

II SIMPOSIO NACIONAL DE HIDROGEOLOGIA PAMPLONA ( OCTUBRE 1979 )

---

T I T U L O : Relación modelo geológico - modelo hidrogeológico.- Ejemplo : El acuífero mioceno de la isla de Menorca.

P o r : Alfredo Barón ( 2 )  
 Alfonso Bayó ( 1 ) y ( 3 )  
 José - Antonio Fayas ( 1 ), ( 3 ) y ( 4 )

1.- INTRODUCCION

1.1.- ESBOZO GENERAL

Destacar el valor que el adecuado conocimiento de los parámetros geológicos de una formación acuífera puede tener a efectos de una correcta interpretación de su funcionamiento hidráulico y, consecuentemente, a efectos de una adecuada plani-

- ( 1 ) Servicio Geológico de Obras Públicas - Barcelona
- ( 2 ) Servicio Hidráulico de Baleares - Palma de Mallorca
- ( 3 ) Curso Internacional de Hidrología Subterránea - Barcelona
- ( 4 ) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona



ficación de su explotación no constituye ninguna novedad en el mundo de la Hidrogeología. Pero los autores de la presente comunicación han estimado que dar a conocer un caso real en el que quedá sobradamente patente tal afirmación podrá contribuir a destacarla y, cuando menos, será una aportación ( que se atreven a esperar de algún valor ) a la bibliografía relativa a esta cuestión.



### 1.2.- AMBITO DEL ACUIFERO ESTUDIADO

La isla de Menorca, segunda en extensión del archipiélago balear, tiene una superficie de poco más de 700 Km<sup>2</sup>. De ellos, 335 Km<sup>2</sup> corresponden a terrenos de edades primaria y secundaria, que morfológicamente dan lugar a la región de Tramuntana, y los 365 Km<sup>2</sup> restantes son formaciones terciarias que constituyen la región meridional de la isla o región de Migjorn. Las formaciones de edad cuaternaria sólo alcanzan, en extensión, un valor relativo, que no supera el de la simple anécdota.

Diversas razones han llevado al interés de conocer la naturaleza litológica y disposición estructural de los materiales terciarios antes citados, que pueden resumirse en las siguientes :

a ) Extensión relativa de sus afloramientos, que representan el 52 % de la superficie total de la isla.

b ) Relativa horizontalidad de estos terrenos, lo cual favorece la mecanización de su uso agrícola.

c ) La fertilidad de los suelos generados sobre sus afloramientos, si se dispone de caudales de agua suficientes para el riego. El interés creciente de las explotaciones agropecuarias basadas en la producción de ganado vacuno promueve la con

siguiente utilización de dichos suelos para el cultivo de pastos y plantas forrajeras mediante riegos por aspersión.

d ) La experiencia acumulada en cuanto a la, en general, favorable disposición de estos terrenos para la productividad de los pozos construídos en ellos.

e ) La desfavorable disposición, en general, de los terrenos primarios y secundarios ( salvo los niveles dolomíticos jurásico-cretácicos, que representan un 10 % de la superficie total de la isla ) para la obtención de agua en pozos.

Puede afirmarse que el motor principal que ha movido al conocimiento de las formaciones terciarias de Menorca ha sido el interés por el abastecimiento de agua, tanto agrícola como urbano e industrial. Las necesidades agrícolas sólo son satisfechas, hasta ahora, mediante captaciones en pozos. Sobre las formaciones terciarias no es viable la construcción de embalses de almacenamiento en superficie; cabría la ubicación de presas de embalse para recarga artificial. Sobre los terrenos primarios y algunos secundarios ( Buntsandstein y Keuper ) sería posible instalar algunos embalses de superficie.

En cuanto a las demandas urbanas e industriales anejas, se cubren mediante captaciones en pozos en todos los núcleos de población con abastecimiento público ( Alayor, Ciudadela, Mahón y Villacarlos ).

La creciente utilización de agua obtenida por extracción en pozos hizo nacer el temor, más aún al tratarse de una isla, del posible alcance de los recursos explotables. La conciencia, incluso intuitiva, de tal posibilidad provocó el interés por conocer el valor de dichos recursos explotables y ésto llevó hacia el estudio de aquellos terrenos que se presentan como el " almacén regulador " de mayor significado en el conjunto de la

isla : sus formaciones terciarias.

Las aparentemente monótonas secuencias calcareníticas menorquinas han sido estudiadas principalmente por A. Obrador ( 1.970 ), Fayas ( 1.972 ) y Fayas y Bayó ( 1.973 ).

Asimismo, el Servicio Geológico de Obras Públicas y el Servicio Hidráulico de Baleares están realizando, desde hace ocho años, un control sistemático de niveles piezométricos y calidad química del agua en ochenta pozos homogéneamente distribuidos sobre el acuífero en cuestión y un control sistemático ( litología, nivel y calidad del agua y parámetros hidráulicos ) de los pozos que se construyen. Además se han perforado varios sondeos de reconocimiento y se han instalado varios piezómetros de observación.

Los datos obtenidos en dichas campañas de trabajo han permitido establecer el modelo geológico que se presenta en esta comunicación, el cual da cumplida explicación al funcionamiento hidráulico observado que, asimismo, se expone más adelante.

## 2.- EL MODELO GEOLOGICO

### 2.1.- GENERALIDADES

A la fase alpina de compresión ( plegamiento, fallas de desgarre, etc. ), que llega hasta épocas Burdigalienses ( Mioceno medio ), sigue en todo el Mediterráneo Occidental una fase distensiva en la que se abren grandes fallas gravitacionales cuya actuación ha seguido hasta tiempos recientes.

Durante esta fase distensiva y adosándose a los bordes de la plataforma continental balear ( activa tectónicamente ), al

canzan importante desarrollo varias formaciones arrecifales en las que cabe distinguir :

- Arrecifes barrera ( con lagoon intermedio )
- Arrecifes <sup>FLANQUEANTES</sup> ~~flanqueantes~~ ( sin lagoon intermedio o de poca entidad y adosados a las zonas emergidas ), que son el caso más frecuente.

Los depósitos de estas facies arrecifales son de edad Tortoniense-Mesiniense ( Mioceno superior ) y su repartición espacial se esquematiza en la fig. 1 .

Desde el punto de vista sedimentológico pueden describirse como " buildups " con papel determinante de las algas calcáreas en el equilibrio construcción-destrucción-sedimentación.

Considerando los tres tipos de construcción que aceptan autores modernos, los ejemplos baleáricos podrían enmarcarse transicionalmente entre los " algal cup reef " ( la función dominante es la aglutinación orgánica ) y los " algal mud - mound " ( sedimentación detrítica importante producida " in situ ", efecto de atrape o baffle ).

#### 2.2.- EL ARRECIFE MIOCENO DE MENORCA

La isla de Menorca en la época pre-Tortoniense ( fig. 2 ) era sensiblemente más pequeña que la actual. El nivel del mar se hallaba entonces unos 100 m. más alto que en la actualidad. Parte de la región norte o de Tramuntana emergía de las aguas mostrando terrenos primarios y secundarios. Adosándose a la costa sur ( región de Migjorn ) empieza entonces a progradar una compleja formación calcarenítica que puede interpretarse en sentido geológico y terminológico, según se especificaba en el epígrafe anterior, como un arrecife flanqueante cuyo regis-

tro geológico fósil ocupa cerca del 50 % de la superficie actual de la isla.

### 2.3.- UNIDADES LITOLÓGICAS

Se ha conseguido una densidad aproximada de 1 sondeo con registro geológico por cada 2 - 3 Km<sup>2</sup> en la región de Migjorn, lo cual permite buenas correlaciones y, además, diferenciar varias unidades litosedimentarias.

Una descripción sintética de tales unidades litológicas es como sigue :

#### Nivel T<sub>1</sub> ( Tortoniense )

Areniscas calcáreas rojizas de grano fino a grueso, micáceas y silíceas. Lentejones de conglomerados y microconglomerados con litotipos dependientes del área fuente. Localmente y relacionado con fracturas ( Cala Morell ) el tamaño de los clastos puede sobrepasar 1 metro. Cabe destacar, entre la varia composición y procedencia de los cantos, abundantes rocas verdes en general alteradas y presumiblemente de origen volcánico. Es poco conocido el espesor de este nivel, muy subordinado al modelo genético; un sondeo en Ciudadela ( Es Caragolf ) llegó a cortar casi 100 metros en él.

#### Nivel T<sub>2</sub> ( Tortoniense )

Limolitas calcáreas grises, azuladas y negruzcas, con fuerte proporción de insolubles y zonas francamente margosas. Varia ble proporción de materia orgánica, (zonas petrolígenas) y abundan tes nódulos de silex. El espesor de esta formación es variable aunque deben considerarse junto a la costa más de 200 m. no exis

tiendo excesivas dudas respecto el cambio lateral de facies al nivel definido anteriormente como  $T_1$ .

Nivel  $M_1$  ( Tortoniense Superior )

Calcarenitas y calcisiltitas. Tamaño de grano  $1/2$  a  $1/8$  mm. con algunos cantos incluidos ( grava, gravilla ). Variable proporción de matriz limosa e insolubles. Megaláminas unidireccionales con buzamiento al Sur de inclinación moderada (  $10 - 20^\circ$  ). Facies interpretable como de talud arrecifal progradante. *plataforma carbonatada* No son raros los desprendimientos del frente arrecifal sobre el propio talud dando lugar a acumulaciones de bioclastos e incluso a desprendimientos en masa. El espesor registrado, dado el contacto erosional con los niveles subyacentes se sitúa entre 50 y 175 m.

*Grande inclusion de plataforma basal*

Nivel  $M_2$  ( Tortoniense Superior )

Biocalcarenitas con cemento calcáreo, que ~~reflejan la compleja historia de sedimentación en una plataforma arrecifal~~ ( buildups ). La dolomitización en general es muy acusada, razón por la cual la identificación de organismos se dificulta.

Al parecer los corales estan disueltos, siendo más evidentes las rodoficeas. *Diferencia zona Hao - CENTRO - CIUDAD DE CA*

Nivel litológico  $P_1$

Calcarenitas con poca matriz ( restos de formaciones eólicas ).

*Auflia*

## 2.4.- INTERPRETACION ESTRUCTURAL Y CRONOESTRATIGRAFICA

El esquema genético que se acompaña ( fig. 3 ) expresa gráficamente lo expuesto en los epígrafes anteriores. Trabajos específicos de sedimentología y cronoestratigrafía están en curso para validar el modelo propuesto.

Los cortes geológicos que se acompañan ( fig. 4 ), contruidos en base a la información recogida en reconocimientos de superficie y a datos procedentes de sondeos de reconocimiento y pozos, son coherentes con dicho modelo genético.

El complejo arrecifal propiamente dicho ( Niveles  $M_1$  y  $M_2$  ) descansa sobre depósitos tipo aluvial fans y offshore ( Niveles  $T_1$  y  $T_2$  ).

## 3.- EL MODELO HIDROGEOLOGICO

### 3.1.- DISTRIBUCION DE PARAMETROS

Sobre una muestra de 115 pozos el estudio de distribución de frecuencias de caudales específicos y de caudales específicos por metro de penetración en la zona saturada ( parámetro del mismo orden de magnitud que la permeabilidad ), es logaritmico - normal y un análisis cuidadoso muestra los siguientes aspectos :

a ) El nivel  $M_1$  , considerando todo el espesor de la formación, es de muy baja permeabilidad, generalmente inferior a 1 m/día. Tan sólo los primeros metros de la zona saturada tienen permeabilidad apreciable ( cerca de la costa puede incluso llegar a ser del orden de 20 m/día ), y en ellos la porosi-



dad eficaz oscila alrededor del 2 % , siendo muy pequeña a mayor profundidad. La principal circulación es a través de los contactos erosionales.

b ) El nivel  $M_2$  , es de elevada permeabilidad en su conjunto, aunque en la mayoría de sectores está totalmente drenado. Permeabilidades superiores a 20 m/día son normales a la vez que la porosidad es grande.

c ) El nivel  $T_1$  , salvo excepciones, es también de reducida permeabilidad ( menos de 1 m/día ) y el nivel  $T_2$  es im permeable.

En la fig. 5 se esquematizan las particularidades de la circulación subterránea en la que cabe destacar dos principales zonas de circulación por debajo del nivel saturado : una superficial, de poco espesor y de renovación rápida a escala anual y otra profunda con renovación de las agua muy lenta debido a la baja permeabilidad ( varios años ). Por tales razones, consecuencia de la estructura geológica, la interfaz agua dulce - agua salada no es continua.

### 3.2.- PIEZOMETRIA

En la fig. 6 se diferencian tres sectores del acuífero mioceno y una piezometría media esquematizada, en la que se pone de manifiesto una estructura radial con direcciones del flujo normales al mar, que es el nivel de base.

Analizando tal disposición de la superficie piezométrica se constata su clara subordinación al modelo geológico. Así tenemos que en el Sector de Nahón el nivel  $M_2$  ( plataforma arrecifal ), de alta permeabilidad, se extiende con cotas de base por encima del nivel del mar y, en general, está drenado

al igual que en todo el Sector Central. En Ciudadela, por el contrario, la base aludida está en amplios sectores algunos metros por debajo de dicho nivel del mar y ello provoca que, mientras en el sector de Mahón (  $144 \text{ Km}^2$  ) el 76 % de la superficie (  $109 \text{ Km}^2$  ) tiene una piezometría superior a la cota + 5 m., en el sector de Ciudadela (  $165 \text{ Km}^2$  ) tan sólo el 46 % de la superficie (  $76 \text{ Km}^2$  ) supera la mencionada cota en su piezometría.

En conjunto y para toda la unidad calcarenítica (  $365 \text{ Km}^2$  ) el 64 % de la superficie (  $237 \text{ Km}^2$  ) presenta elevados gradientes hidráulicos ( entre el 0,75 y 1,5 % ) con piezometría por encima de la cota + 5 m., y el 35 % restante (  $132 \text{ Km}^2$  ) se desarrolla por debajo de esta cota con gradientes hidráulicos suaves.

### 3.3.- CONDICIONES DE EXPLOTABILIDAD

Lo expuesto anteriormente da explicación a las particularidades de funcionamiento hidráulico observadas y constituye el mejor soporte para una correcta vigilancia del aquel y, consecuentemente, para una adecuada planificación.

Así, por ejemplo :

- En los sectores de Mahón y Central la baja permeabilidad del nivel  $M_1$  ( facies talud arrecifal ) no favorece fenómenos de intrusión marina.

- En el sector de Ciudadela, por el contrario, sí son posibles sobre todo al Sur de la ciudad, fenómenos de intrusión marina, ya que el nivel  $M_2$  se desarrolla algunos metros por debajo del nivel del mar. El denominado Canal Salat es, desde antiguo, una lengua que penetra hasta 3 Km. tierra adentro y don

de el débil gradiente hidráulico hace que la interfase agua dulce - agua salada esté muy próxima a la superficie.

- En otros sectores, en particular en los de Mahón y Ciudadela, la excesiva concentración de pozos ( que llega en algunos puntos hasta 10 pozos  $\text{Km}^2$  ) provoca descensos regionales de niveles cuyo efecto se nota en el menor rendimiento de los pozos ya que, como se ha dicho, la permeabilidad no es uniforme en la vertical y tan sólo los primeros metros de la zona de saturación tienen permeabilidad aceptable. Algunas interferencias de conos de bombeo pueden sumarse también a ello.

A lo dicho hasta ahora pueden añadirse los resultados obtenidos en el balance calculado para el año seco, que son los siguientes :

#### E N T R A D A S

a ) Infiltración lluvia .....	30 $\text{Hm}^3$
b ) Aportes otras cuencas superficiales o subterráneas .....	5 $\text{Hm}^3$ ( ? )
<b>T O T A L ...</b>	<b>35 <math>\text{Hm}^3</math> /año</b>

#### S A L I D A S

a ) Bombeos ( año 1.978 ) .....	20 $\text{Hm}^3$
b ) Pérdidas subterráneas al mar ..	5 $\text{Hm}^3$ ( ? )
c ) Escorrentía superficial diferida	10 $\text{Hm}^3$
<b>T O T A L ...</b>	<b>35 <math>\text{Hm}^3</math> /año</b>

El interés de estas cifras globales, siempre mejorables en sus detalles, reside en el hecho de que permiten apreciar

una situación de extracciones límite en años secos.

El carácter excedentario del balance para años medios y húmedos puede compensar la situación global límite apuntada para años secos, pero en cualquier caso conviene mantener la vi-gilancia que se está realizando actualmente e incluso mejorarla en algunos detalles.

Por otra parte, se ha puesto de relieve la importancia de un adecuado conocimiento del modelo geológico de una unidad acuífera a efectos de su correcta interpretación hidráulica, así como de la necesidad de desarrollar programas de investiga-ción y de control sistemático de datos para poder llegar a mode-los de gestión válidos.



#### 4.- BIBLIOGRAFIA

OBRADOR, A. - Estudio estratigráfico y sedimentológico de los materiales miocénicos de la isla de Menorca.- Acta Geológica Hispánica. Barcelona ( 1.970 ).

OBRADOR, A. - Unidades morfológicas de la zona de playa. Aplicación a sedimentos no recientes. CHILAGE - Madrid (1971).

FAYAS, J.A. - Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de la isla de Menorca - Primer Informe, Servicio Geológico de Obras Públicas ( 1.972 ).

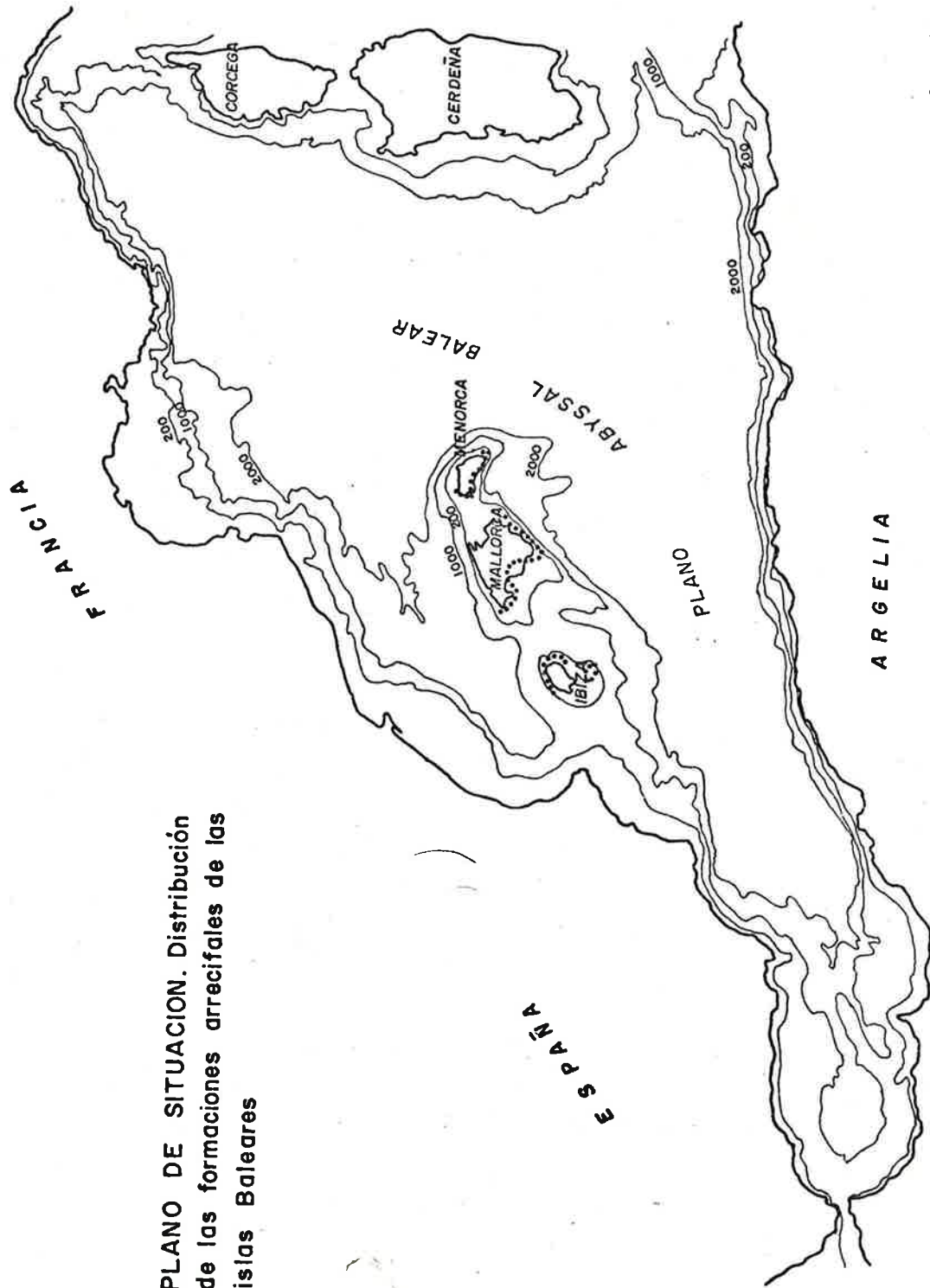
FAYAS J.A. y BAYO, A. - Los Recursos Hidráulicos Totales de la isla de Menorca. V Coloquio de Investigaciones sobre el agua. San Sebastián ( 1.973 ).

FAYAS, J.A. y BAYO, A. - Water Resources of Minorca. Eva-

luation, exploitation and control. Economic commission for Europe. Malta ( 1.978 ).

ESTEBAN, M. - Analisis crítico del concepto de Arrecife en Geología. Instituto Investigaciones Geológicas de la Diputación de Barcelona. Vol. XXX ( 1.975 ).

Servicio Geológico de Obras Públicas y Servicio Hidráulico de Baleares.- Datos de archivo y diversos informes internos.



**Fig. 1 : PLANO DE SITUACION. Distribución de las formaciones arrecifales de las islas Baleares**

..... Arrecifes flanqueantes

# EL Terciario de LA ISLA DE MENORCA

Escala 1:200.000

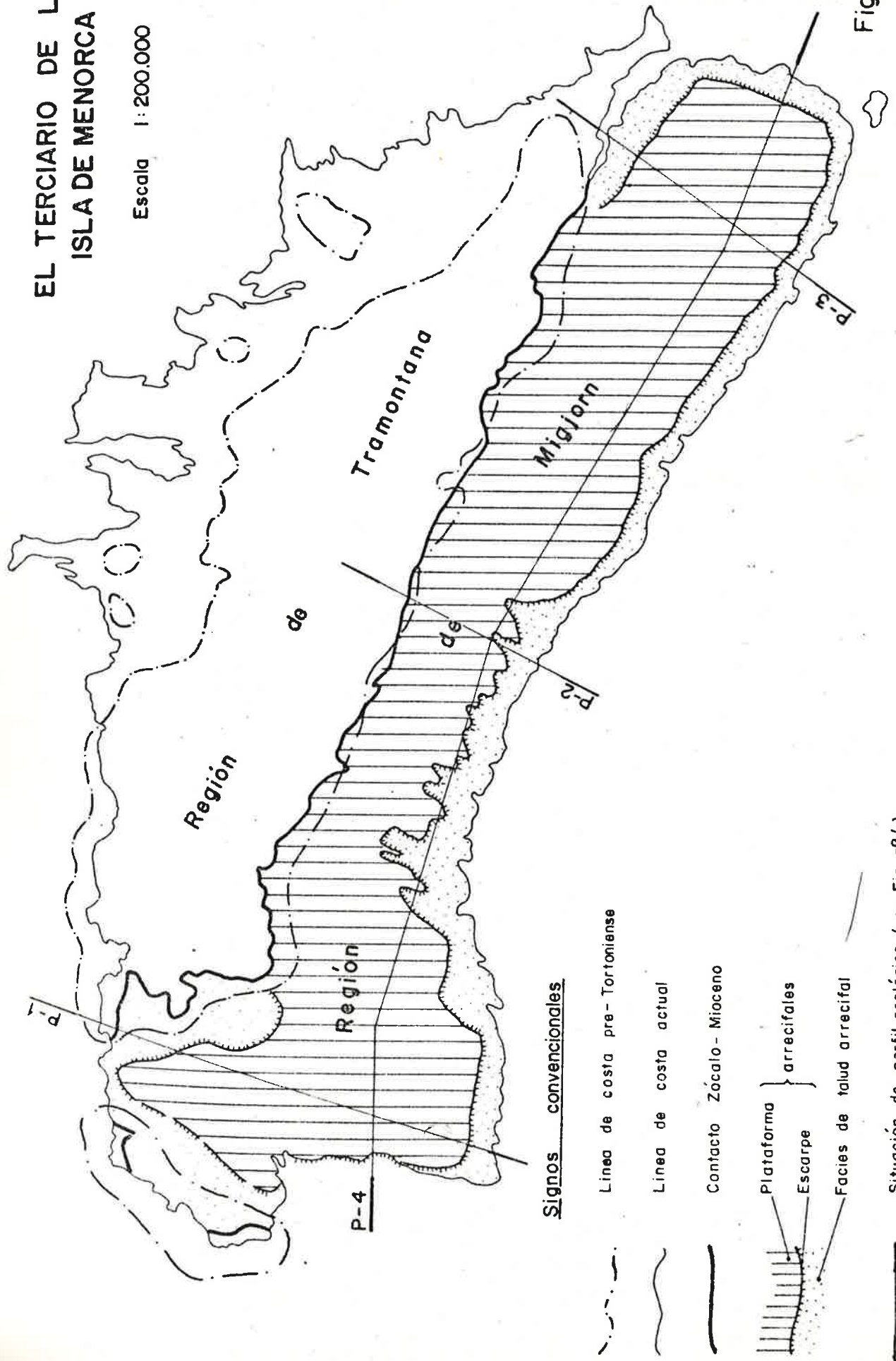
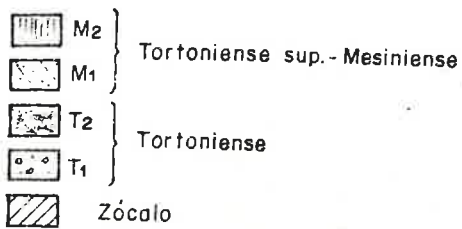
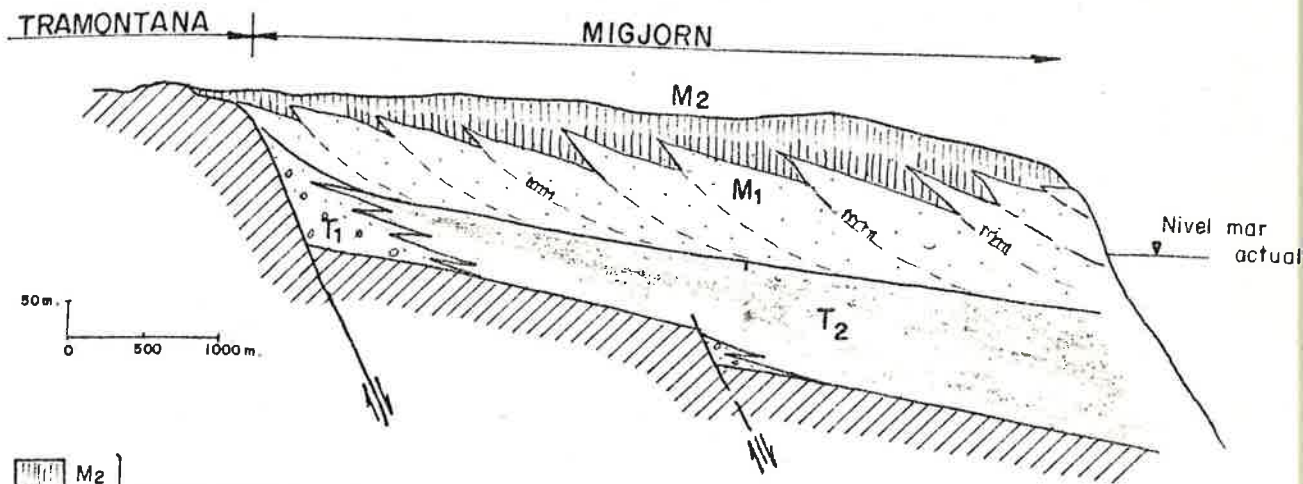


Fig. nº 2

Situación de perfil geológico (ver Fig. nº 4)

# EL TERCIARIO DE LA ISLA DE MENORCA

## MODELO GEOLOGICO



## ESQUEMA GENETICO

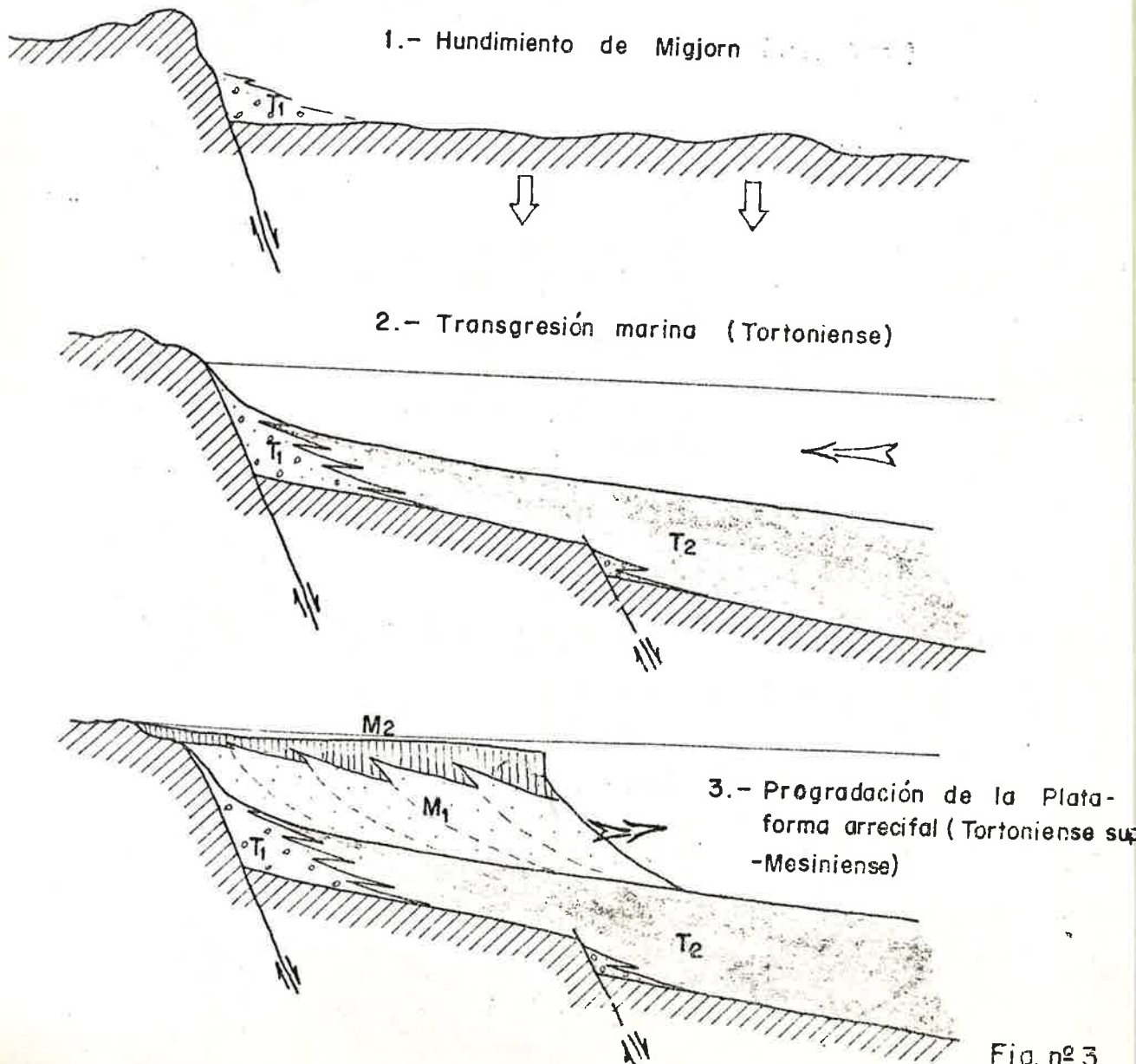
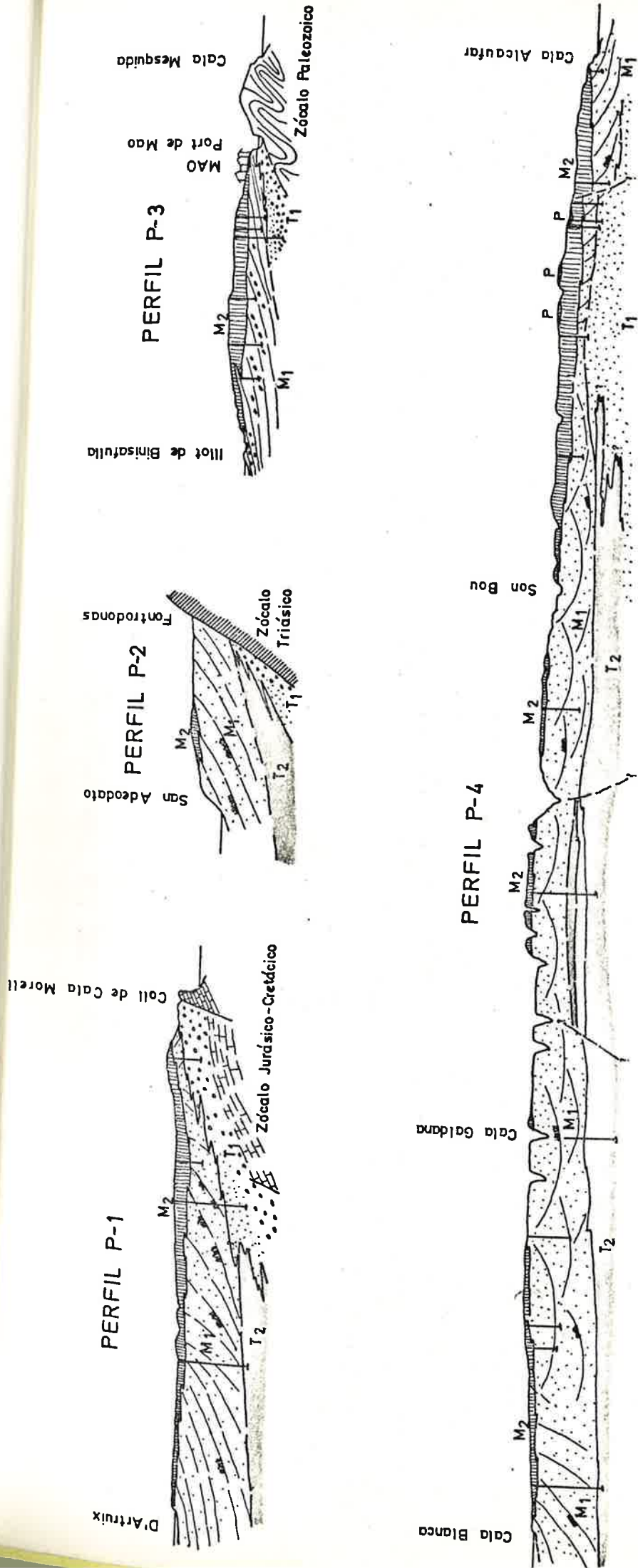


Fig. nº 3





**TORTONIENSE**

T<sub>2</sub> Limolitas calcáreas grises y azuladas, con nódulos de sílex.

T<sub>1</sub> Conglomerados y microconglomerados con litotipos según el área fuente. Areniscas calcáreas rojizas de grano fino o grueso, micáceas y silíceas.

**TORTONIENSE SUP.-MESINIENSE**

M<sub>2</sub> Biocalcarenitas de cemento calcáreo.

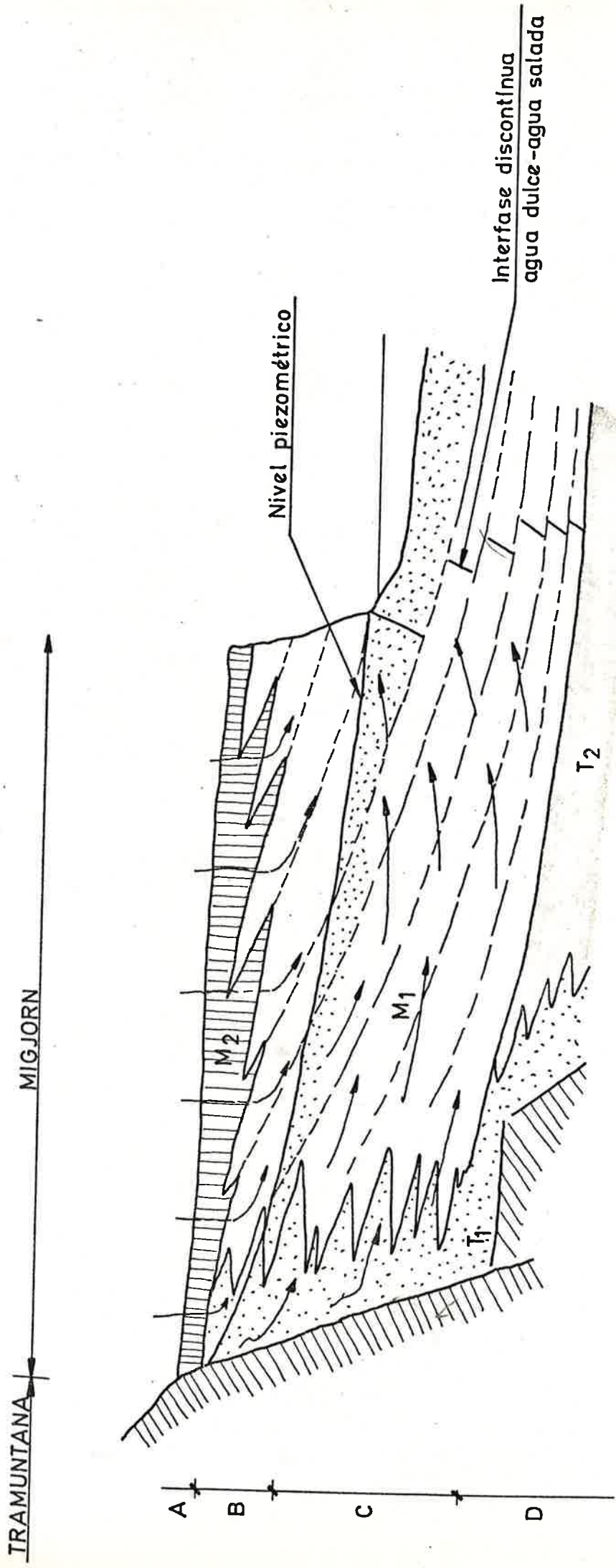
M<sub>1</sub> Calcarenitas y calcisilicitas. Facies de talud arrecital.

**PLIOCENO-CUATERNARIO**

P Dunas consolidadas.

Fig. 4 y 4 bis CORTES GEOLOGICOS

Fig.5 PARTICULARIDADES DE LA CIRCULACION SUBTERRANEA. MODELO CONCEPTUAL



- A.- Alta permeabilidad. Percolación rápida en zona insaturada. Nivel generalmente drenado. (nivel M<sub>2</sub>)
- B.- Permeabilidad media a moderada. Circulación rápida hacia el nivel de base. Renovación de aguas a escala anual. (nivel T<sub>1</sub> y primeros metros bajo nivel saturado del nivel M<sub>1</sub>)
- C.- Baja permeabilidad. Circulación lenta. Renovación de agua a escala hiperanual. (nivel M<sub>1</sub> salvo zona incluida en B)
- D.- Impermeable. (nivel T<sub>2</sub>)

Fig. 6 PIEZOMETRIA

