



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

INFORME FINAL DEL PROYECTO
"ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE CONTROL
DE CONTAMINACION POR INTRUSION MARINA
EN LOS ACUIFEROS COSTEROS DE GRANADA
MEDIANTE TECNICAS DE CARACTER
TERMOMETRICO."



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

30649



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

INFORME FINAL

PROYECTO

ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE CONTROL DE
CONTAMINACION POR INTRUSION MARINA EN LOS
ACUIFEROS COSTEROS DE GRANADA MEDIANTE
TECNICAS DE MEDIDA DE CARACTER TERMOMETRICO

TOMO	I	INFORME PREVIO
TOMO	II	SIMULACION MATEMATICA GEOTERMICA
TOMO	III	ESTABLECIMIENTO DE LA RED DE CONTROL
TOMO	IV	RESULTADOS Y OPTIMIZACION DE LA RED

El presente informe se presenta como documento del Proyecto "Establecimiento de una red de control de contaminación por intrusión marina en los acuíferos costeros de Granada mediante técnicas de medida de carácter termométrico" incluido en el Programa 741-D del Instituto Tecnológico GeoMinero de España adjudicado a la Cátedra de Geofísica Aplicada de la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.

La realización de este estudio no ha estado exenta de problemas a lo largo de toda su ejecución, dado que la buena fé investigadora de esta Cátedra ha motivado que se intentaran lograr mayores fines que los estrictamente planteados en el proyecto, como se verá en el desarrollo del informe. Estos problemas han ido poniéndose en conocimiento de la Administración de forma continuada, llegando incluso a aplazarse a un año la entrega de este informe.

T O M O I

INFORME PREVIO

PROYECTO: "ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE CONTROL DE
CONTAMINACION POR INTRUSION MARINA EN LOS ACUIFEROS
COSTEROS DE GRANADA MEDIANTE TECNICAS DE MEDIDA
DE CARACTER TERMOMETRICO

EL ACUIFERO ALUVIAL DEL RIO VERDE

ALMUÑECAR (GRANADA)

I N D I C E

- I. ANTECEDENTES
- II. MARCO GEOGRAFICO
 - II.1. Localización
 - II.2. Geografía física
 - II.2.1. Geomorfología
 - II.2.2. Vegetación
 - II.3. Geografía humana y económica
 - II.4. Parámetros climatológicos
- III. MARCO GEOLOGICO
 - III.1. Localización geológica
 - III.2. Edafología
 - III.3. Estratigrafía
 - III.4. Tectónica y geometría del acuífero
- IV. MARCO HIDROLOGICO
 - IV.1. Hidrología superficial
 - IV.2. Hidrología Subterránea
 - IV.2.1. Puntos de agua
 - IV.2.2. Parámetros hidrodinámicos del acuífero
 - IV.2.3. Balance hidráulico
 - IV.2.4. Características hidroquímicas
 - IV.3. La intrusión marina en el acuífero del río Verde
- V. BIBLIOGRAFIA

I. ANTECEDENTES

Con los trabajos de COPPONEX (1959) y ALDAYA (1969) en lo referente a la geología regional del Complejo Alpujarride y los de GONZALEZ DONOSO (1967), más cerca de nuestro estudio, referidas a los depósitos -- neógeno-cuaternario, se abren las puertas del conocimiento de los -- acuíferos cuaternarios de la Costa del Sol de Granada, investigaciones que constituyen un objetivo destacado del Departamento de Hidrogeología de la Universidad de Granada, como se ha venido reflejando - en Tesis Doctorales, de Licenciatura, Congresos y reuniones al menos desde el último decenio.

En lo referente a la geología del acuífero del Río Verde, el fuerte - control estructural sobre el trazado del valle de dicho río fué reflejado por fotointerpretación (FERNANDEZ-RUBIO, et al. 1972; LOPEZ - LOPEZ, 1974), obteniéndose mediante tratamiento estadístico, más adelante, datos que reflejaban la existencia de un sustrato impermeable, compartimentado en bloques (CHICA et al, 1981).

En relación con la distribución litológica de los sedimentos en dicho acuífero, a partir de los sondeos mecánicos realizados por el ITGENADIMSA (1974) y por la Comisaría de Aguas del Sur (CASE) en 1984, - se han elaborado columnas litoestratigráficas, mapas de isopacas del acuífero (BENAVENTE, 1982; CALVACHE y BENAVENTE, 1988), y se han obtenido datos geotécnicos en tres sondeos (granulometría, plasticidad, - límites de Atterberg). Igualmente, y mediante fotogeología se ha detectado la presencia de un paleocauce (FERNANDEZ-RUBIO, 1972) como más adelante comentaremos.

En lo referente a la Hidrogeología, en 1969 la CASE obtuvo datos, pero sólo referentes a la hidrología superficial. En 1974, el ITGE comienza a tomar medidas piezométricas con periodicidad mensual sobre - 16 piezómetros, incrementándolos hasta 26 en 1975, fecha en que abandona el control. Desde 1977, la CASE controla mensualmente 40 puntos con la limitación de que algunos de ellos son pozos en explotación, -

alterando el resultado de la mezcla. Sin embargo, ya se comenzó a detectar los descensos progresivos de los niveles que acusaban una explotación de las reservas del acuífero (MOLINA et al, 1988). Con la realización por la CASE de los 32 sondeos ya mencionados en 1984 se comienzan a obtener medidas piezométricas mensuales, registros por limnigrafos - en tres de ellos y muestras de agua a distintas profundidades en 8 sondeos, obteniéndose datos de cloruros y conductividad, lo cual permite - realizar mapas de isoconductividades, isopiezas e isosalinidades.

II. MARCO GEOGRAFICO

II.1. Localización

El acuífero de río Verde se encuentra situado en el vector costero del Suroeste de la provincia de Granada (Fig. 1), abarcando -- parte del término municipal de Jete y Almuñécar y en contacto al Sur con el Mar Mediterráneo.

En cuanto a las comunicaciones, es accesible por el Sur mediante la CN-340 Cádiz-Barcelona, que pone en contacto el sector Oeste (Nerja y Málaga) con el Este (Salobreña y Motril), donde conecta con la CN-323 Bailén-Motril. Igualmente, existe una carretera que lo atraviesa remontando el Río Verde y permitiendo la comunicación entre Almuñécar, Jete y Otivar hasta conectar con la CN-323 -- Bailén-Motril en el Suspiro del Moro.

II.2. Geografía física

II.2.1. Geomorfología

El río Verde se inicia en las estribaciones de Sierra Almijara. - La cuenca vertiente tiene una superficie de 96 km^2 . La longitud - del cauce es de 24 km.

Estrecho y pendiente en su tramo superior con alturas mayores a los 1700 metros. El río comienza a formar pequeñas terrazas aluviales entre Cázulas y Otivar. En Jete el valle se ensancha, formando una pequeña vega, para construir aguas abajo un ensanchamiento de la zona aluvial que viene a formar el acuífero del río Verde, el cual abarca cerca de 3,7 km y siempre dentro de la amplia vega de Almuñécar, donde desemboca al mar; la altura media es de 460 m.

La cuenca presenta una elevada densidad de drenajes con afluentes de cauces dendríticos y cursos irregulares, impuesto por el predo

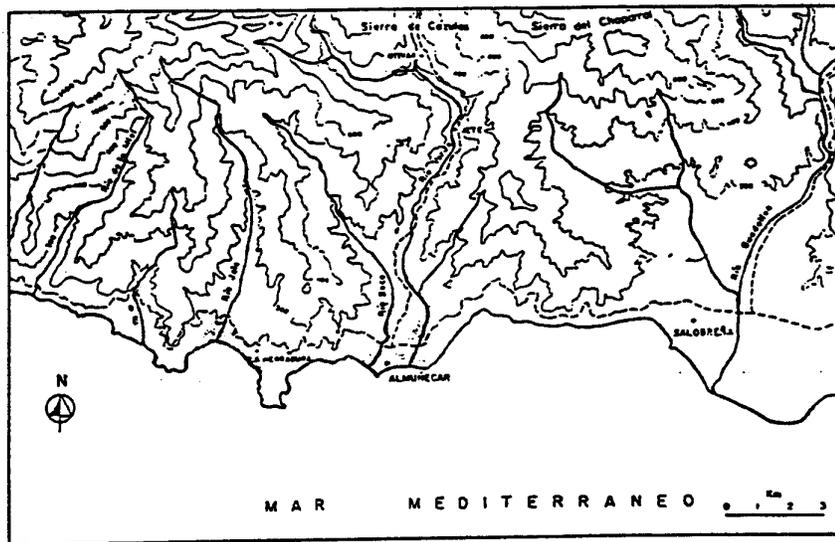


Figura 1. Localización del sector costero occidental de la provincia de Granada.

minio de materiales metapelíticos impermeables. Los rasgos morfológicos que hoy muestra el valle son fruto de las variaciones -- del nivel del mar reflejados en los consiguientes cambios en el nivel de base fluvial en una zona tan próxima a la costa. -- Dichos cambios dieron lugar al encajamiento y relleno de los -- valles y ramblas.

II.2.2. Vegetación

El medio físico citado y, sobre todo, el clima ha dado lugar a una vegetación xerófila y termófila, aunque en épocas pasadas -- el clima más húmedo permitía la existencia de bosques, los cuales al igual que los pinares pasto de las llamas en la Sierra de -- Cazorla, el hombre ha hecho desaparecer. A esto se le añade el -- actual clima poco favorecedor para la recuperación. Tan sólo se conservan algunos restos de monte alto en lugares muy resguardados, como son las umbrías de los barrancos.

Los árboles más frecuentes son el pino mediterráneo y el algarrobo, ambos con cierto carácter disperso. También existen restos de alcornoques y de encinas en el interior, donde la lluvia es más -- abundante y el influjo del mar poco apreciable.

El tipo matorral más abundante es la garriga, presente en los pequeños bosques de pinos, y más aisladamente existen maquis. Bastante frecuente son los palmitos y otros arbustos de tipo espinoso, apareciendo adelfas en los cauces de los barrancos.

En el límite con el almendro y la vid, destacan por su originalidad y rendimiento cultivos hortifrutícolas propios de microclimas subtropicales del tipo chirimoyos, aguacates, cítricos y hortalizas, apareciendo cada día formas aún más restringidas y exóticas (caquis, etc.).

II.3. Geografía humana y económica

Las principales poblaciones afincadas sobre el acuífero estudiado son las de Jete y Almuñecar, adquiriendo ésta última un carácter más espectacular dado el elevado incremento en la última mitad de siglo (Fig. 2) como consecuencia de la llegada del turismo y de progresivo incremento de la agricultura subtropical.

La actividad fundamental es la agricultura, de regadío en su totalidad con cultivos subtropicales, abarcando la superficie regada cerca de 2.500 Ha (FERNÁNDEZ-RUBIO et al, 1988), con aguas superficiales derivadas del río Verde y, fundamentalmente, con aguas subterráneas de pozos y sondeos.

La segunda actividad es el turismo que, junto a la población estable, se abastece de aguas subterráneas. Esta población en los últimos años ha seguido la evolución reflejada en la Tabla I.

La pesca ha constituido una de las actividades básicas en la economía del municipio, sin embargo, se ha observado una emigración de los pescadores hacia el sector de servicios en los meses estivales y hacia la agricultura en los períodos de recolección.

Por último, el sector ganadero e industrial (algunas fábricas de muebles y harina) ha quedado prácticamente sin representación en este área del litoral granadino.

II.4. Parámetros climatológicos

a) Pluviometría

Las características pluviométricas de Almuñecar son las propias del Sureste español, donde las lluvias se producen en escasos días, a veces con aguaceros muy intensos y con meses en los que los cauces se hallan totalmente secos. Las preci-

EVOLUCION DE LA POBLACION

7.

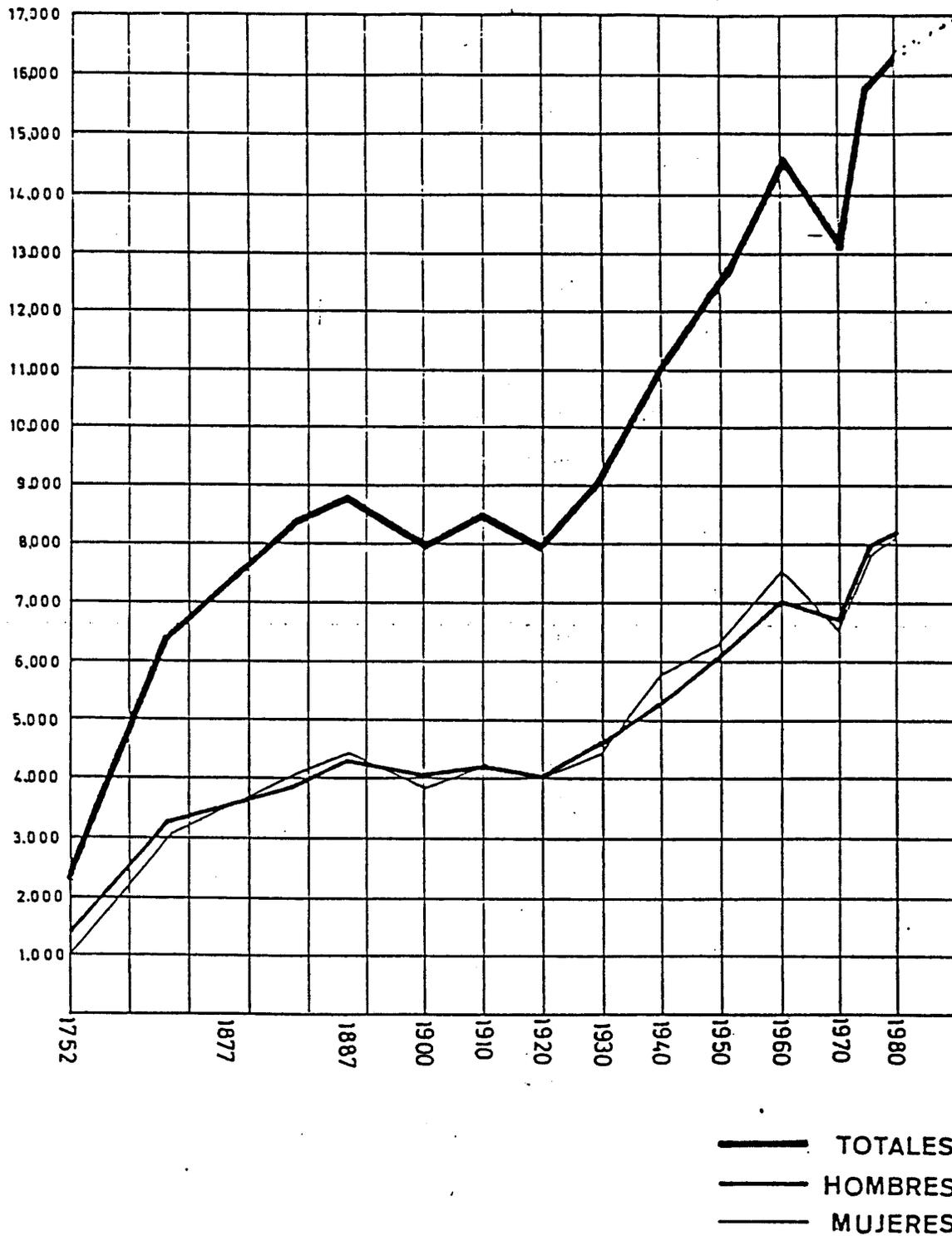


Fig. 2.- Evolución de la población. (RODRIGUEZ et al, 1987).

pitaciones medias mensuales y su intensidad aparecen en la Fig. 3, a partir de las cuales se puede elaborar un mapa de isoyetas correspondiente a la precipitación media anual sobre la cuenca del río Verde (Fig. 4).

b) Termometría

Los factores principales que condicionan la temperatura en esta zona son:

- Presencia continúa del anticiclón de las Azores.
- Relieves al Norte con acción protectora al calentar las masas frías por el efecto Föhn.
- Apertura hacia el S y SE de donde proceden importantes masas cálidas.
- El Mar Mediterráneo, como toda gran masa de agua, suaviza las oscilaciones térmicas.

En virtud a los datos obtenidos en las estaciones de Salobreña, Almuñecar y Torrecuevas se ha establecido la distribución de temperaturas medias, mínimas y máximas del "año tipo" (Fig. 5), donde se observa que la temperatura media anual ($17'5^{\circ}\text{C}$) representa la de una zona cálida, con amplitud térmica reducida entre el mes más frío y el más cálido, ($12'5^{\circ}\text{C}$).

A medida que se asciende topográficamente en la cuenca se registra en las estaciones de Torrecuevas, Lentejil y Cázulas una disminución de la temperatura media y un aumento de los contrastes térmicos diarios y estacionales.

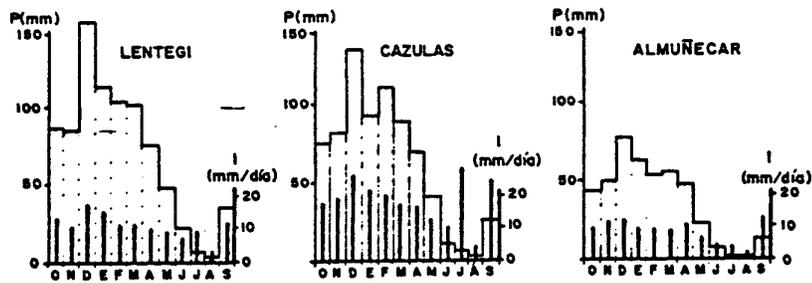


Fig. 3.- Precipitaciones medias mensuales e intensidades (período 1955/56 a 1979/80 en estaciones pluviométricas de la -- cuenca del río Verde (BENAVENTE, 1985).

Año	Población estable	Octubre a Junio	Julio	Agosto	Septiembre
1976	15.062	19.000	35.000	80.000	40.000
1978	16.162	20.500	37.000	82.000	42.000
1980	16.333	20.800	38.500	86.000	43.500
1982	16.673	21.000	40.000	90.000	45.000

TABLA 1.- Evolución de la población (FERNANDEZ-RUBIO et al, 1988 a).

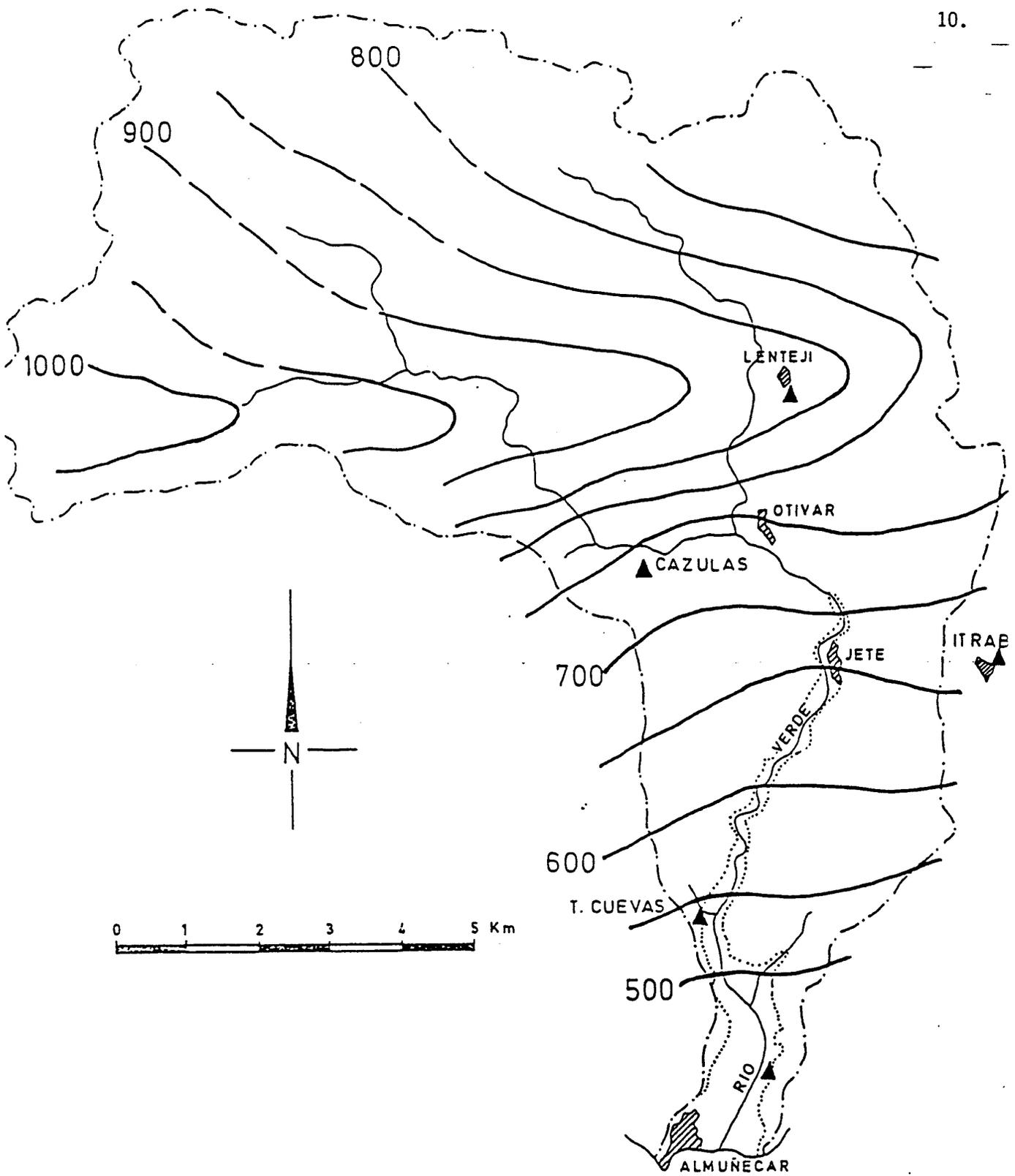


Fig. 4.- Mapa de isoyetas correspondiente a la precipitación media anual sobre la cuenca del río Verde.

TEMPERATURA MEDIA EN ALMUÑECAR

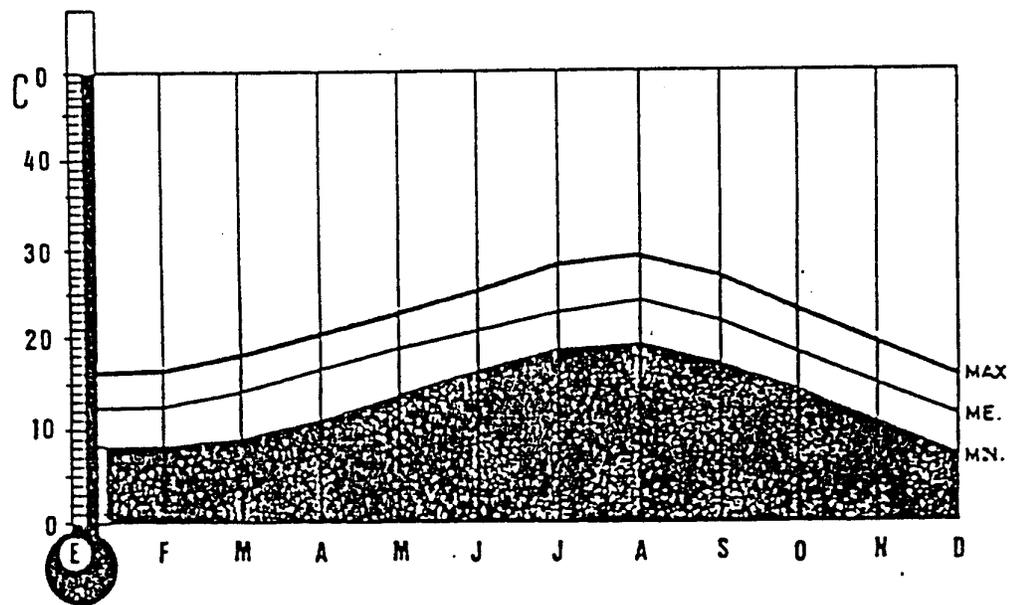
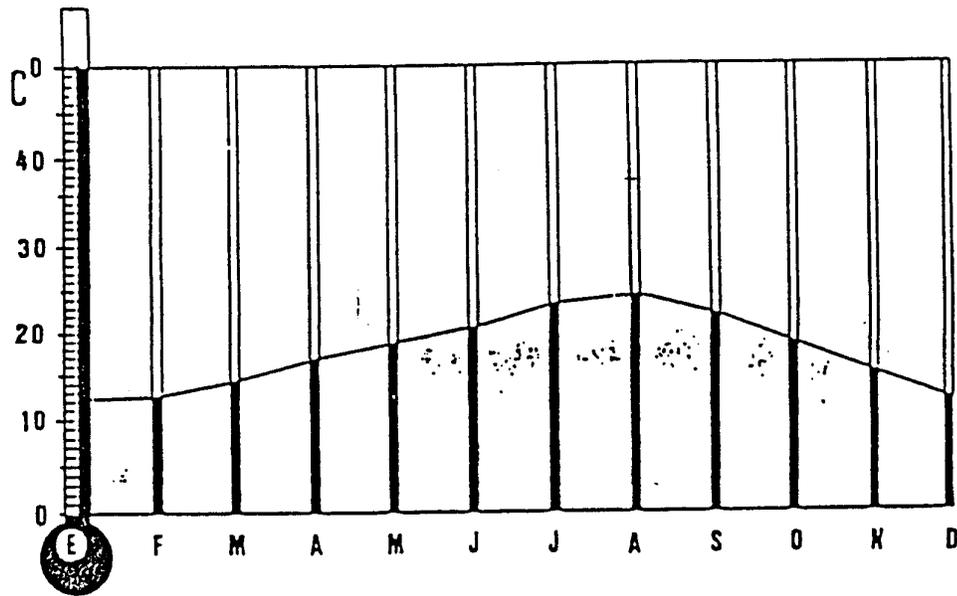


Fig. 5.- Temperatura media mensual para un año medio.

c) Evapotranspiración

A pesar de la inexistencia de evaporímetros en la cuenca, algunos autores (FERNANDEZ-RUBIO et al, 1988) han estimado el valor medio de la lluvia útil (método de THORNTWHAITE) en un 10% de la precipitación (suponiendo una reserva utilizable de 75 mm) tras el cálculo previo de la evapotranspiración real (ETR) y potencial (ETP).

d) Clasificación climática

A partir de los datos de pluviometría y termometría, autores como (RODRIGUEZ et al, 1987) han obtenido el Índice de MARTONNE que refleja la existencia de un clima de estepa y país mediterráneo en la zona estudiada.

De igual forma el Índice de DATIN y REVENGA señala que el acuífero del río Verde se sitúa dentro de la España árida.

III. MARCO GEOLOGICO

III.1. Localización geológica

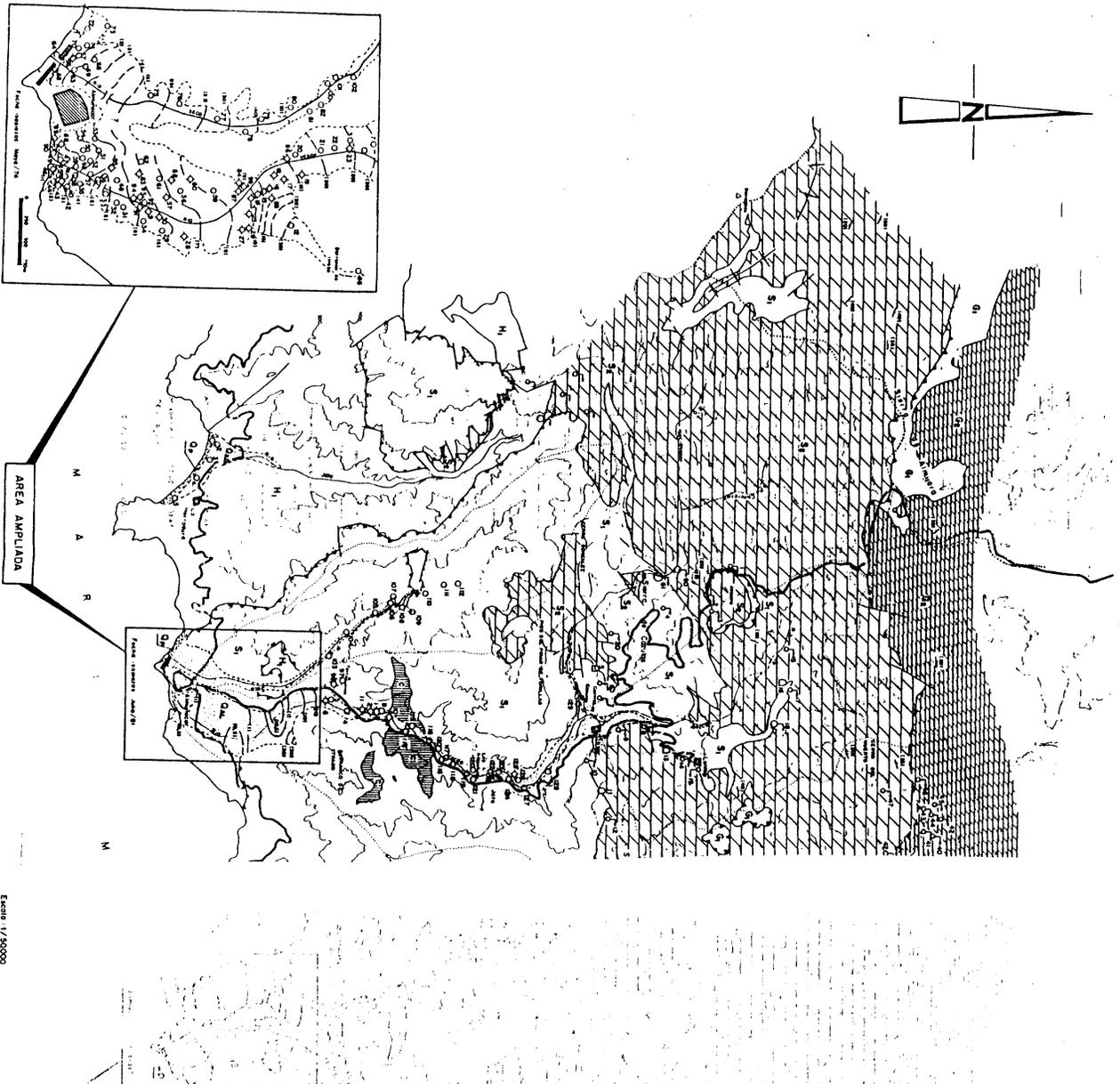
El acuífero del río Verde está constituido por depósitos aluviales (gravas, arenas y limos), fundamentalmente, encajados en un potente conjunto de materiales paleozoicos metapelíticos pertenecientes al complejo Alpujarride, más en concreto, al manto de La Herradura y, fundamentalmente, al manto de Salobreña (Fig. 6) siempre dentro de las zonas internas de las Cordilleras Béticas.

III.2. Edafología

Los suelos desarrollados en la zona de estudio se caracterizan por presentar una secuencia de horizontes AC, con un horizonte A que oscila entre 2 y 15 cm de potencia y con textura de franco-arenosa a arenosa. El horizonte C suele ser de bastante espesor, con un nivel de oxidación y otro de reducción como consecuencia de las oscilaciones del nivel freático. En general, la textura de los suelos resulta más fina a medida que nos acercamos a la costa.

El pH es francamente alcalino y aumenta con la profundidad, donde llega a alcanzar valores de 8.7. El contenido en materia orgánica es pequeño, al igual que en nitrógeno. Sin embargo, los contenidos en fósforo y potasio son altos en superficie aunque disminuyen bruscamente en profundidad.

La capacidad de retención de agua es media, si bien gran parte no está a disposición de las plantas dada la débil retención como consecuencia de la textura arenosa, aunque en algunos suelos la capacidad de agua útil es superior a los 100 mm, seguramente debido a la adición de materiales finos por parte del agricultor.



LEYENDA

MATERIALES PESTOSCENICOS

Castrojo	Q ₁ - arena, limo y arena gruesa	(2)
Palencia	Q ₂ - arena y limo de base	(23)
Indicero	Q ₃ - arena y limo de base	(23)
	Q ₄ - arena y limo de base	(23)
	Q ₅ - arena y limo de base	(23)
	Q ₆ - arena y limo de base	(23)
	Q ₇ - arena y limo de base	(23)
	Q ₈ - arena y limo de base	(23)
	Q ₉ - arena y limo de base	(23)
	Q ₁₀ - arena y limo de base	(23)

MANTOS ALIQUANDES

THAL	Al	arenas y limos	(1)
ALCORNCO	A ₁	arenas y limos	(1)

MANTO DE SALOMERA

THAL	A ₁	arenas y limos	(1)
ALCORNCO	A ₁	arenas y limos	(1)

MANTO DE LA VERRADUNA

ALCORNCO	A ₁	arenas y limos	(1)
----------	----------------	----------------	-----

MANTO DE LOMA

ALCORNCO	A ₁	arenas y limos	(1)
----------	----------------	----------------	-----

MANTO DE MUERTAS

THAL	A ₁	arenas y limos	(1)
ALCORNCO	A ₁	arenas y limos	(1)

MANTO DE ALICAZAR

THAL	A ₁	arenas y limos	(1)
ALCORNCO	A ₁	arenas y limos	(1)

MANTO DE CASTAÑAS

THAL	A ₁	arenas y limos	(1)
ALCORNCO	A ₁	arenas y limos	(1)

MANTO DE LUJAN

THAL	A ₁	arenas y limos	(1)
ALCORNCO	A ₁	arenas y limos	(1)

SALIENTES Y ANDESITICOS

(1)	Andesitico por flicciones y lavas	(1)
(2)	Andesitico por flicciones y lavas	(1)
(3)	Andesitico	(1)
(4)	Andesitico	(1)
(5)	Andesitico	(1)

OTROS

(1)	Andesitico por flicciones y lavas	(1)
(2)	Andesitico por flicciones y lavas	(1)
(3)	Andesitico	(1)
(4)	Andesitico	(1)
(5)	Andesitico	(1)

OTROS

(1)	Andesitico por flicciones y lavas	(1)
(2)	Andesitico por flicciones y lavas	(1)
(3)	Andesitico	(1)
(4)	Andesitico	(1)
(5)	Andesitico	(1)

BASE TOPOGRAFICA: Mapa de 1:50,000, 1:25,000 y 1:10,000

BASE GEOLÓGICA: (1) - Mapa de 1:50,000 (SARSA - 1962)

INVENTARIO GEOLÓGICO DE BASE: (1) - Mapa de 1:50,000 (SARSA - 1962)

INVENTARIO GEOLÓGICO DE BASE: (1) - Mapa de 1:50,000 (SARSA - 1962)

Escala 1/25000
0 0.5 1 2 3 4 km

En general, se trata de Fluvisoles nitrícos al estar desarrollados sobre materiales aluviales recientes con un Ocríco en superficie como único nivel de diagnóstico y con una saturación superior al 50% en su capacidad de campo.

III.3. Estratigrafía

El Complejo Alpujarride se caracteriza por la superposición tectónica de mantos de corrimiento (uno de ellos, el manto de Salobreña), integrados por una serie de unidades de distinto grado de metamorfismo, compuestas, esencialmente, por un tramo inferior de naturaleza metapelítica (micaesquistos, cuarcitas, filitas y algunas intercalaciones de calcoesquistos y mármoles) y otro superior carbonatado (calizas, dolomías y mármoles). En general, los materiales del borde del acuífero -- son de naturaleza esquistosa y, por tanto, impermeables, -- aunque existe una intercalación cuarcítica dentro del manto de Salobreña que, dada la fracturación que presenta puede soportar un cierto caudal al acuífero aluvial. Igualmente, -- ocurre con unos mármoles en el sector de Otivar. Sobre este sustrato y con carácter postorogénico se encaja el acuífero aluvial del río Verde. Este depósito se efectúa en régimen -- torrencial primero (lo que también ocurre actualmente en la cabecera del acuífero y en los afluentes de menor envergadura) para, en una segunda fase, evolucionar hacia un régimen fluvial del tipo llanura de inundación, que se desarrolla fundamentalmente en la parte final del valle (BENAVENTE, 1985).

A partir de un campaña de prospección geofísica eléctrica -- (SEV) efectuada por ENADIMSA (1977) y de los sondeos mecánicos de dicha empresa, ITGE y CASE, algunos autores (LOPEZ LOPEZ, 1974; ITGE, 1985, RODRIGUEZ et al, 1987, BENAVENTE, -- 1985; CALVECHE y BENAVENTE, 1988 a, b) han obtenido una serie de datos que pasamos a resumir a continuación:

- Los resultados obtenidos de la interpretación de datos geoelectrónicos coinciden en gran medida con las testificaciones litológicas realizadas en los diversos sondeos.
- Las columnas litológicas levantadas de forma aislada en algún sondeo antes de la campaña del CASE en 1984, coinciden de forma apreciable con la interpretación general del acuífero obtenida a partir de dicha campaña (Fig. 7 a).
- Los análisis granulométricos (D60/D10) a que se han sometido muestras actuales del cauce del río Verde (LOPEZ LOPEZ - 1975) y que, de alguna manera, podrían ser asimilables a la facies de gravas y arenas gruesas (BENAVENTE, 1986) permiten clasificarlas como una "mezcla de arenas y gravas heterométricas, en igual proporción aproximadamente y con una fracción muy pequeña de materiales finos (inferior al 1%)".
- Existen terrazas fluviales colgadas en los bordes y algunos metros por encima del actual cauce como consecuencia -- de cambios en el nivel de base. En general, son formaciones poco compactadas de cantos subredondeados y heterométricos, fundamentalmente metamórficos.
- Transversalmente también se detectan variaciones litológicas. Así, la existencia de paleocauces ha sido determinada por análisis fotogeológico (FERNANDEZ-RUBIO, 1972; LOPEZ -- LOPEZ, 1974) como muestra la Fig. 8 y constatada por criterios hidrodinámicos, hidroquímicos y testificación litológica (Fig. 7 b).

III.4. Tectónica y geometría del acuífero

El valle y acuífero del río Verde presenta un posible origen tectónico dada la concordancia con las direcciones de fractu-

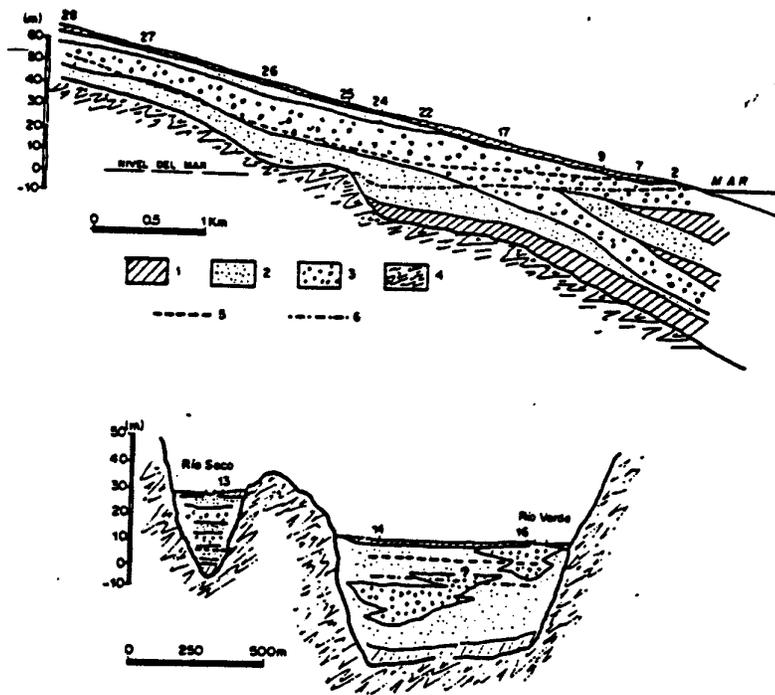


Fig. 7.- Cortes hidrogeológicos esquemáticos en el acuífero de Almuñécar. 1: materiales con predominio de limos y arenas finas; 2: arenas medias predominantes; 3: arenas gruesas y gravas; 4: sustrato metapelítico; 5; nivel piezométrico en aguas altas; 6: nivel piezométrico en estiaje. Los números representan sondeos piezométricos. (CALVECHE y GENAVENTE, 1988).

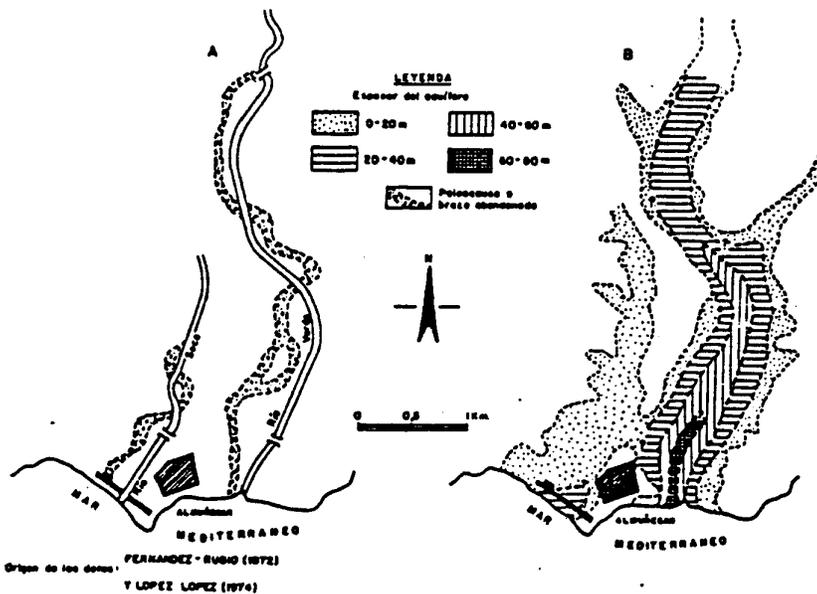


Fig. 8.- Paleocauces (A) y espesor aproximado del acuífero (B).

ración predominantes: N20-30E y N135-150E (FERNANDEZ-RUBIO, -- 1972; LOPEZ-LOPEZ, 1974).

En el mapa geológico puede verse su forma y extensión superficial, la cual comparada con gran parte de los acuíferos de este tipo, normalmente con depósitos asociados de tipo deltaico y, por tanto, de máxima anchura en el sector costero, la forma en superficie del aluvial puede parecer un tanto anómala como consecuencia, fundamentalmente, de los factores estructurales y litológicos que han condicionado la morfología actual y pasada del valle. Así, en el sector de Las Angosturas, la anchura es cercana a 100 m, mientras que en el sector central alcanza los 900 m, para disminuir a 350 m en la desembocadura.

En lo referente a su espesor, resulta variable dentro del aumento generalizado hacia la costa. La causa reside en la compartimentación en bloques del sustrato (CHICA, 1981). El mapa de isopacas del acuífero más actualizado aparece representado en la Fig. 9. Se comprueba en esta figura que el paleocauce se sitúa dentro de las zonas de máximo espesor, las cuales aparecen ligeramente desplazadas hacia el oeste del cauce actual del río Verde.

El espesor máximo se alcanza en el sondeo nº 3 (CASE'84) donde se llegan a 78 metros.

De una manera aproximada, el volumen de material aluvial que constituye el acuífero, desde Jete hasta el mar, se acerca a 35 Hm^3 (MOLINA et al, 1988).

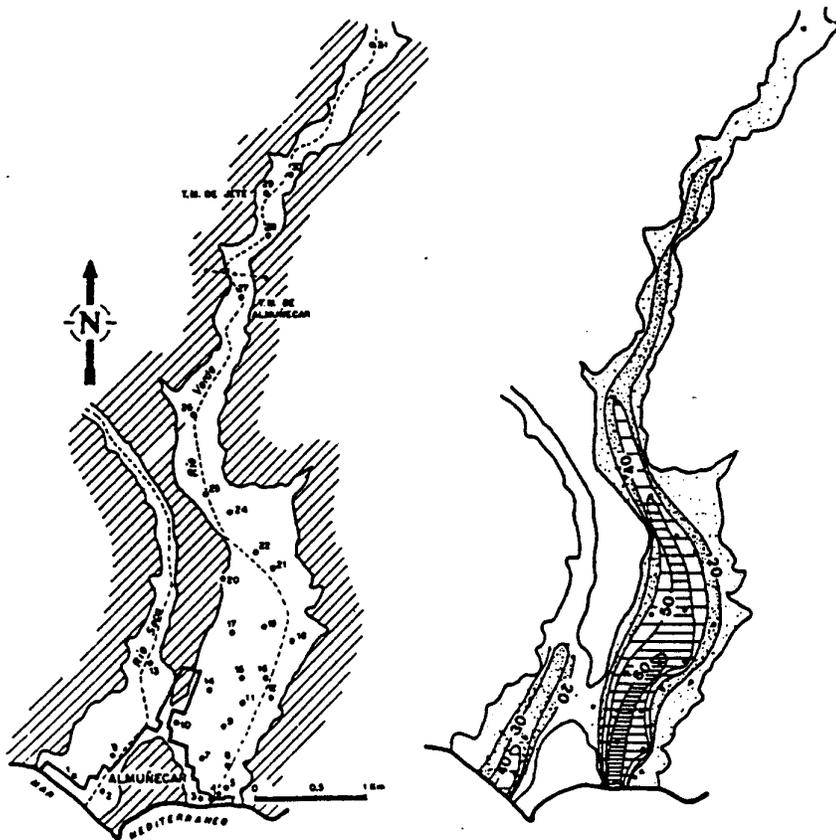


Fig. 9.- Situación de los piezómetros de la CASE y estimación de los espesores del acuífero (valores en m).
(CALVACHE y BENAVENTE; 1988).

IV. MARCO HIDROLOGICO

IV.1. Hidrología superficial

Dada la escasa y puntual ocurrencia de drenajes superficiales, el acuífero del río Verde, al menos en la zona que nos ocupa - (de Jete hasta el litoral o vega de Almuñécar) revisaremos este aspecto, de incidencia somera, aludiendo a las características generales:

- El coeficiente de compacidad es de alrededor de 1.25, lo -- cual muestra una relativa facilidad a la súbita concentra -- ción de agua precipitada en los aguaceros presentes con ca -- rácter excepcional.
- La pendiente media del río se sitúa en un 12%.
- La relación entre río y acuífero señala el carácter influyen -- te de aquél y sin variaciones estacionales, bien de mane -- ra directa a través del cauce cuando el río circula con -- agua, bien a través del retorno de riegos a través de sus de -- rivaciones.

Esta carencia de drenaje superficial del río Verde a partir de Jete resulta de la influencia antrópica al sistema al captarse dicho caudal aguas abajo de Jete mediante derivaciones y captaciones subálveas ("Galería de las Angosturas"), reuniéndose -- las aguas en las acequias del Rey y de Almansa que discurren, aproximadamente, sobre los bordes del acuífero; la primera de ellas, situada en el extremo occidental del acuífero, riega -- los terrenos de la margen derecha del río Verde y la parte final de la Cuenca del río Seco, mientras que la segunda discu -- rre por el borde oriental, regando los cultivos de la margen -- izquierda.

IV.2. Hidrología subterránea

IV.2.1. Puntos de agua

La última información sobre puntos inventariados corresponde al año 1982 (BENAVENTE et al, 1982) constituyendo un conjunto de 130, de los cuales aproximadamente un 50% son pozos, el 40% son sondeos y el resto (menos del 10%) son captaciones mixtas (pozos con galerías, pozos con sondeos) y una galería (Las Angosturas).

Las profundidades y diámetros de perforación vienen reflejados estadísticamente en la Fig. 10, extrayéndose caudales en la mayoría de los casos menores de 10 l/s (Fig. 11).

Algo más del 65% de los puntos se utilizan para riego con funcionamiento temporal, un 20% para abastecimiento con funcionamiento continuo y un 15% están abandonados o no funcionan en la actualidad. Hemos de apuntar que en la actualidad el porcentaje de puntos abandonados va aumentando considerablemente respecto a este dato, seguramente por el descenso de niveles tan importante en los últimos años, secando prácticamente el pozo.

IV.2.2. Parámetros hidrodinámicos del acuífero

Los datos más recientes a este respecto son los publicados por la Universidad de Granada (BENAVENTE y CALVECHE, 1988 a y b). En ellos, y a partir de las columnas litológicas de los 31 piezómetros realizados por la CASE en 1984, se establece la distribución especial de la porosidad eficaz (Me), la permeabilidad tanto en la horizontal como en la vertical (kh y Kv respectivamente) y la transmisividad (T) del acuífero. Para la realización de este estudio se utilizaron las correlaciones entre litología Me y K apuntadas por los autores siguiendo los criterios de JOHNSON y SILIN-BECHURIN con algunas modificaciones. Los datos aportados se representan en la Fig. 12 y la Fig. 13. Teniendo en cuenta que el límite de las zonas A y B viene marcado por

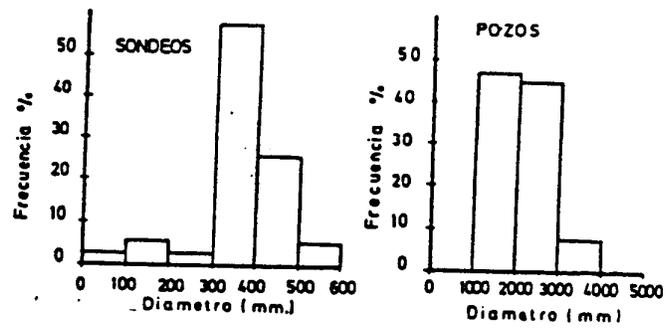


Fig. 10 a.- Distribución de los diámetros de las obras de captación (pozos y sondeos), en el acuífero aluvial de los ríos Verde y Seco en Almuñecar. (BENAVENTE, 1985).

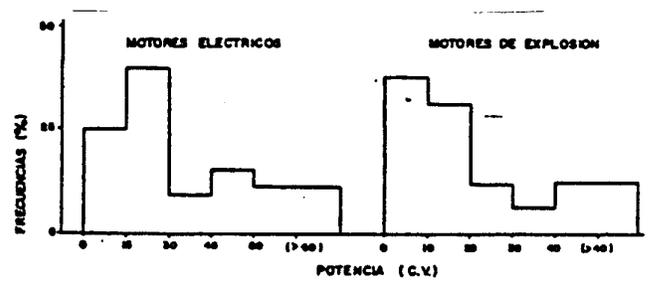


Fig. 10 b.- Distribución de las potencias de los equipos de extracción de aguas subterráneas, del acuífero aluvial de los ríos -- Verde y Seco.

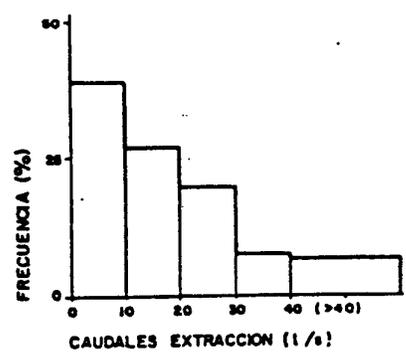


Fig. 11.- Distribución de los caudales de extracción en las obras de captación de aguas subterráneas del acuífero aluvial de -- los ríos Verde y Seco. (BENAVENTE; 1985).

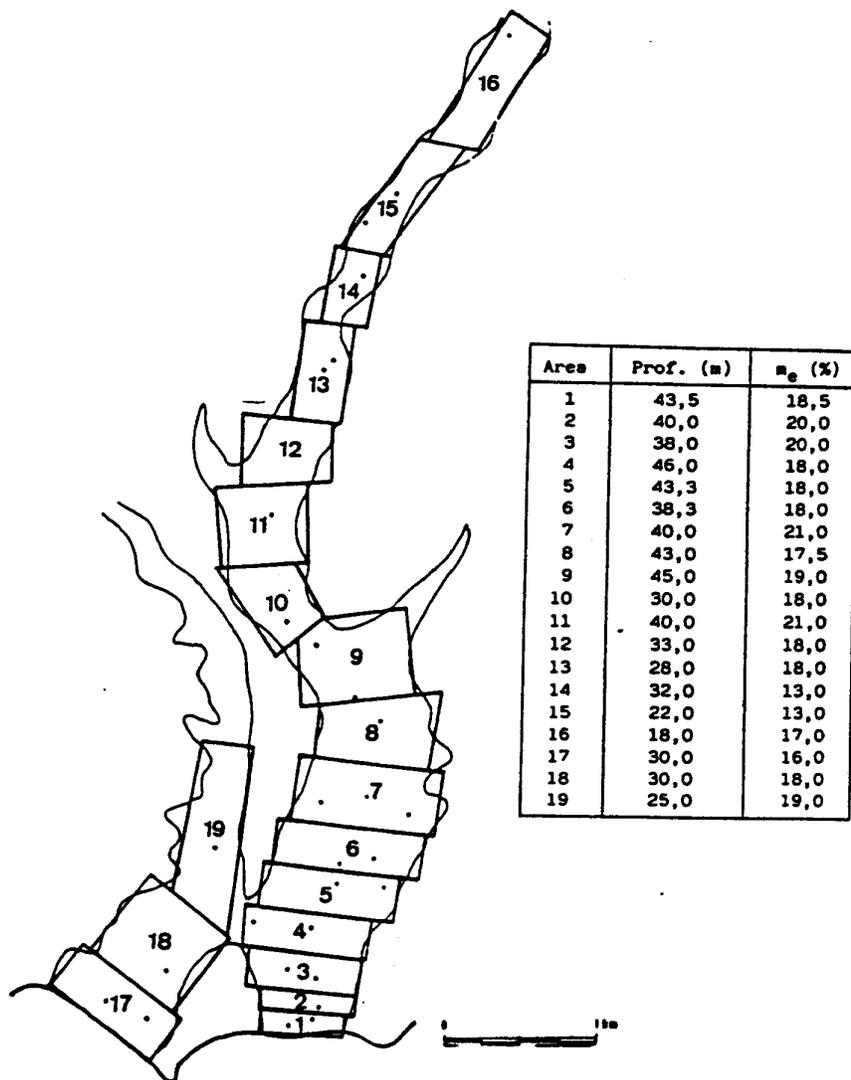


Fig. 12.- Valores medios de la profundidad del sustrato impermeable y de la porosidad eficaz del acuífero (CALVACHE y BENAVENTE, 1988).

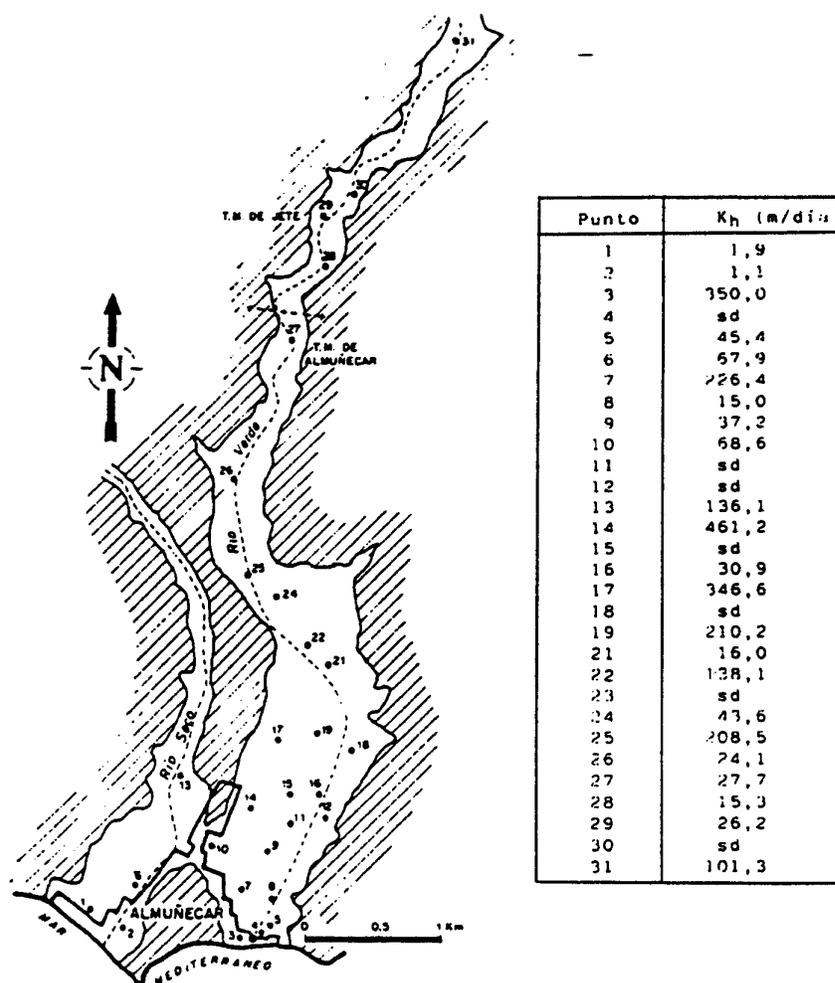


Fig. 13.- Situación de los sondeos piezométricos de la CASE utilizados en el estudio. En el cuadro se señalan los valores correspondientes de la permeabilidad horizontal (sd: puntos en los que no se ha dispuesto de registro litológico). (BENAVENTE y CALVECHE, 1988).

el sondeo 24 (Celdilla 9), punto en que el río deja de estar en cajado, se puede resumir que, en el sector A, los valores medios de Me se sitúan en un 17%, los de Kh y Kv en un 67% y -- 0,69 m/día, respectivamente, y por último los de T en 390 m/día. De otro lado, la zona B presenta unos valores medios de Me cercanos al 19%, Kh y Kv en 153 y 0,07 m/día, respectivamente y de T en 6.250 m²/día.

Los mencionados autores señalan que las diferencias en los parámetros hidráulicos entre el sector de cabecera (A) y de vega (B) se explican por el incremento de espesor saturado (en el caso de la T) y de las capas con limos (en el caso de Kn) en este último sector. Igualmente, muestran la coincidencia de estos resultados con los obtenidos mediante ensayos de bombeo en estudios anteriores (BENAVENTE, 1985).

De otro lado, el coeficiente de almacenamiento (S), deducido mediante simulación matemática (GARCIA GARCIA et al, 1981) es del orden del 10% en el sector A, para disminuir a un 5-10% en el sector B.

Cabe resaltar la relación de los valores máximos de (5.000 -- 25.000 m²/d) con los sondeos situados sobre el paleocauce anteriormente citado (núms. 14, 3, 17 y 7 en la Fig. 14) apoyando la tesis a este respecto mostradas en el punto II.4 (BENAVENTE y CALVACHE, 1988).

Por último, señalaremos que los datos respecto a gradientes -- hidráulicos y mapas de isopiezas los comentaremos más adelante, en el apartado dedicado a la intrusión marina.

IV.2.3. Balance hidráulico

Según ciertos autores (FERNANDEZ-RUBIO et al, 1988 a), el balance del acuífero del río Verde se puede esquematizar, teniendo -

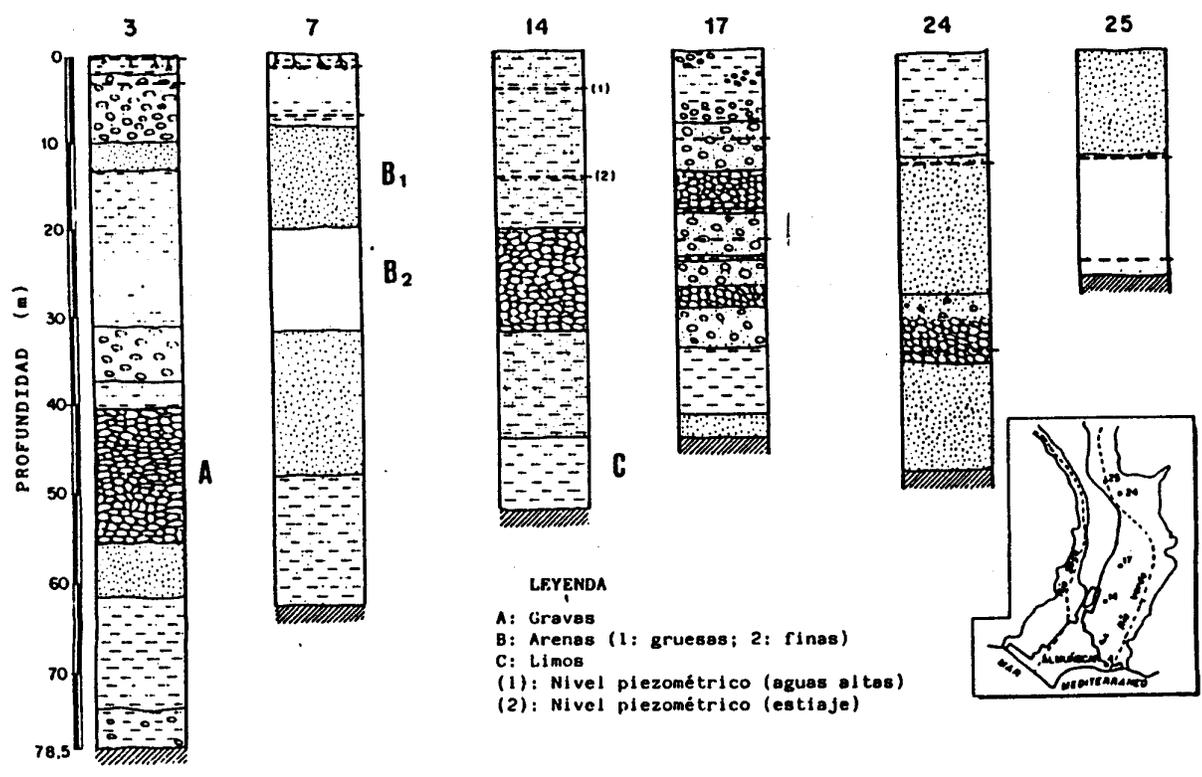


Fig. 14.- Esquema de las columnas litológicas atravesadas en algunos de los sondeos piezométricos. (BENAVENTE y CALVACHE, 1988).

tambi3n en cuenta los datos m3s actualizados (ITGE, 1987) como se comenta a continuaci3n:

- Las precipitaciones sobre los 3,7 km² de afloramientos permeables suponen unas entradas medias de 0.3 hm³/año. El retorno del riego oscila entre 1 y 2 hm³/año. El resto, hasta completar los 8-15 hm³/año de recursos totales, corresponde a infiltraci3n de las aguas superficiales (cuenca vertiente, r3o Verde, etc.).
- Las salidas o descargas son debidas, fundamentalmente, a -- bombeos (7-11 hm³/año, seg3n las circunstancias meteorol3gi-- cas) y a descarga subterr3nea al mar (hasta 7 hm³/año en los aros h3medos).
- De esta manera, en los aros secos el balance neto anual resulta nulo o, m3s frecuentemente, negativo debido al consumo de reservas, produci3ndose inversiones del gradiente hidr3ulico.

IV.2.4. Caracter3sticas hidroqu3micas

Con la finalidad de establecer la calidad natural de las aguas en el ac3ifero que nos ocupa, hemos tomado como referencia los datos obtenidos en Octubre de 1974 por ENADIMSA, (BENAVENTE -- 1985), los cuales reflejan (fig. 15) utilizando diagramas de -- Stiff la facies hidroqu3mica: en general, BICARBONATADA MAGNE-- SICO-CALCICA, poco cargada en sales y procedente de los mate-- riales carbonatados alpuj3rrides de cabecera. El mapa de isocon-- ductividades de la Fig. 16 seala tambi3n esta salinidad pre-- sente, permiti3ndonos obtener el dato de la distribuci3n de temperaturas de las aguas para esa fecha (Fig. 17).

Los datos posteriores (Julio 1981) apuntan al sostenimiento -- de esta calidad natural (Fig. 18) pero se percibe un ligero -- empeoramiento al aumentar el contenido en sales disueltas.

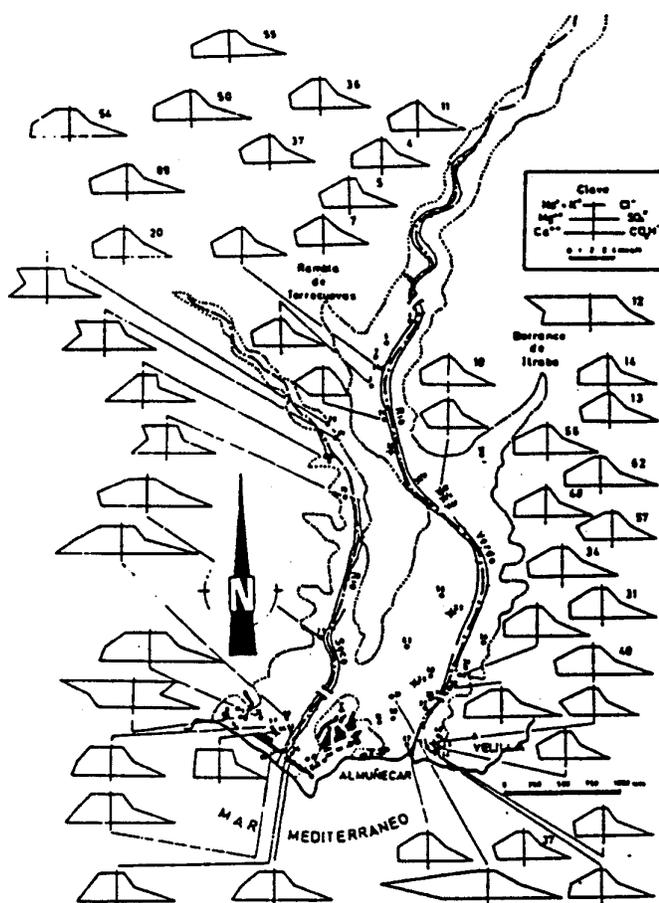


Fig. 15.- Distribución espacial de las principales características hidroquímicas (diagramas poligonales), en algunos puntos del acuífero aluvial de los ríos Verde y Seco (Octubre - 74). Datos del ITGE.

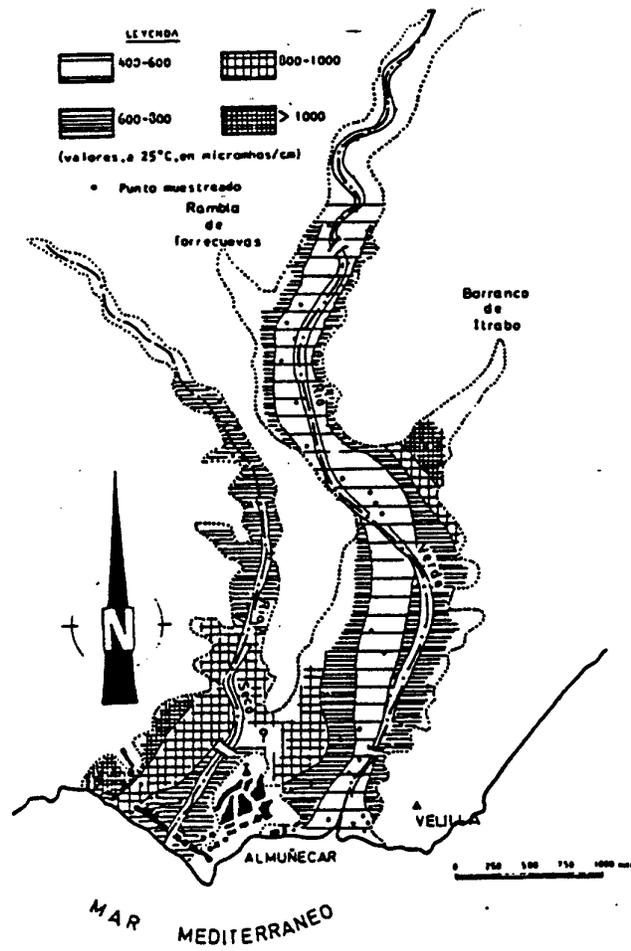


Fig. 16.- Mapa de isoconductividad eléctrica en las aguas del acuífero aluvial de los ríos Verde y Seco (Octubre 74).
(Datos del ITGE)

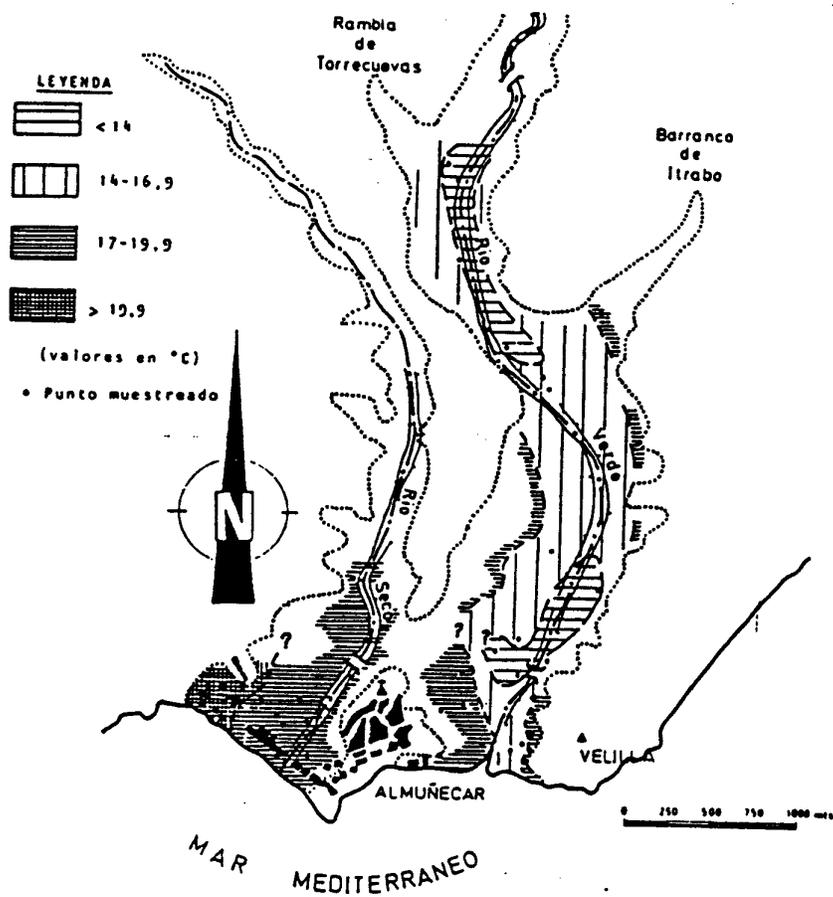


Fig. 17.- Distribución aproximada de las temperaturas de las aguas en el acuífero aluvial de los ríos Verde y Seco (Fecha: 9/10/74) (Datos del ITGE).

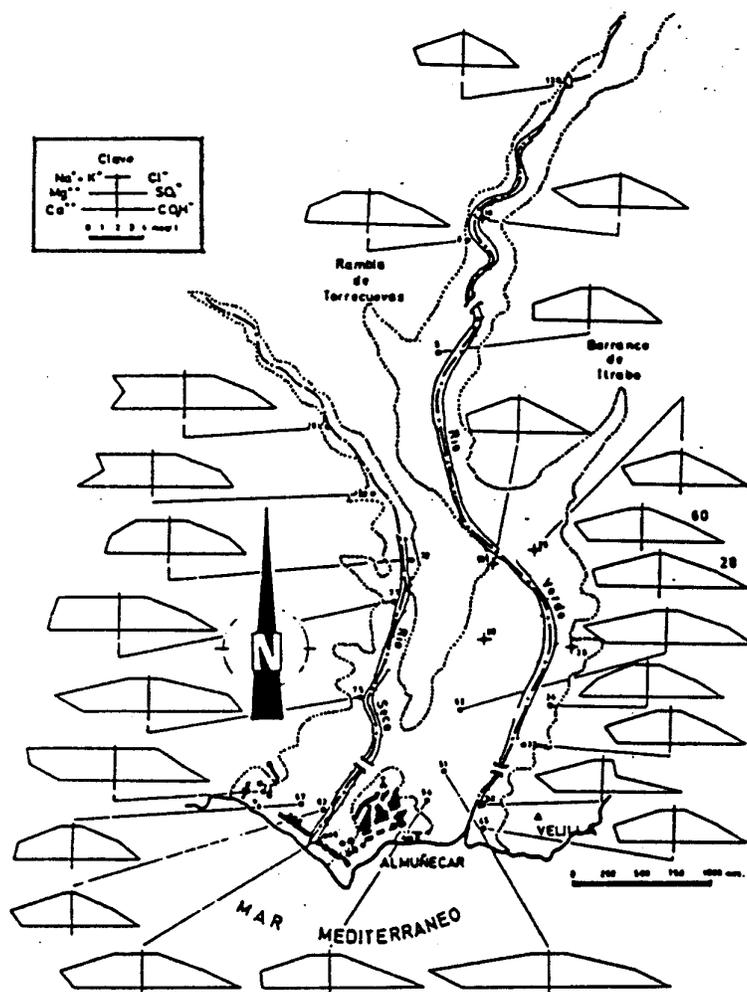


Fig. 18.- Distribución espacial de las principales características hidroquímicas (diagramas poligonales) en algunos puntos del acuífero aluvial de los ríos Verde y Seco (Julio/81). (BENAVENTE, 1985).

Sin embargo, ya los datos recogidos por la CASE en el pasado año (ESTELA, 1987) reflejan el incremento de los iones Cl^- y Na^+ -- hasta 1 km de la costa (Fig. 19), para señalar los últimos de -- los que hay referencia publicada (MOLINA et al, 1988), la exis-- tencia de un claro proceso de contaminación marina fundamental-- mente en la época estival (Figs. 20 y 21), como más adelante de mostraremos.

IV.3. La intrusión marina en el acuífero del río Verde

El incremento de las extracciones a que se venía sometiendo el acuífero aconsejó, allá por el año 1977, establecer un sistema de control de niveles por la CASE, basado en 40 puntos de agua los cuales, con el fin de mejorar la calidad de los datos, fueron sustituidos por 32 en el año 1984. Una rápida visión sobre la evolución piezométrica desde el año 1974 hasta 1987 (MOLINA, et al, 1988) muestra la clara disminución de los niveles (Figuras 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28), consecuencia del aumento en la demanda para regadíos y abastecimiento urbano (de $6,3 \text{ hm}^3$ en 1974 hasta 22 hm^3 en 1987). Estos gráficos señalan el hecho tan espectacular de -- que los niveles negativos ya han rebasado el barranco de -- Itrabo. Un análisis más detallado de la evolución de los niveles donde se señala el progresivo descenso tanto de los niveles -- máximos como mínimos, aparece en la última publicación aludida.

La consecuencia más inmediata de este comportamiento hidrodinámico es una respuesta hidroquímica hacia el aumento generalizado de la salinidad de las aguas por inversión del flujo natural, generando un proceso de intrusión marina. Así, los últimos datos -- expuestos por algunos autores (FERNANDEZ-RUBIO y JALON, 1988) de muestran que, tras el análisis del contenido en cloruros de los sondeos de abastecimiento a Almuñecar (Fig. 29) y como hace -- tiempo se señaló (FERNANDEZ-RUBIO, 1982), existe un comporta -- miento del acuífero de tipo "pistón" con salinizaciones y desalinizaciones casi totales, motivado por las extracciones y recarga.

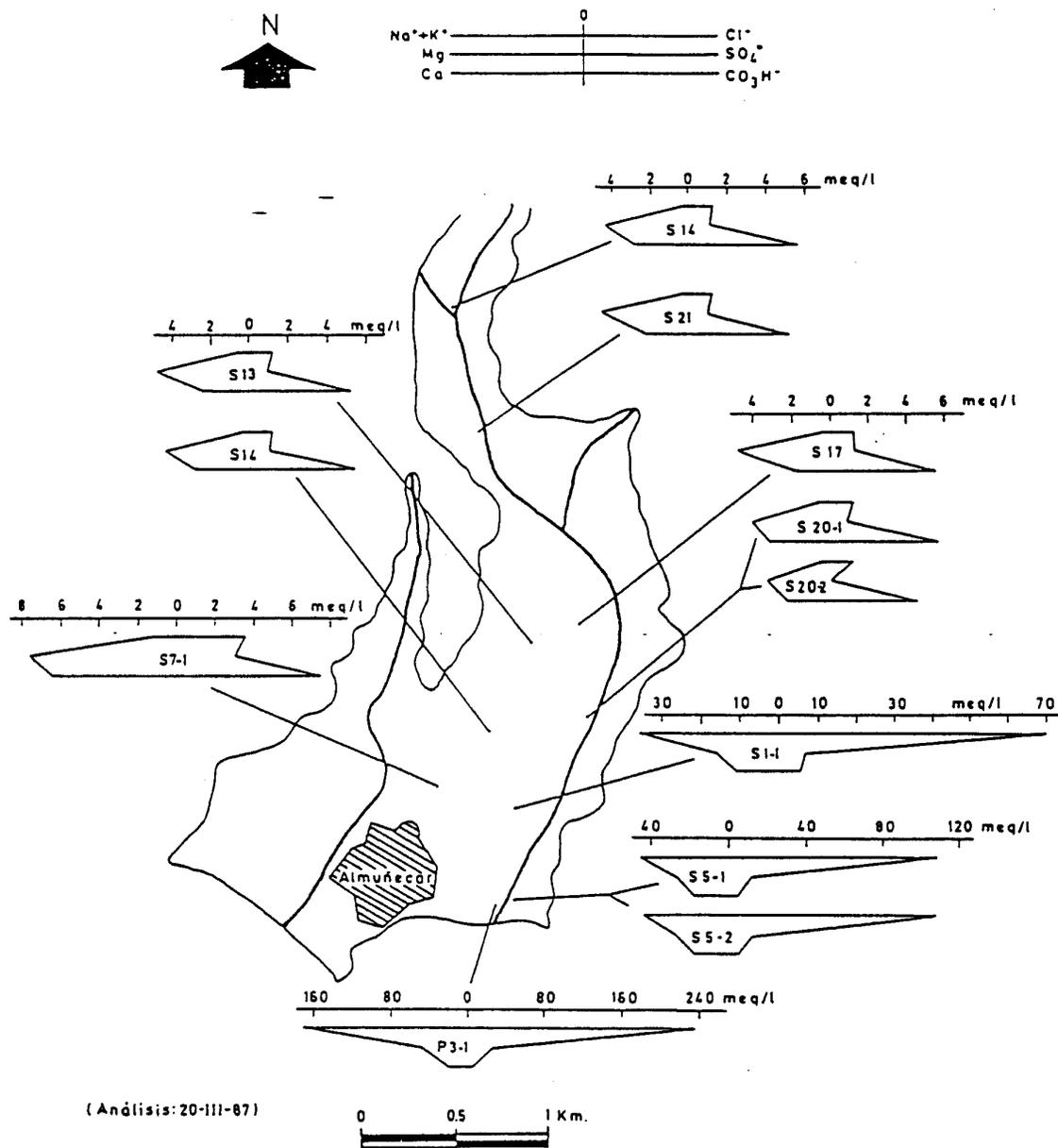


Fig. 19.- Representación espacial del diagrama de STIFF. (RODRIGUEZ et al, 1987).



Fig. 20.- MOLINA et al, 1988



Fig. 21.- MOLINA et al, 1988

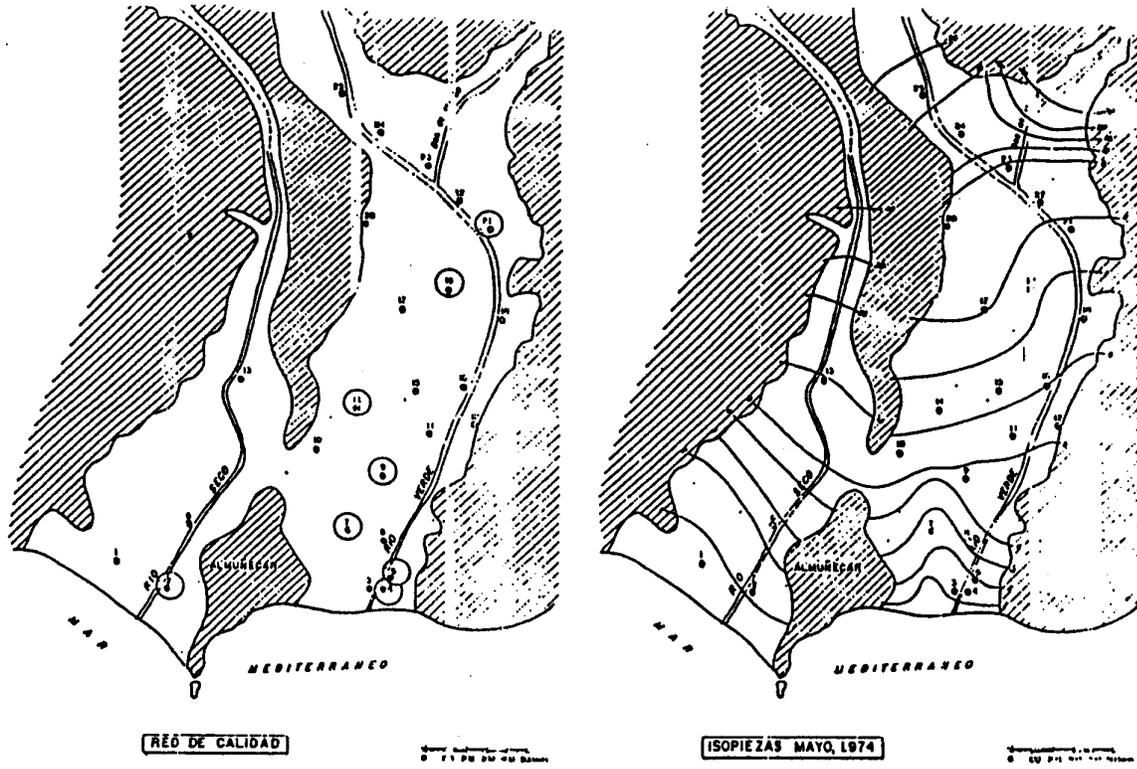


Fig. 22.- (MOLINA et al. 1988)

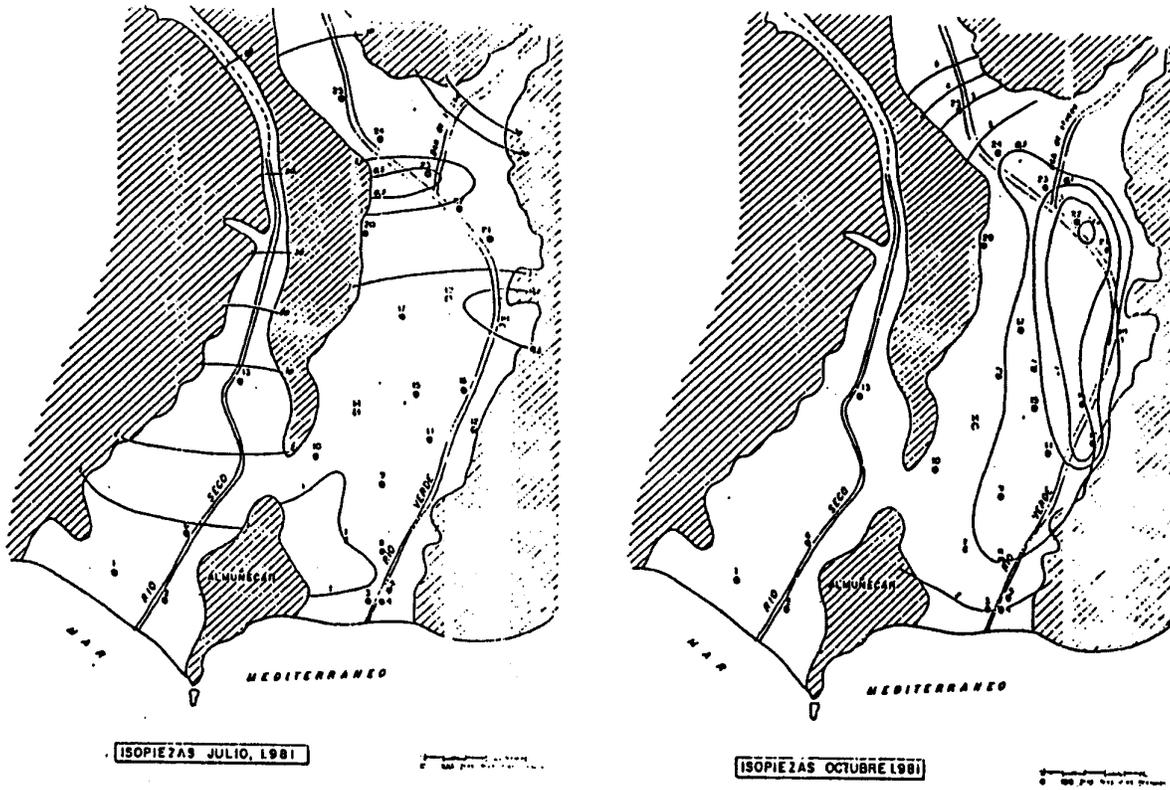
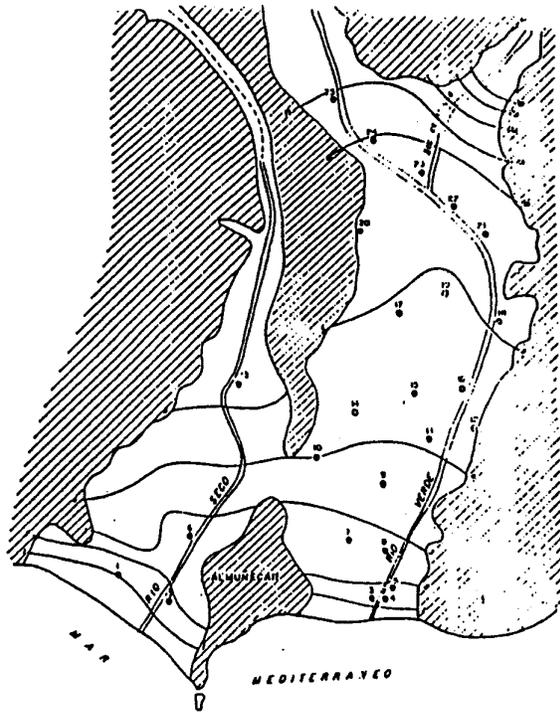
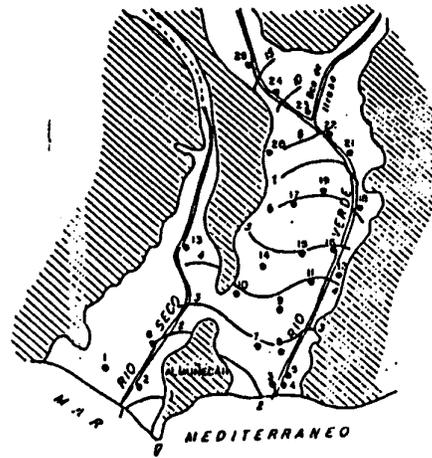


Fig. 23.- (MOLINA et al, 1988)



ISOPIEZAS JUNIO, 1984



ISOPIEZAS FEBRERO, 1985



Fig. 24.- (MOLINA et al. 1988)

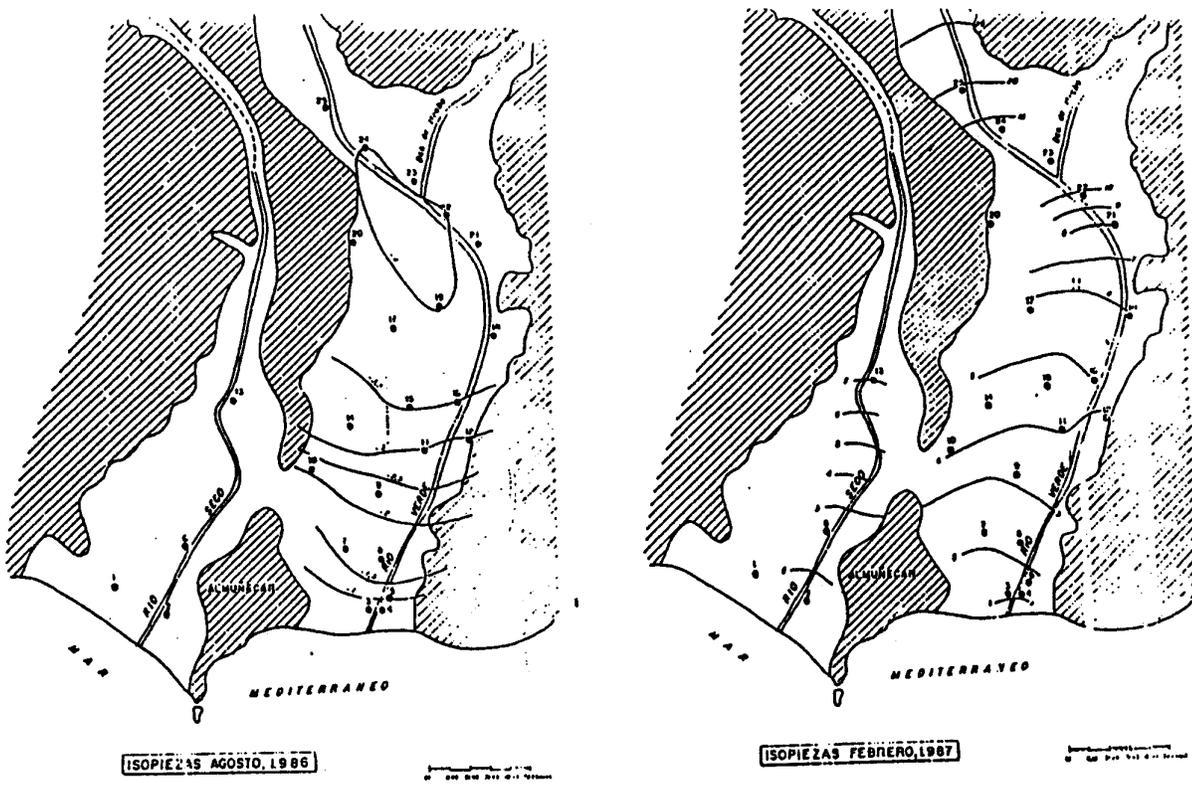


Fig. 27.- MOLINA et al, 1988.

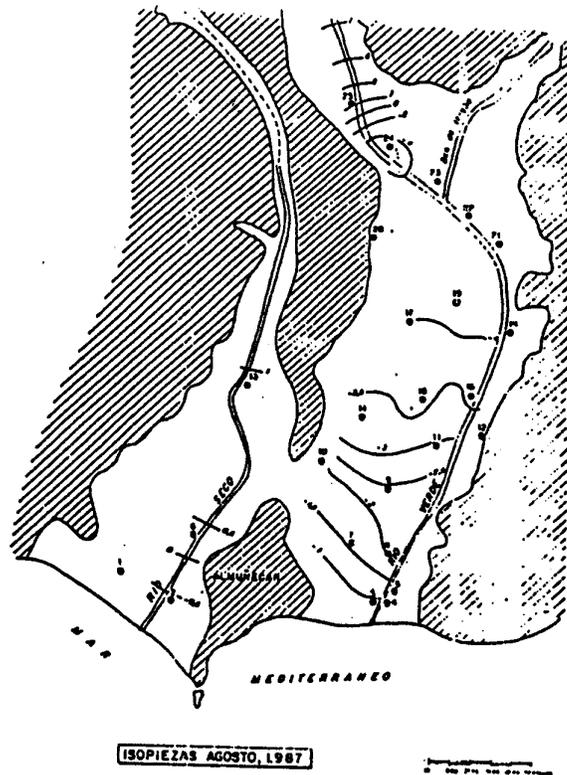


Fig. 28.- MOLINA et al, 1988.

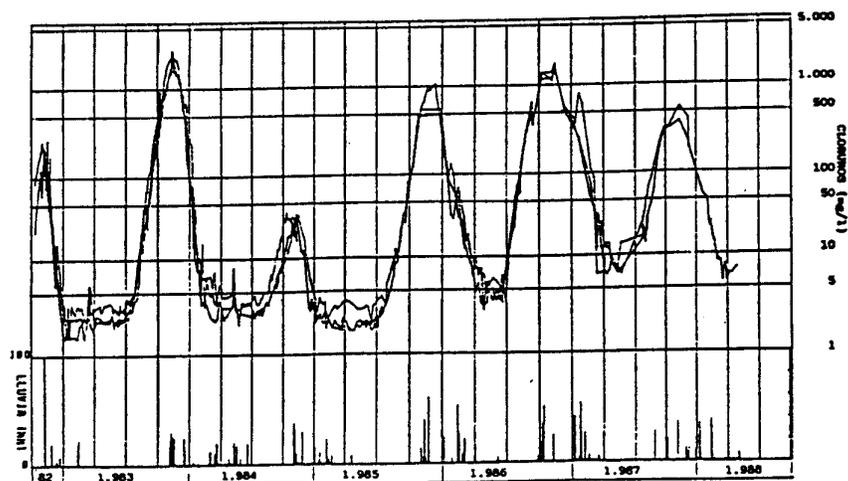


Fig. 29.- Variación, a lo largo del tiempo, del contenido de cloruros, en los sondeos de abastecimiento de Almuñecar (expresado en escala semilogarítmica). (FERNANDEZ-RUBIO y TACON, 1988).

Igualmente, estos autores ponen de manifiesto que la explotación viene consumiendo no sólo recursos, sino también reservas lo que supone una degradación paulatina de la calidad año tras año, por la intrusión marina provocada, con períodos cada vez más cortos de recuperación parcial y contenido cada vez mayor de sales.

Para finalizar, son varias las medidas propuestas para paliar este proceso, resultando ampliamente tratado en la publicación de FERNANDEZ-RUBIO (1988) "Almuñecar - Intrusión salina. Soluciones a un problema", expuesto en el TIAC'88 (Almuñecar. Granada).

V. BIBLIOGRAFIA

FERNANDEZ-RUBIO, R. et al (1988 a)

"Hidrogeología de los acuíferos del sector occidental de la Costa de Granada".
Tomo II (239-265). TIAC'88. Almuñécar (Granada).

JALON, M. (1988 b)

"Nuevos datos sobre el proceso; Salinización-desalinización del acuífero aluvial de Río Verde (Almuñécar)".

Tomo III (413-438). TIAC'88. Almuñécar (Granada).

CARRASCO SANTOS, Francisco y GUZMAN DEL PINO, J.L. (1988)

"Los acuíferos costeros de la Cuenca Sur. Síntesis del Plan Hidrológico".

Tomo III (491-504). TIAC'88. Almuñécar (Granada).

MOLINA COBOS, A. et al (1988)

"Datos referentes al control de la explotación del acuífero detrítico del Río Verde. Almuñécar (Granada)".

Tomo III (395-412). TIAC'88. Almuñécar (Granada).

FERNANDEZ-RUBIO, R. (1988)

"Almuñécar-Intrusión salina. Soluciones a un problema".

Tomo III (427-438). TIAC'88. Almuñécar (Granada).

BENAVENTE HERRERA, J. y CALVECHE QUESADA, M.L. (1988)

"Estimación de la permeabilidad en el acuífero costero de Almuñécar".

Tomo III (385-393). TIAC'88. Almuñécar (Granada).

CALVECHE QUESADA, M.L. y BENAVENTE HERRERA, J. (1988)

"Nuevos datos sobre la geometría del acuífero costero de Almuñécar (Granada).
Aportación al conocimiento de la porosidad eficaz y de las reservas".

Tomo III (375-384). TIAC'88. Almuñécar (Granada).

.../...

DOMINGUEZ DE LA RASILLA; S. et al. (1988)

"El método de polarización inducida como técnica de apoyo al estudio de las intrusiones marinas. Aplicación a los acuíferos de Almuñécar y Castell de -- Ferro (Granada)".

Tomo III (361-373).

BENAVENTE HERRERA, J. (1982)

"Contribución al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos costeros de la provincia de Granada".

Tesis Doctoral. Univ. Granada. 571 p. Granada.

FERNANDEZ-RUBIO, R. et al (1982)

"Proceso de salinización-desalinización en el acuífero costero del Río Verde (Almuñécar (Granada)).

Simp. Agua Andalucía, II (303-313). Granada.

BENAVENTE HERRERA et al. (1983)

"Síntesis hidrogeológica de la vertiente mediterránea de la provincia de Granada".

Hidrog. Recursos Hidrid. VIII (183-202). Madrid.

(1984)

"Relaciones entre acuíferos kársticos y detríticos en el sector costero de - la provincia de Granada".

Reun. Monogr. Karst. '82 (275-289). Navarra.

(1984)

"Intrusión marina en el acuífero costero del Río Verde (Granada)"

I. Congreso Español Geol. IV. 75-86. Segovia.

BENAVENTE HERRERA, J. (1985)

"Las aguas subterráneas en el Costa del Sol de Granada"

Serv. Publ. Univ. Granada. 336 pág. Granada.

BENAVENTE HERRERA, J. et al (1982)

"Estudio hidrogeológico de los ríos Verde y Seco en el término municipal de Almuñécar (Granada)".

195 pág. Granada.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1983)

"Litología Subterránea".

Ed. Omega. Barcelona.

RODRIGUEZ, E. et al (1987)

"Estudio hidrológico del Sureste costero de Granada".

Universidad de Granada (inédito).

CHICA, M. (1981)

"Aplicaciones de la Geoestadística a la Hidrogeología".

Tesis de Licenciatura (inédita). Universidad de Granada 151 p.

LOPEZ LOPEZ, J.F. (1974)

"Estudio hidrogeológico de los ríos Seco y Verde - Almuñécar (Granada). Trabajo monográfico (inédito). Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Granada.

EL ACUIFERO ALUVIAL DE CASTELL DE FERRO

(GRANADA)

I N D I C E

- I. MARCO GEOGRAFICO
 - I.1. Localización del acuífero de Castell de Ferro
 - I.2. Geografía física
 - I.2.1. Geomorfología y vegetación
 - I.3. Geografía humana y económica
 - I.4. Parámetros climatológicos

- II. MARCO GEOLOGICO
 - II.1. Localización geológica regional
 - II.2. Estratigrafía y tectónica

- III. MARCO HIDROLOGICO
 - III.1. Hidrología superficial
 - III.2. Hidrología subterránea
 - III.2.1. Geometría del acuífero
 - III.2.2. Puntos de agua
 - III.2.3. Parámetros hidrodinámicos
 - III.2.4. Balance hidráulico
 - III.2.5. Características hidroquímicas
 - III.3. Intrusión marina

- IV. BIBLIOGRAFIA

I. MARCO GEOGRAFICO

I.1. Localización del acuífero de Castell de Ferro

El acuífero fluvial de Castell de Ferro se sitúa en el sector oriental de la costa granadina, dentro de la denominada Alpujarra Baja y en la vertiente meridional de la Sierra de Lujar (Fig. 1). En la zona litoral del acuífero se encuentra la población de Castell de Ferro, atravesada por la N-340 Almería-Málaga y núcleo más importante de la cuenca de las ramblas de Gualchos y Ancha.

I.2. Geografía física

I.2.1. Geomorfología y vegetación

Este acuífero aluvial de unos 3 km² está constituido por los detritus de las ramblas antes mencionadas y situadas dentro de una cuenca con cursos fluviales de pendientes elevadas, al presentar las alineaciones montañosas que los rodean, puntos culminantes por encima de los 1.800 m. Esta circunstancia unida al carácter irregular de las escasas precipitaciones y práctica ausencia de cobertura vegetal, genera una importante morfología erosiva con períodos de avenidas extraordinarias.

I.3. Geografía humana y económica

La población del sector oriental granadino en el año 1981 era de 16.537 habitantes y la prevista para el año 2.000 de 20.400, crecimiento demográfico que, aunque centrados en poblaciones litorales como Castell de Ferro (3.000 habitantes), supone densidades inferiores al resto de la costa granadina (CASTILLO et al, 1986).

La principal actividad económica del sector es la agricultura. A este respecto conviene distinguir entre las modernas prácticas de cultivos forzados de hortalizas, bajo plástico y/o enarenados, y las tradicionales labores de secano, fundamentalmente almendro y viñe--

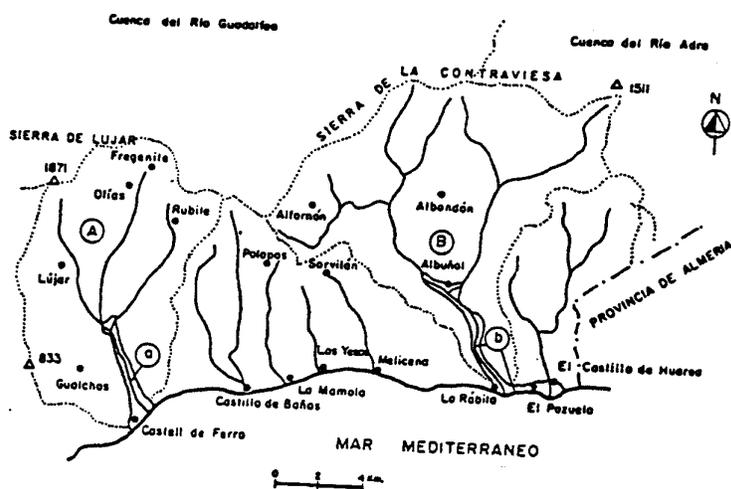


Fig. 1.- Ambito hidrológico y principales núcleos de población del sector oriental de la Costa de Granada. A: rambla de Gualchos; B: rambla de Albuñol; a) acuífero de Castell de Ferro; b) acuífero de Albuñol-La Rábita-El Pozuelo.

do, cultivo éste que constituyó una fuente importante de riqueza, dando paso al predominio del primero.

I.4. Parámetros climatológicos

La precipitación sobre la cuenta está comprendida entre --
300-800 mm/año en la zona litoral y de la sierra, respectivamen--
te. Estos valores de precipitación se producen en un número redu-
cido de días: 30-45 por lo general, lo que conduce a valores me--
dios de intensidad de 10 mm/día, aunque no son raras las que supe-
ran los 50 mm en un día, generando avenidas. El máximo de precipi-
tación se produce en Diciembre y el mínimo en Julio y Agosto.

La temperatura media anual, en el borde litoral, es de 18°C y dis-
minuye hacia el interior con un gradiente aproximado de --
0.4°C/100 m. Enero es el mes más frío, generalmente, y Julio y -
Agosto los más cálidos.

Según los expertos, el régimen climático es de tipo semiárido.

II. MARCO GEOLOGICO

II.1. Localización geológica regional

El acuífero de Castell de Ferro está formado por materiales de naturaleza aluvial (gravas, arenas y limos) depositados sobre un conjunto paleozoico fuertemente tectonizado, un manto de corrimiento del Complejo Alpujárride fundamentalmente metapelíticos (micaesquistos, filitas, cuarcitas y calcoesquistos) aunque existen afloramientos carbonáticos en la cuenca asociados al manto de Lújar y al manto de Murtas (Fig. 2).

II.2. Estratigrafía y tectónica

En la Fig. 2 aparece un esquema geológico de los materiales que constituyen la cuenca de las ramblas de Gualchos y Ancha. En general, se trata de materiales aluviales (Qa1), una estrecha franja de gravas y arenas de playa (Qp) y un pequeño afloramiento de conglomerados (Qc) en su extremo Suroccidental.

Bajo estos depósitos detríticos postorogénicos cuaternarios aparece un sustrato metapelítico paleozoico (M_1) constituido por micaesquistos, cuarcitas y filitas pasando, hacia techo, a materiales tipo calcoesquistos y mármoles del triásico inferior (M_2). Este conjunto de términos forman el manto de Murtas y afloran fundamentalmente en las proximidades de Castell de Ferro y Gualchos.

Hacia cabecera y en posición geométrica inferior dentro del apilamiento de mantos del Complejo Alpujárride, afloran depósitos calcáreos y dolomíticos (L_2) pertenecientes al manto de Lújar de edad triásica con geometría de ventana tectónica y que constituyen un acuífero, por fisuración y karstificación, de importancia regional.

La relación tectónica entre ambos mantos resulta de gran importancia hidrogeológica, pues permitiría explotar el acuífero calcáreo de la ventana tectónica de la Sierra de Lújar en el acuífero de -

Castell de Ferro si la hipótesis estructural de ALDAYA (1981) - fuera correcta (Fig. 3A1). Sin embargo, una hipótesis más reciente (ESTEVEZ et al, 1985) señala hacia una inversión en el flanco Sur de la Sierra de Hajar (Fig. 3 A2), situación estructural que provocaría la tendencia a efectuarse el drenaje hacia la cuenca del río Guadalfeo.

En general, y según los sondeos efectuados por la CASE (9 en -- concreto) parece existir un nivel basal con predominio de materiales limo-arcillosos y que puede englobar grandes cantos del sustrato, de hasta 10 m de espesor. Hacia arriba este nivel pasaría tras una zona con mayor predominio de fracción arenosa fina, a un nivel de arenas gruesas y mezclas, especialmente bien desarrollado en las proximidades del borde costero (24-12 m).- A techo, de nuevo la capa arenosa fina fosilizaría el conjunto.

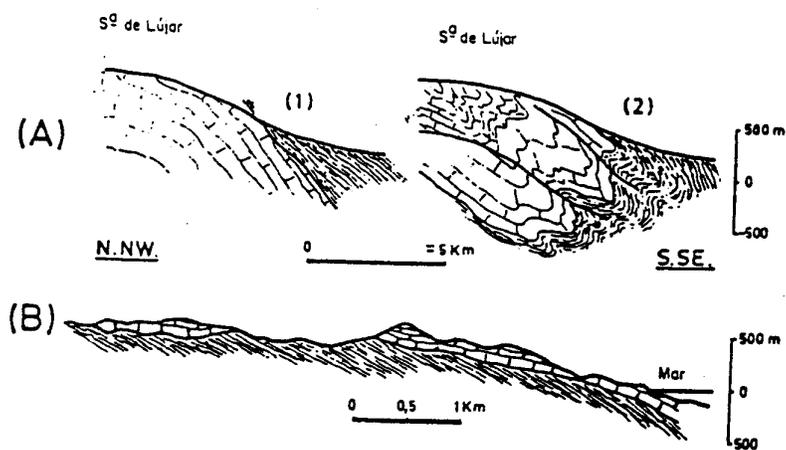


Fig. 3.- A) Esquema geológico del borde septentrinal de la sierra de Lújar (1: según ALDAYA, 1981; 2: según ESTEVEZ et al, -- 1985).

B) Geometría de los afloramientos carbonatados del manto de Murtas entre Gualchos y Castell de Ferro (BENAVENTE, -- 1987).

III. MARCO HIDROLOGICO

III.1. Hidrología superficial

El drenaje superficial del acuífero de Castell de Ferro no se realiza en su totalidad por la rambla de Gualchos, la más -- importante y extensa del aluvial, sino que la parte Surocci-- dental de la cuenca lo hace hacia la rambla ancha o del Soti-- llo, que desemboca al Noroeste del núcleo de Castell de -- Ferro. Aún así, la principal recarga del acuífero aluvial es a través del carbonatado subyacente, pués dada la escasez de precipitación y que cuando ésta se produce sin carácter puntual y tormentoso conlleva a la práctica ausencia de infiltra-- ción, sobre todo si se tiene en cuenta la escasa cubierta ve-- getal existente en el área.

III.2. Hidrología subterránea

III.2.1. Geometría del acuífero

El acuífero de Castell de Ferro se extiende de Norte a Sur -- con una longitud de 5 km y una anchura variable entre 200 y - 700 m, según los sectores y ocupa una superficie de unos -- 3 km².

Los materiales aluviales adquieren cierta entidad areal aguas abajo del núcleo de Los Carlos (Fig. 4) donde confluyen la -- rambla de Lújar y de Rúbete para formar la de Gualchos. Unos 2 km aguas abajo confluye hacia el acuífero la rambla de Soti-- llo que mantendrá una dirección paralela a la anterior hasta su desembocadura en el extremo Suroccidental del acuífero.

El acuífero, en su parte alta y media, aparece limitado prácti-- camente por materiales impregnables, tanto de forma lateral - como en profundidad (BENAVENTE et al, 1988). En el sector cos-- tero, por otro lado, el acuífero aparece limitado lateralmen-- te al Oeste por los mármoles de techo del manto de Murtas, -- los cuales, dado su carácter karstificado, constituyen acuí-- fero. Desgraciadamente, este acuífero carece de importancia -

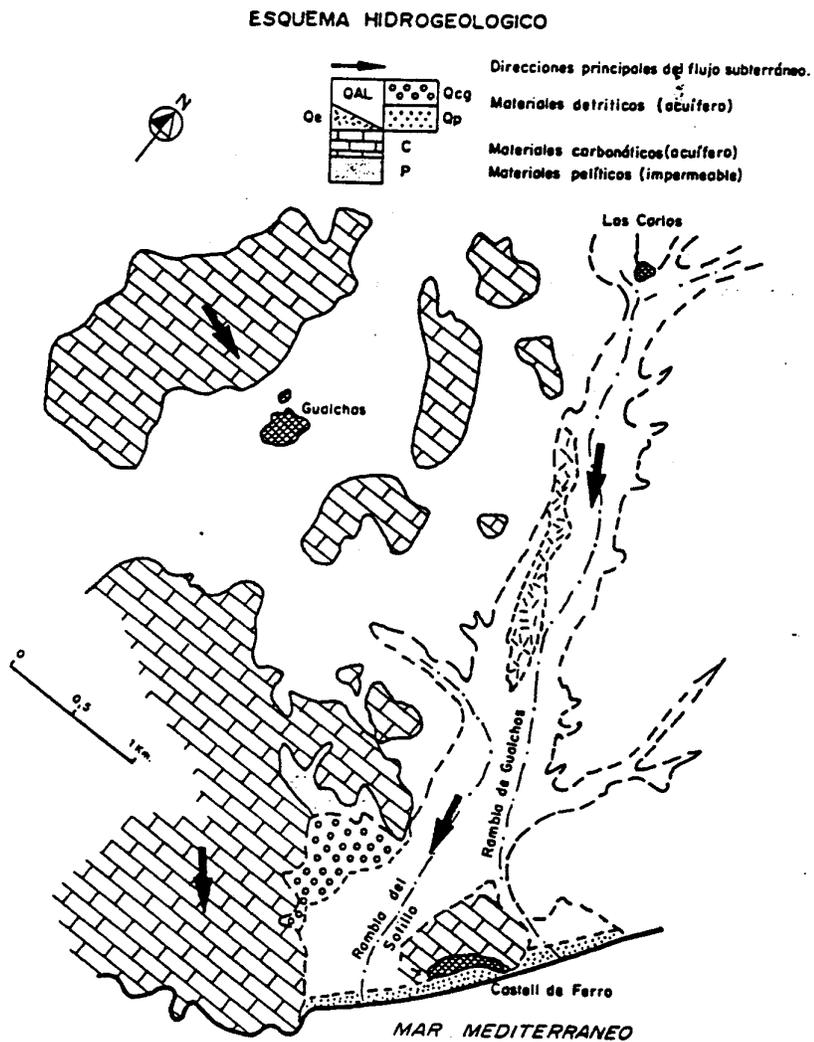


Fig. 4.- Esquema hidrogeológico del acuífero aluvial de la rambla de Gualchos y sus bordes. (BENAVENTE et al., 1988).

hidrogeológica dado que se encuentra geométrica y topográficamente "colgado" sobre las metapelitas basales (Fig. 3B) y su drenaje se efectúa según pequeños manantiales de base o bien directamente al mar (BENAVENTE, 1987). Debido a su disposición geométrica es probable que estos materiales permeables constituyan el sustrato del acuífero detrítico en este sector litoral, con las consecuencias tan perjudiciales a que -- ello conlleva, como más adelante veremos.

Otros acuíferos detríticos existentes, aunque de menos importancia, son los términos terrígenos playeros (Qp) y al Oeste de la rambla del Sotillo, un pequeño afloramiento conglomerático a modo de cono de deyección cementado (Qcg). Por último, en determinadas áreas del actual cauce de Gualchos permanecen retazos colgados groseros en terrazas fluviales (Qe), como se esquematiza en la Fig. 4.

De los sondeos efectuados por la CASE se puede concluir que -- el mayor espesor del acuífero se corta en el extremo final de la rambla de Sotillo, con 56 m de potencia. El espesor medio desde Los Carlos hasta el litoral es de 36 metros.

III.2.2. Puntos de agua

En la Fig. 5 se representa la situación de los puntos de -- agua en el acuífero de Castell de Ferro, según el inventario -- del ITGE en 1985. Se observa una mayor concentración de -- explotaciones en la rambla del Sotillo con predominio de los pozos excavados.

En la Fig. 6 se presenta una estimación de la utilización y magnitud de las extracciones bombeadas (ITGE, 1987 b), las cuales, y según la citada fuente, para el año 1985-86 superan los $1'6 \text{ hm}^3/\text{año}$. Los máximos volúmenes bombeados corresponden a los meses de Marzo, Abril, Julio, Agosto y Septiembre, mientr

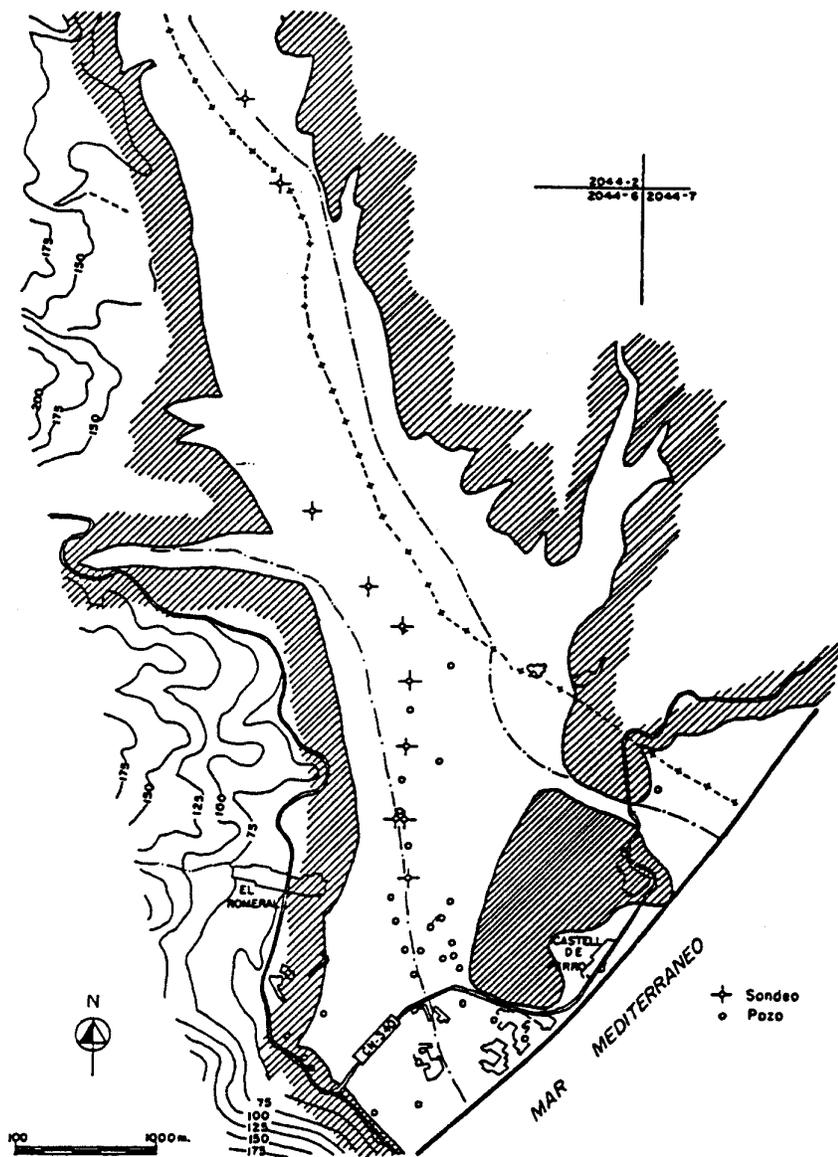


Fig. 5.- Puntos de agua en el acuífero de la rambla de Gualchos (ITGE 1985).

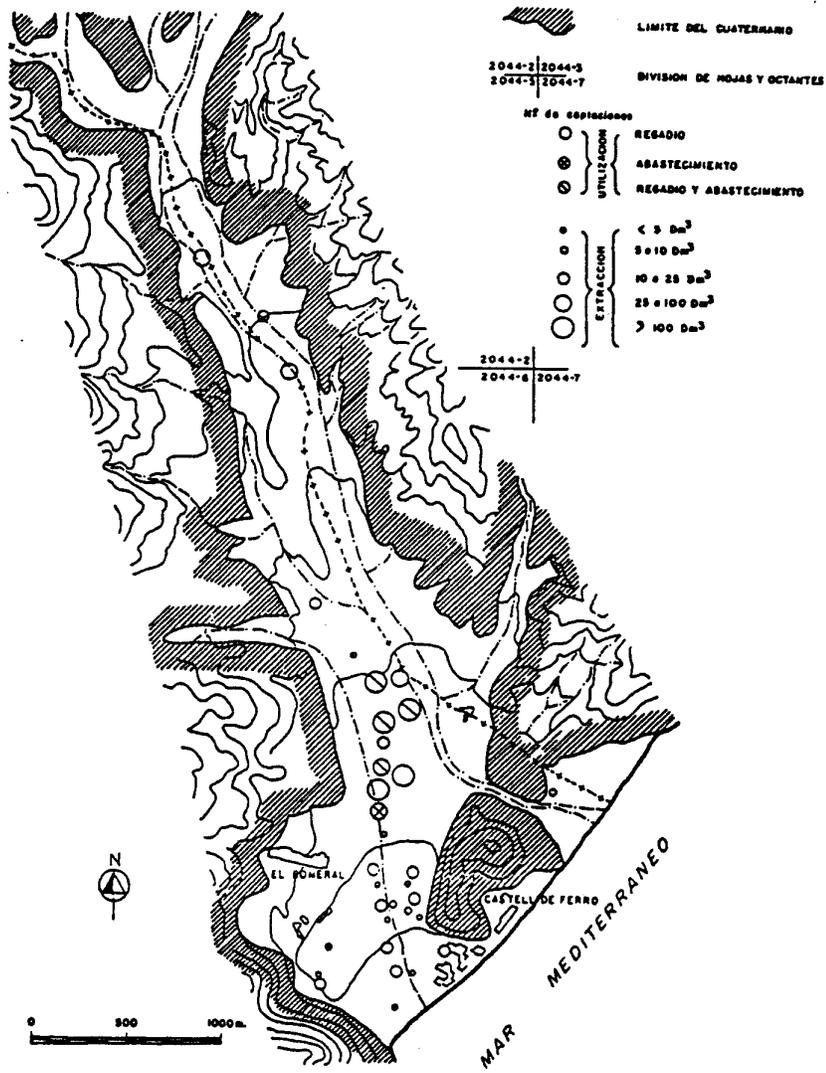


Fig. 6.- Explotaciones de la rambla de Gualchos, clasificadas por empleo y caudal (ITGE; 1987b).

tras que los mínimos ocurren en Enero, Junio y Diciembre. De otro lado, el 90% de la explotación lo concentran sólo y en las captaciones situadas a 1 km al Norte de Castell de Ferro, cerca del cauce de la rambla del Sotillo.

La utilización principal del volumen extraído es para riego y abastecimiento de los núcleos de Castell de Ferro y Gualchos.

Respecto a los puntos de control piezométrico e hidroquímico (Fig. 7), comentaremos que se basan en los 9 piezómetros de la CASE y los limnigrafos de dicho organismo y el ITGE. Igualmente, se han realizado campañas de registro piezométrico en otros numerosos puntos del acuífero, tanto por el ITGE como por otros investigadores (BENAVENTE, 1982, TERRON, 1983).

III.2.3. Parámetros hidrodinámicos

Los primeros datos a este respecto los aporta BENAVENTE (1982) a partir de un ensayo de bombeo realizado por el SGOPI en las inmediaciones del piezómetro nº 4 en 1973. Los valores arrojados de transmisividad (T) fueron de 4300 m²/día, lo que, según el espesor saturado, indica una permeabilidad media (K) del orden de 170 m/día.

Más adelante, se han realizado otras pruebas (TERRON, 1983 - CASE) que obtienen los valores más frecuentes de T entre 500 y 1500 m²/día. Sin embargo, la representatividad de estos ensayos es escasa dada la corta duración del mismo y su realización se ubicó en pozos excavados con poca penetración bajo el nivel piezométrico.

En base a los datos obtenidos en los piezómetros de la CASE, el espesor saturado en la mitad septentrional del acuífero -

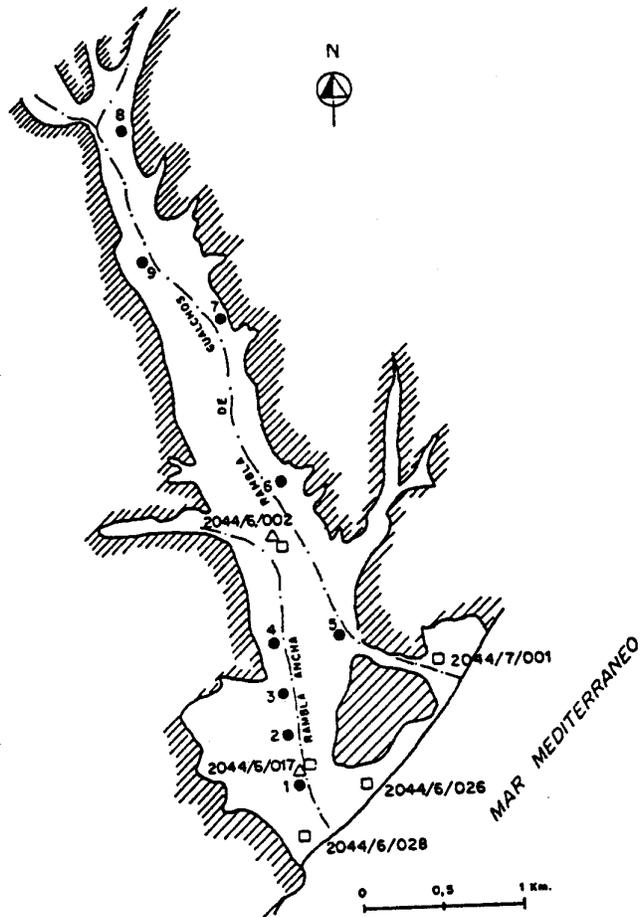


Fig. 7.- Control en el acuífero de la rambla de Gualchos.

- (●) Piezómetros de la CASE en el nº 2 existe también limnógrafo.
 - (△) Limnógrafos del ITGE
 - (□) Control de calidad e intrusión del ITGE
- (BENAVENTE et al, 1988).

se sitúa entre 2-8 m, mientras que en la rambla del Sotillo, donde existe la mayor concentración de explotaciones, el espesor aumenta progresivamente hacia el borde costero desde 10-40 metros.

III.2.4. Balance hidráulico

La alimentación mayoritaria del acuífero procede de la infiltración de la escorrentía superficial generada sobre los materiales impermeables que integran la cuenca vertiente -- (80 km²).

El sector carbonatado de cabecera, con mayor aporte pluviométrico, permite la infiltración de las precipitaciones, integrando el caudal así obtenido en un sistema de flujo subterráneo con salida a otras cuencas adyacentes.

La aportación media al acuífero varía entre 2-8 hm³/año (BENAVENTE y TERRON, 1983), aunque datos más recientes lo cifran en 2'5 hm³/año (BENAVENTE et al, 1988).

Las salidas se pueden evaluar en unos 2 hm³/año o algo más y corresponden a bombeos para regar unas 300 ha en un 80% y el abastecimiento de una población de unos 3.000 habitantes el resto.

Las cifras anteriores ponen de manifiesto que la descarga natural hacia el mar debe ser bastante reducida (0.5 hm³/año) - y se concentrará en los períodos del año en que la relación bombeo/recarga sea menor (BENAVENTE et al, 1988). Esto permitirá que en el resto de las épocas puedan existir períodos - en que el balance puede resultar claramente negativo con procesos de inversión de flujo provocando problemas de contaminación marina.

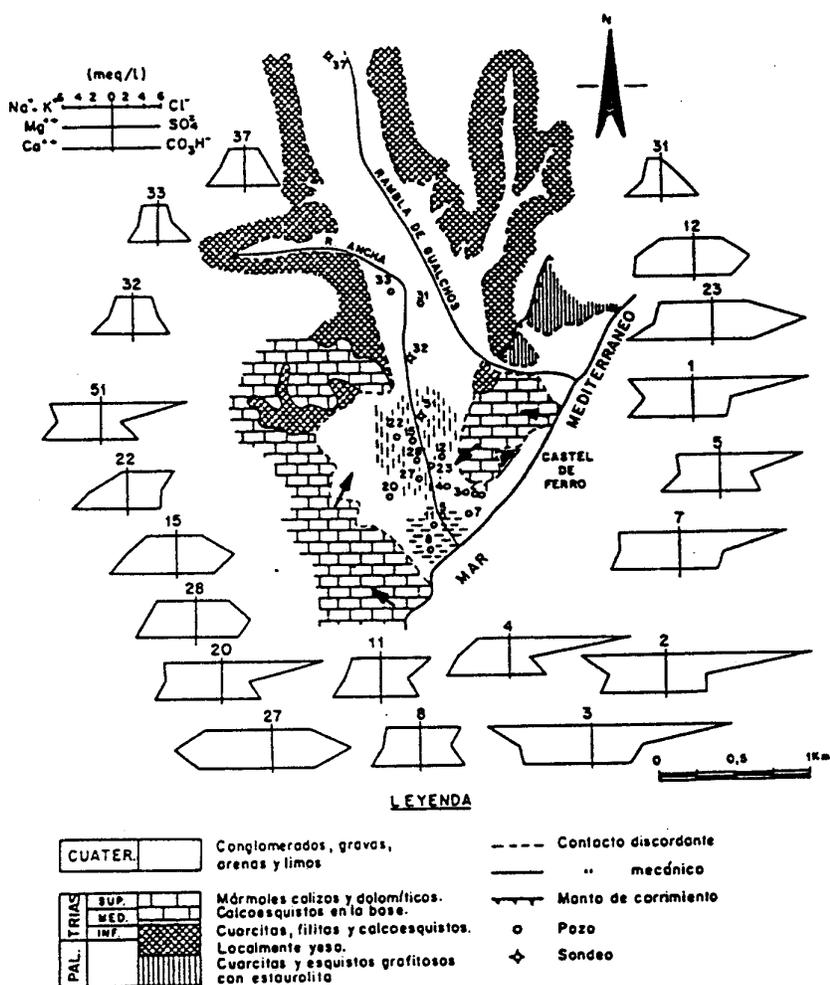
III.2.5. Características hidroquímicas

De los estudios a este respecto efectuados (BENAVENTE y CALVA CHE, 1981; BENAVENTE, 1982; TERRON, 1983; BENAVENTE y TERRON 1983) se puede resumir la presencia de aguas con diferente salinidad y facies a lo largo de todo el acuífero (Fig. 8). Estas últimas se pueden clasificar entre y según los sectores, aunque se observa un incremento generalizado de la salinidad hacia la costa. Los tres sectores son (Fig. 9).

- Sector de cabecera: facies carbonatada cálcica con concentraciones inferiores a 800 mg/l, aunque existen contenidos en sulfatos, cloruros, magnesio y sodio por encima de lo esperado en un área de recarga, seguramente resultado de atravesar los términos metapelíticos.
- Sector central: Existe un aumento progresivo de la mineralización de las aguas (por encima de 2000 mg/l) con facies sulfatadas cálcicas y/o magnésicas, cuyo origen debe responder al lavado de sedimentos evaporíticos presentes en la franja superior del sustrato. En este sector parece existir una cierta estratificación hidroquímica, con aguas cada vez más sulfatadas en profundidad manifestada por los resultados de perforaciones, así como una mayor profundidad del detritus aluvial. De otro lado, los procesos de recirculación debido al retorno de riegos elevan las concentraciones de nitratos a más de 300 mg/l.

Los puntos más cercanos al borde carbonático occidental -- (núms. 20, 22 y 51) presentan facies clorurada cálcica debido seguramente, a la inversión del gradiente hidráulico en dicho sector, favoreciendo la penetración a favor del acuífero carbonatado, más transmisivo, de aguas salobres correspondientes a la interfase agua dulce-salada.

Por último, el índice de cambio de bases señala un endurecimiento relativo de las aguas (nº 22) consecuencia del in-



Geología según IGME (1981) : Hoja MAGNA N° 1056 (Albuñol)

Fig. 8.- Esquema hidroquímico del acuífero de la rambla de Gualchos. los trazos verticales corresponden al sector en el que el nivel piezométrico desciende bajo el mar. Los trazos horizontales discontinuos señalan la existencia de un umbral piezométrico ligeramente por encima del nivel del mar. Las flechas indican el posible sentido de penetración de la intrusión marina (BENAVENTE y TERRON, 1983).

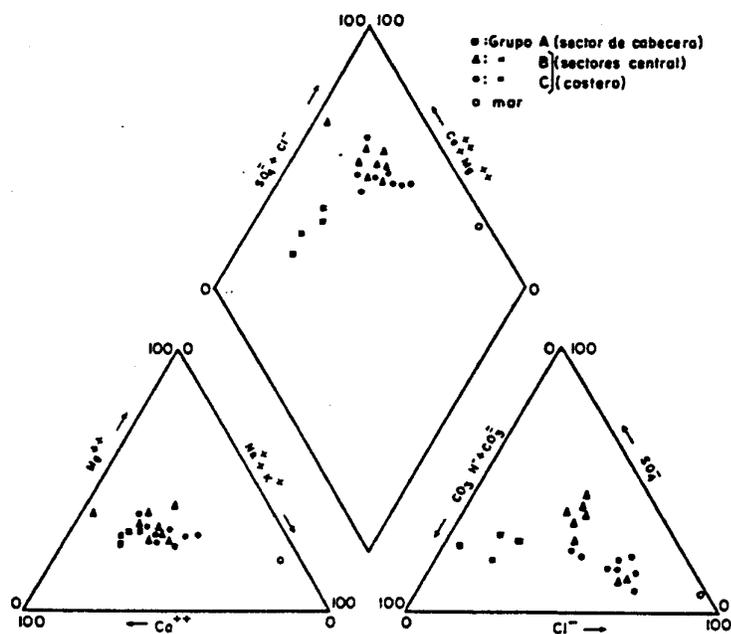


Fig. 9.- Representación, en diagrama triangular, de las proporciones iónicas, correspondientes a los puntos muestreados en el -- acuífero de la rambla de Gualchos (BENAVENTE y TERRON, 1983).

tercambio iónico de las aguas de origen marino con las continentales.

- Sector costero: presenta una facies mixta bicarbonatada-clorurada cálcico-sódica, consecuencia de la mezcla entre los excedentes de riegos procedentes de agua de la red urbana -- (captadas en cabecera por el nº 32) y aguas de origen marino. Al igual que en el sector anterior, dicha influencia es más patente en los puntos más próximos al acuífero carbonático - (núms. 4, 5 y 7). En esta zona se siguen manifestando los -- procesos de cambio iónico en el sentido anteriormente expuesto.

III.3. Intrusión marina

En la Fig. 10 se refleja el comportamiento relativamente rápido en el sector de cabecera (P-8) en relación con la infiltración de la eventual escorrentía superficial con un régimen de influencia pluvial. Por el contrario, el resto de los piezómetros, situados en el sector central de la rambla del Sotillo - registran una influencia marcada por el régimen de bombeo de los sondeos. Así, los ascensos se localizan en verano, ya que entonces apenas se cultiva en el sector, y los valores mínimos aparecen al final de la primavera por la razón contraria. A veces es patente también el agotamiento natural al término -- no de las situaciones de estiaje (Fig. 11), con niveles por debajo de la cota cero, así como sondeos muy cerca de las áreas sobreexplotadas (P-4) con idénticas características.

La evolución hidroquímica del acuífero también apunta hacia un marcado proceso de intrusión marina, Así, la Fig. 12 representa un resumen de las características hidroquímicas en muestras -- treos realizados desde 1981-86, observándose, por ejemplo, como la concentración media de cloruros ha aumentado considerablemente (BENAVENTE, 1987).

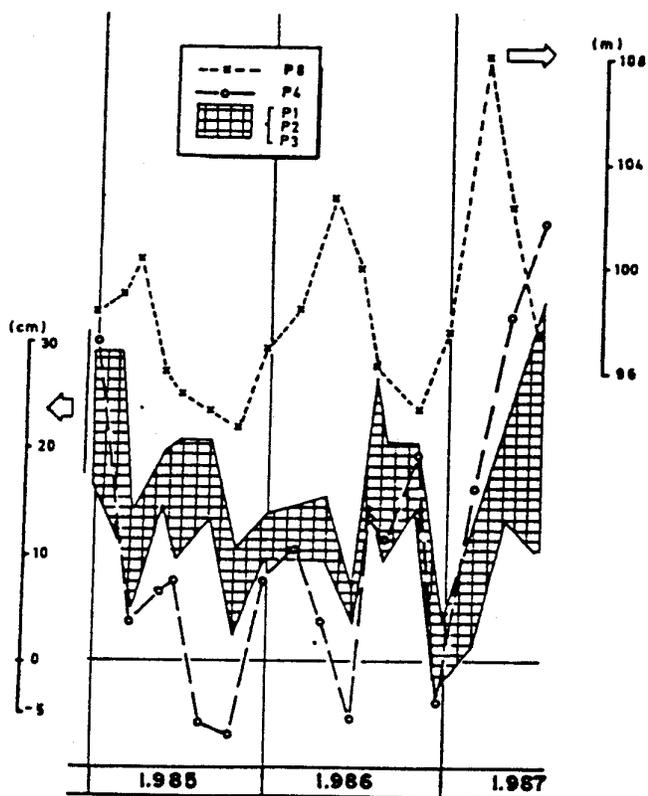


Fig. 10.- Oscilaciones de nivel en los piezómetros de la CASE.
(BENAVENTE ET AL; 1988).

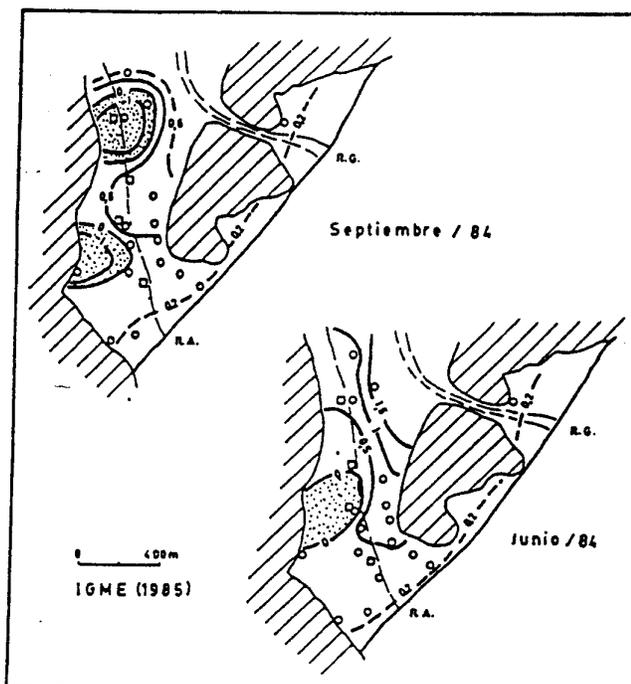


Fig. 11.- Isopiezas correspondientes al sector inferior del acuífero de la rambla de Gualchos (Junio y Septiembre de 1984). El punteado corresponde a piezometría bajo el mar.

(□) Piezómetros de la CASE.

(○) Puntos de agua empleados para el dibujo de las isopiezas

(BENAVENTE, 1987)

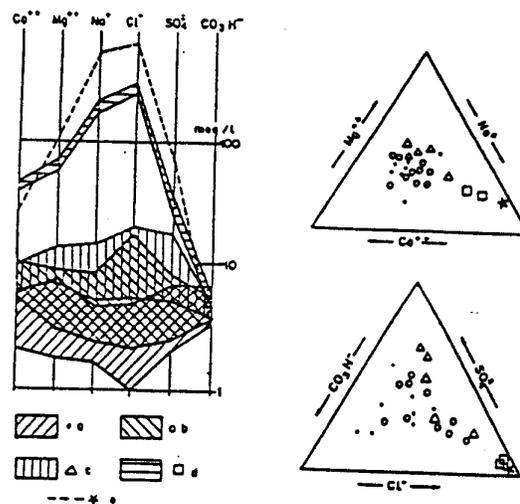


Fig. 12.- Representación de las características hidroquímicas en muestras de diferentes fechas en el sector de la rambla del Sotillo. Datos procedentes de a) BENAVENTE y CALVACHE (1981), b) BENAVENTE (1982); c) CASE; d) piezómetros P1 y P2 de la CASE, 1986,; e) agua del mar.

BENAVENTE; et al. 1988

Igualmente, se realizó en Mayo de 1986 un registro vertical - de conductividad en cuatro piezómetros (Fig. 13) mostrando el conoide típico de la sobreexplotación con la interfase a escasa profundidad (15 m) y hasta 1 km hacia el interior. Según - estos datos, 2 hm³ del acuífero han sido invadidos por el -- agua de mar en el período 1977/87.

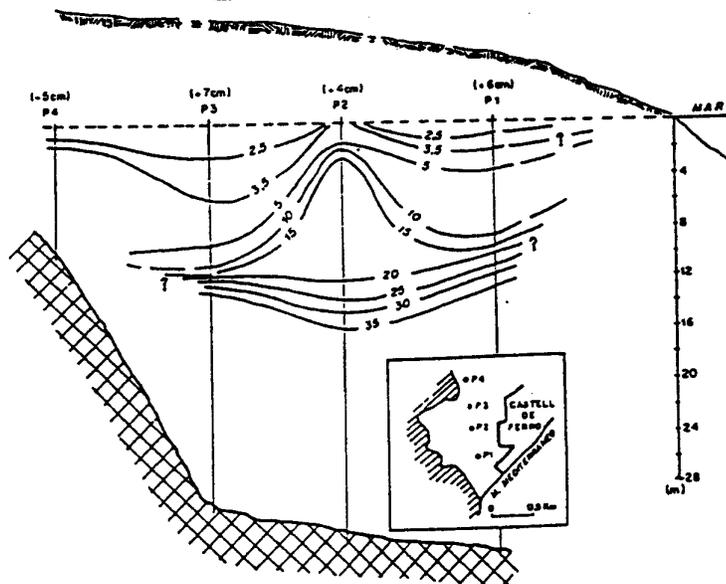


Fig. 13.- Distribución vertical de la conductividad (mS/cm), en el sector inferior de la rambla del Sotillo, en piezómetros de la CASE (se indica la cota; la distancia suelo-nivel - piezométrico está reducida respecto a la escala de profundidad debajo del agua).
(BENAVENTE, 1987).

IV. BIBLIOGRAFIA

BENAVENTE HERRERA, J. et al (1988)

"Hidrogeología de los acuíferos del sector Oriental de la Costa de Granada".

Tomo II (171-208). TIAC'88 - Almuñécar (Granada).

DOMINGUEZ DE LA RASILLA; S. et al (1988)

"El método de polarización inducida como técnica de apoyo al estudio - de las intrusiones marinas. Aplicación a los acuíferos de Almuñécar y Castell de Ferro (Granada).

Tomo III (361-373) TIAC'88 - Almuñécar (Granada).

CARRASCO SANTOS, F. y GUZMAN DEL PINO, J.L.(1988)

"Los acuíferos costeros de la Cuenca del Sur. Síntesis del Plan Hidrogeológico".

Tomo III (491-504). TIAC'88 - Almuñécar (Granada).

BENAVENTE HERRERA J. (1987)

"Consecuencias de la sobreexplotación en el acuífero costero de la rambra de los Gualchos (Granada)"

IV Simp. Nac. Hidrogeología (685-698). Palma de Mallorca.

BENAVENTE HERRERA; J. y TERRON GOMEZ, E. (1983)

"Características hidroquímicas del acuífero aluvial litoral de Castell de Ferro (Granada)".

Hidrog. y recursos Hidrid., VIII (229-238). Madrid.

I.T.G.E. (1985)

"Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalfeo y sectores adyacentes".

Informe (inédito). Málaga.

I.T.G.E. (1987 a)

"Análisis de limnigramas en los acuíferos de Gualchos y Almuñécar".

Nota técnica nº 292 y 311. Málaga.

I.T.G.E. (1987 b)

"Análisis de las explotaciones en los acuíferos de Gualchos y Almuñécar".

Nota técnica nº 293. Málaga.

I.T.G.E. (1987 c)

"Control de la intrusión en los acuíferos Gualchos y Almuñécar".

Nota técnica nº 291. Málaga.

I.T.G.E. (1987 d)

"Control de la calidad en los acuíferos de Gualchos, Almuñécar y La Herradura".

Nota técnica nº 296 - Málaga.

ESTEVEZ, A. et al (1985)

"Los Alpujárrides al Sur de Sierra Nevada. Una revisión de su estructura Rev. Mediterránea.

Serv. geol. nº 4 (5-32).

ALDAYA, F. 81969)

"Los mantos Alpujárrides al Sur de Sierra Nevada".

Tesis Doctoral Univ. de Granada (inédita), 527 p. Granada.

CASTILLO, E. et al (1986)

"Investigación sobre la cuantía y distribución de los déficits de agua para abastecimiento público en la comarca de la Contraviesa (Granada)".

I Simp. Agua Andalucía. 471-482. Granada.

ALDAYA, F. (1981)

Mapa geológico de España. Albuñol (Granada). (1056).

ITGE, 36 págs. Madrid.

TERRON, E. (1983)

"Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico de las ramblas Ancha y de Gualchos (Granada)".

Tesis de Lic. Univ. de Granada (inédita), 237 pp. Granada.

BENAVENTE, J. y CAVACHE; A. (1981)

"Aspectos hidrogeoquímicos de algunos acuíferos detríticos costeros en la provincia de Granada".

I. Simp. Agua Andalucía (731-754). Granada.