

Instituto Geológico
y Minero de España



DIPUTACIÓN
DE ALICANTE
CICLO HÍDRICO

ANÁLISIS Y CONTRASTE DE METODOLOGÍAS PARA LA VALORACIÓN DEL IMPACTO DE LA EXTRACCIÓN DE AGUA EN ACUÍFEROS COSTEROS SALOBRES. APLICACIÓN AL ACUÍFERO DE CABO ROIG (ALICANTE).



ACTUALIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO DE CABO ROIG Y CARACTERIZACIÓN LITOSTRATIGRÁFICA DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN LA ZONA SUR DEL ACUÍFERO.

MADRID. AGOSTO 2007

El presente estudio ha sido realizado en el marco del convenio de asistencia técnica suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Excma. Diputación Provincial de Alicante (DPA), actuando como directores del mismo D. José Manuel Murillo Díaz (IGME) y D. Luis Rodríguez Hernández (DPA).

El equipo técnico, que ha intervenido en su colaboración, ha estado formado por:

Responsable:

José Manuel Murillo Díaz (IGME)

Autores:

Paola Romero Crespo (IGME)

Francisco Javier Elorza Tenreiro (ETSI Minas-UPM)

Tomás Rodríguez Estrella (UPCT)

Toma de datos en campo:

José Luis García Aróstegui (IGME)

Tomás Rodríguez Estrella (UPCT)

CONTENIDO

	Pág.
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del Problema.....	1
3. Objetivos.....	3
4. Síntesis de la Información de Base en la Zona Sur.....	4
5. Contribución Geológica del Estudio.....	9
6.1. Encuadre Geológico e Hidrogeológico.....	9
6.2. Estratigrafía.....	10
6.3. Tectónica.....	12
6. Modelo Geométrico del Sistema Acuífero en la Zona Sur.....	17
5.1. Síntesis litoestratigráfica de los sondeos de investigación realizados en la zona sur-oeste.....	17 21
5.2. Contraste y correlación con la información de base.....	
7. Conclusiones.....	34
8. Referencias.....	37
Anexo I. Resumen de las principales características de los sondeos realizados por la Universidad Politécnica de Cartagena en el periodo 2001-2002.	
Anexo II. Evolución piezométrica de los sondeos ubicados en la zona sur (octubre del 2000 a febrero del 2003).	
Anexo III. Fotografías.	

1. INTRODUCCION

Durante el desarrollo del modelo de flujo con densidad variable del acuífero de Cabo Roig, una de las principales dificultades encontradas fue la escasa información sobre la geometría del acuífero en la zona sur y las incoherencias encontradas entre los niveles piezométricos simulados con los valores reales en la zona sur-occidental. Por lo cual surge la importante necesidad de actualizar los datos hidrogeológicos en esta zona y realizar sondeos de investigación para determinar si la secuencia estratigráfica obtenida en estos nuevos sondeos es coherente con la información litoestratigráfica establecida en trabajos anteriores.

El sector este de la zona sur; entre los ríos Nacimiento y Seco; contaba con algunos datos de columnas estratigráficas, mientras que en la zona sur-oeste no se encontró ninguno, por lo cual se realizaron en esa zona 3 sondeos de investigación con interés hidrogeológico, para conocer el comportamiento del acuífero superior, de las areniscas y calcarenitas del Plioceno.

En este trabajo se analizará la influencia de la geología y tectónica del acuífero de Cabo Roig en los datos de piezometría y salinidad. La evolución espacio-temporal de la piezometría y la salinidad son factores imprescindibles a tener en cuenta en la realización de modelos de aguas subterráneas en acuíferos costeros. Estos factores permiten evaluar si los resultados del modelo son coherentes o no, con los valores medidos en el acuífero. Es importante recalcar la necesidad de los registros continuos de conductividad como indicador de la variación de la salinidad en profundidad, con el fin de establecer la posición de la interfase agua dulce/agua salada.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antes de pasar a definir el problema objeto de este estudio, es necesario presentar de manera breve la secuencia estratigráfica y las unidades hidrogeológicas consideradas más importantes. Como se puede observar en las figuras 1 y tabla 1, las unidades hidrogeológicas con mayor potencial acuífero son:

- Unidad acuífera superior: constituida por areniscas y calcarenitas del Plioceno; es la estudiada en el modelo de flujo con densidad variable del acuífero de Cabo Roig.
- Unidad acuífera inferior: constituida por calizas arrecifales y calcarenitas del Mioceno Superior; hasta el momento esta unidad ha sido poco estudiada.

En el desarrollo del modelo de flujo con densidad variable del acuífero superior de Cabo Roig, se empleó un modelo conceptual constituido por tres unidades hidrogeológicas: unidad confinante, unidad acuífera superior y la unidad de base del Andaluciense. Hay que señalar que a pesar de que la unidad acuífera inferior no forma parte de este modelo, es importante haberla alcanzado mediante los nuevos sondeos de investigación, para entender la interacción que tiene con la parte superior del sistema acuífero de Cabo Roig.

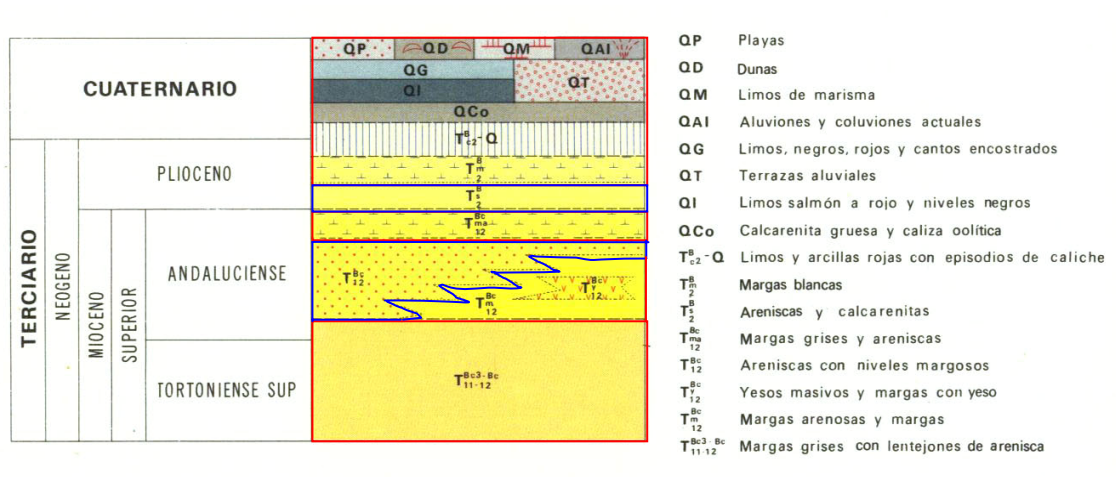


Figura 1. Secuencia estratigráfica en el acuífero de Cabo Roig.

Unidades hidrogeológicas	Términos litoestratigráficos	Características
Unidad confinante	Limos, arcillas, arenas, gravas, margas, caliza y costra calcárea. Cuaternario, Pliocuaternario y Plioceno superior.	Acuitardo Distintos valores de permeabilidad. Libre, semiconfinante, confinante.
Unidad acuífera Superior	Areniscas y calcarenitas. Plioceno inferior.	Acuífero Superior. Permeable. Estado: libre y confinado.
Unidad de base del Andaluciense	Margas. Messiniense Superior-Andaluciense.	Acuicludo. Considerado impermeable.
Unidad acuífera Inferior	Calizas arrecifales y calcarenitas. Messiniense medio- Andaluciense	Acuífero inferior. Permeable Estado: confinado
Unidad de base del Tortoniense Superior	Margas grises con diseminaciones de yeso. Messiniense inferior-Tortoniense Superior.	Acuicludo. Considerado impermeable.

Tabla 1. Unidades hidrogeológicas definidas en el acuífero de Cabo Roig.

Durante el desarrollo del citado modelo de flujo, se observó que la piezometría simulada en la zona sur-oeste, estaba por encima de los valores medidos (IGME, 2006). Además, estos valores medidos de piezometría estaban por debajo del muro del acuífero superior del Plioceno, a partir de lo cual surgió la necesidad de una nueva revisión de la información geológica e hidrogeológica de base. Uno de los principales problemas encontrados en este trabajo fue la falta de información de la ubicación y geometría del acuífero superior de las areniscas y calcarenitas del Plioceno en la zona sur-oeste de Cabo Roig. A este problema van asociadas interrogantes inherentes; las cuales se plantean a continuación a través de las siguientes preguntas:

- ¿Es correcto el mapa de isohipsas del muro del acuífero superior del Plioceno en Cabo Roig, desarrollado en 1990?
- ¿Está desaturado el acuífero superior del Plioceno en la zona sur-oeste?
- ¿De donde proviene el agua subterránea que se explota en la zona sur-oeste del acuífero de Cabo Roig?
- ¿Existen sondeos que capten agua del acuífero inferior de las areniscas del Mioceno Superior?
- ¿El anticlinal que une Los Gracias de Abajo y Las Casas de Río Seco, constituye una divisoria de agua subterránea real?
- ¿Cómo afectan las fallas de los ríos Nacimiento y Seco en el comportamiento hidrogeológico del sistema?

3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio fue la realización y análisis de tres nuevos sondeos de investigación (figura 2) para conocer las características del acuífero superior de las areniscas y calcarenitas del Plioceno inferior en la zona sur-oeste del acuífero de Cabo Roig, debido a la escasa información geológica del acuífero en esta zona. Además de precisar de donde proviene el agua que se explota de los pozos situados en esta zona.

En base a las interrogantes presentadas en el planteamiento del problema, se han desarrollado algunos objetivos específicos de este estudio:

- Resumir toda la información de interés hidrogeológico encontrada en la zona sur.
- Realizar el levantamiento de las columnas estratigráficas de los tres sondeos, para determinar la profundidad del techo y muro del acuífero superior del Plioceno.

- Profundizar los sondeos para captar el acuífero inferior del Mioceno Superior, el cual ha sido poco estudiado en esta zona.
- Contrastar con la información lito-estratigráfica existente en la zona sur y realizar cortes geológicos.
- Correlacionar la estratigrafía de la zona sur con datos de piezometría y salinidad.

4. SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN DE BASE EN LA ZONA SUR.

Durante la primera etapa de este proyecto: “Actualización del conocimiento hidrogeológico del acuífero de Cabo Roig” realizado en el 2003, se observó la carencia de información que existe en la zona sur del acuífero, entre los ríos Nacimiento y Seco. La principal dificultad encontrada en esta zona fue la escasa información de la geometría del acuífero; a continuación se presenta una síntesis de la información de partida más relevante para definir dicha geometría:

- [Mapa Geológico de España. E. 1:50.000 \(Torrevieja\)](#).- Mediante este mapa, se ubican los afloramientos de la unidad acuífera que, como se puede observar se extienden a lo largo del límite occidental y parte de la zona norte del acuífero. Además se observa la distribución en superficie de las unidades confinantes del acuífero, conformadas principalmente por depósitos Cuaternarios y Plio-Cuaternarios (Figura 2) (IGME, 1977).
- [Estudio de Prospección por S. E. V. en Torrevieja \(Alicante\)](#).- Esta prospección solo se realizó para la zona norte y central, mientras que en la zona sur no se realizó ningún SEV, como se puede ver en la figura 3. (IGME, 1982)
- [Estudio de la intrusión marina en acuíferos costeros de Murcia y Alicante \(IGME, 1990 A\)](#).- En este estudio se presenta un mapa de la geometría y de isohipsas del muro del acuífero realizado en 1990, medidas piezométricas e hidroquímicas (figura 3).
- [Fichas de inventario de puntos acuíferos del IGME](#).- De estas fichas se obtuvo información de la litología, piezometría, caudal de bombeo, utilización del agua y estado del punto acuífero (IGME, 2003).
- [Informe final sobre los sondeos y pozos de investigación, para captar agua del mar a través de los acuíferos costeros, llevados a cabo en el litoral del sector meridional de la provincia de Alicante por parte del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura \(Rodríguez Estrella, T., 2002\)](#).- En este informe se cuenta con estudios de sondeos realizados en la zona sur – este, por parte de la Universidad Politécnica de Cartagena en el 2001-2002. Este estudio en el borde oriental sur ha sido de gran importancia no solo para determinar la secuencia estratigráfica, sino también para observar la influencia de las fallas ubicadas en los ríos Nacimiento y Seco, además de

ayudar a conocer el grado de conexión hidráulica del acuífero del Plioceno con el mar.

- Informe final sobre el control piezométrico e hidroquímico de los pozos ubicados en las fincas “Campoamor” y “Lo Monte”, dentro del acuífero de Cabo Roig (Alicante).- Este trabajo incluye medidas de control de piezometría y conductividad en 10 sondeos ubicados en río Nacimiento y río Seco, dentro de los cuales dos pozos fueron construidos en la desembocadura de estos ríos, en el 2001 para estudiar su posible aprovechamiento mediante la desalación del agua salada extraída (UPCT, 2004).
- Base de datos de la Unidad de Hidrogeología y Aguas Subterráneas (IGME).- En la figura 4 se pueden observar todos los puntos acuíferos registrados en dicha base de datos, revisada en el 2007. Hasta este momento, en la zona sur solo se tenían registros de 3 columnas estratigráficas: 283760026, 283760037, 283760038 (figura 8) y unos pocos datos de piezometría para distintos periodos de tiempo.

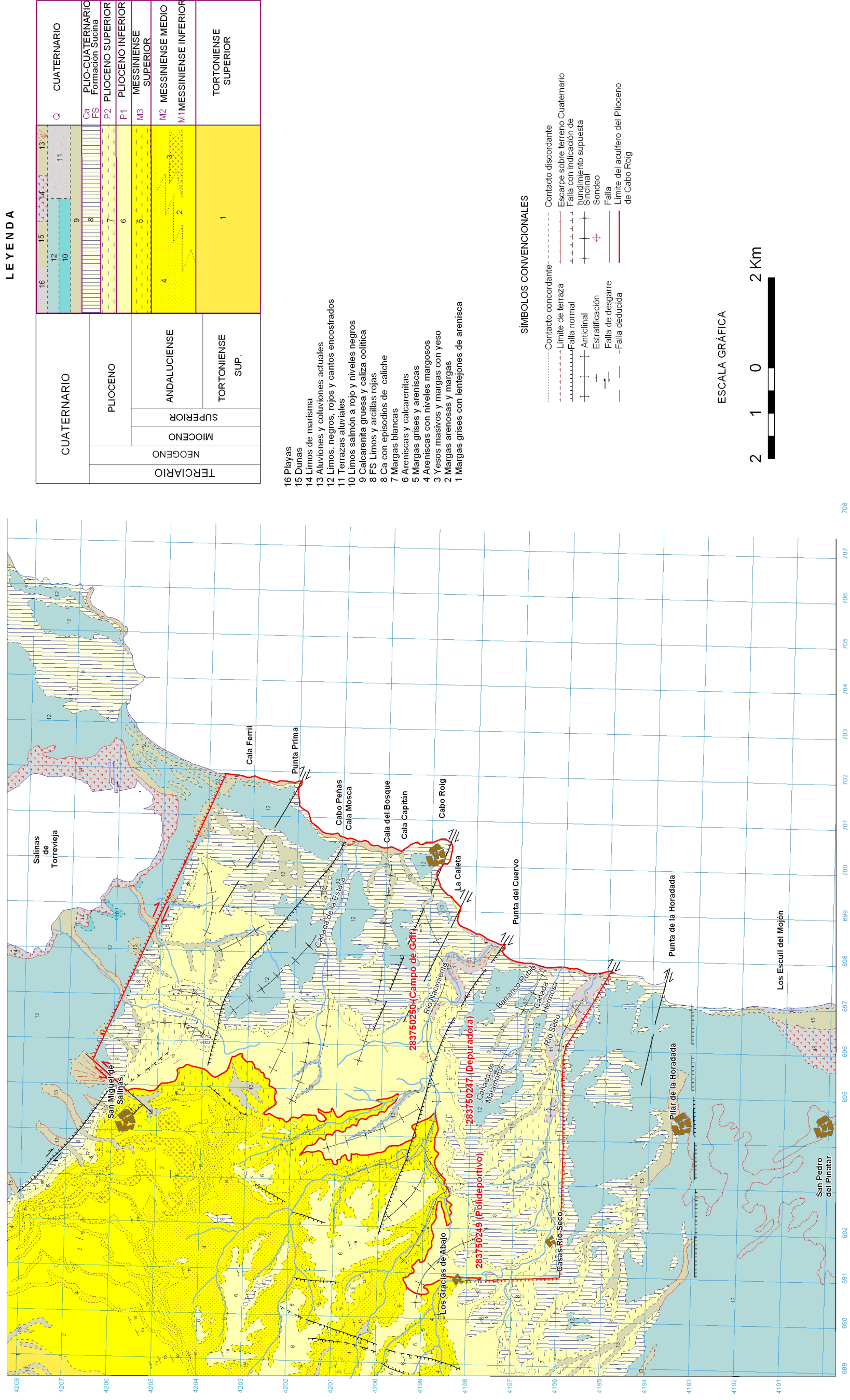


Figura 2. Mapa Geológico modificado (Hoja 935: Torreveja) con la ubicación de los tres sondeos de investigación realizados en la zona sur-oeste. Cabo Roig I (283750247-Depuradora), Cabo Roig II (283750249-Polideportivo) y Cabo Roig III (283750250-Campo de Golf).

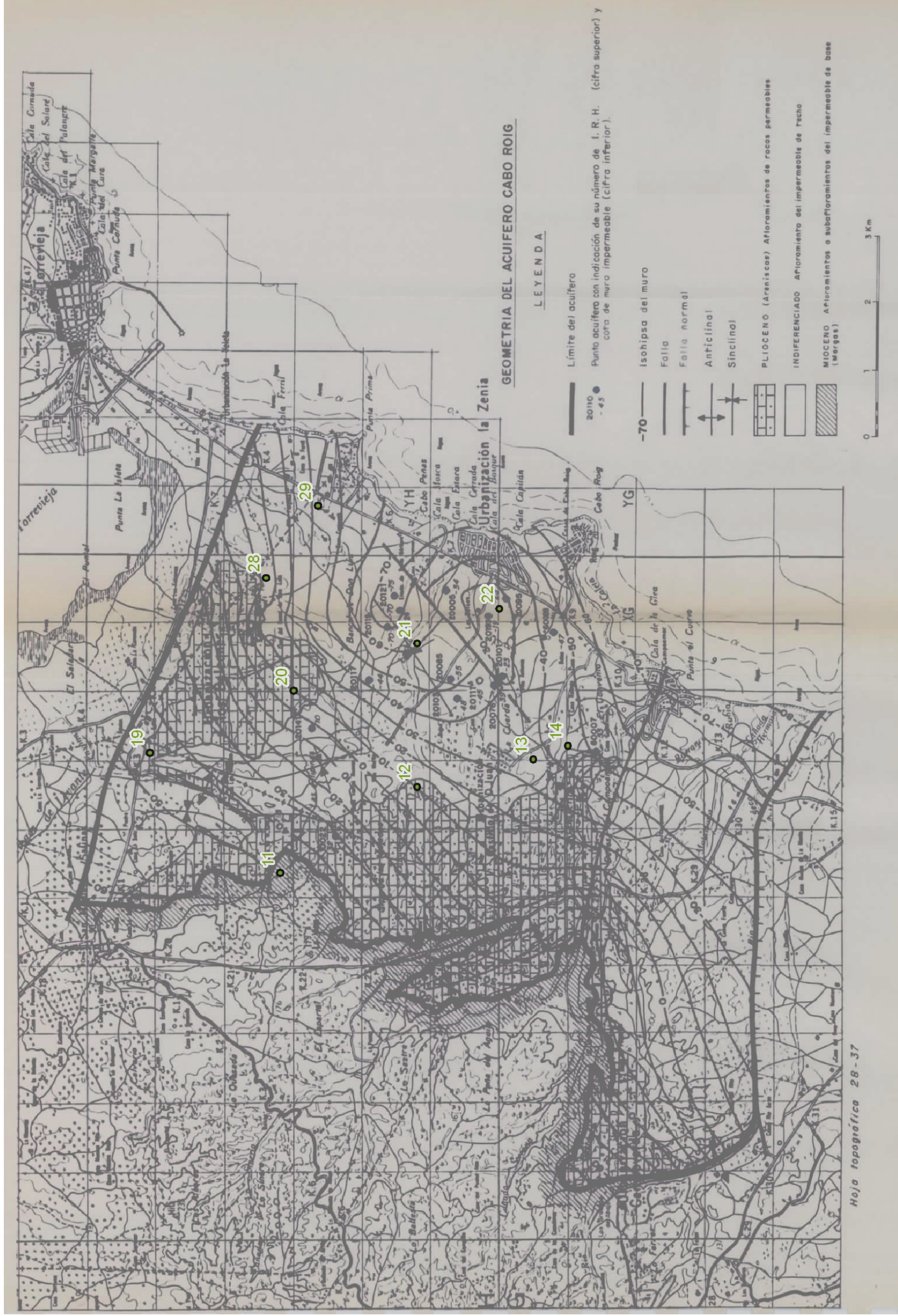


Figura 3. Mapa de la geometría del acuífero Cabo Roig y ubicación de los SEV realizados en la zona (IGME, 1990 a).

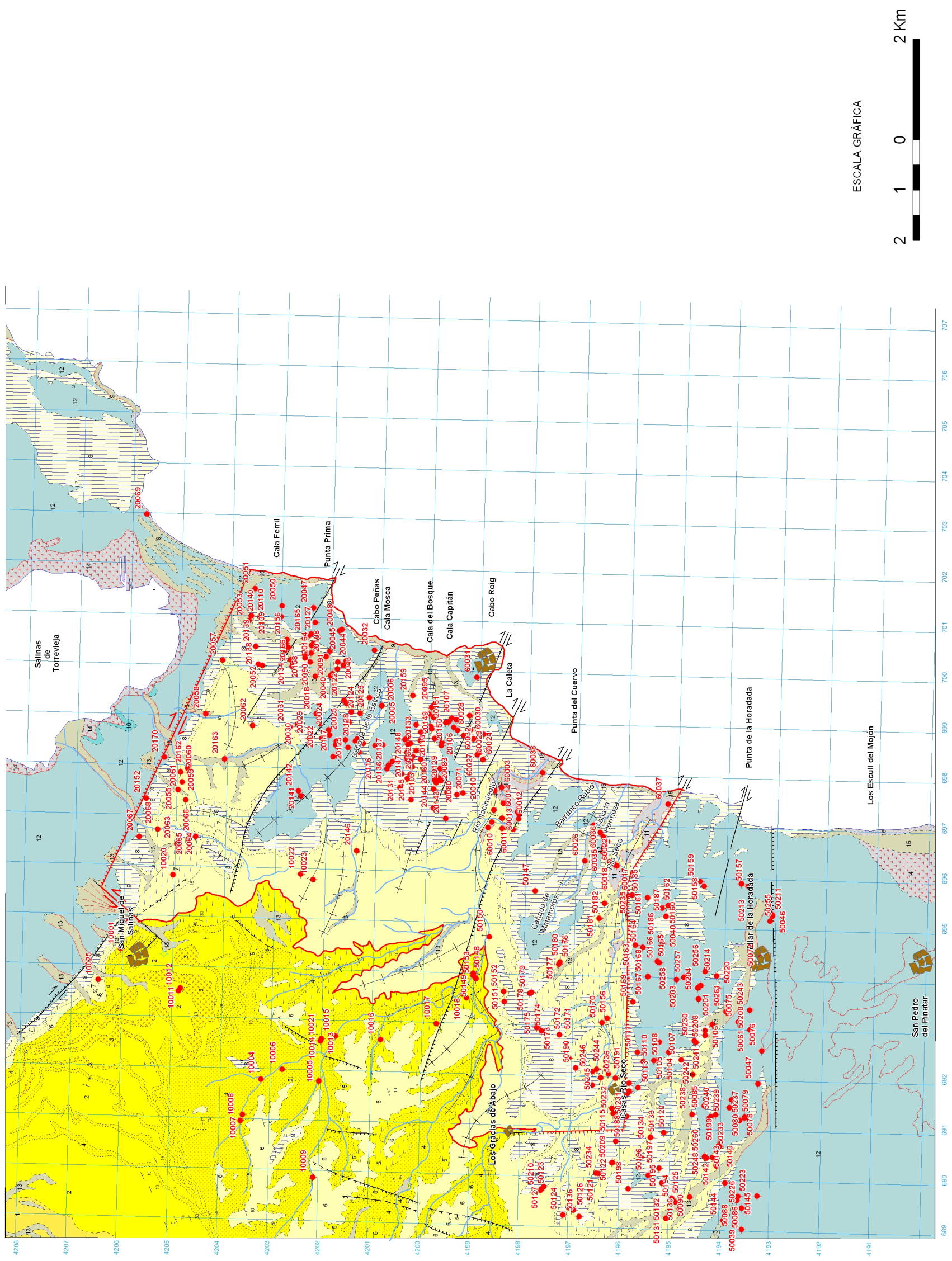


Figura 4. Ubicación de los puntos acuíferos, tomada de la base de datos del IGM.

5. CONTRIBUCIÓN GEOLÓGICA DEL ESTUDIO

Es importante recalcar la importante contribución que ha tenido la geología en este estudio y en el modelo de flujo con densidad variable del acuífero de Cabo Roig, además de los interesantes avances que ha tenido en los últimos años. Los aportes más significativos son:

- Modificación del Mapa Geológico de España, hoja 935, Torrevieja. Escala 1:50.000: su mayor contribución es la tectónica que se ha incorporado en el mapa. Las fallas identificadas y deducidas, de norte a sur son:
 1. Falla normal de S. Miguel de Salinas, con carácter de desgarre dextal.
 2. Falla de desgarre de Punta Prima,
 3. Falla normal en Cala Mosca.
 4. Falla normal de Cabo Roig, con carácter de desgarre dextal.
 5. Falla de desgarre en La Caleta.
 6. Falla normal de río Nacimiento, con carácter de desgarre dextal.
 7. Falla normal de río Seco, con carácter de desgarre dextal.

Las fallas que fueron consideradas en el modelo son la de S. Miguel de Salinas y las de los ríos Nacimiento y Seco, sin embargo durante la simulación del flujo subterráneo, se observó que existían otros saltos piezométricos los cuales hasta el momento no podían ser justificados geológicamente, a partir de esta contribución en la tectónica del mapa geológico se incorporarán las fallas 2, 4 y 5 en el modelo del acuífero de Cabo Roig, las cuales coinciden con los saltos piezométricos; más importantes identificados en el modelo.

- Realización de cortes geológicos: mediante estos, se puede observar la influencia de las fallas en los estratos, las cuales provocan el levantamiento y hundimiento de algunos bloques.

6.1. Encuadre geológico e hidrogeológico

El acuífero de Cabo Roig se encuadra geológicamente dentro de las Cordilleras Béticas y concretamente en una cuenca posttectónica, denominada del Campo de Cartagena. Según Rodríguez Estrella (1995 y 2000) esta última: "Se trata de una de las depresiones interiores de las Cordilleras Béticas, que está ocupada por un potente relleno neógeno, predominantemente margoso de más de 1.000 m de espesor, en el que se dan intercalaciones de conglomerados y areniscas (150 m de media) del Tortoniense, calcarenitas (125 m) del Andaluciense o Messiniense y areniscas (35 m) del Plioceno. Los terrenos mas modernos corresponden al Cuaternario de limos, gravas, arcillas, conglomerados y caliches (50 m).

Los materiales terciarios, que constituyen a grandes rasgos un sinclinorio, descansan discordantemente y en posición subhorizontal sobre una estructura en bloques del Bético, tales como el Cabezo Gordo (emergido) y Riquelme (subemergido). Estos bloques han sido motivados por una serie de fallas de

dirección N 45 W, NE-SW y W-E, que han condicionado el depósito del Messiniense, Plioceno, incluso Cuaternario (fig 5); ello explica que estos depósitos, presenten diferentes espesores según se encuentren en una zona de surco o de umbral (Rodríguez Estrella, 1986 y Rodríguez Estrella y Lillo Carpio, 1992).

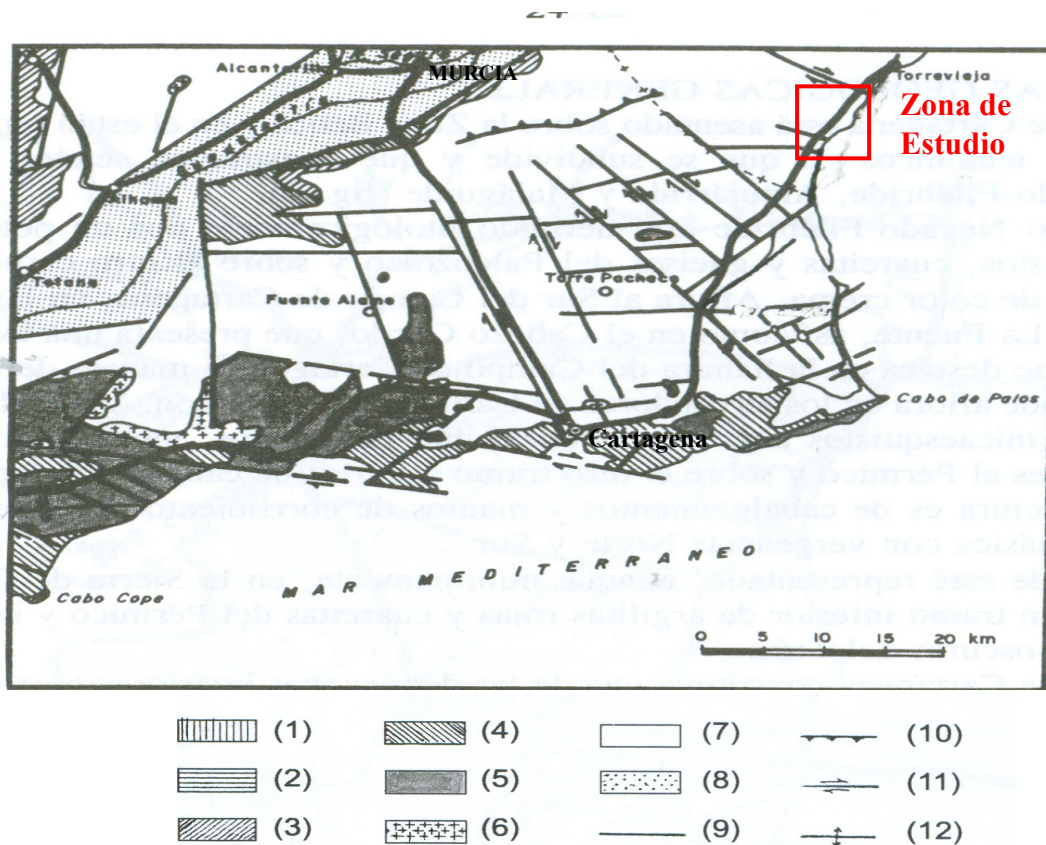


Figura 5. Esquema geológico regional del Campo de Cartagena. 1: Subbético medio. 2: Subbético interno. 3: Maláguide. 4: Alpujárride. 5: Nevado-Filábride. 6: Rocas volcánicas. 7: Neógeno. 8: Cuaternario. 9: Falla. 10: Falla inversa. 11: Falla de desgarre lateral. 12: Anticlinal. (Rodríguez Estrella, 1995, modificado).

En la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena se han definido (IGME, 1994) seis acuíferos, que son los siguientes (fig. 6): Triásico de los Victorias, Tortoniense, Andaluciense (o Messiniense), Plioceno, Cabo Roig (con roca permeable principal del Plioceno) y Cuaternario (fig. 6). El Plioceno de Cabo Roig está desconectado hidráulicamente con el del resto del Campo de Cartagena por la Falla del Río Seco, de más de 50 m de salto. Todos ellos están desconectados mediante fallas costeras (geológica e hidrogeológicamente) con el Mar Menor, a excepción del acuífero Cuaternario; el acuífero de Cabo Roig está conectado con el Mar Mediterráneo.

6.2. Estratigrafía.

Por la carretera que va de S. Miguel de Salinas a la Autovía de la Costa, se puede levantar una serie neógena bastante completa, que de muro a techo es la

siguiente (ver cortes geológicos en las figuras 8 a y 8 b y su ubicación en la figura 7):

- (**M₁**). Más de 150 m (en el sondeo de Río Nacimiento II se cortaron casi 350 m) de margas oscuras (por la presencia de lignito) arenosas y margas plásticas con diseminaciones de yeso, que presentan intercalaciones de lentejones de areniscas y yesos de hasta 10 m de espesor, éstos últimos situados hacia la base (afloran inmediatamente al sur de S. Miguel de Salinas). A pesar de la presencia de litologías continentales, su procedencia predominante es marina; de ahí que hayan encontrado abundantes globigerinidos (se ha identificado la zona de *Globorotalia margaritae*, según Montecat, 1973 e IGME, 1977), lo que ha permitido datar a este tramo como perteneciente al Messiniense inferior.

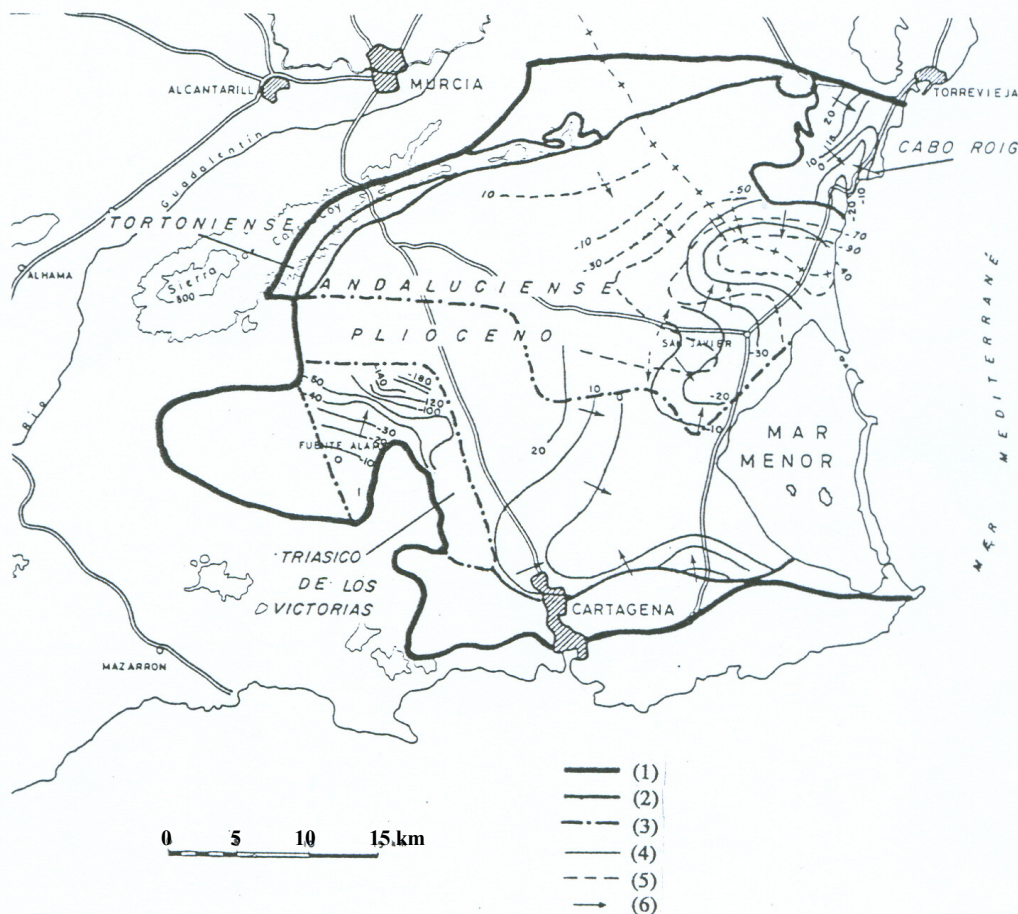


Figura 6. Acuíferos de la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena. Leyenda: (1) límite de la unidad hidrogeológica. (2) límite del acuífero. (3) límite del acuífero supuesto. (4) Isopieza, primavera de 1991 (IGME). (5) Isopieza del acuífero del Andaluciense. (6) líneas de flujo.

- (**M₂**). 25 a 50 m (mayor espesor hacia el sur) de areniscas blancuzcas de grano fino y medio con delgados niveles de arcillas verdes. Debido a su

carácter arrecifal, este tramo aumenta enormemente de potencia a partir del Río Seco (100 m en el pozo 283750047 y 215 m en el 283750053) y pasa a calcarenitas oolíticas, pararrecifales y bioesparitas con abundante macrofauna marina banal de ostreidos y lamelibranquios. Se le atribuye una edad de Messiniense medio.

- (M₃). 75 a 125 m (mayor espesor hacia el sur, motivado también por el carácter discordante del Plioceno) de margas grises-amarillentas a verdes, muy siltosas, con escasas y finas intercalaciones areniscosas; en ocasiones, hacia el techo existen unas limolitas rojas continentales, con fauna de ostrácodos y charáceas, que anuncian ya la regresión miocénica. En la base existen numerosos microforaminíferos planctónicos, entre los que destaca el discutido *Sphaeroidinellopsis subdehiscens*, que para Montenat (1973) es ya característico del Plioceno inferior, mientras que para el IGME (1977), todavía pertenece al Messiniense superior; nosotros nos inclinamos, basándonos en datos regionales, por la última interpretación.
- (P₁). 25 a 50 m (mayor espesor hacia el sur) de areniscas blanco-amarillentas, muy deleznable, que presentan un carácter transgresivo, con grano grueso a medio y presencia de lamelibranquios; también aparecen intercalaciones de finas capas de margas amarillo-verdosas hacia la base, en donde se ha descrito la zona de *Globorotalia puncticulata*, que data del Plioceno inferior.
- (P₂). 10 a 100 m (mayor espesor hacia el sur, motivado fundamentalmente por el carácter discordante de los materiales suprayacentes) de margas blancas y verdes con intercalaciones hacia el techo de calizas lacustres con gasterópodos, ostrácodos y charáceas, de carácter ya claramente continental; hacia el sur, en S. Pedro del Pinatar, se ha encontrado en los sondeos la presencia abundante de yesos. Se le atribuye una edad de Plioceno superior.
- (Fs). Sobre cualquiera de los materiales anteriormente descritos reposa discordantemente la “formación Suscina” (Montenat, 1973), que está constituida en la base por 5 a 25 m (mayor espesor hacia el sur) de arcillitas y limonitas de color rojo y salmón en el techo (con nódulos blancos blandos de yeso y carbonato) y sobre ellas unos caliches (Ca) de hasta 3 m de espesor. Se le atribuye una edad de Plio-Cuaternario, ya que en la base se han encontrado gasterópodos terciarios, tales como el *Iberius gualterianus alonensis* (IGME, 1977).
- El Cuaternario (Q) está representado por gravas, arenas y limos y puede llegar a tener 50 m de potencia.

6.3. Tectónica

El acuífero de Cabo Roig constituye a grandes rasgos un horst tectónico que viene condicionado por dos grandes fallas de borde (ver modificación del mapa geológico en la figura 7):

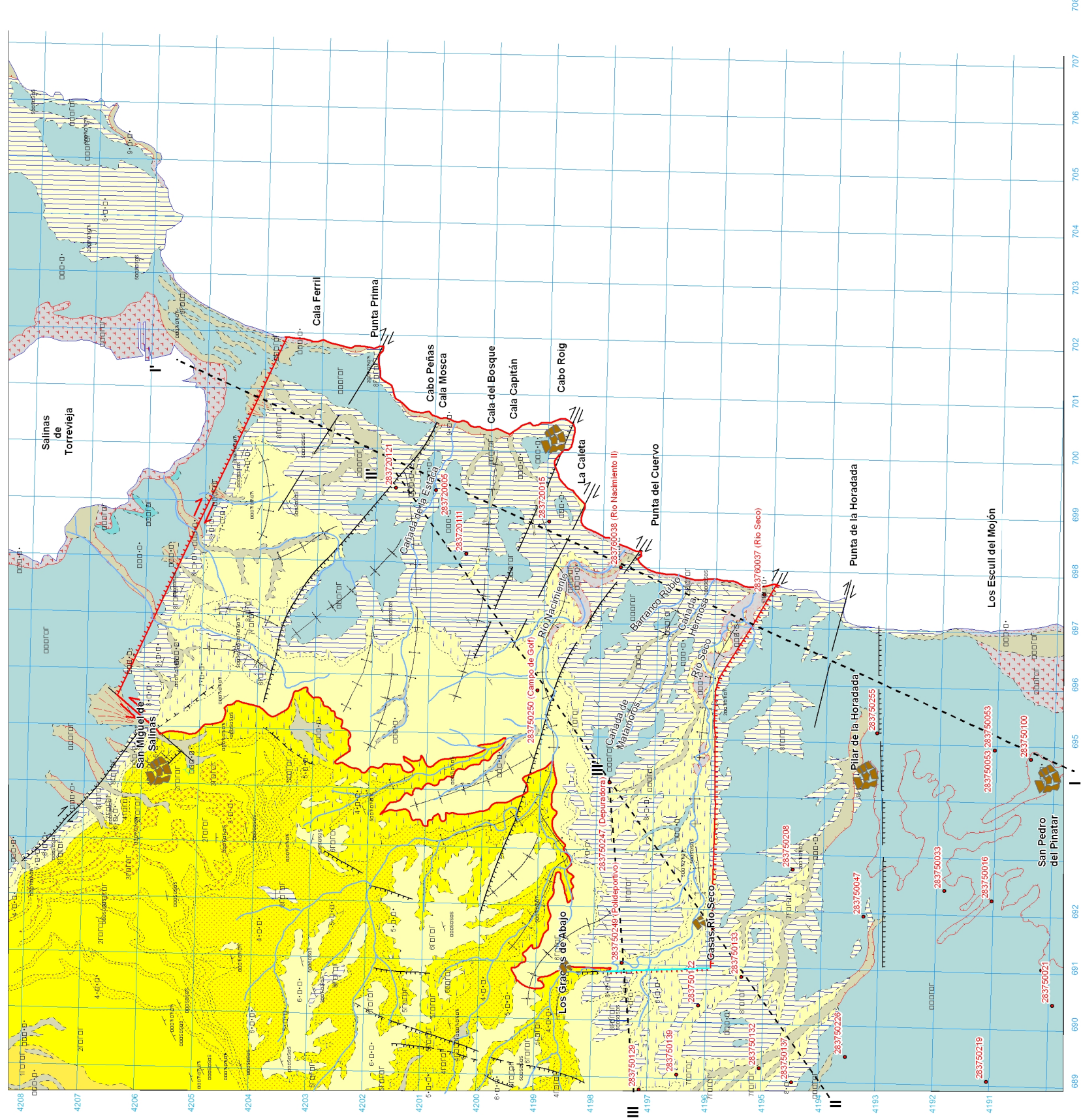
- Al norte, la Falla de S. Miguel de Salinas (Montentat, 1973), de dirección NE-SW, que tiene un carácter de desgarre dextral y de falla normal, con bloque septentrional hundido, en el que se sitúa la cuenca neógena de Torrevieja; según Rodríguez Estrella y Lillo Carpio (1992), el salto es de hasta 300 m, según sondeos.
- Al sur, la Falla de Río Seco (Rodríguez Estrella y Lillo Carpio, 1993), de dirección W-E, que tiene un carácter de desgarre dextral y de falla normal, con bloque meridional hundido, en el que se sitúa la cuenca neógena del Campo de Cartagena, propiamente dicho; el salto registrado por sondeos es superior a los 100 m.

Según Rodríguez Estrella y Lillo Carpio (1993): “La geomorfología del sector costero alicantino, comprendido entre Torrevieja y Torre de la Horadada, está fuertemente condicionada por una predominante neotectónica compresiva de dirección casi N-S, que ha ocasionado estructuras con directrices próximas a W-E; entre ellas se pueden mencionar los siguientes pliegues: anticlinales con núcleo en Plioceno de Cueva Blanca, Dehesa de Campoamor y Casa Vereá y sinclinales con núcleo en Plio-Cuaternario de Lo Monte, Barranco Rubio y Bancal de D. Luís. Las fallas definidas de dirección N 110 E (sin embargo, hacia el sur se aproximan a W-E), de carácter predominantemente dextrorsum pero con componente normal posterior, han sido, entre otras: **Falla de Punta Prima**: el desgarre dextro ha condicionado el pequeño cabo y el bloque septentrional hundido presenta un salto de 50 m, deducido mediante sondeos; **Falla de Cabo Roig**: igual que la anterior; **Falla del Río Nacimiento**: de desgarre dextral, condiciona el cauce del río y la Punta del Cuervo y presenta el bloque meridional hundido; esta última falla, junto con la de Cabo Roig, constituye un horst-anticlinal (zona elevada).

Inmediatamente al norte de la Falla del Río Nacimiento, los sondeos de Río Nacimiento II y Campo de Golf han puesto de manifiesto la existencia de una falla normal oculta, con buzamiento hacia el norte, que chocaría en profundidad con la Falla del Río Nacimiento y que haría desaparecer en esta zona las areniscas del Messiniense medio (pasaría de M_3 a M_1); este hecho tiene su lógica repercusión en el sistema acuífero.

Cabe destacar, por último, las direcciones aberrantes de los pliegues (NW-SE y casi W-E), distintas de las que caracterizan a las Cordilleras Béticas (NE-SW); ello es debido a que las fallas de esas direcciones (en principio normales) condicionaron el depósito desde el Mioceno superior, de ahí que existan surcos y umbrales con esas direcciones y fallas ocultas; algunas de estas fallas actuaron con posterioridad como de desgarre.

La existencia de esta cuenca de sedimentación postectónica, próxima al mar (que constituiría un pequeño “geosinclinal”), con direcciones aberrantes; no se trata de un caso aislado, ni del pasado; pues se sabe que actualmente se está produciendo una subsidencia tanto en la Salina de Torrevieja como en el Mar Menor (ambas de dirección casi N-S), como lo demuestra la existencia de epicentros sísmicos en sus fondos (Rodríguez Estrella, 1986).



LEYENDA

CUATERNARIO	16 15 14 13 12 11 10 9	Q
PLIOCENO	8 7 6 5 4	Ca FS P2 P1 M3 M2 M1
NEOGENO		
MIOCENO		
SUPERIOR		
ANDALUCIENSE		
TORTONIENSE SUP.	1	
TORTONIENSE SUPERIOR		

- 16 Playas
- 15 Dunas
- 14 Limos de marisma
- 13 Aluviones y coluviones actuales
- 12 Limos, negros, rojos y cantos encostrados
- 11 Terrazas aluviales
- 10 Limos salmón a rojo y niveles negros
- 9 Calcarenita gruesa y caliza oolítica
- 8 Ca con episodios de caliche
- 7 Margas blancas
- 6 Areniscas y calcarenitas
- 5 Margas grises y areniscas
- 4 Areniscas con niveles margosos
- 3 Yesos masivos y margas con yeso
- 2 Margas arenosas y margas
- 1 Margas grises con lentejones de arenisca

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- Contacto concordante
- Límite de terraza
- Falla normal
- Anticlinal
- Estratificación
- Falla de desgarre
- Falla deducida
- Cortes I - I'
- Contacto discordante
- Escarpe sobre terreno Cuaternario
- Falla con indicación de inclinación supuesta
- Sondeo
- Falla
- Límite del acuífero del Plioceno de Cabo Roig
- 283760038 Sondeos empleados en los cortes

ESCALA GRÁFICA



Figura 7. Mapa Geológico de España modificado, hoja 935, Torreveja. Escala 1:50.000 y ubicación de cortes geológicos I, II y III. (modificado por Tomás Rodríguez Estrella).

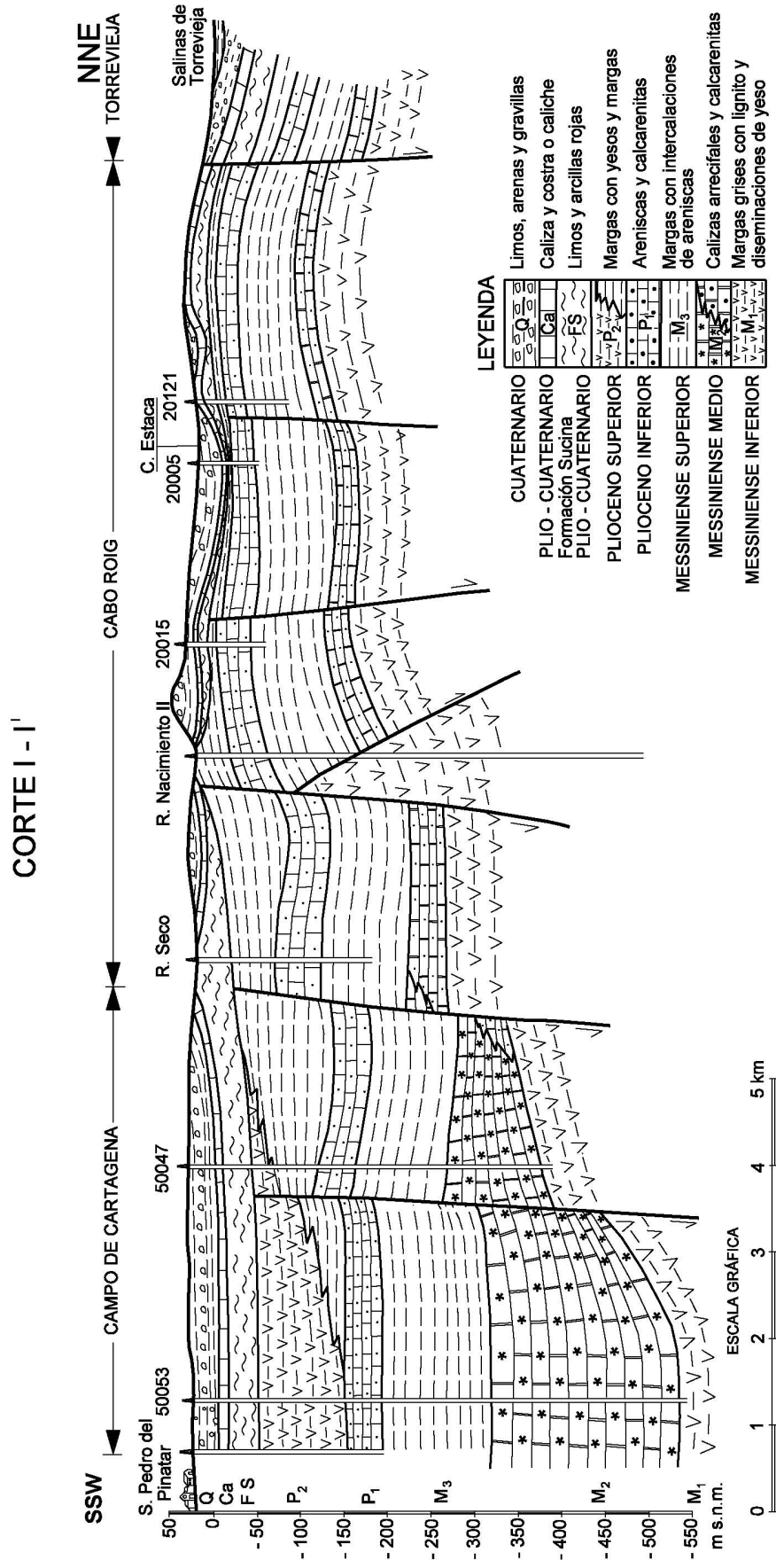


Figura 8. a) Corte Geológico I - I' realizado en el acuífero costero de Cabo Roig.

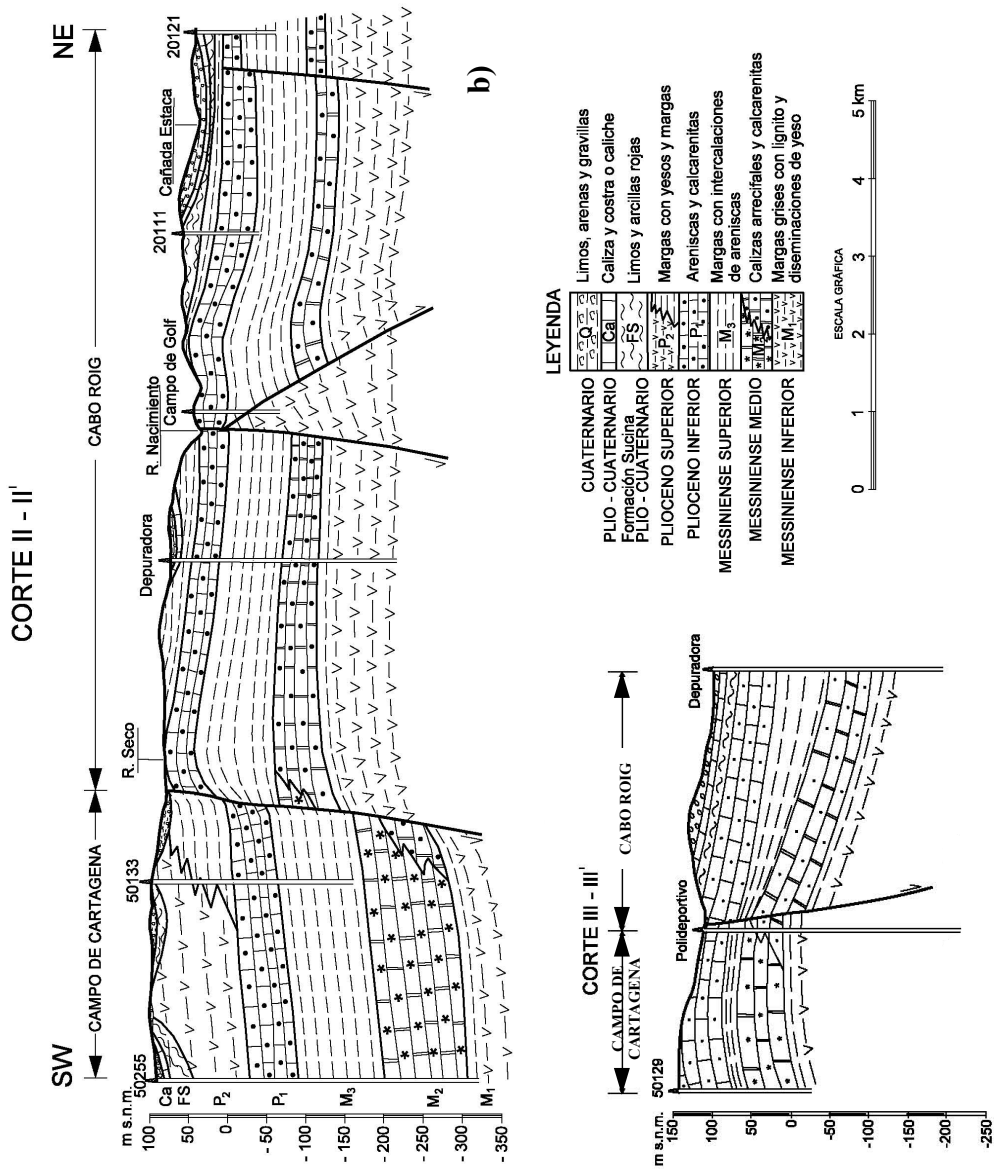


Figura 8. b) Cortes Geológicos II - II' y c) III - III', realizados en el acuífero costero de Cabo Roig.

6. MODELO GEOMÉTRICO DEL SISTEMA ACUÍFERO EN LA ZONA SUR.

En este apartado se presenta en primer lugar las generalidades y síntesis litoestratigráfica de los tres sondeos de investigación realizados, para posteriormente contrastarlos y correlacionarlos con la información de base.

5.1. Síntesis litoestratigráfica de los sondeos de investigación realizados en la zona sur-oeste.

En la zona sur-oeste se realizaron tres sondeos de investigación con interés hidrogeológico (ver ubicación en figura 2), para observar la secuencia litoestratigráfica en esta zona. A continuación se presentan las principales características de los sondeos realizados (tabla 2, 3 y 4) y su respectiva descripción litológica en las figuras 9, 10 y 11. Se puede observar que los sondeos Cabo Roig I y II siguen la secuencia estratigráfica regional de la hoja de Torreveja y atraviesan las dos unidades acuíferas del Plioceno y Messiniense Medio (Andaluciense). Mientras que el sondeo Cabo Roig III cruza el acuífero superior del Plioceno, pero no atraviesa el acuífero inferior del Messiniense Medio; pasando de las margas que forman el techo del Messiniense Superior directamente al impermeable de base del acuífero inferior formado por margas oscuras con diseminaciones de yeso (Messiniense Inferior), ver figura 11. Esto se produce debido a la presencia de una falla normal oculta que se cortaría en profundidad con la falla de río Nacimiento, y que haría desaparecer en esta zona las areniscas del Messiniense.

El acuífero superior del Plioceno está constituido por areniscas amarillentas de grano medio a grueso, con restos de lamelobranquios; presenta mejores características que el acuífero inferior del Messiniense. En la zona sur, el acuífero inferior está formado por areniscas más margosas y de grano más fino, lo que empeora su capacidad de almacenamiento y transmisión, convirtiéndolo en un acuífero poco productivo.

El acuífero del Plioceno de Cabo Roig en estos sondeos se encontró a escasa profundidad, de 0 a 26.50 m, por encontrarse ubicados en el afloramiento del mismo. El espesor registrado en estos sondeos de las areniscas del Plioceno está entre 22 y 46.50 m.

El acuífero inferior, perteneciente al Messiniense Medio, está formado por calcarenitas con un espesor entre 40 y 51 m. En los sondeos realizados, se encontró este nivel acuífero a una profundidad de 47.10 y 140 m, en los registros de Polideportivo y Depuradora, respectivamente; incrementando su profundidad de oeste a este.

Generalidades	
Término Municipal- Provincia	Orihuela - Alicante
Cuenca hidrográfica	Segura
Sistema acuífero	Cabo Roig
Coordenadas	X: 694201 Y: 4197787
Cota topográfica	89 m snm
Toponimia	Depuradora
Nº de registro – IGME	283750247
Objeto	Sondeo de investigación. Hidrogeología
Tipo de perforación	Rotación con recuperación de testigos
Profundidad de la obra	280.45 m
Año de ejecución	2006

Tabla 2. Generalidades del Sondeo Cabo Roig I – “Depuradora”.

Generalidades	
Término Municipal- Provincia	Orihuela - Alicante
Cuenca hidrográfica	Segura
Sistema acuífero	Cabo Roig
Coordenadas	X: 691018 Y: 4197491
Cota topográfica	97 m snm
Toponimia	Polideportivo
Nº de registro – IGME	283750249
Objeto	Sondeo de investigación. Hidrogeología
Tipo de perforación	Rotación con recuperación de testigos
Profundidad de la obra	325 m
Año de ejecución	2006

Tabla 3. Generalidades del Sondeo Cabo Roig II – “Polideportivo”.

Generalidades	
Término Municipal- Provincia	Orihuela - Alicante
Cuenca hidrográfica	Segura
Sistema acuífero	Cabo Roig
Coordenadas	X: 695797 Y: 4199085
Cota topográfica	46 m snm
Toponimia	Campo de Golf
Nº de registro – IGME	283750250
Objeto	Sondeo de investigación. Hidrogeología
Tipo de perforación	Rotación con recuperación de testigos
Profundidad de la obra	105 m
Nivel piezométrico	22.10 m snm (prof:23.90)
Año de ejecución	2006

Tabla 4. Generalidades del Sondeo Cabo Roig III – “Campo de Golf”.

Edad Geológica	Columna Estratigráfica	Litología y Observaciones
Cuaternario (Q)	0 m	Margas plásticas amarillentas
Plió-Cuaternario (Ca)	7.40 m	Gravillas, arenas y limos
	12 m	Costra calcárea (caliche)
Plioceno Superior (P2)	15 m	Margas verdes
Plioceno Inferior (P1)	26 m	Margas blancas
	26.50 m	Areniscas amarillentas claras de grano grueso y medio, con restos de lamilobranquios ACUÍFERO SUPERIOR, está desaturado
Messiniense Superior (M3)	59 m	Margas arenosas amarillentas
Messiniense Medio Andaluciense (M2)	140 m	Areniscas blancuzcas de grano fino y medio, con delgadas intercalaciones de arcilla verde ACUÍFERO INFERIOR, poco productivo porque es un cambio de facies del existente en Campo de Cartagena al hacerse más margoso y de grano más fino
Messiniense Inferior (M1)	191 m	Margas arenosas oscuras con lignito y diseminaciones de yeso Margas claras con lignito y diseminaciones de yeso IMPERMEABLE DE BASE DEL ACUÍFERO INFERIOR
	280.45 m	

Figura 9. Columna estratigráfica del sondeo Cabo Roig I (Depuradora).

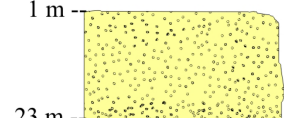
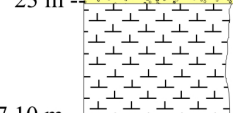
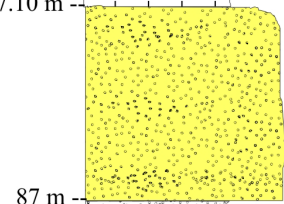
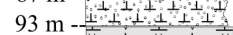
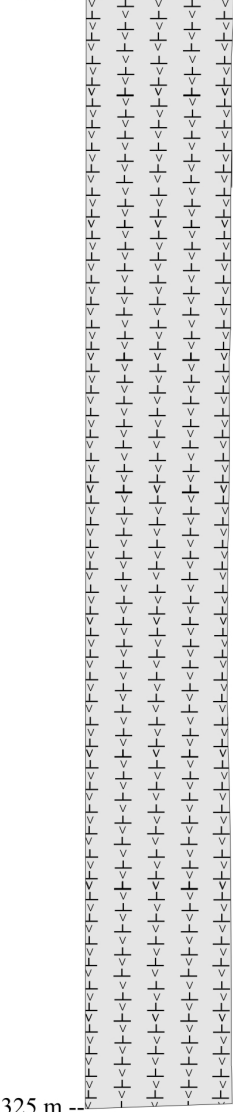
Edad Geológica	Columna Estratigráfica	Litología y Observaciones
Plioceno Inferior (P1)		<p>Areniscas amarillentas de grano grueso y medio, con restos de lamelibranchios</p> <p>ACUÍFERO SUPERIOR, está desaturado</p>
Messiniense Superior (M3)		<p>Margas verdosas con intercalaciones de areniscas de grano fino blancuzcas</p>
Messiniense Medio Andaluciense (M2)		<p>Areniscas blancuzcas de grano fino y medio con delgadas intercalaciones de arcilla verde</p> <p>ACUÍFERO INFERIOR, poco productivo porque es un cambio de facies del existente en Campo de Cartagena al hacerse más margoso y de grano más fino</p>
Messiniense Inferior (M1)		<p>Margas arenosas (nivel de transición)</p>
		<p>Alternancias de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Margas arenosas oscuras con lignito y diseminaciones de yeso Margas claras con lignito y diseminaciones de yeso Margas plásticas oscuras <p>IMPERMEABLE DE BASE DEL ACUÍFERO INFERIOR</p>

Figura 10. Columna estratigráfica del sondeo Cabo Roig II (Polideportivo).

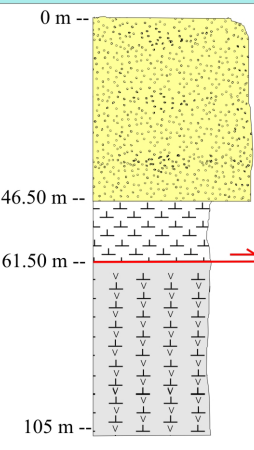
Edad Geológica	Columna Estratigráfica	Litología y Observaciones
Plioceno Inferior (P1)	0 m -- 	Areniscas amarillentas y color claro de grano grueso y fino, con restos de lamelobranquios ACUÍFERO SUPERIOR, está desaturado
Messiniense Superior (M3)	46.50 m -- 61.50 m --	Margas arenosas color claro y amarillentas Falla normal de Río Nacimiento
Messiniense Inferior (M1)	61.50 m -- 105 m --	Margas arenosas oscuras con lignito y diseminaciones de yeso IMPERMEABLE DE BASE DEL ACUÍFERO INFERIOR

Figura 11. Columna estratigráfica del sondeo Cabo Roig III (Campo de Golf).

5.2. Contraste y correlación con la información de base.

En la figura 12 se pueden observar los registros de la base de datos de la unidad de Hidrogeología y Aguas Subterráneas (IGME), que tienen datos de columnas estratigráficas. Como se puede apreciar en la zona sur, solo se contaba con tres columnas y con el mapa de isohipsas del muro del acuífero del Plioceno, esto ocasionó problemas en el momento de definir la geometría del acuífero de Cabo Roig. Además se han incorporado puntos acuíferos situados fuera de Cabo Roig, para establecer o descartar una posible conexión con el acuífero de Campo de Cartagena, a través de la falla de río Seco y del anticlinal del borde sur-occidental.

Estudios recientes han sido realizados en la zona sur para definir su geometría, entre los cuales están: seis sondeos realizados por parte de la UPCT en el 2001-2002 y 3 sondeos realizados por el IGME en el 2006. En el anexo I se presenta un resumen de las principales características y litología de los sondeos realizados por la UPCT en Cabo Roig.

En la figura 13, se aprecia que la capa acuífera del Plioceno en la zona sur buza suavemente en dirección NW-SE. La profundidad de la capa acuífera aumenta de norte a sur, de la cota -38 m snm (río Nacimiento) a -84 m snm (río Seco) y en dirección oeste – este la profundidad aumenta de la cota 94 m snm (afloramiento de areniscas del Plioceno) a -84 m snm (borde costero en río Seco).

Después de haber revisado toda esta información, se ha graficado la cota del techo y muro del acuífero del Plioceno sobre el mapa de isohipsas del muro del acuífero superior, realizado en 1990. En la figura 14 se puede apreciar que los datos de la cota del muro tomados de las columnas estratigráficas, están muy por encima de la isohipsa del muro en la zona sur-occidental, mientras los valores de cota del muro están muy por debajo de la isohipsa del muro en la zona sur-oriental. Esta importante corrección de la profundidad de la capa acuífera, ha sido considerada dentro del modelo de flujo con densidad variable

del acuífero de Cabo Roig (figura 21). Hay que señalar que en las figuras 13 y 14 no se incluyen datos de las cotas del techo y muro del Plioceno de los registros en la zona norte y central, debido a que no son objeto de este trabajo. Solo se considera el registro 283720141, ubicado en la zona central del acuífero, debido a la información que aporta este sondeo sobre el acuífero inferior del Messiniense.

En el mapa de piezométrico para las condiciones medias del 2001, se observa que los niveles piezométricos en la zona sur-oeste se encuentran muy por debajo del muro del acuífero de las areniscas y calcarenitas del Plioceno, ver figuras 14 y 15. Esto indica que el acuífero superior del Plioceno se encuentra actualmente desaturado y el agua que se está explotando en esa zona pertenece al acuífero inferior de las areniscas del Messiniense.

Otro importante aporte de estudio, ha sido conocer la profundidad aproximada a la que se encuentra el acuífero inferior del Messiniense, dos de los tres sondeos de investigación captaron este acuífero (Cabo Roig I y II). Hasta el momento se pensaba que en Cabo Roig no existían pozos que exploten el acuífero inferior, pero como se puede observar los pozos más profundos están en la zona sur-occidental, con profundidades mayores a las del muro del acuífero del Plioceno, lo que corrobora que el agua extraída pertenece al acuífero inferior (Figura 16). Además se encontró en un informe realizado por el IGME en 1989, que el registro 283720141 capta los acuíferos del Plioceno y Andaluciense, existiendo datos de la profundidad de ambos acuíferos, al conocer esta información se contrastó con los registros de conductividad realizados en el 2001, donde se observó que aproximadamente a la cota -66 se comienza a producir una disminución de la conductividad de 3620 a 2350 $\mu\text{s}/\text{cm}$, coincidiendo este cambio de la calidad del agua, con la cota del techo del Andaluciense (-60 m snm), esto ratifica la presencia del acuífero del Andaluciense (figura 19).

Otros registros de conductividad como 283750170 y 283750178 (figura 19), presentan un importante espesor saturado del nivel acuífero inferior del Messiniense, entre 100 y 160 m, estos sondeos presentan un dato muy curioso, que es la disminución de conductividad en ciertos tramos, probablemente esto se deba a la presencia de entradas laterales de los acuíferos aledaños. Durante la realización de la campaña de conductividad del 2002, en la zona sur occidental se produjo un extraño comportamiento de la sonda, produciéndose pitidos irregulares, lo cual dificultó la medición de los niveles piezométricos, en las observaciones se manifiesta la presencia de entradas de aguas laterales de niveles superiores en la mayoría de sondeos ubicados en esta zona.

Con respecto a estas entradas laterales identificadas en el campo, se plantea la siguiente hipótesis: La falla de río Seco, con un salto mínimo estimado de 30 m, aísla el Plioceno de Cabo Roig del Plioceno del Campo de Cartagena que se encuentra más hundido, actuando como límite sur del acuífero. En la zona sur-occidental del acuífero, esto se definía antiguamente como una divisoria de aguas subterráneas, mientras se encontraba saturado el acuífero superior del Plioceno. Actualmente, después de una completa desaturación de este, como

consecuencia se producirían entradas laterales del Campo de Cartagena, al acuífero inferior del Messiniense en Cabo Roig, esto explicaría las observaciones en campo de entradas laterales de niveles superiores.

Si se observa la evolución piezométrica de los sondeos ubicados en la zona sur (ver anexo II) que se elaboraron para el Informe 3: “Modelo de flujo subterráneo con densidad variable para simular la intrusión marina en el acuífero de Cabo Roig (Alicante)” (IGME, 2006) y se complementa con los datos de la tabla 5, se puede resaltar que los niveles piezométricos para esta zona, desde 1974 ya se encontraban por debajo de la cota del muro del acuífero. Sin embargo observamos que los registros 283750150, 283750151 y 283750152, que están cerca de río Nacimiento, no presentaban este problema de desaturación y captaban su agua del acuífero del Plioceno, presentando niveles de agua por encima del nivel del mar. Mientras que para el 2002, esta zona ya presenta una completa desaturación, como lo evidencia el sondeo 283750150, el cual está completamente seco para este año. Esta continua desaturación de todo el borde sur-occidental, desde la altura del río Nacimiento a río Seco, pudo ser comprobada en la campaña de piezometría y conductividad del 2002, donde todos los sondeos ubicados en esta zona presentan niveles de agua muy por debajo del acuífero superior o se encuentran totalmente secos.

La zona de Campo de Cartagena cercana al acuífero de Cabo Roig, hasta el momento cuenta con datos esporádicos de piezometría para diferentes periodos de tiempo y solo se cuenta con 3 registros con mediciones periódicas: 283750210, 283750073 y 283750074 (tabla 5 y figura 20), donde se observa que los niveles de agua en el acuífero de Campo de Cartagena tienden a ser estables o presentan pequeñas disminuciones. Estos niveles piezométricos del Campo de Cartagena se presentan por encima de los niveles piezométricos medidos en la zona sur-occidental, donde se midieron valores entre -56 y -72 m snm; esto produciría un flujo de agua subterránea desde el Campo de Cartagena a Cabo Roig, lo cual justificaría la hipótesis anteriormente desarrollada. Esta hipótesis se intentará corroborar mediante la campaña de piezometría y conductividad del 2007-2008, donde se medirá también los sondeos ubicados fuera del acuífero, para ratificar o descartar esta hipótesis de una posible conexión con el acuífero del Campo de Cartagena.

En la zona sur-oeste, cerca de río Seco, se intentó realizar un sondeo de investigación, pero este no pudo ser realizado porque no existía disponibilidad de terrenos en esta zona. La importancia de este sondeo, era conocer la influencia de la falla de río Seco en los acuíferos del Plioceno y Messiniense, además de estudiar si existe alguna conexión con los acuíferos cercanos.

En las figuras 17 y 18 se muestran las cotas del techo y muro del acuífero inferior del Messiniense, donde se observa que en el Campo de Cartagena el acuífero inferior se encuentra a mayor profundidad que en Cabo Roig. El espesor de las calcarenitas está entre 40 a 90 m. En la zona norte de Cabo Roig se cuenta con datos del pozo 283720141, que capta este acuífero del Messiniense medio, donde la cota del techo es de -60 m snm. Antes de realizarse los 3 sondeos de investigación, este era el único punto acuífero que captaba ambos acuíferos del Plioceno y Messiniense.

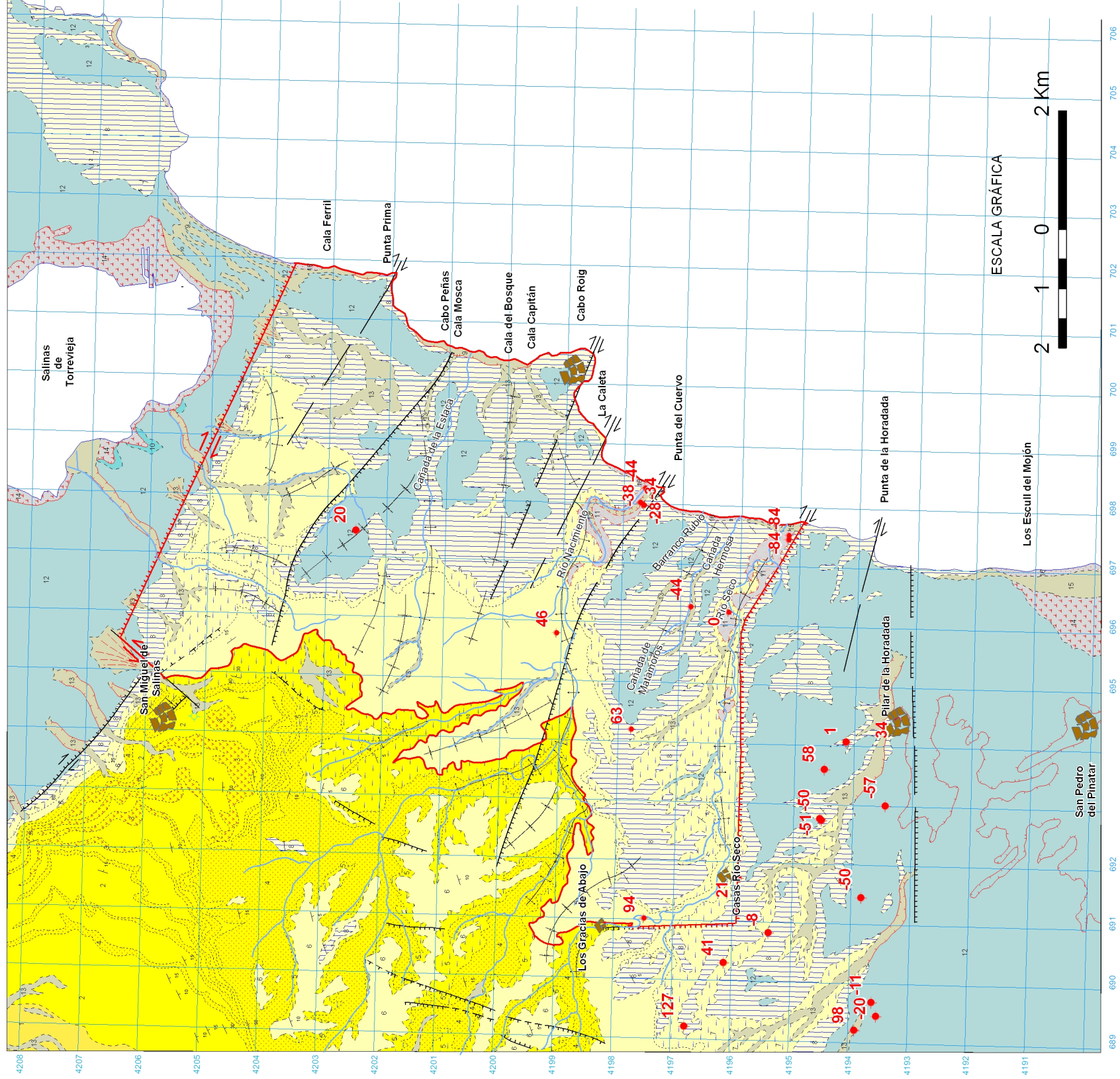


Figura 13. Cota del techo (m snm) del acuífero superior del Plioceno de Cabo Roig (para la zona sur).

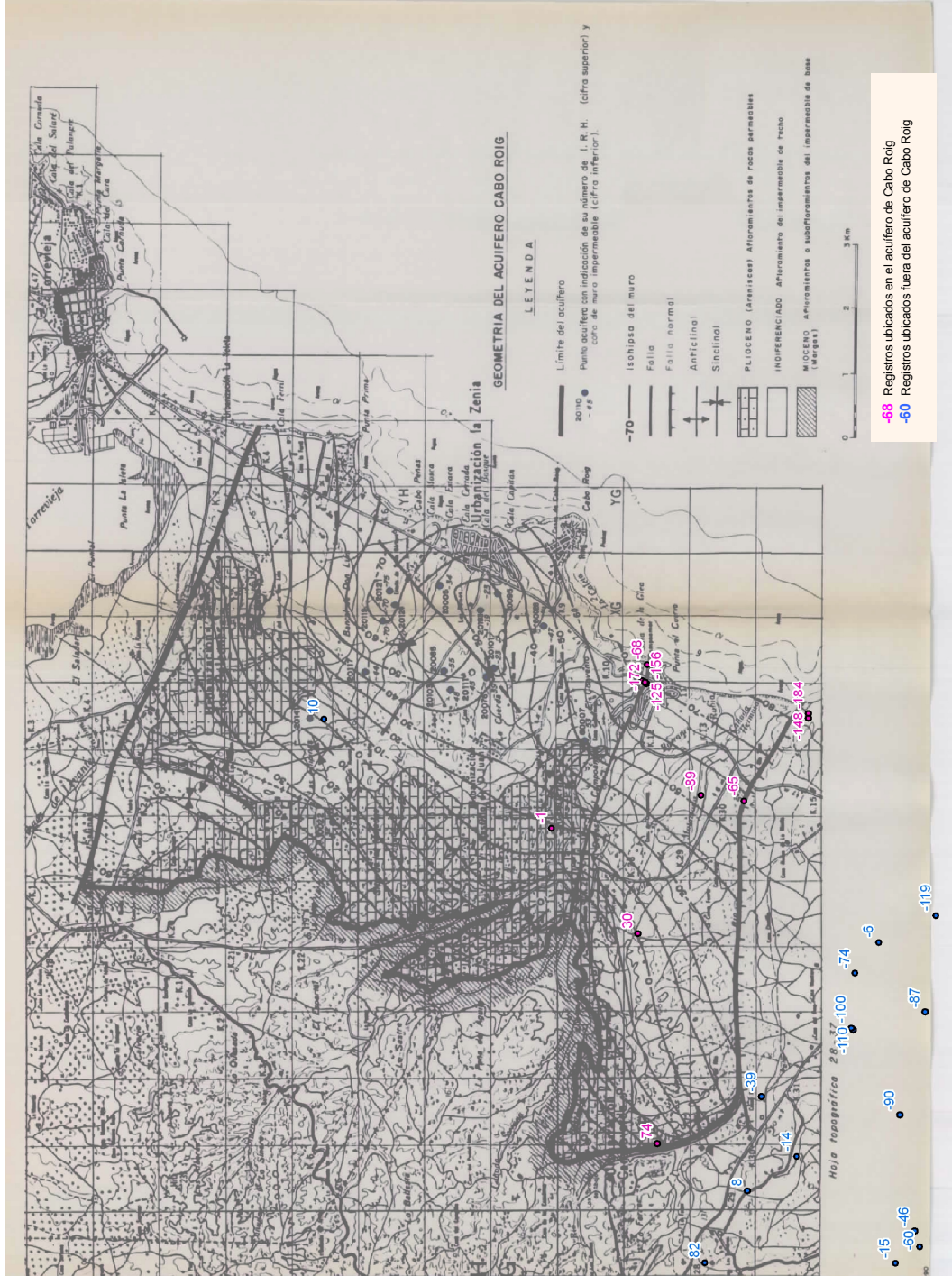


Figura 14. Cota del muro (m snm) del acuífero superior del Plioceno de Cabo Roig (para la zona sur).

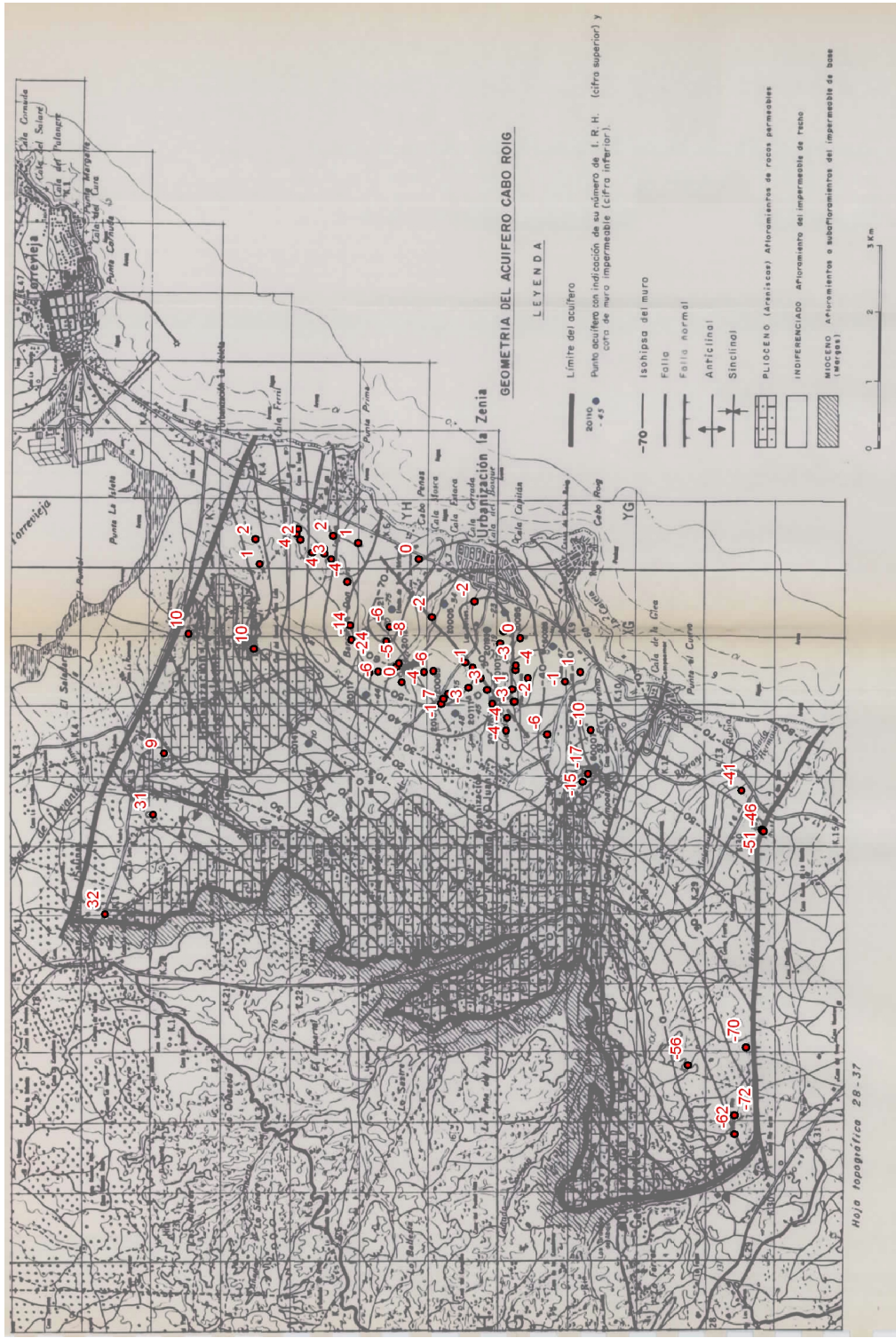


Figura 15. Mapa piezométrico (m snm) para las condiciones medias del 2001.

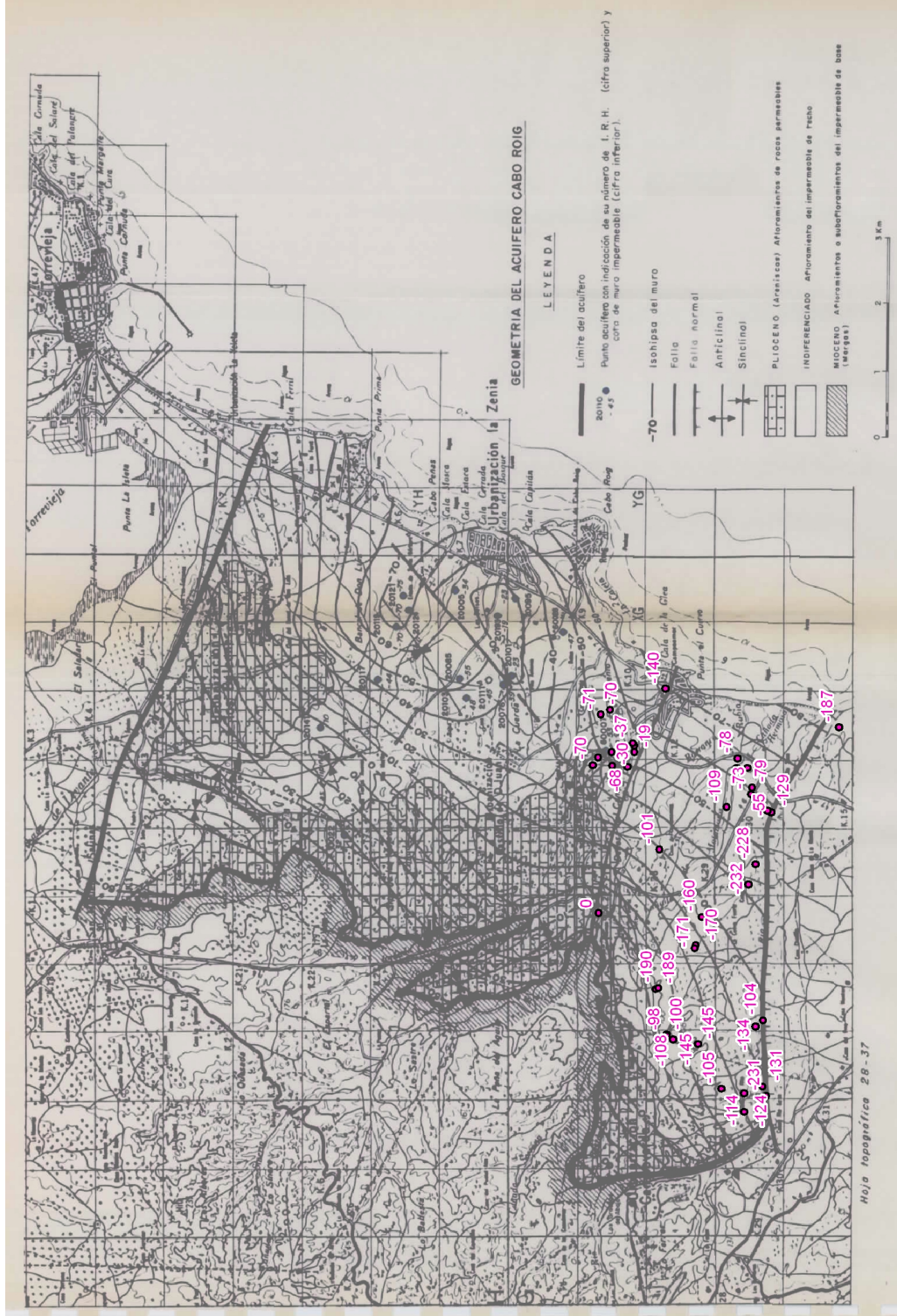


Figura 16. Profundidad (m) de los pozos ubicados en la zona sur.

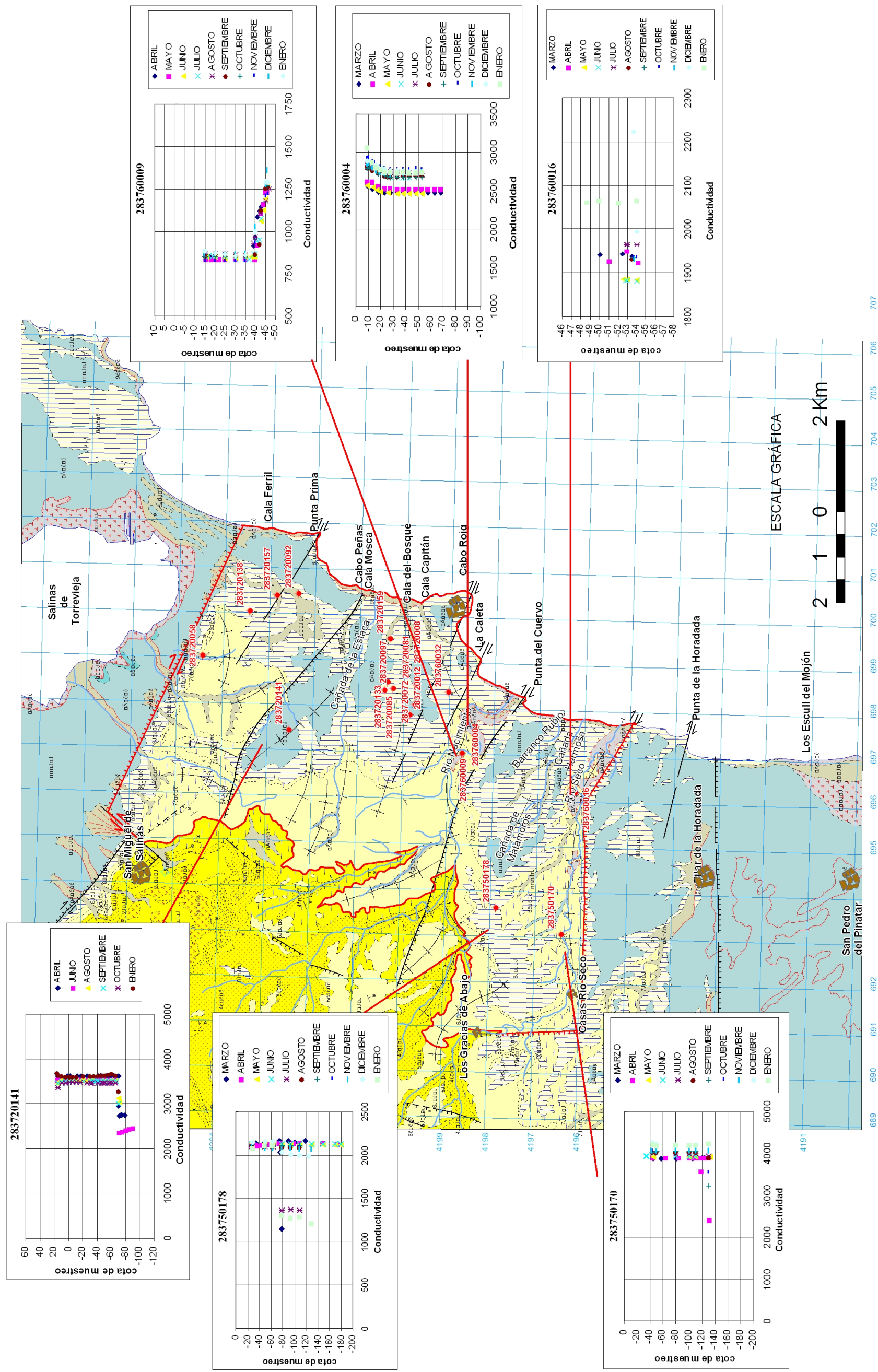


Figura 19. Evolución de la conductividad eléctrica con la profundidad en los registros nº 283720141, 283760009, 283760004, 283750178, 283750170 y 283760016.

Registros	Nov-73	feb-74	may-74	oct-74	dic-80	Jul-84	Sep-87	Nov-87	mar-89	nov-94	dic-94	ene-95	abr-96	ene-01	may-01	mar-02
283750116															-62	-61,8
283750118		-8,15														
283750150			3,46						11,07							*
283750151													-38,1			
283750152			21,4													
283750170				-29,39	-51,9										-70,45	-44,30
283750171					-26,3										-55,9	-30,8 *
283750178													-24,38			-27,6
283750180				-39												*
283750181															-66,35	-26,1
283750190																-68,5
283750246										-63,14	-74,21	-64,69			-71,6	
283750232								62								
283750115		41														
283750114		-8,4			-53,5											
283750222						-19										
283750231							7									
283750113	-17,2															
283750119		-15,25														
283750134		-42														
283750103		50,69														
283750105		32,18														
283750167					-44,45											
283750168				-45,09												
283750161				-40												
283750160				-14,2												
283710017			36,42													
283710018			37,55													

(*) El acuífero se encuentra desaturado y presenta entradas laterales de agua en los niveles superiores.

Puntos de agua situados fuera del acuífero de Cabo Roig.

Tabla 5. Niveles piezométricos registrados para diferentes periodos de tiempo, en la zona sur-occidental y en sondeos ubicados fuera del límite del acuífero.

7. CONCLUSIONES

Durante la simulación del modelo de flujo con densidad variable del acuífero de Cabo Roig, se observó que los sondeos ubicados en la zona sur-oeste del acuífero, presentaban valores anómalos de piezometría, es decir los valores simulados de piezometría estaban por encima de los valores medidos (IGME, 2006). Estas incoherencias entre el modelo numérico y la realidad física en la zona, motivaron a revisar nuevamente la información de la geometría del acuífero, a partir de la cual, se estableció que estos valores medidos de piezometría, estaban por debajo de la cota del muro definida en el mapa de isohipsas de las areniscas del Plioceno (figura 15). Lo cual indujo a formularse dos interrogantes:

- ¿El mapa de isohipsas del acuífero superior del Plioceno, está bien definido para la zona sur-oeste?
- ¿La piezometría establecida en esta zona pertenece al acuífero superior del Plioceno?

La caracterización hidrogeológica en la zona norte y central del acuífero de Cabo Roig está muy bien definida, mientras que la zona sur ha sido poco descrita hasta el momento. La importancia de este trabajo fue contribuir a mejorar el conocimiento hidrogeológico en la zona sur del acuífero, mediante la realización de tres sondeos de investigación en el sector sur-occidental. Además permitió establecer si los valores de piezometría y salinidad de los sondeos ubicados en la zona sur-occidental debían ser incluidos o no, dentro del modelo de flujo con densidad variable.

Los datos obtenidos de estos tres sondeos han sido integrados con bases de datos, estudios e informes anteriores, lo cual ha permitido entender el comportamiento de la piezometría y salinidad en esta zona. A partir de esto, se pudo concluir que los pozos ubicados en la zona sur-oeste, atraviesan y comunican dos acuíferos:

1. Acuífero superior: conformado por areniscas y calcarenitas del Plioceno inferior. Actualmente este acuífero está desaturado en esta zona.
2. Los pozos de esta zona captan el agua del acuífero inferior, conformado por areniscas del Messiniense. Este acuífero es poco productivo, debido a que es un cambio de facies del existente en Campo de Cartagena, al hacerse más margoso y de grano más fino.

En el levantamiento de los tres sondeos se observó que dos de ellos; Cabo Roig I (283750247) y Cabo Roig II (283750249); captaron ambos acuíferos, mientras el sondeo Cabo Roig III (283750250) solo captó al acuífero superior del Plioceno; el acuífero inferior del Messiniense no fue encontrado debido a la presencia de la falla del río Nacimiento, que pone directamente en contacto el Messiniense superior con el inferior.

Hay que señalar que los registros de piezometría y salinidad de los sondeos ubicados en la zona sur-occidental (entre las coordenadas: 691000 a 695000 y 4196000 a 4199000) no han sido incluidos en el modelo de flujo subterráneo, debido a que estos valores pertenecen al acuífero del Messiniense, el cual no es incluido dentro del modelo conceptual utilizado. La simulación del flujo y transporte de la salinidad fue realizada solo para la unidad acuífera superior de las areniscas del Plioceno, por lo cual los siguientes registros fueron descartados para la calibración del modelo: 283750116, 283750170, 283750171, 283750190, 283750178, 283750150, 283750151, 283750152 (IGME, 2006).

Otro importante aporte es la corrección que se ha hecho sobre el mapa de isohipsas del muro del acuífero del Plioceno, en el cual los datos de la cota del muro tomados de las columnas estratigráficas, están muy por encima de la isohipsa del muro en la zona sur-occidental, mientras los valores de cota del muro están muy por debajo de la isohipsa del muro en la zona sur-oriental (figura 21).

Una interpretación planteada es que las entradas laterales que se producen en los niveles superiores de los pozos de la zona sur-oeste (283750150, 283750171), provienen del Campo de Cartagena, debido a que el gradiente hidráulico en este sector se ha invertido, por la desaturación del acuífero superior del Plioceno.

Es importante resaltar la importante contribución geológica al desarrollo del modelo, a través de la incorporación de una nueva tectónica, a la anteriormente establecida en la realización del modelo. Durante la simulación de los niveles piezométricos en el modelo, se observaron algunos saltos piezométricos importantes, los cuales no podían ser justificados con la tectónica de ese momento; este nuevo estudio ha permitido incluir un nuevo sistema de fallas, las cuales justificarían estos cambios de la piezometría en el acuífero.

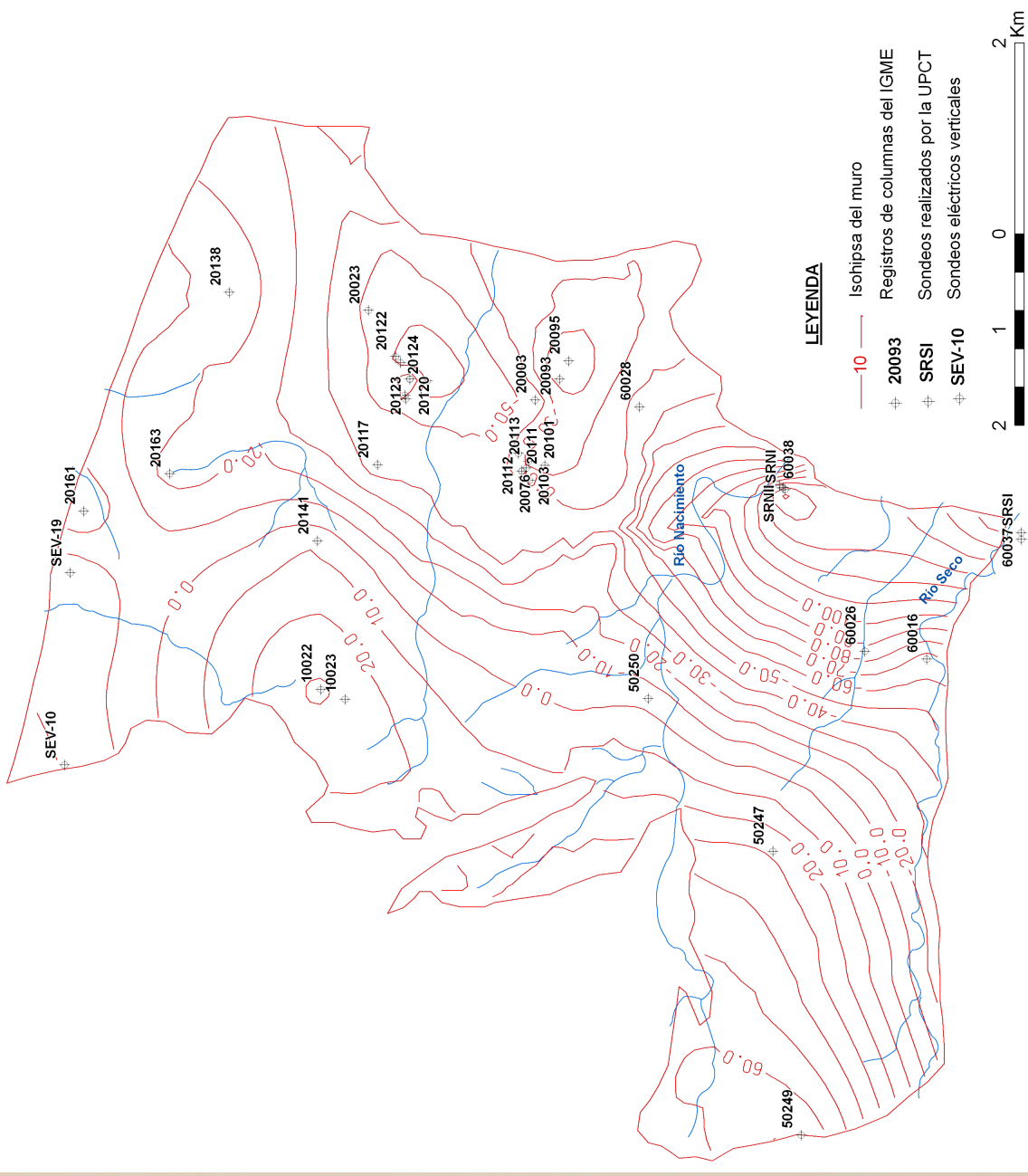
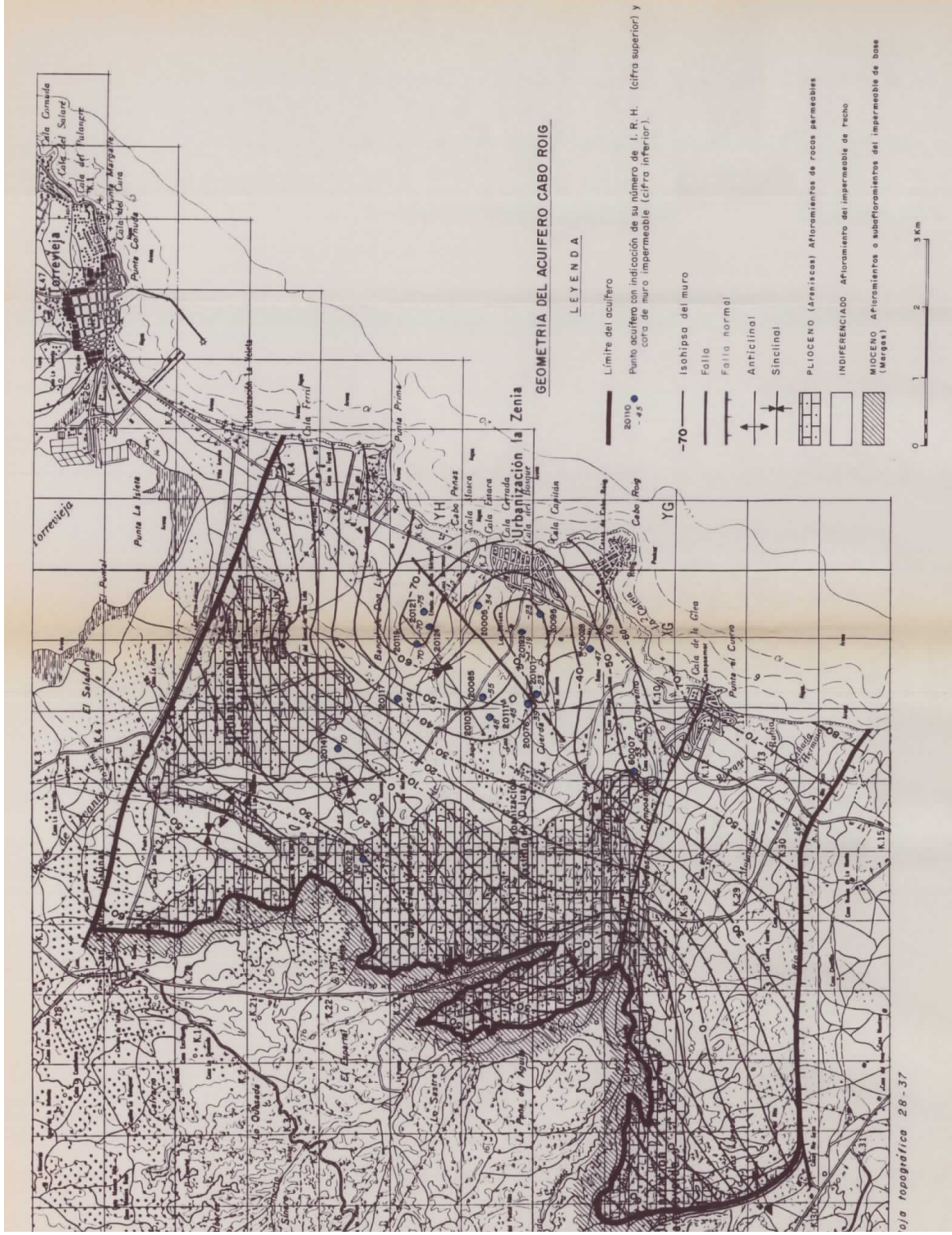


Figura 21. Mapa de isohipsa del muro de las areniscas del Plioceno del acuífero de Cabo Roig a) realizado por el Igme en 1990 b) modificación del mapa, incluyendo datos recientes de columnas estratigráficas de la zona sur y sondeos eléctricos verticales.

8. REFERENCIAS

- IGME (2006). Modelo de Flujo Subterráneo con Densidad Variable para Simular la Intrusión Marina en el Acuífero de Cabo Roig (Alicante). Informe del centro de documentación del IGME.
- IGME. (2004). Estimación de la recarga en el acuífero de Cabo Roig (Alicante). Informe del centro de documentación del IGME.
- IGME. (2003). Actualización del Conocimiento hidrogeológico en el acuífero de Cabo Roig con vistas a la realización de un modelo matemático de densidad variable. Informe del centro de documentación del IGME.
- IGME (2003). Implantación de modelos de simulación de la intrusión marina en la gestión de los acuíferos costeros. Control de la evolución temporal de parámetros hidrogeológicos y balances hídricos como datos de entrada al modelo de gestión de los acuíferos de Torre Vieja y Cabo Roig.
- IGME. (2002). Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en los Acuíferos de Torre Vieja y Cabo Roig, II Fase. Informe del centro de documentación del IGME.
- IGME (1994). Las aguas subterráneas del Campo de Cartagena (Murcia y Alicante).
- IGME. (1990 a). Estudio de la intrusión marina en acuíferos costeros de Murcia y Alicante. Informe del centro de documentación del IGME.
- IGME. (1990 b). Mapa geológico de la plataforma continental española y zonas adyacentes. Escala 1:200.000, Murcia.
- IGME. (1989). Geometría de los acuíferos del Campo de Cartagena. Murcia. Informe del centro de documentación del IGME.
- IGME. (1982). Prospección por S. E. V. en Torre Vieja (Alicante).
- IGME. (1977). Mapa Geológico de España, hoja 935, Torre Vieja. Escala 1:50.000.
- IGME-IRYDA (1975). Estudio hidrogeológico del Bajo Segura.
- Montenat, C. (1973). Les formations neogenes et quaternaires du Levant Espagnol. Tesis Doctoral. París. 1166 p.
- Rodríguez Estrella, T. (2003). Situación de la intrusión marina en la cuenca del Segura: Evolución desde el Tiac'88. Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros (TIAC).111

- Rodríguez Estrella, T. (2002, inédito): “Informe final sobre los sondeos y pozos de investigación, para captar agua del mar a través de acuíferos costeros, llevados a cabo en el litoral del sector meridional de la provincia de Alicante por parte del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura”
- Rodríguez Estrella, T. (2000). Modifications physiques, chimiques et biologiques provoquées par les eaux du canal Tage-Segura dans l'unité hydrogéologique du Campo de Carthagène et dans la lagune de Mar Menor (Province de Murcie, Espagne). Hydrogéologie n° 3. pp. 23-37. Orlean. France.
- Rodríguez Estrella, T. (1995). Funcionamiento hidrogeológico del Campo de Cartagena (Murcia y Alicante). Hidrogeología n° 11. pp. 21-38.
- Rodríguez Estrella, T. y Lillo Carpio, M. (1992).- Geomorfología del Mar Menor y sectores litorales contiguos (Murcia-Alicante). II Reun. Nac. de Geomorf. Editado por López Bermúdez, Conesa y Romero en Estudios de Geomorfología de España. Soc. Esp. de Geomorf. pp. 749-787. Murcia.
- Rodríguez Estrella, T. (1986).- La Neotectónica de la Región de Murcia y su incidencia en la ordenación del territorio. I Jorn. de est. del fenom. sísm. y su inc. en la ord. del territ. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consej. de Polit. Territ. y Obras Púb. pp. 283-305. Murcia.
- Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica. (2004). Informe final sobre el control piezométrico e hidroquímico de los pozos ubicados en las fincas “Campoamor” y “Lo Monte”, dentro del acuífero de Cabo Roig (Alicante).

ANEXO I:

**RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
DE LOS SONDEOS REALIZADOS POR LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, EN EL
PERÍODO 2001-2002.**

INTRODUCCIÓN.

La Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) estudió la posibilidad de captar agua de mar a través del acuífero costero de Cabo Roig, para posteriormente ser tratada en desaladoras, con esta finalidad el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS) realizó cuatro sondeos (Río Nacimiento I, Río Nacimiento II, Río Seco I y Río Nacimiento III) y dos pozos de investigación (Río Nacimiento I y Río Seco I) para estudiar la factibilidad de esta propuesta. A continuación se resume las principales características de los sondeos y pozos de investigación, obtenidos de: "Informe final sobre los sondeos y pozos de investigación, para captar agua del mar a través de los acuíferos costeros, llevados a cabo en el litoral del sector meridional de la provincia de Alicante por parte del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura" (Rodríguez Estrella, T.; 2002).

Identificación del Sondeo	Coordenadas UTM	Cota (m)	Profundidad del sondeo (m)	Nivel piezométrico (m snm)
Sondeo Río Nacimiento I (SRNI)	697980 4197660	3	162	-17
Sondeo Río Nacimiento II(SRNII)	698000 4197680	2	515	-
Sondeo Río Seco I (SRSI)	697530 4195200	6	200	-19
Sondeo Río Nacimiento III (SRNIII)	698275 4197640	1	69	-14
Pozo Río Nacimiento I (PRNI)	698020 4197680	3	150	-16.5
Pozo Río Seco I (PRSI)	697580 4195150	6	197	-22

Ubicación de los sondeos realizados por la UPCT en el 2001-2002

1. Sondeo "Río Nacimiento I"

Profundidad	Litología	Época Geológica
0-11	Arenas de playa y duna	Cuaternario
11-15	Conglomerado de cantos carbonatados poligénicos	Cuaternario
15-37	Margas arenosas amarillentas	Plioceno Superior
37-159	Areniscas calcáreas amarillentas, en cuyo techo se hacen más carbonatadas, desde el metro 65 son azuladas.	Plioceno inferior Acuífero superior
159-162	Margas azuladas plásticas	Mioceno Superior

Observaciones: Se cortó un mayor espesor del previsto en las areniscas del Plioceno, debido a que los tamos litológicos del terciario aumentan su espesor al mar. Además, del metro 37 al 50 las areniscas son más carbonatadas (calcarenitas) y presentan cavernas kársticas.

2. Sondeo “Río Nacimiento II”

Profundidad	Litología	Época Geológica
0-4	Arenas de playa y duna	Cuaternario
4-8	Conglomerado de cantos carbonatados poligénicos	Cuaternario
8-40	Margas arenosas grises-amarillentas	Plioceno Superior
40-174	Areniscas calcáreas amarillentas, en cuyo techo se hacen más carbonatadas, desde el metro 74 son azuladas.	Plioceno inferior Acuífero superior
174-515	Margas azuladas plásticas, desde el metro 300 son más arenosas	Mioceno Superior

Observaciones: La finalidad de este sondeo era investigar las calcarenitas del Mioceno Superior (acuífero inferior), las cuales no pudieron ser atravesadas debido a que coincidió con una zona de falla.

3. Sondeo “Río Seco I”

Profundidad	Litología	Época Geológica
0-6	Arcillas rojizas y algo de gravas	Plio-Cuaternario
6-8	Conglomerado de cantos negros dolomíticos	Plio-Cuaternario
8-30	Arcillas rojizas (Formación “Suscina”), con presencia de lignitos y yesos	Plio-Cuaternario
30-90	Margas arenosas amarillentas, a partir del metro 56 son azuladas.	Plioceno Superior
90-190	Areniscas calcáreas amarillentas, en cuyo techo se hacen más carbonatadas y en la base más arcillosas y más azuladas.	Plioceno inferior Acuífero superior
190-200	Margas arenosas azuladas	Mioceno Superior

Observaciones: En este sondeo salía más agua que en Río Nacimiento I, debido a que está ubicado en la falla del río Seco, es por esto que atraviesan numerosas zonas kársticas. Los sondeos en río Seco tocaron las areniscas del Plioceno a una profundidad más del doble que en los sondeos de río Nacimiento, eso se debe a que están situados en un bloque hundido, debido a la acción de las fallas normales de dirección N 140 E.

El primer nivel de agua apareció a los 6 m, al atravesar el tramo de los conglomerados, sin embargo al tocar las areniscas el nivel se encontraba a los 25 m. El agua del acuífero del Plio-cuaternario tiene una conductividad de 14000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, su alta mineralización se debe al gran lixiviado de suelos salinos por las aguas de excedentes de regadío. Una vez sellado el acuífero del Plio-Cuaternario se midieron conductividades más representativas del acuífero superior del Plioceno, con valores de hasta 16080 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual pone de manifiesto la influencia del agua del mar.

4. Sondeo “Río Nacimiento III”

Profundidad	Litología	Época Geológica
0-6	Arenas de playa y duna	Cuaternario
6-15	Conglomerado de cantos carbonatados poligénicos y margas	Cuaternario
15-45	Margas arenosas grises-amarillentas	Plioceno Superior
45-69	Areniscas calcáreas amarillentas, en cuyo techo se hacen más carbonatadas.	Plioceno inferior Acuífero superior
174-515	Margas azuladas plásticas, desde el metro 300 son más arenosas	Mioceno Superior

Observaciones: La finalidad de este sondeo era comprobar que si se realiza una captación más próxima a la costa que el sondeo de río Nacimiento I, se captará el agua del mar más rápidamente, lo cual pudo ser comprobado. A los 69 m tuvieron que parar por orden del Ayuntamiento de Orihuela debido a que el gran volumen de agua extraída inundó la carretera.

En río Nacimiento I se han medido conductividades de hasta 25000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en Río Nacimiento III esta conductividad ha incrementado sustancialmente hasta 44000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Al atravesar el tramo de los conglomerados del Cuaternario, el agua afloró a los 9 m, el cual tenía un caudal de 1 l/s, sin embargo al tocar las areniscas del Plioceno el nivel de agua estaba a los 15 m y salía un caudal superior a los 50 l/s.

Se toma una muestra de agua del final para ser analizada y de esos resultados se destacan los siguientes parámetros químicos: La conductividad es de 43500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La facie es clorurada sódica, presentando un valor de cloruros de 19922 mg/l y de sodio de 11586 mg/l. El contenido de magnesio es de 775 mg/l.

5. Pozo “Río Nacimiento I”

Profundidad	Litología	Época Geológica
0-7	Arenas de playa y duna	Cuaternario
7-32	Limos azulados	Plioceno Superior
32-38	Limos arenosos amarillentos	Plioceno Superior
38-135	Areniscas calcáreas	Plioceno inferior

	amarillentas, en cuyo techo se hacen más carbonatadas. Desde el metro 63 son azuladas, de grano más fino y ya aparecen pequeñas intercalaciones de arcillas también azuladas.	Acuífero superior
135-150	Margas azuladas plásticas.	Mioceno Superior

Observaciones: El agua correspondiente al acuífero aluvial estaba a 1 m de profundidad, y al atravesar el acuífero superior del Plioceno el nivel de agua apareció a los 43 m. Además se encontró una zona muy fracturada con paso de agua preferencial desde el metro 43 al 50.

6. Pozo “Río Seco I”

Profundidad	Litología	Época Geológica
0-10	Gravas, arenas y limos marrones del aluvial.	Cuaternario
10-40	Arcillas rojas de la “Formación Suscina”.	Plio-Cuaternario
40-94	Limos arenosos amarillentos	Plioceno Superior
94-158	Areniscas amarillentas, en el techo son muy duras.	Plioceno inferior Acuífero superior
158-159	Calizas muy duras y compactas	
159-185	Areniscas azuladas de grano fino	
185-197	Margas azuladas plásticas.	Mioceno Superior

Observaciones: El nivel de agua del acuífero aluvial estaba a 3m de profundidad, pero al tocar el acuífero del Plioceno la profundidad bajó a los 30 m. Un fenómeno observado fue que al tocar las calizas en el metro 158, el nivel subió hasta los 27 m.

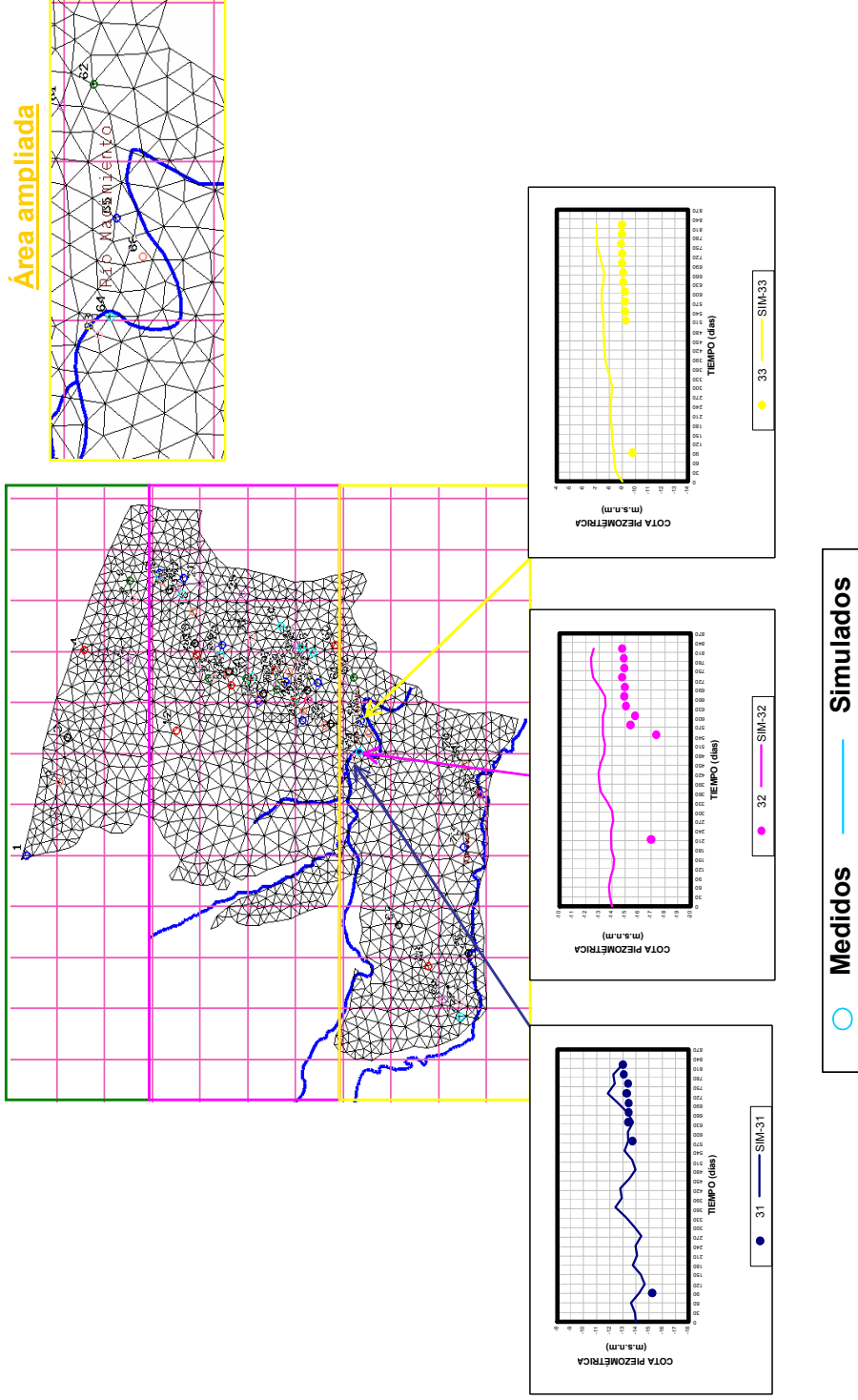
Otro dato curioso que se incluye en este informe es que en el metro 130, la conductividad era de 14000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero en el metro 159 bajó a 6400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en el 170 a 4700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este cambio de calidad tiene relación con la subida de nivel a la misma profundidad, lo que pone de manifiesto que el metro de calizas compactas hace de alguna manera de impermeable e independiza un acuífero superior más salino de otro más inferior, de mejor calidad química.

Una muestra tomada en el metro 187, presenta los siguientes valores: La facie hidroquímica es clorurada sódica, con un contenido de cloruros de 1361 mg/l y de sodio de 495 mg/l. La conductividad es de 4700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los sólidos disueltos de 3298 mg/l. El contenido en nitratos es muy pequeño (1.03 mg/l) y el de magnesio muy alto (201 mg/l), lo que evidencia que gran parte del agua procede del mar y no del acuífero que, como se ha dicho, recibe una aportación importante de sus recursos procedente de retornos de riego.

ANEXO II:

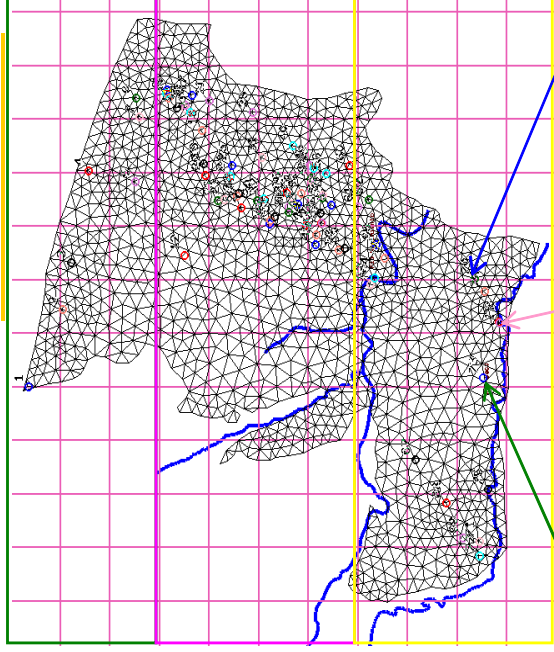
**EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA DE LOS SONDEOS
UBICADOS EN LA ZONA SUR (octubre del 2000 a
febrero del 2003).**

ZONA SUR - RÍO NACIMIENTO

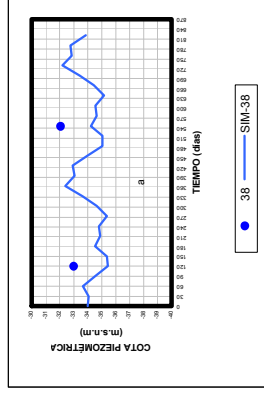
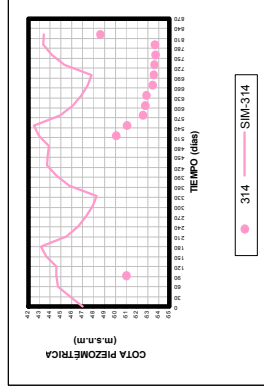
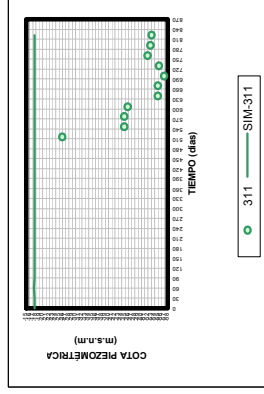
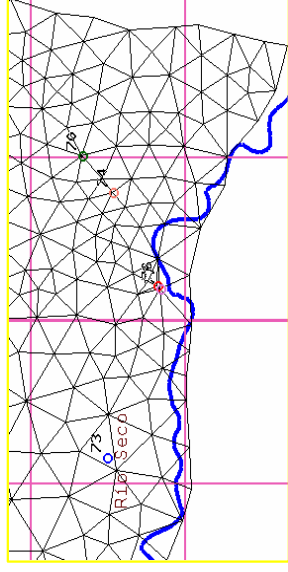


Niveles medidos y simulados para la zona sur (Río Nacimiento) del acuífero de Cabo Roig con el modelo de densidad constante (octubre del 2000 a febrero del 2003).

ZONA SUR - ESTE



Área ampliada

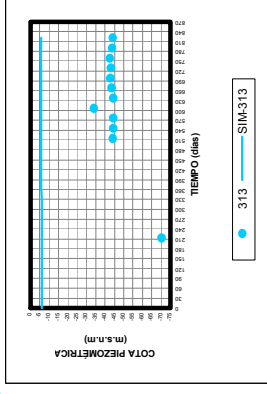
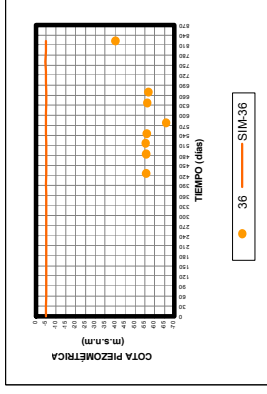
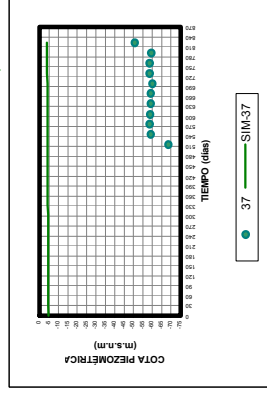
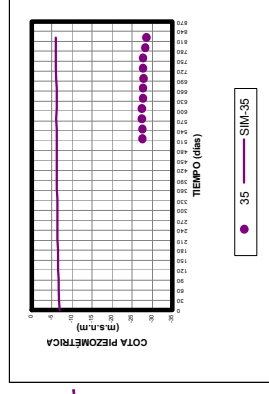
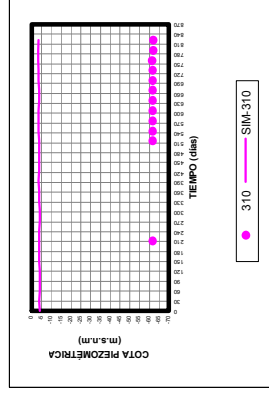
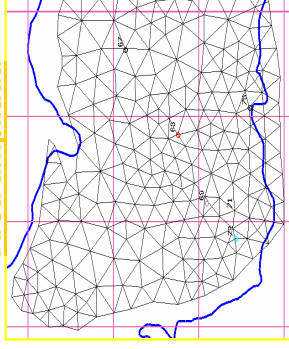
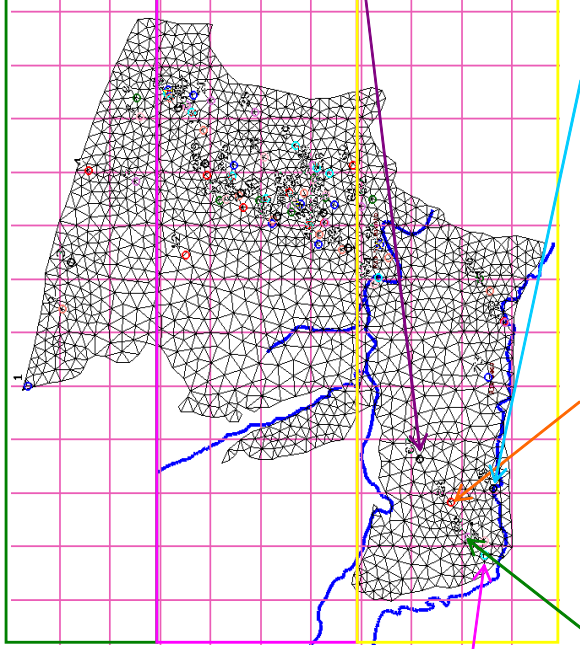


○ Medidos — Simulados

Niveles medidos y simulados para la zona sur – este del acuífero de Cabo Roig con el modelo de densidad constante (octubre del 2000 a febrero del 2003).

ZONA SUR - OESTE

Área ampliada



○ Medidos — Simulados

Niveles medidos y simulados para la zona sur – oeste del acuífero de Cabo Roig con el modelo de densidad constante (octubre del 2000 a febrero del 2003).

ANEXO III:

FOTOGRAFÍAS



Cauce del río Seco, cerca del sondeo "Polideportivo".



Afloramiento de las areniscas amarillentas del Plioceno en el cauce del río Seco, cerca del sondeo "Polideportivo".



02/16/2006 2:13 pm

Cauce del río Seco, cerca de la costa.



02/16/2006 1:58 pm

Cauce del río Nacimiento, cerca de la costa.



Perforación del sondeo de investigación Cabo Roig I “Depuradora”.



Perforación del sondeo de investigación Cabo Roig II “Polideportivo”.



Areniscas amarillentas del acuífero del Plioceno de Cabo Roig. Sondeo Cabo Roig I "Depuradora".



Muestra de arenisca amarillenta del Plioceno inferior. Acuífero superior de Cabo Roig.