradas laterales se concentran fundamentalmente en el sector del borde occidental comprendido entre Cáliz y norte de Alcanar; las salidas subterráneas al mar se realizan preferentemente entre el límite septentrional de la Plana y el Barranco de Barbiguera. En las zonas de Vinaroz y Peñíscola se producen entradas de agua del mar al acuífero, como consecuencia de la intrusión salina provocada por bombeos intensivos en estas áreas.

#### 6.4.3.2.2. Acuífero calizo mesozoico

Las entradas al acuífero provienen de alimentación lateral subterránea del resto de la formación acuífera mesozoica del Maestrazgo, y por infiltración directa del agua de lluvia en aquellos reducidos sectores de la Plana en que aflora.

Las salidas se producen por bombeos para usos agrícolas y urbanos, y por descarga subterránea del acuífero al mar.

Según el modelo matemático, las entradas laterales tienen lugar a lo largo del borde occidental; las salidas subterráneas al mar se producen en la totalidad del borde oriental, en especial en el sector meridional del mismo.

#### 6.4.4. Uso Actual del Agua Subterránea

El agua subterránea se consume mayoritariamente en el abastecimiento de extensas áreas regables, que totalizan en la actualidad aproximadamente 8000 has, de las cuales un 35% se riega con el acuífero calizo y un 65% con el detrítico. (figura 41)

La evolución de estas superficies se puede resumir así:

##### Año 1.972

Regadio con el acuífero calizo .....	937 has
Regadio con el acuífero detrítico ....	5.790 has
Total .....	6.727 has.

##### Año 1.980

Regadio con el acuífero calizo .....	2.165 has
Regadio con el acuífero detrítico ....	5.790 has
Total .....	7.955 has.

Se observa que la superficie regada con el acuífero detrítico ha permanecido constante, mientras que la regada con el calizo ha aumentado notablemente. Este incremento se ha producido a medida que se perforaban nuevos sondeos en el acuífero mesozoico, siendo más notable el aumento en el sector occidental del término municipal de Vinaroz. La evolución del consumo para usos agrícolas se indica en el cuadro adjunto, teniendo en cuenta que para el acuífero detrítico se considera el bombeo neto, mientras

que para el calizo el bombeo bruto, pues el agua extraída de este último no se reinfiltro en él.

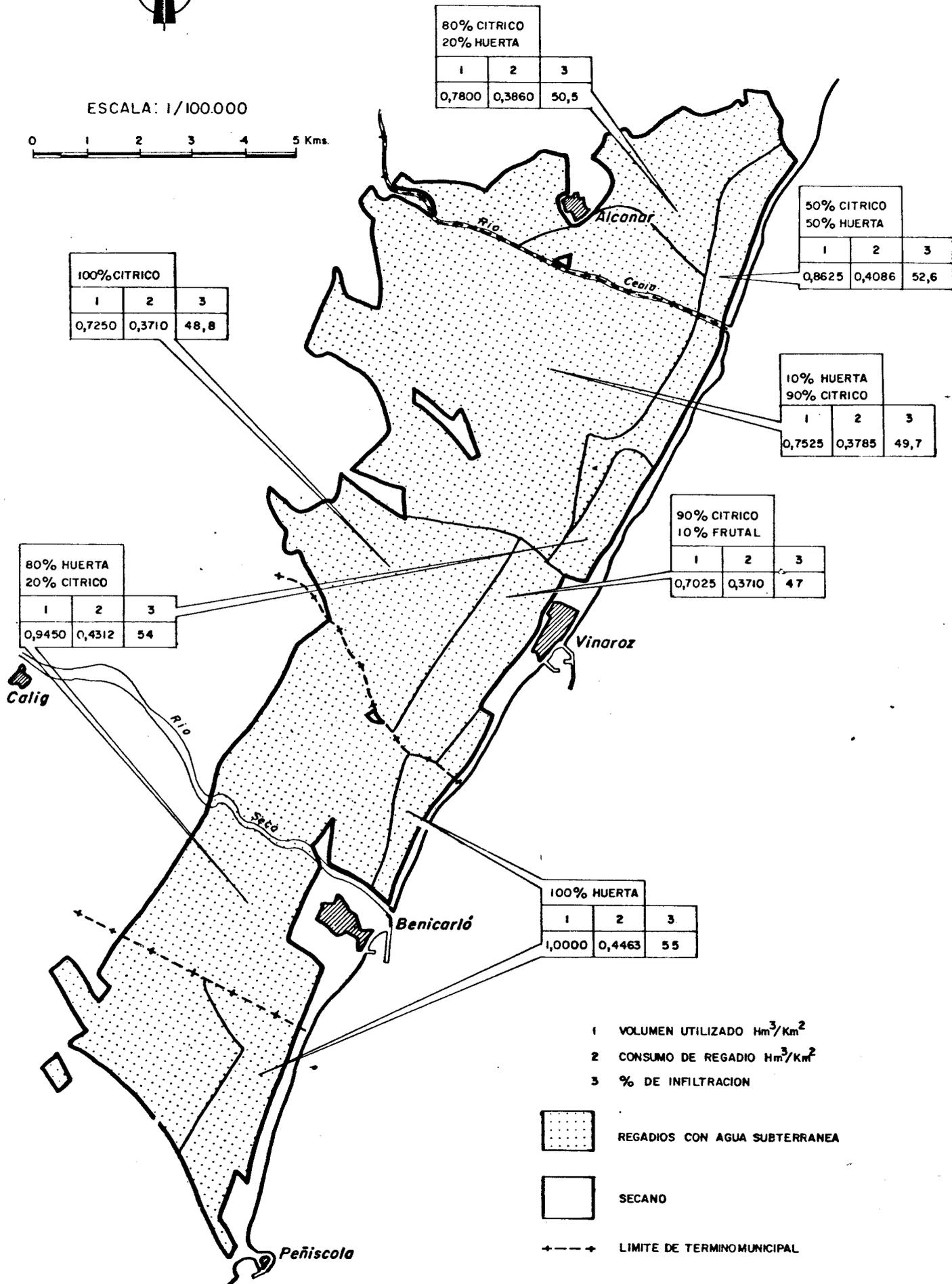
El consumo urbano se ha incrementado como consecuencia fundamental del aumento de la población. Las localidades abastecidas son Vinaroz, Benicarló y Alcanar, que en la actualidad cuentan conjuntamente con una población de derecho de 47.000 habitantes, que en época estival asciende a 91.000 habitantes. En el cuadro adjunto se indican los volúmenes bombeados para cubrir la demanda urbana.

La demanda industrial es muy reducida, y en su casi totalidad se encuentra abastecida por la red urbana.

AÑO Dchre. a Novbre	VOLUMEN CONSUMIDO DE AGUA SUBTERRANEA (hm <sup>3</sup> /año)					
	ACUIFERO DETRITICO			ACUIFERO CALIZO		
	Agricultura	Abastecimiento urbano e industrial	Total	Agri-cultura	Abto. urbano e indus.	Total
1973 - 1974	20	2	22	8,5	2,3	10,8
1974 - 1975	17,5	2	19,5	8,3	2,3	10,6
1975 - 1976	13,6	2,1	15,7	7,1	2,4	9,5
1976 - 1977	12,8	2,2	15	7,3	2,5	9,8
1977 - 1978	23,7	2,2	25,9	15	2,5	17,5
1978 - 1979	23,2	2,3	25,5	16	2,6	18,6
1979 - 1980	24	2,3	26,3	16,5	2,7	19,2
1980 - 1981	25	2,4	27,4	19,8	2,8	22,6



ESCALA: 1/100.000



REGADIOS DE LA PLANA DE VINAROS PEÑISCOLA (1981)

#### 6.4.5. Balance

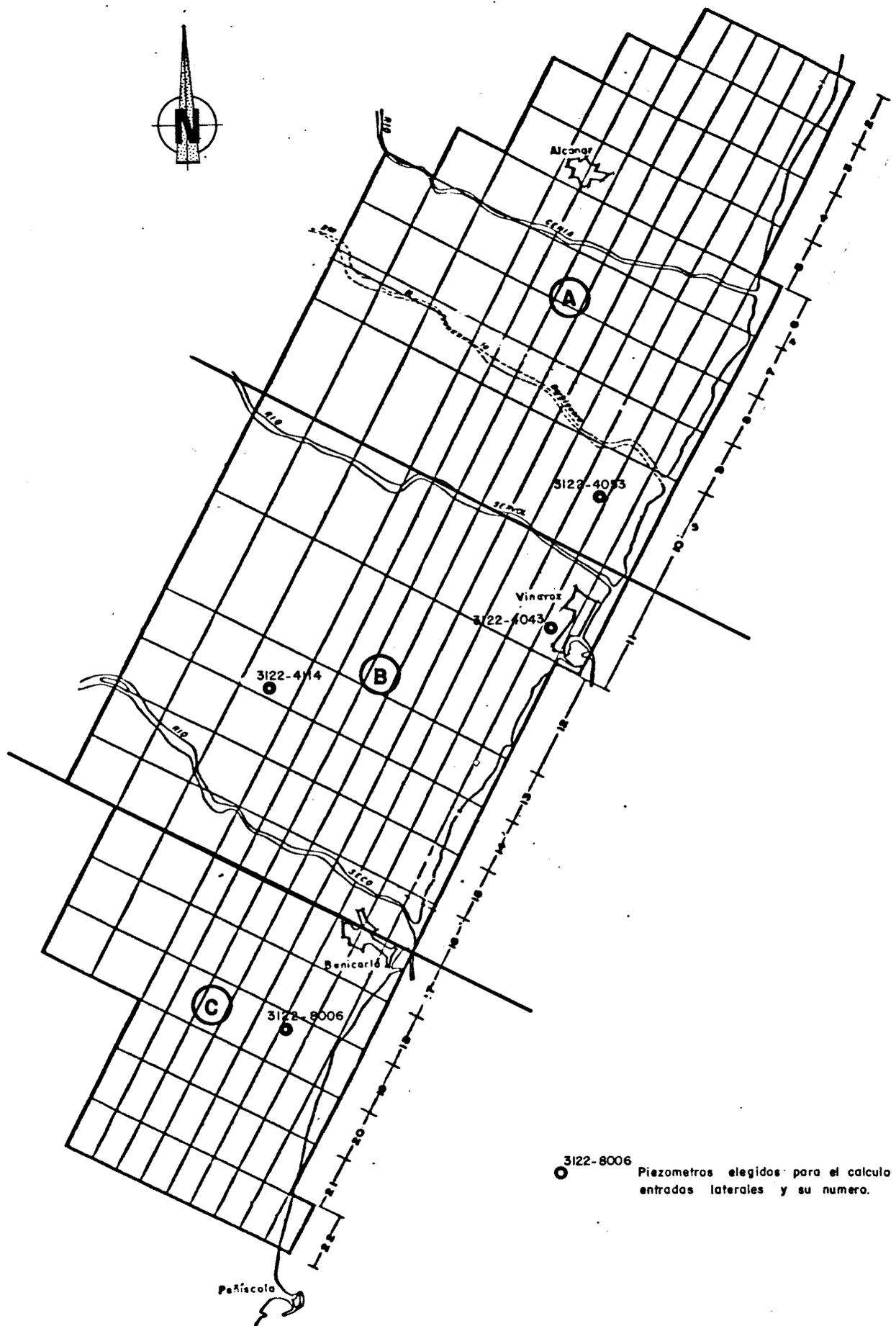
En el proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Media y Baja del Júcar se realizó un modelo matemático de la Plana de Vinaroz-Peñíscola, con el que se elaboró el balance de agua para el período comprendido entre diciembre de 1973 y noviembre de 1974.

En el presente estudio, se ha efectuado el balance de cada uno de los acuíferos para el año medio del ciclo 1973-1981, Para un análisis más detallado del mismo se ha dividido la Plana en tres zonas, de acuerdo con las características hidrogeológicas de sus bordes (veánse figuras 42 y 43).

A continuación se detallan cada uno de los elementos integrantes del balance.

##### 6.4.5.1. Infiltración del Agua de Lluvia

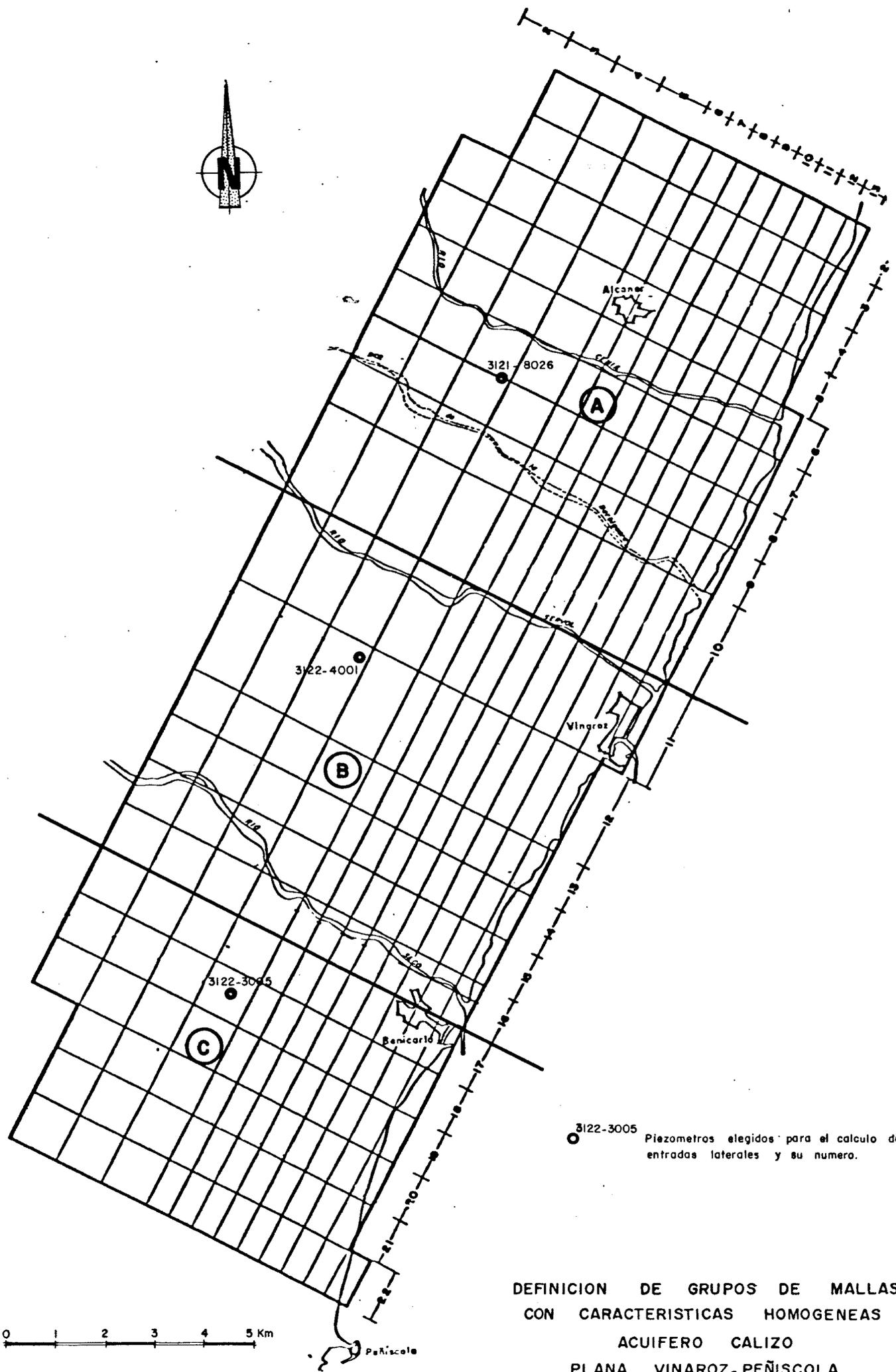
Con los datos de las estaciones termopluviométricas utilizadas durante la realización del modelo, se han calculado las evapotranspiraciones potenciales mensuales de los cítricos, es decir su consumo, mediante el método de Blaney Criddle. Se ha elegido este tipo de cultivo por ser el más representativo del área. Por comparación con la pluviometría en las mismas estaciones se ha obtenido la evapotranspiración real y el excedente de agua en cada mes. La infiltración anual de agua de lluvia en el acuífero miocuaternario será, por tanto, la suma de los excedentes mensuales, ya que se considera que la escorrentía superficial de la Plana es prácticamente nula.



3122-8006  
 ● Piezómetros elegidos para el cálculo de  
 entradas laterales y su número.

DEFINICION DE GRUPOS DE MALLAS  
 CON CARACTERISTICAS HOMOGENEAS  
 ACUIFERO DETRITICO  
 PLANA VINARÓZ-PEÑÍSCOLA

0 1 2 3 4 5 Km




 3122-3005 Piezómetros elegidos para el cálculo de entradas laterales y su número.

DEFINICION DE GRUPOS DE MALLAS  
 CON CARACTERISTICAS HOMOGENEAS  
 ACUIFERO CALIZO  
 PLANA VINAROSZ-PEÑISCOLA

En el acuífero calizo la infiltración de lluvia representa el 38% de la pluviometría, porcentaje calculado durante el período de simulación del modelo matemático. Los afloramientos de estos materiales están desprovistos de cultivos.

Los valores medios obtenidos han sido de 12 hm<sup>3</sup>/año para el acuífero detrítico y 3 hm<sup>3</sup>/año para el calizo.

#### 6.4.5.2. Infiltración de Regadíos

Es la infiltración debida al exceso de agua empleada en los regadíos. La totalidad de los cultivos de la Plana se riega con agua procedente del bombeo en los acuíferos detrítico y calizo dentro de los límites de la misma. La infiltración va a parar exclusivamente al acuífero superior miocuaternario. Únicamente se va a considerar la infiltración del agua bombeada del acuífero calizo, pues en el balance hidráulico se ha considerado como salida del acuífero detrítico el bombeo neto en el mismo.

En el cuadro adjunto se relaciona el número de has. regadas con el acuífero calizo en los años 1972 y 1979, para cada una de las zonas en que se ha dividido la Plana.

	AÑO 1.972	AÑO 1.979	INCREMENTO
ZONA A	780	1.475	695
ZONA B	45	280	235
ZONA C	112	410	298
TOTAL	937	2.165	1.228

Se ha supuesto que el incremento en cada zona se ha distribuido de manera lineal a lo largo del ciclo 1973 - 1981.

La diferencia entre la evapotranspiración potencial anual de los cultivos, calculada por el método de Blaney Criddle y la evapotranspiración real anual de los mismos es el bombeo neto anual, es decir la cantidad estricta de agua que es necesario extraer del acuífero calizo para satisfacer las necesidades de la planta. Este parámetro se calcula fácilmente, pues se conoce en cada año la superficie regada con el acuífero calizo, así como la evapotranspiración y distribución pluviométrica.

De acuerdo con los datos del inventario y por encuesta directa en campo se ha observado que en el año 1979-1980 el bombeo bruto en la zona A es el 195% del bombeo neto; en la zona B, el 197% y en la zona C, el 220%. Admitiendo que estos porcentajes se mantienen en el tiempo, se ha calculado el bombeo bruto del acuífero calizo en cada año. La diferencia entre el bombeo bruto y el neto es la infiltración del regadío en el acuífero miocuaternario.

Para las zonas A y B la infiltración es el 49% del bombeo bruto, mientras que para la zona C es el 55%.

El valor medio obtenido para la totalidad del acuífero detrítico es  $6,3 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

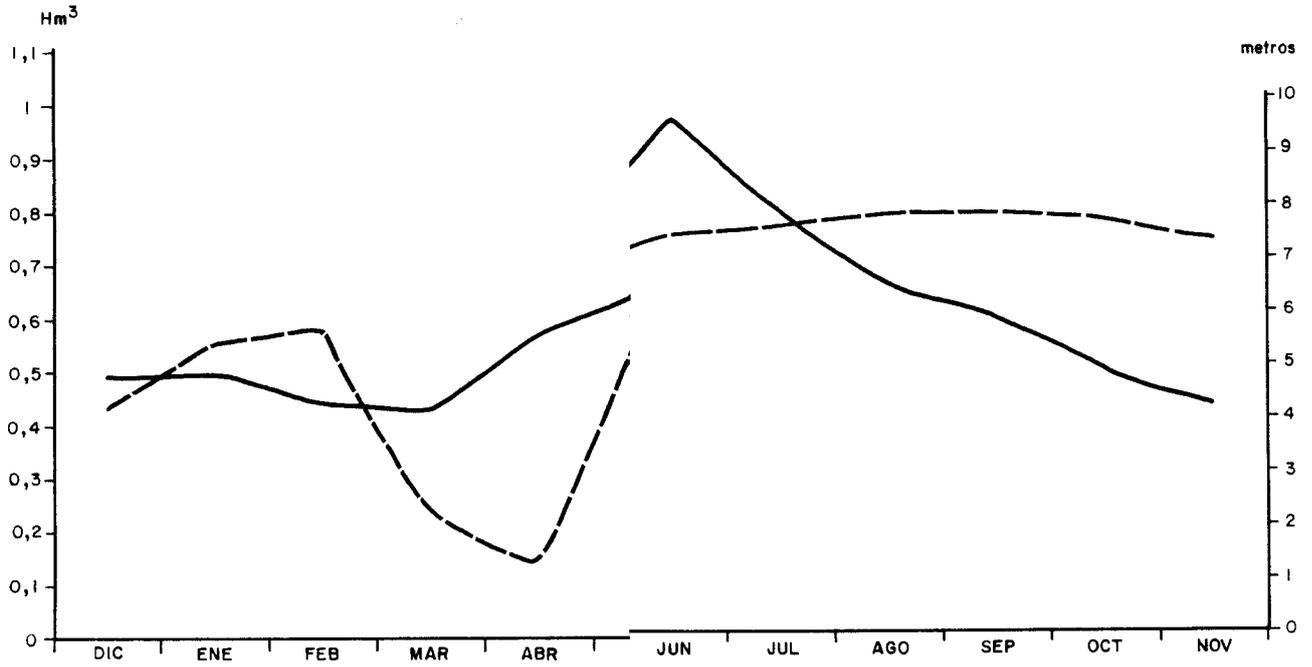
#### 6.4.5.3. Entradas Laterales

Para calcularlas se han utilizado los valores mensuales de entradas laterales para cada zona, suministrados por el modelo matemático durante el período de simulación en el mismo (1973-1974). Estas aportaciones se han correlacionado con las alturas piezométricas mensuales, en el mismo período, medidas en cada piezómetro representativo de la zona correspondiente. En los gráficos de la figura 44 se representa la relación altura piezométrica - entrada lateral en cada punto de observación.

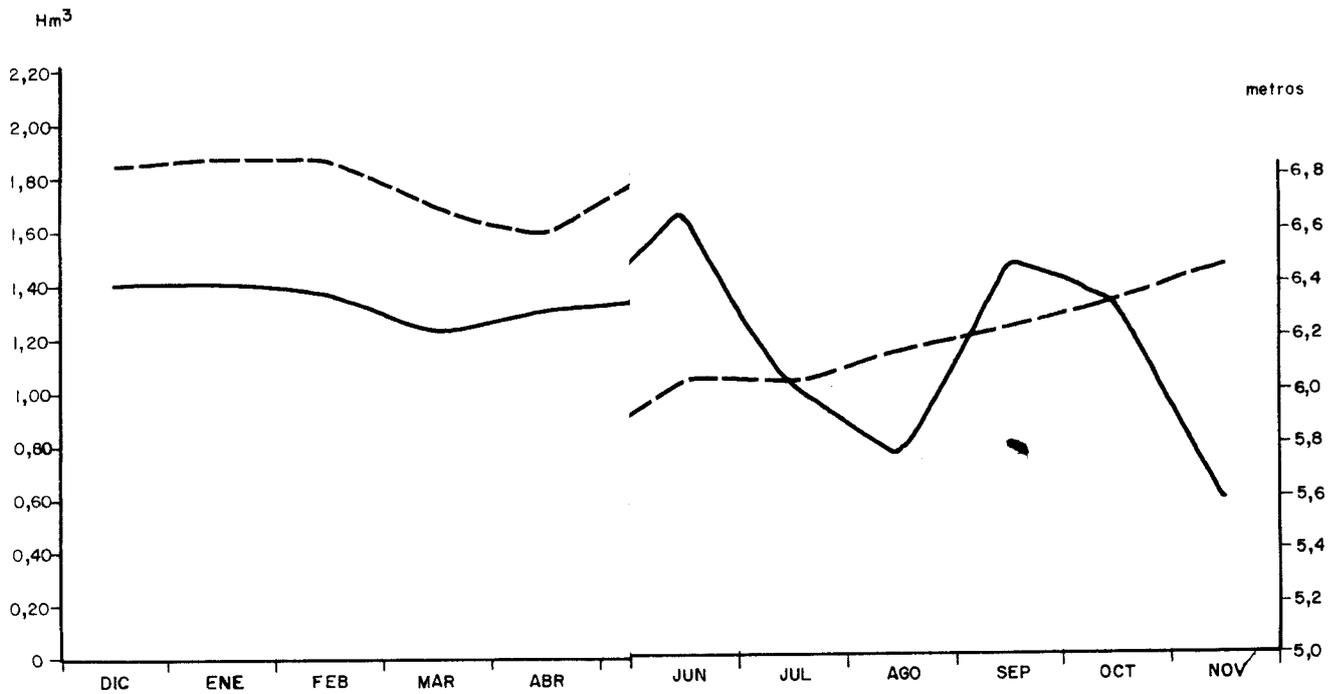
En el acuífero calizo se ha escogido el piezómetro 3121-8026 para la zona A, el 3122-4001 para la zona B y el 3122-3005 para la zona C (figura 43).

Aplicando estas relaciones a las alturas piezométricas observadas en cada piezómetro durante los años sucesivos a 1973-74 se obtiene la entrada lateral anual en las distintas zonas en que se ha dividido el acuífero calizo.

ZONA A - ACUIFERO CALIZO - 3121-1



ZONA C - ACUIFERO CALIZO - 3122



- - - - - ENTRADAS MODELO M.  
 ————— COTA Y ENTRADAS LATERALES.

En el acuífero miocuaternario únicamente se dispone del piezómetro 3122-4114 para la totalidad de la Plana. (figura 42) por lo que se ha tenido que calcular, por el método explicado antes, la entrada lateral anual a través de todo el borde occidental. Las entradas anuales correspondientes a cada zona para el periodo 1973-1981, se han obtenido aplicando a este valor la misma distribución que la suministrada por el modelo matemático.

Las entradas laterales medias obtenidas son: 28,3  $\text{hm}^3/\text{año}$  para el acuífero detrítico y 44,5  $\text{hm}^3/\text{año}$  para el calizo. Como más adelante se comentará el valor calculado para el acuífero detrítico está sobreestimado.

#### 6.4.5.4. Bombeo

En este apartado se integran el bombeo neto del acuífero miocuaternario, el bombeo bruto del mesozoico y las extracciones para abastecimiento urbano procedentes de ambos acuíferos. La demanda industrial es muy reducida y se abastece en su casi totalidad de la red urbana; por consiguiente, no se ha considerado.

El bombeo neto anual del acuífero detrítico miocuaternario es la diferencia entre la evapotranspiración potencial anual de los cultivos, calculada por el método de Blaney Criddle y la evapotranspiración real anual de los mismos. Se ha considerado que la superficie regada con este acuífero ha permanecido constante desde el año 1972 a 1981; su distribución por zonas es la siguiente:

ZONA A:	2.274 Has
ZONA B:	2.220 Has
ZONA C:	1.296 Has
Total Plana	5.790 Has.

El bombeo neto medio anual obtenido es de 20 hm<sup>3</sup>.

El bombeo bruto del acuífero calizo mesozoico se ha calculado por el procedimiento explicado en el epígrafe 6.4.5.2. Infiltración de regadíos. El valor obtenido para el año medio ha sido de 12,5 hm<sup>3</sup>.

La extracción de agua para uso urbano se ha evaluado para el año 1979-1980, de acuerdo con los datos del censo de la población de derecho y de verano para dicho año, y análisis del inventario de puntos acuíferos. De este modo se han podido diferenciar las extracciones procedentes de uno y otro acuífero. Para el cálculo de estos elementos en los restantes años del período 1973-1981 se ha supuesto que el incremento anual de la demanda urbana es del 3%. Para el año medio se ha obtenido el valor de 2,2 hm<sup>3</sup> para el acuífero detrítico y 2,5 hm<sup>3</sup> para el calizo.

#### 6.4.5.5. Salidas al Mar

La metodología seguida para el cálculo de las salidas al mar es análoga a la empleada para la evaluación de las entradas laterales. Es decir, durante el período de simulación del modelo, se han relacionado las alturas piezométricas mensuales en los puntos de observación, elegidos para cada zona del

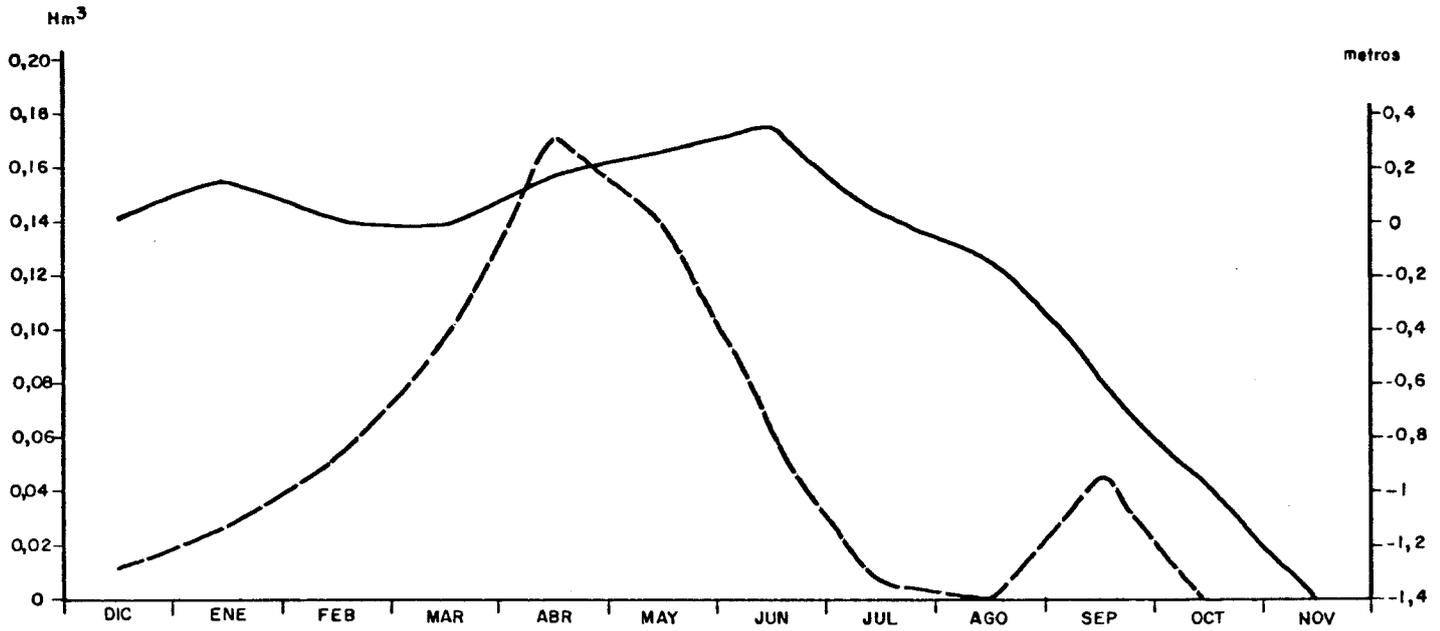
acuifero detrítico, con las salidas mensuales al mar de cada zona, suministradas por el modelo (figura 45). Las correlaciones así obtenidas se han aplicado a las alturas piezométricas observadas en cada piezómetro durante los años sucesivos a 1973-1974, obteniéndose, de este modo, las salidas anuales al mar de las diferentes zonas en que se ha dividido el acuifero miocuaternario. Se han escogido el piezometro 3122-4053 para la zona A, el 3122-4043 para la B y el 3122-8006 para la C (figura 42).

En el acuifero calizo no se ha podido seguir esta metodología, pues no se dispone de piezómetros en las inmediaciones de la costa. Durante el período de simulación del modelo se han relacionado mensualmente las salidas al mar de cada zona con las entradas laterales correspondientes a cada una de ellas.

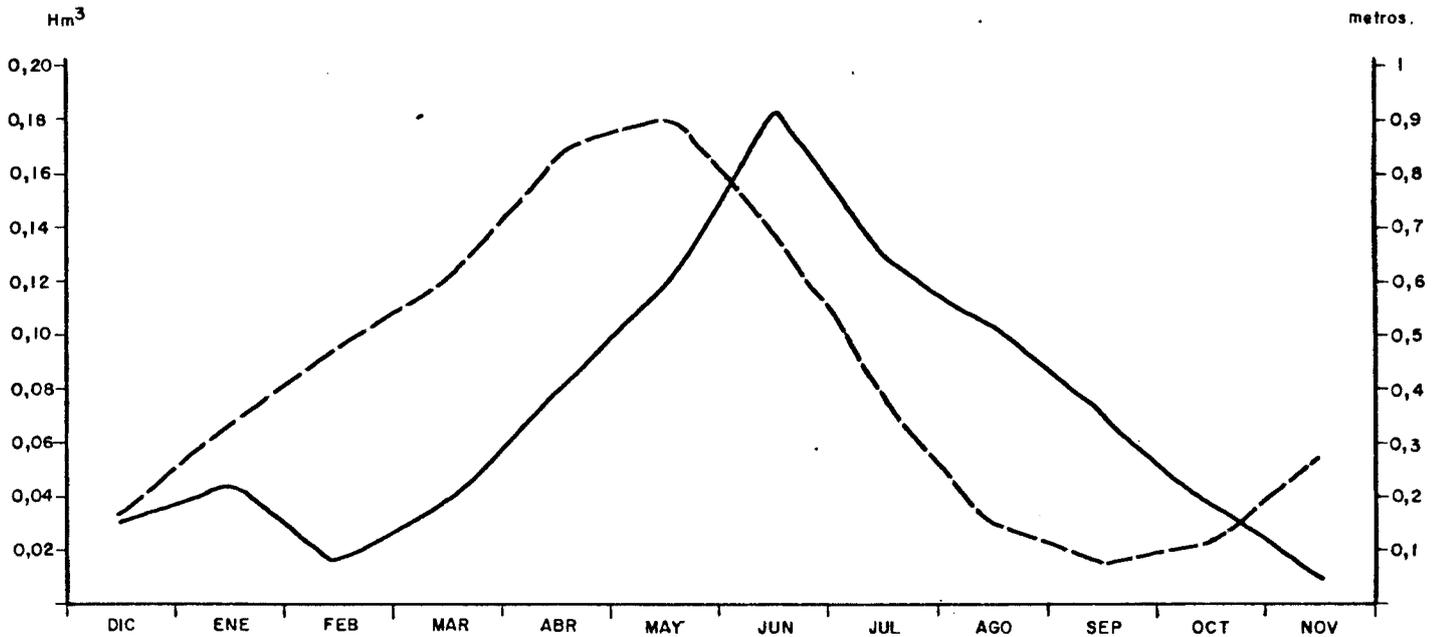
Estos valores de entrada y salida fueron suministrados por el modelo. Las correlaciones así obtenidas se han aplicado a las entradas laterales calculadas en cada zona durante los años sucesivos a 1973-74, obteniéndose, de esta manera, las salidas anuales al mar de las diferentes zonas en que se ha dividido el acuifero calizo.

Las salidas medias anuales son:  $5,8 \text{ hm}^3$  para la totalidad del acuifero miocuaternario y  $34 \text{ hm}^3$  para el conjunto del acuifero mesozoico.

ZONA B - ACUIFERO DETRITICO - 3122-4043



ZONA C - ACUIFERO DETRITICO - 3122-8006



----- SALIDAS AL MAR SEGUN MODELG MATEMATICO (1973-74)  
 ————— COTA PIEZOMETRICA

PLANA DE VINAROS - PEÑISCOLA  
 RELACION ENTRE PIEZOMETRIA Y  
 SALIDAS AL MAR.

#### 6.4.5.6. Variación de Reservas de Almacenamiento

La diferencia entre las entradas y salidas de agua en cada acuífero, en el intervalo 1974-1981, se traduce en una diferencia en el almacenamiento, con la consiguiente bajada o subida de niveles.

Para calcular esta variación de almacenamiento se ha analizado el plano de isodescensos de la superficie piezométrica de cada acuífero, para el periodo 1974-1981 (planos n<sup>os</sup>. 39 y 42 )

En el cuadro adjunto se presentan los valores calculados:

	ACUIFERO DETRICO			ACUIFERO CALIZO		
	Coef. Almacena- miento	Disminución reservas 1974 1981 (hm <sup>3</sup> )	Disminución media anual reservas(hm <sup>3</sup> )	Coef. almacena- miento	Disminución reservas 1974 1981 (hm <sup>3</sup> )	Disminución media anual reservas (hm <sup>3</sup> )
Zona A	8%	9	1,3	0,5%	0,8	0,1
Zona B	8%	9	1,3	0,5%	1	0,1
Zona C	10%	6	0,9	0,5%	0,8	0,1
Total Plana		24	3,5		2,6	0,3

#### 6.4.5.7. Balance

De acuerdo con la metodología explicada en los epígra fes anteriores, se ha calculado el balance de cada zona para cada uno de los años del periodo 1973-1981.

A continuación se presentan el balance medio anual de dicho período de tiempo.

##### 6.4.5.7.1. Acuífero detrítico miocuaternario

$$E_L + I_{LL} + I_R = B_n + B_u + S_M^{\pm} \Delta$$

$E_L$  = Entradas laterales       $B_n$   $\cong$  Bombeos netos.  
 $I_{LL}$  = Infiltración lluvia       $B_u$  = Bombeos abastec. urbano.  
 $I_R$  = Infiltración regadíos  $S_M$  = Salidas al mar  
 realizados con el -  $\Delta$  = Variación reservas.  
 acuífero calizo.

	ENTRADAS (hm <sup>3</sup> /año medio)				SALIDAS (hm <sup>3</sup> /año medio)				
	E <sub>L</sub>	I <sub>LL</sub>	I <sub>R</sub>	TOTAL	B <sub>N</sub>	B <sub>u</sub>	S <sub>M</sub>	-Δ	TOTAL
ZONA A	15,3	4,8	4,1	24,2	8	0,8	3,5	-1,3	11
ZONA B	12,7	4,8	0,7	18,2	7,7	1,4	1,2	-1,3	9
ZONA C	0,3	2,6	1,5	4,4	4,4	0	1,1	-0,9	4,6
Total Plana	28,3	12,2	6,3	46,8	20,1	2,2	5,8	-3,5	24,6

Del análisis de estos resultados se concluye que el balance de la zona C está bien determinado. Sin embargo, en las zonas A y B se obtienen valores de entradas superiores a los de salida, fenómeno incongruente con la realidad, pues las reservas de agua han disminuido a lo largo del periodo estudiado. Si se admite que todos los elementos del balance, a excepción de las entradas laterales, están correctamente determinados, se llega a la conclusión que éstas deben ser inferiores a las calculadas, hecho que, además, estaría de acuerdo con las investigaciones geofísicas en el borde occidental. Esta sobreestimación de las entradas laterales puede ser debida a que durante la simulación del modelo se estimó un bombeo neto mayor que el calculado en el presente informe.

Para el ajuste del balance es necesario considerar que las entradas laterales para las zonas A y B serían, respectivamente,  $2,1 \text{ hm}^3/\text{año medio}$  y  $3,5 \text{ hm}^3/\text{año medio}$ .

En la figura 46 se esquematiza el balance.

#### 6.4.5.7.2. Acuífero calizo mesozoico

$$E_L + I_{LL} = B_b + B_u + S_M + \Delta$$

$E_L$  = Entradas laterales

$I_{LL}$  = Infiltración Lluvia

$B_b$  = Bombeos brutos

$B_u$  = Bombeos abast.urbano

$S_M$  = Salidas al mar.

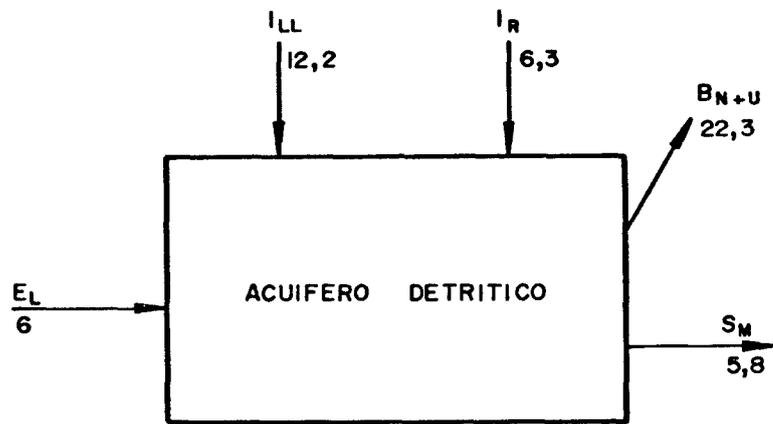
$\Delta$  = Variación reservas.

	ENTRADAS (hm <sup>3</sup> /año medio)			SALIDAS (hm <sup>3</sup> /año medio)				
	E <sub>L</sub>	I <sub>LL</sub>	Total	B <sub>B</sub>	B <sub>u</sub>	S <sub>M</sub>	△	Total
ZONA A	7	2	9	8,3	0	8,3	-0,1	16,5
ZONA B	14	0,3	14,3	1,6	2,5	10	-0,1	14
ZONA C	23,5	0,6	24,1	2,6	0	15,6	-0.1	18,1
Total Plana	44,5	2,9	47,4	12,5	2,5	33,9	-0,3	48,6

El balance obtenido para la zona B está bien determinado. En cambio, en la zona A las salidas son superiores a las entradas, mientras que en la zona C ocurre lo contrario. Al igual que en el acuífero detrítico, estas anomalías serían imputables a los valores de entradas laterales obtenidas durante el periodo de simulación del modelo, que en el caso de la zona A estarían infravaloradas, mientras que en la C estarían valoradas en exceso.

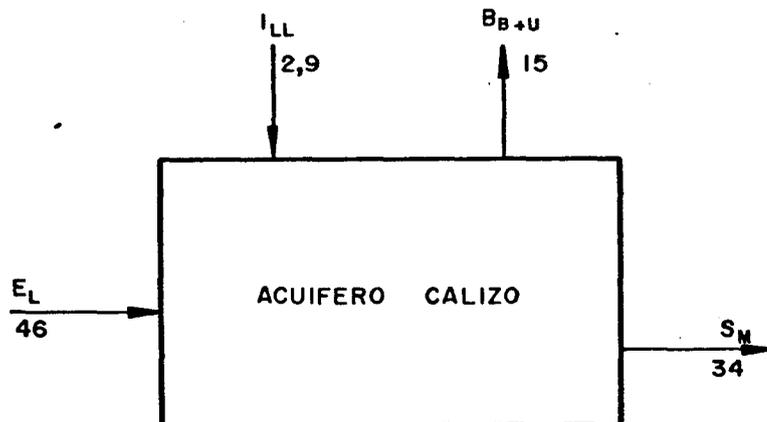
Para el ajuste del balance es necesario considerar que las entradas laterales para las zonas A y C serían, respectivamente,  $14,5 \text{ hm}^3/\text{año medio}$  y  $17,5 \text{ hm}^3/\text{año medio}$ .

En la figura 46 se esquematiza el balance.



$\Delta = -3,5$

Valores en  $Hm^3/año$  medio 1973-81



$\Delta = -0,3$

Valores en  $Hm^3/año$  medio 1973-81

ESQUEMA DEL BALANCE HIDRAULICO MEDIO HIPERANUAL DE LA PLANA DE  
VINAROS - PEÑISCOLA

#### 6.4.6. Analisis de la Problematica Planteada por el Uso Actual del Agua Subterránea

##### 6.4.6.1. Acuífero detrítico Miocuaternario

El incremento de las extracciones de agua subterránea ha provocado la degradación progresiva de su calidad química. El fenómeno de contaminación más importante es, sin lugar a dudas, la intrusión salina, que se localiza fundamentalmente en las áreas de Vinaroz y Benicarló como consecuencia de los bombeos intensivos que tienen lugar en ellas. Comparando los planos de isocloruros de julio de 1978 y julio de 1981 (planos nºs 43 y 44), se aprecia un incremento en el avance de la intrusión salina. La concentración en cloruros es superior a 100 mg/l en gran parte de la Plana, superándose los 300 mg/l en la casi totalidad de la franja litoral comprendida entre el norte de Vinaroz y Peñíscola. En las inmediaciones de Vinaroz y Benicarló el contenido de cloruros excede en algunos puntos los 1.500 mg/l.

Considerando que el techo de la zona de difusión agua-dulce-agua salada viene definido por la concentración de cloruros entre 100 y 150 mg/l, y analizando los datos de isocloruros obtenidos a distintas profundidades (plano 44), se ha calculado la morfología actual del techo de la zona de difusión y la posición del límite de su extensión máxima en el acuífero (plano 45), teniendo en cuenta la geometría del depósito detrítico permeable.

Se observa, de este modo, que las zonas más afectadas por la intrusión salina son las de Vinaroz y Benicarló, que coinciden con las de menor salida de agua al mar, según los datos suministrados por el modelo matemático. Además, la disminución calculada de las reservas en esta zona está relacionada con el descenso de la superficie piezométrica, que implica un menor flujo de agua hacia el mar, con el consiguiente aumento del avance de la intrusión.

#### 6.4.6.2. Acuífero Calizo Mesozoico

Actualmente no se han detectado problemas importantes de intrusión salina en este acuífero, según los puntos de control de que se dispone, aunque se observa una cierta tendencia al aumento en la concentración de cloruros, debido al incremento de las explotaciones de agua subterránea. Las salidas de agua al mar son cuantiosas, según los valores suministrados por el modelo matemático; la disminución de las reservas son, por otra parte, poco importantes, por lo que se deduce que, de momento, este acuífero apenas se halla afectado por el proceso de intrusión.

#### 6.4.7. Calidad química del Agua y su Evolución

Desde el Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Media y Baja del Júcar, realizado en el periodo 1972-1975, se dispone de una serie de análisis químicos que sirven de punto de partida para el estudio de la evolución posterior del quimismo del agua subterránea.

##### 6.4.7.1. Acuífero detrítico Miocuaternario

De acuerdo con los análisis de que se disponía hasta 1975, se trataba, en líneas generales, de aguas de facies bicarbonatadas calcicas que hacia el litoral evolucionaban a otras de facies cloruradas sódicas, pasando por estadios intermedios de facies bicarbonatadas sódicas. El residuo seco aumentaba desde valores inferiores a 500 mg/l en el borde occidental hasta valores próximos a 1.000 mg/l en las proximidades de la costa. Localmente (Vinaroz, sur de Benicarló), los valores superaban los 1.500 mg/l llegando a alcanzar en un punto 4.000 mg/l.

El ion sulfato evolucionaba en este mismo sentido, desde menos de 50 mg/l hasta alcanzar valores superiores a 100 mg/l; localmente se superaban los 300 mg/l.

La concentración de ión nitrato estaba comprendida en general entre 25 y 50 mg/l, aunque en los bordes había valores inferiores a 10 mg/l; los máximos coincidían con zonas de fuerte explotación agrícola.

La distribución de cloruros era similar a la del resíduo seco, y oscilaba entre valores inferiores a 50 mg/l en el borde occidental y próximos a 500 mg/l en las inmediaciones de la costa; localmente se superaban los 1.000 mg/l en las zonas sobreexplotadas (Vinaroz, S. de Benicarló).

Considerando aparte las modificaciones introducidas por el aumento generalizado de la intrusión salina, la evolución habida hasta la fecha se puede concretar en los siguientes puntos (Planos 46 y 47) :

- Aumento del contenido de nitratos en proporción variable según las zonas. Así, se da la circunstancia de que puntos de control que presentaban elevadas concentraciones de nitratos han crecido en una proporción aproximada del 50%, mientras que aquellos que tenían bajo contenido en este componente, han duplicado o triplicado su valor. De cualquier modo el contenido actual en nitratos no suele superar los 60 mg/l, a excepción de algún punto aislado en el que se sobrepasa ampliamente esta cifra, ejemplo de ello es el 3122-8016 con 142 mg/l.

Este aumento de nitratos es debido al uso intensivo de abonos y fertilizantes en los cultivos.

- Progresivo incremento del residuo seco, incluso en zonas no afectadas por la intrusión salina.

- Presencia eventual de nitritos, amoníaco y metales pesados, con concentraciones generalmente muy pequeñas. El DQO se encuentra normalmente por debajo de 2 mg/l, si bien ocasionalmente supera el límite fijado por el CAE.

La presencia de nitritos, amoníaco y materia orgánica es indicativa de contaminación por residuos animales y compuestos orgánicos aplicados a las cosechas.

La incorporación de metales pesados se produce por la infiltración en el acuífero del lixiviado procedente de los vertidos de residuos industriales.

- La mayoría de los abastecimientos controlados superan esporádicamente o asiduamente el límite fijado por el C.A.E., en algunos de sus componentes.

El abastecimiento de Ulldecona supera usualmente el límite de 30 mg/l para los nitratos, mientras que el de Alcanar lo hizo en la campaña de octubre 1980.

El abastecimiento de San Carlos rebasa ampliamente el límite fijado para los cloruros y reiteradamente el de la DQO, mientras que el de Peñíscola sobrepasa esporádicamente la DQO.

#### 6.4.7.2. Acuífero Calizo Mesozoico

Según los datos disponibles hasta 1.975, se trataban en general, de aguas de facies bicarbonatadas cálcicas. El residuo

duo seco era, en general, menor de los 1.000 mg/l, con valores -  
próximos a los 500 mg/l. Las concentraciones en cloruros eran in-  
feriores a 50 mg/l y los nitratos permanecían por debajo de 10  
mg/l; los sulfatos no sobrepasaban los 250 mg/l.

La evolución de la calidad química hasta la actualidad  
es, en líneas generales, similar a la del acuífero detrítico, pero  
con incrementos más moderados en cuanto se refiere a nitratos, re-  
siduo seco y cloruros (planos 46 y 47).

#### 6.4.8. Proposiciones para la Optimización de la Gestión del Agua Subterránea.

La gestión de los recursos subterráneos de la Plana de Vinaroz-Peñiscola debe perseguir esencialmente los siguientes objetivos: a) proporcionar para cada uso el agua de la calidad más adecuada y b) satisfacer las necesidades urbanas, agrícolas e industriales.

##### 6.4.8.1. Usos Agrícolas.

El problema se plantea por la intrusión salina, especialmente en las zonas de Vinaroz y Benicarló, ocasionada por las extracciones intensivas de agua subterránea. El déficit medio anual de los recursos en estas zonas es de 2-2,5 hm<sup>3</sup>, por lo que, en líneas generales, se propone que éste sea el volumen que se deje de extraer en estos sectores y se sustituya por agua procedente de los sondeos que, en el informe de regulación de los recursos de la Sierra de Irta, se proponen al NE de Santa Magdalena de Pulpis en el flanco suroriental de la sierra de Valdancha, o bien en el flanco noroccidental de la Sierra de Irta.

Igualmente se recomienda la recarga artificial, en dichas zonas, de aguas residuales urbanas previamente tratadas, si bien el volumen a emplear y distribución de los pozos de inyección quedarían determinados en estudios posteriores que se recomiendan reali

zar. También podría utilizarse en recarga artificial el agua procedente de los sondeos de la sierra de Irtá, antes mencionados.

#### 6.4.8.2. Usos urbanos e industriales.

A corto y medio plazo el acuífero detrítico de la Plana - tendrá que destinarse, prácticamente en exclusiva, a satisfacer - la demanda agrícola (dado el creciente contenido en nitratos de - sus aguas por prácticas agrícolas) y por consiguiente ser susti- tuidas las actuales fuentes de suministro por otras procedentes - del acuífero calizo mesozoico de la Plana.

Para evitar en lo posible la degradación de la calidad qui mica del agua subterránea se recomienda:

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

. Orientar al agricultor sobre el tipo de abono a utilizar - y su dosificación, para minimizar el aporte de elementos químicos a las aguas subterráneas.

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

. Exigir a la industria la depuración de sus efluentes antes de su eliminación.

. Establecer perímetros de protección a los acuíferos utilizados para fines urbanos, con objeto de que no se deteriore la calidad de sus aguas por prácticas contaminantes o captaciones de dudosas características técnico-sanitarias.

. Ampliar la red de control de la calidad química en el acuífero calizo.

. Mantener al día el inventario de los puntos acuíferos - y el de los volúmenes extraídos y establecer un programa racional de explotación.

6.5. PLANA DE VALENCIA

### 6.5.1. Introducción.

El acuífero de la Plana de Valencia se ubica en la zona costera de dicha provincia, entre las localidades de Puzol y Cullera. Se trata de una extensa área de 1.200 Km<sup>2</sup>, en su mayoría con cotas inferiores a 100 m.s.n.m. que se extiende entre la costa mediterránea y las estribaciones mesozoicas circundantes - representadas por las Sierras de Náquera-Serra, Anticlinal de la Rodana, Sierra Perenchiza, Montes de Besorí, Macizo del Caroch y Sierra de las Agujas.

La temperatura media anual es de 18 ° C, con valores extremos de 10° C y 26° C, en los meses de Agosto y Enero respectivamente. La precipitación media anual es de 535 mm /año, con un máximo acusado en el mes de Octubre y otro menor en primavera y un mínimo en el mes de Julio.

Desde el punto de vista geomorfológico se puede distinguir cuatro áreas bien diferenciadas: una zona de dunas constituida por dos cordones litorales paralelos a la costa separados por un cordón interduna; una llanura costera sensiblemente horizontal en el centro de la cual se instala el lago de agua dulce de la Albufera; una serie de llanuras de inundación yustapuestas con pseudo-horizontales ligadas a los ríos Júcar, Turia, Magro y Barranco de Carraixech; depósitos de glacia y pie de monte y por último, una zona de afloramientos miocenos que ocupan las cotas topograficas más elevadas de la Plana de Valencia.

### 6.5.2. Definición Geométrica del Embalse Subterráneo

La Plana de Valencia se ubica en una amplia y compleja depresión de origen tectónico con evidentes retoques erosivos, rellena mediante discordancia angular y erosiva por materiales cuya edad abarcan desde el Mioceno hasta el Cuaternario reciente. Inicialmente gran parte del área estudiada quedó ocupada por una gran depresión invadida por el mar, depositándose materiales arenosos, hacia el muro conglomeráticos, en los que se intercalan margas y arcillas.

Posteriormente y como consecuencia de la regresión - tortonense se crea un área lagunar en la que se depositan calizas recristalizadas con episodios arcillosos que más tarde, el acentuarse las condiciones continentales, es ocupada por depósitos fluvio-torrenciales, cuya fracción detrítica gruesa es el soporte del acuífero superficial existente, constituido por gravas y arenas, en capas alternantes con niveles de arcillas y limos.

Otros materiales con posible interés acuífero son los calizos pontienses y eventualmente los niveles arenosos intercalados en las margas del Mioceno inferior y medio. No obstante, a esta formación cabe asignarle, a nivel regional, el papel de impermeable.

### 6.5.2.1. Reinterpretación de las Campañas de Prospección

#### Geofísica

Con objeto de investigar las características morfológicas y estructurales del sustrato mesozoico, así como de los materiales de la "formación plana", se realizaron en su día dos campañas de prospección geofísica. La primera se llevó a cabo en el año 1972 y constó de 107 sondeos eléctricos; la segunda, realizada durante los años 1973 y 1974, fué programada de acuerdo con los resultados de la primera y constó de 97 sondeos eléctricos y 9 sondeos mecánicos, totalizándose pues 204 sondeos eléctricos, repartidos en 20 perfiles geoeléctricos.

Los resultados obtenidos y su correlación con la geología local y la escala estratigráfica ha puesto de manifiesto la siguiente secuencia geoeléctrica: \*

- gravas, arenas y arcillas (Cuaternario y Miocuatnario)	100-200 ohms.m.
- Calizas (Pontiense )	100-200 ohms.m.
- Margas y margas areniscosas. (Helvetiense)	20-50 ohms.m.
- Arenas y areniscas (Burdigaliense)	80-150 ohms.m.
- Margas y yesos (Oligoceno)	5-30 ohms.m.
- Calizas y dolomias (Cretácico superior).	150-300 ohms.m.
- Calizas margosas y margas.(Cretácico medio)	20-50 ohms.m.

- Calizas (Aptiense)	150-200 ohms.m.
- Dolomias y calizas (Dogger superior).	150-300 ohms.m.
- Calizas y margas (Dogger inferior)	20-30 ohms. m.
- Calizas y dolomias (Supra Keuper)	200 ohms.m.
- Margas y yesos (Keuper)	5 ohms.m.

Como se puede observar, existe una gran dispersividad de los valores de la resistividad, sobre todo en cuanto se refiere a los materiales cuaternarios y mio-cuaternarios. Por otra parte, existe un notable solape entre la gama de resistividades que presenta cada formación, lo que introduce un elevado grado de incertidumbre a la hora de identificar las diferentes secuencias geoelectricas. Otro factor que dificulta la interpretación es la presencia de aguas semisalinas, como ocurre con frecuencia en la zona de la costa, en donde materiales calizos poseen resistividades de 30 a 100 ohms.m.

Desde el punto de vista hidrogeológico la secuencia antes mencionada se puede sintetizar como sigue:

-Tramo superior complejo constituido por una alternancia de niveles resistivos y conductores, asimilables a materiales de edad comprendida entre Burdigaliense y Cuaternario. Su litología corresponde a gravas, arenas, areniscas y calizas con margas y arcillas intercaladas, que dan lugar al complejo acuífero multicapa de la Plana de Valencia.

La distribución de espesores se puede observar en el plano 48.

- Nivel conductor que constituye el sustrato impermeable del acuífero miocuaternario antes mencionado. Su litología corresponde a margas yesíferas, atribuibles según los casos al Oligoceno o al Keuper.

- Sustrato resistivo, que corresponde a materiales calcáreos de los diferentes pisos mesozoicos subyacentes al relleno detrítico de la Plana.

En el plano nº 49 se han representado las líneas isohipsas del muro del acuífero miocuaternario. Su trazado pone de manifiesto la existencia de dos zonas bien diferenciadas:

- Zona septentrional, situada al norte de la transversal de Silla, en la cual se dan profundidades superiores a 280 m., coincidente con áreas adyacentes al Barranco de Carraxent, río Turia y Barranco de Torrente, probablemente relacionadas con paleocauces ligados a antiguas redes de drenaje. En general los espesores aumentan en sentido Oeste-Este y los materiales acuíferos son atribuibles fundamentalmente al Mioceno, sobre todo en el límite noroccidental. El sustrato impermeable está compuesto por margas del Oligoceno, y el resistente profundo parece corresponder a calizas y dolomias del Dogger o Suprakeuper y eventualmente al Muschelkalk.

- Zona meridional, al sur de la transversal de Almuñes, caracterizada por el hundimiento hacia el este del sustrato impermeable, que asciende bruscamente hasta entroncar con una potente formación adyacente al mar entre la Albufera

y Cullera, compuesta por margas y calizas miocenas saturadas de aguas semisalinas, las cuales hacen las veces de barrera impermeable. Consiguientemente, el acuífero en esta zona no limita con el mar. El espesor saturado está comprendido entre 0 y 150m., alcanzándose en zonas localizadas valores superiores a 200 m., concretamente al SE de Alginet y SE de Sueca, asociados a paleo cauces de los ríos Júcar y Magro (plano nº 50). El espesor saturado medio es del orden de 100 m. El sustrato impermeable está compuesto por un nivel conductor, atribuible a margas del Keuper; ocasionalmente no están representadas, permitiendo en dicho caso la conexión hidráulica entre los acuíferos miocuaternario y mesozoico.

A la altura de la Albufera se encuentra una franja de 8 km de anchura, en la que el sustrato impermeable yace directamente sobre materiales del Keuper, adquiriendo gran desarrollo en profundidad, no existiendo, por tanto, el resistente profundo. Estos materiales se comportan a modo de umbral, situado a una cota de 100-150 m.b.n.m. que si bien no afectan al acuífero miocuaternario, presumiblemente desconectan el acuífero mesozoico a ambos lados del mismo.

Para el conjunto del acuífero miocuaternario la dis  
tribución areal de espesor saturado es la siguiente:

Intervalo espesores en m.	Superficie Km <sup>2</sup>	Superficie en %
0 - 50	350	29
50 - 100	330	28
100 - 150	270	23
150 - 200	100	80
200 - 250	145	12

#### 6.5.2.2. Revisión de las Condiciones de borde

La posibilidad de aportes laterales al acuífero miocuaternario depende de la litología de los materiales con los que entra en contacto y posición topográfica del sustrato impermeable, que al situarse a cota superior a la del nivel piezometrico puede impedir la conexión hidráulica con el acuífero meso--zoico del interior.

En el límite septentrinal los materiales miocuaternarios de la Plana entran en contacto con materiales triásicos y jurásicos del macizo de Olocau-Gátova, de los cuales recibe -alimentación, excepción hecha de aquellas zonas en las que los materiales representados corresponden a margas del Keuper o argilitas del Buntsandstein? Esto último sucede en las mallas exteriores 5-1, 6-1, 7-1, 11-1 y 12-1, en las cuales el límite es a flujo nulo (fig. 47). Igualmente se considera que el flujo es nulo a través de las mallas 13-1, 14-1, 15-1, y 16-1, al situarse paralelamente a la línea de corriente. En el resto de las mallas el límite es a potencial variable con gran área de alimentación.

El límite noroccidental puede ser igualmente considerado a potencial variable con gran área de alimentación, excepción hecha del área ocupada por las mallas externas (2-6), (3-6) (4-6) y (3-7), en donde la presencia cercana de materiales del Keuper, aflorantes o subaflorantes, restringe notablemente la alimentación, siendo por tanto el límite en este sector a potencial variable con área restringida de alimentación.

La zona limitrofe entre Sierra Perenchiza y Río Magro participa de estas características, pudiendo ser considerada toda ella como de alimentación restringida, en la que las posibles entradas provienen de la infiltración de agua de lluvia caída entre los afloramientos del Keuper y el límite convencional considerado.

Desde el río Magro hasta Alberique la alimentación lateral está igualmente restringida, en este caso por la presencia de un umbral de materiales del Keuper, detectado mediante geofísica, que se alinea paralelo al límite y a escasa distancia del mismo, dificultando la alimentación por la notable reducción de espesor saturado que introduce, dando lugar a que gran parte del agua tenga que ser drenada a través del manantial de Masalavés.

El límite sur se caracteriza por la presencia de extensos afloramientos de margas del Keuper en contacto con los materiales detríticos de la Plana. En el sector ocupado por las mallas externas (14-23), (15-24) a (22-22) el límite es, por consiguiente, a flujo nulo.

Entre Alcira y Rafelguarat los materiales detríticos de la Plana entran en contacto con los materiales cretácicos de la vertiente occidental de la Sierra de las Agujas, sin que haya impedimento alguno para la alimentación lateral. Este límite es a potencial variable y presumiblemente a través de él se produce buena parte de la descarga al sector meridional de la Plana.

En contraposición, el límite oriental está ocupado por materiales del Cretácico basal, de baja permeabilidad, que afloran a favor del flanco este del sinclinal de la Sierra de las Agujas, razón por la cual se ha considerado que el límite de las mallas externas (24-20), (25-20) y (26-20) es a potencial variable con alimentación restringida.

Por último, en el límite oriental de la Plana se mantienen las condiciones de borde que se contemplan en el modelo matemático. Es decir, potencial impuesto en la zona septentrional en la que el acuífero puede descargar libremente al mar, y límite a flujo nulo desde la Albufera hasta Cullera, a causa de las circunstancias que concurren en esta zona ya comentadas en el epígrafe 6.5.2.1.

# ANALISIS DE LAS MALLAS DE BORDE EN LA PLANA DE VALENCIA

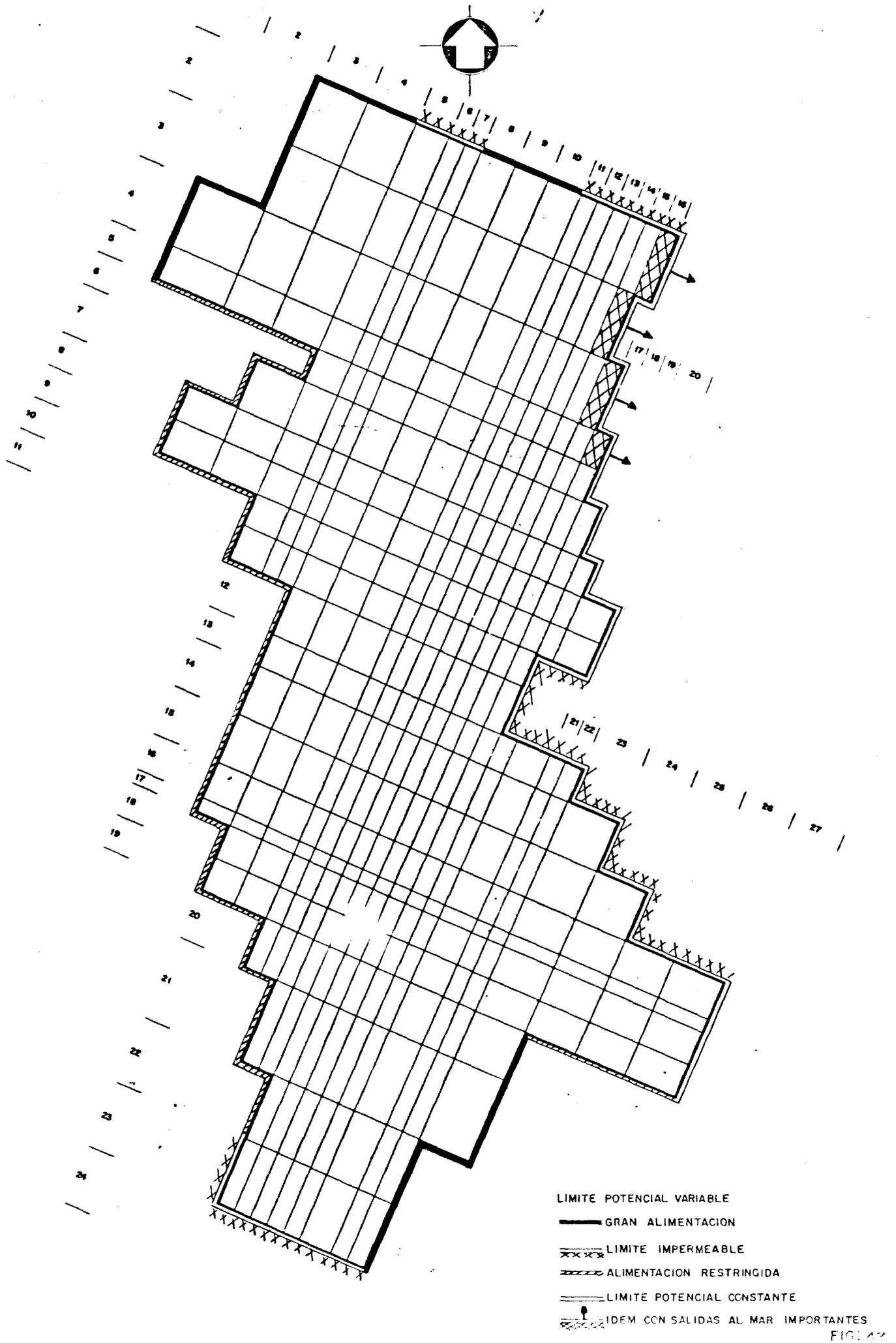


FIG. 47

### 6.5.3. Funcionamiento Hidraulico

#### 6.5.3.1. Características Hidraulicas y Piezometricas

La gran heterogeneidad del relleno detrítico ,con existencia de lentejones de grava y arena dentro de un conjunto arcilloso o viceversa, implica una gran variabilidad en la distribución espacial de las características hidráulicas del acuífero.

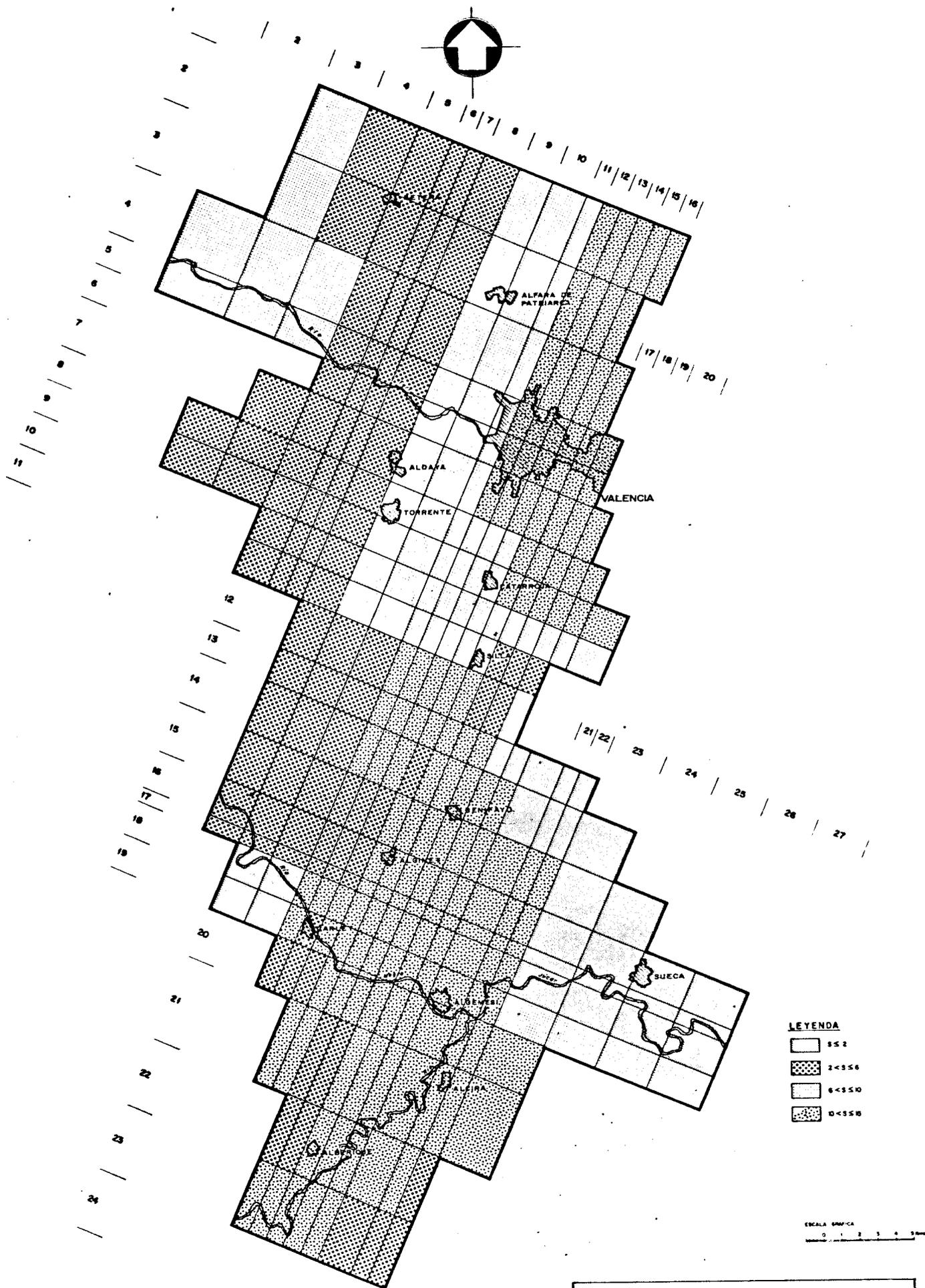
Los valores de transmisividad están comprendidos entre 500 y 8.000 m<sup>2</sup>/día para la mayor parte del acuífero(figura 48). Los valores inferiores a 500 m<sup>2</sup>/día se localizan entre Alfafara - del Patriarca y Bétera, y en un sector adyacente al triángulo formado por los pueblos de Silla, Torrente y Picasent, debido a que en estas zonas el relleno cuaternario es muy escaso, siendo los materiales fundamentalmente arcillas y arenas de edad Mioceno.

Los valores mayores de transmisividad corresponden a las zonas del borde oriental del modelo (entre 3.000 y 8.000 m<sup>2</sup>/día) y a las adyacentes a los ríos Albaida, Magro y Júcar (superiores a 8.000 m<sup>2</sup>/día), coincidiendo sensiblemente con los sectores de mayor espesor saturado.

El coeficiente de almacenamiento varía entre 1 y 15% (figura 49), correspondiendo los valores más bajos con las zonas de mayores heterogeneidad y contenido de materiales finos (sector de Silla, Torrente-Alfara del Patriarca y borde suroriental del acuífero en las inmediaciones de Sueca), y los valores más altos con las zonas de mayores homogeneidad y proporción de materiales



# MODELO MATEMATICO DEL ACUIFERO DE LA PLANA DE VALENCIA



VALORES FINALES DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

detríticos gruesos (borde nororiental de la Plana y sector de Benifayó-Carlet-Alberique-Alcira).

La cota de la superficie piezométrica desciende, en general, desde valores de 40-70 m en el borde occidental, hasta 0 metros en la costa (plano 51); el sentido general de circulación del flujo subterráneo es de oeste a este.

En el Plano 52 se han representado las distintas zonas en que, desde el punto de vista del comportamiento piezométrico, se ha dividido la Plana de Valencia.

En la zona de Bétera la piezometría está comprendida entre 70 y 20 m.s.n.m., y el gradiente piezométrico medio es del orden del 5 por mil. La oscilación interanual es de unos 6 metros y el descenso acumulado de la capa para el periodo 1974-81 oscila entre un máximo de 20 m., en el sector occidental y un mínimo de 5 m en el oriental ( planos 53 y 54).

En la zona de regadíos del río Turia (margen izquierda) el gradiente medio es del orden del 2 por mil, la oscilación interanual es poco acusada y el descenso acumulado (1974-1981) está comprendido entre 5 m. en el límite occidental, y 0 m en el oriental.

En la zona de Rodana-Perenchiza la piezometría es de 50-40 m.s.n.m., excepto en las proximidades del punto 2828-4052, en el que la cota en julio de 1981 estaba próxima a 20 m.s.n.m,

el gradiente medio es del 2 por mil, la oscilación interanual es acusada y el descenso acumulado entre 1974 y 1981 está comprendido entre 25 y 5 m., coincidiendo los valores más altos con los sectores más influenciados por bombeos.

En la zona de Torrente la cota de la superficie piezométrica desciende en sentido oeste-este, desde 40 m.s.n.m a 5 m.s.n.m.; el gradiente piezométrico medio es del 5 por mil, la oscilación interanual es de 3-4 metros y el descenso acumulado para el período considerado está comprendido entre 5 m (área occidental) y 1 metro (área oriental).

En la zona de Picasent la superficie piezométrica se situa entre 40 m.s.n.m., en el borde occidental y 20 m.s.n.m., en el oriental; el gradiente medio es del 8 por mil; las fluctuaciones interanuales son de 7-10 m en el oeste y 2 m en el este; el descenso acumulado entre 1974 y 1981 oscila entre 1 y 5 m.

En la zona de descarga la piezometría esta comprendida entre 10 m.s.n.m., y 0 metros, siendo el área occidental la de piezometría más elevada, y la oriental la de menor cota de la capa; el valor medio del gradiente es del 1 por mil; las oscilaciones interanuales varían entre 0 y 4 metros, máximas en los sectores de mayor piezometría; el descenso acumulado para el período considerado está comprendido entre 1,5 y 0 metros, produciendose los valores más altos en el borde occidental y próximos a la línea Algemés-Almusafes.

La zona de Carlet se caracteriza por un comportamiento piezométrico heterogéneo, debido a las diferentes entradas laterales de unas áreas a otras y naturaleza variable del sustrato del acuífero. La cota de la capa se sitúa entre 70 y 14 m.s.n.m.; los valores máximos se localizan en las proximidades de los afloramientos calizos del borde oeste; el gradiente medio es del 5 por mil. La oscilación interanual es próxima a los 4 metros. El descenso acumulado entre los años 1974 y 1981 varía entre 0 y 2 metros.

En la zona de Masalavés-Alberique-Antella se observa, igualmente, una marcada heterogeneidad en el comportamiento piezométrico. La piezometría está comprendida entre 30 y 15 m.s.n.m., localizándose las máximas cotas en el borde occidental, y las mínimas en el oriental; el gradiente es del 1 por mil; las fluctuaciones interanuales son de 3-6 metros en el borde oriental del Macizo del Caroch, mientras que en el área de Alberique-Masalavés son muy pequeñas por tratarse de un área de descarga. El descenso acumulado varía entre 2 m y valores próximos a 0 metros.

En la zona de Puebla Larga-Carcagente la piezometría -desciende desde 30 m.s.n.m., al sur, y 15 m.s.n.m., al norte; el gradiente es de 1 por mil. Las fluctuaciones interanuales están -comprendidas entre 4 y 6 metros; los descensos acumulados regis- -trados para el período de referencia varían entre 1 y 5 metros, -produciéndose el máximo valor en el borde meridional.

En la zona de Alcira la piezometría está comprendida entre 15 m.s.n.m., en el borde occidental, y 5 m.s.n.m. La oscilación interanual es del orden de los 3-4 metros, y el descenso acumulado, de 1-2 metros, es máximo en el borde sur.

En general, y para la totalidad de la Plana de Valencia, la superficie piezométrica presenta las máximas cotas en los meses de febrero-mayo, y las mínimas en septiembre-noviembre, coincidiendo la posición más elevada con la época de menor explotación y mayor pluviosidad, mientras que la situación más deprimida se produce en los meses de condiciones contrarias a las expuestas. El descenso acumulado de la superficie piezométrica para el periodo 1974-1981 es consecuencia de la sequía, que provoca la disminución de la alimentación del acuífero y el incremento de las extracciones de agua subterránea en el mismo.

#### 6.5.3.2. Análisis del Proceso de Alimentación y Descarga

Las entradas al acuífero provienen de:

- Alimentación lateral por los acuíferos calizos de los bordes sur, oeste y norte.
- Infiltración de los excedentes de regadíos tanto superficiales como subterráneos.
- Infiltración directa del agua de lluvia.

Las salidas tienen lugar por:

- Descarga hacia los ríos Júcar y Turia.
- Descarga por las emergencias del borde oriental.
- Explotación del acuífero por bombeo a través de pozos y sondeos, para usos agrícolas, urbanos e industriales.
- Descarga subterránea al mar.

A lo largo de todo el recorrido del río Júcar por la Plana, la superficie piezométrica del acuífero tiene una cota absoluta más elevada que el nivel de la superficie del agua en el río, produciéndose por tanto alimentación de la Plana hacia el Júcar.

El río Turia muestra una situación semejante a la anterior, si bien en las proximidades de Manises los piezómetros indican que los niveles entre ambas superficies son muy próximos, existiendo épocas en las que el río alimenta al acuífero en este sector. En el resto del cauce normalmente el río drena al acuífero.

Las entradas laterales se producen fundamentalmente en el límite septentrional y noroccidental y en el límite suroccidental. En el primer caso la alimentación procede de los materiales triásicos y jurásicos del macizo de Olocau-Gatova y del sistema acuífero del Medio Turia; en el segundo caso la alimentación proviene de los materiales carbonatados cretácicos de la Sierra de las Agujas.

En el límite occidental de la Plana, las entradas laterales son mucho más restringidas y proceden de los materiales detríticos miocenos (entre el río Turia y Sierra Perenchiza) y carbonatados mesozoicos del Macizo del Caroch (entre Sierra Perenchiza y Alberique).

Las salidas al mar se producen exclusivamente entre la Albufera y el límite septentrional de la Plana de Valencia.

#### 6.5.4. Use actual del Agua subterránea

El agua subterránea del acuífero miocuaternario se utiliza para satisfacer la demanda industrial y urbana, así como para completamente la demanda agrícola de extensas áreas regables, que en la actualidad totalizan unas 26.000 ha. (Plano 55).

La evolución de la extensión de las superficies regadas - con agua de diferentes procedencias se puede resumir así:

##### Año 1972

Regadío con aguas superficiales	62.423 ha.
Regadío con aguas subterráneas	
a) Acuífero miocuaternario	27.203 "
b) Acuífero mesozóico de borde	7.000 "
TOTAL.....	96.626 ha

##### Año 1980

Regadío con aguas superficiales	61.623 ha
Regadío con aguas subterráneas	
a) Acuífero miocuaternario	26.273 "
b) Acuíferos mesozóicos de borde	8.000 "
TOTAL.....	95.896 "

Se observa que la superficie total de regadío ha permanecido prácticamente estacionaria desde el año 1972 a la actuali

dad, compensándose la disminución del área regada con agua procedente del acuífero miocuaternalio con el incremento de los regadíos dotados con aguas de los acuíferos mesozóicos de borde.

La puesta en funcionamiento del Canal Júcar-Turía permitirá que 11.700 ha regadas con aguas subterráneas, en su mayor parte procedentes del acuífero miocuaternalio, sean abastecidas con aguas superficiales.

Las demandas urbana e industrial satisfechas con aguas subterráneas son actualmente de  $86 \text{ hm}^3/\text{año}$ , de los cuales  $8 \text{ hm}^3/\text{año}$  proceden de los acuíferos mesozóicos de borde y el resto del acuífero miocuaternalio de la Plana.

En el cuadro adjunto se indican los volúmenes netos bombeados para cubrir las diferentes demandas :

AÑO (abril-marzo)	Volumen consumido de agua subterránea (hm <sup>3</sup> /año)		
	Agricultura	Abastecimientos urbanos e industr.	TOTAL
1973-1974	75,8	70	145,8
1974-1975	86,8	72,1	158,9
1975-1976	90,5	74,3	164,8
1976-1977	66,5	76,5	143
1977-1978	64,8	78,8	143,6
1978-1979	120,2	81,1	201,3
1979-1980	94,9	83,6	178,5
1980-1981	109,2	86,1	195,3

#### 6.5.5. Balance

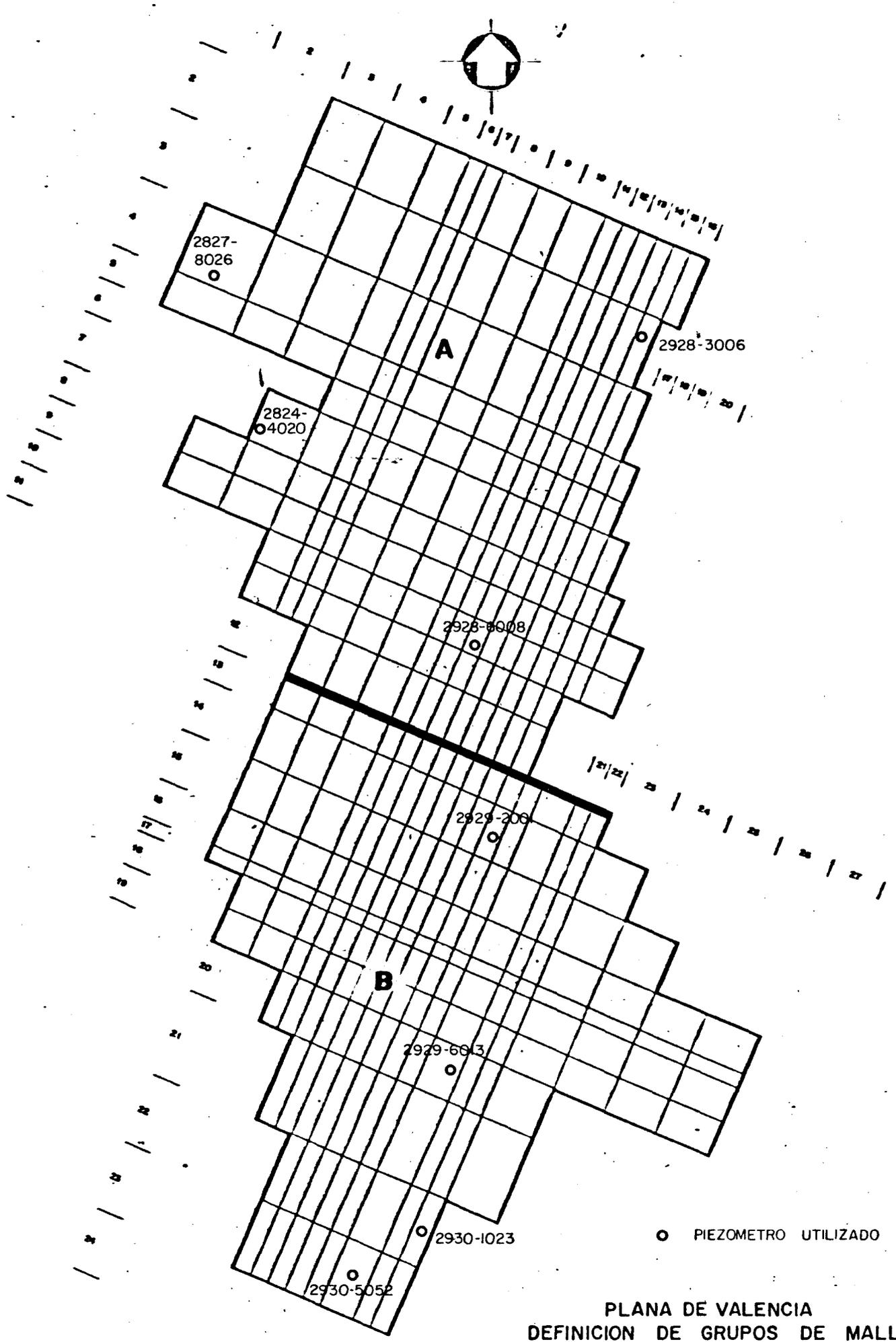
En el proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Media y Baja del río Júcar se realizó un modelo matemático de la Plana de Valencia, en el que se elaboró el balance hidráulico para el período comprendido entre abril de 1973 y marzo de 1974.

En el presente estudio se ha efectuado el balance para el año medio del ciclo 1973-1981. Para un análisis más detallado del mismo se ha dividido la Plana en dos zonas de acuerdo con las características hidrogeológicas de sus bordes (vease figura 5.0).

A continuación se detallan cada uno de los elementos integrantes del balance:

##### 6.5.5.1. Infiltración del agua de lluvia.

Con los datos de las estaciones termopluviométricas de Manises, Bétera, Picasent y Algemés se han calculado las evapotranspiraciones potenciales de los cultivos, es decir su consumo, mediante el método de Blaney y Criddle. Por comparación con la pluviometría se ha obtenido la evapotranspiración real y el excedente de agua para cada mes. La infiltración anual de agua de lluvia en el acuífero miocuaternario será, por tanto, la suma de los excedentes mensuales, ya que se considera que la escorrentía superficial en la Plana es prácticamente nula.



○ PIEZOMETRO UTILIZADO

PLANA DE VALENCIA  
 DEFINICION DE GRUPOS DE MALLAS  
 CON CARACTERISTICAS HOMOGENEAS

Los valores medios obtenidos han sido los siguientes:

Zona A: 92,6 hm<sup>3</sup>/año.

Zona B: 73,6 hm<sup>3</sup>/año.

#### 6.5.5.2. Infiltración de los excedentes de Regadíos

Los cultivos de la Plana se riegan con aguas superficiales procedentes de los ríos Júcar y Turia, así como de manantiales ligados a los acuíferos mesozoicos de borde, entre los que destaca el manantial de Masalavés, y con aguas subterráneas extraídas del acuífero miocuaternalio y del mesozoico infrayacente. Las captaciones en este último se ubican fundamentalmente en los bordes interiores de la Plana.

En el cuadro adjunto se relaciona el número de hectáreas regadas con agua de las diferentes procedencias para cada una de las zonas en que se ha dividido la Plana, en los años 1972 y 1980:

	AÑO 1972			AÑO 1980		
	Agua Superficial	Acuífero Miocuaternario	Acuífero Mesozoico	Agua Superficial	Acuífero Miocuaternario	Acuífero Mesozóico
ZONA A	17.366	18.730	2.800	17.144	18.348	3.200
ZONA B	45.057	8.473	4.200	44.479	7.925	4.800
TOTAL	62.423	27.203	7.000	61.623	26.273	8.000

Se ha supuesto que el incremento en cada zona se ha distribuido de manera lineal a lo largo del período considerado.

La diferencia entre la evapotranspiración potencial anual de los cultivos, calculada por el método de Blaney + Criddle, y la evapotranspiración real anual de los mismos es el déficit anual, es decir la cantidad estricta de agua que es necesaria suministrar para satisfacer las necesidades de la planta. Este parámetro se calcula fácilmente, pues se conoce en cada año la superficie regada, así como la evapotranspiración y distribución pluviométrica.

De acuerdo con los datos de inventario y por encuesta directa en campo se ha observado que en el año 1979-1980 la dotación de riego en la zona A es el 185% del déficit y en la zona B, el 175%. Admitiendo que estos porcentajes se han mantenido constantes en el tiempo, se ha calculado la dotación en cada año. La diferencia entre la dotación y el déficit es la infiltración del regadío en el acuífero miocuaternario.

Para la zona A, la infiltración es el 46% de la dotación, mientras que para la zona B es el 43%

Las infiltraciones medias obtenidas han sido las siguientes:

Zona A : 110 hm<sup>3</sup>/año

Zona B : 144 hm<sup>3</sup>/año.

#### 6.5.5.3. Entradas Laterales

Para calcularlas se han utilizado los valores mensuales de las aportaciones laterales suministradas para cada zona - por el modelo matemático durante el período 1973-1974.

Para ello se han correlacionado estos valores con la evolución piezométrica durante dicho período de tiempo en un punto acuífero representativo de cada zona (figura 51) y aplicado la ley obtenida a la evolución piezométrica posterior.

Los puntos piezométricos utilizados han sido los números 2828-4020 para la zona A y 2930-1023 para la zona B (figura 50 ). Las aportaciones laterales medias obtenidas han sido:

Zona A: 97,6 hm<sup>3</sup>/año

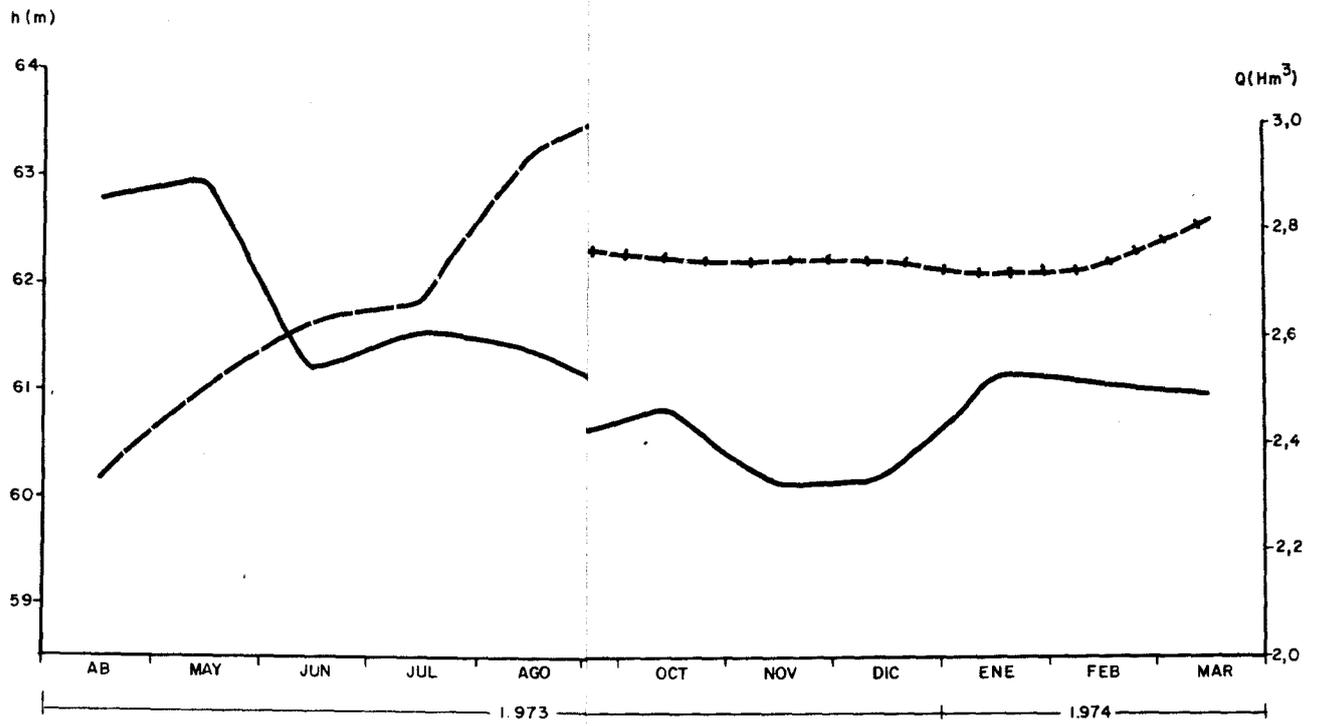
Zona B: 255,5 hm<sup>3</sup>/año

#### 6.5.5.4. Bombeos brutos

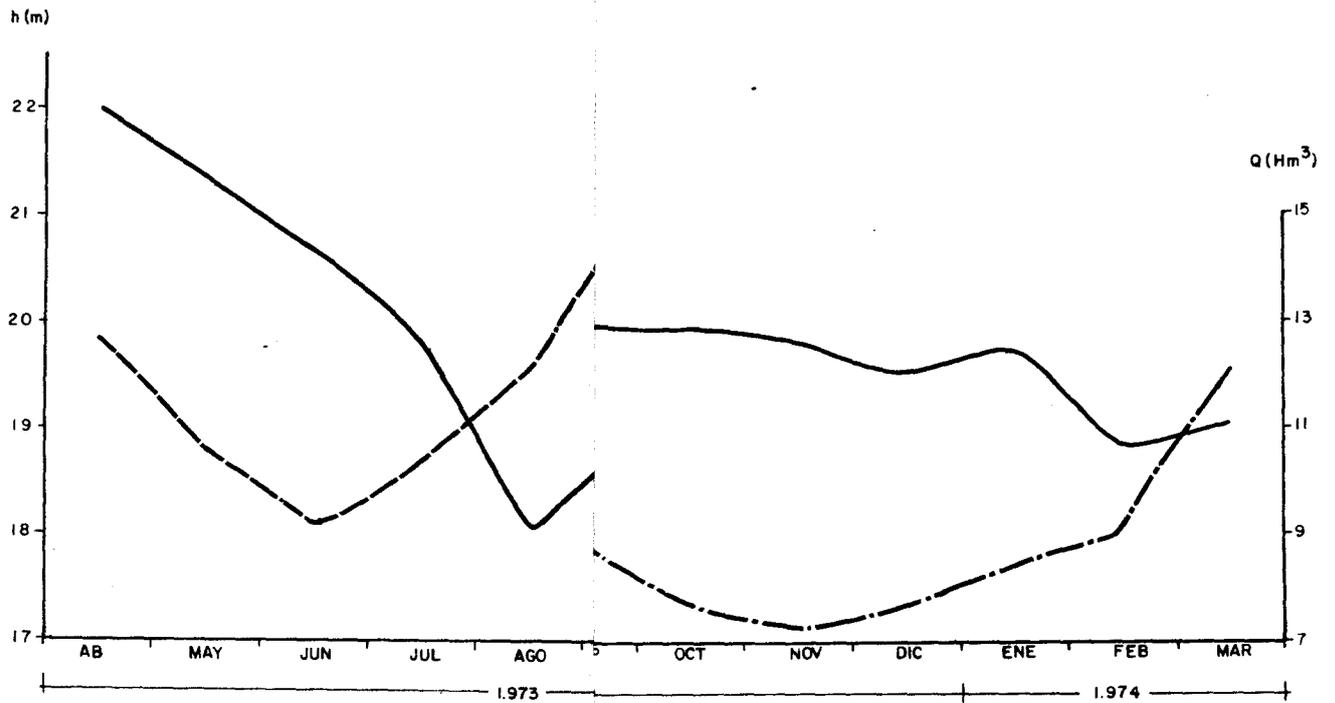
Únicamente se consideran como tales las extracciones del acuífero miocuaternario destinadas a satisfacer las demandas urbanas, industriales y agrícolas.

El bombeo bruto para usos agrícolas (dotación de riego) se ha calculado de la manera explicada en el epígrafe 6.5.5.2. y los valores medios obtenidos son:

ZONA "A" 4020



ZONA "B" 1023



PLANA DE VALENCIA

FIG. 51

Zona A : 113,5 hm<sup>3</sup>/año

Zona B : 48 hm<sup>3</sup>/año.

El bombeo para usos urbanos e industriales se ha determinado aplicando un crecimiento anual del 3% al valor existente en el año 1972-73.

Los valores medios obtenidos son:

Zona A : 60 hm<sup>3</sup>/año

Zona B : 17,8 hm<sup>3</sup>/año.

#### 6.5.5.5. Salidas subterráneas al Mar

Para su evaluación se ha seguido una metodología similar a la utilizada en la determinación de las entradas laterales.

Los piezómetros empleados para la correlación han sido los números 2928-3006 para la zona A y 2929-2001 para la B (figuras 50 y 51 ).

Los valores medios obtenidos han sido los siguientes:

Zona A : 32,1 hm<sup>3</sup>/año

Zona B : 1,8 hm<sup>3</sup>/año

#### 6.5.5.6. Salidas por Emergencias

El caudal de las emergencias ha sido obtenido mediante correlación de los datos mensuales suministrados por el modelo matemático, durante el año 1973-74, con la evolución piezométrica mensual en dicho año en los piezómetros números 2928-6008 (zona A) y 2929-2001 (zona B), según la metodología antes mencionada ( figuras 50 y 51).

Los valores medios obtenidos son:

Zona A : 34,7 hm<sup>3</sup>/año

Zona B : 103,3 hm<sup>3</sup>/año.

#### 6.5.5.7. Descarga a los ríos

Para su determinación se ha seguido la metodología ya apuntada en los epígrafes anteriores, utilizando los piezómetros 2929-6013 y 2930-5052, para el río Júcar, y 2827-8026 - para el Turia. (figuras 50 y 52). La descarga del acuífero al río Turia se efectúa en la zona A, mientras que la del Júcar - en la zona B.

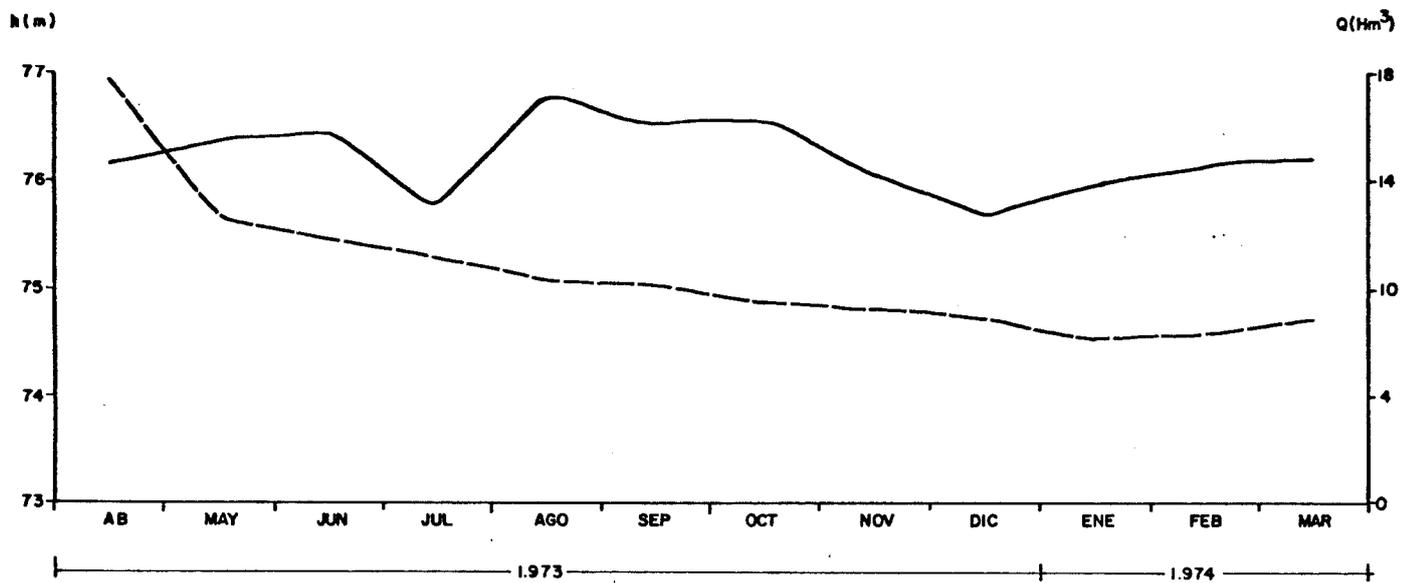
Los caudales medios drenados son:

Zona A (río Turia) : 108,2 hm<sup>3</sup>/año

Zona B (río Júcar) : 253,8 hm<sup>3</sup>/año.

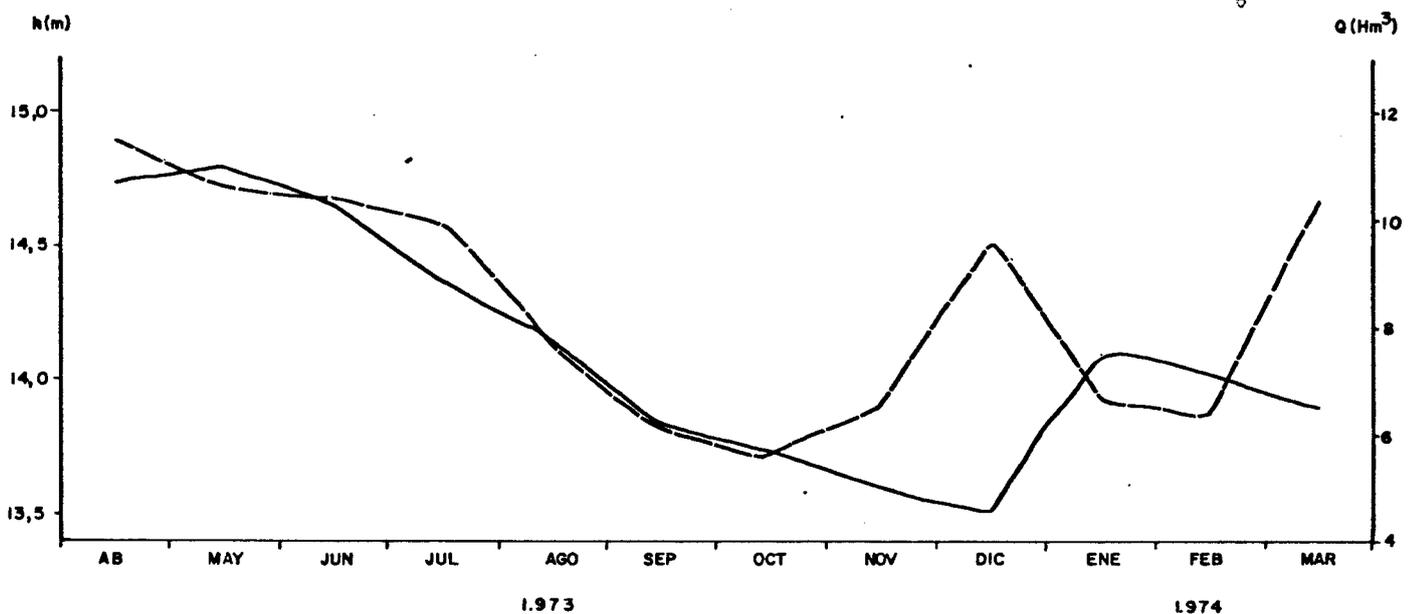
CAUDALES DE SALIDAS AL RIO TURIA

PIEZOMETRO 8026



CAUDALES DE SALIDAS AL RIO JUCAR PARA LA ZONA ESTE

PIEZOMETRO 6013



----- Caudal (Q)  
 ————— Altura (h)

RELACION RIO-ACUIFERO

#### 6.5.5.8. Variación de Reservas de Almacenamiento

La diferencia entre las entradas y salidas de agua en el intervalo 1974-1981, se traduce en una diferencia en el almacenamiento, con la consiguiente bajada o subida de niveles.

Para calcular esta variación de las reservas se ha analizado el plano de isodescensos de la superficie piezométrica para el período 1974-1981.

Los valores anuales medios calculados han sido los siguientes:

Zona A: - 20 hm<sup>3</sup>/año

Zona B: - 10 km<sup>3</sup>/año.

#### 6.5.5.9. Balance

De acuerdo con la metodología explicada anteriormente se ha calculado el balance de cada zona para cada uno de los años del período 1973-1981.

A continuación se presenta el balance medio anual de dicho período de tiempo (figura 53).

$$E_L + I_{LL} + I_{RE} = B_b + S_E + S_M + S_R + B \pm \Delta$$

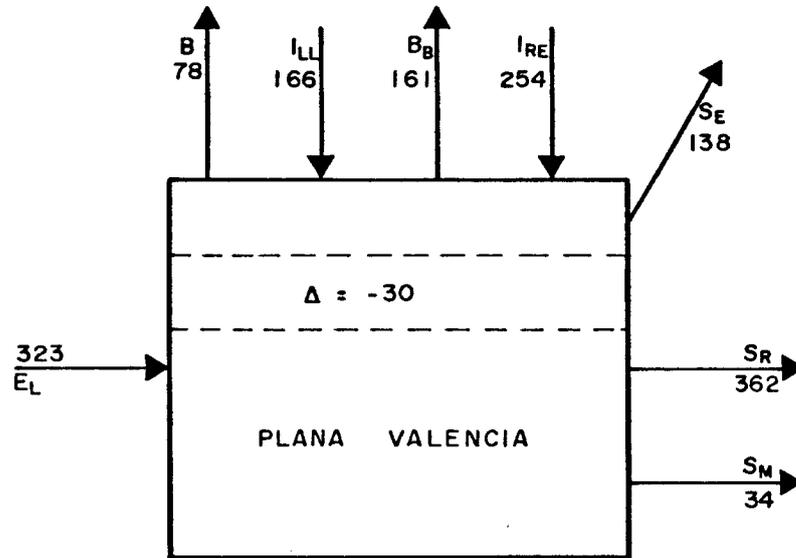
- $E_L$  = Entradas laterales
- $I_{LL}$  = Infiltración lluvia
- $I_{RE}$  = Infiltración excedentes regadíos con aguas superficiales  
y subterráneas.
- $B_B$  = Bombeos brutos para usos agrícolas.
- $S_E$  = Salidas por emergencias.;
- $S_M$  = Salidas subterráneas al mar.
- $S_R$  = Descarga a los ríos.
- $B$  = Bombeos para usos urbanos e industriales.
- $\Delta$  = Variación de reservas.

	ENTRADAS (hm <sup>3</sup> /año medio)				SALIDAS (hm <sup>3</sup> /año medio)						Variación anual me- dia de re- servas.
	E <sub>L</sub>	I <sub>LL</sub>	I <sub>Re</sub>	TOTAL	B <sub>B</sub>	S <sub>E</sub>	S <sub>M</sub>	S <sub>R</sub>	B	TOTAL	
Zona A	97,6	92,6	110	300,2	113,5	34,7	32,1	108,2	60	348,5	- 20
Zona B	256	73,6	144	473,6	48	103,3	1,8	254	17,8	424,9	- 10
Total Plana	353,6	166,2	254	773,8	161,5	138	33,9	362,2	77,8	773,4	- 30

Del análisis de estos resultados, se concluye que en el balance de la zona A los valores de entradas están infravalorados en  $28 \text{ hm}^3/\text{año}$ , debido, probablemente, a la evolución de la infiltración de regadíos, al no disponerse de inventario actualizado de las zonas abastecidas por el canal Júcar-Turía.

El balance de la zona B muestra un desequilibrio de  $-59 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Este hecho se atribuye a una sobreestimación de las entradas laterales a través de los límites meridional y suroccidental.

ESQUEMA DEL BALANCE HIDRAULICO MEDIO HIPERANUAL DE LA  
PLANA DE VALENCIA



Valores en Hm<sup>3</sup>/año medio  
(1973 - 1981)

FIG: 53

#### 6.5.6. Análisis de la problemática planteada por el uso actual del agua subterránea.

A nivel de sistema acuífero la Plana de Valencia no plantea problema alguno a causa de las explotaciones de agua subterránea que en ellas se realizan, ya que se puede afirmar que se encuentra subexplotada.

De los 740 hm<sup>3</sup>/año que constituyen sus recursos subterráneos, prácticamente se pierden superficialmente al mar unos 500 - hm<sup>3</sup>/año, que están integrados por la descarga a los ríos Júcar y Turia y por el caudal total de innumerables fuentes y zanjas de drenajes situadas en los alrededores de la Albufera y en el borde Este del acuífero, fundamentalmente desde Sollana hasta Sueca.

Los descensos acumulados para el período 1972-1981 están causados fundamentalmente por una disminución general de la alimentación del acuífero, motivada por el efecto de la sequía. Dentro de esta variación general de almacenamiento, solamente cabría hablar de cierta sobreexplotación coyuntural en las áreas del sector Noroccidental de : Rodana-Perenchiza, Bétera y Picasent. En ellas la fuerte demanda existente, fundamentalmente agrícola, supera a los recursos actuales y esto se traduce en una variación de almacenamiento muy superior al resto de la Plana.

En cuanto al peligro de degradación del agua subterránea producido por efecto de intrusión marina, cabe indicar que éste es muy remoto, puesto que existen abundantes recursos excedentarios que se vierten al mar en cantidad suficiente para estabilizar la interficies, aún en las zonas existentes fundamentalmente en el sector A, de mayor accesibilidad a este fenómeno.

### 6.5.7. Calidad Química del Agua y su Evolución

Desde el Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Media y Baja del río Júcar, realizado en el período 1972-1975, se dispone de una serie de análisis químicos que sirven de punto de partida para el estudio de la evolución posterior del quimismo del agua subterránea.

En líneas generales se trataba de aguas de facies bicarbonatadas cálcica, con residuo seco comprendido entre 400 mg/l en el sector occidental y 2.500 mg/l en el oriental; los valores más frecuentes oscilaban entre 600 mg/l y 1000 mg/l.

El contenido en cloruros presentaba un rango de variación relativamente pequeño, con valores extremos de 100 mg/l y 350 mg/l. La concentración vá en aumento según el sentido de escorrentía subterránea. Valores superiores a 250 mg/l eran poco frecuentes y correspondían a pequeñas zonas en los alrededores de Alginet, Albal, Chirivella, Museros y aguas abajo de Sedaví, hacía la Albufera.

El contenido en ión sulfato evolucionaba desde valores inferiores a 100 mg/l en el borde occidental (zonas de recarga) hasta concentraciones superiores a 400 mg/l en los sectores orientales.

La concentración de nitratos variaba entre 15 mg/l y 150 mg/l, siendo los valores más frecuentes entre 30 mg/l y 60 mg/l; los máximos coincidían con zonas de mayor actividad agrícola. En el sector oriental, entre Valencia y Sueca, se observa una disminución en el contenido de nitratos, atribuible a la existencia de descarga por emergencia de aguas provenientes de niveles profundos del acuífero, de baja concentración.

La evolución química habida hasta la fecha se puede concretar en los siguientes puntos (planos 56 y 57).

- Aumento considerable del contenido en nitratos, en proporción variable según las zonas: en la septentrional la concentración supera en casi todos los puntos los 60 mg/l, rebasándose los 120 mg/l en un amplio sector situado al sur de Puzol que se inscribe en un polígono cuyos vértices son Rafelbuñol, Moncada, Rocafort, Almacera, Albuixech y Puebla de Farnals. En la zona central la concentración es superior a 30 mg/l, alcanzándose localmente valores próximos a 250 mg/l (Alacuas). En la zona meridional la evolución es similar a la anterior, con valores mínimos del orden de 40-60 mg/l y máximos próximos a 200 mg/l. Para la totalidad de la Plana se observa un importante incremento hasta enero de 1980, y posterior estabilización de las concentraciones alcanzadas.

Satisfacción de la demanda con el agua de calidad adecuada

En la Plana de Valencia se ha observado por el IGME, -- desde la implantación de su Red General de Vigilancia de la Calidad Química del Agua Subterránea, un progresivo empeoramiento en la calidad hasta el año 1979-1980, y un posterior estancamiento de este efecto hasta el 1981. A pesar de esto último, las cotas alcanzadas en la incorporación de elementos indeseables han producido una importante degradación, que se manifiesta fundamentalmente en los niveles acuíferos más superficiales, mediante altas -- concentraciones de nitratos y sulfatos y la aparición generalizada en pequeñas concentraciones de elementos pesados y sustancias contaminantes, que aunque no suelen superar las concentraciones fijadas como admisibles por la O.M.S., pueden constituir en un futuro un serio problema, si estas aguas se siguen utilizando para abastecimientos urbanos e industriales alimentarios.

Por ello y considerando que estos últimos usos requieren aguas de alta calidad, sería conveniente realizar las nuevas captaciones en los niveles productivos más profundos, protegidos actualmente de la degradación.

Para salvaguardia de dichos niveles frente a la acción de las actividades contaminantes realizadas en superficie se recomienda :

- Realización de captaciones de características técnicas adecuadas para que a través o mediante ellas no se produzcan nuevos fenómenos de degradación.

- Asesorar a los municipios para que el vertido de residuos sólidos y líquidos se realice mediante vertederos controlados, u otros procedimientos técnicos adecuados.
- Exigir a las industrias la depuración adecuada de -- sus efluentes o la adecuada eliminación sin problemas de contaminación.
- Establecer perímetros de protección de las captaciones destinadas al uso humano, de forma que se proteja la calidad de sus aguas de prácticas contaminantes.
- Implantar por 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.

#### Satisfacción de las demandas futuras

El sistema acuífero de la Plana de Valencia posee unos aportaciones subterráneas excedentarias de unos  $500 \text{ hm}^3/\text{año}$ , -- parte de ellas bastarían para satisfacer la demanda futura a me dio y largo plazo.

La cuantía de dichas demandas no es conocida actualmente puesto que no existe información completa publicada al respecto. Para su determinación habría que hacer un trabajo detallado de evaluación de demandas.

La regulación de las aportaciones subterráneas capaces de cubrir dichas demandas, necesariamente debería ser precedida de estudios detallados : de la relación de los ríos Júcar y Turia con los acuíferos; posibilidades de regulación y aprovechamiento integral de las emergencias del borde Este; y utilización conjunta de los embalses superficiales y subterráneos de las -- cuencas de los ríos Júcar y Turia.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La realización del Proyecto de Investigación de los -- Acuíferos Costeros del Litoral Levantino, ha permitido profundizar en su conocimiento integral y sentar las bases para la optimización de su gestión.

Las conclusiones generales más importantes se indican a continuación :

- A escala global, y por efecto de la actual sequía, - los acuíferos detríticos, excepto los de la Plana de Valencia - que son claramente excedentarios, están casi al límite de su explotación.

- Como consecuencia de esta situación de "recursos mínimos" en la que se verifican además extracciones incorrectas, - se han agudizado los problemas de intrusión salina existentes.

- Otra causa, que contribuye especialmente a la degradación del agua subterránea, es la incorporación de elementos - extraños procedentes de las actividades contaminantes realizadas en la superficie de los acuíferos. La incidencia de estas actividades es especialmente grave a causa de su gran vulnerabilidad.

- La solución a los problemas planteados, debe basarse fundamentalmente en los objetivos siguientes : proporcionar para cada uso el agua de la calidad más adecuada y satisfacer las necesidades urbanas, agrícolas e industriales.

- A medio plazo los acuíferos detríticos de la Plana - tendrán que destinarse, prácticamente en exclusiva, a satisfacer la demanda agrícola, dado el creciente contenido en nitratos de sus aguas debido fundamentalmente a prácticas agrícolas, y por consiguiente ser sustituidas las actuales fuentes de suministro urbano e industrial por otras procedentes de los acuíferos calizos situados en los sistemas acuíferos del interior. Para retardar al máximo esta perspectiva se recomienda :

- . Realización de captaciones de características técnicas adecuadas para que a través o mediante ellas no se produzcan nuevos fenómenos de degradación.
- . Asesorar a los municipios para el vertido de residuos sólidos y líquidos se realice mediante vertederos -- controlados, u otros procedimientos técnicos adecuados.
- . Exigir a las industrias la depuración adecuada de -- sus efluentes o la adecuada eliminación sin problemas de contaminación.
- . Establecer perímetros de protección de las captaciones destinadas al uso humano, de forma que se proteja la calidad de sus aguas de prácticas contaminantes.
- . Implantar por los Organismos correspondientes un sistema de asesoramiento a los agricultores sobre el uso

de fertilizantes y pesticidas, sistema que respetando e incluso ayudante a la economía agrícola minimice el aporte de elementos químicos a las aguas subterráneas.

- La satisfacción de las necesidades actuales debe estar basada en una gestión correcta de los recursos hidráulicos, dentro de este contexto se indican a continuación para cada plana las actuaciones que podrían resolver los problemas planteados :

#### A) Plana de Castellón

Los problemas de intrusión salina están localizados fundamentalmente en : Moncófar, Benicasim y Sagunto. Las acciones propuestas son :

##### . 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 las fuentes, 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 regadío 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 Villarreal y Burriana (unos 200 l/s).

. 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 Almena  
ra (3,3 hm<sup>3</sup>/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 zo  
nas concretas de la Plana de Castellón, como en todo acuífero -  
costero, la extracción prolongada e incontrolada de las reser--  
vas 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 interfa-  
se hacia el interior, reduciendo las reservas de agua dulce del  
mismo y limitando por tanto el espacio geométrico en que de-  
be operar la extracción. La capacidad de regulación que suministran  
en general las reservas de un acuífero, en estos casos desgraci  
adamente no puede ser utilizada si se quiere evitar la intru  
sión. Se impone pues, reducir, las extracciones en estos pe-  
ríodos con la consiguiente necesidad de aportar nuevos recursos  
exteriores.

De ahí se piensa en la necesidad de incrementar al má-  
ximo la regulación hiperanual del río Mijares -no se olvide --  
que la mayor parte de su escorrentía tiene un origen subterrá--  
neo- lo que permitiría asegurar los regadíos tradicionales existen  
tes.

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 (Javalambre) del Sistema del Maestrazgo; para ello habría que realizar baterías de captaciones en el curso alto del Mijares, aguas arriba del embalse de 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.

#### B) Plana de Gandía-Denia-Jávea

Para la optimización del uso de los recursos hídricos totales, se enumeran las siguientes proposiciones :

- Incremento de las explotaciones en área comprendida entre Gandía 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 -- Sineu, con una explotación media hiperanual de unos  $100 \text{ hm}^3/\text{año}$ , mediante captaciones en los acuíferos carbonatados de Mustalla y Mediodía-Segaria.

Esta regulación permitiría, además de utilizar unos recursos que actualmente se pierden al mar, disminuir el encharcamiento de la marjalería 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 Bárig), mediante la explotación de los acuíferos carbonatados de borde. No se conoce con precisión el caudal medio hiperanual conjunto no utilizado para riego, aunque puede estimarse en unos  $15 \text{ hm}^3/\text{año}$  medio.

- Recarga artificial en el acuífero de Jávea 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.

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 :

. 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 Gandía-Denia y en todo el acuífero de Jávea.

- 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 Mediodía-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 hm<sup>3</sup>/año medio de bombeo neto para regadío, en el acuífero detrítico, al acuífero carbonatado de Mediodía-Segaria.

- En el acuífero de Jávea, 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 y 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.

. Intrusión causada por extracción puntual excesiva

Las áreas en que predomina este factor son :

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

En el primer caso el problema es irrelevante y se solucionaría sustituyendo las escasas captaciones afectadas, pr<sub>ó</sub>xim

mas al Grao, por otras situadas al Sur, en los alrededores de -  
Gandía.

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.

. Intrusión causada por drenaje de las marjalerías

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 esorrentía superficial en sentido  
estricto, antes de su vertido a la marjalería, por -  
ejemplo mediante recarga artificial en el acuífero.

No obstante, la intrusión, restringida al área deseca-  
da no resulta perjudicial, pues las captaciones limítrofes pue-  
den ser sustituidas por otras, aguas arriba.

C) Plana de Oropesa-Torreblanca

Las medidas a tomar con objeto de luchar contra la-  
salinización progresiva del acuífero serían :

- Ampliar la red específica de control de la intrusión, especialmente en lo referente a piezómetros representativos, de zonas profundas del acuífero.
- Realizar un estudio de reordenación de las explotaciones existentes, en el que se determinan los caudales de explotación recomendados y la distribución espacial de las captaciones de extracción.
- Realizar un estudio de posibilidades de frenar la intrusión mediante recarga artificial.
- Importar agua subterránea de los acuíferos mesozóicos de Irtá, Cabanes y Torreblanca.

#### D) Plana de Vinaroz-Peñíscola

El problema se plantea por la intrusión salina, especialmente en las zonas de Vinaroz y Benicarló, ocasionada por las extracciones intensivas de agua subterránea. El déficit medio anual de los recursos en estas zonas es de 2-2,5 hm<sup>3</sup>, por lo que, en líneas generales, se propone que éste sea el volumen que se deje de extraer en estos sectores y se sustituya por agua procedente de los sondeos que, en el informe de regulación de los recursos de la Sierra de Irtá, se proponen al NE de Santa Magdalena de Pulpis en el flanco suroriental de la sierra de Valdancha, o bien en el flanco noroccidental de la Sierra de Irtá.

Igualmente se recomienda la recarga artificial, en dichas zonas, de aguas residuales urbanas previamente tratadas, si bien el volumen a emplear y distribución de los pozos de inyección quedarían determinados en estudios posteriores que se recomiendan realizar. También podría utilizarse en recarga artificial el agua procedente de los sondeos de la sierra de Irta, antes mencionados.

#### E) Plana de Valencia

La Plana de Valencia no presenta ningún problema en cuanto a sobreexplotación ni salinización por intrusión, ya que posee unas aportaciones subterráneas excedentarias de unos 500 hm<sup>3</sup>/año, parte de ellas bastarían para satisfacer la demanda futura a medio y largo plazo. La cuantía de dichas demandas no es conocida actualmente puesto que no existe información completa publicada al respecto. Para su determinación habría que hacer un trabajo detallado de evaluación de demandas.

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

. 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 Jávea, 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 Jávea.

. Revisión de los modelos realizados.

. Control foronómico de los ríos : Júcar, Turia, Palancia, Mijares, Jaraco, Serpis, Girona y Gorgos, y de las surgencias de la zona de Pego.

. Estudio detallado de la relación río-acuífero para el Júcar, Turia, Mijares y Palancia en sus cuencas bajas.

. 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..

. 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 Jávea.