

T 8 / 19

UNIVERSIDAD DE GRANADA

UNIVERSIDAD DE GRANADA
Facultad de Ciencias
Fecha ... 31.7.03
ENTRADA NUM. 2380

**TESIS DOCTORAL
DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA
AGRICOLA**

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
GRANADA
N.º Documento 614830309
N.º Copia 116008820

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO, EDAFICO Y DE
CONTAMINACION SALINA EN LA CUENCA MEDIA
DEL RIO GUADALHORCE (MALAGA)**



JOSE LUIS GUZMÁN DEL PINO

Granada, 2003

UNIVERSIDAD DE GRANADA
09 JUL. 2003
COMISION DE DOCTORADO

I. INTRODUCCIÓN

I.1. OBJETIVOS

I.2. SITUACIÓN

I.3. ANTECEDENTES

I.3.1. LA CONTAMINACIÓN SALINA.

I.3.2. PRESA DEL GUADALHORCE-GUADALTEBA.

I.3.3. MANANTIALES SALINOS.

I.3.4. REPERCUSIONES SOBRE LA SALINIDAD DEL AGUA EMBALSADA.

I.3.5. ACTUACIONES.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

II.1. ESTUDIO EDÁFICO Y GEOLÓGICO

II.1.1. LABOR DE GABINETE.

II.1.2. LABOR DE CAMPO.

II.1.3. LABORATORIO.

II.1.3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

II.1.3.2. RETENCIÓN DE AGUA A 33 Y 1.500 KPA.

II.1.3.3. DENSIDAD APARENTE.

II.1.3.4. CÁLCULO DE AGUA ÚTIL.

II.1.3.5. DETERMINACIÓN DEL PH.

II.1.3.6. CARBONATOS.

II.1.3.7. CARBONO ORGÁNICO.

II.1.3.8. NITRÓGENO TOTAL (ORGÁNICO + NITRATO)

II.1.3.9. CAPACIDAD DE CAMBIO. BASES DE CAMBIO.

II.1.3.10. POTASIO ASIMILABLE.

II.1.3.11. FÓSFORO ASIMILABLE.

II.1.3.12. CONDUCTIVIDAD DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN.

II.2. OTRAS TÉCNICAS UTILIZADAS	18
II.2.1. PERFILES DE TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD Y RADIACIÓN GAMMA NATURAL	18
II.2.2. TRITIO DE ORIGEN TERMONUCLEAR	20
II.2.3. MEDIDA DE FLUJOS EN SONDEOS	20
II.2.4. GRAVIMETRÍA	21
II.2.4.1. FUNDAMENTO DEL MÉTODO	22
II.2.4.2. METODOLOGÍA E INSTRUMENTAL	23
II.2.4.3. MEDIDAS GRAVIMÉTRICAS	24
II.2.4.4. CORRECCIÓN DE LATITUD	25
II.2.4.5. CORRECCIONES TOPOGRÁFICAS	25
II.2.4.6. NÚMERO DE BOUGER	26
II.2.5. TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA	26
II.2.5.1. TRABAJO DE CAMPO	27
II.2.5.2. TRABAJO DE GABINETE	27
II.2.6. SONDEOS ELECTROMAGNÉTICOS EN EL DOMINIO DE TIEMPOS	28

III. PARTE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

III.1. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	31
III.1.1. GRANDES UNIDADES PRESENTES EN EL ÁREA	32
III.1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES: ESTRATIGRAFÍA	35
III.1.2.1. EL PENIBÉTICO	35
III.1.2.2. EL JURÁSICO	35
III.1.2.3. EL CRETÁCICO Y TERCIARIO	35
III.1.3. EL COMPLEJO DEL CAMPO DE GIBRALTAR	36
III.1.3.1. ARCILLAS VARIEGADAS ESCAMOSAS	37
III.1.3.2. ARCILLAS COLOREADAS ESTRATIFICADAS	37
III.1.3.3. ARENISCAS	38
III.1.4. EL SUBBÉTICO MEDIO (COMPLEJO DEL "TRÍAS" DE ANTEQUERA)	40

III.1.4.1. ESTRATIGRAFÍA DE LOS MATERIALES TRIÁSICOS	41
III.1.4.2. MATERIALES RESEDIMENTADOS	44
III.1.5. LITOESTRATIGRAFÍA	45
III.1.5.1. UNIDADES OLISTOSTRÓMICAS	47
III.1.5.2. MATERIALES POSTRIÁSICOS SUBBÉTICOS	49
III.1.5.3. MATERIALES PROCEDENTES DEL COMPLEJO DEL CAMPO DE GIBRALTAR	50
III.1.5.4. OTROS MATERIALES	50
III.1.6. TERRENOS POSTOROGÉNICOS	51
III.1.6.1. EL MIOCENO SUPERIOR	52
III.1.6.2. EL PLIOCENO	53
III.1.6.3. EL CUATERNARIO	54
III.1.7. LA ESTRUCTURA TECTÓNICA	56
III.1.7.1. LA ESTRUCTURA INTERNA DEL PENIBÉTICO EN LAS SIERRAS DEL VALLE DE ABDALAJÍS	56
III.1.7.2. EL ACCIDENTE DEL LÍMITE MERIODIONAL DEL COMPLEJO DEL "TRÍAS" DE ANTEQUERA	56
III.1.7.3. EL CABALGAMIENTO FRONTAL DEL COMPLEJO DEL "TRÍAS" DE ANTEQUERA SOBRE EL TORTONIENSE	57
III.1.7.4. EL ACCIDENTE DEL OESTE DEL GUADALHORCE, ENTRE MELIONES Y CAÑAVERALEJO	58
III.1.7.5. EL CONTACTO ENTRE EL TORTONIENSE Y EL COMPLEJO DEL "TRÍAS" DE ANTEQUERA ENTRE EL CERRO ROMEROSO Y CAÑAVERALEJO	59
III.1.8. LA UBICACIÓN DE LOS MANANTIALES SALINOS Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA DEL ÁREA	59
III.1.9. CARTOGRAFÍA Y ESTRUCTURA	60
III.1.10. RELACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE LOS MATERIALES TRIÁSICOS, EL FLYSCH Y EL PENIBÉTICO	61
III.1.11. MANANTIAL DE MELIONES	62
III.1.12. CONSIDERACIONES GENERALES	63

III.4.3. ÍNDICES QUÍMICOS	104.
III.4.4. OTRAS TÉCNICAS UTILIZADAS	
III.4.4.1. INTRODUCCIÓN	104
III.4.4.2. RESULTADOS OBTENIDOS	
III.4.4.4. INTERPRETACIÓN	107
III.4.4.4.1. PERFILES DE RADIACIÓN GAMMA NATURAL	107
III.4.4.4.2. PERFILES DE TEMPERATURA	107
III.4.4.4.3. PERFILES DE CONDUCTIVIDAD	109
III.4.4.4.4. ISÓTOPOS ESTABLES	110
III.4.4.4.5. TRITIO DE ORIGEN TERMONUCLEAR	114
III.4.4.4.6. MEDIDA DE FLUJOS EN SONDEOS	120
III.4.4.4.7. EXPERIENCIAS DE INTERCONEXIÓN	122
III.4.4.4.7.1. INYECCIÓN DE TRAZADOR EN EL SONDEO M-11	122
III.4.4.4.7.2. INYECCIÓN DE TRAZADOR EN EL SONDEO M-2	122
<u>III. 5. Síntesis</u>	126
IV. CONCLUSIONES	151
V. BIBLIOGRAFÍA	153.
VI. ANEXOS	

Capítulo I. INTRODUCCIÓN

I.1. OBJETIVOS

Este trabajo tiene como finalidad el estudio y solución de la contaminación salina del embalse del Guadalhorce en la provincia de Málaga. Sus aguas están destinadas al regadío de las vegas del Guadalhorce y al abastecimiento de la ciudad de Málaga.

El principal foco de la contaminación son las surgencias de Meliones, que drenan un acuífero kárstico instalado en materiales del Trías de Antequera. Los manantiales surgentes tienen concentraciones de hasta 200 gr/l de ClNa y son el resultado de la disolución de halita, intercalada entre yesos, por aguas de la red de drenaje superficial que alimentan el acuífero a través de numerosos conductos exokársticos.

I.2. SITUACIÓN

La zona de estudio se localiza en la parte centro-meridional de Andalucía, abarcando un área del Norte de la provincia de Málaga. Queda comprendida en las Hojas (10 38) Ardales y (1023) Antequera del mapa Topográfico Nacional de España, escala 1:50.000. Y, más concretamente, en las Hojas Topográficas, escala 1:25.000, denominadas (1038-I) Pantano del Chorro y (1038-II) Valle de Abdalajís. Así como 1023-IV Antequera y 1023-III Bobadilla-Estación.

El área queda comprendida por el río Guadalhorce en la cola del embalse del mismo nombre, es el tramo denominado “Estrecho de Meliones”, una garganta de paredes subverticales donde el río se encaja para atravesar los materiales evaporíticos del Trías de Antequera y lugar de ubicación de los manantiales de Meliones (cota 346 m.s.n.m.). Hacia el Este se va ascendiendo progresivamente hasta llegar a cotas de 595 m. en el límite de la Comarcal A.343, entre los Kms. 19-23. Esta área es atravesada por una serie de arroyos denominados Yeso, Higueros, del Águila y Salado, carentes de escorrentía superficial, ya que en sus ejes se desarrolla un karsts en yesos, con cavidades, dolinas de hundimiento,

etc. que hacen que la escorrentía superficial pase a subterránea. Es de destacar una elevación de 624 m. denominada Cerro del Águila.

Este sector carece de núcleos de población, tan solo destaca la Estación de Gobantes de la línea de ferrocarril, Bobadilla – Málaga, que atraviesa el sector mediante un túnel de 1.700 m. denominado de Gobantes, actualmente se está realizando el túnel del AVE en el mismo sector.

Los accesos se realizan por una carretera asfaltada que termina en la estación de Gobantes y hacia la estación de bombeo de Meliones y una pista forestal que enlaza ésta con la Estación de Bobadilla.

I.3. ANTECEDENTES

I.3.1. LA CONTAMINACIÓN SALINA

La deficiente calidad de las aguas del río Guadalhorce como consecuencia de la contaminación salina que sufren, procedente de los materiales evaporíticos del Trías ampliamente aflorantes en su cuenca, es un problema detectado desde antiguo, sobre todo a partir de la campaña de análisis que se efectuó en varias estaciones desde 1961 con motivo del Plan Guadalhorce.

Los datos de esta campaña muestran que en el período 1961-1972 no es infrecuente encontrar concentraciones de Cl superiores a 3.000 mg/l en caudales de estiaje (por debajo de 0,5 m³/s) en la estación E-19, Gobantes, que es la que realmente controlaba la calidad final de las aguas aportadas al futuro embalse de Guadalhorce, la cual fue posteriormente inundada al situarse dentro del vaso, aguas abajo del Estrecho de Meliones. Valores por debajo de 300 mg/l de Cl son raros aún en los períodos de alta escorrentía. Sin embargo, estos valores por sí solos carecían de significado en cuanto a la calidad media del agua a acumular en el embalse.

Fue en 1974, a partir de la construcción de la presa Guadalhorce-Guadalteba, cuando realmente se manifestaron los primeros signos evidentes de la gravedad del problema de la salinidad media del agua embalsada. Por entonces ya era conocido el manantial de Cañaveralejo que a través del Arroyo Salinas entrega sus aguas al Arroyo Tinajas que desemboca en el río Guadalhorce por su margen derecha aguas arriba del Estrecho de Meliones, es decir, próximo a la cola del embalse. Las medidas iniciales en dicha fuente indicaban un caudal de 2 a 5 l/s y una concentración de ión Cl de 70.000 a 80.000 mg/l.

Reconocimientos llevados a cabo por la CHSE en aquella época evidenciaron la existencia del manantial de Meliones que surgía próximo al cauce en la margen izquierda a cota 346, al pie de un paredón yesífero del Trías, en la zona conocida como Estrecho de Meliones. Su cota de afloramiento se situaba algo más de 15 m. por debajo de la de máximo embalse. En principio el manantial se presentaba como monosurgente con un caudal de unos 10 l/s y 36.000 mg/l de Cl, si bien unos 100 m. aguas abajo en la misma margen aparecía otra pequeña surgencia, Meliones II, con un caudal de 1 l/s.

Estos datos eran puntuales y por tanto desconocían el régimen estacional de la surgencia tanto en caudales como en concentraciones.

Posteriormente se realizan tomas de datos en una de las primeras campañas entre abril y diciembre de 1976, período de notable estiaje, se realizaron análisis y aforos químicos precisos, tanto de la surgencia como en dos secciones de control en el cauce aguas arriba y debajo de Meliones, comprobándose que el caudal del manantial era muy variable con máximos de hasta 20 l/s y concentración de Cl entre 33.000 y 55.000 mg/l. Pero además se averiguó la existencia de aportaciones subacuáticas en el propio cauce más importantes que la surgencia subaérea. Manejando distintas hipótesis con la serie de datos obtenidos se llegaba a la conclusión de que la aportación de ClNa en Meliones podía oscilar entre 138 y 260 T/día, pero que en la hipótesis más generalista suponía unas salidas de 142 T/día. Cálculos tentativos, teniendo en cuenta la aportación del río en el período considerado, indicaban que la contribución de Meliones sería de orden de 2 g/l de ClNa a la concentración media del agua embalsada, lo que daba idea de la gravedad del problema.

Comparando la evolución de lluvias, caudales y conductividades en el período 74-76, se llegaba ya entonces a la conclusión de que en estiajes prolongados tanto el caudal como la conductividad de las surgencias disminuyen paulatinamente, mientras que las lluvias, y correlativa recarga del acuífero, producen un aumento inmediato de ambos parámetros, manteniéndose posteriormente durante más tiempo el valor alto de la salinidad que el de caudal.

En el invierno 76-77 se inundó la zona de Meliones al subir el nivel de embalse. Se observó que aparecían nuevas surgencias en el borde de éste por encima de las antiguas. En el estiaje de 1983 la zona de Meliones quedó de nuevo subaérea, observándose que el flujo principal surgente se había desplazado hacia Meliones II, es decir que realmente el manatíal es polisurgente y que sufre migraciones tanto verticales como laterales en un tramo del Estrecho de Meliones. Nuevos análisis en las surgencias subaéreas determinaron una concentración de 146 g/l de ClNa.

A partir de 1981 se inicia una toma mensual del contenido de ClNa en el embalse mediante una red de puntos en el vaso, con intervalos de 2 m. en la vertical dada la notable estratificación existente, controlándose así las entradas de sal que se van produciendo al embalse.

Con base en estos datos se determinó para el decenio 1981-91 las tasas medias de ClNa que entran al embalse, cifrándose éstas en 250 T/día. Sin embargo, existe una fuerte irregularidad de estas tasas según se trate de períodos secos o húmedos. Así, en el período más húmedo de la serie entre el 28-10-89 y 24-7-90 las entradas medias de ClNa al embalse se cifran en 941 T/día, pero si éste período se acota entre 28-11-89 a 27-1-90 la aportación media llega a 1.390 T/día, no siendo aventurado suponer que existieron puntas más elevadas. Si se tiene en cuenta que en dicho subperíodo de notables avenidas la aportación del río fue de unos 180 Hm³ se obtiene una concentración media superior a 1.300 mg/l de ClNa para las aguas aportadas lo que indica que, a pesar de la fuerte dilución en estas épocas lluviosas, la calidad del agua embalsada es intolerable y da idea de la

magnitud del problema, sobre todo si se tiene en cuenta que este embalse es fundamental en el abastecimiento a la ciudad de Málaga.

Ante esta situación se decidió captar la principal surgencia, es decir Meliones, donde aparecían nuevamente los principales flujos, mediante un recinto de tablestacas y un pozo de captación a cielo abierto con dos sondeos en el fondo, instalando tres bombas a distintas profundidades. Con este dispositivo se bombean las salmueras unos 300 m., desde cota de cauce, y mediante una tubería (saleoducto) con capacidad de 75 l/s se conducen al mar en las proximidades de Málaga, lo que implica una longitud del conducto de algo más de 50 Km.

El sistema indicado comenzó a funcionar a principios del año 1993. Esto coincidió con el ciclo 1992-95 sumamente seco.

Durante los años 93, 94 y 95, hasta final de noviembre de éste último, el bombeo funcionó a satisfacción y las entradas de ClNa al embalse fueron bastante regulares con un total de 50.000 T para ese período lo que significa una media diaria inferior a las 50 toneladas, incluidas las que aportase el río aguas arriba de Meliones.

Lo anterior parecía indicar que, si bien las entradas de sal al embalse eran todavía acusadas, el problema de la contaminación salina del embalse se había reducido a unos términos fácilmente manejables, mediante la explotación conjunta del sistema Guadalhorce-Guadalteba-Conde Guadalhorce.

Al iniciarse un nuevo período lluvioso a comienzos de diciembre del 95 la aportación salina al embalse asciende bruscamente a valores del orden de las 1.000 T/día del ClNa hasta mediados de junio de 96. En este primer semestre del 96 se deja de bombear al producirse roturas en la tubería de conducción al mar. En el segundo semestre se bombea de nuevo a un ritmo que supone la eliminación de unas 500 T/día evacuadas al mar, reduciéndose correlativamente las entradas al embalse a una media algo inferior a las 50 T/día, es decir regresando a la situación anterior.

Con las fuerte lluvias del invierno 96-97 se reproduce el problema y a finales de enero 97 queda otra vez el bombeo fuera de servicio, pero las entradas al embalse entre mediados de diciembre a mediados de marzo 97 son superiores a las 3.000 T/día de ClNa, pudiendo haberse producido puntas próximas a las 4.000 T/día.

Puede decirse pues, que las cantidades de sal que entran al embalse están relativamente bien evaluadas y, con mayor precisión, las eliminadas por el bombeo de Meliones, aunque no se puede afirmar que en estado natural, es decir si no se bombease en Meliones, los aportes al embalse se verían incrementados en la cantidad equivalente a la evacuada al mar.

Los conocimientos que se tienen sobre el problema son, evidentemente, producto de la documentación existente generada a lo largo de los treinta años de su historia como consecuencia de los estudios realizados ya sea por los propios Organismos Oficiales de la Cuenca del Sur de España, o bien por empresas consultoras. Entre ellos cabe enumerar por el momento como más significativos por la idea que dan de la magnitud de las labores y estudios hasta ahora realizados, los siguientes trabajos.

- El Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) y el Gabinete de Aplicaciones Nucleares del CEDEX, ya realizaron en 1975 y 1983 respectivamente, sendos estudios sobre la salinidad y su procedencia. En ellos se barajan hipótesis con base a los datos existentes, que realmente eran muy pocos, sobre todo en el primer estudio del CEH.
- En 1980 el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP) presentó un estudio de avance de datos sobre una campaña de 27 sondeos (1.601 m perforados) realizados por este Organismo en 1975 y 76 en los alrededores de las surgencias y zonas del cauce del río, así como algunos ensayos sobre la eliminación de las sales por evaporación.
- En 1991 el mismo SGOP realizó un extenso e importante estudio donde, aparte de los datos del estudio anterior, incluye una nueva campaña de otros 25 sondeos (1.119 m) y aporta una prolija serie de datos obtenidos y su interpretación.

- El mismo Organismo realiza en 1993 otro estudio sobre pruebas experimentales de captación, durante un mes, de las salmueras en las inmediaciones del manantial principal, determinando la viabilidad de captación de los flujos en los 9 sondeos nuevos perforados al efecto.
- Además de los estudios en 1994 sobre testificación en los últimos sondeos del SGOP y uno nuevo de 970 m perforado en la margen derecha del río, la empresa CGS-OGDEN realiza en 1996 un estudio hidrogeológico preliminar sobre la zona y perfora 13 sondeos (3.243 m en total) en el área de alimentación del acuífero que surge en Meliones. Complementando lo anterior, esta misma empresa emite en 1997 una nota sobre análisis y soluciones del problema, en la que se contemplan tanto soluciones subterráneas como superficiales.
- La empresa GEYTEX, S.L. realiza en 1995-96 tres estudios geológicos y geofísicos orientados a la definición hidrogeológica del problema.

Posteriormente el CEH realiza un compendio de las actualizaciones realizadas y expone la solución prioritaria (corrección de las cuencas e impermeabilización de ellas), así como diferentes alternativas, tanto superficiales como subterráneas (1997).

El Centro de Aplicaciones Nucleares del CEDEX realiza un informe sobre el contenido isotópico de esta agua. Desde el 1997 hasta el 2003, no se realiza ninguna obra, excepto el abandono de la estación de bombeo.

En la actualidad se finaliza este estudio (2003) en el que se propone de nuevo la terminación de las correcciones de las cuencas, de las cuales el 30% están corregidas.

Y, por otra parte, se realiza el estudio-proyecto del recintado de los manantiales de Meliones para, posteriormente, bombear al mar la salmuera almacenada.

I.3.2. PRESA DEL GUADALHORCE-GUADALTEBA

La presa de Guadalhorce-Guadalteba, cuya construcción finalizó en el año 1973, crea el embalse del mismo nombre, de 279,2 Hm³ de capacidad, que, conjuntamente con el embalse del Conde de Guadalhorce de 66,6 Hm³ de capacidad, constituyen las obras de regulación del Plan Coordinado de riego del Guadalhorce, cuyos objetivos principales son garantizar el regadío del valle inferior del río Guadalhorce y la dotación de 1.500 l/s. que la ciudad de Málaga tiene asignada, por ley, para su abastecimiento.

La presa se ubica inmediatamente aguas arriba de la confluencia de los ríos Guadalhorce y Guadalteba, es de materiales sueltos con núcleo central de arcilla y espaldones de escollera caliza y se compone de cuatro partes diferenciadas aunque sin solución de continuidad: Cuerpos de presa sobre el río Guadalhorce, y sobre el río Guadalteba, aliviadero de superficie único y presa de cierre del collado existente en la margen derecha de Guadalteba. Su cota de coronación es la 367.

El embalse, cuyo M.N.N. es la cota 362,25, es único desde esta cota hasta la 355,50, convirtiéndose en dos subembalses diferenciados, con sistemas de desagües independientes, de esta última cota hasta las de desagües de fondo que son la 302 en Guadalhorce y la 308 en Guadalteba.

El aliviadero de superficie, de 2.120 m³/seg. de capacidad, es único y está situado en la margen derecha del Guadalteba.

La comunicación entre ambos vasos se hace de forma controlada, a la cota 320, a través de una galería de 2 m. de diámetro y, naturalmente, a través de un collado existente entre la margen derecha del embalse de Guadalhorce y la izquierda del de Guadalteba, que actualmente está sellado.

En este collado la C.H.S.E. construyó en 1992 un puente sobre el que pasa la carretera de acceso Norte a la presa. El puente consta de dos muros estribo y cuatro pilas centrales que delimitan cinco vanos de veinte metros de luz, cada uno. Queda pues definido este collado

en altura por su cota inferior, 355,50, la cota inferior de las vigas del puente, 365,50, y lateralmente por los cinco vanos de veinte metros.

El proyecto de construcción de la presa contemplaba el cierre parcial de este collado mediante un dique de hormigón que coronaba a la cota 359 y tenía 60 m. de longitud de vertedero. Este dique se proyectaba para no condicionar el comienzo de embalse en Guadalteba a la puesta en servicio de la variante del ferrocarril Córdoba-Málaga, cuyo trazado antiguo afectaba el embalse de Guadalhorce. Finalmente la ejecución real de la obra hizo innecesaria la construcción del dique.

I.3.3. MANTIALES SALINOS

En la cuenca del embalse de Guadalhorce existen fundamentalmente tres manantiales salinos que contaminan sus aguas, Meliones, Cañaveralejo y Saladilla. De entre ellos destaca por su importancia Meliones.

Meliones: es una amplia zona de surgencias en torno a la cota 346, dentro del vaso del embalse del Guadalhorce por tanto, con caudales y concentraciones muy variables que oscilan entre un mínimo constatado de 0 l/s. y un máximo estimado de aproximadamente 500 l/s. con salinidades, también muy variables, entre 20 y 250 gr/l. de ClNa.

Cañaveralejo: es una surgencia situada a la cota 400 en las cercanías de la estación de Bobadilla con caudales entre 1 y 10 l/s. y concentraciones entre 90 y 130 gr/l. de ClNa. Aporta el embalse entre el 5 y el 10% del total de ClNa.

I.3.4. REPERCUSIONES SOBRE LA SALINIDAD DEL AGUA EMBALSADA

La salinidad media del agua aportada por el río Guadalhorce en el período 1981-1997 es de 2.645 mg/l de ClNa y la del conjunto del agua aportada a los embalses del Guadalhorce,

sin considerara las aportaciones de ClNa del Turón y del Guadalteba, de escasa entidad respecto a las de Guadalhorce, sería de 949 mg/l en el mismo período.

La normativa vigente en cuanto a calidad del agua de suministro a la ciudad de Málaga fija el tope máximo de contenido en cloruros en 380 mg/l. El agua para riego no debería exceder de 700 mg/l por lo que, haciendo la media ponderada, el contenido máximo en cloruros del agua para ser utilizable debería ser, como máximo, de 572 mg/l.

Considerando que la salinidad media del agua aportada por el río Guadalteba es de 200 mg/l de ClNa y del río Turón de 50 mg/l., sólo sería utilizable un 38 % del agua aportada por el río Guadalhorce, en el conjunto del período considerado.

I.3.5. ACTUACIONES

La C.H.S.E. ha realizado obras tendentes a corregir sus negativas repercusiones en la explotación de los embalses.

A primeros del año 1993 se pone en servicio la instalación de captación, bombeo y transporte hasta el mar de las salmueras del manantial de Meliones. Mediante una captación dentro del vaso del embalse, dos bombes y 53 Kms. de tubería se evita que las salmueras viertan al embalse de Guadalhorce.

En el año 1995 se incorpora al sistema el manantial de Cañaveralejo mediante un bombeo y una conducción de 7 Kms.

Estas instalaciones funcionan efectivamente durante los años 1993, 1994 y 1995. Sin embargo, la llegada de las lluvias a finales de 1995 pone en evidencia dos problemas:

- Con lluvias intensas los caudales que fluyen a la captación superan la capacidad de bombeo de ésta, con lo que se producen vertidos de salmuera al embalse.

- La conducción atraviesa una amplia zona de bujeo que, saturado por un régimen de lluvias pertinaz, se llena de deslizamientos que destrozan materialmente la tubería. La reparación de las roturas se hace especialmente lenta y costosa por las dificultades de acceso y de apertura de zanjas en los terrenos empapados.

Una segunda actuación, tendente a disminuir los caudales afluentes a la captación, consiste en la corrección parcial de la cuenca alimentadora del manantial. Esta actuación se lleva a cabo en el año 1996 y alcanza a la corrección del 30% de la cuenca en la que se reconstruye el drenaje superficial evitando la infiltración a través de los múltiples sumideros que interrumpen los cauces. Su efectividad contempla sectores piezométricos negativos, en las zonas donde se ha evitado la alimentación.

En la actualidad las instalaciones de bombeo permanecen paradas por múltiples averías en la conducción producidas por deslizamientos de ladera cuyo número y magnitud aconseja el abandono de la traza actual en amplios tramos y ejecución de variantes sobre zonas más estables

Capítulo II. MATERIAL Y MÉTODOS

II. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación consta de dos partes claramente diferenciadas. Una está centrada en el estudio geológico y edáfico de la zona (génesis y cartografía), y la otra analiza y define la problemática de las aguas del sector medio del río Guadalhorce, por su gran incidencia socioeconómica para la tierra y ciudad de Málaga.

La parte experimental se fundamenta en métodos de campo, gabinete y laboratorio, que a continuación se exponen.

II.1. ESTUDIO EDÁFICO Y GEOLÓGICO

II.1.1. LABOR DE GABINETE

Los datos topográficos se obtienen a partir del mapa del Servicio Geográfico del Ejército, Hoja 1038 de Ardales. El análisis geológico se basa en el mapa del ITGE y el estudio edafológico se apoyó, inicialmente, en el mapa de suelos de Ardales (Lucdeme 1999), modificados ambos con observaciones de campo y mediante comprobación estereoscópica sobre fotografía aérea a escala 1:18.000, del CEFTA, mediante estereoscopio de espejos mld ST-4.

La elaboración de los mapas monográficos, se ha realizado con el Sistema de Información Geográfica (SIG) IDRISI para Window, complementado con los software COREL 10 y Microsoft Power Point 2000.

El análisis de la información obtenida en el campo y su correlación con aspectos observados en la fotografía aérea, fueron la base sobre la que se desarrollaron las cartografías temáticas principales.

A partir del mapa topográfico 1:50.000 de Ardales (1038), se obtuvieron las curvas de nivel que permitieron elaborar el modelo digital del terreno. Para ello fue necesario digitalizar las mencionadas curvas, estableciendo las alturas correspondientes. Después se creó la base de datos cota-color, que permitió, asignar los valores de campo a la imagen.

El módulo INTERCON del SIG IDRISI realizó la interpolación espacial según las direcciones vertical, horizontal y diagonal, calculando la altitud y la pendiente en cada caso. El modelo así generado presenta un aspecto anguloso, por lo que procedió a su georreferenciación, contracción y filtrado. La georreferenciación se realiza con diez puntos, obteniendo un modelo con 4.702 columnas y 2.934 filas, que posteriormente se contraen a 928 x 587, facilitando su manejo informático; el filtrado se realiza con filtros de media y plantilla de 5 x 5 píxeles. El resultado de todo este proceso es la obtención de un modelo base conformado, que ocupa un total de 544.736 celdillas.

Según Felicísimo (1994), al tratarse de un MDT raster no está afectado por errores posicionales (ejes X o Y); por ello, sólo calculamos el error cuadrático medio (RMS) que se comete en el eje Z o de altitud (errores atributivos), al comparar los obtenidos con los correspondientes a los puntos geodésicos del mapa (13 en total) y los tomados en campo (15) bien distribuidos sobre el MDT y fotoidentificables. Por tanto, el RMS es una medida de la variabilidad de las mediciones en relación a sus valores reales y es directamente comparable al concepto de desviación típica.

Calculamos el RMS del MDT elaborado por nosotros, obteniendo un valor de 20,47 m. Comprobamos a continuación la permisibilidad del RMS obtenido o precisión estándar, basada en la escala del mapa de origen.

De acuerdo con la revisión de 1947 sobre Precisión Estándar del Mapa Nacional de USA, los mapas no podrán tener más del 10% de los puntos de verificación con un error mayor a 1/30 pulgadas a escala igual o menor de 1:20.000. Así pues, el RMS permisible para estas escalas debe ser inferior a 25,8 m. (manual de IDRISI), circunstancia que se cumple en nuestro caso.

Partiendo de los puntos georreferenciados utilizados en el modelo digital del terreno se levantan los mapas temáticos que a continuación se citan: litológico, redes de drenaje y pendientes, suelos. El trazado de la red de drenaje se ha realizado de forma manual, apoyándonos en el mapa topográfico y la fotografía aérea, procediendo a continuación a la digitalización y tratamiento con el programa IDRISIS.

II.1.2. LABOR DE CAMPO

El estudio de suelo se hizo de forma puntual y se abrieron calicatas estratégicamente, para definir las tipologías dominantes. La descripción morfológica de los perfiles se hizo con la guía para la descripción de perfiles de FAO (1977) y se clasifican de acuerdo con World Reference Base for Soil Resources (FAO, 1998) y, para la definición del color utilizamos la Soil Charts Mansell (1958).

El geológico se ha centrado en el estudio de los materiales triásicos de Antequera con un reconocimiento en el campo de los distintos conjuntos litológicos que se puedan atribuir a las diferentes unidades ya conocidas en el Trías Subbético. Al mismo tiempo que se han ido reconociendo los distintos conjuntos litológicos, se ha ido haciendo una cartografía con la ayuda de fotografías aéreas (E. 1:25.000), haciendo especial énfasis en la estructura y relación entre las distintas unidades.

Para este trabajo se ha utilizado la cartografía del Mapa Geológico de España (E. 1:50.000). Para el reconocimiento de algunas facies se ha hecho un estudio de microfacies a partir de láminas delgadas y de levigados.

En el hidrogeológico se ha realizado un inventario de los puntos de agua existentes, tanto naturales como pueden ser los manantiales, o los realizados por medios mecánicos, como los pozos, galerías, sondeos u otras mixtas que nos permitan conocer, mediante el análisis de los mismos, las características del acuífero o acuíferos presentes en la zona de estudio. Son los testigos del acuífero que nos permiten evaluar tanto la cantidad como la calidad de las aguas subterráneas que albergan.

La primera labor a realizar en un inventario consiste en la recopilación de los datos preexistentes de los organismos públicos que disponen de bancos de datos de puntos de agua. En su virtud, se han consultado los archivos de la Dirección de Aguas Subterráneas del Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) y los del Servicio Geológico de Obras Públicas de la Dirección General de Obras Hidráulicas.

Una vez en posesión de los antecedentes de la zona se procede a la labor de campo propiamente dicha, para comprobar y actualizar los puntos de agua disponibles y conseguir los datos de los puntos nuevos que no están recogidos en inventarios anteriores.

En el campo se recorren las áreas que geológicamente son interesantes a priori y se van reflejando los datos de los puntos encontrados en una ficha que recoge las características de los mismos. Esta ficha de campo es bastante completa y cuando se consigue obtener la mayoría de los datos que contiene, se dispone de una información exhaustiva del punto objeto de inventario.

II.1.3. LABORATORIO

Las muestras de suelo fueron desecadas al aire, hasta humedad ambiental y sobre superficie no absorbente, con desmenuzamiento de los agregados mediante rodillo de madera y tamizado con malla de 2 mm; posterior molienda, para análisis específicos, de parte de la tierra fina (0.05 mg.), con molino de ágata tipo Retsch. A continuación se llevaron a cabo los siguientes análisis:

II.1.3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Después de destruir la materia orgánica con agua oxigenada y calentamiento intermitente, se realizó la dispersión en ultrasonidos Labsonic 1.510, añadiendo como agente dispersante hexametáfosfato sódico.

Las fracciones arenosas se separaron por tamización en húmedo, mediante juego de tamices en cascada.

Las fracciones finas (arcilla y limo) se aislaron por sedimentación y determinaron con la técnica de la pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972).

II.1.3.2. RETENCIÓN DE AGUA A 33 Y 1.500 KPA.

Esta medida se llevó a cabo sobre tierra fina empleando la membrana de Richards (1947).

II.1.3.3. DENSIDAD APARENTE

Para el cálculo de la densidad aparente utilizamos la ecuación de regresión múltiple, obtenida de Santos (1979):

$$D.A. = 1,5456 + 0,0015 (\% \text{ arena}) - 0,0022 (\% \text{ arcilla}) - 0,1219 (\% \text{ carbono orgánico})$$

II.1.3.4. CÁLCULO DE AGUA ÚTIL

Se calcula a partir de las retenciones a 33 y 1.500 Kpa., densidad aparente y profundidad de los horizontes en cuestión, sumando los valores hasta donde llegan las raíces. Para ello se emplea la fórmula de Henin et al. (1972).

$$Au = (pF 33 \text{ atm.} - pF 1500 \text{ atm.}) \cdot D.A. \cdot \text{prof. (dm)}$$

II.1.3.5. DETERMINACIÓN DEL PH

Se realizó en una suspensión de tierra fina con agua (1:1) y se midió en pHmetro Crison Digilab S-17 con electrodo de vidrio.

II.1.3.6. CARBONATOS

La determinación de carbonatos se llevó a cabo por volumetría de gases. (Barahona et al., 1984)

II.1.3.7. CARBONO ORGÁNICO

Se oxidó la materia orgánica con dicromato potásico en medio ácido, valorándose el exceso con sulfato ferroso amónico, según método de Tyurin (1951).

II.1.3.8. NITRÓGENO TOTAL (ORGÁNICO + NITRATO)

Mineralización del nitrógeno en caliente con ácido sulfúrico, usando como catalizador solución sulfúrica de selenio y sulfato potásico para aumentar la temperatura de ebullición. La valoración se realizó en un aparato de destilación Bouat Micro Kjeldahl, con sulfúrico diluido. Bouat, et al. (1965).

II.1.3.9. CAPACIDAD DE CAMBIO. BASES DE CAMBIO

Se determinaron sobre la misma muestra y de forma sucesiva, con los siguientes pasos:

- Lixiviación del suelo con acetato amónico (1N y pH = 7) en columna y utilizando como obturador lana de vidrio.
- Lavado con alcohol y saturación del complejo de cambio con sodio por lixiviación con acetato sódico (1N y pH = 8.2).
- Lavado con alcohol y desplazamiento del sodio del complejo de cambio con acetato amónico (1N y pH = 7). La capacidad de cambio se determinó con la valoración de sodio por fotometría de llama. Richard (1954).
- En los lixiviados se determinaron las bases y los aniones de cambio. Sodio y potasio por fotometría de llama, en fotómetro Meteor-Nak II, mientras que calcio y magnesio se determinaron por absorción atómica, en espectrofotómetro Perkin-Elmer 305 B; Soil Conservation Service ISDA (1972). El sulfato se midió por turbimetría, los cloruros por argentometría y los bicarbonatos mediante valoración con ácido sulfúrico diluido según la metodología de aguas potables. (BOE 20 del 1 de 1982 y R.D. 1.138/90, de 14 de septiembre).

II.1.3.10. POTASIO ASIMILABLE

Se extrae con solución de acetato amónico (1 N pH = 7) y se valora por fotometría de llama (Métodos Oficiales de análisis del Ministerio de Agricultura, 1971).

II.1.3.11. FÓSFORO ASIMILABLE

Se halla teniendo en cuenta la naturaleza calcárea de las muestras, tras extracción con una solución de bicarbonato sódico, Olsen et al. (1965). Se procedió a la valoración del complejo fosfomolibdico, con espectrofotómetro Sequoia-Turner 390 y longitud de onda de 820 nm.

II.1.3.12. CONDUCTIVIDAD DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN

La pasta de suelo saturado se preparó siguiendo las indicaciones de Allison (1973). La conductividad de los extractos se midió con el conductímetro "Solubridge" Beckman, provisto de célula de conductividad G-05* 2.

II.2. OTRAS TÉCNICAS UTILIZADAS

- 1) Medida de perfiles de radiación gamma natural, temperatura y resistividad del agua utilizando para ello un equipo de testificación geofísica, Mount Sopris Instrument, INC.
- 2) Análisis de los isótopos naturales del agua deuterio, oxígeno-18 y tritio.
- 3) Medida de flujos en el interior de los sondeos mediante la inyección de ^{131}I como trazador radiactivo.
- 4) Experiencias de interconexión entre sondeos y el manantial utilizando trazadores fluorescentes (rodamina B y uranina).

II.2.1. PERFILES DE TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD Y RADIACIÓN GAMMA NATURAL

En casi todos los sondeos existentes, se han medido perfiles de temperatura y conductividad del agua, así como de radiación gamma natural. Como se sabe, estos últimos perfiles no se encuentran influenciados apenas por el revestimiento interno del

sondeo, ya que la radiación gamma es lo bastante penetrante para que esta influencia sea pequeña.

Posiblemente, la temperatura del agua tampoco se encuentra influenciada, al menos de forma importante, por el revestimiento interno del sondeo. Los flujos medidos en el interior de los sondeos utilizando ^{131}I como trazador son prácticamente despreciables debido, sobre todo, a la ausencia de ranuras en grandes tramos de la tubería de revestimiento. En estas circunstancias, puede pensarse que la temperatura del agua existente en el interior de los sondeos se encuentra equilibrada con la que tiene el agua del acuífero, siendo por tanto representativa de ésta última.

En cambio, la situación es bien diferente en relación con los perfiles de conductividad del agua. Puesto que los tramos ranurados se encuentran situados en los niveles profundos, coincidiendo con los estratos salinos y con las cavidades profundas; las posibilidades que tienen las aguas de menor salinidad, que pueden existir en los niveles superiores del acuífero, de penetrar dentro del sondeo se reduce a eventuales fallos de las uniones o soldaduras de los tubos que forman el revestimiento interno. En los casos en que estos fallos no existan o sean poco importantes, las salmueras del fondo acabarán salinizando el tramo superior de la columna de agua por difusión osmótica de la sal disuelta. En estas condiciones, resulta claro que los perfiles de conductividad del agua, medidos en los sondeos, no reflejan fielmente la distribución vertical de la salinidad del agua dentro del acuífero.

Debe indicarse que medida la resistividad del agua se puede calcular la conductividad. Como se sabe, ambos parámetros se relacionan entre sí por medio de la expresión siguiente:

$$\text{Conductividad (mS/cm)} = 10/\text{resistividad (ohmios.metro)}$$

Hay que señalar cuando el equipo se saturaba con conductividades muy elevadas (mayores de 300 mS/cm). Por tanto, cuando la línea de estos perfiles se va a la derecha, quiere decir que desde este punto hasta el fondo del sondeo la conductividad es mayor que el valor indicado.

I.2.2. TRITIO DE ORIGEN TERMONUCLEAR

El tritio es el isótopo del hidrógeno de número de masa 3, es decir, ^3H . Pequeñas actividades de tritio, son producidas, de forma natural, en la alta atmósfera, a partir de determinadas reacciones nucleares inducidas por los neutrones liberados en la misma por la radiación cósmica, de origen extraterrestre. Este tritio natural se incorpora al agua de las precipitaciones en forma de agua tritiada (THO), produciendo concentraciones muy pequeñas, perfectamente medibles.

Sin embargo, durante los últimos 45 años, las precipitaciones de todo el globo y, mayormente, las del Hemisferio Norte, han contenido concentraciones de tritio muy superiores a las producidas de forma natural, debido a los ensayos nucleares realizados en la atmósfera durante la década de los años 50. Este tritio ha producido el marcado natural de todas las aguas meteóricas e indirectamente de los acuíferos de rápida renovación.

Debido al origen reciente del tritio termonuclear y al corto período de semidesintegración de este isótopo (12,43 años), el tritio se utiliza en Hidrogeología para identificar aguas modernas, es decir, aguas infiltradas en el subsuelo a partir del año 1952, fecha en que se iniciaron los ensayos termonucleares.

Han sido analizadas 25 muestras de tritio natural en agua. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla , vienen expresados en unidades de tritio (UT), equivalente a una relación T/H igual a 10^{-18} (número de átomos). Asimismo, equivale a una actividad específica de $3,2 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{m}^3$. Los errores indicados en la tabla representan la desviación estándar, que como se sabe, corresponde a un margen de confianza del 68,3 %.

II.2.3. MEDIDA DE FLUJOS EN SONDEOS

El método utilizado consiste en el marcado de toda la columna de agua con este trazador, seguido de la medida de perfiles de concentración a intervalos regulares de tiempo. El marcado de toda la columna de agua se realiza introduciendo hasta el fondo del sondeo una manguera de plástico abierta por ambos extremos y provista de un lastre en su extremo inferior para facilitar la introducción. Esta manguera se llena ahora con

un volumen de solución de trazador igual al volumen interno de la misma entre el nivel piezométrico y el extremo inferior o fondo del sondeo. La manguera se extrae ahora lentamente, con lo cual el trazador queda distribuido de forma uniforme a lo largo de la columna de agua.

En ausencia de flujos verticales, la concentración C de trazador en un determinado tramo del sondeo varía en función del tiempo de acuerdo con una ley exponencial, que conduce a la ecuación siguiente:

$$V_D = \frac{1,81 d}{\alpha \cdot t_{1/10}}$$

donde V_D es la velocidad Darcy, d el diámetro interno del sondeo, α un coeficiente que corrige por la perturbación hidrodinámica producida por el sondeo en el flujo del acuífero y $t_{1/10}$ el tiempo necesario para que la concentración de trazador en el tramo considerado del sondeo disminuya a la décima parte. El valor del coeficiente α puede calcularse en función de los parámetros de construcción del sondeo y suele variar entre 1 y 4.

II.2.4. GRAVIMETRÍA

Sobre el terreno se dispuso una malla de estaciones, aproximadamente regular, de 50 x 100 metros, complementada en sectores de difícil acceso con estaciones distribuidas de manera irregular.

Algunas estaciones están desplazadas de su posición teórica a fin de implantarlas en los lugares más propicios para una óptima medida de la gravedad, evitando en lo posible la ubicación en las proximidades de fuertes desniveles.

En el área de Cerro de Águila, el número de estaciones fue de 252 y en la zona de Cerro de Valdelosyesos se implantaron 233 estaciones y en la zona de Cañaveralejo un total de 469.

Los puntos de medida han quedado marcados sobre el terreno con una cinta clavada al terreno donde va escrito el número de estación y otra cinta atada a un lugar visible para su fácil localización.

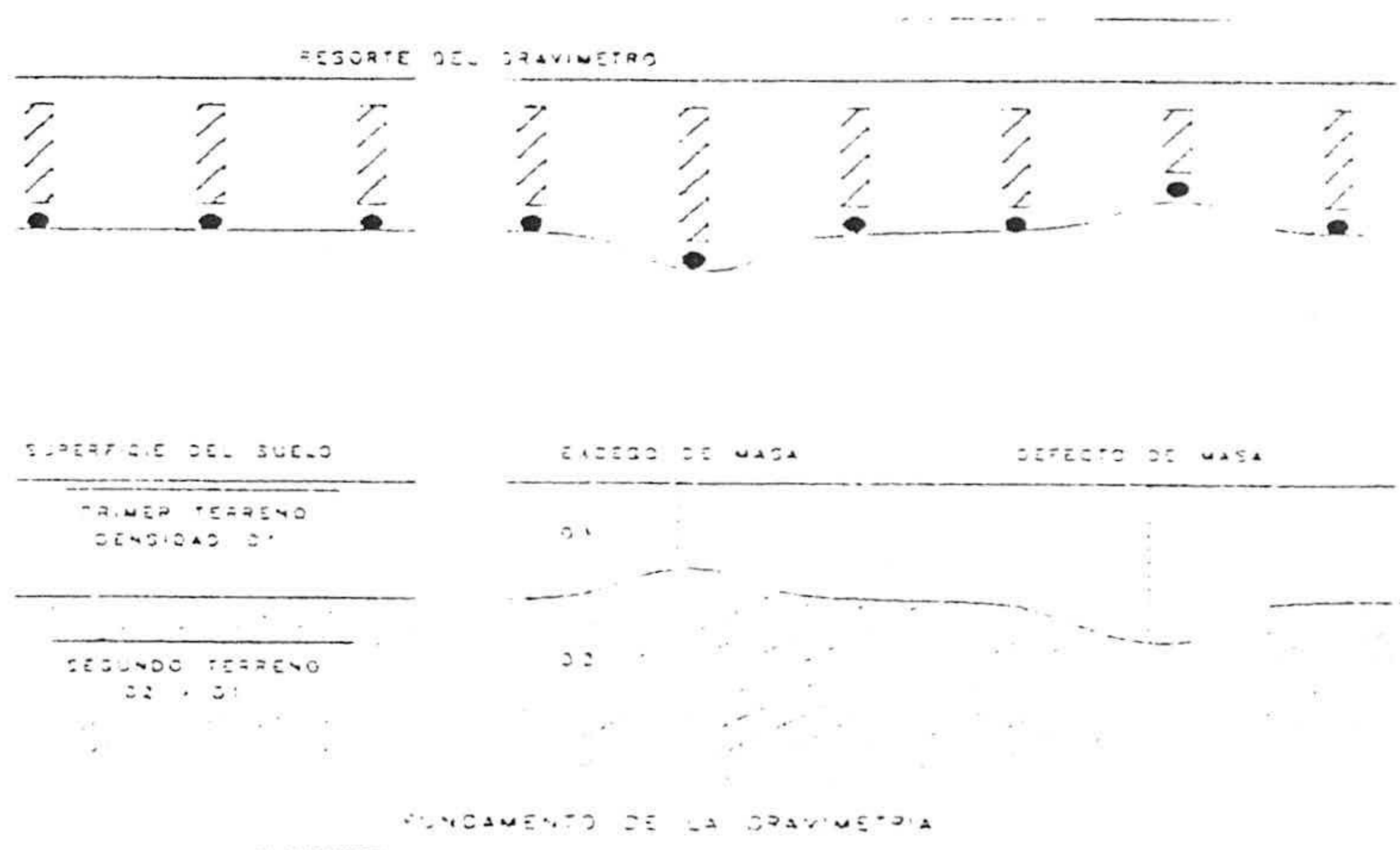
El equipo de trabajo se compuso de un gravimetrista, un topógrafo y un ayudante de campo.

II.2.4.1. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

La Gravimetría es un método de prospección geofísica que tiene como fin poner de manifiesto la anomalía que produciría un volumen inserto en un contexto de densidad diferente a la de él.

La Gravimetría es un método integrante, en el sentido de que el campo medido está necesariamente afectado por un gran número de contrastes de densidad muy diferentes.

Esto implica que un reparto homogéneo de las densidades no generará anomalía alguna, tal como se ilustra a la izquierda de la siguiente figura:



Allí donde exista un exceso de masa, el recorte sufrirá una mayor elongación, traduciéndose en una curva anómala positiva.

Por contra, defectos de masa (generalmente ligados a cavidades, rellenos, descompresiones, ...), provocan una menor elongación del resorte y, consecuentemente, anomalías negativas.

La unidad de medida utilizada en gravimetría es el Gal y en microgravimetría el Microgal, que equivale a 10^{-6} Gales.

Los resultados se suelen representar en los denominados Planos de Anomalías de Bouguer donde, mediante isoanómalas, se unen puntos de igual valor de la gravedad.

Un filtraje de carácter hipotético de estos planos conduce a la obtención de los Planos de Anomalía Residual, de índole más cualitativa.

II.2.4.2. METODOLOGÍA E INSTRUMENTAL

La disposición planimétrica de las estaciones se realizó mediante la medición con cinta métrica de las distancias entre ellas, o bien, valiéndonos directamente de la cartografía del terreno.

Los perfiles están separados entre sí 100 metros y las estaciones dentro de cada perfil 50 metros entre ellas, salvo en las zonas donde se dispuso una distribución irregular por problemas topográficos.

Las coordenadas de las estaciones están dadas en el Sistema U.T.M. (huso 30) y están referidas al vértice VÍBORA, utilizado como origen para el estudio anterior. Las coordenadas de este vértice, suministradas por la cartografía de la Junta de Andalucía son:

$$X = 348931.74 \quad Y = 4096704.97 \quad Z = 624.35$$

El origen gravimétrico fue la base arbitraria utilizada en el estudio regional anterior, a la que dio un valor arbitrario de 979.900,00 miligales.

El levantamiento topográfico se realizó con una estación geodésica marca KERN, de precisión al segundo.

Las medidas gravimétricas se realizaron con un gravimétrico marca LACOSTE & ROMBERG, Modelo D, con resolución al microgal.

El tratamiento de la información y la traza de los planos de resultados se realizó con el paquete informático SYSGRAVI.

II.2.4.3. MEDIDAS GRAVIMÉTRICAS

Los programas de toma de datos de gravimetría se realizaron con lecturas de principio y fin en la Base de Referencia, en períodos en torno a las 5 horas, a fin de controlar el efecto de deriva instrumental del gravímetro.

En cada programa se realizó un número de repeticiones para el control de calidad de los resultados.

La lectura se tomó al microgal, anotándose la hora en que se realizó para calcular posteriormente el efecto lunisolar.

Para dar una idea de la calidad de medida del gravímetro, expresamos a continuación las estadísticas de repeticiones gravimétricas.

ESTADÍSTICAS GRAVIMÉTRICAS

- Número de Estaciones: 954
- Número de medidas: 1.007
- Repeticiones: 53 (6%)
- Medidas Eliminadas: 1

Basándonos en las estaciones repetidas, de las 41 diferencias observadas, con respecto al valor final de la gravedad, y expresado en microgales, tenemos:

- Entre 0 y 5: 22 (21%)
- Entre 6 y 10: 37 (36%)
- Entre 11 y 15: 27 (26%)
- Entre 16 y 20: 13 (13%)
- Entre 21 y 25: 0 (0%)
- > de 25 : 5(4%)

De estos datos se deduce que un 57% de nuestras medidas están en el rango de precisión de los 10 microgales.

II.2.4.4. CORRECCIÓN DE LATITUD

Representa la Gravedad Normal o efecto de la variación de ésta con la Latitud, a causa del achatamiento de la Tierra en los Polos, con respecto al Ecuador.

Calculada a partir de la transformación de las coordenadas U.T.M. en Geográficas y aplicando la fórmula:

$$G_0 = 979.978.031,85 (1+0,005278895\text{sen}^2L + 0,000023462\text{sen}^4L)$$

Expresado en miligales, donde L es la latitud Geográfica.

II.2.4.5. CORRECCIONES TOPOGRÁFICAS

Calculadas hasta una distancia de 24.300 metros a partir de la estación, mediante la estimación del efecto de prismas de base cuadrada. Distinguimos tres zonas:

A) Corta Distancia: entre 0 y 50 metros.

Para esta corrección hemos elaborado una cartografía a escala 1/5.000.

B) Media Distancia: entre 50 y 1.350 metros. Subdividida en:

B1) De 50 a 450 metros.

B2) De 450 a 1.350 metros.

Las lecturas se han hecho sobre cartografía a escala 1/10.000

C) Gran Distancia: entre 1.350 y 24.300 metros. Subdividida a su vez en:

C1) De 1.350 a 4.050 metros.

C2) De 4.050 a 12.120 metros.

C3) De 12.150 a 24.300 metros.

Se han utilizado cartografías a escala 1/50.000 y 1/100.000.

II.2.4.6. NÚMERO DE BOUGER

Determinado mediante la expresión:

$$B = G - G_0 + (0.30854 - 0.04192 D) \times Z + CT$$

donde:

- B = Número de Bouguer.
- G = Gravedad medida.
- G_0 = Corrección de Latitud.
- D = Densidad
- CT = Corrección Topográfica

El número de Bouguer se ha calculado para una densidad de 2.4 gr/cm³.

II.2.5. TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA

Se trata del análisis de la conductividad y concentración equivalente del ClNa medida en los sondeos (sondeos del S.G.O.P. o sondeos S) próximos al manantial mediante la adquisición de registros geofísicos.

II.2.5.1. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo realizado en campo consistió en la testificación geofísica de los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, S-6, S-7, S-8 y S-9, en la margen izquierda del río Guadalhorce, próximos al manantial de Meliones.

Las testificaciones fueron del siguiente metraje:

- MARGEN IZQUIERDA: El sondeo S-1 103 m., el sondeo S-2 89 m., el sondeo S-3 73 m., el sondeo S-4 124 m., el sondeo S-6 112 m. el sondeo S-7 123 m., el sondeo S-8 141 m. y el sondeo S-9 123 m.

El proceso de registro se llevó a cabo con el equipo de testificación Century Compu-Log III. La sonda empleada en las testificaciones fue la sonda 9042, capaz de registrar 5 parámetros geofísicos:

- Gamma Natural (API)
- Resistividad del Fluido (ohm-m)
- Conductividad del Fluido (microS/cm)
- Temperatura
- Delta Temperatura

Por lo que respecta a las características del estado de los pozos en el momento de la testificación, se encontraban entubados con tubería de PVC.

II.2.5.2. TRABAJO DE GABINETE

La compatibilidad existente entre los equipos informáticos incorporados al sistema de registro en campo (Personal Compu-Log o P.C.L.) y los sistemas de procesado de datos en gabinete (Analytical Compu-Log o A.C.L.), permite operar con las diagrfias, representarlas gráficamente con varios modelos, variar las escalas, tanto vertical como horizontal, etc.

En el Anexo se presentan, en formato API, los documentos correspondientes a cada uno de los sondeos. En estos documentos se han seleccionado los registros requeridos y se han mezclado de la manera más conveniente para la determinación de las características hídricas de los sondeos.

Todos los documentos combinan los siguientes registros:

- En la primera pista: Radiactividad Natural (GAM NAT)
- En la segunda pista: Temperatura (TEMP) y Conductividad del Fluido normalizada a 25° C (COND 25 GRADOS mS/cm)
- En la tercera pista: Concentración equivalente de ClNa (CONC. CLOR. SOD. G/L)

El equipo de testificación registra y procesa mediante el programa PCL directamente en campo la resistividad del fluido (en ohm-m) y la conductividad (en microS/cm). Para convertir la conductividad a una normalizada a 25° C y calcular la concentración equivalente de NaCl se emplea el programa ACL, en el que se introducen unas fórmulas para el cálculo de los parámetros requeridos.

Para el cálculo de la Resistividad del Fluido normalizada a 25° C se hace mediante la siguiente fórmula:

$$LG(R_{25}) = LG(R_f) * ((LG(T^a) + 21.5) / (46.5))$$

donde,

LG(R₂₅) es el log o registro de Resistividad del Fluido normalizada a 25° C

LG(R_f) es el log o registro de Resistividad del Fluido medida en el sondeo

LG(T^a) es el log o registro de Temperatura medida en el sondeo

Mediante el empleo del mismo programa se invierte esta R₂₅ y se transforma a Conductividad Normalizada a 25° C. Para ello se introduce la fórmula:

$$LG(C_{25}) = 10 / LG(R_{25})$$

Así se pasa de las unidades ohm-propias de la resistividad a mS/cm, propias de la conductividad.

Para el cálculo de la Concentración equivalente del NaCl se asume que la conductividad del fluido viene dada por el contenido en agua exclusivamente de NaCl. Para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$LG(CN) = \text{EXP} ((\text{LN}(LG(R_{25})) - \text{LN}(4.99187)) / (-0.924542))$$

donde,

LG(CN) es el log o registro de Concentración equivalente de NaCl, en g/l, y LN es el logaritmo neperiano del paréntesis correspondiente.

Con este proceso, desarrollado de forma automática y rápida con el ordenador se obtienen los importantes registros continuos de Conductividad del Fluido normalizada a 25° C y de Concentración equivalente de NaCl que se pueden observar gráficamente en las digrafías del Anexo .

II.2.6. SONDEOS ELECTROMAGNÉTICOS EN EL DOMINIO DE TIEMPOS

La toma de datos se ha realizado con un equipo SIROTEM II operando en la modalidad de bucle coincidente, es decir, utilizando un mismo bucle como emisor y receptor. Los puntos de medida se seleccionaron y se distribuyeron de forma que el área quedara cubierta de una forma más o menos regular, tal y como puede observarse en la figura .

El tamaño del bucle de los SEDT se escogió según las expectativas de profundidad previstas para los carbonatos del Jurásico. Así, en las zonas donde se esperaban potencias mayores de recubrimiento se situaron bucles de 300 x 300 m., reservándose los bucles de 100 x 100 m. para los lugares donde la estimación de profundidad del objetivo era escasa. Sólo se realizó un SEDT con bucle de 400 x 400 m.

Se han realizado en la zona 97 SEDT. La relación de tamaño de bucle se expresa a continuación:

Bucle de 400 x 400 m: 1 SEDT

Bucle de 300 x 300 m: 78 SEDT

Bucle de 200 x 200 m: 16 SEDT

Bucle de 100 x 100 m: 2 SEDT

El equipo utilizado para la realización de los trabajos de campo fue el SIROTEM-MKIISE dispuesto de la manera que a continuación se describe.

DISPOSITIVO MENOR

Bucle cuadrado de 100 x 100, 200 x 200, 300 x 300 y 400 x 400 m.

Alimentación por baterías, proporcionando un total de 24 voltios.

Las medidas de la rampa de disparo no han tenido variaciones significativas, estando comprendidas entre 490 y 500 μ s.

La intensidad de corriente se ha movido en el entorno de 6^a a 8^a.

La unidad de control de la emisión, salvo en las mencionadas mediciones de rampa, fue la consola SIROTEM II SE, que constituye una unidad emisora-receptora con sincronización interna cuando se trabaja en la modalidad de bucle único.

DISPOSITIVO RECEPTOR

Recepción con el mismo bucle emisor, utilizando para ello los tiempos de no emisión.

En este caso el sistema quedó configurado de la siguiente manera:

	Baterías
Emisión	Unidad SIROTEM II SE
	Bucle
Recepción	Bucle
	Unidad SIROTEM II SE

El stacking se dispuso en 512 sumas. En presencia de alto nivel de ruido se aumentó a 1.024 y 2.048.

Se trabajó una ganancia en 1 y de 100. El 75% de los SEDT se registraron al menos dos veces, una con cada ganancia.

En cada punto se midió en la modalidad Early Time (ET) para resolver los niveles superficiales de la sección y también en la Standard Time (ST) para alcanzar la mayor profundidad de investigación. Todo ello se realizó acompañado de unos controles y calibraciones que son las que a continuación se detallan.

Se realizaron diversos registros de ruido sin emisión de señal.

El sistema permite además un control continuo del nivel de ruido inducido, por medio de los valores de desviación estándar de las medidas de cada canal, cuyos valores quedan anotados en el registro de cada SEDT.

La realización de estos controles permite afirmar que el nivel de ruido es bajo. Se trata del ruido que se genera cuando se tienen determinados materiales resistivos muy próximos a la superficie y también otro tipo de medidas anómalas cuya causa puede atribuirse bien a un origen superficial (el bucle está situado en la vertical de discontinuidades de cierta entidad).

Cuando, debido a estas u otras circunstancias, los registros no se han considerado como de suficiente calidad, se ha comprobado el buen funcionamiento del equipo mediante los procesos de calibración intensa, se ha aumentado el número de "stacking" y, en algunos casos, se ha cambiado el emplazamiento del sondeo.

En algunos casos, la existencia de tendidos de alta tensión ha condicionado la situación de los SEDT y, en otras ocasiones, ha habido que repetirlo en otro emplazamiento.

**Capítulo III. PARTE EXPERIMENTAL Y
RESULTADOS**

III.1. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

III.1.1. GRANDES UNIDADES PRESENTES EN EL ÁREA

Desde el punto de vista geológico la región estudiada se sitúa dentro de las Zonas Externas de la Cordillera Bética, y está mayoritariamente constituida por terrenos mesozoicos y terciarios intensamente deformados por los esfuerzos orogénicos relacionados con el plegamiento alpino (terrenos preorogénicos). Estos se encuentran, en buena parte, recubiertos en discordancia por terrenos postorogénicos del Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario, que forman parte del relleno de la cuenca intramontañosa de Antequera, la cual constituye, a su vez, una dependencia menor de la Depresión del Guadalquivir.

Los terrenos preorogénicos del área son en su totalidad alóctonos, se encuentran intensamente deformados y forman parte de tres grandes conjuntos tectónicos independientes. Cada uno de ellos está formado por materiales de edades y facies muy distintas, con una estructura interna muy diferente en cada caso. Estas unidades son las siguientes:

- El Penibético,
- El Subbético Medio, constituido, en esta área por un complejo de materiales con estructura caótica que se engloban en el clásicamente denominado “Trías” de Antequera, y
- El Complejo del Campo de Gibraltar.

El Penibético es la unidad que ocupa actualmente una posición tectónica más profunda, pues se encuentra totalmente recubierto por el Complejo del Campo de Gibraltar, bajo el cual aflora en ventana tectónica. Este último, por su parte, aparece retrocabalgado por el complejo del “Trías” de Antequera a lo largo de un importante –y muy complicado en el detalle- accidente transcurrente que discurre por el límite entre el Penibético y el Subbético s.1. desde la Boca del Asno hasta la Sierra de Teba, con una dirección aproximada E-W. Toda la estructuración tectónica de este sector ha sido en mayor o menor medida

determinada por el funcionamiento de dicho accidente, que se produjo fundamentalmente entre el final del Mioceno inferior y el inicio del Mioceno superior.

El depósito de los materiales postorogénicos se inició en el Mioceno superior (Tortonense) en condiciones marinas y progresó, en ambientes continentales, a lo largo del Plioceno y Cuaternario, pero con variaciones apreciables tanto en la distribución de detalle de los sedimentos como en su espesor y en la naturaleza de las facies. El carácter postorogénico de todos estos materiales se constata principalmente por el hecho de que todos ellos recubren en discordancia a los materiales preorogénicos en diferentes puntos, erosionándolos a veces muy profundamente como se constata claramente en las gargantas de El Chorro; también por el hecho de que en la mayor parte de los puntos los terrenos del Tortonense al Cuaternario están horizontales o bien muestran inclinaciones suaves, de origen sedimentario. Sin embargo, los materiales marinos del Tortonense han sido afectados localmente por deformaciones neotectónicas muy importantes que han provocado importantes perturbaciones en dos zonas del área, en concreto:

- Un fuerte plegamiento y verticalización en el sector comprendido entre los dos manantiales salinos más importantes (Meliones y Cañaveralejo), y
- El cabalgamiento, acompañado de una amplia superposición tectónica de los materiales arcilloso-yesíferos subbéticos sobre las calcarenitas miocenas, en el sector comprendido entre Antequera y el Cerro del Cuchillo, siendo muy probable la continuidad hacia el oeste de dicho cabalgamiento, hasta las proximidades de Meliones.

III.1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES: ESTRATIGRAFÍA

III.1.2.1. EL PENIBÉTICO

En el área estudiada y sus inmediaciones esta unidad tectónica aflora formando parte de los principales relieves existentes en la región: la Sierra del Valle de Abdalajís y sus dependencias septentrionales (Sierra Llana, Salto de la Zorra, Tajos de Ballesteros y de Cabritos, etc.), el Torcal de Antequera y sus dependencias occidentales (Sierra Chimenea, Torrecilla y Tajo Almarado) y la Sierra de Teba-Peñarrubia. Estos tres grupos de relieves constituyen tres entidades geográfico-geológicas relativamente independientes y separadas entre sí por importantes accidentes de carácter transcurrente, las cuales están estratigráfica, tectónica y paleogeográficamente emparentadas puesto que aparecen formadas por los mismos tipos de rocas y presentan una estructura tectónica de estilo similar. Todas estas sierras están mayoritariamente constituidas por dos conjuntos litoestratigráficos mayores: uno inferior de naturaleza calizodolomítica, del Jurásico, y otro superior formado por margocalizas, calizas y margas del Cretácico medio-superior y Terciario.

III.1.2.2. EL JURÁSICO

Las formaciones jurásicas del Penibético reposan sobre materiales arcilloso-margosos del Trías que no afloran en el área cartografiada, pero sí en sus cercanías, en el Chorro y en la depresión existente al S del Tajo de la Rejanada, entre la Sierra Huma y la del Valle de Abdalajís, por lo que su existencia en profundidad, constituyendo el sustrato estratigráfico de la serie penibética en las Sierras del Valle de Abdalajís, puede considerarse segura. El conjunto carbonatado del Jurásico alcanza una potencia total de unos 500 a 600 m. y, de abajo arriba, se pueden distinguir dentro de él tres unidades litológicas:

- Dolomías: constituyen la base de la sucesión jurásica y, en el área cartografiada, afloran tan solo ocupando el núcleo anticlinal que define la cresta de la Sierra del Valle de Abdalajís. La edad de estos materiales es Lías inferior.

- Calizas masivas: las dolomías pasan rápidamente, mediante contactos de dolimitización, a un potente conjunto (350-400 m) de calizas blancas masivas o estratificadas en bancos muy gruesos, que se encuentran muy karstificadas y que muestran facies predominantemente oolíticas, depositadas en aguas somera. En el área cartografiada afloran en la parte alta de la Sierra del Valle de Abdalajís, alrededor de las dolomías, y en las laderas septentrionales de la Sierra Chimenea y del Torcal. La edad de estos materiales es Lías medio-superior-Dogger.
- Calizas del Torcal: sobre el conjunto anterior reposa una característica formación, constituida por las calizas bien estratificadas en bancos decométricos a métricos sobre las que están labradas las características morfologías kársticas del Torcal de Antequera. Son calizas de facies pelágicas, en parte oolíticas, que contienen abundantes ammonites del Jurásico medio y superior y de la extrema base del Cretácico. Estas rocas afloran ampliamente en la Sierra del Valle de Abdalajís y relieves adyacentes (Sierra Llana, Salto de la Zorra, Tajos de Ballesteros y Cabritos, Peña del Gato, Tajo Almarado...).

Todos los materiales del conjunto carbonatado inferior del Penibético se encuentran intensamente fracturados y karstificados, y constituyen acuíferos kársticos de notable importancia hidrogeológica.

III.1.2.3. EL CRETÁCICO Y TERCIARIO

Los materiales calizo-margosos del Cretácico del Penibético afloran ampliamente rodeando a los materiales jurásicos de todos los relieves penibéticos ya mencionados, ocupando el núcleo de estructuras sinclinales. Están en su totalidad constituidos por margas y margocalizas con abundantes foraminíferos planctónicos. Localmente contienen nódulos de sílex y se pueden subdividir en dos formaciones de diferente color: la inferior es bastante delgada (pocos metros de potencia máxima), es de tonos blancos y de edad Albense a Turonense (Capas Blancas); la superior es mucho más potente (hasta unos 150

m.), presenta tonalidades rojas y su edad es principalmente Senonense, aunque llega hasta el Eoceno e incluso el Oligoceno en sus niveles estratigráficos más altos.

III.1.3. EL COMPLEJO DEL CAMPO DE GIBRALTAR

Este conjunto tectónico está constituido por materiales arcilloso-areniscosos de edad predominantemente terciaria, depositados en ambientes marinos profundos principalmente por procesos de resedimentación por gravedad (principalmente corrientes de turbidez). Su estructura interna es enormemente complicada debido a la diferente competencia mecánica de los distintos tipos de sedimentos en él representados. Simplificando enormemente la descripción se pueden diferenciar tres conjuntos litológicos distintos:

- Arcillas Variegadas Escamosas, carentes de verdadera estratificación y dentro de las cuales aparecen bloques dispersos de litologías diversas y tamaños y edades variables, según los casos.
- Arcillas coloreadas bien estratificadas en estratos centimétricos y con intercalaciones más o menos esporádicas de areniscas micáceas y calizas detríticas en lechos delgados.
- Areniscas, dentro de las cuales se pueden distinguir dos tipos muy diferentes: areniscas cuarzosas de tipo Aljibe y areniscas micáceas de tipo Algeciras.

Describiremos a continuación, con más detalle, las características de cada uno de estos materiales.

III.1.3.1. ARCILLAS VARIEGADAS ESCAMOSAS

Constituyen la porción desorganizada, con estructura interna caótica y bloques dispersos en su seno, del Complejo del Campo de Gibraltar. Son arcillas policromas, preferentemente

coloreadas en tonos rojos y verdes, sin estratificación visible y con una estructura interna escamosa, debida sin duda a que han sufrido una intensa tectonización. Con frecuencia aparecen deslizadas, hecho que se ve favorecido porque están formadas mayoritariamente por minerales expansivos. Engloban fragmentos diversos, de tamaño métrico a hectométrico, de los otros tipos de materiales areniscos y arcillosos estratificados que se reconocen en el Complejo de Gibraltar y que serán descritos a continuación, así como de otras clases de rocas entre las que cabe mencionar: yesos triásicos, margocalizas y margas rojas del Cretácico, calizas detríticas con *Microcodium* del Paleoceno, margas blancas eocenas, calizas detríticas y brechas y microbrechas calcáreas con *Nummulítidos* del Eoceno y Oligoceno, y *silexitas* del Mioceno inferior.

Estas arcillas afloran extensamente al Norte de la Torrecilla y del Tajo Almarado, así como en los alrededores del Cerro del Buho, estando en todos los casos muy deslizadas, aradas y parcialmente cubiertas por cultivos. Forman la matriz de un complejo tectonosedimentario de edad Mioceno inferior, originado por resedimentación a gran escala de los diferentes tipos de materiales estratificados del Complejo del Campo de Gibraltar. La formación de este complejo tectonosedimentario, progresó durante la superposición tectónica del Complejo de Gibraltar sobre el Penibético, lo que aconteció principalmente durante el final del Mioceno inferior (*Burdigaliense inferior*).

III.1.3.2. ARCILLAS COLOREADAS ESTRATIFICADAS

Se diferencian de las anteriores porque en ellas es visible una estratificación en lechos centi a decimétricos lateralmente continuos, marcada por diferencias en el color, que es predominantemente rosado a rojo, si bien de vez en cuando pueden reconocerse dentro de ellas algunas pasadas verdosas, amarillentas o grisáceas. Cuando están aradas la distinción sobre el terreno entre estas arcillas y las anteriormente descritas puede ser muy difícil o imposible, así sucede, por ejemplo en la margen septentrional del embalse del Guadalhorce, al sur de los cerros de Juan Vacas y de Vadolosyesos; tan sólo ligeras

variaciones en la litología de las arcillas –aparentemente algo más margosa en el conjunto estratificado-, la presencia de estratos esporádicos de areniscas entre las arcillas, visibles incluso en foto aérea, y un aspecto “menos variegado” en los terrenos arcillosos de este sector, permiten la atribución de las rocas presentes en él al conjunto de Arcillas Coloreadas Estratificadas. Buenos afloramientos de estos materiales se reconocen en tres zonas:

- Al ESE de la Sierra de Peñarrubia, en la ladera septentrional del Embalse del Guadalteba, donde aparecen interestratificados e intensamente replegados conjuntamente con tramos areniscosos.
- Orlando por el N y NE a los materiales cretácicos penibéticos de la Sierra del Valle de Abdalajís, a los que cabalgan. Los taludes de la carretera a Gobantes así como diversos barrancos permiten observar buenos cortes de estos materiales.
- Entre la Estación de Gobantes y el Cerro del Águila, a lo largo de una estrecha banda de orientación NW-SE, que atraviesa la carretera de Gobantes a Meliones; a lo largo de esta carretera se observa una delgada intercalación de turbiditas calcáreas entre las arcillas estratificadas que, hacia el SE, aumenta de espesor y cambia lateralmente de facies a brechas de cantos calcáreos. Este último afloramiento muestra características litológicas ligeramente diferentes a las de los otros dos más arriba mencionados, principalmente en lo que se refiere a la presencia menor de intercalaciones areniscosas delgadas.

Este conjunto de materiales está relacionado con el conjunto de areniscas que describiremos a continuación, del cual constituye el sustrato stratigráfico. Su edad puede llegar a ser en algún punto, como muy antigua, del Cretácico inferior, pero principalmente datan del intervalo comprendido entre el Oligoceno y el Aquitaniense inferior.

III.1.3.3. ARENISCAS

Las areniscas del área estudiada se caracterizan por presentar dos facies completamente diferentes entre sí y que denominaremos Areniscas del Aljibe y Formación de Algeciras, por presentar características equivalentes a las que muestran, respectivamente, las rocas de este nombre que afloran ampliamente en el Campo de Gibraltar.

- La Formación de Algeciras está constituida por una característica sucesión rítmica de areniscas y arcillas más o menos margosas, también denominada Flysch margoareniscoso micáceo. Las areniscas son característicamente micáceas y algo calcáreas: son de colores marrones y están granoclasificadas y bien estratificadas en bancos de espesor centimétrico a métrico cuyas bases muestran abundantes estructuras turbidíticas, ya que frecuentemente se organizan en secuencias estratocrecientes. Las areniscas alternan con lechos margosos y arcillosos delgados, de colores grises y rosados, formando un típica sucesión de facies flysch. Estos materiales afloran extensamente al N y E de las Sierras del Valle de Abdalajís, donde reposan sobre las arcillas coloreadas bien estratificadas anteriormente descritas.
- Las Areniscas del Aljibe se diferencian claramente de las anteriores sobre todo por su composición y tamaño de grano: son areniscas cuarzosas bastante puras, de tamaño de grano medio a grueso, formadas por granos de cuarzo bien visibles, incluso a simple vista, y muy bien redondeados. Los colores de estas areniscas son grises en corte fresco pero casi siempre aparecen alteradas por rubefacción debida a meteorización superficial, lo que les confiere unos colores amarillentos y anaranjados característicos, que facilitan su diferenciación cartográfica de las areniscas de tonos pardos de Algeciras, incluso en las zonas aradas. La estratificación de las Areniscas del Aljibe, donde es visible, es más gruesa y no se aprecia, al menos en esta área, una ordenación secuencial claramente definida, ni tampoco estructuras turbidíticas como las que se reconocen en las areniscas de Algeciras. Las Areniscas del Aljibe afloran principalmente entre la Estación de

Gobantes y la Sierra Chimenea, en afloramientos dispersos y parcialmente deslizados sobre las Arcillas Variiegadas Escamosas.

En el Campo de Gibraltar estos dos tipos de areniscas, forman parte de dos mantos de corrimiento independientes y superpuestos: la unidad de Algeciras, en posición tectónica inferior y la unidad del Aljibe, en posición superior. Estas dos unidades tectónicas existen como tales en el área cartografiada y ocupan una posición relativa similar a la que se reconoce en el Campo de Gibraltar: la unidad de Algeciras reposa directamente sobre el Penibético mientras que los terrenos atribuibles a la unidad del Aljibe afloran al N de la anterior –y sobre ella- en la región comprendida entre la estación de Gobantes y la Sierra Chimenea. Sin embargo, en los sectores situados al N del Embalse del Guadalhorce se constata claramente que estos tipos diferentes de areniscas se encuentran perfectamente interestratificadas entre sí y que alternan, asimismo, con Arcillas Coloreadas Estratificadas. Este hecho lleva a la conclusión, por otro lado confirmada en otros lugares de la Cordillera donde se observa este mismo fenómeno, de que las Areniscas del Aljibe y de Algeciras son depósitos que procedían de dos áreas-fuente diferentes pero que eran contemporáneos y que se depositaron en la misma cuenca sedimentaria en la que en períodos algo anteriores se había depositado la masa principal de las Arcillas Coloreadas Estratificadas. La edad de las areniscas es Mioceno inferior, más precisamente Aquitaniense, sobre todo superior.

Los materiales del Complejo del Campo de Gibraltar son formaciones mayoritariamente impermeables desde un punto de vista hidrogeológico. Dentro de ellos, por lo tanto no existen manantiales importantes y su prolongación en profundidad determina el aislamiento de los acuíferos kársticos penibéticos de los existentes en las áreas situadas más al N, dentro de otros tipos de materiales permeables.

III.1.4. EL SUBBÉTICO MEDIO (COMPLEJO DEL “TRÍAS” DE ANTEQUERA)

A este conjunto tectónico pertenecen los materiales en los que brotan los manantiales salinos, cuyo conocimiento hidrogeológico constituye el objetivo de este estudio. De ellos

proceden las sales disueltas en las aguas de dichos manantiales. Habida cuenta de la extraordinaria abundancia de materiales evaporíticos en este complejo, yesos en particular, y de la notable porosidad y permeabilidad que muestran, dado que se encuentran intensamente karstificados. Clásicamente, los materiales arcilloso-evaporíticos del área han sido incluidos en el denominado Complejo del “Trías” de Antequera, de facies germano-andaluza. Constituyen una inmensa megabrecha constituida –eso sí- por materiales mayoritariamente arcilloso-yesíferos triásicos intensamente fragmentados y brechificados, pero que incluye también esporádicos fragmentos de otros materiales, entre los cuales destacan los de formaciones mesozoicas y terciarias subbéticas, de formaciones miocenas de la cuenca del Guadalquivir y del Complejo del Campo de Gibraltar. Esta megabrecha no es otra cosa que el denominado Olistostroma del Guadalquivir. En definitiva, este olistostroma, del cual el complejo del “Trías” de Antequera representa la terminación meridional, no es otra cosa que el producto de la resedimentación en masa de los materiales subbéticos –sobre todo, pero no exclusivamente triásicos- en la Depresión del Guadalquivir, a consecuencia del apilamiento de las unidades alóctonas subbéticas y su deslizamiento gravitacional hacia el Norte, provocado por los esfuerzos orogénicos, durante el Mioceno medio principalmente.

III.1.4.1. ESTRATIGRAFÍA DE LOS MATERIALES TRIÁSICOS

En las Zonas Externas de la Cordillera Bética afloran materiales triásicos de facies pericontinentales en las que se distinguen facies del Keuper y facies del Muschelkalk. En el sector central de la Cordillera, dentro de las Zonas Externas, el Trías aflora casi de manera continua a lo largo de una banda de dirección WSW-ENE dentro de la que se han diferenciado varias unidades tectónicas, entre las que destaca el “Trías de Antequera”, que está relacionado con el accidente Cádiz-Alicante.

Se han diferenciado, en el Trías del sector central de la Zona Subbética, tres unidades litoestratigráficas (Fig. 1) principales (Pérez-López, 1991; y Pérez-López *et al.*, 1992):

- una formación carbonática de facies Muschelkalk (Ladiniense);
- cuatro formaciones detrítico-evaporíticas del Carniense que constituyen el Grupo Keuper de Jaén (Fig.);
- y otra formación carbonática del Noriense, definida como Fm. Zamoranos.

Formación carbonática de facies Muschelkalk (Ladiniense)

Los materiales de facies Muschelkalk han sido denominados en la Zona Subbética como Formación Majanillos. Tiene una potencia que oscila entre 80 y 130 m. Aparece limitada a techo y muro, debido a contactos tectónicos, por materiales detríticos atribuibles a las facies Keuper. Está constituida por dolomías, calizas grises y margocalizas, en muchos casos bioturbadas. En general, alternan los tramos carbonatados y calizomargosos, siendo predominantemente margosos hacia arriba de la serie. Localmente presentan ofitas, especialmente localizadas en la base de la formación. Su edad es Ladiniense (Pérez-López, 1991).

Formaciones detrítico-evaporíticas del Carniense-Noriense (?) que constituyen el Grupo Keuper de Jaén

Estos materiales están formados principalmente por arcillas de colores abigarrados con predominio del rojo. Son abundantes las intercalaciones de areniscas, yesos, lutitas y carbonatos, a veces carniolares, de colores ocre y grises. En algunos afloramientos los yesos o las areniscas son predominantes. También destaca la presencia de importantes cuerpos de rocas ígneas básicas (ofitas). Sus materiales han sido datados (Pérez-López *et al.*, 1991) como Carnienses.

Este grupo comprende cuatro formaciones que aparecen en el conjunto del Subbético, al menos en su sector central. En el texto se ha optado por abreviar las denominaciones de las formaciones utilizando las siglas K1, K2, K3, K4-K5 respectivamente para cada una de ellas (cfr. Ortí Cabo, 1974 y Pérez-López, 1991). Estas formaciones son:

- Formación detrítico-evaporítica de Barrancos (K1). (100-200 m.). Es esencialmente arcillosa de colores abigarrados con predominio de los colores ocres, grises y rojos. Tiene importantes intercalaciones de yesos y areniscas de grano fino. También puede contener niveles finos de carbonatos, a veces carniolares.
- Formación areniscas de Cambil (K2). (25-60 m.). Esta formación, conocida anteriormente como “areniscas de Cabra del Santo Cristo” (Pérez-López, 1991), se caracteriza por el predominio de potentes bancos de areniscas rojas con niveles, más o menos potentes, de lutitas. Está constituida por dos o más paquetes de areniscas. Estas areniscas tienen un tamaño de grano fino y suelen contener una proporción alta de limo y arcilla.
- Formación detrítico-carbonatada con yesos de Cabra del Santo Cristo (K3). (50-80 m.) En ésta se han diferenciado claramente dos miembros: el lutítico y el arenoso carbonatado. En el miembro lutítico (K31) predominan las arcillitas y arcillas rojas de tonos oscuros. Existen también algunos niveles centrimétricos de areniscas muy finas de color gris verdoso o azulado. Son abundantes también los nódulos de yeso rojo, que se encuentran de modo disperso entre las arcillas. Presenta rocas subvolcánicas.

De forma gradual se pasa al miembro arenoso-carbonatado (K3a). En éste aparecen lutitas de colores alternantes abigarrados, arenas rojas de tonos claros, areniscas de color gris verdoso, carbonatadas, y carniolas ocres.

- Formación yesos y dolomías de cerro Molina (K4-K5). (50-90 m.). Está constituida por yesos, arcillas y dolomías. Se pueden diferenciar dentro de esta formación tres miembros según predomine una u otra litología.

El miembro arcilloso-yesífero (K4a) presenta series muy reducidas, no superiores a 10 m., de niveles arcillosos con una gran proporción de yesos rojos, nodulares, aunque localmente existen yesos laminados.

El miembro yesífero (K5y) es el más característico de esta formación (50-70 m.), con masas estratiformes de yesos con textura laminar, de color blanco y gris, muchas veces con porfiroblastos. Finalmente, el miembro dolomítico superior (K5d), puede alcanzar una potencia de unos 25 m. Unas veces está formado por paquetes de dolomías bien estratificadas, a veces tableadas, y otras veces son más masivas y cristalinas, correspondientes a dolomías recristalizadas. Suelen ser dolomías de grano muy fino (5-20 micras) de color gris, con textura laminar y con abundantes moldes de evaporitas.

Los cuerpos salinos se han localizado, en el Trías de Valencia dentro de las unidades K1 y K4 (Fig.).

Formación carbonática de edad Noriense, definida como Fm. Zamoranos

En todo el sector estudiado de la Zona Subbética afloran unos carbonatos que se presentan totalmente tectonizados, siempre como bloques decamétricos limitados por contactos tectónicos, flotando en materiales arcillosos. Esta unidad carbonática se define como Formación Zamoranos y es de edad Noriense (Pérez-López *et al.*, 1992). Tiene una potencia máxima de unos 45 m. y está formada por calizas y dolomías bien estratificadas, con una intercalación siliciclástica roja, en la base del conjunto carbonático, con una alta concentración en óxidos de hierro que es característica de esta formación.

III.1.4.2. MATERIALES RESEDIMENTADOS

Por otra parte, en el sector central de la Zona Subbética se han diferenciado los materiales correspondientes a una “megabrecha” de edad Mioceno inferior y medio, de naturaleza

olistostrómica, que está constituida predominantemente por materiales de facies triásicas, aunque contienen también olistolitos de materiales jurásicos, cretácicos y terciarios, que forman parte del Complejo Olistostrómico Subbético (Pérez-López *et al.*).

III.1.5. LITOESTRATIGRAFÍA

Unidades litológicas

Se han reconocido, dentro del conjunto del afloramiento del Trías de Antequera, dos unidades del Triásico y tres unidades del Mioceno constituidas por materiales de facies Keuper (Lám.).

Yesos (“Serie Evaporítica Superior del Keuper”)

Este conjunto litológico está formado por yesos laminados, muchas veces de aspecto masivo, con intercalaciones finas de dolomías. Esta unidad suele intercalar, hacia arriba en la serie, paquetes de dolomías grises con una potencia que oscila entre los 5 y 15 metros. Esta unidad pertenece a la serie “Evaporítica Superior del Keuper” (Ortí *et al.*, 1994).

Afloramiento: Aflora principalmente en todo el borde norte del Trías de Antequera, al S de Bobadilla, según una franja de dirección WNW-ENE. La estructura que definen es de anticlinorio.

Lutitas y areniscas (“Serie Detrítica Intermedia”)

Esta unidad está formada por una alternancia de capas poco potentes (de 10 a 70 cm.) de lutitas, areniscas y carbonatos, a veces carniolares. Los colores más predominantes son el

ocre, rojo y gris verdoso. Se pueden atribuir a la parte más alta de la “Serie Detrítica Intermedia” del Keuper.

Afloramiento: Estos materiales afloran de manera discontinua a lo largo del borde sur del afloramiento del Triás de Antequera desde el Cerro del Espartal hasta el Cerro de Águila. Tienen una estructura de anticlinal tumbado, con vergencia S.

Megabrecha con matriz arcillosa

Se trata de un conjunto arcilloso-yesífero con grandes bloques (decamétricos) de dolomías estratificadas y yesos del Triásico. Esta megabrecha puede incluir, además, algunos bloques grandes de carbonatos del Jurásico y del Terciario.

Junto con las dolomías del Triásico pueden aflorar rocas verdes subvolcánicas. En muchos de estos casos se trata de bloques atribuibles a la Formación Zamoranos definida en la Zona Subbética (Pérez-López *et al.*, 1992) como carbonatos de edad Noriense, que se extienden hasta la Depresión del Guadalquivir como bloques de una unidad olistostrómica (Pérez-López *et al.*).

También se ha reconocido un gran bloque de carbonatos de facies Muschelkalk, que corresponde al Cerro de Águila.

Afloramiento: Estos materiales aparecen por toda la parte central del sector oriental y del sector occidental del Triás de Antequera. Se identifica, en muchos casos, con las zonas de cultivo, que en general suelen estar en las zonas más altas topográficamente.

Megabrecha con matriz yesífera

Esta megabrecha está formada por bloques de dolomías, yesos, arcillas con una matriz yesífera, muy semejante a la anterior. Se interpreta como una megabrecha de transición que queda estratigráficamente por debajo de la anterior.

Afloramiento: Esta megabrecha aflora en relación con la anterior, en posiciones más bajas. Se trata de afloramientos rocosos sin desarrollo de suelos.

Brecha de yeso

Esta unidad está constituida esencialmente por capas de yesos secundarios que engloban abundantes cantos de distinta naturaleza, sobre todo, de dolomías y lutitas, aunque pueden incluir algunos fragmentos de ofitas y areniscas. El tamaño de los cantos suele oscilar entre unos pocos milímetros y varios centímetros. No obstante, aparecen con frecuencia algunos bloques individualizados de yesos o de dolomías, de uno a varios metros de diámetro.

Afloramiento: Estos yesos afloran sobre todo en el sector central, al N y NW de la Estación de Gobantes, donde se sitúa el manantial de Meliones. También son característicos de todo el borde meridional del afloramiento del sector oriental.

III.1.5.1. UNIDADES OLISTOSTRÓMICAS

Todo este conjunto de megabrechas tiene características de ser una unidad olistostrómica, en comparación con otras áreas de la Zona Subbética.

En el siglo pasado, Verneuil y Collomb (1856) observaron que había materiales de diferentes edades incluidos en las margas del Triásico. Pero fue Perconing (1960-62) quien planteó por primera vez de modo directo las implicaciones de los materiales triásicos en las unidades olistostrómicas, y quien definió el olistroma del Guadalquivir o Manto de

Carmona. Dupuy de Lome (1965) observó que en algunos sectores de la Zona Subbética se había desarrollado una unidad olistostrómica que se extendía hacia la depresión del Guadalquivir y quedaba por debajo de los materiales del Mioceno medio-superior.

Foucault (1971) describió la existencia de olistostromas en el sector oriental de la depresión del Guadalquivir. García Rossell (1973) definió el Complejo del Jandulilla que comprende el Trías de Cambil y las Unidades del Guadalquivir. Lo relaciona con el Manto de Carmona y con otros elementos tectónicos definidos en las Zonas Externas en la provincia de Cádiz y Sevilla (Chauve, 1968; Mauthe, 1970). Por otra parte, Bourgois (1975,1978) interpreta parte del Trías subbético de la transversal al N de Ronda como una brecha resedimentada.

Roldán García y García Cortés (1988) y Roldán García (1988) destacan el gran desarrollo que alcanzan las unidades con materiales triásicos que están implicados en el olistostroma del Guadalquivir. García Cortés et al. (1991) ponen de manifiesto que la "Unidad Olistostrómica" se extiende desde el sector central de la Cordillera hasta el extremo nororiental de la provincia de Alicante. Finalmente, Sanz de Galdeano y Vera (1992) señalan el desarrollo de olistostromas a partir del Burdigaliense y hasta el Tortoniense.

En conjunto, la disposición olistostrómica de estas masas triásicas es un hecho aceptado, especialmente en lo que se refiere a las unidades triásicas más septentrionales (Azema et al, 1979), implicadas en el relleno de la depresión del Guadalquivir, y las que quedan en el sector más occidental de las Zonas Externas.

La salida principal y la formación de las unidades olistostrómicas hay que referirla fundamentalmente a la etapa principal de deformaciones sufrida por las Zonas Externas, iniciada en el Burdigaliense (Hermes, 1985, Sanz de Galdeano et al., 1992). La salida, sobre todo a lo largo de importantes zonas de fractura, y localmente a través de antiguos núcleos diapíricos, se produjo a causa del empuje y desorganización que sufrió el Subbético (desplazándose hacia el W, NW o NNW, según los sectores y los diferentes momentos) ante el avance de las Zonas Internas (Sanz de Galdeano, 1990). El desarrollo

último de las unidades olistostrómicas, con importantes procesos de resedimentación, se produjo en el Langhiense-Serravalliense (Cfr. Roldán García et al., 1988; Roldán García, 1988), hasta la base del Tortoniense.

III.1.5.2. MATERIALES POSTRIÁSICOS SUBBÉTICOS

Este tipo de materiales se ha reconocido en dos zonas bastante alejadas entre sí:

- 1 Km. Al N del Cerro del Águila aparecen formando una colina de unos 480 m. de altura, que forma un isleo tectónico cepillado por la base e integrado por una sucesión estratificada formada, de abajo arriba, por: calizas y margocalizas grises en bancos decimétricos, con gruesos nódulos de sílex, del Lías superior-Dogger; radiolaritas verdes y margas radiolaríticas verdes y rosadas, del Dogger-Malm; y, por último, calizas grises y rosadas algo tableadas y con pasadas de aspecto noduloso, del Malm.
- En la región del Cerro Prieto aparecen una serie de escamas tectónicas de materiales jurásicos, cretácicos y terciarios subbéticos, situadas al borde de las brechas de materiales triásicos, entre los cuales se han podido reconocer: calizas claras de tonos grises y blancos, bien estratificadas y con abundantes nódulos de sílex, que han suministrado ammonites del Toarcense superior-Aalenense; margas y margocalizas blancas de aspecto Neocomiense; margas verdes y grises, atribuibles al Cretácico medio; margocalizas y margas rosadas y blanquecinas del Senonense; y, por último, margas rosadas y blancas de aspecto terciario, y probable edad eoceno-oligocena.

Todos estos tipos de rocas se encuentran ampliamente representados en las series del Subbético Medio de regiones próximas, al N y NE del área estudiada. Muy posiblemente estos materiales proceden del desmantelamiento de series mesozoicas y terciarias de

unidades pertenecientes a este dominio paleogeográfico subbético, y de la incorporación de sus materiales al Olistostroma del Guadalquivir.

III.1.5.3. MATERIALES PROCEDENTES DEL COMPLEJO DEL CAMPO DE GIBRALTAR

Estos materiales aparecen muy escasamente representados en el interior del Complejo del “Trías” de Antequera, en el área cartografiada. Donde existen parecen situarse sobre las brechas yesíferas, pero las relaciones de detalle no son claramente visibles a causa de la existencia de extensos recubrimientos de materiales cuaternarios. Se han reconocido en dos puntos:

- Unos dos kilómetros al E de la Laguna Dulce de Campillos, en la trinchera de la carretera N-342, donde se reconoce un conjunto arcilloso-areniscoso intensamente deformado, con facies areniscosas de tipo Aljibe.
- En el margen izquierda del Guadalhorce, al E de Bobadilla, entre los cortijos de Pinedilla y de los Frailes, donde, entre arcillas muy aradas aparecen bloques dispersos de areniscas cuarzosas de tipo Aljibe y de calizas detríticas con Nummulítidos.

III.1.5.4. OTROS MATERIALES

En este apartado se incluyen tres tipos de materiales que no pueden ser incluidos en ninguno de los otros grupos de materiales más arriba descritos. Son los siguientes:

- Pizarras y areniscas micáceas, con eventuales pasadas algo calcáreas y margosas o margoesquistosas de aspecto paleozoico. La presencia de fragmentos exóticos de este tipo de materiales ya ha sido reconocida por otros autores en otras partes del

Complejo del "Trías" de Antequera. En la región han aparecido en dos pequeños afloramientos al NW del Cerro del Águila, y en tres afloramientos de dimensiones algo mayores uno de ellos situado al SE del Cortijo de Montero y los otros dos al N del Cerro de Rodahuevos.

- Margas verdes con intercalaciones de turbiditas y microbrechas calcáreas de colores negruzcos y de rocas de aspecto silexítico: las margas verdes están bien representadas en dos puntos. El afloramiento de mayores dimensiones se sitúa al NNW del Cerro del Águila, en las proximidades de la pista que desde Gobantes se dirige a Bobadilla, donde aflora a lo largo de un barranco, claramente pinzado tectónicamente entre brechas de yeso. El otro afloramiento constituye un cerro aislado sobre brechas de yeso existente unos centenares de metros al NE del Cortijo del Acebuche. Las turbiditas calcáreas negras, en este caso no relacionadas claramente con las margas, constituyen el vértice de cota 606 existente al SE del Cortijo del Monte. La edad de estos materiales es desconocida, pero probablemente se trata de materiales del Mioceno inferior o medio de afinidades subbéticas o depositados sobre los materiales subbéticos en el transcurso de su deslizamiento en masa hacia la depresión del Guadalquivir.

III.1.6. TERRENOS POSTOROGÉNICOS

Los materiales objeto del presente apartado se depositaron después de las fases de deformación principales de la orogenia alpina, y reposan en discordancia sobre los terrenos preorogénicos anteriormente descritos. Se pueden agrupar en tres conjuntos de materiales de acuerdo con su edad: los del Mioceno superior, los del Plioceno y los del Cuaternario.

III.1.6.1. EL MIOCENO SUPERIOR

Los materiales de esta edad afloran ampliamente en la región estudiada, en tres áreas principales:

- En la depresión de Antequera-Bobadilla-Campillos constituyen una serie relieves que destacan en el paisaje como los cerros del Castellón, del Cuchillo, Batán, Cueva, Romeroso y los existentes en los alrededores del Guadalhorce en las proximidades del Vado de los Yesos.
- En la región de El Chorro, donde constituyen las cerradas sobre las que se han realizado las presas de los embalses del Conde del Guadalhorce y del Guadalhorce-Guadalteba.

En todos los casos se trata de sedimentos marinos, principalmente calcarenitas bioclásticas con abundantes estructuras sedimentarias, entre las que predominan las megaestratificaciones cruzadas. Su edad Tortonense está bien establecida mediante fósiles. Estas rocas están mayoritariamente formadas por acumulaciones de fragmentos de conchas, algas rojas, briozoos y otros organismos marinos de aguas someras, a los que se asocian, además, fragmentos de rocas procedentes de la erosión de los relieves circundantes, que pueden ser mayoritarios en ciertos niveles. En las proximidades de El Chorro los niveles conglomeráticos –producto de la erosión de los escarpados relieves adyacentes- son especialmente abundantes, y en los cerros existentes al SW de la Estación de Bobadilla se reconocen asimismo intercalaciones conglomeráticas de cantos bien redondeados entre las calcarenitas. En los cerros de cotas 450 y 498 situados al W del Cortijo de Vadolosyesos se reconoce la existencia de intercalaciones margosas entre las calcarenitas.

El espesor de estos materiales es muy variable dependiendo de los puntos, entre otras razones porque rellenan un paleorrelieve que en la región de El Chorro alcanza proporciones espectaculares. Las mayores potencias se observan en esta última región y en

los cerros de cota 450 y 498 situados en la margen derecha del Guadalhorce, donde sobrepasan con seguridad los 500 metros.

Por último, hay que decir que las calcarenitas constituyen un buen acuífero detrítico, debido a su escasa cementación y alta porosidad intergranular, lo que queda demostrado por la abundancia de pozos en el área de Bobadilla, que permiten explotar el agua contenida en estos materiales.

III.1.6.2. EL PLIOCENO

A diferencia de los materiales del Tortonense, cuya datación mediante fósiles está bien establecida, los materiales asignados al Plioceno carecen de fósiles por lo que su datación se basa en su posición estratigráfica y en las características litológicas que presentan. Se trata de conglomerados de cantos bien redondeados y tamaños variables entre grava y bloque, generalmente granosostenidos y con una matriz arcilloso-arenosa más o menos abundante según los puntos. Reposan en franca discordancia sobre las calcarenitas tortonienses del Hacho de Antequera, e incluso llegan a reposar directamente sobre las brechas yesíferas del Subbético, como se reconoce en los alrededores del Cerro del Espartal, al N de Sierra Chimenea. Son sedimentos continentales, probablemente depositados en ambientes de abanico aluvial. Tan sólo se encuentran bien representados al N del Torcal de Antequera. Al W de la Estación de Gobantes, a ambas márgenes del Embalse del Guadalhorce se reconocen unos conglomerados de características comparables, si bien por su disposición aterrazada con respecto al lecho del río Guadalhorce, también podrían ser formaciones cuaternarias relativamente antiguas.

III.1.6.3. EL CUATERNARIO

Las formaciones cuaternarias alcanzan una notable extensión en el área cartografiada. Forman extensos recubrimientos de delgado espesor que, en numeroso puntos, dificultan el reconocimiento de las relaciones estratigráficas y tectónicas entre los materiales más antiguos. Se han diferenciado varios tipos de materiales cuaternarios. La edad precisa de estos materiales se desconoce, dado que no se dispone de dataciones, aunque puede establecerse un ordenamiento relativo de estos materiales de acuerdo con sus relaciones geomorfológicas y grado de alteración y/o erosión. No obstante, la existencia de yacimientos paleolíticos en la región es conocida, por lo que es probable que buena parte de las formaciones cuaternarias más antiguas no se remonten mucho más atrás del Pleistoceno superior. Comentaremos a continuación los diferentes tipos de formaciones cuaternarias reconocidas y señalaremos la ubicación de sus principales afloramientos.

- Formaciones de ladera: aparecen bien desarrolladas al pie de los diversos relieves existentes en el área. Los coluviones y formaciones de piedemonte en general, formados por acumulaciones de gravas y bloques, aparecen muy bien representadas en las laderas septentrionales de las Sierras del Valle de Abdalajís y del Torcal, pudiendo establecerse la existencia de al menos tres generaciones de este tipo de depósitos: los más antiguos son brechas muy cementadas de clastos angulosos; los intermedios son acumulaciones semiconsolidadas de coladas de derrubios y de bloques con matriz terrosa en ciertos niveles, que actualmente se encuentran en proceso de destrucción por erosión; los coluviones más recientes están formados por los canchales actuales. Las coladas de solifluxión y deslizamientos afectan de modo particularmente notable a las laderas ocupadas por materiales arcillosos del Complejo del Campo de Gibraltar. En todas las márgenes del Embalse del Guadalhorce pueden reconocerse numerosos ejemplos.
- Depósitos aluviales: se encuentran bien desarrollados en las inmediaciones de los cauces de los ríos y barrancos, pero sin duda donde alcanzan un desarrollo mayor es en el valle del Guadalhorce, donde pueden diferenciarse al menos dos

generaciones de depósitos aluviales. La más antigua constituye una terraza alta, edafizada en su parte superior, que frecuentemente presenta tonos rosados o rojos. La erosión a lo largo de los cauces permite reconocer el paso lateral desde facies bréchicas o arcilloso-conglomeráticas de tipo abanico aluvial o piedemonte en las proximidades de los relieves formados por las calcarenitas miocenas o los yesos subbéticos, a facies arcilloso-arenoso-conglomeráticas de tipo fluvial. Existe una terraza inferior y más reciente formada por depósitos aluviales de tonalidades más pardas, que son probablemente los depósitos subactuales del Guadalhorce, actualmente en incipiente curso de erosión, a causa –probablemente- de las modificaciones en la vegetación determinadas por factores antrópicos, de modo particular la deforestación y las actividades agrícolas.

- Suelos y paleosuelos: se encuentran bien representados en toda el área por su escaso relieve y por el desarrollo de las actividades agrícolas. Entre los suelos cabe destacar la existencia de paleosuelos rojos de naturaleza arcillosa, que se encuentran bien desarrollados sobre la terraza aluvial más antigua y, sobre todo, en las zonas llanas y extensas existentes sobre los materiales arcilloso-yesíferos del “Trías” de Antequera; en éstas, por cierto, abundan los toponímicos que aluden a la existencia pasada de pequeñas lagunas, aunque hoy día sólo en las proximidades de Campillos tales lagunas existen, al haberse recuperado gracias a las intensas lluvias de los últimos años. Otro tipo de paleosuelos presentes en el área son los carbonatados de tipo caliche, que se han desarrollado especialmente sobre las calcarenitas del Mioceno superior y formaciones de ladera existentes sobre ellas.
- Formaciones lacustres están formadas por depósitos arcillosos que ocupan el fondo y los bordes de las lagunas actualmente existentes en el área de Campillos. Los depósitos lacustres de las zonas endorreicas hoy desecadas se encuentran muy modificados por las actividades agrícolas y el desarrollo de suelos.

III.1.7. LA ESTRUCTURA TECTÓNICA

III.1.7.1. LA ESTRUCTURA INTERNA DEL PENIBÉTICO EN LAS SIERRAS DEL VALLE DE ABDALAJÍS

La estructura de estas sierras está formada por una sucesión de anticlinales y sinclinales en cofre, recortados por algunas fracturas de planos subverticales. Los anticlinales están ocupados por las calizas jurásicas y, como queda claramente ilustrado en la cartografía y los cortes (Fig.), coinciden con la Sierra del Valle de Abdalajís, el Salto de la Zorra, Sierra Llana y el Tajo de Cabritos. Los flancos de los anticlinales están retocados por fracturas subverticales de salto progresivamente mayor hacia el Embalse, donde se sitúan, por otra parte, los bloques hundidos.

III.1.7.2. EL ACCIDENTE DEL LÍMITE MERIODIONAL DEL COMPLEJO DEL "TRÍAS" DE ANTEQUERA

Como ya se ha comentado, ésta es la estructura tectónica más importante de las existentes en la región. A lo largo de todo el área se constata que es un retrocabalgamiento hacia el Sur, que superpone los materiales arcilloso-yesíferos subbéticos sobre el edificio de mantos constituido por el Penibético y el Complejo del Campo de Gibraltar. La inclinación hacia el Norte de este accidente es importante y, en ningún caso, puede considerarse como una superficie horizontal o subhorizontal. El examen de esta superficie sobre el terreno y la evolución en profundidad de la estructura, deducible de los cortes efectuados, pone de manifiesto un buzamiento del mismo no inferior a los 45N con tendencia a su verticalización en profundidad. La presencia de virutas de brechas yesíferas entre los materiales del Complejo del Campo de Gibraltar (como las que se reconocen a lo largo de la carretera a Gobantes), o de éstos últimos en el interior del Complejo del "Trías" de Antequera (como sucede al sur del Cerro de Rodahuevos), la traza sinuosa en cartografía de la superficie de retrocabalgamiento, las variaciones en la dirección del plano y, sobre todo las relaciones tectónicas regionales con los diferentes elementos penibéticos del área

(Torcal, Sierras del Valle de Abdalajís y Sierra de Teba-Peñarrubia), avalan la hipótesis de la rápida verticalización en profundidad del accidente y ponen de manifiesto que le retrocabalgamiento no es más que la expresión local de un accidente tectónico mayor de naturaleza transcurrente dextrosa, cuyo funcionamiento determinó la estructuración alpina del límite entre las regiones penibéticas y las subbéticas. Es, pues, un accidente muy profundo, en relación con el cual existen numerosas anomalías geológicas.

III.1.7.3. EL CABALGAMIENTO FRONTAL DEL COMPLEJO DEL “TRÍAS” DE ANTEQUERA SOBRE EL TORTONIENSE

La existencia de un cabalgamiento de los materiales arcilloso-yesíferos del Complejo del “Trías” de Antequera sobre los materiales marinos del Mioceno superior, se reconoce claramente en el área cartografiada en los alrededores del Cortijo del Castellón. Dicha superposición se efectúa mediante una superficie relativamente tendida, buzante el SE entre 15 y 25 grados en el sector al Sur del Cerro del Castellón. La presencia, al E de esta zona en dirección a Antequera, de dos afloramientos de calcarenitas y arenas tortonienses en dos canteras existentes en el borde septentrional del complejo “triásico”, en los cuales se constata asimismo la existencia de este cabalgamiento, permite estimar que la flecha de la superposición –esto es la magnitud del recubrimiento tectónico del Tortoniense por parte del “Trías” de Antequera- debe ser, como mínimo, de unos dos kilómetros. Más hacia el sur es de esperar que la superficie tienda a enraizarse y a verticalizarse en profundidad, aunque no es posible, con los solos datos de geología de superficie, situar con precisión dónde se produce dicha verticalización.

Al W del Cerro del Castellón las relaciones entre las calcarenitas tortonienses y los materiales arcilloso-yesíferos no se observan en la mayor parte de los puntos, al estar los contactos parcial o totalmente cubiertos por formaciones y los buzamientos de las calcarenitas en el Cerro del Cuchillo permite asegurar que el cabalgamiento se prolonga considerablemente hacia el W, al menos hasta el meridiano del cortijo del Almendrillo,

aunque posiblemente perdiendo algo de salto. En esta última zona, la magnitud mínima de la superposición parece estar en torno al kilómetro, según queda ilustrado en el corte, si bien hay que decir que las relaciones tectónicas no son claramente visibles a causa de los recubrimientos cuaternarios y que sólo es posible extrapolar hipotéticamente el cabalgamiento a partir de lo que se observa en los cortes efectuados más al E.

III.1.7.4. EL ACCIDENTE DEL OESTE DEL GUADALHORCE, ENTRE MELIONES Y CAÑAVERALEJO

Al SW de Bobadilla, entre el Cerro Cueva y el Vado de los Yesos, el río Guadalhorce sufre una brusca torsión hacia el Sur que determina su reorientación según una dirección aproximada N30W. Esta es, curiosamente, la dirección de una línea que se dirige desde la zona de Meliones a la de Cañaveralejo. Y esta es también, precisamente, la dirección que muestran las capas verticales o subverticales de las calcarenitas del Mioceno superior existentes al W del río, en los cerros de cota 450 y 498, en los cuales, además, se reconoce el máximo espesor de las formaciones miocenas del área de Bobadilla-Campillos. La verticalidad de las capas se mantiene hasta las proximidades del Vado de los Yesos, donde se constata que los estratos calcareníticos tortonienses se estrellan contra las formaciones yesíferas de la región de Meliones. Es evidente, pues, que a lo largo de dicha alineación se han producido perturbaciones neotectónicas importantes en la estructura de los materiales tortonienses, parte de las cuales podrían ser simultáneas al depósito, dado que los cortes geológicos efectuados fuerzan a admitir un rápido adelgazamiento de las calcarenitas que, muy posiblemente hay que relacionar en profundidad con fracturas importantes en su sustrato arcilloso-yesífero, fractura que –por otra parte- van a converger, por el sur, con la prolongación occidental en profundidad del cabalgamiento del Cerro del Castellón. En esta zona se produce, precisamente, el estrangulamiento cartográfico del Complejo del “Trías” de Antequera, la nueva reorientación hacia el W del curso del río Guadalhorce y la surgencia de las aguas salinas de Meliones.

III.1.7.5. EL CONTACTO ENTRE EL TORTONIENSE Y EL COMPLEJO DEL "TRÍAS" DE ANTEQUERA ENTRE EL CERRO ROMEROSO Y CAÑAVERALEJO

La suavidad del relieve y la existencia de importantes recubrimientos cuaternarios en el extremo noroccidental del área cartografiada dificulta el reconocimiento de las relaciones estratigráficas y tectónicas entre las formaciones precuaternarias. Puede decirse, no obstante, que en los alrededores de Campillos (Cerro Romeroso), al igual que al SE del Cortijo de Cañaveralejo, las relaciones entre las calcarenitas tortonienses y los materiales yesíferos son estratigráficas y, más concretamente, de discordancia. Sin embargo, a unos 200 m. al NE del Cortijo del Cerero las calcarenitas tortonienses aparecen en posición vertical y orientación próxima a E-W. Este hecho pone de manifiesto la existencia de una zona de perturbaciones neotectónicas de características parecidas a la descrita en el apartado anterior pero situada al WNW de Cañaveralejo, que ha provocado el hundimiento del bloque ocupado por las calcarenitas con respecto a los yesos, posiblemente a favor de una falla normal.

III.1.8. LA UBICACIÓN DE LOS MANANTIALES SALINOS Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA DEL ÁREA

Si se consideran globalmente todos los datos anteriormente expuestos y se relacionan con la ubicación de los manantiales salinos de Meliones y Cañaveralejo, resulta interesante constatar que existen una serie de rasgos comunes en sus relaciones con el entorno geológico, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Ambos surgen del interior de los materiales arcilloso-yesíferos del Complejo caótico del "Trías" de Antequera, por lo que las masas salinas disueltas por las aguas se encuentren solo y exclusivamente incluidas en el interior de estos materiales.

- En ambas zonas existe un karst en yesos muy bien desarrollado, con cavidades endokársticas, que alcanzan un desarrollo particularmente notable en el área de Meliones, donde existe un elevado número de cavidades incluso penetrables.
- Las surgencias se localizan en puntos de particular complejidad estructural en las cercanías de accidentes tectónicos y neotectónicos importantes: hacia la zona de Meliones convergen tres grandes accidentes que provocan, respectivamente, el retrocabalgamiento hacia el SSW del "Trías" de Antequera sobre el Complejo del Campo de Gibraltar, el cabalgamiento hacia el NW del "Trías" sobre las calcarenitas tortonienses y el plegamiento y verticalización de las capas de estas últimas según una dirección N30W; esta última directriz estructural converge, por otra parte, en los alrededores de Cañaveralejo, con otro accidente, sin duda de menor importancia que los tres ya mencionados, de dirección próxima a E-W y que ha condicionado el hundimiento de las calcarenitas tortonienses del Cortijo de Cañaveralejo con respecto a los materiales arcilloso-yesíferos subbéticos.

III.1.9. CARTOGRAFÍA Y ESTRUCTURA

La mayor parte del afloramiento del Trías de Antequera corresponde a una megabrecha de materiales triásicos que tienen un gran desarrollo lateral por toda la Zona Subbética. Esta megabrecha se puede reconocer, por ejemplo, en el Trías de Campillos, de Archidona, en el Trías que queda al SW y W de Benamejí, en Alcalá la Real y por casi todo el borde S de la Depresión del Guadalquivir.

No obstante, por el borde septentrional del sector oriental del afloramiento del Trías estudiado, se han reconocido unos yesos no resedimentados, de facies Keuper, subverticales, que definen pliegues muy apretados o un anticlinorio (cfr. mapa y cortes geológicos).

Por el borde sur de este mismo sector oriental se han reconocido, en materiales detríticos de facies Keuper, pliegues tumbados con vergencia S (Fig.).

Se trata de un afloramiento de materiales triásicos, limitado por fallas inversas, constituido por una serie de pliegues muy apretados, que en su mayor parte está cubierto por una megabrecha miocena, que está formada a su vez por materiales triásicos.

El sector donde se sitúa el manantial de Cañaveralejo, podría interpretarse como un afloramiento de yesos del Keuper en posición vertical que se abre paso entre la Brecha de yeso y la Megabrecha yesífera. La banda de gravimetría negativa que se sitúa desde el cortijo de Montero hasta la zona al NE del Cerro de Valdolosyesos, corresponde a un eje de un anticlinorio de dirección W-E, que supone un gran acúmulo de yesos en profundidad con capas o cuerpos salinos intercalados, muy movilizados, que rellenan fracturas o zonas de menor compresión.

Inmediatamente al S, se sitúa el sector del manantial de Meliones que corresponde a un afloramiento de Megabrecha con matriz yesífera y Brecha de yeso, fracturada por fallas subverticales de dirección N50°E (Lám. y fig.). Se trata de una zona frágil que divide en dos sectores el afloramiento del Trías de Antequera, siendo el sector oriental el bloque relativamente levantado. Por debajo de estos materiales de brechas se interpreta que puedan haber yesos del Keuper con una estructura de pliegues muy apretados y fracturados, delimitados por las fallas de dirección N80°E y, sobre todo, N50°E.

III.1.10. RELACIÓN ESTRUCTURAL ENTRE LOS MATERIALES TRIÁSICOS, EL FLYSCH Y EL PENIBÉTICO

Aunque las unidades triásicas son generalmente independientes de su cobertera, son varios los sectores en los que enraízan claramente en unidades subbéticas, sobre todo bajo el Subbético Medio en el sector central de la Cordillera.

En este sector, el Trías de Antequera contiene grandes bloques del Subbético Medio y en zonas algo más septentrionales afloran las Sierras de Caballos, Humilladero, Mollina, que flotan sobre el Trías. Por esto se interpreta que estos materiales triásicos son afines al Subbético Medio. El Penibético constituye un manto de corrimiento que se desplaza hacia el NW. El frente de este manto se podría situar, en la actualidad, en el accidente de falla inversa regional de vergencia S que separa los materiales triásicos y el Penibético. Este contacto es cubierto por los materiales del Flysch que se superponen al Trías y al Penibético y que es, a su vez, retrocabalgado por el Trías. Al S del Cerro de Rodahuevos y al S del Cerro del Águila afloran materiales triásicos que se abren paso hacia arriba entre el Flysch. Muy probablemente el contacto regional de falla inversa vergente al S se sitúa por el borde sur de estos afloramientos triásicos (Fig.).

En el sector del Embalse de Guadalhorce-Gualdalteba el Penibético está escalonado por fallas subverticales de dirección N75°E que lo hunden hacia el NNW, desapareciendo por debajo del Flysch. El afloramiento más bajo del Penibético aparece en el Cerro del Gato, que puede corresponder a uno de los últimos escalones del Penibético que está basculado ligeramente hacia el ENE. Esta estribación del Penibético se prolonga por debajo del Flysch hasta el contacto regional de falla inversa de vergencia S que delimita el afloramiento triásico.

III. 1.11. MANANTIAL DE MELIONES

El manantial de Meliones se sitúa aproximadamente en la cota 346 m, a unos 500 m al S del Cerro de Valdolosyesos. Surge entre una brecha de cantos y bloques de dolomías, lutitas con matriz yesífera. Esta brecha de yeso está fracturada por fallas y diaclasas subverticales de dirección aproximada N45-50°E (Lám.).

Según el sondeo-1 de Guadalhorce-Gualdalteba, por debajo de los niveles de brechas, donde se sitúa el manantial, aparece un nivel de dolomías de unos 25 m de potencia seguido, más abajo, por una alternancia de capas de sal, con abundantes clastos de

dolomías y anhidrita, y capas de 2 a 4 metros de anhidrita. Existen algunos tramos de 15 m de anhidrita. En general, la serie aparece muy fracturada. Podría tratarse del flanco de un pliegue muy apretado, afectado por la intensa fracturación, y distorsionado por la migración de la sal entre las capas y a través de las fracturas.

El manantial está condicionado por la fracturación subvertical de la zona que facilita la salida del agua a superficie. El acuífero que alimenta este manantial se sitúa en los yesos fracturados del Triás.

III. 1.12. CONSIDERACIONES GENERALES

El Triás que aflora al W de Antequera hasta el SE de Campillos consiste, esencialmente, en materiales yesíferos de facies Keuper resedimentados. No obstante, en algunos puntos afloran yesos de la serie evaporítica superior del Keuper y lutitas y areniscas de la serie evaporítica intermedia del Keuper. Estos afloramientos de Keuper, junto con los datos de geofísica, permiten hacer una interpretación del Triásico que no aflora y que es infrayacente a los materiales resedimentados o megabrechas. Este Triásico tiene una estructura en pliegues apretados de dirección W-E, que en el sector del Embalse del Guadalhorce-Guadalteba (SW-NE), que hacia el NE pueden pasar a tener un régimen de falla inversa vergentes al NW.

En este contexto estructural, la sal se sitúa interestratificada, en zonas de fracturas y en zonas de menor compresión, siempre en relación con la serie evaporítica superior del Keuper. Su distribución está determinada por los esfuerzos compresivos y fracturación de los yesos, que constituyen la unidad superior del Keuper, y no por simples movimientos halocinéticos.

El manantial de Meliones se sitúa en una zona de megabrecha yesífera muy fracturada por fallas subverticales, no obstante, en el subsuelo existe anhidrita con sal, fuertemente plegada y fracturada, de la serie evaporítica superior del Keuper.

Muy probablemente el agua del manantial, antes de salir a superficie ha circulado por el contacto regional subvertical vergente al S, impermeabilizado por el Flysch. Antes o durante esta circulación, a través de este contacto, el agua ha lavado la sal de los niveles de la serie evaporítica superior del Keuper y ha salido a superficie.

El acuífero está situado en yesos/anhidrita fracturados en profundidad, en relación con un sinclinorio que se sitúa al NE del manantial.

La estructura tectónica es muy complicada y, sin lugar a dudas, su incidencia en la hidrogeología del área es muy importante. Cuatro accidentes, tres de ellos particularmente notables, parecen guardar una relación directa con el funcionamiento de los manantiales salinos: el accidente retrocabalgante del límite meridional del Complejo del "Trías" de Antequera; el cabalgamiento frontal de dicho Complejo sobre las formaciones del Tortonense; el accidente del W del Guadalhorce; y, por último, el contacto, probablemente por falla normal, entre el Tortonense y las formaciones yesíferas del Subbético de la región de Cañaveralejo.

La principal estructura del área es el accidente retrocabalgante del límite meridional del Complejo del "Trías" de Antequera, que separa dos zonas de estilo tectónico completamente diferente: al N el Subbético Medio, con una estructura caótica debida a tectónica gravitacional y resedimentación en masa en la cuenca del Guadalquivir; al S un conjunto bien estructurado, formado por el Penibético y el Complejo del Campo de Gibraltar.

Este accidente retrocabalgante es la expresión superficial de un accidente profundo de carácter transcurrente, por lo cual la superficie que determina la superposición de los materiales permeables arcilloso-arenosos del Complejo del Campo de Gibraltar, tiende a verticalizarse rápidamente en profundidad al desplazarse hacia el N.

Por la misma razón es inadmisibile que una parte de las aguas subterráneas provenientes de los acuíferos kársticos penibéticos de la Sierra del Valle de Abdalajís y de Sierra Llana viertan por Meliones: un potente paquete de materiales impermeables del Complejo del

Campo de Gibraltar hace prácticamente imposible la alimentación de los manantiales salinos desde estos relieves, dado que impide en superficie y en profundidad la conexión entre el acuífero carbonatado penibético y el acuífero kárstico desarrollado dentro de los materiales yesíferos subbéticos, en los que tiene su origen el manantial de Meliones.

III.2. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

III.2.1. APORTACIONES SALINAS. PROCEDENCIA Y CUANTIFICACIÓN

Las aportaciones salinas que recibe el embalse de Guadalhorce se generan fundamentalmente en tres fuentes de alimentación: manantiales de Cañaveralejo, las propias aguas del río Guadalhorce a su entrada al embalse y las surgencias del Estrecho de Meliones.

La cuantificación con que cada una de ellas contribuye a la salinidad final del embalse presenta el inconveniente de que no siempre existe la simultaneidad que sería de desear entre las campañas de toma de datos referentes a caudales y concentraciones, además de la escasez de éstos en algunos casos.

III.2.1.1. MANANTIALES DE CAÑAVERALEJO

Los datos de las surgencias de Cañaveralejo, que son varias a lo largo de un tramo del cauce del Arroyo Salinas, son más escasos y menos sistemáticos que los de Meliones. Sin embargo, de entre los datos iniciales conocidos son significativos los referentes, al parecer, al período 1974-76. Según éstos, la concentración de Cl en la estación Gu-4, aguas debajo de la desembocadura del Arroyo Tinajas al cual se incorpora el Arroyo Salinas, es de 452 mg/l. La concentración media del río aguas arriba, para un período más dilatado, es de 80 mg/l, y la concentración de ese ión aguas debajo de Meliones es de 4.342 mg/l. De ello

resulta que, con las debidas reservas, la contribución de Cañaveralejo a la salinidad que recibe el embalse sería de un 8%.

Hacia el año 1984 se construyó un sistema de balsas de evaporación para eliminar las aportaciones salinas de la zona de Cañaveralejo, pero al parecer no se obtuvieron los resultados esperados. Posteriormente se ha construido un pozo de captación y la correspondiente estación de bombeo, así como unos 6 km de tubería que incorporan las salmueras hasta el bombeo de Meliones para desde allí conducir las conjuntamente hasta el mar.

Desde mediados del 94 hasta la actualidad se recogen datos de los cursos Salinas-Tinajas. En el Cuadro se indican los que se refieren al punto de control denominado Montemayor que recoge las aportaciones salinas de las surgencias de Cañaveralejo más las de otro arroyo lateral (A. Degollada) que también drena zonas del Trías con aportaciones de cloruros, aunque de menor entidad que las primeras.

CUADRO

Fecha	Q (l/s)	Concentración ClNa (g/l)	Total ClNa (T/día) aprox.
26-7-94	2,5	86	19
26-8-94	3,7	110	35
30-9-94	2,0	74	13
21-10-94	2,1	55	10
21-11-94	3,0	71	18
19-12-94	2,8	68	17
23-2-95	1,8	61	9,5
28-3-95	1,7	65	9,5
27-4-95	1,4	61	7
26-5-95	0,7	59	3,5
6-7-95	1,2	67	7,1
14-7-95	0,5	66	2,6
14-9-95	0,2	106	1,8
14-11-95	0,8	46	3,1
6-11-96	8,5	23	16,8
10-12-96	10,2	28	24,5
5-2-97	130,0	7	75
7-3-97	48,0	19	78
14-4-97	31,7	22	60
13-5-97	22,0	27	51
1-7-97	31,7	23	61,8

Con estos datos resulta difícil averiguar la contribución de esta fuente en la calidad media del agua embalsada dado que no se dispone, en la mayoría de las fechas, de datos correlativos de aportación salina total al embalse en estado natural.

Como aproximación, se podría suponer que de no existir el bombeo de Meliones y si en el período 94-95 la aportación salina al embalse se mantuviese en las 250 T/día de media como en la década 84-91, la contribución de Cañaveralejo y áreas aledañas oscilaría en general entre el 1 y 7%.

Algo más precisos son los datos de aportación al embalse en el año 96, con base en los cuales Cañaveralejo aportaría del 1 al 3%.

En los primeros meses del 97, coincidiendo con las mayores aportaciones salinas conocidas de Cañaveralejo, las entradas de ClNa al embalse eran superiores a las 3.000 T/día, por lo que la contribución de las surgencias que nos ocupan sería del orden del 2%.

En definitiva, la evaluación de los aportes salinos de Cañaveralejo en cuanto al porcentaje con que contribuye en la salinidad del embalse presenta incertidumbres para determinarlo con cierta exactitud, si bien las estimaciones más pesimistas parecen indicar que aquellos podrían acercarse al 10%, lo que justifica las labores de la CHSE para intentar su eliminación.

III.2.1.2. RÍO GUADALHORCE EN LA COLA DEL EMBALSE

Otra fuente de contribución salina al embalse es, como se ha dicho, la que puede proporcionar el propio río antes de su entrada al mismo, toda vez que aguas arriba del embalse existen importantes extensiones de su cuenca que se asientan en afloramientos de facies evaporíticas del Triás y, por tanto, susceptibles de generar en las aguas unas características hidroquímicas semejantes a las de Meliones-Cañaveralejo.

En 1973 se construyó la nueva estación de aforos E-91 en Bobadilla aguas arriba del vaso, en la cual se tomaban también datos hidroquímicos mensuales.

Con datos de dicha estación correspondientes al período 1973-1985 (Carrasco, F.-Benavente, J. 1986 y SGOP, 1991) obtienen una media ponderada para la concentración de Cl^- de 79 mg/l y una aportación de ClNa de 7.000 T/año. Comparando este valor en ión cloruro con el obtenido para la concentración media en el embalse (CEH, 1975: hipótesis para el caudal medio del día de la muestra) en el período 1961-69 que es de 727 mg/l de Cl^- , resulta una diferencia entre las concentraciones de 648 mg/l que sería la aportada por Meliones-Cañaveralejo. Aplicando esta concentración al volumen medio aportado por el río en el período 1945-76 se obtiene una media de 94.000 T/año de ClNa . Haciendo esta valoración para las aportaciones del río en el período 1974-86, la media de ClNa es de 70.000 T/año aportadas al embalse. Estos estudios llegan, pues, a la conclusión de que el río en Bobadilla transporta del orden del 10% del total de ClNa que llegaría al embalse.

Estas valoraciones presentan el problema de que parten de la hipótesis de concentración media ponderada de 727 mg/l de Cl^- para el período 1961-69, que se consideran por defecto, como ha demostrado la evolución posterior de Meliones. Por tanto, se estima que la contribución del río debe ser inferior a ese 10%.

El problema se podría redefinir teniendo en cuenta los datos de análisis existentes en el invierno 96-97 tomados en el viaducto del FC situado aguas arriba de la desembocadura del Arroyo Tinajas, todavía dentro del embalse, con el inconveniente de que se trata de una época excepcionalmente lluviosa y que es muy corta la serie de datos. Éstos son:

CUADRO

Fecha	ClNa (mg/l)	Q aprox. (l/s)	Total ClNa (T/día)
6-11-96	246	1.500	32
10-12-96	163	2.000	28
7-3-97	257	-	-
14-4-97	328	-	-
13-5-97	326	-	-

En los meses de noviembre y diciembre 96 el ingreso de ClNa al embalse es del orden de 7.500 y 55.000 T respectivamente, es decir una media de 250 y 1.770 T/día. Por tanto el aporte del río en cola sería de un 13 y 1,6% respecto al total de entradas al embalse, con una media para ambos meses del 3%. Evidentemente esta estimación adolece de la imprecisión que significa el asimilar el día de la muestra a la media del mes de las aportaciones salinas.

Se dispone también de las aportaciones mensuales en el embalse para los meses de marzo y abril 97 que son de 9,6 y 5,9 Hm³ respectivamente, así como las entradas de sal que eran, al menos hasta el 18 de marzo, de 3.343 T/día. Por tanto, para estos dos meses la contribución del río era del orden del 2,5% para marzo y de 2% para abril. Estos valores son seguramente por exceso ya que hemos supuesto que el volumen circulante por Bobadilla era el mismo que el que entraba al embalse cuando evidentemente debe ser significativamente menor. En cualquier caso parece confirmarse que la estimación del 10% (SGOP-Carrasco) está notablemente sobrevalorada.

III.2.1.3. SURGENCIAS DE MELIONES

Para conocer la importancia de las surgencias de Meliones en valores absolutos se ha considerado el período 1981-1992, es decir desde el inicio de la toma de datos de la salinidad total en el embalse hasta que se comienza el bombeo de las surgencias, para así prescindir de las perturbaciones que en el régimen natural pudiese producir dicho bombeo (cuadro).

Si se realiza el mismo cálculo para el período 1993-96 considerando que la sal extraída por el bombeo hubiese entrado al embalse (cuadro), el resultado es semejante, es decir unos 2,5 gr/l de media.

A pesar de la manifiesta irregularidad anual existente, puede concluirse que las surgencias de Meliones proporcionan como mínimo unos 2 gr/l de ClNa a la concentración media

final de las aguas embalsadas, pues la serie considerada de 16 años ya tiene un valor bastante significativo. Por lo cual, y aún teniendo en cuenta que el problema es paliado parcialmente por el sistema de explotación y por desagües periódicos por los conductos de fondo al existir una notable estratificación salina, resulta fundamental para el aprovechamiento del embalse la eliminación de las salmueras que afluyen a Meliones en su mayor grado posible.

CUADRO

Año natural	CINa aportado al embalse (Tn)	Aportación anual (Hm ³)	Concentración CINa (gr/l)
1981	87.000	9,9	8,78
1982	86.000	53,0	1,68
1983	63.000	19,2	3,28
1984	80.000	38,7	2,06
1985	29.000	20,8	1,39
1986	38.000	39,2	0,97
1987	69.000	53,9	1,28
1988	134.000	50,4	2,65
1989	130.000	123,4	1,05
1990	260.000	85,5	3,04
1991	230.000	51,4	4,47
1992	249.000	17,9	13,91
	1.455.000	563,3	

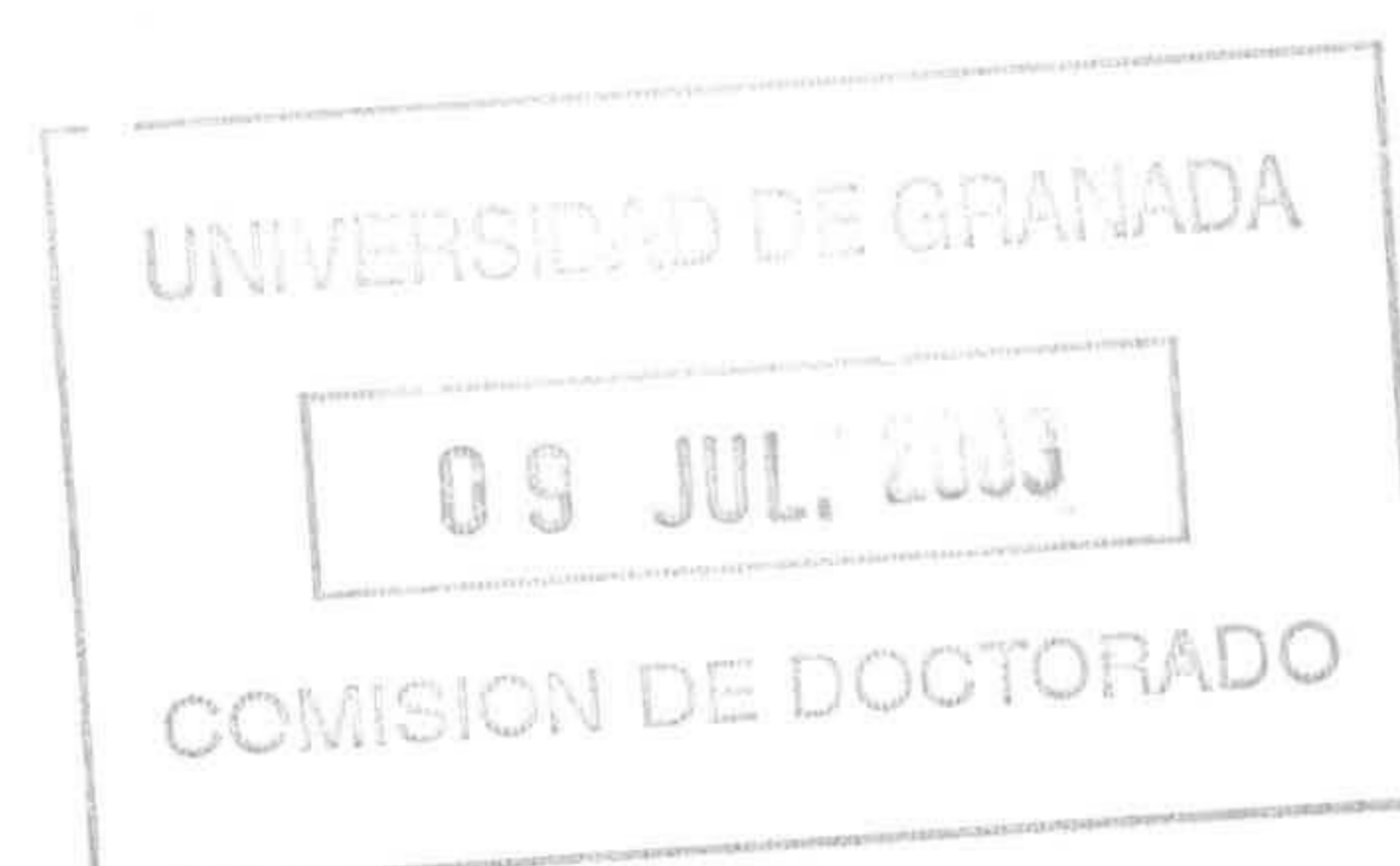
Media ponderada \cong 2,5 g/l

CUADRO

Año natural	ClNa (Tn)			Aportación anual (Hm ³)	Concentración ClNa (gr/l)
	Aportado al embalse	Bombeado	Total		
1993	25.000	80.000	105.000	14,2	7,39
1994	20.000	81.000	101.000	17,6	5,74
1995	22.000	33.000	55.000	8,7	6,32
1996	236.000	91.000	327.000	192,5	1,70

Una de las incógnitas principales son los caudales de Meliones en las épocas de fuerte recarga, que al coincidir con las subidas del nivel de embalse ocultan las surgencias. Se han realizado unas estimaciones, con base en los datos disponibles, de las aportaciones medias de las surgencias, cuyo resumen se refleja en el Cuadro . Los valores hasta el año 1992 deben tomarse con las debidas reservas al no disponerse entonces de medidas continuas de concentraciones de las salmueras surgentes. Como se aprecia, los caudales medios anuales son moderados, pero en los cálculos mensuales se han obtenido valores máximos en los inviernos del 96 y 97 que oscilan entre 163 y 338 l/s como media mensual. Evidentemente, en esos períodos húmedos el dispositivo de bombeo sólo es capaz de eliminar una fracción relativamente pequeña de dichos caudales.

Finalmente se expone una visión esquemática y general del funcionamiento de estas fuentes. El Estrecho de Meliones resulta de la intersección del río con los afloramientos del Triásico que alcanza una gran extensión en la región de Antequera. Los materiales dominantes son yesos, arcillas y, a cotas inferiores a las del río, halita. Estos materiales se hallan muy desorganizados por efecto de su compleja estructura y la plasticidad de los mismos.



CUADRO

APORTACIÓN ESTIMADA DE LAS SURGENCIAS DE MELIONES

AÑO NATURAL	ENTRADA SALINA EMBALSE (Tn/año)	ESTIMADO MELIONES (85%) (Tn/año)	CONCENTRACIÓN MEDIA (gr/l)	APORTACIÓN ESTIMADA FUENTE (m ³)	CAUDALES MEDIOS ANUALES (l/s)
1981	87.000	73.950	150	493.000	15,6
1982	86.000	73.100	150	487.333	15,5
1983	63.000	53.550	150	357.000	11,3
1984	80.000	68.000	150	453.333	14,4
1985	29.000	24.650	150	164.333	5,2
1986	38.000	32.300	150	215.333	6,8
1987	69.000	58.650	150	391.000	12,4
1988	134.000	113.900	150	1759.333	24,1
1989	130.000	110.500	150	736.667	23,4
1990	260.000	221.000	150	1.473.333	46,7
1991	230.000	195.500	150	1.303.333	41,3
1992	249.000	211.650	150	1.411.000	44,7
1993	105.000	89.250	188	474.734	15,1
1994	101.000	85.850	161	533.230	16,9
1995	55.000	46.750	128	365.234	11,6
1996	327.000	277.950	141	1.971.277	62,5
MEDIO	127.688	108.534	151	724.342	23

En la margen izquierda del río, en lo que se considera la cuenca hidrogeológica de Meliones, con una superficie del orden de los Km^2 , los materiales solubles presentan una red kárstica puesta de manifiesto por un aparato externo de numerosas dolinas y otros conductos de admisión, así como por conductos internos reconocidos algunos en exploraciones directas por ser visitables y otros atravesados por sondeos de reconocimiento. En este aparato kárstico se desarrolla un acuífero con elevada capacidad transmisiva y que desagua por las surgencias de Meliones. La permeabilidad primaria de los materiales es muy baja y la alimentación del acuífero se realiza fundamentalmente a

través de los numerosos conductos exokársticos de admisión, de los que se ha inventariado más de un centenar, que en muchos casos se sitúan en ejes de cauces ejerciendo de colectores del drenaje superficial.

El acuífero se halla en carga y la circulación se realiza a través de ese aparato kárstico interno. Se considera que la circulación es preferente a lo largo de planos de fracturas importantes, algunas de las cuales, con sus conductos asociados, servirán también de vehículo para el ascenso de las salmueras hasta las surgencias, ya que en la mayoría de los sondeos se define una interfase agua dulce-salmuera a cotas bastante inferiores a la de esas surgencias. Esa interfase define además un cambio en cuanto a la permeabilidad del macizo al ser ésta mucho más baja en la parte superior con exiguos caudales de agua dulce en general.

La generación del ClNa que en alta concentración contienen las aguas que surgen en Meliones parece estar clara: las aguas que masivamente se infiltran por las dolinas y demás cavidades superficiales disuelven, en profundidad, a lo largo del sistema kárstico, la sal que se encuentra tanto en paquetes masivos decamétricos como interestratificada entre los yesos, pero en ambos casos de forma discontinua, como han mostrado los sondeos mecánicos realizados en el área del acuífero.

III.4. HIDROQUÍMICA

III.4.1. PARÁMETROS QUÍMICOS

III.4.1.1. INTRODUCCIÓN

Las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas en los acuíferos kársticos, están determinadas por las litologías del macizo rocoso atravesado. Por las condiciones

fisicoquímicas de ese acuífero, por su tiempo de permanencia y por las condiciones de circulación.

En una primera etapa se ha inventariado y muestreado hacia el N y E de los embalses del Guadalhorce, haciendo especial énfasis en el afloramiento del Trías al E del manantial de Meliones.

Se han muestreado 43 puntos de agua, correspondientes fundamentalmente a la estación de bombeo de Meliones y a los sondeos realizados por la C.H.S.E. (sondeos M) y anteriores del S.G.O.P. (sondeos S) próximos al manantial. Treinta del total de los 43 puntos se han muestreado una única vez, mientras que en 11 captaciones se muestrearon dos niveles a diferentes profundidades, y en otros 2 puntos se tomaron tres muestras estratificadas. Esto hace un total de 58 análisis químicos en esta primera fase.

Se han calculado los errores por balance iónico, que aparecen en el cuadro . Los valores medios se encuentran en aproximadamente un 10 %. Un 14 % del total de muestras superan el 20 % de error de análisis (máximo admisible), y en general, corresponden a las muestras más salinas. Es probable que errores de dilución acumulados sean el origen de estos elevados valores.

En la figura nº se ha representado en un diagrama bidimensional la relación entre la conductividad de campo y la de laboratorio. Se aprecia una buena correlación. En general, la conductividad registrada en campo es superior a la de laboratorio. Este hecho se aprecia más cuanto mayor sea el grado de mineralización total. Existe una cierta tendencia a que, desde el momento de la toma de muestras, se produzca la precipitación de sales hasta su análisis en laboratorio. Muchas aguas se encuentran muy sobresaturadas en algunas sales, de forma que al variar su presión y temperatura originales, precipitan.

En la figura nº se representa la relación entre el pH medido en campo y el de laboratorio. Las diferencias son muy considerables, ya que las condiciones naturales de las aguas subterráneas son muy diferentes de las que existen en superficie. Se pueden producir

fenómenos de precipitación de sales, oxidación de metales que ocasionan la rápida variación del pH de la solución.

A partir de la información analítica se han confeccionado tres planos de caracterización hidroquímica con diagramas de Stiff, a diferentes escalas. El primero de ellos n° , corresponde al área general, que incluye la localidad de Campillos. En el n° se detalla la zona de afloramiento del Trías de Antequera, al este del manantial de Meliones, mientras que en el n° se aprecia con mayor detalle aún el área en las inmediaciones de la surgencia.

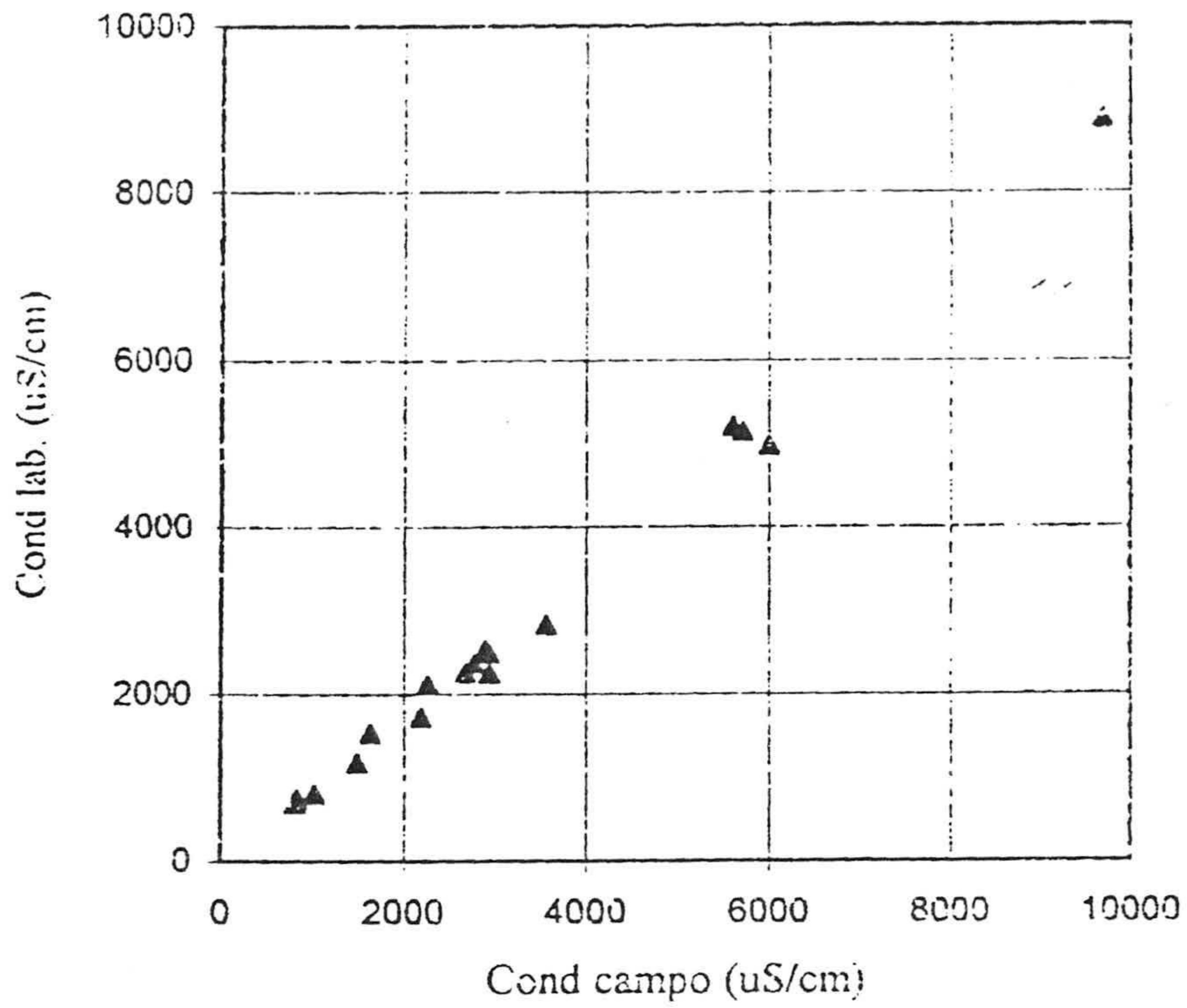
Las características geoquímicas más importantes de las aguas subterráneas de la zona, se realizan en:

- el área al oeste de Campillos
- la zona de Cañaveralejo, al este de esta surgencia
- la zona de Meliones (afloramiento del Trías, al este del embalse)
- la zona del Trías de Antequera en Meliones
- la zona del Trías de Antequera en Meliones. Sondeos M (CHSE)
- la zona de inmediaciones del manantial de Meliones. Sondeos S (SGOP)
- la zona del Trías de Antequera en Meliones. Sondeos M y S
- testificación geofísica de la conductividad y concentración de ClNa. Sondeos S (SGOP)

Nº punto	error balance iónico %	Nº muestra	error balance iónico %	Nº punto sondeo	error balance iónico %
1	3,22				
5	3,36	s-9'	7,00	48 m-1	0,13
7	1,87	s-9'	20,82	49 m-2	3,47
8	2,94	s-8'	11,90	49 m-2	2,84
9	5,35	s-8'	26,59	50 m-3	23,49
10	5,88	s-7'	14,53	50 m-3	0,02
12	2,85	s-7'	30,91	50 m-3	1,16
13	4,37	s-6'	7,47	51 m-4	5,91
14	4,01	s-6'	15,06	52 m-5	36,66
17	8,90	s-5'	12,84	52 m-5	31,90
24	5,07	s-4'	4,47	53 m-6	33,55
25	3,55	s-4'	4,57	55 m-8	27,07
27	5,95	s-4'	1,15	55 m-8	6,28
28	5,20	s-3'	4,99	56 m-9	5,71
29	0,35	s-3'	5,93		
30	5,38	s-3'-R	11,37		
31	8,51	s-3'-R	3,73		
33	4,20	s-2'	14,14		
35	6,56	s-2'	7,69		
38	2,66	s-1'	0,11		
42	1,93	s-1'	9,85		
43	4,29	93-bombeo	2,82		
44	6,85				
45	2,99				
máx	8,90	máx	30,91	máx	36,66
min	0,35	mín	0,11	mín	0,02
media	4,65	media	10,38	media	15,01

Cuadro
Cálculo de errores por balance iónico para el total
de muestras analizadas.

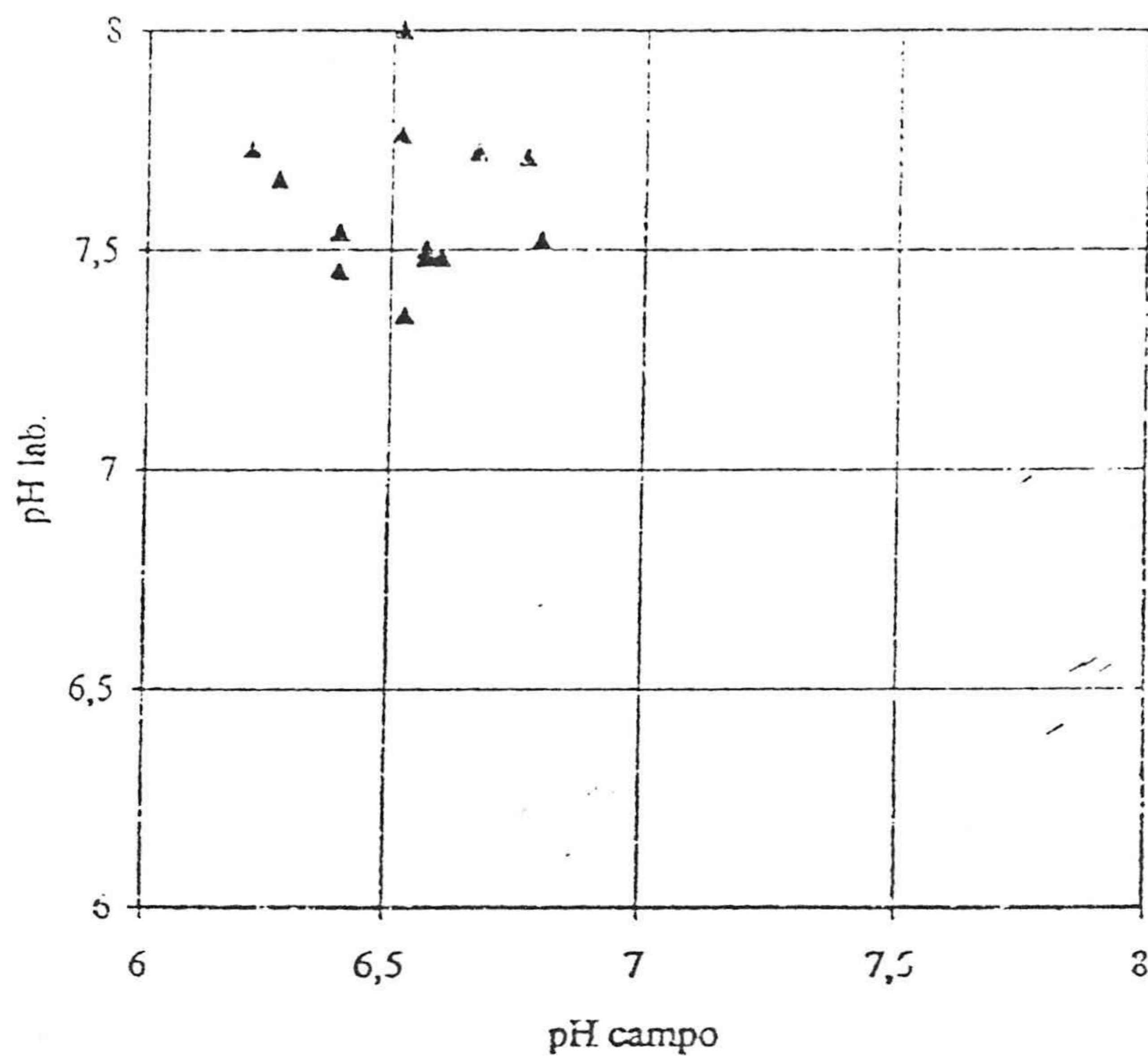
Relación Conductividad campo-laboratorio



Figura

Representación de la relación entre las conductividades de campo y laboratorio.

Relación pH campo-laboratorio



Figura

Representación de la relación entre el pH de campo y el de laboratorio.

III.4.1.2. ÁREA AL OESTE DE CAMPILLOS

En este sector se tomaron 10 muestras en total, que corresponden a los puntos de agua: 1, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 y 17 (plano). Los análisis químicos correspondientes se tabulan en el cuadro .

Las conductividades oscilan entre 800 y 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una medida de 2.650 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las aguas varían de tipos dulces a salobres, y buena parte de ellas deben presentar cierto sabor para utilizarse como abastecimiento humano. El pH medido en campo se encuentra en un estrecho margen de variación, de 6.2 a 6.8, con media de 6.5, valores con ligera tendencia a la acidez.

Como ya se aprecia por la forma y color de los diagramas de Stiff del plano de caracterización hidroquímica nº , hay muchas facies mixtas, que indican diversas influencias que actúan de forma simultánea, sin que exista un claro proceso de diferenciación posterior. Dominan los tipos clorurado-sulfatado sódico-cálcicos, con ocasionales contenidos importantes de magnesio. Las concentraciones de magnesio en disolución oscilan entre 24 y 330 mg/l, con una media de 123 mg/l, lo que indica un nivel local “de fondo” relativamente elevado.

Estas aguas, por su elevada mineralización y el carácter iónico que presentan, se relacionan claramente con materiales litológicos muy solubles, yesos y sales, abundantes en el área.

Las concentraciones de nitratos son elevadas, oscilan entre 14 y 181 mg/l, con una media de 78 mg/l. Hay que recordar que la concentración máxima permisible para consumo humano se sitúa en 50 mg/l (Reglamentación Técnico-Sanitaria de Real Decreto 1.138/1990). Así también se registraron máximos esporádicos muy elevados de nitritos (3.2 mg/l) y amonio (0.17 mg/l). Para estos constituyentes, los niveles máximos admisibles son de 0.1 y 0.5 respectivamente según la misma legislación, El hecho de que se presenten estos elevados valores de especies nitrogenadas en el área de estudio indica la existencia de procesos de contaminación de cierta relevancia (abonos agrícolas, fosas sépticas, vertederos, etc.).

Punto	N° ITGE	Cond. cam. uS/cm	pH cam.	TDS mg/l	Cond. lab. uS/cm	pH lab.	Cl- mg/l	SO4= mg/l	HCO3- mg/l	CO3= mg/l	NO3- mg/l	Na+ mg/l	Mg++ mg/l	Ca++ mg/l	K+ mg/l	NO2- mg/l	NH4+ mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	P2O5 mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l
1	1542-7-0001	802	6,77	575,4	688	7,71	99,3	21,7	263,6	0	42	60,1	29,7	56,9	2,1	0	0	30,89	0,1	4,46	0	0
5	1542-7-0005	3570	6,28	3148	2820	7,66	320,5	1498,8	375,9	0	43,1	253,8	233,5	416,8	5,6	0	0,01	16,27	0,21	2,32	0	0
7	1542-8-0002	2940	6,6	1965,4	2480	7,48	433,2	644	283,1	0	40,2	247,2	112,1	204,4	1,1	0,06	0	14,04	0,3	0,45	0	0
8	1542-8-0003	2900	6,53	1873,9	2480	7,35	366,6	542,3	246,5	0	170,8	227,1	109,9	204,8	2,7	3,2	0	34,34	0,31	6,89	0	0
9	1542-8-0004	2680	6,57	1904,6	2250	7,5	241,1	624	344,1	0	166,5	147	127	252,5	2,3	0,13	0,17	20,24	0,25	1,57	0	0
10	1542-8-0005	1008	6,67	793,5	808	7,72	181,5	31,5	317,3	0	43	113,6	24,3	80,2	1,5	0,72	0	30,31	0,07	3,72	0	0
12	1542-8-0007	1492	6,52	1160,6	1176	7,76	151,7	211,3	414,9	0	53,1	120,2	67,1	96,2	46	0,04	0	55,29	0,17	3,63	0	0
13	1542-8-0008	2180	6,52	1566,4	1719	8	306,3	459,2	317,3	0	23,5	207,1	97,3	153,1	2,7	0	0	23,57	0,15	3,54	0	0
14	1542-8-0009	6000	6,22	5029,4	4967	7,73	1205,3	1932	341	0	13,9	668	330,8	529,1	8,7	0	0,03	14,17	0,28	1,61	0	0
17	1542-8-0012	2950		2015	2240	7,37	469,4	382,1	353,9	0	181,2	300,6	99,7	224,4	3,7	0,03	0	18,2	0,34	2,83	0	0
	max	6000	6,77	5029,4	4967	8	1205,3	1932	414,9	0	181,2	668	330,8	529,1	46	3,2	0,17	55,29	0,34	6,89	0	0
	min	802	6,22	575,4	688	7,35	99,3	21,7	246,5	0	13,9	60,1	24,3	56,9	1,1	0	0	14,04	0,07	0,45	0	0
	media	2652,2	6,52	2003,22	2162,8	7,628	377,49	634,69	325,76	0	77,73	234,47	123,14	221,84	7,64	0,418	0,021	25,732	0,218	3,102	0	0

Cuadro

Resultados analíticos para las muestras del área al oeste de Campillos

Los niveles de fósforo (como P_2O_5) y boro en agua se mantienen dentro de los límites comunes, con valores medios de 3 y 0.22 mg/l respectivamente.

Las concentraciones de sílice en disolución se encuentran en el rango entre 14 y 55 mg/l, con media de 26 mg/l. Estos valores son relativamente altos e indican la relación de este agua con materiales detríticos silicatados de tipo arcilloso, que regularían la cantidad de sílice total en disolución.

No se encontró en ninguna de estas muestras ni hierro ni manganeso en solución. Esto es lógico si se considera el predominio de las condiciones oxidantes en esta área.

III.4.1.3. ÁREA DE CAÑAVERALEJO (ESTE DE CAMPILLOS)

Al Este de Campillos se localizan ocho muestras cercanas a la zona de Cañaveralejo. Son las denominadas con los números 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31 y 33. Más al este, se tomó también otra muestra en el arroyo de Saladilla, que corresponde al n° 38. Los resultados analíticos de estos nueve puntos se resumen en el cuadro n° .

En este área, las conductividades registradas varían entre 818 y 63.400 $\mu S/cm$. De aguas dulces a salobres y claramente salinas, con media de 12.700 $\mu S/cm$, valores superiores a los comentados en el apartado anterior. En cambio, el rango de pH es similar, entre 6.4 y 6.8 con media de 6.5.

En el plano de caracterización química n° se aprecia la enorme variación de valores por las escalas que han sido necesarias para representar las calidades encontradas. Aquí se aprecia claramente que los términos menos mineralizados, n° 29 y 31, aún presentan un ligero carácter bicarbonatado cálcico, si bien el porcentaje de cloruro y sodio es significativo. Al aumentar la conductividad total, se distingue una cierta gradación desde términos sulfatados-clorurados (33, 27) y clorurado-sulfatados (24, 28, 38) hasta netamente clorurados (sondeo n° 25, que presenta la mayor salinidad del área, 63.400 $\mu S/cm$).

Punto	Nº ITGE	Cond. cam. uS/cm	pH cam.	TDS mg/l	Cond. lab. uS/cm	pH lab.	Cl- mg/l	SO4= mg/l	HCO3- mg/l	CO3= mg/l	NO3- mg/l	Na+ mg/l	Mg++ mg/l	Ca++ mg/l	K+ mg/l	NO2- mg/l	NH4+ mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	P2O5 mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l
24	1642-5-0001	9690	6,4	6699,4	8880	7,45	2353,9	1763	258,7		40,3	1336	252,9	681,4	12,6	0,6	0	5,52	0,23	1,08	0	0
25	1642-5-0002	63400		49761,3	59300	7,24	27615,6	3347	305,1	0	1,2	16700	252,9	1483	56,4	0,17	2,56	5,26	0,73	0,31	0,85	0,45
27	1642-5-0004	5700		4373,7	5140	7,44	1106	1558	245,3	0	58,3	534,4	182,4	681,4	7,9	0,05	0	6,68	0,11	1,32	0	0
28	1642-5-0005	5600	6,4	4255,4	5200	7,54	680,6	1142	355,1	0	565,4	207,1	165,4	368,7	771,1	0	0	54,54	0,4	7,36	0	0
29	1642-5-0006	1630		1103,2	1527	7,64	358,8	37,5	351,5	0	19,3	180,4	40,4	112,2	3,2	0	0	10,73	0,06	1,97	0	0
30	1642-5-0007	2260	6,57	1459,4	2110	7,48	557,3	119,6	334,4	0	10,4	253,8	76,6	99,4	7,9	0	0	11,63	0,14	2,54	0	0
31	1642-6-0001	818	6,8	601,1	746	7,52	128,3	25,6	255,1	0	33	64,8	19,5	72,9	2	0,02	0	19,75	0,09	1,31	0	0
33	1642-6-0003			3553,3	3860	7,12	447,4	1632	302,7	0	96,4	354	122,6	593,2	5	0	0	13,63	0,19	1,45	0	0
38	1642-8-0001			7754,3	8760	7,58	2942,4	1860	234,3	0	9,7	1803,6	165,4	733,5	5,5	0	0	9,51	0,06	1,54	0	0
	max	63400	6,8	49761,3	59300	7,64	27615,6	3347	355,1	0	565,4	16700	252,9	1483	771,1	0,6	2,56	54,54	0,73	7,36	0,85	0,45
	min	818	6,4	601,1	746	7,12	128,3	25,6	234,3	0	1,2	64,8	19,5	72,9	2	0	0	5,26	0,06	0,31	0	0
	media	12728	6,5	8840	10614	7	4021	1276	294	0	93	2382	142	536	97	0,09	0,28	15,3	0,22	2,10	0,09	0,05

Cuadro
Resultados analíticos para las muestras del área de Cañaveralejo (Este de Campillos)

En esta evolución se superponen varios factores: por una parte, la abundancia de yesos y cloruros en la litología, y por otra las diferencias de solubilidad entre ellos.

En cuanto al carácter catiónico, el dominio es de los tipos cálcico y sódico, si bien el contenido en magnesio es relativamente importante (valor medio en torno a 142 mg/l).

También aquí hay que comentar las concentraciones elevadas de especies nitrogenadas. Se registró un valor excepcionalmente alto de nitratos en el punto nº 28, con 565 mg/l. La media de valores de NO_3 se sitúa en 93 mg/l. Los nitritos alcanzaron un máximo de 0.6 mg/l y el amonio de 2.56 mg/l.

En el sondeo nº 25, ya mencionado por su elevadísima salinidad, el contenido de nitratos no es muy alto, pero si se detectaron cantidades apreciables de nitritos, amonio, boro, hierro y manganeso. Como se verá más adelante, son características que también se encontraron en las inmediaciones de Meliones, y que indican la existencia de ambiente reductor en las aguas profundas.

Los niveles de fósforo (como P_2O_5) y boro en agua son muy similares a los de la zona al oeste de Campillos, y se mantienen dentro de los límites comunes, con valores medios de 2.5 y 0.22 mg/l respectivamente.

Las concentraciones de sílice en disolución se encuentran en el intervalo entre 5 y 54 mg/l, con una media de 15 mg/l. En este caso, también una gran parte de las muestras deben estar influidas por la presencia de sedimentos aluminio-silicatados de tipo arcilloso.

Excepto en el caso comentado del punto nº 25, no se detectaron hierro ni manganeso en disolución, las condiciones oxidantes del medio deben prevalecer.

III.4.1.4. ÁREA DE AFLORAMIENTO DE TRÍAS DE ANTEQUERA EN MELIONES

Este es el área de mayor interés en este estudio, por lo que se ha muestreado con especial detalle, incluso tomando muestras a diferentes niveles.

Se muestrearon un total de 24 puntos de agua, si bien se dispone de un total de 39 análisis químicos, ya que, se realizaron muestreos estratificados. Por la variación de escala y de características químicas, se realizará la descripción hidroquímica por subzonas.

III.4.1.4.a ZONA PERIFÉRICA DEL AFLORAMIENTO DEL TRÍAS DE ANTEQUERA EN MELIONES.

Cinco de los puntos de agua, denominados 35, 42, 43, 44 y 45 se encuentran en la zona más periférica del afloramiento del Trías de Antequera en Meliones, corresponden a las zonas de Lagunillas y fuente de la Perrera, y quedan incluidos en la representación del plano . En el cuadro nº se presentan los resultados analíticos para estas muestras.

Son aguas de características mayoritarias muy homogéneas: conductividades muy cercanas al valor medio de unos 2.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y carácter sulfatado cálcico. Esto se aprecia fácilmente en el plano , por la forma y tamaño de los diagramas de Stiff. En estas zonas marginales se deben drenar formaciones con predominio total de yesos.

Los contenidos en magnesio son relativamente altos, pero dentro de lo ya comentado para áreas cercanas, con medias de 144 mg/l.

Los nitratos se mantienen siempre en los valores de potabilidad, con una media de 28 mg/l. No obstante, hay problemas puntuales en especial con los nitritos, que llegan a alcanzar un máximo de 2.2 mg/l. El amonio presenta un máximo de 0.13 mg/l.

Punto	Nº ITGE	Cond. cam. uS/cm	pH cam.	TDS mg/l	Cond. lab. uS/cm	pH lab.	Cl- mg/l	SO4= mg/l	HCO3- mg/l	CO3= mg/l	NO3- mg/l	Na+ mg/l	Mg++ mg/l	Ca++ mg/l	K+ mg/l	NO2- mg/l	NH4+ mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	P2O5 mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l
35	1642-6-0005			2424,9	2360	7,86	109,9	1396	219,7	0	18	60,1	146,6	472,9	1,6	0	0	13,33	0,05	1,31	0	0
42	1643-3-0001			2542,5	2400	7,73	78	1408	328,3	0	33,9	57,4	121,8	510,6	2,2	2,2	0,13	17,02	0,06	1,51	0	0
43	1643-3-0002	2900		2687,6	2530	7,81	87,2	1480	334,4	0	33,9	47,4	150,1	503	51,6	0	0	15,65	0,06	2,22	0	0
44	1643-3-0003			2572,2	2290	7,91	43,2	1532	296,6	0	11,1	18	197,5	471,7	2	0,02	0,07	12,13	0,09	1,64	0	0
45	1643-3-0006	2778		2634,7	2360	7,91	77,3	1532	279,5	0	43,9	56,8	105,3	539,1	0,9	0	0	20,63	0,05	3,32	0	0
	max	2900		2687,6	2530	7,91	109,9	1532	334,4	0	43,9	60,1	197,5	539,1	51,6	2,2	0,13	20,63	0,09	3,32	0	0
	min	2778		2424,9	2290	7,73	43,2	1396	219,7	0	11,1	18	105,3	471,7	0,9	0	0	12,13	0,05	1,31	0	0
	media	2839		2572,38	2388	7,84	79,12	1469,6	291,7	0	28,16	47,94	144,26	499,46	11,66	0,444	0,04	15,752	0,062	2	0	0

Cuadro

Resultados analíticos de las muestras del área periférica del afloramientos del Trías de Antequera en Meliones

La concentración media de sílice se sitúa en unos 16 mg/l, similar a la comentada para el área de Cañaveralejo, aunque con un intervalo de variación menor, entre 12 y 20 mg/l.

Tampoco difieren mucho los valores de fósforo (como P_2O_5) de los comentados en el área anterior, con una media de 2 mg/l. En cuanto al boro, el contenido es algo menor y se sitúa en 0.06 mg/l.

En ninguna de las muestras se apreció hierro ni manganeso en disolución.

III.4.1.4.b ZONA DEL AFLORAMIENTO DEL TRÍAS DE ANTEQUERA EN MELIONES. SONDEOS DE LA SERIE M “MELIONES” (C.H.S.E.)

Otras ocho captaciones muestreadas corresponden a los sondeos “Meliones”: M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, M-8 y M-9, perforados por C.H.S.E., que se representan a escala más detallada en el plano . En este plano se incluye también la referencia del punto 93, bombeo del manantial de Meliones, que asimismo se representa en el plano . En el cuadro nº se incluyen los resultados de los análisis químicos de las 14 muestras recogidas (incluida la del punto 93 de bombeo de Meliones).

Existe una importante variación de conductividades, desde 2.400 a 1.145.500 $\mu S/cm$. El máximo lo presenta el punto nº 93 de bombeo de Meliones, que se trata de una salmuera concentradísima de tipo clorurado sódico.

En el plano , los puntos M-4, M-5 y M-6 son claramente sulfatado-cálcicos, mientras que más hacia el oeste, comienzan a verse facies cada vez más cloruradas, que en general, aparecen a cierta profundidad. La estratificación de calidades es manifiesta. Por ejemplo, en M-3, a 120 m. de profundidad las aguas son sulfatadas cálcicas, con una conductividad de 3.800 $\mu S/cm$. Sólo 30 m. más abajo, la conductividad ha subido a 5.600 $\mu S/cm$ y domina el tipo mixto clorurado-sulfatado. La muestra tomada a 175 m. es netamente clorurada sódica, con una conductividad de 53.600 $\mu S/cm$.

N° sondeo	cota m	Prof. total sondeo m	Prof. agua m	Prof. toma m	Cond. lab. uS/cm	pH lab.	Cl- mg/l	SO4= mg/l	HCO3- mg/l	CO3= mg/l	NO3- mg/l	Na+ mg/l	Mg++ mg/l	Ca++ mg/l	K+ mg/l	NO2- mg/l	NH4+ mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	P2O5 mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l
48 m-1	443	253	178	180	9030	7,34	2836	1864	294,1	0	2	1269,2	167,8	1050,1	62,7	0,66	2,6	16,53	1,15	2,79	0	0
49 m-2	467	294	100	110	36300	7,09	14889	2191	192,8	0	32,8	8016	192	1755,5	18,2	0,72	0,43	8,69	0,06	2,43	0	0,22
49 m-2	467	294	100	200	24400	7,31	9833,8	1995	189,2	0	32,6	5611,2	204,3	1402,8	12,6	0,08	0,46	9,72	0,04	0,76	0	0,39
50 m-3	439	179	79	120	3810	7,35	609,7	1053,2	184,3	0	1,6	400,8	58,9	618	6,7	0,73	0	7,92	0,05	0,24	0	0
50 m-3	439	179	79	150	5620	7,38	1474,7	1472	178,2	0	5,8	801,6	73,6	681,4	6,3	0,01	0,34	7,92	0,08	0,43	0	0
50 m-3	439	179	79	175	53600	7,04	26119,6	3644	214,8	0	4,2	16700	141,1	1715,4	44,4	0,08	0,97	7,21	1,39	0,35	0	0,2
51 m-4	481	297	113	200	4550	7,32	893,3	1803	153	0	0,8	614,6	58,4	745,5	12,6	0	0,56	16,25	0,29	0,99	0	0,36
52 m-5	514	278	146	150	2400	7,4	60,3	981,6	161,1	0	1,6	37,4	85,1	542,7	4,1	0,46	0,18	4,25	0,05	0,68	0,2	0,61
52 m-5	514	278	146	200	2580	7,46	107,8	1061,4	202,6	0	1,7	80,2	118	517,4	4,5	0,28	0,33	6,72	0,05	1,65	0	0,47
53 m-6	534	302	12	200	2660	7,33	63,1	1020	244	0	78	73,5	88,5	572,7	18,2	0,17	0,39	6,8	0,16	0,84	0	0,49
55 m-8	390	240	33,6	103	2440	7,47	110,6	1050,8	175,7	0	8	63,5	68,8	563,9	3,4	0,35	0,41	7,3	0,03	0,73	0,19	0,24
55 m-8	390	240	33,6	200	87100	6,49	46933,2	1536	97,6	0	1,7	25047,6	2006,4	4188,6	222,3	0,01	25,9	9	1,13	0,76	5,96	1,24
56 m-9	447	302	50	200	7840	7,71	1949,8	1559	225,8	0	25,2	1002	53,5	973,9	11,8	5,72	0,09	10,93	0,21	0,42	0	0,37
93				bombeo	145500	7,03	97326,5	3281,7	250,1	0	1,3	60545,3	97,4	1880	46,8	0,68	3,02	6,24	0,65	0,08	0	1,2
				máx	145500	7,71	97326,5	3644	294,1	0	78	60545,3	2006,4	4188,6	222,3	5,72	25,9	16,53	1,39	2,79	5,96	1,24
				mín	2400	6,49	60,3	981,6	97,6	0	0,8	37,4	53,5	517,4	3,4	0	0	4,25	0,03	0,08	0	0
				media	27702	7	14515	1751	197	0	14	8590	244	1229	33,9	0,7	2,5	9,0	0,38	0,94	0,45	0,41

Cuadro

Resultados analíticos de las muestras de la zona interna del afloramientos del Trías de Antequera en Meliones

Cuanto más mineralizada sea la muestra, su carácter será también más netamente clorurado sódico, como cabía esperar, al haberse alcanzado la saturación en los minerales más importantes (calcita, yeso, epsomita, etc.). Además, su elevada mineralización hace que la densidad de este agua sea muy elevada y tenga tendencia a estratificarse en las posiciones más bajas del sondeo.

En este área, la concentración media de magnesio es algo superior a lo comentado hasta ahora, de 244 mg/l (máximo de 2.000 mg/l), igual que el caso del potasio, que también alcanza valores importantes (222 mg/l), con media de 34 mg/l. También se aprecia un ligero aumento de los contenidos de boro en disolución, con medias cercanas a 0.4 mg/l, y que puede relacionarse con un mayor contenido de este compuesto en las litologías evaporíticas.

Las concentraciones de nitratos se suelen mantener en los límites de potabilidad, con medias en torno a los 14 mg/l, aunque hay casos puntuales que los sobrepasan (incluso 78 mg/l), como es el caso del sondeo M-6 y 32mg/l y 25,2 en los sondeos M-2 y M-9. En cambio, los niveles de nitritos y amonio son elevados y sobrepasan con facilidad las concentraciones máximas admisibles. Los nitritos oscilan entre 0 y 5.72 mg/l, con media de 0.7 mg/l, mientras que el amonio llega incluso a 25.9 mg/l, con media de 2.5 mg/l. Existen ambientes reductores intensos que inducen la persistencia de estos iones en disolución.

Los contenidos en fósforo (expresados como P_2O_5) son menores que lo hasta ahora comentado, con medias más bajas, inferiores a 1 mg/l.

Hay que destacar los bajos contenidos de sílice en disolución, con una media de 9 mg/l, que parecen indicar la escasa influencia de las arcillas en la química general de estas muestras.

Como se aprecia, una buena parte de las muestras presenta contenidos significativos de hierro y manganeso en disolución. Las medias se sitúan en 0.54 y 0.41 mg/l

respectivamente. El ambiente reductor existente así como la enorme fuerza iónica de la solución parecen ser las causas de estos contenidos elevados.

III.4.1.4.c ZONA DE LAS INMEDIACIONES DEL MANANTIAL DE MELIONES. SONDEOS SGOP (SONDEOS S)

Por último, se muestrearon 10 puntos de los sondeos del SGOP en las inmediaciones del manantial. Corresponden a los sondeos S-1, S-2, S-3, S-3bis, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8 Y S-9. Se representan en el plano (los sondeos S-3 y S-3bis se representan juntos, por su proximidad). Como en el caso anterior, también se ha incluido el punto de bombeo de Meliones, nº . Los análisis químicos obtenidos de las 21 muestras recogidas (una de ellas, correspondiente al nº) se incluyen en el cuadro .

Viendo el plano de caracterización química queda patente el predominio absoluto de los tipos clorurado-sódicos. Sólo la muestra del punto S-2 tomada a 60 m. presenta un carácter sulfatado cálcico-magnésico. En la mayor parte de los sondeos se aprecia una estratificación típica motivada por la gradación de densidades. Todas son muy mineralizadas, como lo reflejan los altísimos valores de conductividad, que se mueven en el intervalo de 5.600 a 545.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una media de más de 220.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dominio de las salmueras, muy superior al de aguas saladas y marinas.

Los valores de magnesio en solución son elevados, pudiendo llegar incluso a más de 3.200 mg/l (media de 548 mg/l), así como de potasio, con máximo de 600 mg/l (media de 163 mg/l) y de boro, con máximo de 4.2 mg/l y media de 1.53 mg/l. Todos estos constituyentes reflejan su abundancia en las litologías evaporíticas.

Por otra parte, los contenidos de sílice son muy bajos, con una media de 4.7 mg/l, lo que indica que las arcillas de la formación deben aportar muy poca proporción de agua al total, porque no influyen en los contenidos de sílice en equilibrio. Esto concuerda con el hecho

N°	SONDEO	cota m	Prof. agua m	Prof. total sondeo m	Prof. muestra m	Cond. lab. uS/cm	pH lab.	Cl- mg/l	SO4= mg/l	HCO3- mg/l	CO3= mg/l	NO3- mg/l	Na+ mg/l	Mg++ mg/l	Ca++ mg/l	K+ mg/l	NO2- mg/l	NH4+ mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	P2O5 mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l
94i	s-9'	375,6	17,29	125	20	36200	7,06	15059,2	2472	128,1	0	2,2	10020	107	1346,7	22,2	0,01	0,12	4,79	0,08	0	0	0,44
94i	s-9'	375,6	17,29	125	116	506000	6,52	167881,5	3257	203,8	0	1,3	86835,5	462,1	1442,9	339,3	0,4	6,22	4,68	1,6	0,24	0,23	1,5
94h	s-8'	377,9	19,5	150	20	10440	7,5	3197,6	1543	158,6	0	19	2137,6	73	833,7	9,5	0	0	5,71	0	0,07	0	0
94h	s-8'	377,9	19,5	150	145	489000	6,92	164124,4	2632,1	205	0	0,9	80154,6	316,1	1202,5	425,1	0,16	7,08	3,61	1,74	0,11	0,37	1,53
94g	s-7'	381,2	22	124,5	25	35000	6,97	14038,2	2178	122	0	9,6	9886,4	165,4	1362,7	23,8	0,08	0,41	4,4	0,03	0,01	0	0,31
94g	s-7'	381,2	22	124,5	120	465000	6,5	157247,2	3041,8	209,9	0	1,4	73476	243,2	1483	132,6	1,69	4,09	4,4	1,21	0,26	0,15	1,49
94f	s-6'	385,4	26	120,6	50	63400	7,13	29494,4	2305	211,1	0	4,1	16032	486,4	1603,2	39,7	0	1,76	9,94	0,16	0,18	0	0
94f	s-6'	385,4	26	120,6	115	446000	6,78	145549,5	3432,8	244,1	0	1,1	80154,6	681	921,9	109,2	1,7	4,23	5,03	1,14	0,44	0,04	2,64
94e	s-5'	408,7	51,9	98	90	308000	6,8	100530,5	3875,6	212,3	0	0,9	73476	778,2	1082,2	93,6	0,03	2,62	4,56	0,8	0,1	0,11	0,77
94d	s-4'	391	27,5	125	30	84000	6,61	40519,4	3214,6	90,2	0	4,9	2671,6	243,2	1561,5	179,8	4,45	14,04	1,89	3,22	0	0	0,54
94d	s-4'	391	27,5	125	70	88300	6,7	44339,5	3417,6	129,3	0	4,8	29381,2	267,8	1600,2	157,2	4,86	8,92	3,59	2,78	0,03	0	0,66
94d	s-4'	391	27,5	125	90	80400	6,83	44280,5	3566,4	151,3	0	2,1	27393,5	384,5	1640,3	156,3	6,77	0,4	0,91	3,12	0	0,05	0,54
94c	s-3'	400,2	23,2	150	30	57600	7,08	28430,9	3251	137,9	0	1,8	16700	267,5	1563,1	71,5	0,03	1,84	5,67	1,88	0,03	2,59	0,62
94c	s-3'	400,2	23,2	150	140	120000	6,99	75260,3	3902,4	204,9	0	0,8	50117,5	240,2	2760,1	86,2	0,1	2,9	4,32	1,31	0,03	0,2	0,46
94c-R	s-3'-R	400,2	23,2	150	60	103800	7,02	57889,8	3574,5	324,5	0	2,5	40043,2	1240,3	1402,8	86,19	0,1	0,41	8,33	0,93	0,46	0	0,33
94c-R	s-3'-R	400,2	23,2	150	150	545000	6,41	191817,5	2618,4	195,2	0	1,7	126904,8	486,4	1880,3	608,4	0,17	12,16	4,45	2	0,27	1,21	7,22
94b	s-2'	407	48,6	95	60	5580	7,51	1042,2	2583	128,1	0	5,6	587,8	403,7	757,5	49,2	0	0,3	8,18	0,82	0,07	0	0
94b	s-2'	407	48,6	95	90	509000	6,76	171499,5	5635,2	258,6	0	0,9	120214,7	413,4	1683	125,2	0,32	2,82	4,3	1,06	0,09	0	0,59
94a	s-1'	398,6	57	1505,5	60	92400	7,16	50257,4	4212	161	0	21,84	30739,5	899,8	1801,6	246	0,16	2,96	2,25	3,52	0,01	0,02	0,64
94a	s-1'	398,6	57	105,5	100	468000	6,88	160921,5	3254,9	124,4	0	0,8	106873,6	3256,4	2960,1	425,1	0	51,67	2,3	4,17	0,04	0,03	0,6
93	bombeo				bombeo	145500	7,03	97326,5	3281,7	250,1	0	1,3	60545,3	97,4	1880	46,8	0,68	3,02	6,24	0,65	0,08	0	1,2
					mín	5580	6,41	1042,2	1543	90,2	0	0,8	587,8	73	757,5	9,5	0	0	0,91	0	0	0	0
					máx	545000	7,51	191817,5	5635,2	324,5	0	21,84	126904,8	3256,4	2960,1	608,4	6,77	51,67	9,94	4,17	0,46	2,59	7,22
					media	221743,8	6,90	83843,2	3202,3	183,4	0	4,3	49730,7	548,2	1560,4	163,5	1,03	6,09	4,74	1,53	0,12	0,24	1,05

Cuadro

Resultados analíticos de las muestras de la zona de las inmediaciones del manantial de Meliones

de que hay tanta cantidad de potasio y amonio en disolución, que se retienen prácticamente de forma irreversible en las arcillas.

En esta ocasión, los nitratos se mantienen muy bajos, con un valor medio de unos 4 mg/l, y un único máximo de 22 mg/l. No obstante, los contenidos en nitritos y amonio son muy elevados, como el sondeo S-1 a 100 m., con casi 52 mg/l, o en el S-4 a 90 m. donde se midieron 6.7 mg/l. Los valores medios de nitritos están en más de 1 mg/l y de amonio en unos 6 mg/l. Estos contenidos parecen indicar el predominio de condiciones reductoras en el acuífero. En cuanto al fósforo, los valores aquí son menores que en el entorno, con medias de 0.1 mg/l de P₂O₅.

Como en el caso anterior, un porcentaje importante de muestras presenta contenidos significativos de hierro y manganeso en disolución. Las medias se sitúan en 0.24 y 1.05 mg/l respectivamente. El ambiente reductor existente y la enorme fuerza iónica de la solución parecen ser las causas de estos contenidos elevados.

III.4.1.4.d. ZONA DEL AFLORAMIENTO DEL TRÍAS DE ANTEQUERA EN MELIONES, SONDEOS DE LA SERIE M (MELIONES) C.H.S.E. Y DE LA SERIE S (S.G.O.P.).

En una segunda fase, el muestreo se circunscribió al sector investigado del Manantial de Meliones, sondeos S y M.

Se han analizado un total de 36 muestras de agua tomadas de los sondeos existentes en la zona y en la estación de bombeo de Meliones. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla y la situación de los puntos de muestreo en la figura .

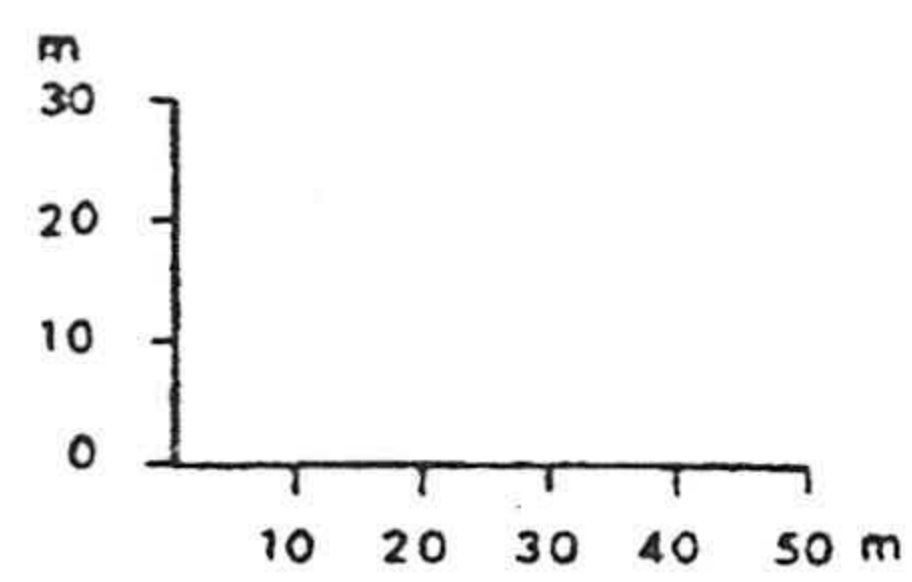
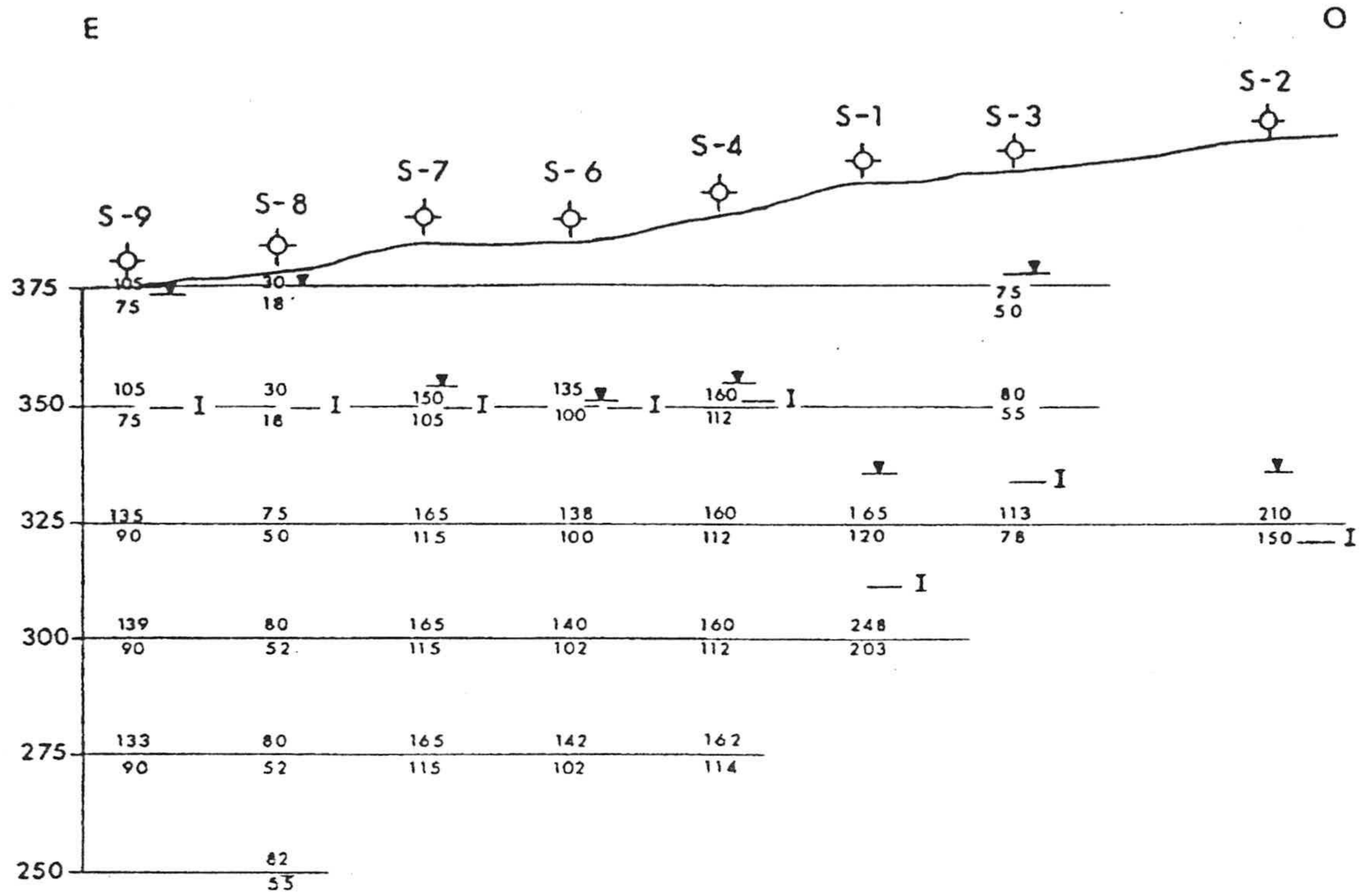
En los casos de los sondeos, se han analizado muestras de agua tomadas en la parte superior de la columna de agua, donde las aguas son menos salinas y en la parte inferior donde se encuentran las salmueras. Los perfiles de resistividad previos han servido para

definir la profundidad de muestreo más conveniente en el caso de las últimas muestras. Además, debido a que el manantial de Meliones se encontraba sumergido, la muestra ha sido tomada del agua extraída por bombeo de dicho manantial. Este bombeo fue realizado con motivo de las experiencias de interconexión que se describirán más adelante.

Los análisis de la tabla se completan en la tabla . Las columnas 2 y 3 de esta tabla dan las sumas de los cationes y aniones de cada análisis, las cuales tienen que ser casi iguales para que se cumpla el balance iónico de masa. La columna 3 presenta el balance de neutralidad dado por la comparación de las cargas eléctricas aportadas por los cationes y aniones. Ambas deben ser iguales. Desviaciones de hasta el 5% son aceptables. Se observa en la tabla que solamente la muestra de la parte superior de la columna de agua del sondeo S-9 se sale fuera de este valor. La columna 5 muestra la salinidad total obtenida sumando las concentraciones de todos los iones analizados. La columna 6 indica la conductividad medida experimentalmente. La columna 7 indica que los valores de la relación entre ambos parámetros oscilan alrededor de un valor medio igual a 0,60. La elevada dispersión de los diferentes valores se debe a la dificultad de medir con precisión conductividades tan elevadas como las que tienen muchas de las muestras de agua. Los equipos de medida dejan de ser lineales y la conductividad tiene que medirse mediante dilución de las muestras con agua destilada. Por último, los valores medios de las sumas de aniones y cationes, expresadas en meq/l, multiplicados por 100 deben dar un valor muy parecido a la conductividad expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III.4.1.4.e. TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LA CONDUCTIVIDAD Y CONCENTRACIÓN DE ClNa. SONDEOS S (SGOP)

Análisis de la conductividad y concentración equivalente de ClNa en los sondeos (S) del entorno del manantial de Meliones a partir de registros geofísicos.



- S-6 Sondeo
- 248 Conductividad
- 203 Concentración
- Nivel del agua
- Inflexión

FIGURA PERFIL DE LOS SONDEOS DE LA MARGEN IZQUIERDA

Después de la obtención de estos registros en cada uno de los sondeos (S) próximos al manantial de Meliones, se han situado en cota topográfica como puede verse en el perfil de la figura , en la que se representan los correspondientes a los sondeos (S) de la margen izquierda del río Guadalhorce con sus correspondientes valores de conductividad y concentración de ClNa a las cotas topográficas 250, 275, 300, 325, 350 y 375 m.s.n.m.

Estas medidas se han representado en planta en cada sondeo en las figuras , correspondientes a las cotas 250, 375, 300, 325, 350 y 375 m.s.n.m. respectivamente.

El programa de tratamiento de diagrfias, denominado Analytical Compu-Log (A.C.L.), ha facilitado la combinación y cálculo de los diferentes registros.

Una vez analizados en conjunto los diferentes parámetros medidos en los sondeos de la margen izquierda se han obtenido los siguientes resultados:

Por lo que respecta a la litología, se identifican materiales de diversa naturaleza, desde arcillas y margas (con valores altos de radiactividad natural) hasta calizas y yesos (con bajos valores de este parámetro). Esta variación litológica no sería problema a la hora de establecer una correlación entre los sondeos sino fuera por la disposición caótica de los materiales: no existe una estratificación, ni horizontal ni buzante, lo suficientemente clara que permita una correlación entre los pozos, a pesar de la cercanía de unos a otros (de 25 a 30 m. de separación).

Esta variación litológica lateral tan grande debida a cuestiones tectónicas impide que exista una circulación preferente de aguas asociada a capas de similar litología. Las capas calcáreas y margosas, emplastadas en una matriz arcilloso-yesífera, podrían constituir el vehículo de paso de fluidos pero presentan una escasa, cuando no nula, continuidad lateral. Por ello, parece más lógico pensar en una circulación asociada a problemas estructurales (fallas, zonas de debilidad, cizallamientos) y a zonas de disolución de calizas y yesos.

Dentro de la salinidad más o menos constante que caracteriza a las aguas de los sondeos, existe una serie de inflexiones en las curvas de conductividad y concentración que marcan

FIGURA CONDUCTIVIDAD/CONCENTRACION DE CINa A 250 m.s.n.m.

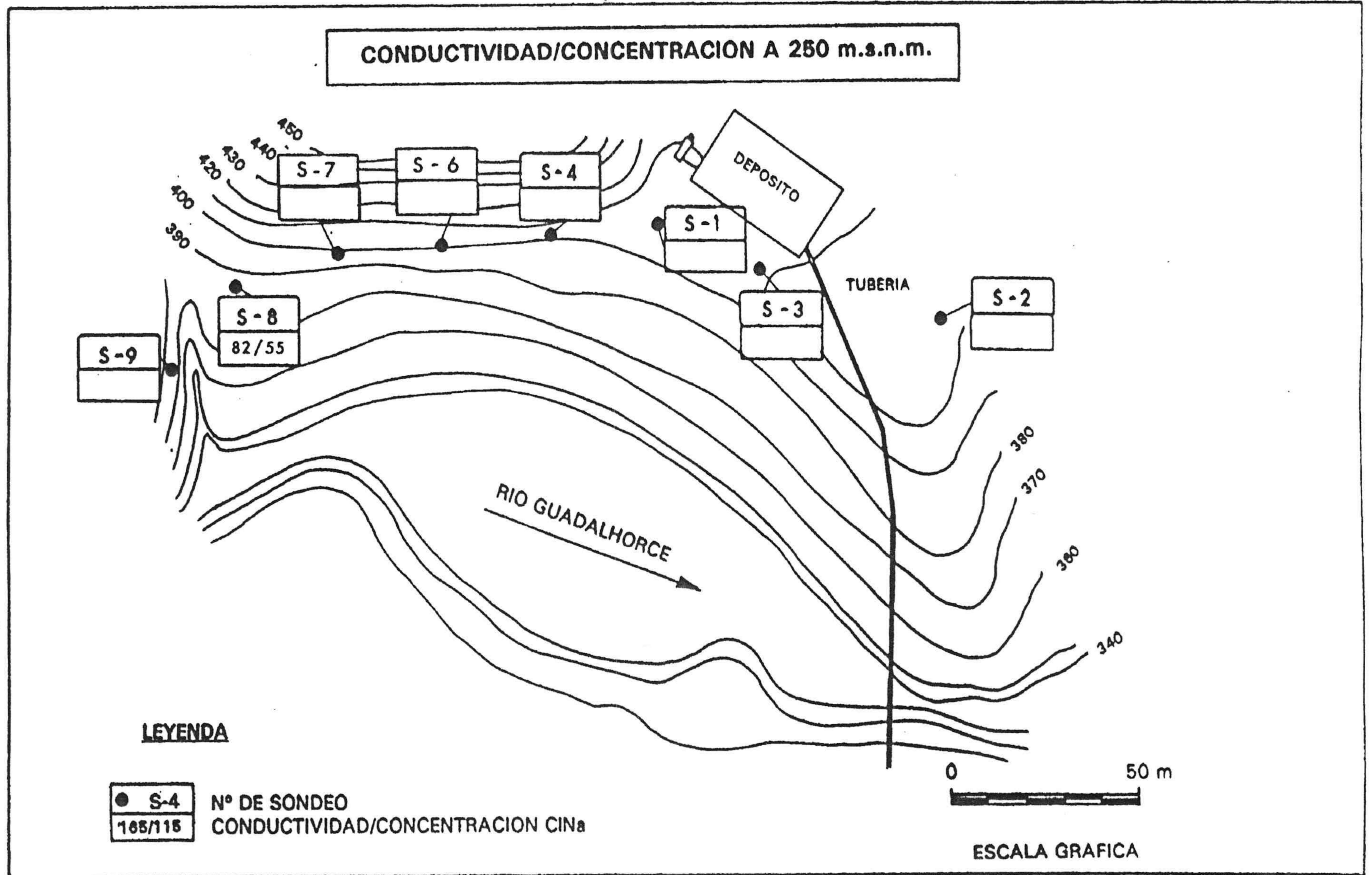


FIGURA CONDUCTIVIDAD/CONCENTRACION DE CINa A 275 m.s.n.m.

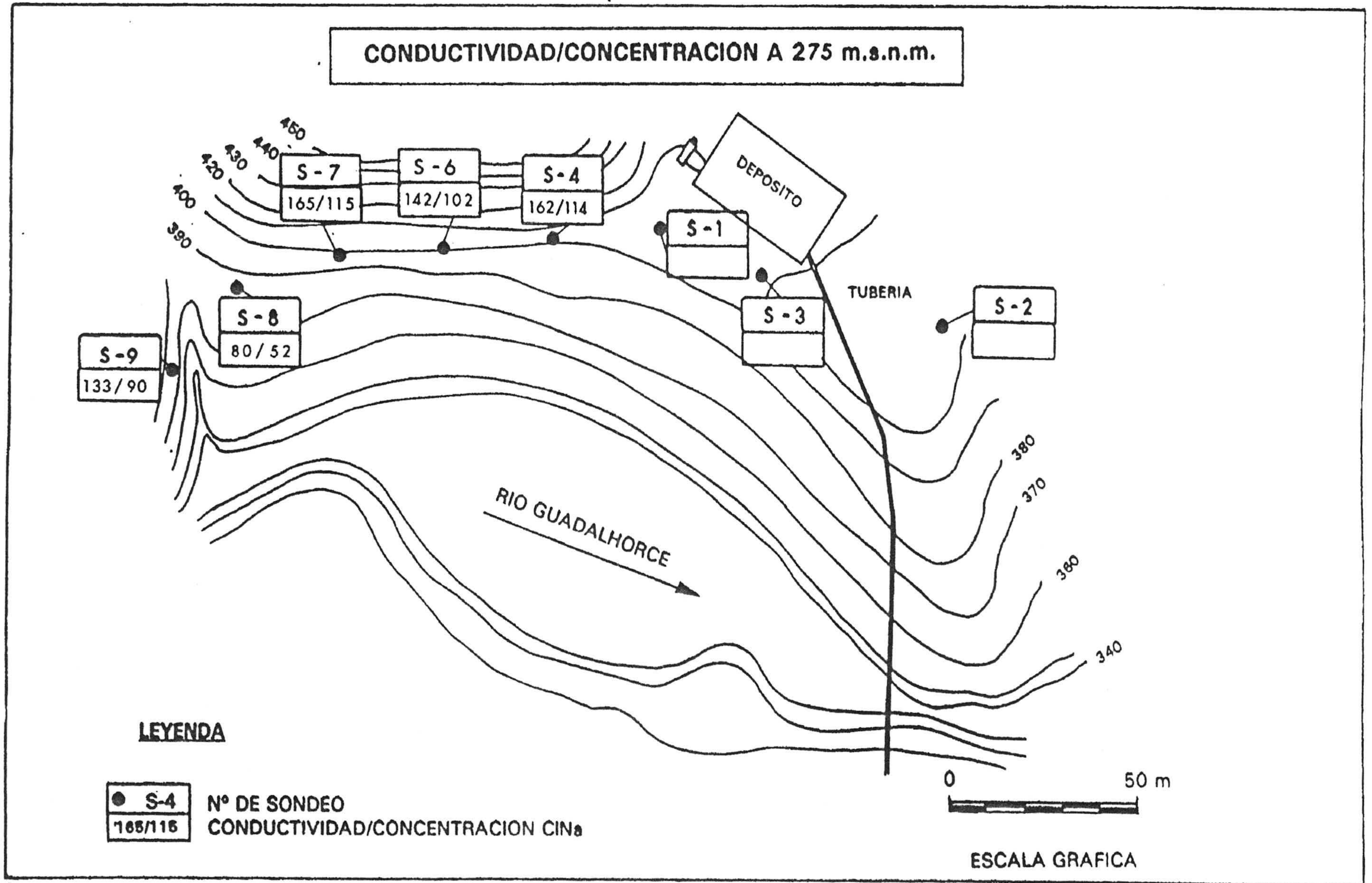


FIGURA CONDUCTIVIDAD/CONCENTRACION DE CINA A 300 m.s.n.m.

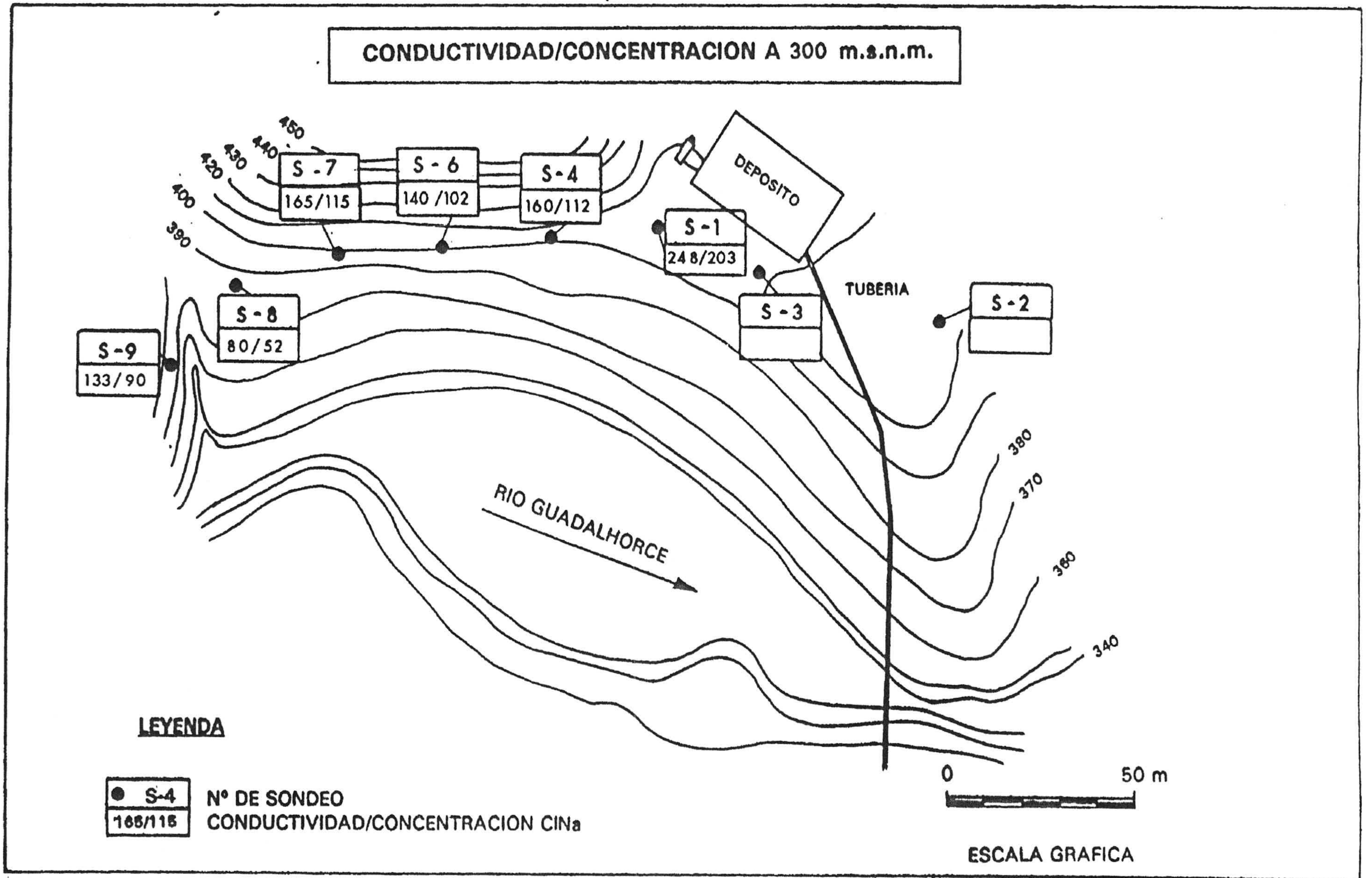


FIGURA CONDUCTIVIDAD/CONCENTRACION DE CINA A 325 m.s.n.m.

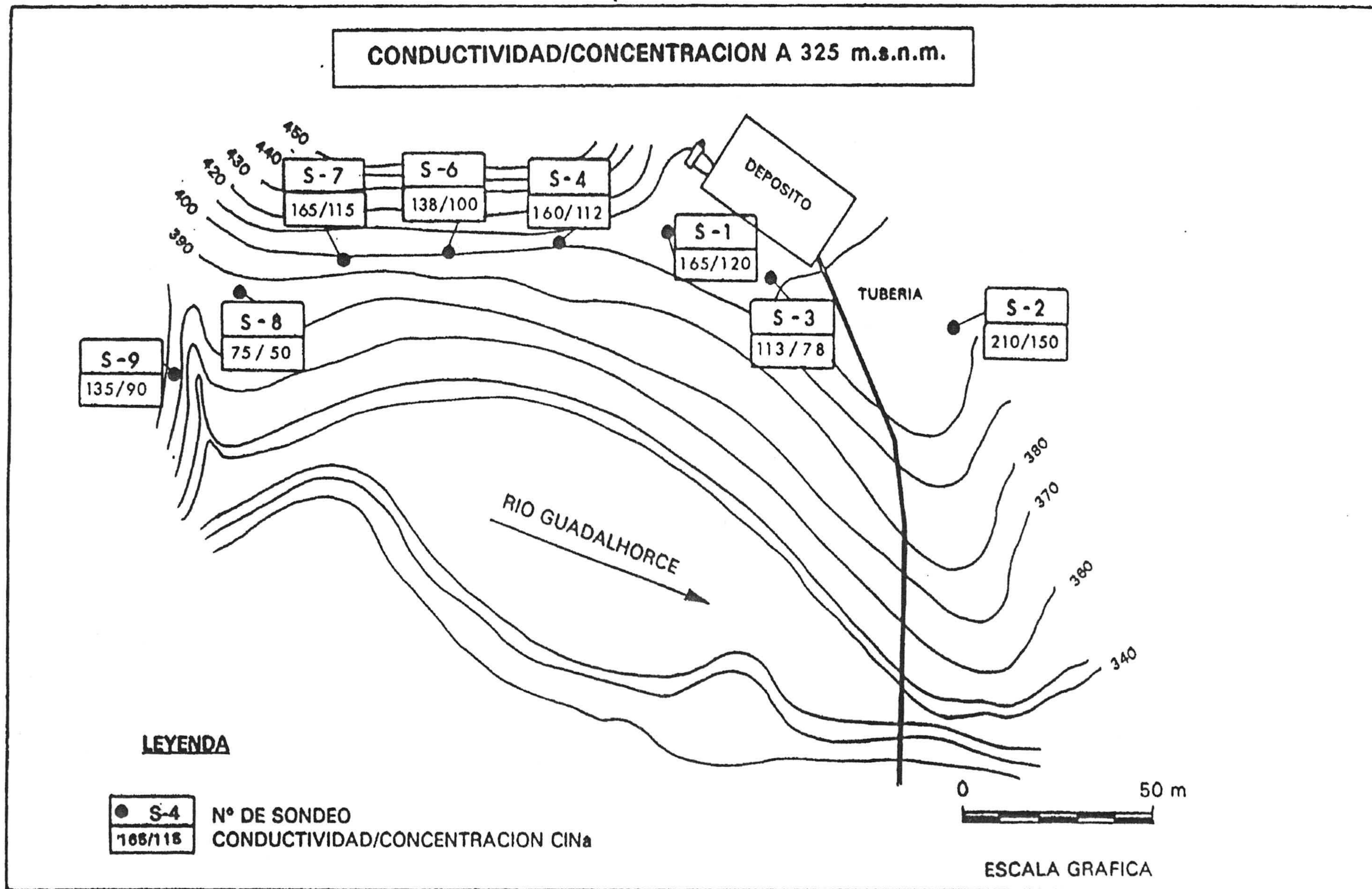
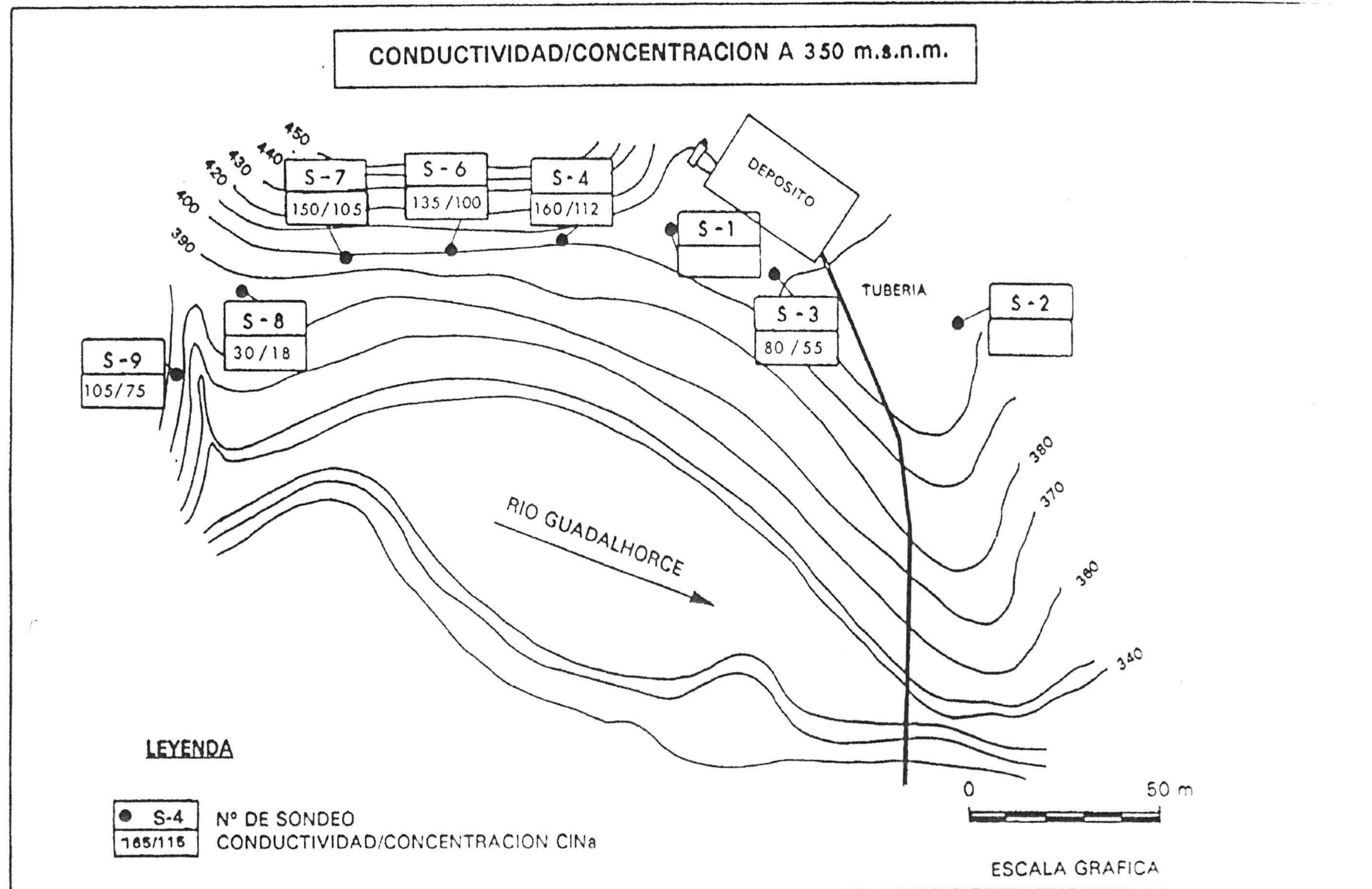
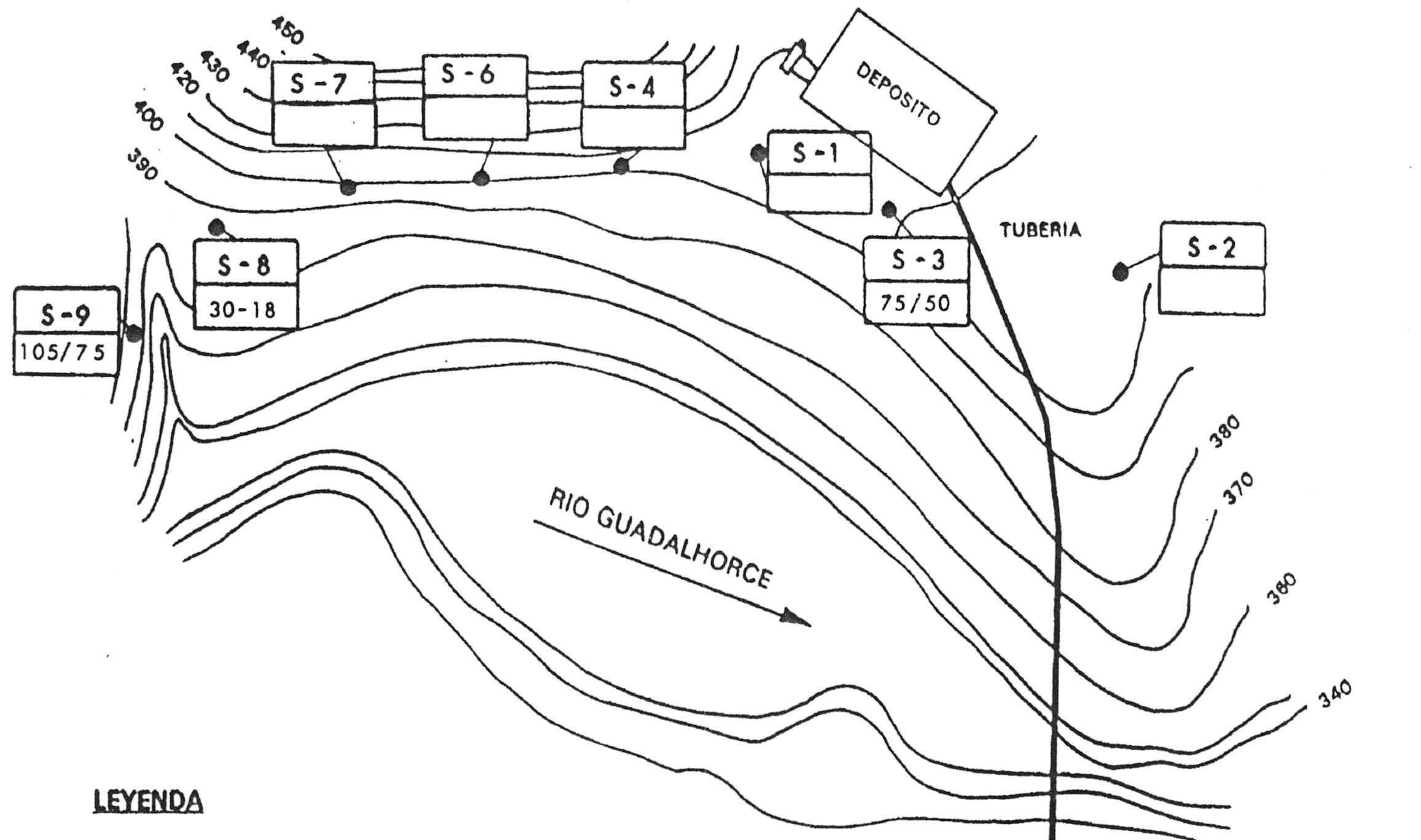


FIGURA CONDUCTIVIDAD/CONCENTRACION DE ClNa A 350 m.s.n.m.



CONDUCTIVIDAD/CONCENTRACION A 375 m.s.n.m.



LEYENDA

- S-4 N° DE SONDEO
- 165/115 CONDUCTIVIDAD/CONCENTRACION CINA



ESCALA GRAFICA

FIGURA CONDUCTIVIDAD/CONCENTRACION DE CINA A 375 m.s.n.m.

cotas de cambios relativamente bruscos en la suave tendencia de estos parámetros a aumentar de valor en profundidad.

En la figura se ha señalado la posición de la cota en la que se observa una inflexión en cada sondeo. Se puede ver que en los sondeos de la parte central e izquierda de la figura, la inflexión o cambio brusco a más salinidad en profundidad se produce en torno a la cota de 350 m.s.n.m., mientras que los sondeos de la parte derecha de la figura la inflexión se observa en posiciones topográficamente más bajas y variables, entre 310 y 330 m.s.n.m.

También el nivel piezométrico detectado en el momento de la realización de las testificaciones se presenta de forma variable según los sondeos. En los sondeos S-9 y S-8 está casi en superficie (375 m.), en los sondeos S-7, S-6 y S-4, situados inmediatamente a la derecha de la figura, el nivel piezométrico se encuentra más bajo, a 355 m. En los tres sondeos restantes, vuelve a descender a 335 m., excepto el sondeo S-3, en el que vuelve a ascender a 375 m., como en S-9 y S-8.

El nivel del agua de los sondeos, muchas veces condicionado por su profundidad, en este caso no guarda ningún tipo de relación al observarse sondeos profundos con cotas de nivel piezométrico. altas y medias y sondeos cortos con cotas de n.p. altas y bajas.

En relación a lo expuesto sobre cota del agua en los sondeos y de inflexión en las curvas de conductividad y concentración se puede extraer que aunque no perfectamente lineal, sí existe una tendencia al descenso de las cotas de ambos niveles desde los sondeos de la parte izquierda de la figura hasta los sondeos situados en la parte derecha de la misma.

Por lo que respecta a la representación en planta de los valores de conductividad y concentración equivalente de ClNa a diferentes cotas (figuras a) se pueden extraer las siguientes premisas:

- Se observa una relativa constancia de valores de ambos parámetros entre los sondeos. Pero, a pesar de la proximidad entre ellos, esta similitud de valores, no es muy grande. En la figura se observa la representación de valores a la cota de 325

m.s.n.m., en la que coexisten valores de todos los sondeos. La mayoría de los sondeos presenta entre 113 y 165 mS/cm, de conductividad, y entre 78 y 115 g/l, de concentración equivalente de ClNa.

Existen dos sondeos, S-2 y S-8 que presentan valores que se salen de la media de los demás (210 mS/cm – 150 g/cc y 75 mS/cm – 50 g/cc, respectivamente). El S-2 no ofrece datos a otras cotas, pero el S-8 sí y siempre con valores sensiblemente más bajos que la media del resto de los sondeos.

- La pequeña oscilación de valores entre sondeos no sigue una pauta direccional debido, probablemente, a dos razones fundamentales:
 - La primera es que la traza de los sondeos es subparalela al contacto mecánico entre los materiales arcilloso-evaporíticos triásicos y los materiales del flysch. Es decir, que para producirse un gradiente en esos valores debería haber, tal vez, una distancia marcadamente diferente de los sondeos al contacto mecánico.
 - La segunda es que la variación litológica lateral es tan acusada (por efecto de la tectónica) que los flujos horizontales no son lo suficientemente importantes como para homogeneizar estratificadamente las aguas del sector estudiado. No obstante, exceptuando las anomalías de algunos sondeos (S-8 y S-3) parece definirse un descenso de los valores desde el sondeo S-2 hacia el sondeo S-9 que es observable en todas las cotas analizadas. Esta dirección de descenso lateral de los valores coincide con una ligera mayor distancia al contacto mecánico.

En resumen, una vez analizados todos los sondeos y vistas las variaciones de valores de conductividad y concentración equivalente de ClNa tanto en sentido horizontal como vertical se pueden extraer los siguientes aspectos más destacados:

- Gran variación lateral de la litología de unos sondeos a otros por causas tectónicas.

- Descenso generalizado del nivel del agua en los sondeos, desde los situados al Este hacia los del Oeste.
- Presencia de una inflexión en las curvas de Conductividad y Concentración equivalente de ClNa relativamente constantes en los sectores central y oriental, en torno a los 350 m.s.n.m. Descenso de dicha inflexión en los sondeos del sector Oeste.
- Aumento de la conductividad y concentración desde superficie hacia la base de los sondeos.
- Parecidos valores en los sondeos con una ligera tendencia al descenso en dirección septentrional. Valores anómalos, respecto al resto de los sondeos, en S-3 y S-8.

En el Anexo se presentan los listados de los diferentes registros de la sonda 9042 para cada sondeo, con datos cada 1 m. de profundidad.

III.2. HIDROLOGÍA Y HIDROGEOLOGÍA	
III.2.1. APORTACIONES SALINAS. PROCEDENCIA Y CUANTIFICACIÓN	65
III.2.1.1. MANANTIALES DE CAÑAVERALEJO	65
III.2.1.2. RÍO GUADALHORCE EN LA COLA DEL EMBALSE	67
III.2.1.3. SURGENCIAS DE MELIONES	69
III.4. HIDROQUÍMICA	
III.4.1. PARÁMETROS QUÍMICOS	73
III.4.1.1. INTRODUCCIÓN	
III.4.1.2. ÁREA AL OESTE DE CAMPILLOS	79
III.4.1.3. ÁREA DE CAÑAVERALEJO (ESTE DE CAMPILLOS)	81
III.4.1.4. ÁREA DE AFLORAMIENTO DE TRÍAS DE ANTEQUERA EN MELIONES	84
III.4.1.4.A ZONA PERIFÉRICA DEL AFLORAMIENTO DEL TRÍAS DE ANTEQUERA EN MELIONES	89
III.4.1.4.B ZONA DEL AFLORAMIENTO DEL TRÍAS DE ANTEQUERA EN MELIONES. SONDEOS DE LA SERIE M "MELIONES" (C.H.S.E)	95
III.4.1.4.C ZONA DE LAS INMEDIACIONES DEL MANANTIAL DE MELIONES SONDEOS SGOP (SONDEOS S)	89
III.4.1.4.D ZONA DE AFLORAMIENTO DEL TRÍAS DE ANTEQUERA EN MELIONES, SONDEOS DE LA SERIE M (MELIONES) C.H.S.E. Y DE LA SERIE S (S.G.O.P.)	91
III.4.1.4.E TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LA CONDUCTIVIDAD Y CONCENTRACIÓN DEL CLNA. SONDEOS (SGOP)	92
III.4.2. PARÁMETROS FÍSICOS	

III.4.4. OTRAS TÉCNICAS UTILIZADAS

III.4.4.1. INTRODUCCIÓN

Los estudios previos realizados han demostrado que toda el agua que aflora por el manantial procede de la infiltración que ocurre en las cuencas de los arroyos Salado, del Águila, Higuerones y Los Yesos, donde existen numerosas dolinas y sumideros de diferentes tipos. La disolución de materiales evaporíticos ha conducido a la karstificación del acuífero, habiéndose desarrollado una importante red de cavidades.

Los objetivos principales del estudio isotópico son los siguientes:

- 1) Obtener la máxima información posible sobre la dinámica interna del acuífero, tratando de localizar los principales flujos subterráneos que descargan por el manantial.
- 2) Identificar las zonas de recarga que contribuyen a dichos flujos subterráneos.
- 3) Determinación de tiempos de tránsito del agua entre la zona de infiltración y el manantial, es decir de la "edad" del agua que aflora por éste.

III.4.4.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados de los perfiles de gamma natural, temperatura y conductividad se presentan en el Anexo . En la figura se muestra la situación de los diferentes sondeos dentro de la zona del estudio. Los sondeos S-1 a S-9 se encuentran todos ellos en las proximidades del manantial de Meliones, alineados con la margen izquierda del embalse.

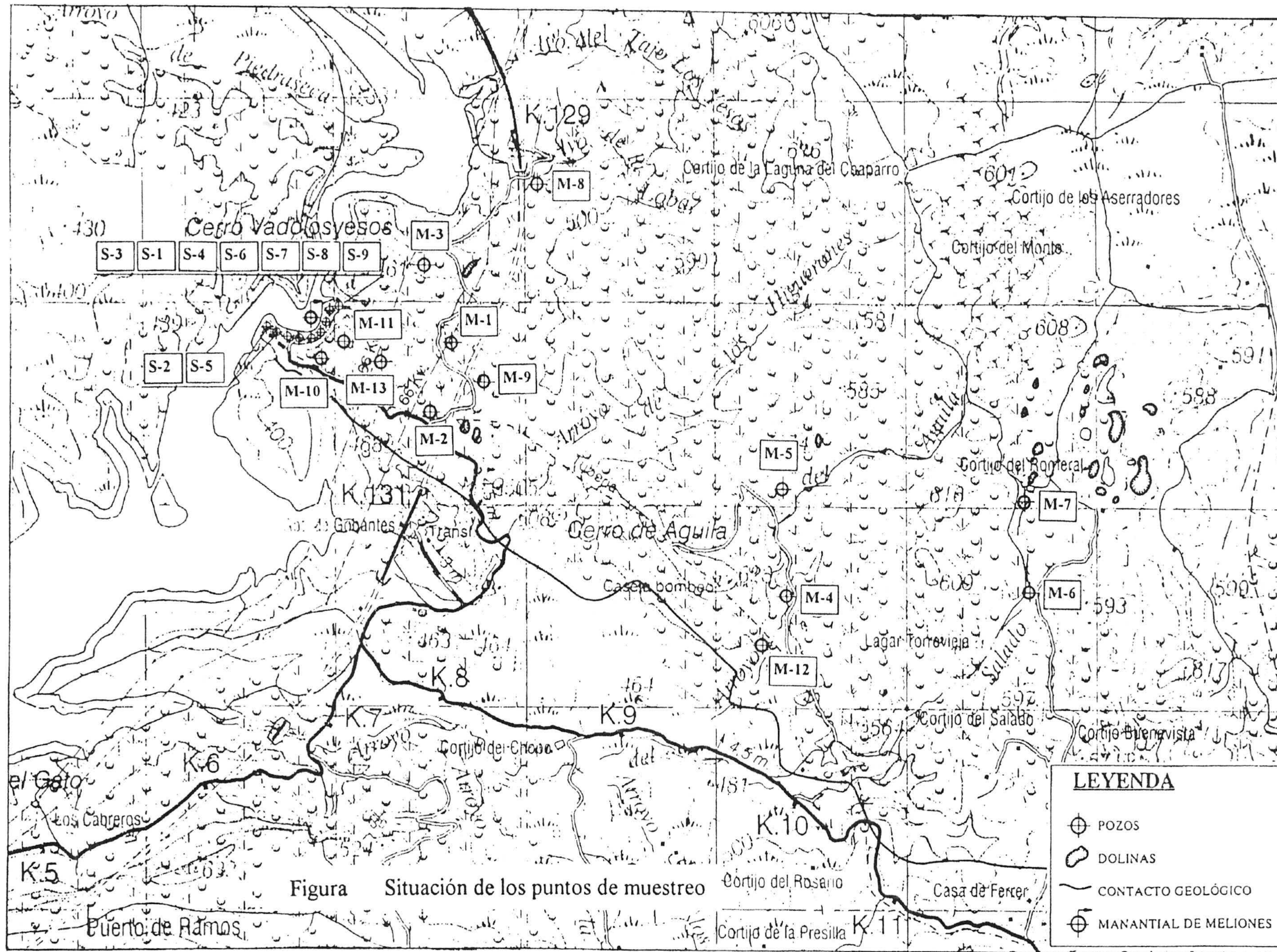
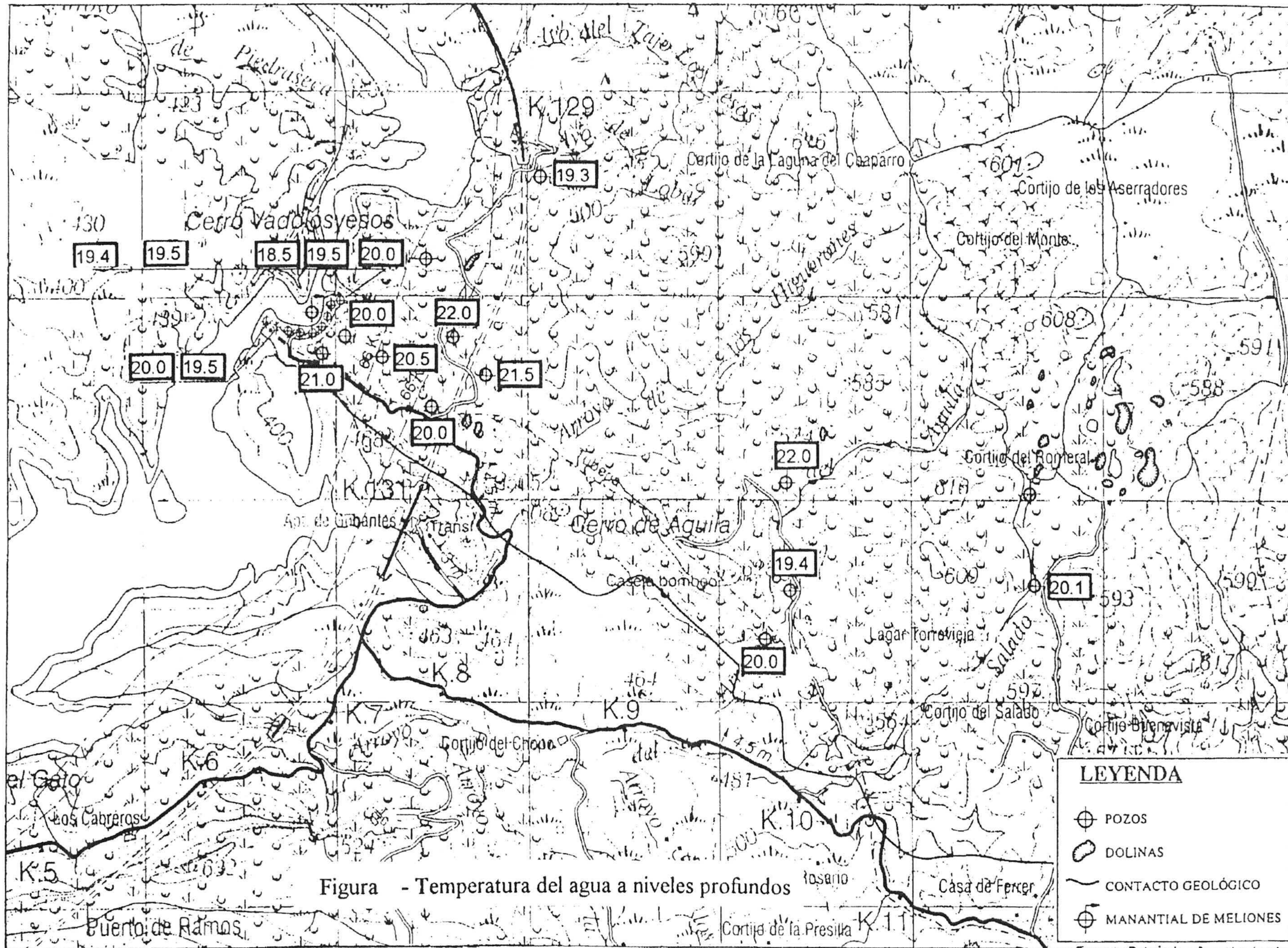


Figura Situación de los puntos de muestreo



III.4.4.4. INTERPRETACIÓN

III.4.4.4.1. PERFILES DE RADIACIÓN GAMMA NATURAL

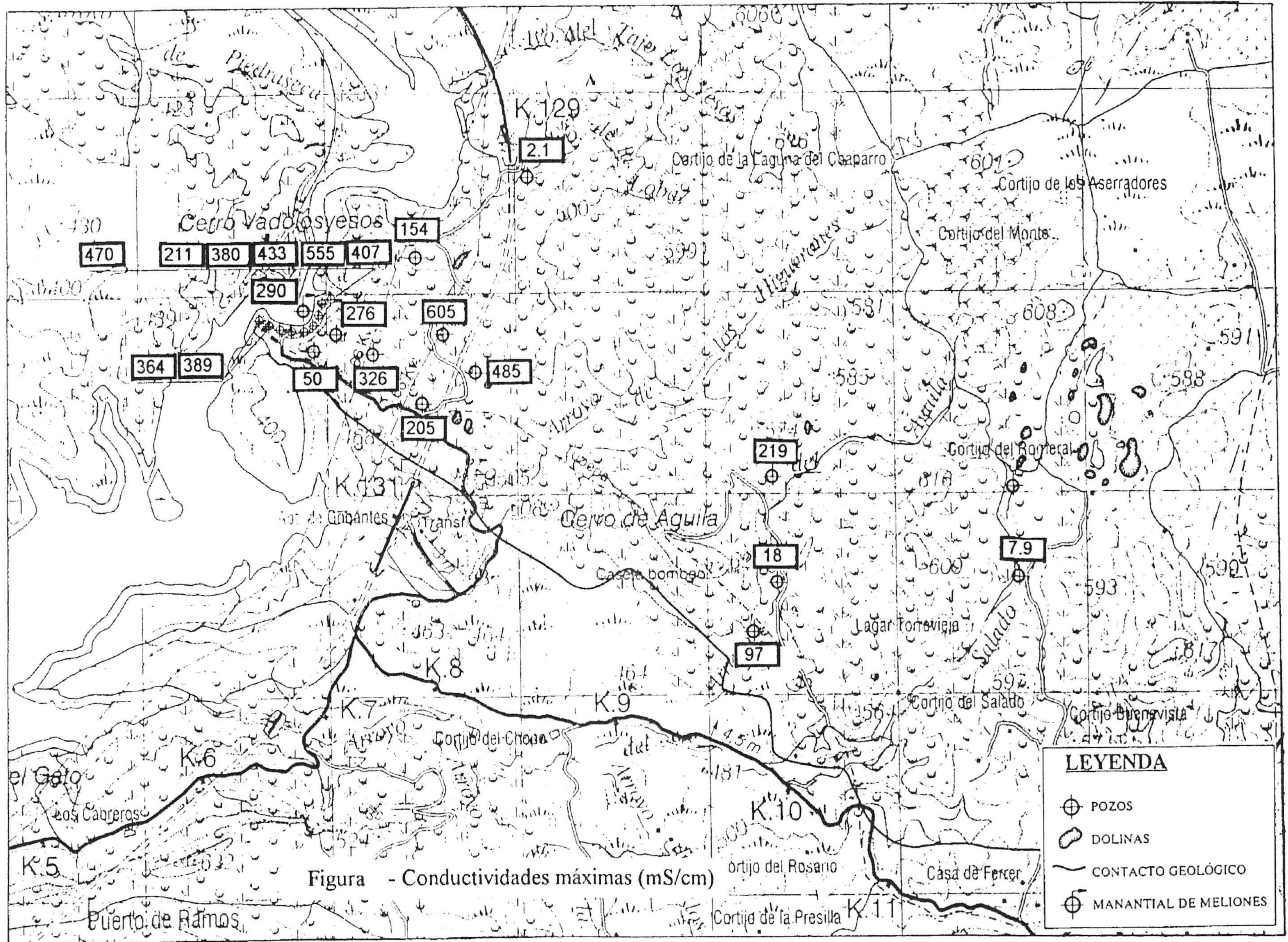
En principio, debido a que la radiactividad natural de los materiales disueltos en el agua es muy pequeña, comparada con la que tienen la mayoría de las formaciones geológicas, se pensaba que esta técnica podía proporcionar información sobre el tamaño de las cavidades y fracturas atravesadas por los sondeos, como ocurre en los acuíferos kársticos de materiales calcáreos. En las zonas donde se encuentran estas cavidades o fracturas, los niveles de radiación gamma deberían ser más bajos. Al contrario, en los tramos donde se encuentra presente la halita podrían esperarse altos niveles de radiación gamma, debido a la posible presencia en los materiales evaporíticos de sales potásicas, tales como la silvinita y carnalita. El potasio-40 natural sería responsable de esta alta radiactividad.

De acuerdo con lo anterior, la interpretación de los perfiles de radiación gamma natural tiene que apoyarse en los datos litológicos y en los datos relativos a la detección de fracturas y cavidades.

III.4.4.4.2. PERFILES DE TEMPERATURA

La tendencia natural de los perfiles de temperatura de los sondeos es aumentar con la profundidad. Los gradientes que se han obtenido varían entre 0,2 y 0,5° C por cada 32 metros, es decir, son mucho menores que el gradiente geotérmico medio de la corteza terrestre, que asciende a 1° C por cada 32 metros. Ello se explica por las transferencias de calor en sentido vertical derivadas, principalmente, de los flujos subterráneos existentes en la zona.

El mapa de la figura muestra la distribución de la temperatura máxima del agua correspondiente a los niveles más profundos de los sondeos. Era de esperar que las aguas que participan del flujo que aflora por el manantial tuvieran una temperatura homogénea.



Sin embargo, los valores que se observan de la temperatura no proporcionan por sí solos una información lo bastante clara a este respecto. Como se verá más adelante, los sondeos M-2, M-11, M-3 y M-12, interceptan, sin duda, el flujo que aflora por el manantial. Esto explica que las aguas de ambos tengan una temperatura muy parecida. En cambio, el sondeo M-13, que tiene, asimismo, una temperatura muy parecida a la de los anteriores, no intercepta de forma clara el flujo del manantial, pero sí se encuentra muy próximo al mismo. Los sondeos M-1, M-8, M-9, M-10 tienen temperaturas diferentes, lo cual es coherente con los datos que se presentarán más adelante, que demuestran que estos sondeos no interceptan el flujo que conduce al manantial. Los sondeos M-4, M-5 y M-6 se encuentran muy alejados del manantial, debido a lo cual su temperatura no es definitiva, ya que puede cambiar a lo largo del recorrido del agua, debido al mezclado de aguas con temperaturas diferentes.

III.4.4.4.3. PERFILES DE CONDUCTIVIDAD

Los perfiles de conductividad muestran la existencia en casi todos los sondeos de aguas menos salinas en los niveles superiores de los sondeos y más salinas en el fondo, lo cual resulta lógico teniendo en cuenta la situación de los tramos ranurados de la tubería de revestimiento de estos sondeos. Pero, como se ha mencionado, no puede tenerse seguridad de que las conductividades o salinidades obtenidas en los tramos superiores de los sondeos coincidan con las existentes en el acuífero para una misma cota. Más bien podría pensarse que ello no es así y que las salinidades en el acuífero deben ser inferiores a la del agua de los sondeos, debido al agua que penetra por el fondo de los mismos.

La figura muestra la distribución de la conductividad máxima medida en los sondeos a niveles profundos. Se observa una distribución muy irregular de este parámetro. Obviamente, los bajos valores de la conductividad en los sondeos M-4, M-6, M-8 y M-10 indican que no han interceptado el flujo de salmueras que aflora por el manantial de Meliones, o bien que el agua se saliniza en zonas situadas aguas debajo de los mismos.

III.4.4.4. ISÓTOPOS ESTABLES

Los resultados de oxígeno-18 se muestran en la tabla . Cuando se presentan dos valores para este parámetro, el primero de ellos corresponde a la muestra tomada en la parte superior de la columna de agua de los sondeos y, el segundo a las aguas profundas, generalmente de alta salinidad. En la primera columna, se indica la profundidad de muestreo.

Los isótopos estables del agua deuterio (^2H) y oxígeno-18 proporcionan información, entre otras cosas, sobre el origen del agua y sobre las relaciones de unas aguas con otras. Las moléculas de agua que llevan incorporados estos isótopos pesados tienen un comportamiento, algo diferente al de las moléculas ligeras, más abundantes, formadas con ^1H y ^{16}O , en los procesos que tienen lugar durante el ciclo hidrológico, que se debe, principalmente, a la menor presión de vapor y a la menor difusividad de las moléculas más pesadas.

Los dos factores principales, responsables de las mayoría de los cambios de composición isotópica del agua, son los procesos de evaporación y el llamado efecto de altitud. Este último está relacionado con la temperatura atmosférica y hace que las precipitaciones que tiene lugar a cotas más altas tengan concentraciones menores de estas moléculas pesadas (aguas isotópicamente más ligeras).

La composición isotópica del agua se expresa en forma de desviaciones isotópicas con respecto a un patrón internacional, representativo del agua del mar, que se toma como cero de la escala y se conoce por las siglas SMOW (“standard mean ocean water”). Este patrón es universal y expresa desviaciones isotópicas de la muestra con respecto a este patrón y viene dada por la expresión siguiente:

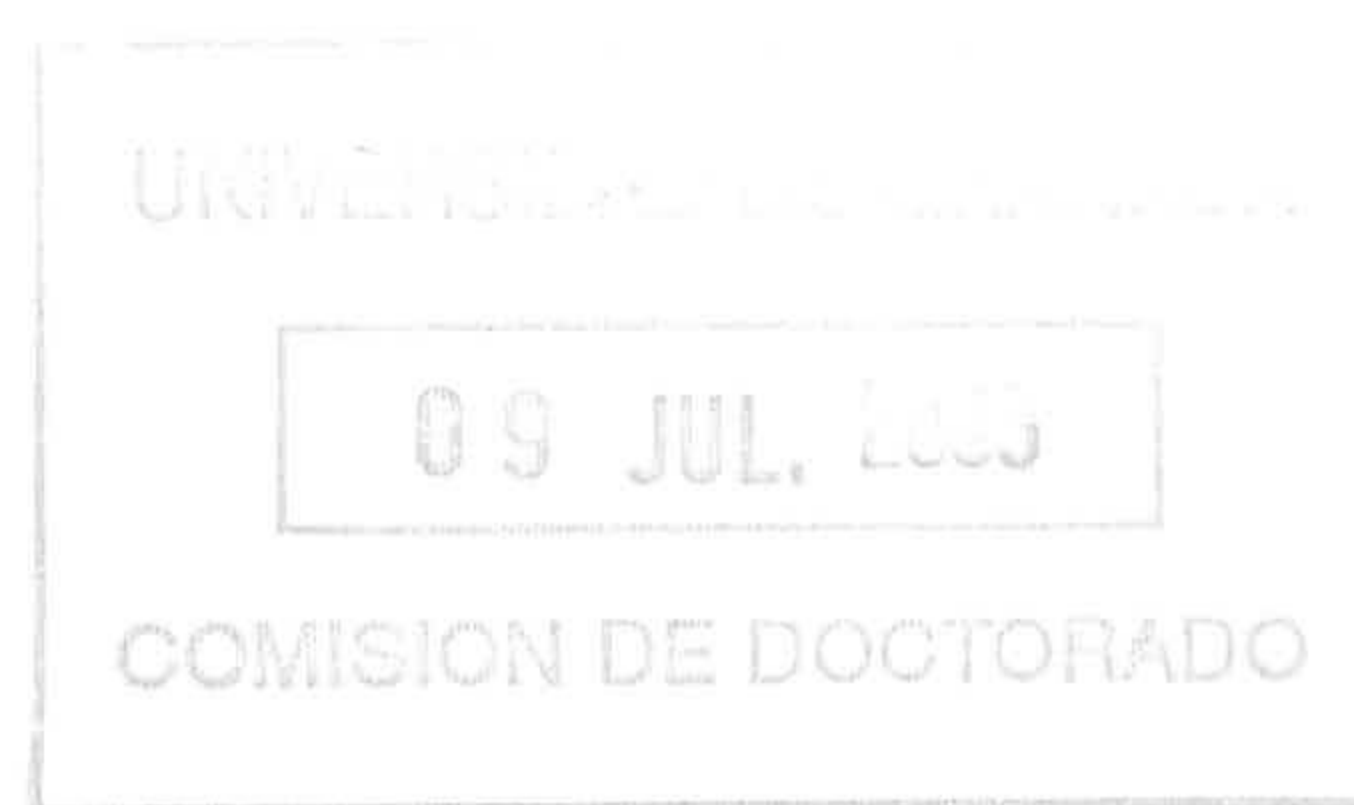
$$\delta_m = \frac{R_m - R_{\text{SMOW}}}{R_{\text{SMOW}}} \times 10^3$$

donde R representa la relación entre el número de moléculas pesadas (moléculas del tipo DHO o $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$) y ligeras ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$) existentes en la muestra.

Debido a la mayor presión de vapor de las moléculas ligeras, la mayor parte de las aguas meteóricas del globo tienen valores δ negativos (las moléculas pesadas “viajan” más lentamente a lo largo del ciclo hidrológico).

Tabla - Resultados de los análisis de oxígeno-18.

PUNTO DE AGUA	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
Man. Meliones (bombeo)	-6,45
Agua del embalse	-5,45
S-2 SUP / 85 m	-6,10 / -6,66
S-3 SUP / 95 m	-6,37 / -6,40
S-4 SUP / 125 m	-4,56 / -6,53
S-5 SUP / 85 m	-5,07 / -6,65
S-6 SUP / 100 m	-6,41 / -6,80
S-7 SUP / 85 m	-6,19 / -6,59
S-8 SUP / 115 m	-6,68 / -6,52
S-9 SUP / 85 m	-6,39 / -6,91
M-1 SUP / 85 m	-6,58 / -3 65
M-2 SUP / 210 m	-6,58 / -6,42
M-3 SUP / 140 m	-6,55 / -6,88
M-4 SUP / 220 m	-6,46 / -6,55
M-5 SUP / 250 m	-6,46 / -6,48
M-6 SUP / 115 m	-6,44 / -6,61
M-8 SUP / 80 m	-6,19 / -6,41
M-9 SUP / 250 m	-6,41 / -3,91
M-10 SUP / 115 m	-6,61 / -6,05
M-11 SUP / 145 m	-6,69 / -6,65
M-12 SUP / 150 m	-6,82 / -6,48
M-13 a 143 m	-6,56
Manantial Cañaveralejo	-5,73
Fuente de Moisés	-6,27
Fuente Saladilla	-6,35
Fuente de los Enamorados	-6,43



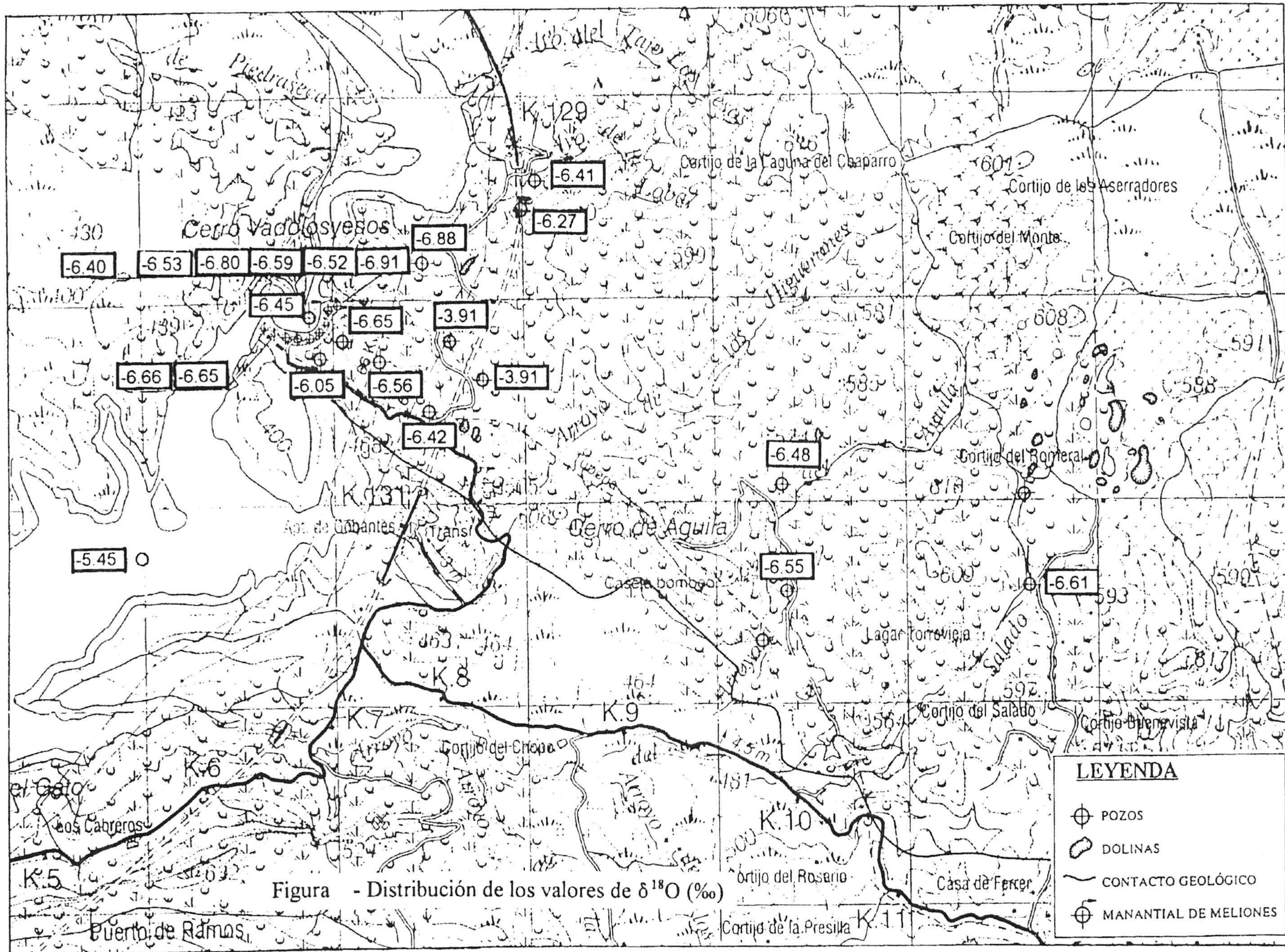


Figura - Distribución de los valores de $\delta^{18}O$ (‰)

En la zona de estudio no hay grandes diferencias de composición isotópica de las aguas subterráneas. Básicamente, las diferencias que podían esperarse derivan de las siguientes causas:

- 1) Evaporación de las aguas antes de su infiltración en el acuífero, la cual depende, lógicamente, de las condiciones locales de recarga. Si dentro del acuífero no se produce un buen mezclado de las aguas infiltradas en áreas diferentes, estas pueden conservar una “huella isotópica” diferente.
- 2) La composición isotópica de las precipitaciones de una determinada zona nunca tiene valores iguales, sino que depende del origen e historia de los frentes de nubes que las provocan. Por tanto, la composición isotópica media de las precipitaciones más recientes, por ejemplo, de los últimos 2 ó 3 años, puede ser diferente de la que tienen las aguas subterráneas que llevan almacenadas en el acuífero períodos de tiempo más largos.

En tales circunstancias, las pequeñas diferencias de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ resultan significativas. Se observa, en la mayor parte de los casos, que las muestras de agua tomadas en la superficie de la columna de agua dieron valores de $\delta^{18}\text{O}$ bastante menos negativos que las aguas profundas de los mismos sondeos. Esto se explica por el fraccionamiento isotópico producido por la evaporación del agua dentro del sondeo, que aunque es pequeño, resulta significativo por la casi ausencia total de flujo en la zona de la columna de agua (tubería de revestimiento no ranurada).

Lógicamente, a efectos de conexión hidráulica con el manantial de Meliones, las aguas profundas de los sondeos tienen mayor significado. La distribución de estos valores se muestra en la figura . Valores de $\delta^{18}\text{O}$ casi iguales al valor medido en el agua del manantial (agua de bombeo), fueron obtenidos en los niveles profundos de los sondeos M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, M-11, M-12 y M-13. Estos resultados indican que pueden estar conectados con el agua que aflora por el manantial. En cambio, los sondeos M-1, M-8, M-9 y M-10 no se encuentran conectados con dicho flujo.

Respecto a los sondeos situados en las proximidades del manantial, también hay cambios significativos del valor de $\delta^{18}\text{O}$. Considerando sólo los valores obtenidos para los niveles más profundos, los sondeos S-6 y S-9 no estarían conectados con el flujo del manantial. Los sondeos restantes sí pueden estarlo.

El valor de $\delta^{18}\text{O}$ obtenido para el agua del embalse (-5,45 ‰) se justifica plenamente por la evaporación del agua. El hecho de que el agua extraída por bombeo de la zona sea más negativa isotópicamente y parecida al agua de numerosos sondeos del acuífero, indica que la contribución del agua del embalse en el bombeo, de existir, es pequeña.

El manantial de Cañaveralejo contiene agua que ha experimentado una importante evaporación previa antes de su infiltración en el acuífero. Se trata de un agua diferente a la que alimenta a los manantiales de Meliones. Las fuentes Saladilla, Moisés y de los Enamorados tienen valores de $\delta^{18}\text{O}$ más parecidos al manantial de Meliones que a la fuente de Cañaveralejo.

III.4.4.4.5. TRITIO DE ORIGEN TERMONUCLEAR

Para poder interpretar de forma correcta las concentraciones de tritio obtenidas, es necesario conocer las concentraciones de las precipitaciones de la zona del estudio durante los últimos 45 años, es decir, desde la fecha en que se iniciaron los ensayos termonucleares en la atmósfera. No existen medidas directas de la concentración de tritio en las precipitaciones de esta zona. Sin embargo, la experiencia que se tiene sobre la distribución de la concentración de tritio en las precipitaciones, a escala global y, sobre todo, las medidas directas realizadas por el CEDEX, desde el año 1970, en diferentes zonas de la Península Ibérica, demuestran que dichas concentraciones sólo han experimentado variaciones pequeñas. Gracias a ello y a los datos obtenidos para las estaciones de Madrid y Barcelona, a partir del año antes citado, es fácil reconstruir la curva de distribución de

Tabla Resultados de las concentraciones de tritio de las muestras analizadas.

MUESTRA	CONCENTRACION (UT)	MUESTRA	CONCENTRACION (UT)
M-1 200 m	0,54 ± 0,23	S-3 95 m	6,1 ± 0,31
M-2 210 m	6,2 ± 0,31	S-4 125 m	5,9 ± 0,31
M-4 220 m	1,5 ± 0,24	S-5 sup.	6,0 ± 0,31
M-5 250 m	3,76 ± 0,30	S-5 85 m	7,1 ± 0,32
M-6 155 m	5,6 ± 0,32	S-6 sup	6,6 ± 0,33
M-8 80 m	0,67 ± 0,23	S-6 100 m	6,5 ± 0,32
M-9 250 m	3,95 ± 0,25	S-7 sup.	5,7 ± 0,31
M-10 115 m	0,80 ± 0,24	S-7 85 m	7,4 ± 0,33
M-11 145 m	10,8 ± 0,36	S-8 sup.	4,3 ± 0,30
M-13 143 m	3,6 ± 0,29	S-8 115 m	8,5 ± 0,34
Man. Meliones	6,9 ± 0,31	S-9 sup.	5,3 ± 0,30
S-2 sup.	0,09 ± 0,24	S-9 85 m	7,2 ± 0,32
S-2 85 m	6,1 ± 0,30		

tritio en las precipitaciones de cualquier punto de España, con un error pequeño. Los datos para el período anterior al año 1970, se determinaron haciendo uso del modelo general de distribución del tritio en las precipitaciones, que para el Hemisferio Norte es un modelo único, ya que esta distribución ha sido determinada, de forma general, por la intensidad y frecuencia de los ensayos nucleares realizados desde 1952 y estos han sido los mismos para todo el globo.

Las concentraciones de tritio, en las precipitaciones de Madrid se incluyen en la tabla (columna 3), junto con el modelo válido para todo el Hemisferio Norte obtenido por A. Plata a partir de los datos de más de 50 estaciones publicados por el OIEA (columna 2). Este modelo es similar a otros usados con la misma finalidad, tales como el de Viena o el de Ottawa. Los valores de la tabla corresponden a las concentraciones medias anuales ponderadas. La columna 5 muestra los factores de proporcionalidad obtenidos dividiendo los datos de la columna 2 por los valores medios de las concentraciones de Madrid y

Tabla Concentraciones de tritio determinadas para las precipitaciones medias anuales de la zona del estudio.

AÑO	MODELO PARA HEM. NORTE (o/oo) (1)	CONC. PRECIP. MADRID (U.T.) (2)	FACTOR CONVERSION	CONC. PRECIP. ZONA ESTUDIO (U.T.)
1953	8.4			13.4 (1.3)
1954	91.5			145.4 (14.8)
1955	13.2			20.9 (2.3)
1956	58.5			92.9 (10.6)
1957	37.6			59.7 (7.2)
1958	186.8			296.9 (37.7)
1959	146.6			232.9 (31.3)
1960	50.7			80.6 (11.4)
1961	53.6			85.2 (12.8)
1962	276.6			439.4 (69.8)
1963	1000.0			1588.8 (266.7)
1964	538.1			855.0 (151.8)
1965	273.0			433.7 (81.4)
1966	183.2			291.0 (57.8)
1967	106.3			168.8 (35.4)
1968	81.1			128.8 (28.6)
1969	76.8			122.0 (28.6)
1970	65.4	104.6		104.6 (25.9)
1971	78.5	153.2	0.554	153.2 (40.2)
1972	41.8	51.4	0.761	51.4 (14.3)
1973	37.0	64.8	0.637	64.8 (19.0)
1974	41.6	67.1	0.700	67.1 (20.8)
1975	35.4	38.7	0.755	38.7 (12.7)
1976	27.8	31.2	0.793	31.9 (10.8)
1977	24.8	39.5	0.661	39.5 (14.5)
1978	27.5	44.7	0.592	44.7 (17.3)
1979	16.5	21.9	0.644	21.9 (9.0)
1980	14.5	33.5	0.482	33.5 (14.5)
1981	15.7	41.5	0.422	41.5 (19.0)
1982	10.9	14.5	0.753	14.5 (7.0)
1983	9.5	11.6	0.815	11.6 (5.9)
1984	7.5	18.6	0.503	18.6 (10.1)
1985	7.3	11.5	0.453	11.5 (6.6)
1986	7.2	37.6		37.6 (22.8)
1987	6.7	10.4	0.656	10.4 (6.7)
1988	6.3	12.3		12.3 (8.3)
1989	7.4	10.8		10.8 (7.7)
1990	5.3			8.4 (6.3)
1991	5.4	8.5	0.519	8.5 (6.8)
1992	5*	8.3		8.3 (6.3)
1993	5*	9.1		9.1 (7.3)
1994		7.1		7.1 (6.0)
1995		6.9		6.9 (6.2)
1996		6.6		6.6 (6.3)

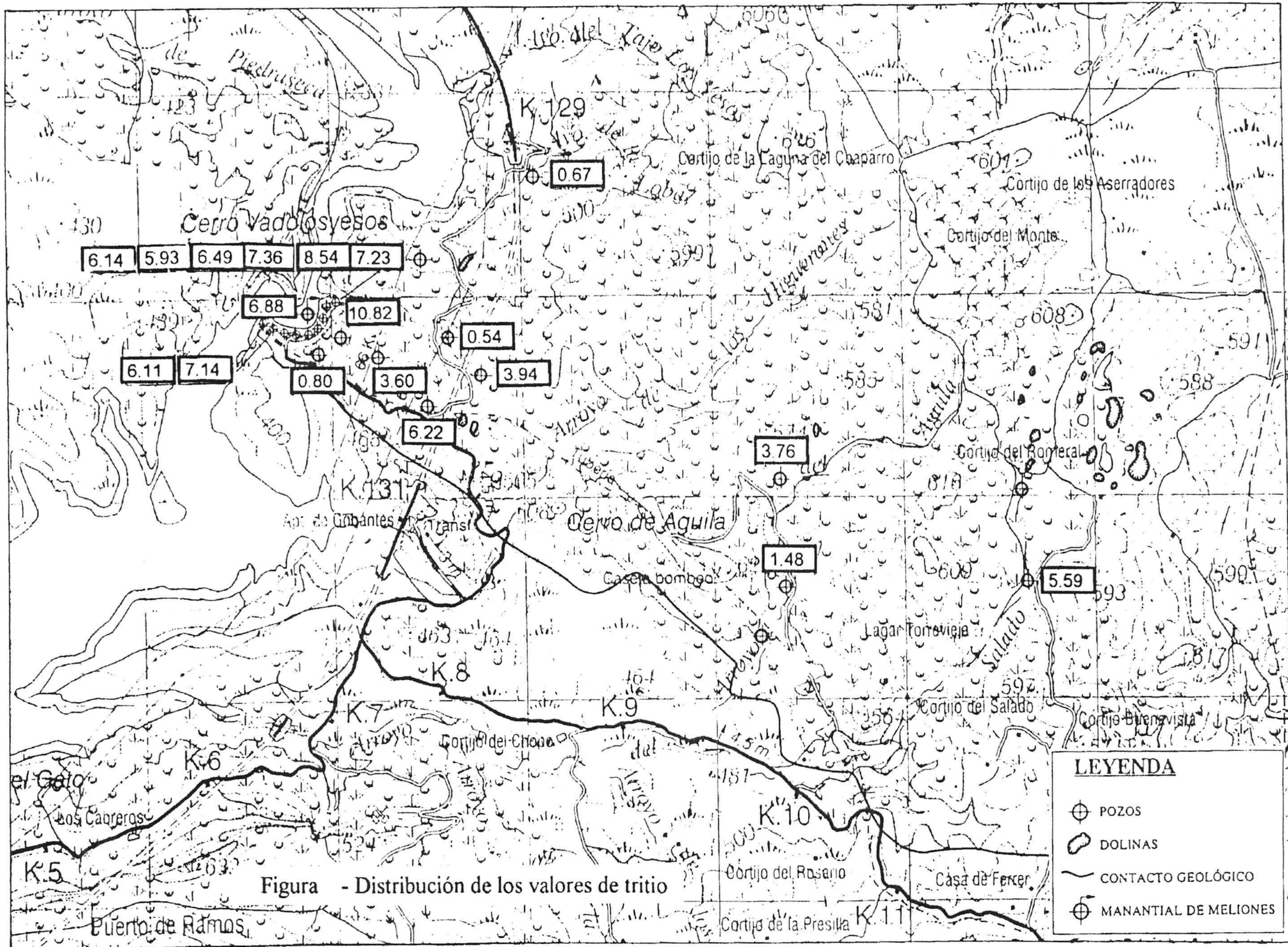


Figura - Distribución de los valores de tritio

Barcelona (columnas 3 y 4). Se obtiene un factor medio igual a 0,629, el cual se ha utilizado para calcular las concentraciones correspondientes a los años para los cuales no se tienen datos de concentración. Se llega así a los valores de la columna 6, que reflejan las concentraciones de tritio, calculadas para la zona del estudio, durante el período comprendido entre 1953 y 1993.

La figura muestra las concentraciones de tritio indicadas en la última columna de la tabla , comparados con el modelo general para el Hemisferio Norte y alguno valores de las precipitaciones de los últimos años en Portugal y en otros puntos de España.

Los datos de la tabla indican que las concentraciones medias anuales de tritio, en las precipitaciones de la Península Ibérica, han sido superiores a unas 6 UT en los últimos 45 años. Esto es válido, incluso, para los valores de concentración corregidos por desintegración radiactiva del tritio, hasta el año 1997, se muestran, entre paréntesis, en la última columna de la tabla. La concentración alcanzó un valor máximo, aproximado, de 1589 UT en el año 1963, por causa de la gran cantidad de “megatones nucleares” explosionados en la atmósfera durante el año anterior.

La distribución de tritio se muestra en la figura .

La concentración de tritio obtenida para el agua extraída por bombeo de la zona del manantial ($6,90 \pm 0,31$ UT), es muy parecida a la media obtenida en las precipitaciones de Madrid, del período 1987 a 1996, como puede verse en la tabla (valores corregidos por desintegración radiactiva). Por tanto, puede afirmarse que el agua del manantial procede, en su mayor parte, de las precipitaciones de los últimos 10 años. La posibilidad de que la concentración de 6,9 UT pueda proceder del mezclado de aguas anteriores al año 1953 con aguas posteriores a este año hay que desecharla.

Lo contrario sucede en las muestras M-1 (200 m), M-4 (220 m), M-5 (250 m), M-6 (155 m), M-8 (80 m), M-9 (250 m), M-10 (115 m) y S-13 (143m). En todos estos sondeos el tritio es inferior al de las precipitaciones medias de los últimos 40 años, lo cual puede explicarse admitiendo la presencia de aguas infiltradas con anterioridad al año 1956,

mezcladas con otras posteriores a este año. Por tanto, resulta claro que existen aguas antiguas, de lenta renovación, de forma que los sondeos correspondientes no interceptan el flujo subterráneo que alimenta al manantial de Meliones. Este debe ser un flujo muy concentrado, localizado en áreas de karstificación y fracturación de la formación evaporítica.

Los sondeos S-3 (95 m), M-11 (145 m) dieron concentraciones de tritio superiores a las de las precipitaciones medias de los últimos 10 años, lo cual indica que en estos puntos hay todavía aguas almacenadas, procedentes de anteriores precipitaciones. Es indicativo, asimismo, de una renovación lenta del agua, por tanto, de que estos sondeos tampoco han interceptado el flujo que drena por el manantial de Meliones.

Los puntos restantes: sondeos S-2 (85 m), S-3 (95 m), S-4 (125 m), S-5 (85 m), S-7 (85 m), M-2 (210 m) y M-6 (155 m), dieron valores de tritio similares al de las aguas del manantial de Meliones. En el caso de los sondeos de referencia S, esto resulta normal, por encontrarse en la misma zona del manantial. La única excepción de éstos corresponde al agua de superficie del sondeo S-2 (prácticamente no contiene tritio). El caso de la muestra M-2 se ha visto confirmada por la experiencia de interconexión que se describirá más adelante.

El hecho de que el agua del manantial proceda de las precipitaciones de los últimos 10 años, indica que la capacidad del almacenamiento subterráneo, inducida por dicho manantial, no puede ser muy grande, y aproximadamente equivale al volumen de agua drenado por dicho manantial durante este período, tomado un caudal medio de 40 l/s, ascendería a 12,6 Hm³.

III.4.4.4.6. MEDIDA DE FLUJOS EN SONDEOS

Los flujos existentes en el interior de los sondeos fueron estudiados marcando las aguas con ^{131}I . Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo , donde se indican los diferentes perfiles de concentración del ^{131}I , obtenidos a diferentes intervalos de tiempo, después de efectuada la inyección del mismo.

El análisis de estos perfiles permite hacer las siguientes observaciones:

Sondeo M-2

En este sondeo se produjo una pérdida de trazador entre 162 metros y el fondo, a pesar de que el tramo ranurado sólo se encuentra por debajo de 192 metros. La única explicación es que entre agua a través de alguna junta del entubamiento.

Sondeo M-4

En este sondeo no se detecta flujo alguno, lo cual concuerda con la ausencia de tramos ranurados. Estos se encontraban tapados por los sedimentos. Los picos de concentración que se observan en los perfiles se deben a una irregular distribución del trazador durante la inyección.

Sondeo M-6

En este sondeo se observa un flujo importante entre 150 y 160 metros de profundidad, que coincide con la posición de la rejilla. En el resto de la columna, no hay flujo.

Sondeo M-10

El tramo de este sondeo se encontraba cubierto por los sedimentos. Se aprecia una pequeña entrada de agua a unos 50 metros, que ocasiona un flujo vertical descendente de escasa magnitud.

Sondeo M-11

En este sondeo, se produjo una pérdida total y rápida del trazador entre 133 y 150 metros de profundidad, que coincide sólo aproximadamente con el filtro.

Sondeo M-13

En este sondeo se puso de manifiesto la ausencia de flujo. La concentración de ^{131}I no se modificó durante un período de 17 horas.

Sondeo S-2

En el sondeo se aprecia un pequeño flujo de agua en los dos tramos ranurados, situados entre 70 y 80 m. y entre 86 y 87 m. (véase esquema del sondeo en Anexo). La velocidad del flujo es menor de 1 cm/día.

Sondeo S-3

No se observa la existencia de flujo alguno en el tramo de filtro comprendido entre 85 y 144 metros. A una profundidad de 41 metros hay una pequeña entrada de agua, posiblemente, a través de alguna junta, que ocasiona un flujo vertical descendente de escasa magnitud.

Sondeo S-4

Sondeo en el que no se aprecia flujo alguno. Los máximos y mínimos de concentración se deben a defecto de la inyección del trazador.

Sondeo S-6 y S-7

Lo mismo que en el caso anterior, no se detectó flujo alguno en ambos sondeos.

Sondeo S-8

Se detectaron pequeños flujos en tramos situados a las profundidades medias de 54, 62 y 76 a 84 metros. La velocidad del flujo es inferior a 5 cm/día.

Sondeo S-9

La situación de este sondeo fue muy parecida a la del sondeo S-8, con pequeños flujos a 53, 57, 66 y 73 metros de profundidad. La velocidad de estos flujos fue inferior a 1 cm/d.

III.4.4.7. EXPERIENCIAS DE INTERCONEXIÓN

III.4.4.7.1. INYECCIÓN DE TRAZADOR EN EL SONDEO M-11

Como se ha visto en el apartado anterior, el ensayo de marcado toda la columna de agua, realizado en este sondeo, utilizando ^{131}I , reflejó una pérdida total y muy rápida de este trazador en el tramo comprendido entre 188 y 240 metros. Por tanto, es de suponer que era debido a la existencia, en dicho tramo, de un flujo rápido de agua. Obviamente, si era así debió existir una conexión hidráulica entre el tramo del sondeo y el manantial de Meliones, que se encuentra sólo a unos 200 metros de distancia.

Con el objeto de estudiar esta conexión hidráulica, se inyectaron 2 kg. de rodamina B disuelta en agua en este tramo del sondeo. La inyección se realizó con una manguera de plástico introducida hasta esta profundidad. Después de realizada la inyección del trazador, se vertieron por la boca del sondeo unos 3.000 litros de agua, con el fin de facilitar su arrastre inicial.

La toma de muestras del agua bombeada en la zona del manantial se inició inmediatamente después de la inyección, porque podía esperarse una salida muy rápida del trazador. Al principio, se tomaron muestras cada 5 minutos y, posteriormente, al ver que el trazador no llegaba, el intervalo de muestreo se fue incrementando de forma progresiva. El

experimento se prolongó durante 20 días y el trazador no fue detectado en el agua del manantial. Un día después de la inyección del trazador, se vertieron unos 6.000 litros de agua adicionales, por la boca del sondeo, con resultado infructuoso.

El resultado negativo de la experiencia quedó explicado con posterioridad cuando se conoció la concentración de tritio en el agua profunda del sondeo. El valor obtenido de 10,8 UT, indica inequívocamente que esta agua es varios años más antigua que el agua del manantial. Sin embargo, tanto la composición isotópica, como el nivel piezométrico, señalan que el sondeo está conectado, hidráulicamente, con el flujo que alimenta al manantial, pero en una zona de lenta renovación del agua. Con esta seguridad, si se hubiera inyectado más agua en el sondeo el trazador habría salido por el manantial.

III.4.4.4.7.2. INYECCIÓN DE TRAZADOR EN EL SONDEO M-2

Lo mismo que ocurrió en el sondeo M-11, en el sondeo M-2 se apreció también una pérdida total y rápida del ^{131}I inyectado, para marcado de toda la columna de agua. En este caso, se inyectaron 2 kg. de uranina (sal sódica de la fluoresceína), con el fin de que no interfiriera la inyección realizada en el sondeo M-11. El experimento se realizó, asimismo, por medio de una manguera introducida hasta 140 metros. Los flujos en el sondeo se encontraban entre 162 metros y el fondo. Pero, el agua inyectada seguidamente por la boca, arrastraría al trazador hasta la zona donde se encontraba el flujo. El volumen de agua inyectado fue de unos 6.000 litros.

En este caso, el resultado fue positivo. El trazador llegó al manantial (agua de bombeo) según la curva que se muestra en la figura . La primera llegada se observó a las 28 horas de realizada la inyección. Unas pocas horas más tarde, se alcanzó la concentración máxima y, a partir de aquí, se detectó una larga cola que duró unas 200 horas.

El área de la curva de la figura corresponde, aproximadamente, a la de un rectángulo de altura equivalente a una concentración de 25 mg/m^3 y una base equivalente a 133 horas.

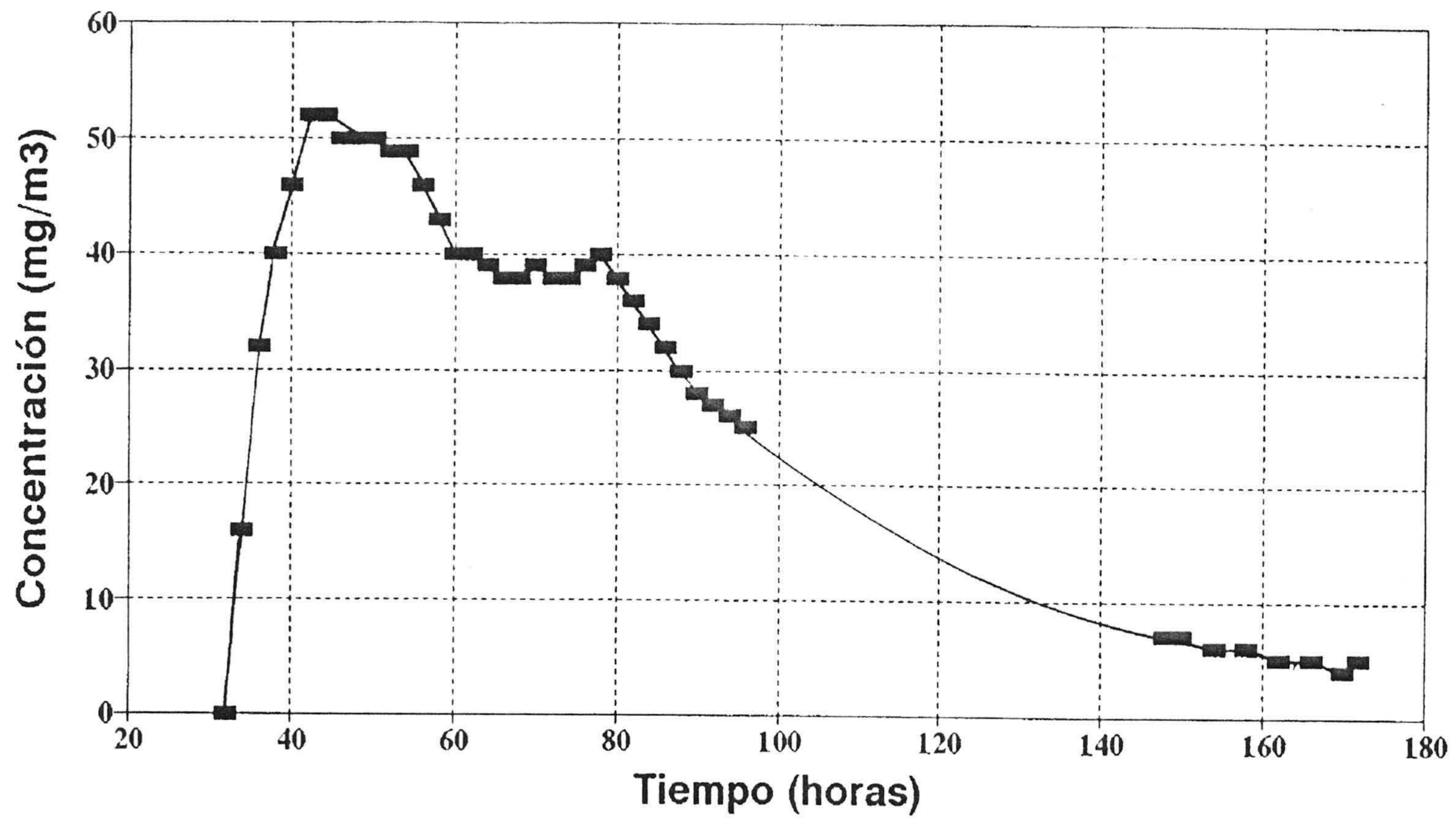


Figura Curva de salida por el bombeo de la fuoresceina inyectada en el pozo Meliones-2

Suponiendo un caudal de bombeo de 50 l/s, el volumen de agua extraído durante 133 horas asciende a 23.940 m³. Teniendo en cuenta la concentración media anterior, se tiene una masa de trazador recuperado igual a 598 gramos. Es decir, sólo se recuperó, aproximadamente, el 30 % del trazador inyectado. El resto del trazador no llegó a salir por el agua bombeada ni, probablemente, tampoco por otros afloramientos de la zona de bombeo. Lo más probable es que el resto del trazador quedó retenido en las proximidades del punto de inyección alrededor del sondeo e, incluso, dentro de éste, debido a que el volumen de agua inyectado después del trazador fue insuficiente para incorporar la totalidad del mismo al flujo subterráneo que alimenta al manantial. Esta hipótesis se basa en la forma de la curva de la figura . La elevación de esta curva que se apreció al cabo de unas 70 horas fue, posiblemente, debida a una nueva inyección de agua de 3.000 litros de volumen efectuada un día después de la inyección del trazador. Por tanto, si se hubiera inyectado un volumen de agua mayor, la recuperación del trazador habría sido completa. En cualquier caso, la experiencia demostró que el sondeo M-2 intercepta el flujo subterráneo que aflora por el manantial.

III.5. EDAFOLOGÍA

III.5.1. INTRODUCCIÓN

El estudio edafológico tiene un triple fin. Primero, conocer la composición pediónica de la cubierta edáfica, que se traduce en el levantamiento del mapa correspondiente con un total de 20 unidades cartográficas (Fig.).

En segundo lugar se pretende analizar el paso del agua a través del suelo agrícola y si afecta a la composición química de las aguas embalsadas. Finalmente, pretendemos comprobar el efecto que sobre el suelo tiene el uso de este agua.

III.5.2. RESULTADOS ANALÍTICOS Y DISCUSIÓN

Se incluyen como modelo 4 perfiles, que pueden considerarse como los suelos centrales del conjunto pediónico: Calcisol epipétrico (P-1038-1); Vertisol sálico (P-1038-2); Regosol hiposálico (P-1038-3) Leptosol calcárico (P-1038-4).

Se trata de suelos con escaso desarrollo y por tanto íntimamente ligados al material original, del que heredan el color y la textura, fundamentalmente.

Los suelos menos evolucionados son los Leptosoles calcáricos, que desarrollan sobre dolomías y calizas jurásicas, asociados a unidades líticas.

Sobre calcarenitas y areniscas los Leptosoles son igualmente calcáricos pero tienden a desarrollarse más en profundidad, dando Regosoles lépticos (calcáricos). Todos ellos suelen mantener la vegetación climácica, que en algunos casos, muy puntuales, permiten el desarrollo de un horizonte móllico, no cartografiado por su escasa extensión.

Los suelos más fértiles se dedican a olivar o cultivos semillados y componen un polipedión suma de Regosoles calcáricos (vérticos) y Vertisoles eútricos que pueden ser crómicos.

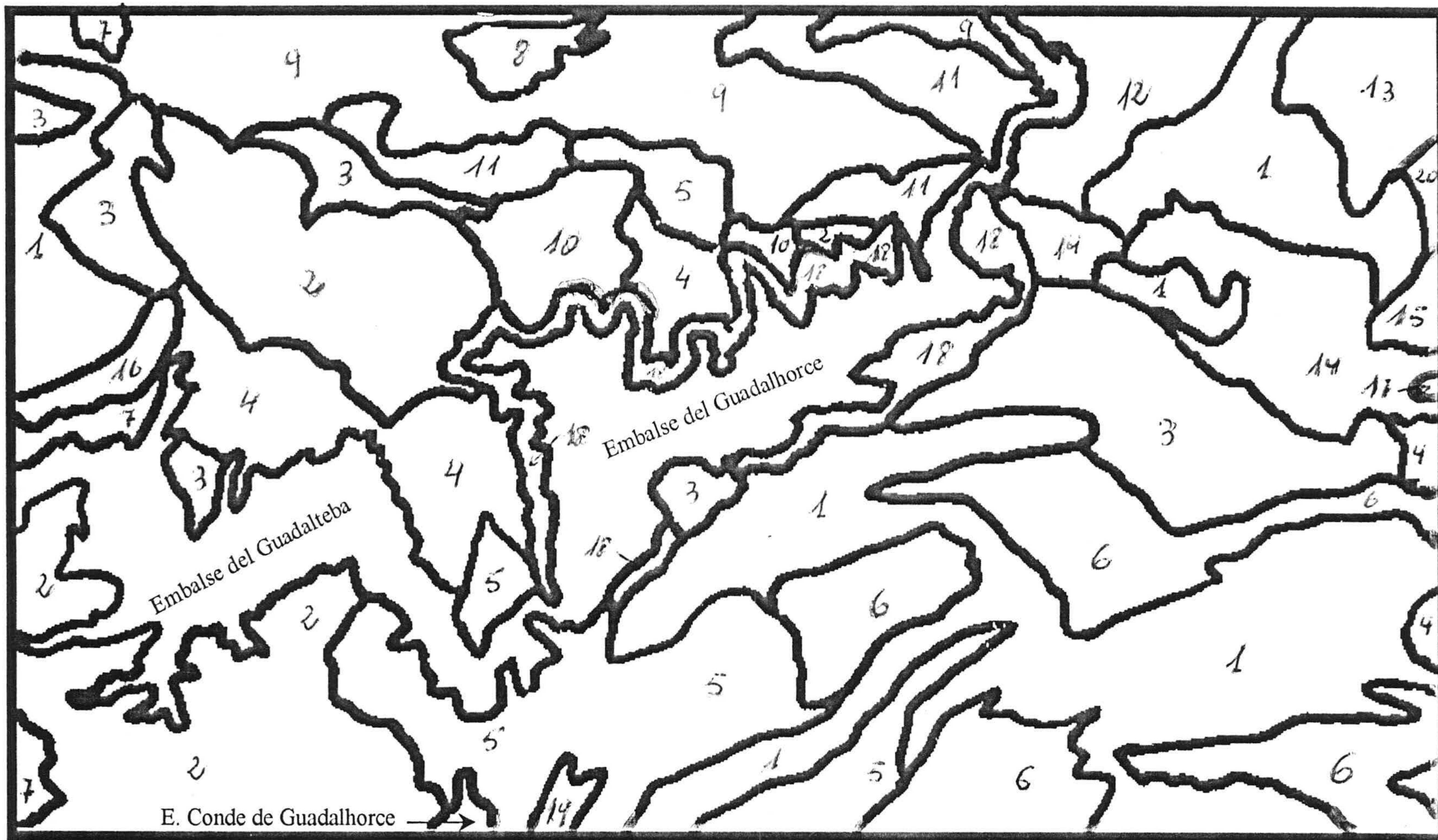


Figura Mapa de suelos.

Son suelos con elevado porcentaje en arcillas hinchables y de ahí su alta capacidad de cambio y los rasgos vérticos que presentan los suelos.

La posición fisiográfica determina el desarrollo del horizonte vértico que diferencia a ambas unidades de suelos. En las laderas, los procesos erosivos son de tipo hídrico y muy importantes (surcos, cárcavas, deslizamientos en masa, etc.), incentivando los procesos de rejuvenecimiento sobre la edafogénesis.

Los Vertisoles (topomorfos), están situados en las depresiones e incrementan su potencia con los aportes procedentes de los terrenos regosólicos limítrofes, permitiendo a su vez el desarrollo del horizonte diagnóstico que da entidad a la unidad de suelos. Son calcáricos y litocromos pudiendo presentar, en situaciones muy concretas, un horizonte endohipocálcico.

Los materiales cuaternarios más antiguos (pleistocenos), se caracterizan por el alto contenido en clastos respecto de la matriz arcillosa y normalmente rojiza. Suelen mostrar un fuerte encostramiento a distintas profundidades (epipetrocálcicos y endopetrocálcicos). Se dedican a cultivos múltiples: cereales, almendros y olivos. Si el encostramiento es fuerte y superficial o la pedregosidad es muy alta se mantiene la vegetación natural xerofítica.

Alternando con los suelos anteriores hay otros Calcisoles sin encostramientos que se cartografían como Calcisoles háplicos o hipercálcicos, y mantienen el mismo uso que los de la superficie anterior.

Las zonas aluviales más recientes (Fluvisoles calcáricos), se sitúan en el valle del río Guadalhorce y están prácticamente ausentes en el área de estudio.

En general son suelos sin grandes problemas de génesis y uso, salvo el conflicto que puede presentarse cuando se riegan con aguas del embalse del Guadalhorce, que por su salobridad el sodio empiezan a afectar al complejo de cambio (<5%), tal como se describe en

LUCDEME (2003): “la presencia de sodio, en cantidad media, hace que exista una cierta alcalinidad que puede traducirse en $\text{pH} > 8.5$, con una conductividad eléctrica alta pero sin llegar a valores preocupantes”.

La salinidad es un hecho visible por las eflorescencias blanquecinas que aparecen en el suelo cuando se seca. Ahora bien, el valor de la conductividad eléctrica no es aún preocupante (suelos hiposálicos a sálicos), ya que en el mejor de los casos están en el rango de diagnóstico límite para ser considerado como sálico ($\text{CE} > 8 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ y $\text{pH} > 8.5$).

Como resumen del proceso general de salinización presentamos el esquema de la figura ____. En ella vemos que la formación del Trias de Antequera está coronada por materiales cuaternarios ricos en clastos y representa en dominio de los Calcisoles (hipercálicos, petrocálicos y lúvicos). Si por la dinámica neotectónica se desmantela la cobertura cuaternaria los suelos pueden presentar rasgos gipsíricos.

El agua de lluvia penetra y circula a través de los materiales triásicos dando un lixiviado inicialmente selenitoso, que pasa en profundidad a salobre y es el responsable de la salinización del embalse e indirectamente del suelo. Esta última incidencia está relacionada con la textura y naturaleza de las arcillas, pH y CE del suelo, y la relación de elementos alcalinos y alcalinotérreos, que al ser muy baja impide la alcalinización importante de los suelos.

III.5.3. LEYENDA DEL MAPA Y DESCRIPCIÓN DE UNIDADES

UNIDAD 1

Regosoles calcáricos y Leptosoles calcáricos con inclusión de Regosoles lépticos.

Engloba terrenos montañosos compuestos de materiales del Subbético interno y edad jurásica, sin descartar otros afloramientos, como en el Cerro del Águila, que pertenecen al Trias y se trata de caliza oolíticas y pisolíticas que alternan con bancos dolomíticos. También se relaciona con margocalizas y areniscas de distintas edades.

La consistencia y estabilidad litológica son las responsables del dominio de los Leptosoles dentro de la unidad. En algunos puntos la erosión es menos intensa y los suelos pueden presentar circunstancialmente horizonte móllico.

Donde la estabilidad del roquedo es menos importante los suelos aumentan su potencia y se cartografían como Regosoles lépticos, que son todos ellos calcáricos, presentando gravas y piedras en cantidades diferentes.

UNIDAD 2

Unidad de Regosoles calcáricos y Vertisoles eútricos con inclusión de Leptosoles calcáricos.

Define un terreno fuertemente ondulado relacionado con formaciones margosas y arcillas de colores pardos a pardorojizos, que incluyen bloques areniscos coronando los relieves.

Los suelos son litocromos y dada la textura del material original suelen presentar propiedades vérticas, cuya intensidad depende de la posición fisiográfica.

En las zonas de cumbres se ubican los Leptosoles calcáricos y en las laderas los Regosoles calcáricos (vérticos), situándose los Vertisoles en las depresiones.

El elevado porcentaje en arcillas hinchables matiza el uso de los suelos, los riesgos de salinización y sodización, marcando además la estabilidad del terreno: son frecuentes los deslizamientos de ladera, desprendimientos de los taludes en las carreteras y la formación de surcos y cárcavas.

El cultivo preferente es el olivo, sobre todo donde la topografía favorece el drenaje, como sucede en laderas con suelos regosólicos, mientras que en las vaguadas proliferan los cultivos semillados: cereales, leguminosas, girasoles, etc.

UNIDAD 3

Unidad de Regosoles calcáricos y leptosólicos con inclusión de Vertisoles eútricos.

Enmarca una superficie de litología compleja, producto de la superposición de facies areniscosas con niveles de margas grises o cantos paleozoicos.

Los suelos heredan muchos rasgos de la roca: color, textura, pedregosidad, contenido en carbonatos, etc.

Los suelos dominantes son los Regosoles calcáricos y los Regosoles lépticos (calcáricos). Los primeros presentan rasgos vérticos y son muy susceptibles a la erosión hídrica, cultivándose con olivos y almendros.

Los Vertisoles se reducen a las vaguadas y se cultivan con cereales y leguminosas. Los Leptosoles se asocian con los afloramientos pétreos y mantiene la vegetación climática.

UNIDAD 4

Regosoles calcáricos con inclusiones de Vertisoles eútricos y Calcisoles háplicos.

La unidad se ciñe a unos materiales mezcla de arcillas y margas policromas con niveles areniscosos.

El terreno presenta un relieve variado cuyas pendientes van de casi llanas a moderadamente escarpadas y pueden llegar a fuertemente escarpadas.

El suelo dominante es el Regosol calcárico y desarrolla sobre las margas, sucediéndole en la zonas de relieve más suave los Vertisoles eútricos, que muy circunstancialmente pueden tener horizonte hipocálcico.

Los Calcisoles son háplicos o hipercálcicos y coinciden con pequeñas áreas residuales que han quedado aisladas y son perfectamente reconocibles en el paisaje.

El uso es el clásico para todos los suelos de la zona: olivo, almendros y cereales en los Calcisoles; olivos en los Regosoles y semillados en las vaguadas.

UNIDAD 5

Leptosoles cálcicos y líticos con inclusiones de Regosoles calcáricos.

Los suelos parten de una arenisca heterométrica con alto contenido en cuarzo, asociada a calcarenitas y margas versicolores.

Los suelos son de poco espesor dada la estabilidad del roquedo y la pendientes, que incentivan los procesos erosivos provocando en constante rejuvenecimiento de los suelos (Leptosoles calcáricos y líticos). La vegetación la compone un matorral con palmitos, aulagas y romero, asociados a repoblación de pinos.

Los Regosoles coinciden con los afloramientos margosos y se cultivan con almendros y olivos.

UNIDAD 6

Unidad de Regosoles lépticos y Leptosoles calcáricos con inclusiones de Cambisoles y Regosoles calcáricos.

Conecta con la unidades 1 y 5, desmarcándose de ellas por el color rojizo de los suelos (crómicos), que lleva a la formación de Cambisoles calcáricos donde la protección contra la erosión y la humedad ambiental es mayor.

Es un terreno entre moderadamente escarpado y escarpado, cubierto por un matorral de escasa entidad que no disminuye la acción erosiva del agua de lluvia. Los suelos son

litocromos y desarrollan sobre margas o calizas rojas, presentando desigual potencia de ahí la doble presencia de Regosoles lépticos y calcáricos.

UNIDAD 7

Unidad de Calcisoles háplicos y pétricos con inclusión de Regosoles calcáricos y Leptosoles hiperesqueléticos.

Esta muy extendida por toda el área y lo hace de forma discontinua, componiendo superficies suavemente inclinadas situadas en el borde de los escarpes de los relieves del Subbético interno.

Está formada por cantos heterométricos carbonáticos incluidos en una matriz fina. El contenido en arcilla, respecto de los granos de esqueleto, permite diferenciar cuatro subunidades de suelos: Regosoles calcáricos (esqueléticos) y Leptosoles hiperesqueléticos, donde la matriz es escasa y el coluvio grosero.

Cuando la matriz es más arcillosa puede desarrollar un horizonte cálcico, que genera dos tipos de Calcisoles: háplicos y pétricos.

Los suelos están prácticamente sin cultivar salvo pequeñas lagunas con olivos y cereales, presentando el resto una vegetación rala xerofítica.

UNIDAD 8

Unidad de Calcisoles lúvicos y epipétricos.

Sólo se ha cartografiado una pequeña mancha a la altura de Viña Grande, dentro de la masa de Trias. Es una superficie casi plana, de color rojo, y los suelos tiene horizonte petrocálcico que puede estar asociado a un antiguo Luvisol (Calcisol lúvico) o si ha

desaparecido prácticamente el horizonte árgico, por terrificación antrópica, se generan Calcisoles epipétricos.

Actualmente se están roturando los suelos y destruyendo el horizonte pétrico para poner olivos.

UNIDAD 9

Unidad de Calcisoles háplicos con inclusión de Regosoles lépticos y Regosoles calcáricos.

Cubre gran parte del sector septentrional del mapa y desarrollan los suelos sobre areniscas, arcillas o brechas del Trias de Antequera.

Los Calcisoles háplicos tienen un horizonte cálcico situado, normalmente, por encima de los 50 cm. Excepcionalmente este horizonte diagnóstico puede ser catalogado como hipercálcico y a veces está cementado (petrocálcico).

Sobre las arcillas y margas pueden desarrollar Regosoles calcáricos, mientras que los Leptosoles hay que asimilarlos con las brechas.

En general son suelos de poco valor agrícola, pero a pesar de ello se cultivan cereales y actualmente se ponen olivos .

UNIDAD 10

Unidad de Vertisoles eútricos con inclusión de Regosoles calcáricos.

El flanco norte de los embalses de Guadalteba y Guadalhorce está salpicado por manchas edáficas cuyo suelo central es el Vertisol eútrico. Se diferencia de las unidades 2 y 4 por la mayor extensión de los Vertisoles que solo desaparecen donde las pendientes se inclinan o hay afloramientos areniscosos, dando lugar a los Regosoles calcáricos (vérticos).

Los Vertisoles ocupan un terreno muy suave con litología rica en arcillas o margas de tonos claros y a veces rojos, pertenecientes a Cretácico superior.

Estos suelos se cultivan con cereales y leguminosas. Tiene pH próximo a 8, alta capacidad de cambio y consistencia muy dura en seco, pasando a plástica y adherente en húmedo. La cantidad de fósforo varía de unos suelos a otros y el contenido en materia orgánica y potasio es moderadamente alto.

Son suelos calcáricos que no tienen horizonte cálcico o en el mejor de los casos se trataría de hipocálcico. Los suelos de regadío comienzan a presentar signos de salinidad y alcalinidad.

UNIDAD 11

Unidad de Regosoles y Cambisoles calcáricos con inclusión de Leptosoles calcáricos y Calcisoles háplicos.

Es semejante a la unidad 9 y se diferencia en el relieve que es más alomado y por aflorar bloques de calizas, dolomías, areniscas y carniolas, que marcan el dominio de los Leptosoles.

El resto de unidades desarrollan sobre arcillas y margas con matices rojizos, condicionados por diferentes intensidades y brillo.

Los Calcisoles son una prolongación de la unidad 9 y mantienen el mismo uso que en la mencionada unidad triásica.

Los Regosoles y Cambisoles calcáricos son crómicos y se diferencian en el horizonte cámbico, si bien este se caracteriza por pequeños cambios estructurales y de color, ubicándose en las zonas más resguardadas y de umbría.

UNIDAD 12

Unidad de Calcisoles háplicos con inclusión de Regosoles lépticos y Leptosoles líticos.

Se extiende al norte del embalse del río Guadalhorce, en su margen derecha, centrada en el Vado de los Yesos y llega hasta el tajo del arroyo de los Yesos.

Se puede considerar como una elongación de la unidad 9, donde se ha desmantelado, parcialmente, la cubierta cuaternaria que tapiza al Trias de Antequera, permitiendo el afloramiento de los materiales yesíferos que dan lugar a Regosoles lépticos y conformar dos subunidades: gipsírica y calcárica.

UNIDAD 13

Unidad de Calcisoles petrocálcicos con inclusión de Calcisoles hipercálcicos y lúvicos.

Se localiza en el sector septentrional del mapa, en la zona conocida como La Calderona. Es un terreno casi llano o ligeramente inclinado, fuertemente antropizado para poner olivos almendros y viñedos.

Es una unidad muy perturbada, de forma que afloran en superficie restos del horizonte petrocálcico, fuertemente fragmentado, marcando el matiz rojo de los suelos con el blanco de la pedregosidad derivada del horizonte petrocálcico.

El suelo dominante es el Calcisol pétrico y puede ir acompañado de uno o varios horizontes hipercálcicos. Donde el encostramiento no aparece los suelos se clasifican como Calcisoles hipercálcicos.

UNIDAD 14

Unidad de Regosoles calcáricos y lépticos con inclusión de Calcisoles haplicos y Leptosoles calcáricos.

Unidad próxima a los terrenos del Trias de Antequera y se diferencia de la unidades cartográficas que lo compone por la mayor presencia de afloramientos líticos, de ahí que se incrementen las unidades lépticas, representadas por intergrados entre Regosoles y Leptosoles calcáricos.

Se trata de un terreno colinado con pendientes entre suavemente inclinadas e inclinadas, dedicada a cultivos de almendros, cereales y olivos, quedando las superficies leptosólicas como zonas vírgenes que conservan un chaparral adhesado.

UNIDAD 15

Unidad de Regosoles calcáricos con inclusión de Calcisoles háplicos y Cambisoles calcáricos.

Se ubica al pie de la unidad 13 y está asociada a arcillas, margas y areniscas del Trias de Antequera, componiendo un relieve muy contrastado, siendo la pendiente más generalizada la que oscila entre el 10 y el 20 %. Se dedica, casi exclusivamente, a olivar y más matizadamente a almendros con cereales.

UNIDAD 16

Unidad de Vertisoles eútricos y Regosoles calcáricos con inclusión de Leptosoles calcáricos y Calcisoles hipercálicos.

Los suelos de la unidad desarrollan sobre margas multicolores, de edades diferentes, que presentan kilppes sedimentarios asociados con afloramientos puntuales de calcarenitas

semejantes a las del Cerro del Águila. Como todas las unidades vecinas la topografía marca la ordenación de las unidades con rasgo vérticos y limita su uso: olivar en los Regosoles calcáricos (vérticos) y leguminosas o girasoles en la zonas deprimidas.

En las partes cacuminales predominan los afloramientos líticos y los suelos se incluyen como Leptosoles calcáricos, conservando un matorral poco espeso y de escaso desarrollo. Los Calcisoles se posicionan en zonas coluviales y los rasgos más significativos son el preceptivo horizonte cálcico y la pedregosidad, hechos que limitan su uso agrícola.

UNIDAD 17

Unidad de Vertisoles eútricos y Regosoles calcáricos con inclusiones de Leptosoles calcáricos y Regosoles lépticos.

El polipedión que define la unidad esta muy próximo a la unidad 16 y se diferencian por los restos de mantos de corrimiento areniscosos que permanecen aislados por la erosión, dando suelos de mayor potencia.

Estas formaciones testigo aparecen discontinuas y formando bancos estratigráficos de espesor variable; se encuentran intercalados entre margas muy arcillosas de colores grises, más o menos oscuras, donde desarrollan los suelos vertisólicos.

La composición de las areniscas, según ITGE (1990), varía desde sublitarenitas a litarenitas muy inmaduras, con abundante cuarzo, marcando el ambiente leptosólico de la unidad.

Los suelos se cultivan casi exclusivamente con olivos, que sólo disminuyen su presencia en las vaguadas.

UNIDADES 18 Y 19

Unidad de Gléysoles endosálicos y Vertisoles sálicos con inclusión de Regosoles hiposálicos en la unidad 18 y Fluvisoles sálicos en la unidad 19.

Incluye el litoral que bordea al embalse del Guadalhorce y el desagüe del río respectivamente. Los suelos presentan distintos grados de salinidad y comienzan a afectar la calidad de los suelos de uso agrícola.

Los Regosoles tienen propiedades hiposálicas ($CE > 4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) y se asocian con los Vertisoles que constituyen intergrados entre hiposálicos y sálicos, que marcamos en el extremo salino para resaltar la importancia del problema.

El carácter dominante de los Gléysoles se atribuye al nivel de las aguas del embalse, de forma que los suelos arcillosos tienden a presentar signos de hidromorfia y simultáneamente aumenta la cantidad de sodio en el complejo de cambio. Se trata, en el caso más extremo, de un intergrado entre Gléysoles nátricos y endosálicos, que incluimos como endosálicos por el dominio y el carácter excluyente de la clasificación FAO (1998).

La unidad 19 es semejante a la anterior con la salvedad de que los Gléysoles se sustituyen por Fluvisoles. En el área de estudio sólo se han cartografiado en la doble hoz del río Guadalhorce.

UNIDAD 20

Unidad de Regosoles calcáricos y Calcisoles háplicos con inclusiones de Leptosoles calcáricos.

Se localiza al este de Las Lagunillas y los suelos desarrollan sobre materiales miocenos compuestos por margas y conglomerados heterométricos dedicándose al cultivo de almendros, olivos y cereales.

Los suelos dominantes pertenecen a la tipología de Regosoles calcáricos y desarrollan sobre las margas, presentando a su vez los olivares más frondosos.

Sobre los conglomerados desarrollan suelos pedregosos de escasa profundidad y pueden presentar o no horizonte cálcico, de ahí que se clasifiquen como Calcisoles o Leptosoles.

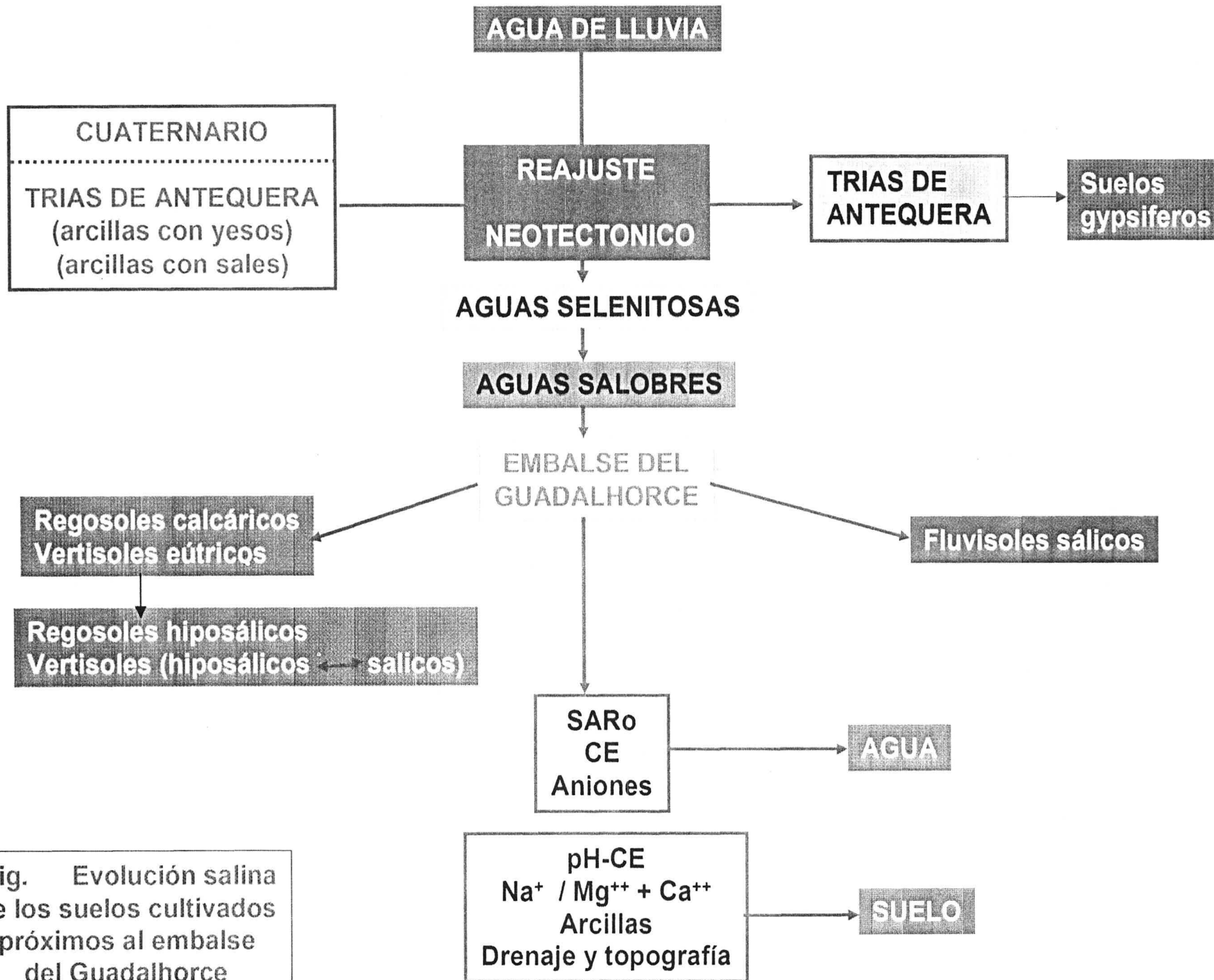


Fig. Evolución salina de los suelos cultivados próximos al embalse del Guadalhorce

III.5.4. DESCRIPCIÓN DE PERFILES

PERFIL 1024-1
CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS

Localización: Cortijo de Aserradores
Coordenadas: 30 SUG 40955 3490
Altitud: 600 m
Posición fisiográfica: Planicie.
Topografía circundante: Ondulante.
Pendiente: Casi llano.
Vegetación: Olivar reciente.
Material original: Conglomerado.
Drenaje: Bien drenado.
Profundidad del manto freático: Desconocida.
Humedad: Humedad en campo.
Pedregosidad: Moderadamente pedregoso.
Afloramientos rocosos: No.
Erosión: Hídrica laminar fuerte.
Influencia humana: Antropización para cultivo de olivo.
Clasificación: Calcisol epipétrico.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0-29	Color en seco pardo rojizo (5YR 5/4) y en húmedo pardo rojizo oscuro (5YR 3/4); textura arcillosa; estructura en bloques angulares, fuerte; adherente, plástico, friable y duro; pocos poros muy finos y tubulares, imped; frecuentes gravas, calizas bien conservada; calcáreo; raíces comunes; límite brusco y plano.
Cmk	>29	Horizonte petrocálcico fragmentado por la fuerte acción antrópica.

**RESULTADOS ANALITICOS
ANALISIS TEXTURAL (%)**

Hor.	Prof.	Arenas					Limo		Arcillas	UNIF	Gravas
		Muy gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	Muy fina	Grueso	Fino			
Ap	0-25	6,8	4,5	6,2	7,4	4,3	2,1	15,2	52,2	71,9	33

Hor.	CO (%)	N (%)	C/N	P2O5	K2O	CaCO3	33 Kpa	Humedad	Agua útil
								1500 KPa	
Ap	1,25	0,121	10,3	26	14	35	28,1	17,3	36,9

CAPACIDAD Y BASES

Hor.	pH	KCl	H2O	Bases extraibles				CEC	V(%)	CE
				Ca	Mg	Na	K			
Ap	7,8	8,1	29,3	0,9	0,1	0,1	23,6	Sat	0,7	

PERFIL 1024-2
CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS

Localización: Cortijo Saladilla
 Coordenadas: 30 SUG 40930 3440
 Altitud: 430 m
 Posición fisiográfica: Fondo de valle.
 Topografía circundante: Casi plano.
 Pendiente: Casi llano.
 Vegetación: Cultivo de cereales.
 Material original: Margas.
 Drenaje: Imperfectamente drenado.
 Profundidad del manto freático: Desconocida.
 Humedad: Húmedo a partir de 50 cm.
 Pedregosidad: Sin piedras.
 Afloramientos rocosos: No.
 Erosión: Hídrica laminar.
 Influencia humana: Cultivo hortofrutícola.
 Clasificación: Vertisol eútrico hipocálcico.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-12	Pardo a pardo oscuro en seco (10YR 4/3) y algo más oscuro en húmedo(10YR 3/3); textura arcillosa; estructura granular gruesa, moderada, ligeramente duro, friable, adherente, plástico; frecuentes poros finos y muy finos imped; ; pocas gravas angulares no alteradas; calcáreo; frecuentes raíces, finas y muy finas; límite neto y plano.
B	12-45	Color en seco pardo amarillento (10YR 4/4) que oscurece mucho e húmedo; textura arcillosa; estructura en bloques prismática, mediana; muy duro, firme, muy adherente y muy plástico; pocos poros, caóticos, finos y muy finos imped, otros verticales y horizontales exped; pocas gravas de la misma naturaleza que el horizonte superior; calcáreo; pocas raíces; límite brusco y ondulado.
C	>45	Marga arcillosa de color gris pardo claro (10YR6/2) en seco y algo más oscura en húmedo con fuerte consistencia en seco y húmedo. Sin raíces.

**RESULTADOS ANALITICOS
ANALISIS TEXTURAL (%)**

Hor.	Prof.	Arenas				Limo		Arcillas	UNIF	Gravas	
		Muy gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	Muy fina	Grueso				Fino
Ap	0-15	1,7	2,0	1,9	3,1	3,5	10,1	36,2	41,5	91	15
B	15-45	2,6	2,1	1,9	3,0	3,5	11,3	30,6	40,0	88	14
C	>45	3,9	3,2	2,3	2,4	2,7	12,3	30,3	42,9	86	12

Hor.	CO (%)	N (%)	C/N	P2O5	K2O	CaCO3	Humedad		Agua útil
							33 Kpa	1500 KPa	
Ap	1,95	0,160	12,2	18	40	16	31,3	19,4	17,6
B	1,05	0,920	11,4	18	16	16	31,8	19,7	46,9
C	0,34	0,032	10,6	13	10	19	33,3	19,2	4,33

CAPACIDAD Y BASES

Hor.	pH	KCl	H2O	Bases extraibles			CEC	V(%)	CE
				Ca	Mg	Na			
Ap	7,5	8,4	23,6	1,1	7,1	1,2	29,5	Sat	6,5
B	7,5	8,5	16,1	1,5	6,3	0,4	26,5	Sat	5,5
C	7,5	8,5	20,2	1,4	4,1	0,2	25,9	Sat	5,9

PERFIL 1024-3
CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS

Localización: Cortijo del Taraje.
Coordenadas: 30 SUG 40940 3422
Altitud: 670 m
Posición fisiográfica: Ladera.
Topografía circundante: Ondulado a suavemente ondulado.
Pendiente: Inclinado.
Vegetación: Olivar.
Material original: Margas miocenas.
Drenaje: Bien drenado.
Profundidad del manto freático: Desconocida.
Humedad: Húmedo.
Pedregosidad: Sin piedras.
Afloramientos rocosos: No.
Erosión: Hídrica laminar.
Influencia humana: Labores agrícolas.
Clasificación: Regosol hipocálcico.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0-32	Color en seco entre pardo y pardo claro (10YR 5,5/3) y oscurece en húmedo (10YR 3,5/5); textura arcillosa; estructura granular gruesa; adherente, plástico, friable y duro; pocos poros imped y caóticos; calcáreo; raíces comunes, finas y muy finas; límite gradual y plano.
C1	32-125	Color en seco pardo amarillento (10YR 4,5/4) que oscurece en húmedo (10YR 4/4); arcilloso; estructura en bloques angulares, medianos; muy pocos nódulos de color blanco de carbonato cálcico; aumenta ligeramente el contenido en gravas que son angulosas, duras, redondeadas y calcáreas; prismática, mediana; muy duro, firme, muy adherente y muy plástico; pocas raíces; límite gradual y plano.
C2	125-200	Color en seco pardo (10YR5/3) y en húmedo pardo oscuro (10YR4/3); textura arcillosa; estructura en bloques angulares; pocos poros, imped y otros oblicuos exped; no hay raíces ni huellas de actividad biológica; aumentan las gravas. Desaparecen los nódulos blancos. Límite gradual y plano.

C3 >200 Color en seco pardo amarillento claro (10YR 6/4) que pasa en húmedo a pardo amarillento (10YR 5/4); presenta manchas difusas de colores ocres aumentando en profundidad; las gravas están muy meteorizadas. Calcáreo.

**RESULTADOS ANALITICOS
ANALISIS TEXTURAL (%)**

	Prof.	Arenas				Limo		Arcillas	UNIF	Gravas	
		Muy gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	Muy fina	Grueso				Fino
A	0-32	3,8	5,4	7,0	8,0	5,1	5,9	22,7	42,7	68,3	12
C1	32-125	3,1	3,6	3,0	4,5	4,6	7,2	25,3	47,9	82,0	30
C2	125-200	1,37	1,07	1,08	9,4	13,8	8,2	23,6	41,6	81,4	35
C3	>200	1,5	2,0	2,0	8,3	12,8	8,9	24,7	39,5	79,3	37

Hor.	CO (%)	N (%)	C/N	P2O5	K2O	CaCO3	Humedad		Agua útil
							33 Kpa	1500 KPa	
A	2,3	0,199	11,6	18	31	19	31,3	18,0	46,9
C1	1,0	0,092	10,9	19	16	15	35,9	19,4	193
C2	0,4	0,041	9,8	10	15	16	25,8	12,4	56,3
C3	0,2	0,022	9,1	9	10	20	26,6	18,1	- -

CAPACIDAD Y BASES

Hor.	pH		Bases extraíbles				CEC	V(%)	CE
	KCl	H2O	Ca	Mg	Na	K			
A	7,5	8,1	20,4	0,9	4,4	0,6	16,6	Sat	4,9
C1	7,5	8,2	21,6	0,9	4,4	0,6	21,1	Sat	4,9
C2	7,4	8,2	21,8	1,6	4,7	0,3	20,2	Sat	4,5
C3	7,4	8,2	20,2	1,7	4,7	0,3	18,2	Sat	4,5

PERFIL 1024-4
CARACTERISTICAS MACROMORFOLOGICAS

Localización: Cerro del Aguila.
Coordenadas: 30 SUG 40932 3460
Altitud: 600 m
Posición fisiográfica: Ladera.
Topografía circundante: Montañosa.
Pendiente: Escarpado.
Vegetación: Matorral xerofítico.
Material original: Calizodolomías del Trías.
Drenaje: Bien drenado.
Profundidad del manto freático: Desconocida.
Humedad: Seco.
Pedregosidad: Pedregoso.
Afloramientos rocosos: Rocoso.
Erosión: Hídrica laminar y en surcos.
Influencia humana: No se observa.
Clasificación: Leptosol calcárico.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0-25	Color en seco pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) y más oscuro en húmedo; textura franco arenosa; estructura granular; adherente, plástico, muy friable y blando; bioporos frecuentes; calcáreo; raíces comunes, finas y muy finas; abundantes gravas, angulosas y sin meteorizar; límite brusco y plano.
R	>25	Calizodolomia.

**RESULTADOS ANALITICOS
ANALISIS TEXTURAL (%)**

Hor.	Prof.	Arenas					Limo		Arcillas	UNIF	Gravas
		Muy gruesa	Gruesa	Mediana	Fina	Muy fina	Grueso	Fino			
Ap	0-25	0,2	6,8	12,5	25,4	12,7	6,5	7,7	19,3	39,6	50

Hor.	CO (%)	N (%)	C/N	P2O5	K2O	CaCO3	33 Kpa	Humedad	Agua útil
								1500 KPa	
Ap	2,25	0,179	12,5	18	14	20	20	14	10,6

CAPACIDAD Y BASES

Hor.	KCl	pH		Bases extraibles				CEC	V(%)	CE
		H2O	Ca	Mg	Na	K				
Ap	7,5	7,8	13,9	5,4	0,1	0,3	16,9	Sat	0,5	

IV.4. CONCLUSIONES

1. En la sección tipo del Trías de Antequera se describe por su importancia la megabrecha de yesos y los niveles de halita con yesos en la serie intermedia con potencias de 70m., que fueron verificadas en sondeos.
2. El proceso de karstificación está muy acentuado un el sector de Gobantes. Se debe, en primer lugar, a la litología y la elevación que ha experimentado, fundamentalmente debida a la neotectónica y al encajamiento del río Guadalhorce, bajando progresivamente el nivel de base de las descargas (manantiales del Cañón de Meliones).
3. La infiltración que se realiza en las cuatro pequeñas cuencas (arroyos del Yeso, Higueros, Águila y Salado) son los que dan lugar a la surgencia de Meliones y no hay que invocar flujos profundos, termales y alejados de esta área de infiltración.
4. las facies hidroquímicas son sulfatadas cálcicas, ligadas a la serie de brechas de yeso y cloruradas sódicas (salmueras) en los horizontes de halita y yeso, que son las causantes del grado de salinidad del embalse del Guadalhorce.
5. Mediante el análisis isotópico se demuestra que las aguas que salen por los manantiales de Meliones, se corresponden en conjunto a las precipitaciones de los últimos diez años. De los diferentes análisis cabe destacar el ambiente reductor existente en el medio y la existencia de nitratos en algunos sondeos.
6. La solución fundamental estriba en la disminución de la aportación hídrica que se infiltra a través del campo de dolinas y sumideros, fundamentalmente los situados en los ejes de los cauces, mediante la desviación de las escorrentías superficiales, creando azudes y pequeñas presas antes de que se infiltren las aguas en la red de cavidades. Disminuyendo, por tanto, la recarga del acuífero.

7. Los suelos del área se caracterizan por su escaso desarrollo, heredando muchas de sus propiedades del material original. Los grupos de suelos centrales son: Leptosoles, Regosoles, Vertisoles y Calcisoles.

8. El hecho más significativo, desde el punto de vista edafológico, es la salinización incipiente de las unidades de suelos con propiedades vérticas (Vertisoles y Regosoles). La intensidad del proceso se relaciona con el agua del embalse del Guadalhorce y con el contenido en arcilla hinchable, marcando un gradiente entre subunidades salinas e hiposalinas. La alcalinización es leve y no presenta grandes riesgos dada la riqueza en calcio del complejo de cambio.

BIBLIOGRAFÍA

Bourgois, J (1975).- "Présence de breches d'origine sédimentaire a éléments de Cretacé au sein du Trias germano-andalou. Hypothèses sur la signification de cette formation (Andalousie, Espagne)". Bull. Soc. Géol. France, 17, 1095-1100.

Carrasco, F. (1986).- "Contribución al conocimiento de la Cuenca alta del río Guadalhorce": el medio físico, hidrogeoquímica. Tesis doctoral Univ. de Granada, 435 pp.

Carrasco, F. y Benavente, J. (1986).- "Estimación de la aportación salina del río Guadalhorce en el sector de Bobadilla-Gobantes (Málaga)". II Simp. Agua en Andalucía, I, 273-277.

CGS OGDEN (1994).- "Testificación geofísica del sondeo Meliones I-1 (Málaga)".

CGS OGDEN (1994).- "Análisis de la conductividad y concentración equivalente de ClNa en los sondeos del entorno del manantial de Meliones (Málaga) a partir de registros geofísicos.

CGS OGDEN (1994).- "Modelización gravimétrica en los sectores de Turón y Abdalajís-Meliones (Málaga).

Conejo, R., Mayorga Jiménez, R., Carrasco Cantos, F.- "Estudio del manantial salino de Meliones. Embalse del Guadalhorce (Prov. De Málaga)". 17 pp.

Durán Valsero, J.J. y Molina Muñoz, J.A.- "Karsts en los yesos del Trías de Antequera (Cordillera Bética, España).

Escolano, A. y Conejo, R. (1981).- "Eliminación y explotación del manantial salino de Meliones (Málaga) para evitar la salinización del río Guadalhorce". I. Simp. del Agua en Andalucía, 5, 469-486.

García López, S. (1994).- "Interpretación de datos isotópicos en los manantiales de Meliones, Cañaveralejo y la Saladilla (Prov. de Málaga)". Informe inédito.

GEYTEX, S.L. (1994).- “Estudio geofísico del manantial de Meliones-Embalse del Guadalhorce (Málaga)”. Informe inédito.

GEYTEX, S.L. (1995).- “Recopilación y actualización de la Geología y Geofísica del sector de Meliones-Embalse del Guadalhorce de la provincia de Málaga: Modelo hidrogeológico”. Informe inédito.

Guzmán del Pino, J.L. (1994^a).- “Ampliación del estudio hidrogeológico de la Serranía de Ronda”. Informe inédito.

Guzmán del Pino, J.L. (1994^b).- “Estudio hidrogeológico del sector de Salinas (Provincia de Málaga)”. Informe inédito.

Martín Algarra, A. (1991).- “Informe sobre la geología de la región comprendida entre Bobadilla y Campillos, el embalse de Guadalhorce y la Sierra Chimenea”. Informe inédito.

Ministerio de Obras Públicas. Centros de Estudios y Experimentación O.P. Gabinete de Aplicaciones Nucleares (1977).- “Estudio sobre la procedencia del agua del manantial salino de Meliones en el embalse del Guadalhorce (Málaga). Informe complementario.

Ministerio de Obras Públicas. Servicio Geológico (1980).- “Captación del manantial salino subacuático de Meliones. Embalse Guadalhorce-Guadalteba”.

Ministerio de Obras Públicas. Servicio Geológico (1991).- “Estudio y captación de los manantiales salinos del embalse del Guadalhorce”.

Ministerio de Obras Públicas. Servicio Geológico (1993).- “Prueba experimental de captación de las salmueras surgentes al embalse de Guadalhorce (Málaga).

Ortí Cabo, F. (1974).- “El Keuper del Levante Español. Litoestratigrafía, Petrología y Paleogeografía de la cuenca”. Estudios Geol., 30, 7-46.

Pérez-López, A. (1991).- “El Trías de facies germánica del sector Central de la Cordillera Bética”. Tesis Univ. Granada, 400 pp.

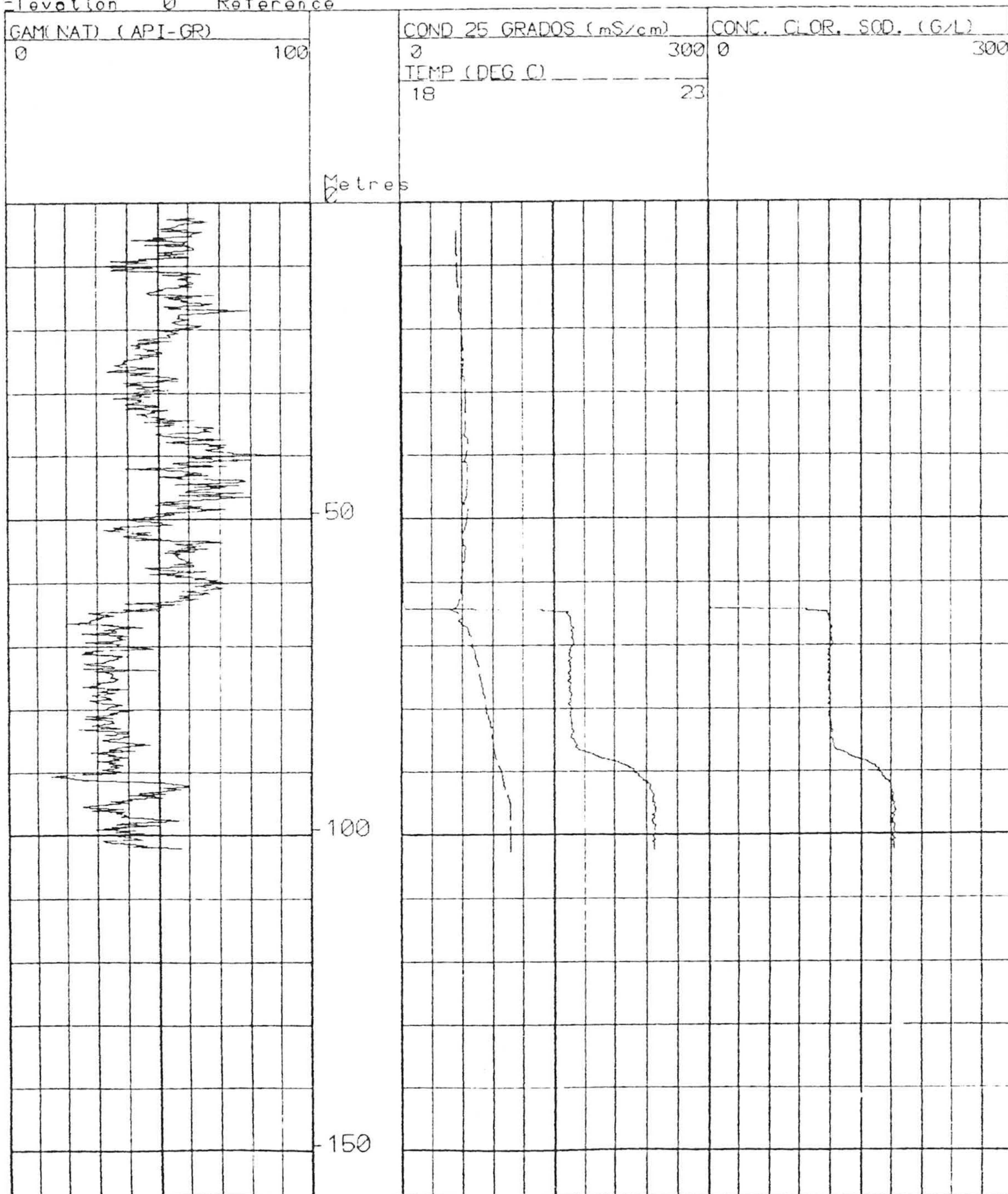
Pérez-López, A. (1994).- “Estratigrafía y Tectónica del Trías de Antequera. Sector: Embalse del Guadalhorce-Guadalteba. Informe inédito.

Pérez-López, A. y García Cortés, A. (1988).- “Implicaciones de los materiales triásicos en el sector central de la Zona Subbética (Cordillera Bética)”. Rev. Soc. Geol. España, 7, 141-153.

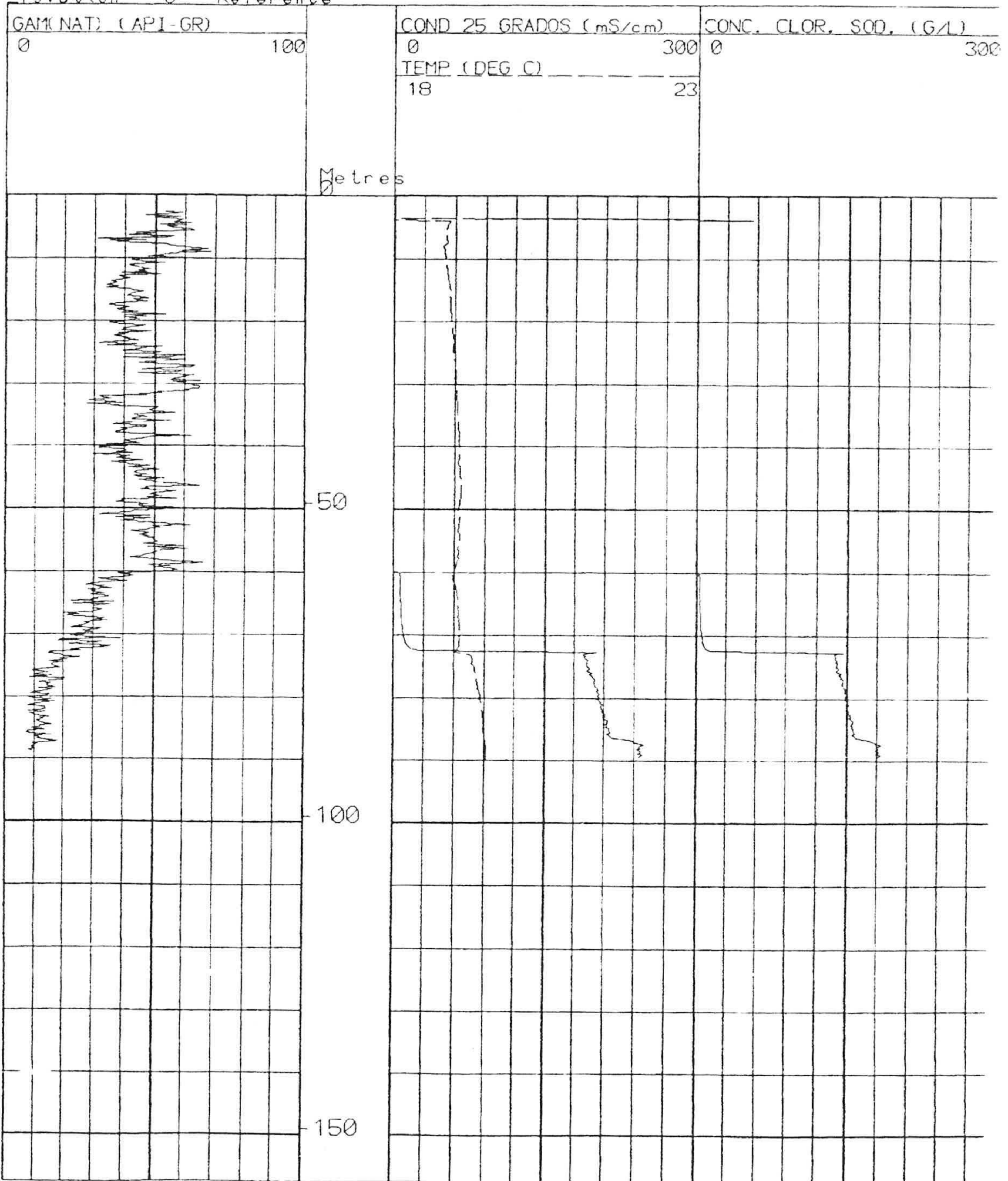
Roldán García, F.J. y García Cortés, A. (1988).- “Implicaciones de materiales triásicos en la Depresión del Guadalquivir (Provincias de Córdoba y Jaén)”. II Congr. Geol. Esp. SGE, Granada, 1, 189-192.

ANEXOS

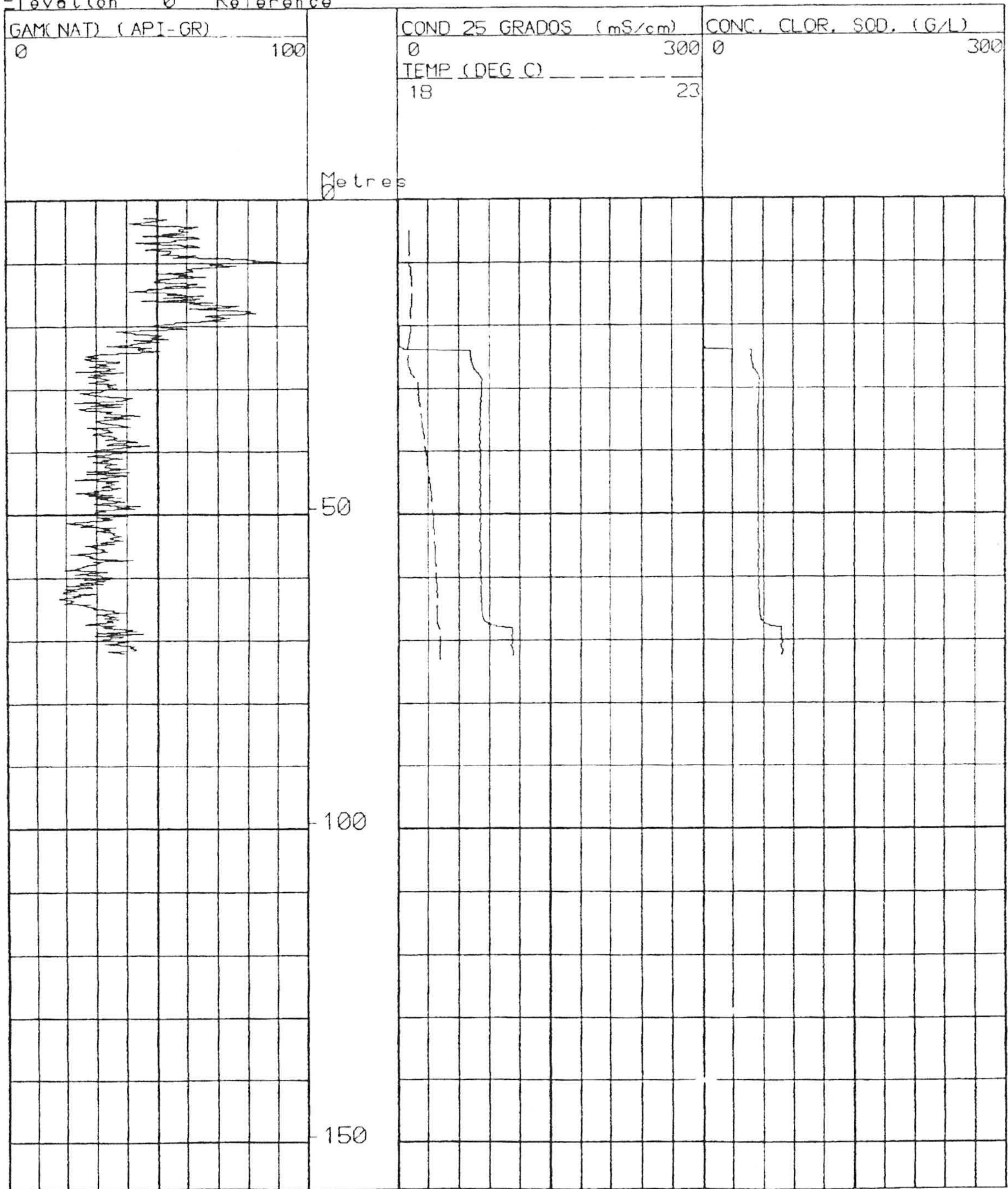
Wellname S-1 (398.62)
 Filenname S-1
 Location POZOS SALINOS DE MELIONES
 Elevation 0 Reference



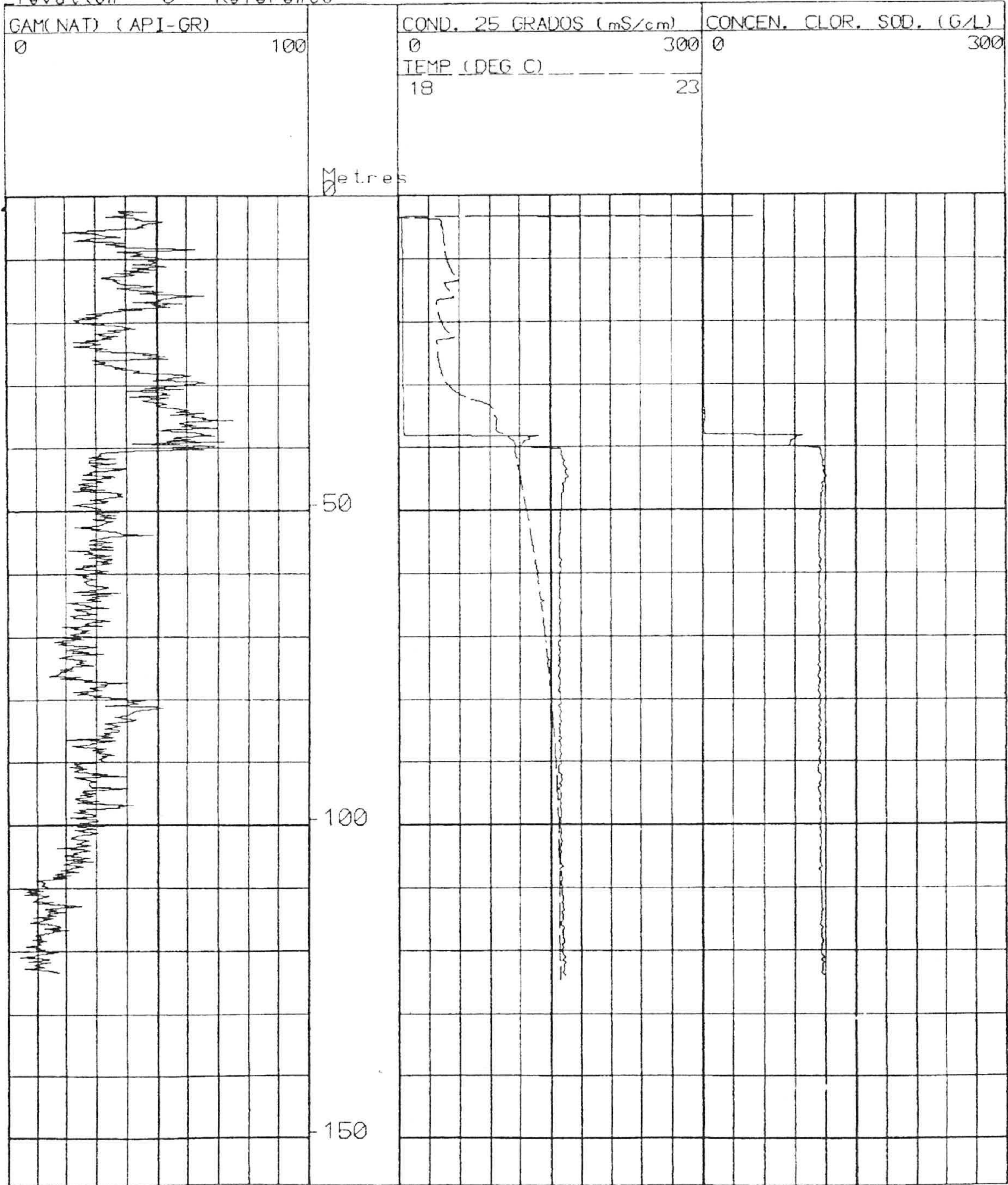
Wellname S-2
 Wellname S-2
 Location POZOS SALINOS DE MELIONES
 Elevation 0 Reference



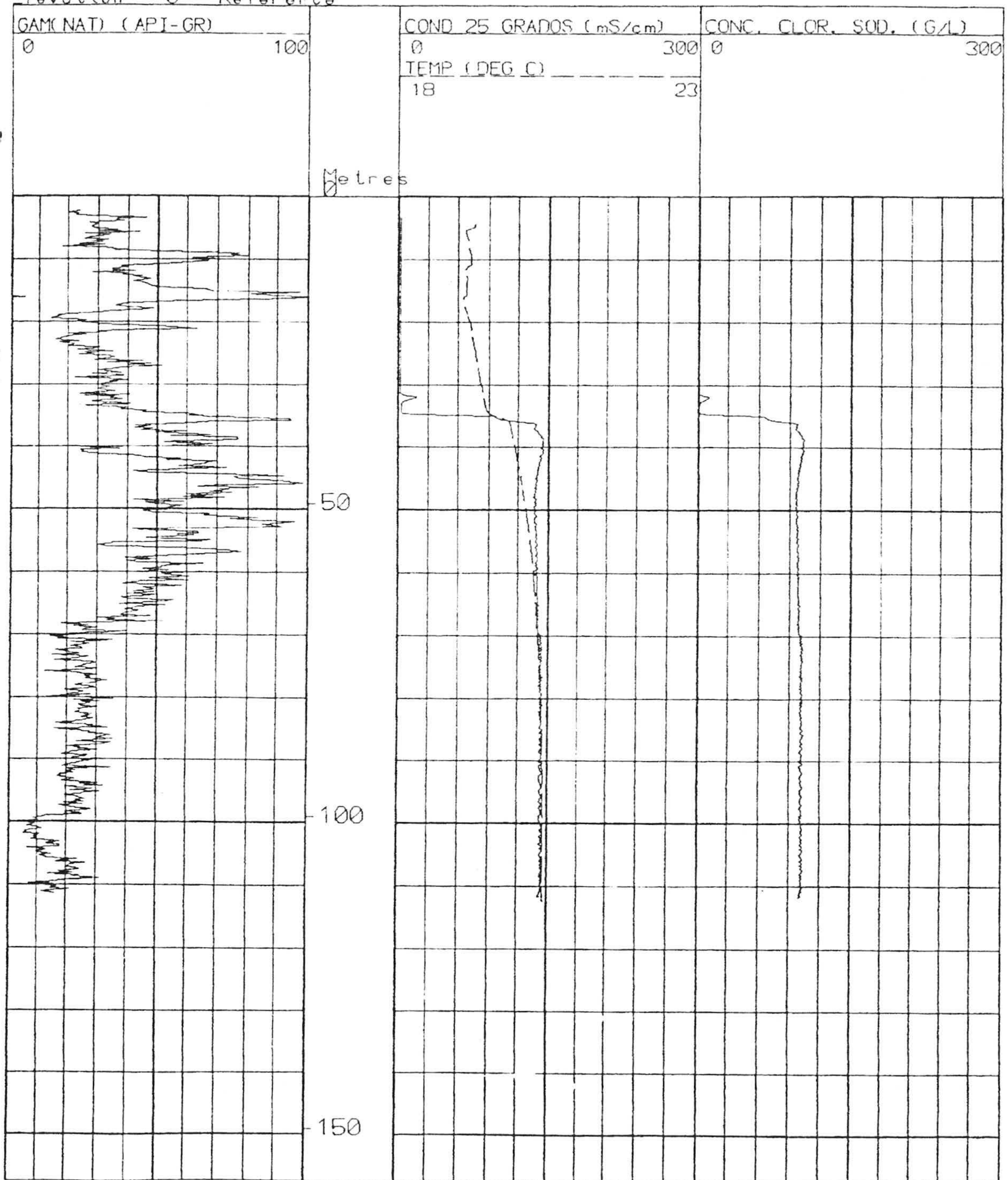
Well name ORIGINAL S-3 (400.24)
 Well name S-3B
 Location POZOS SALINOS DE MELIONES
 Elevation 0 Reference



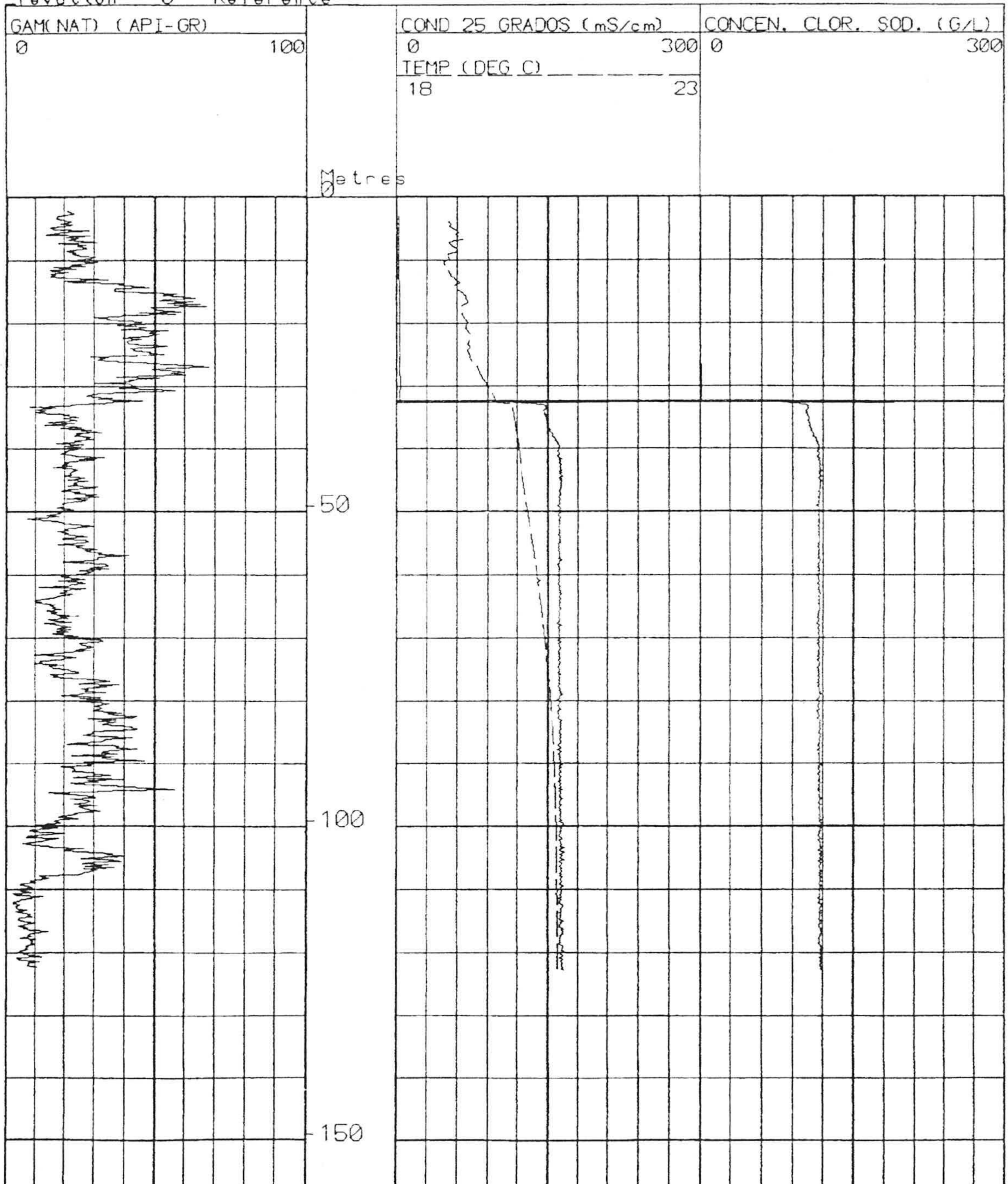
Wellname S 4 (391.20)
 Wellname S-4
 Location POZOS SALINOS DE MELIONES
 Elevation 0 Reference



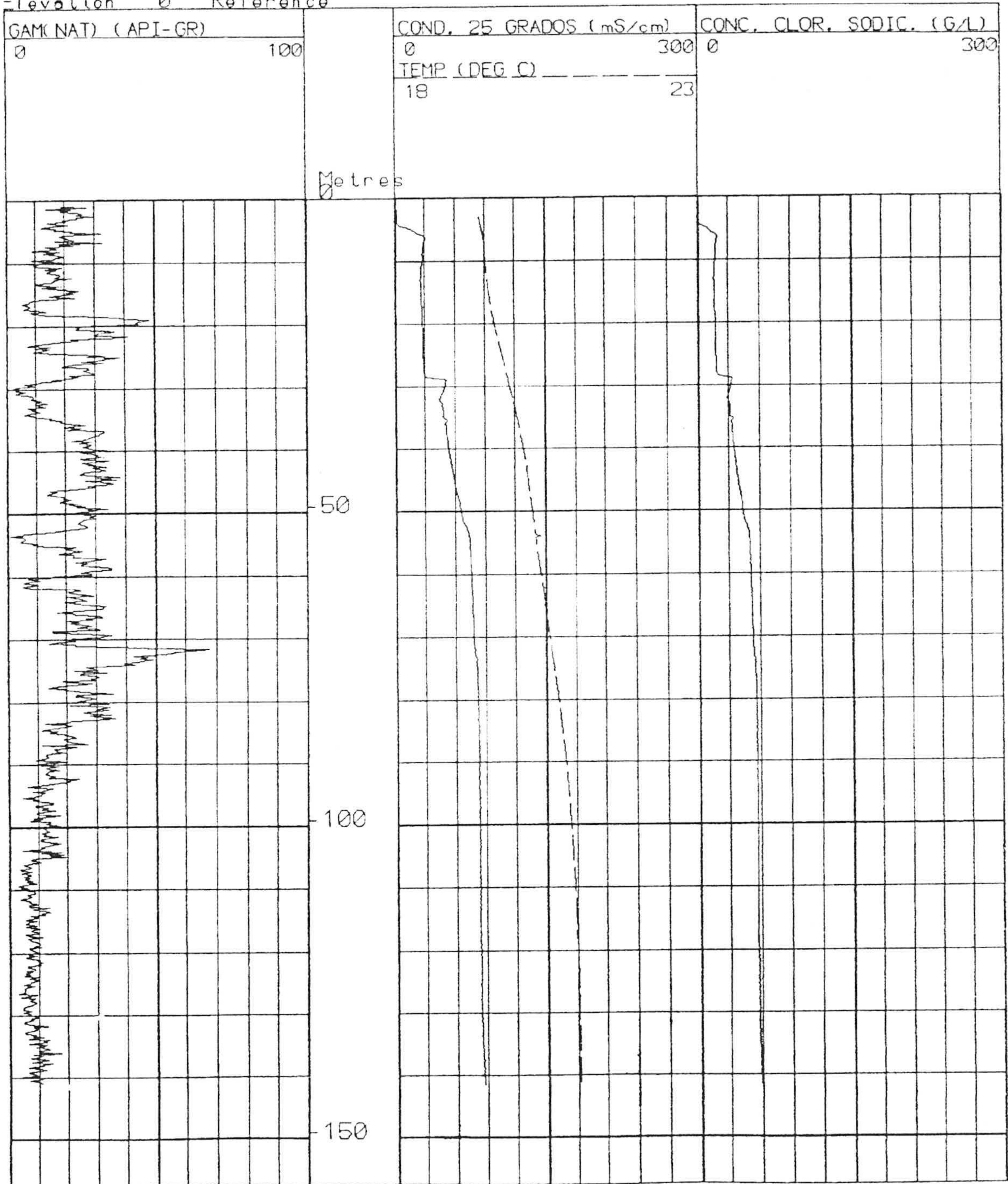
Wellname ORIGINAL S-6 (SIN COTA)
 Wellname S-6
 Location POZOS SALINOS DE MELIONES
 Elevation 0 Reference



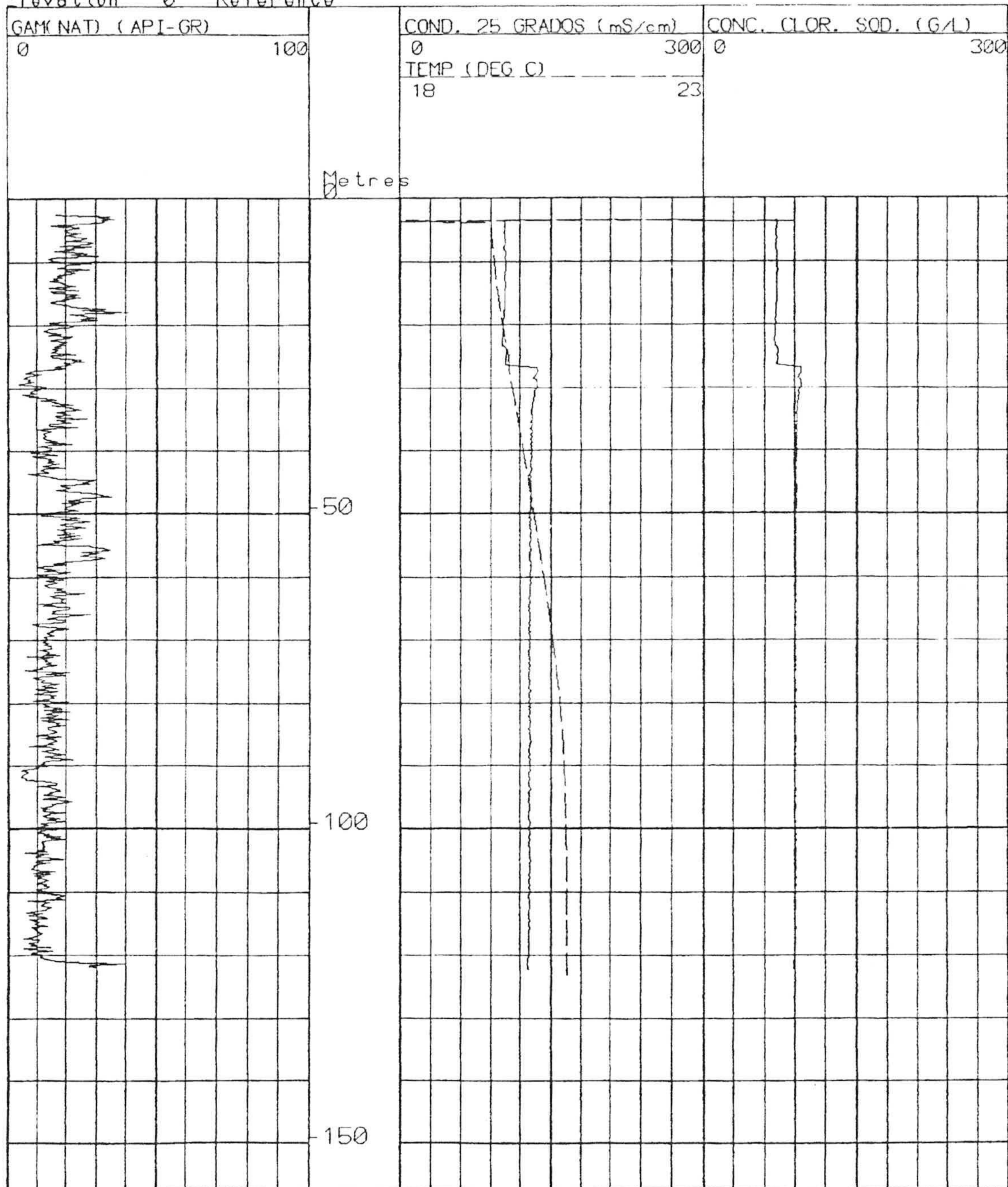
Wellname ORIGINAL S-7 (M. IZO.)
 Wellname S-7
 Location POZOS SALINOS DE MELIONES
 Elevation 0 Reference



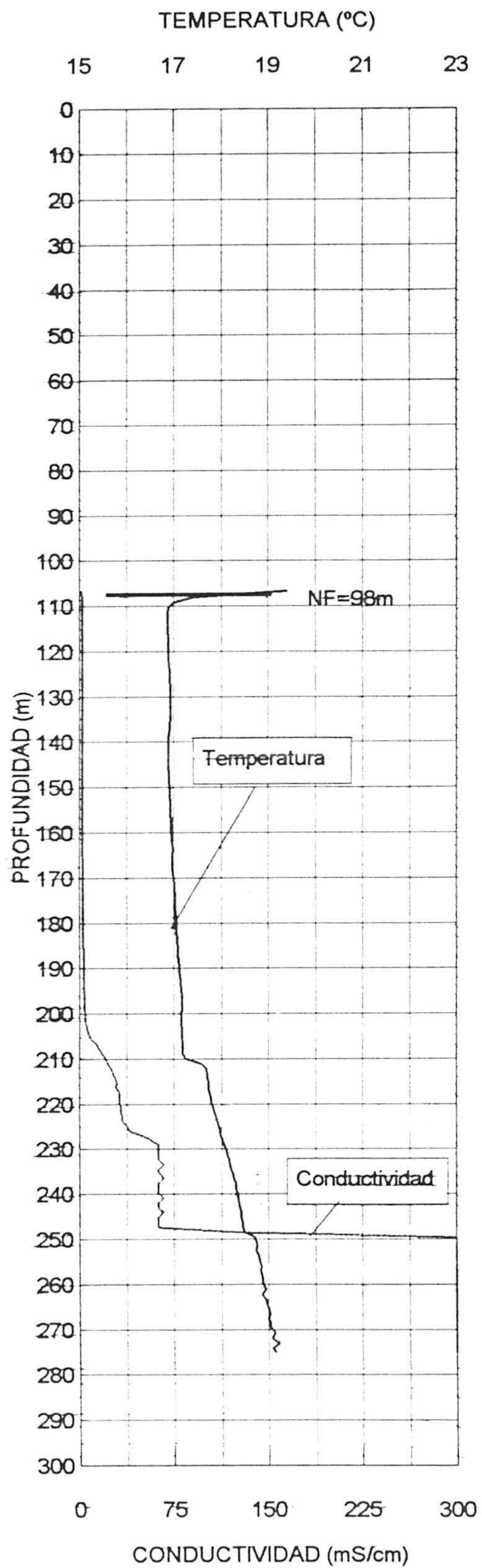
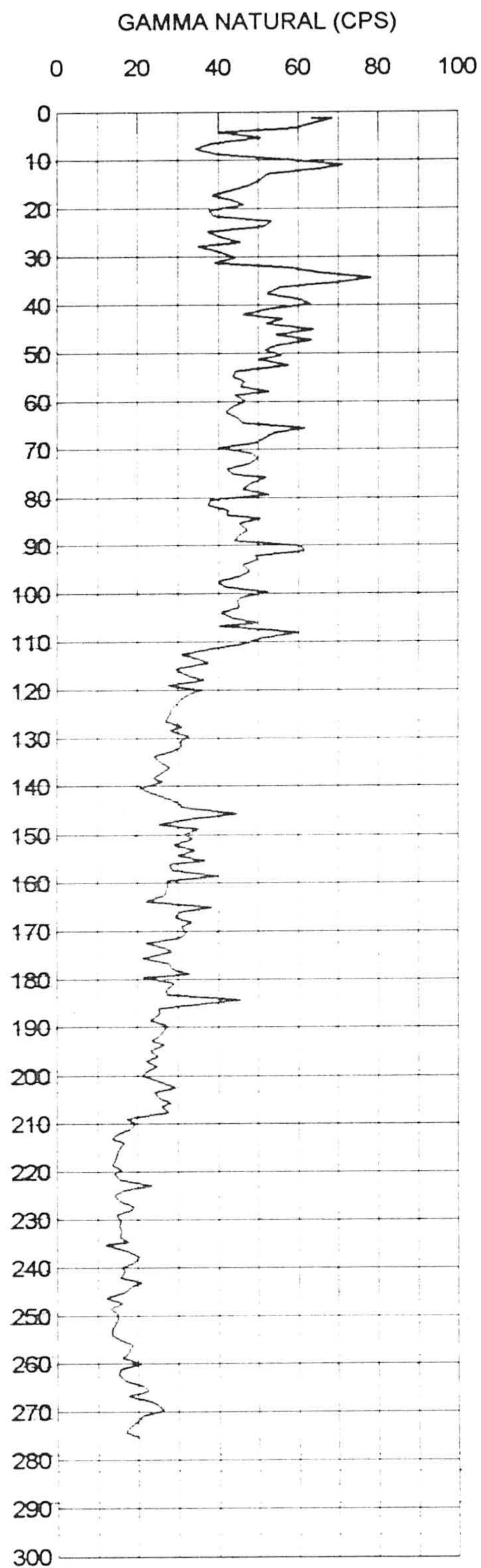
Well name S-8 (M. IZQ.)
 Well name S-8
 Location IZQ.
 Elevation 0 Reference



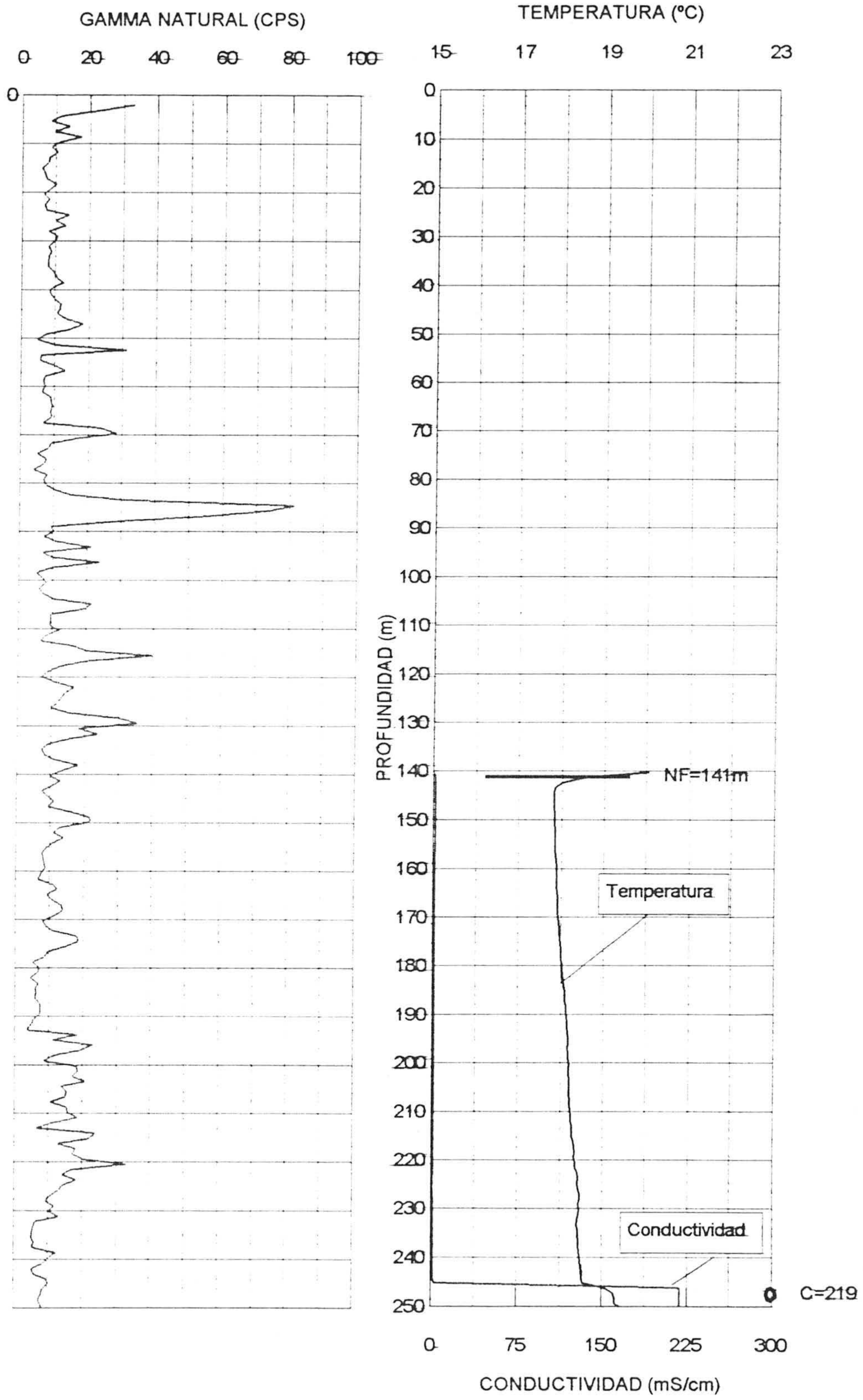
Well name S-9 M. IZO.
 Well name S-9
 Location POZOS SALINOS DE MELIONES
 Elevation 0 Reference



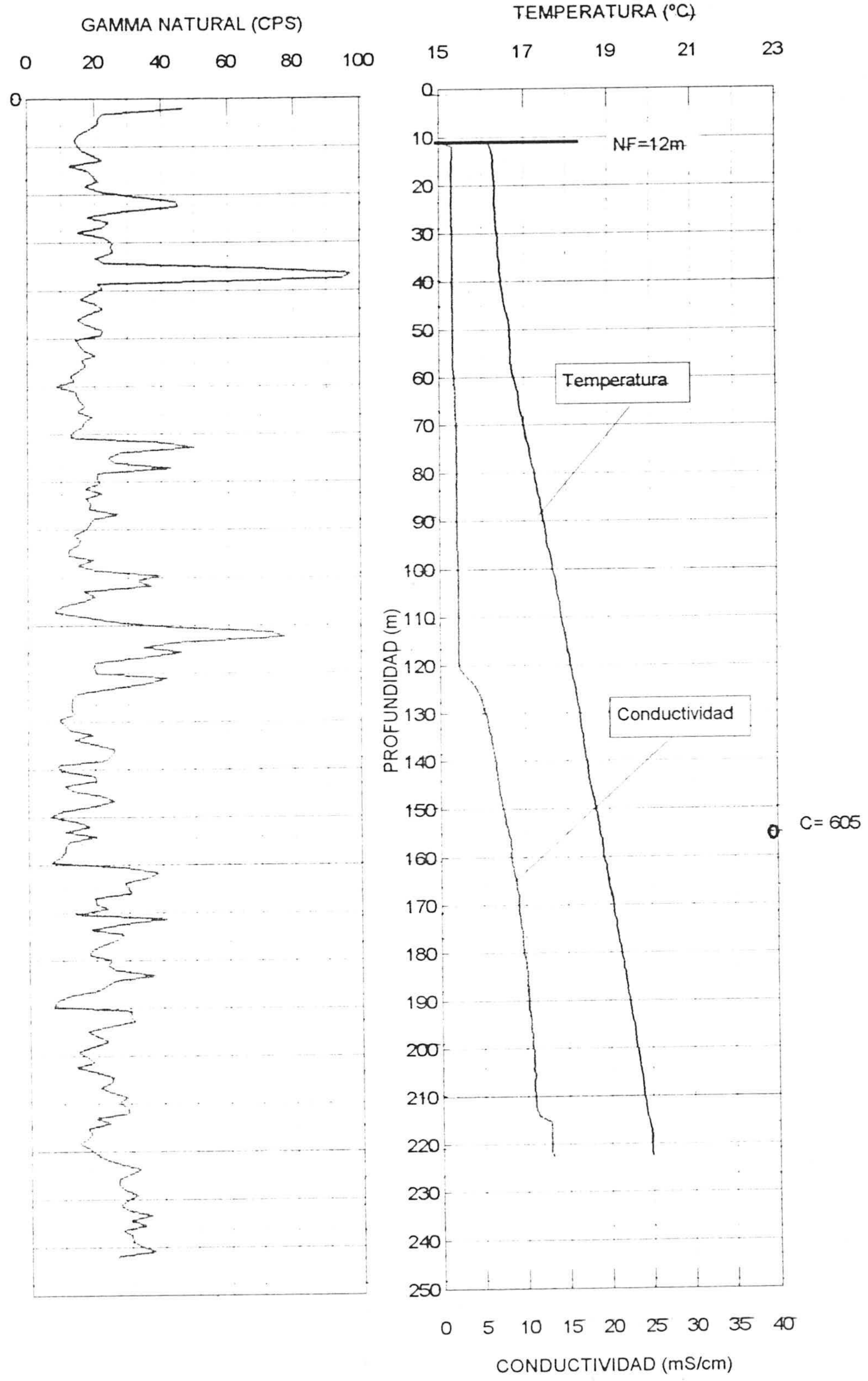
MELIONES-4



MELIONES-5

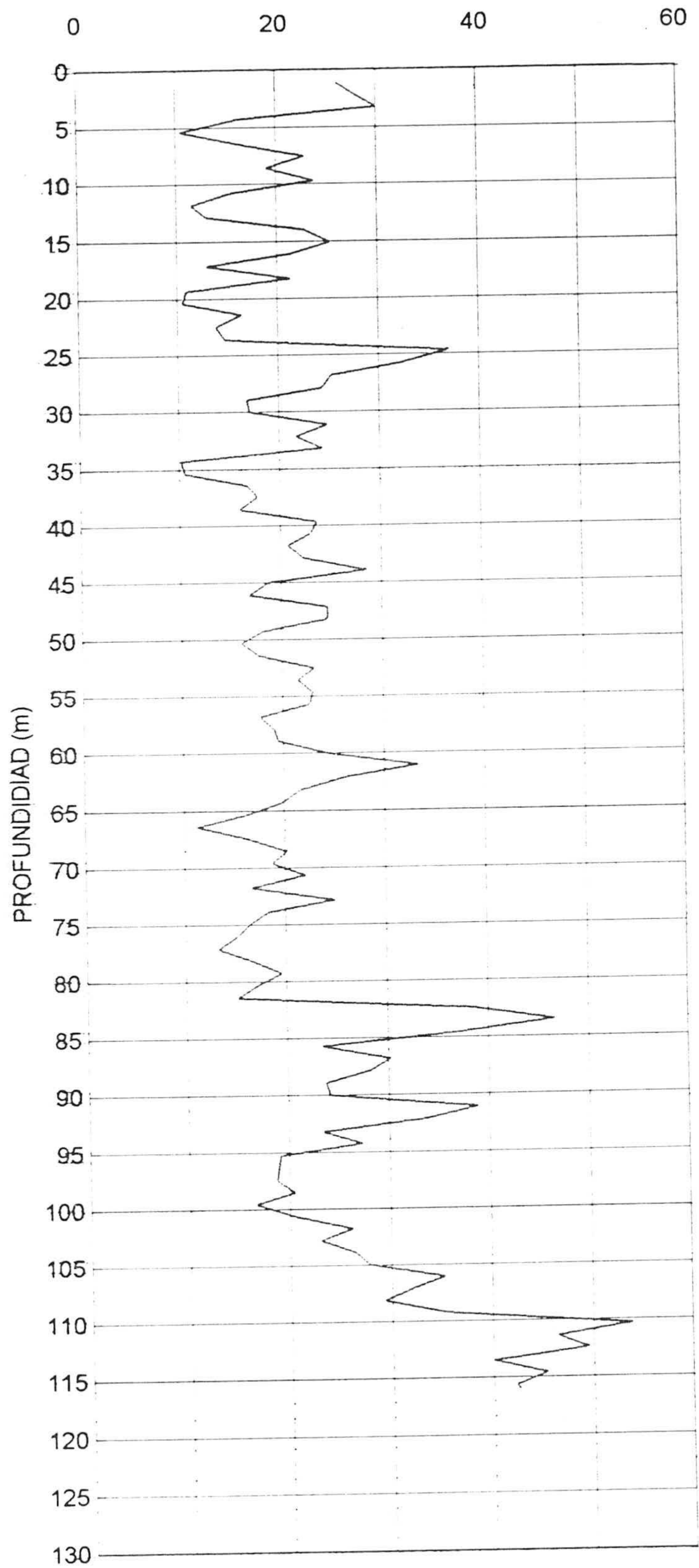


MELIONES-6

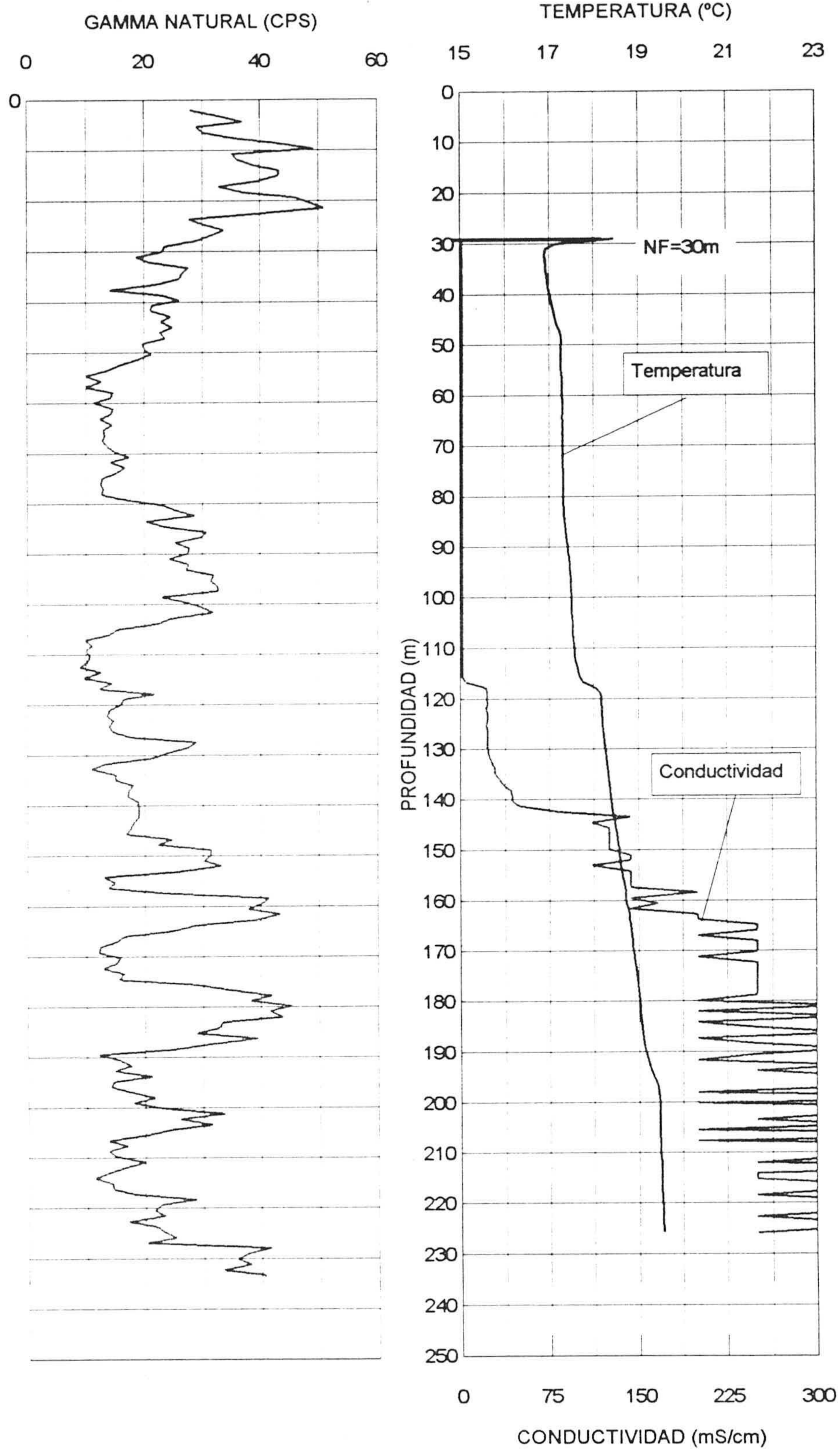


MELIONES -7

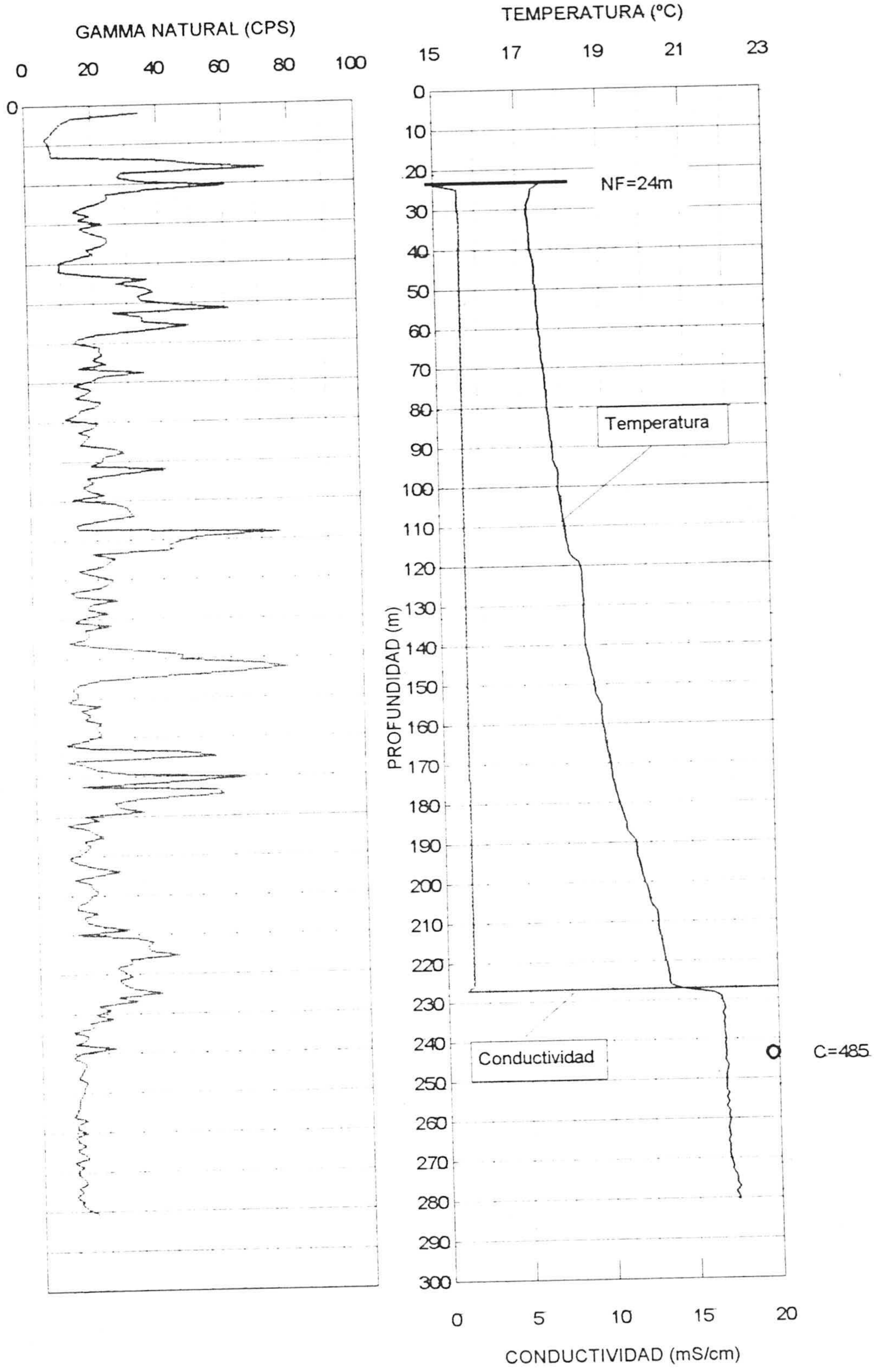
GAMMA NATURAL (CPS)



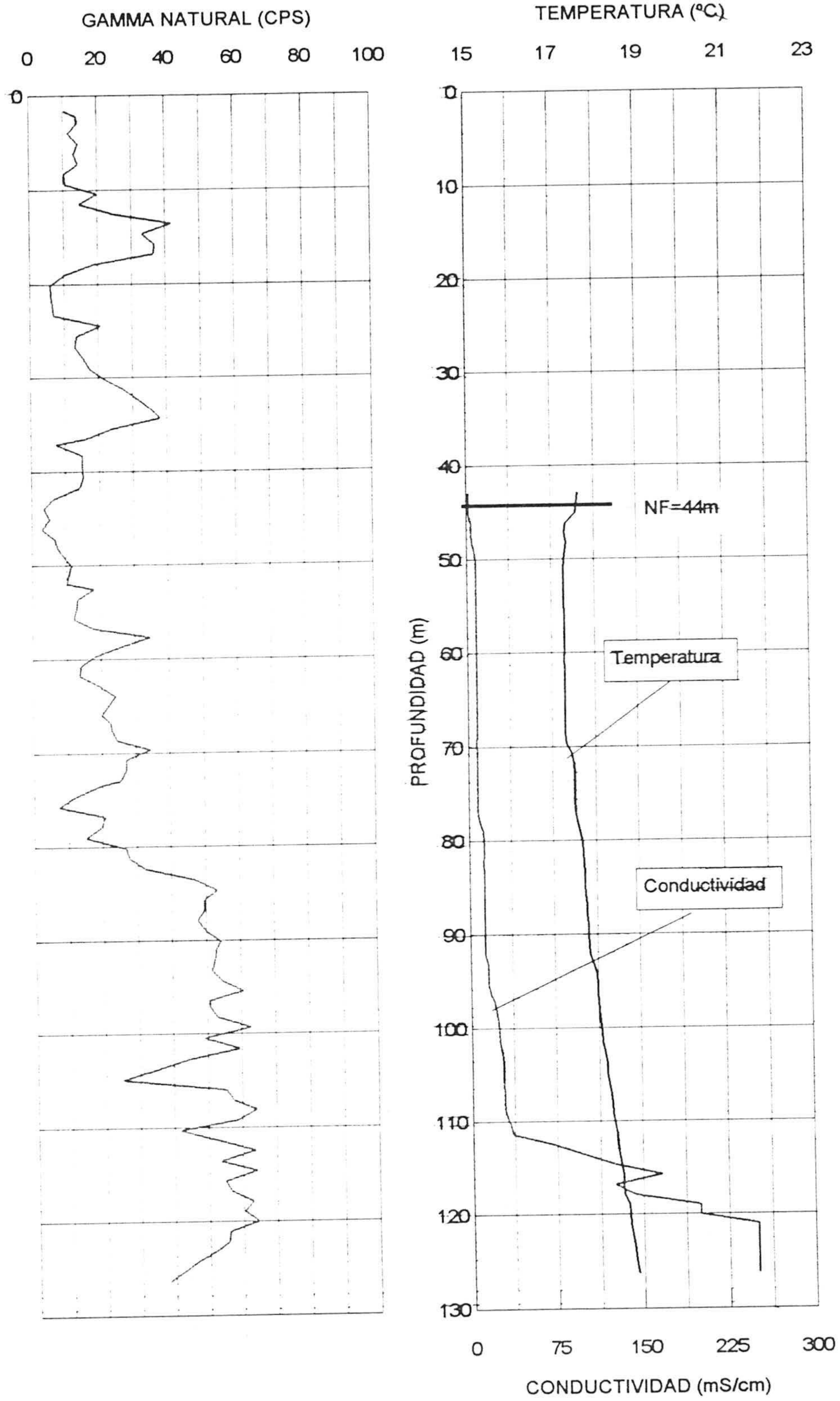
MELIONES-8



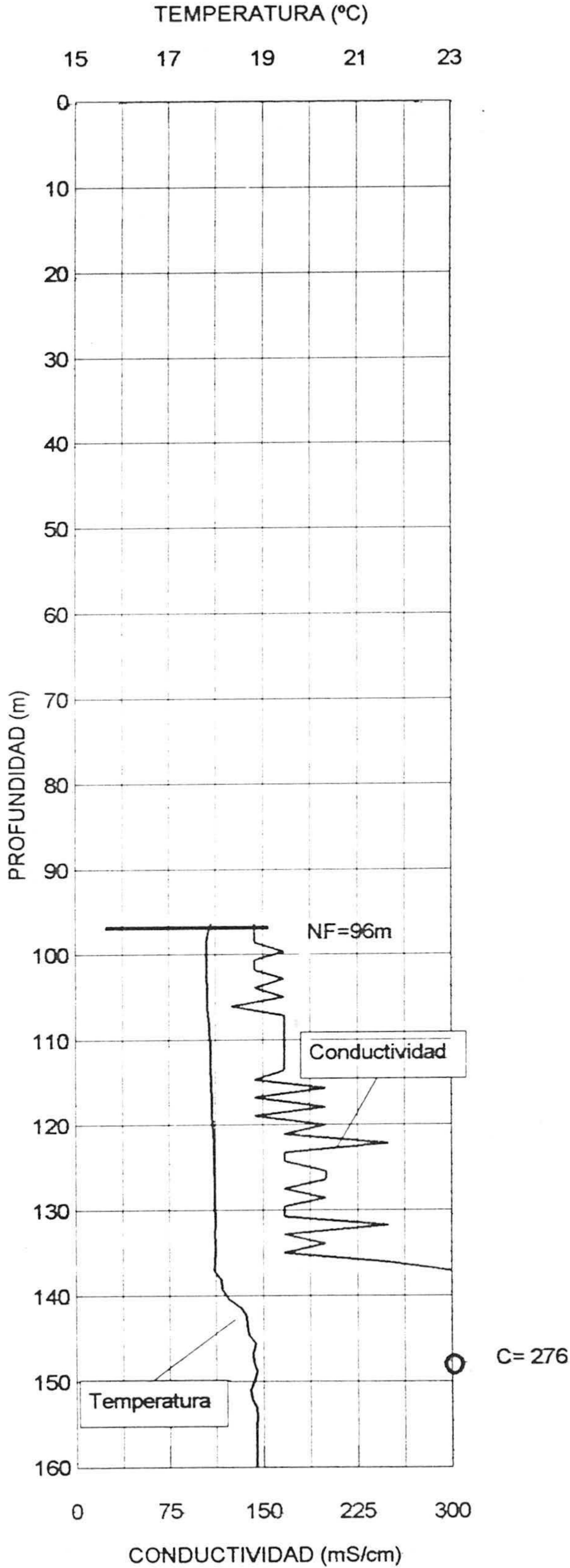
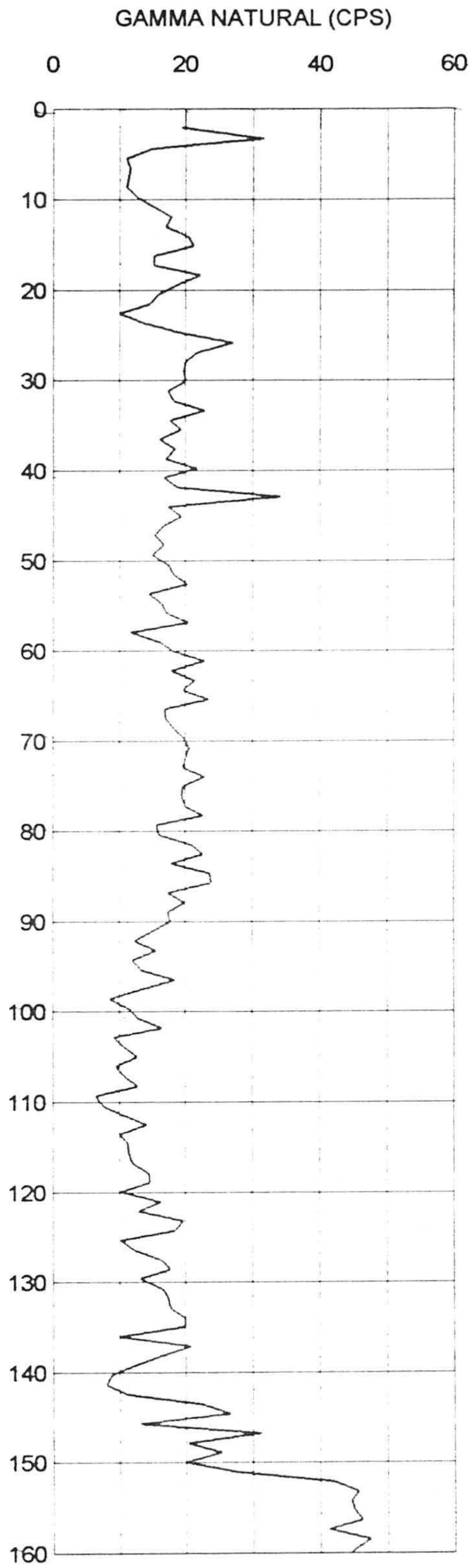
MELIONES-9



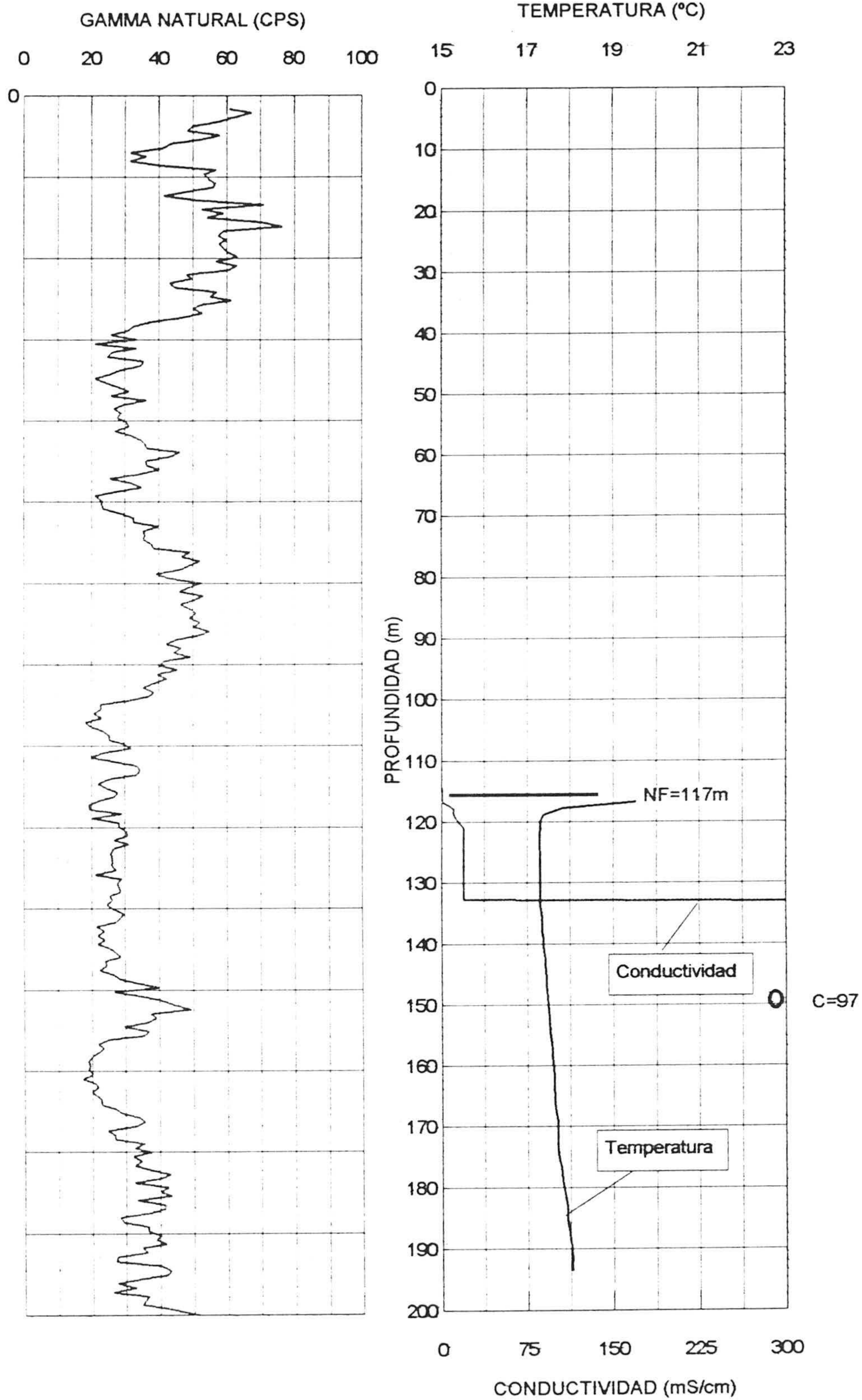
MELIONES-10



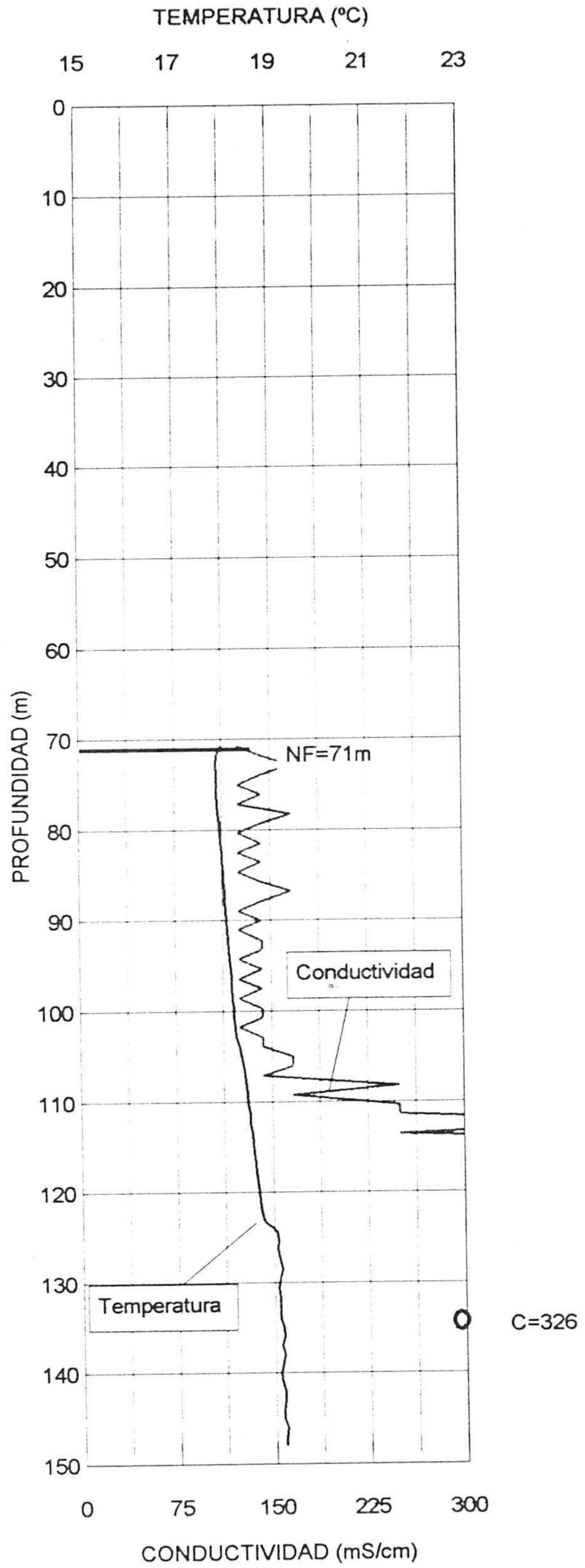
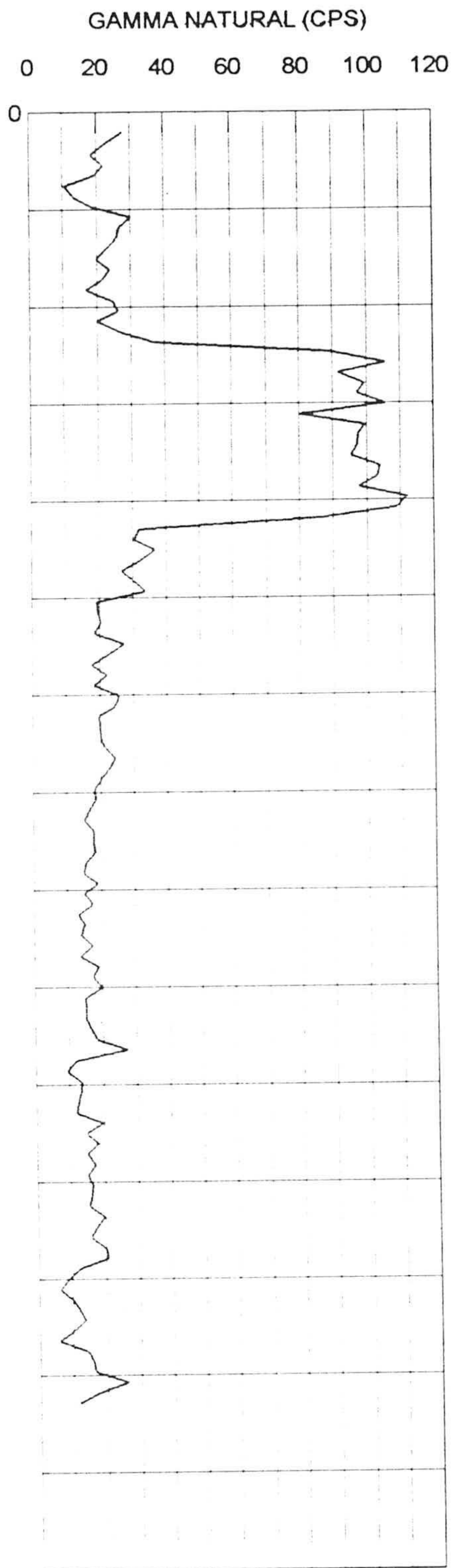
MELIONES-11



MELIONES-12



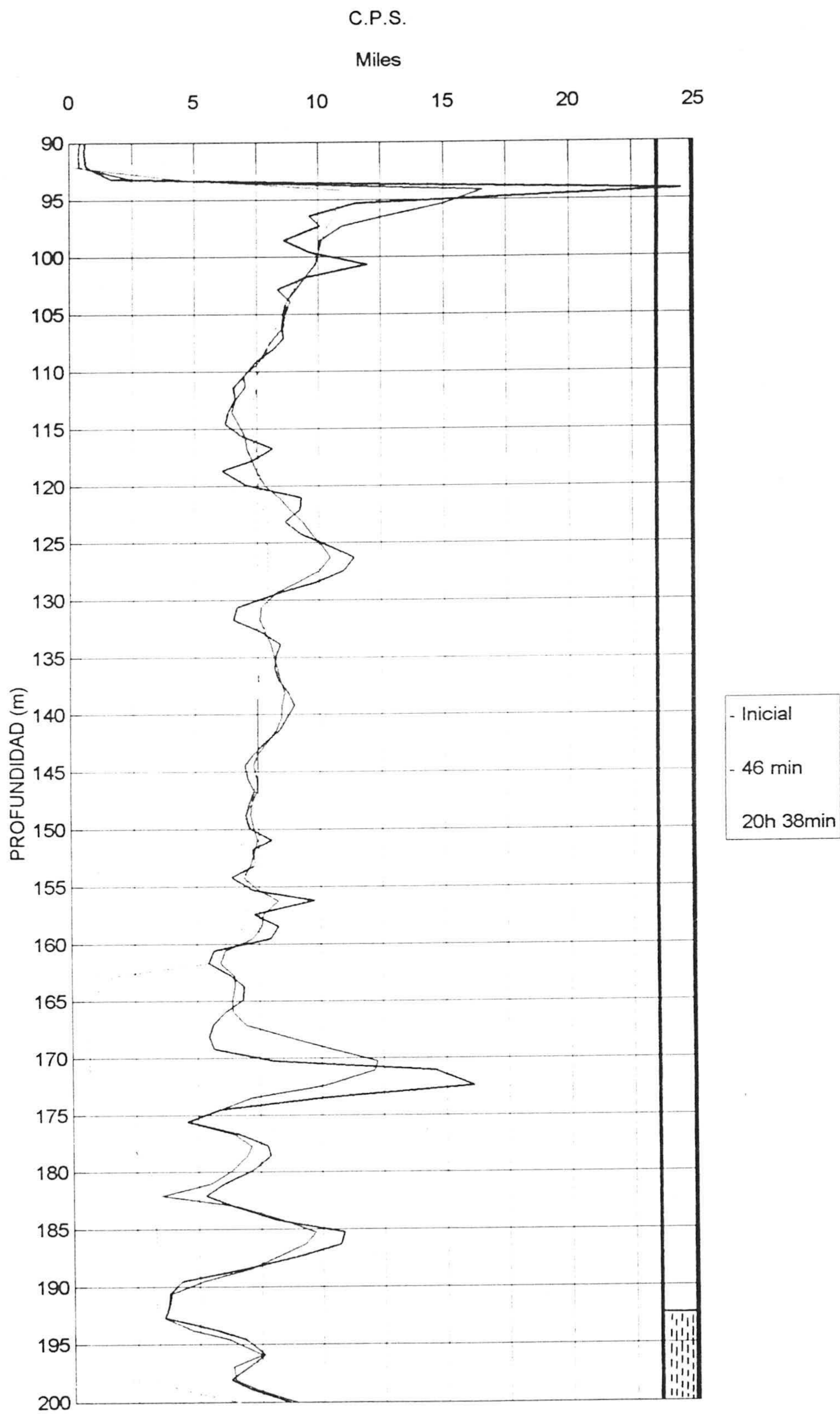
MELIONES-13



ANEXO II

**ENSAYOS PARA LA MEDIDA DE FLUJOS EN LOS SONDEOS
UTILIZANDO ^{131}I COMO TRAZADOR. METODO DE MARCADO DE
TODA LA COLUMNA DE AGUA.**

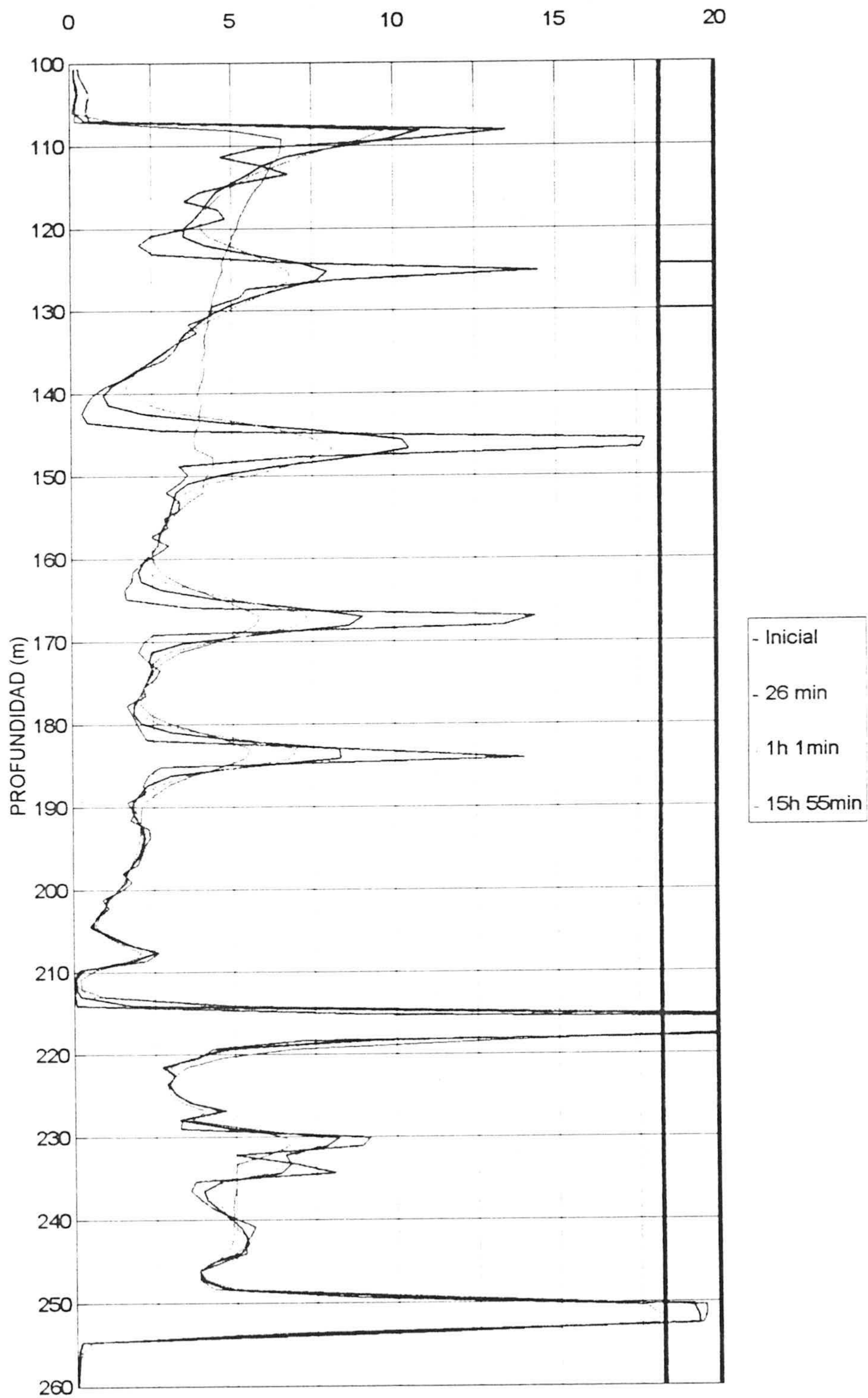
MELIONES-2



MELIONES-4

C.P.S.

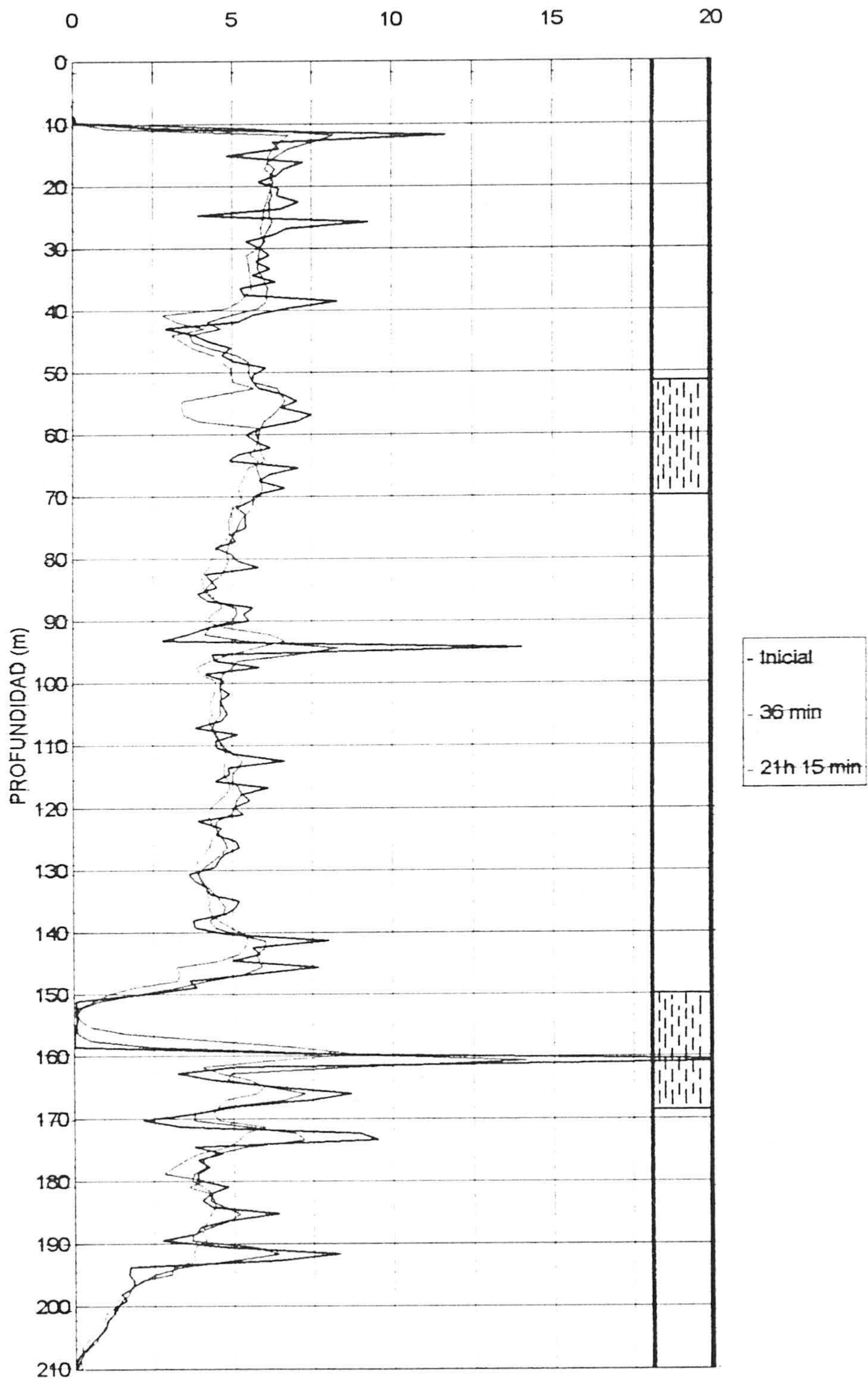
Miles



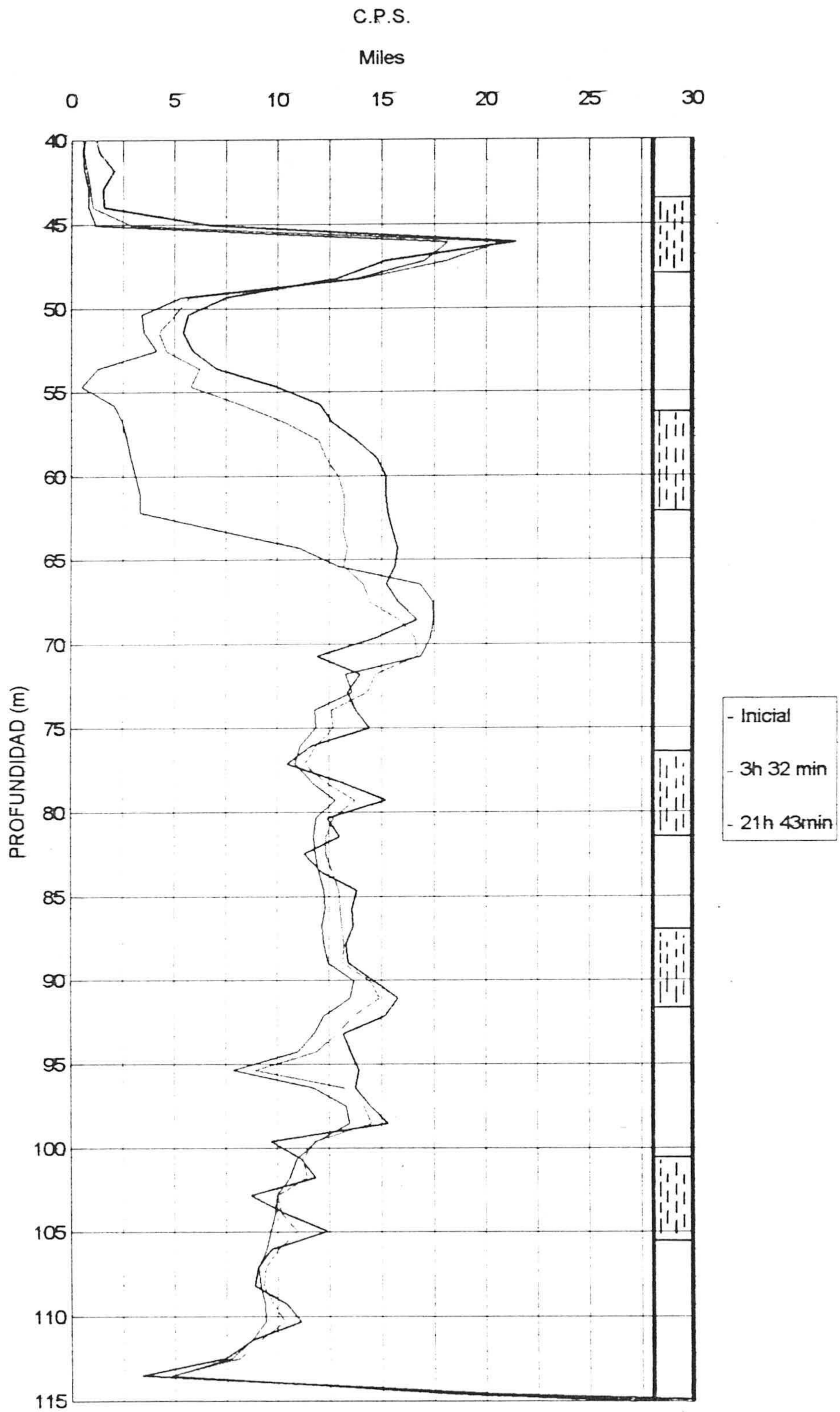
MELIONES-6

C.P.S.

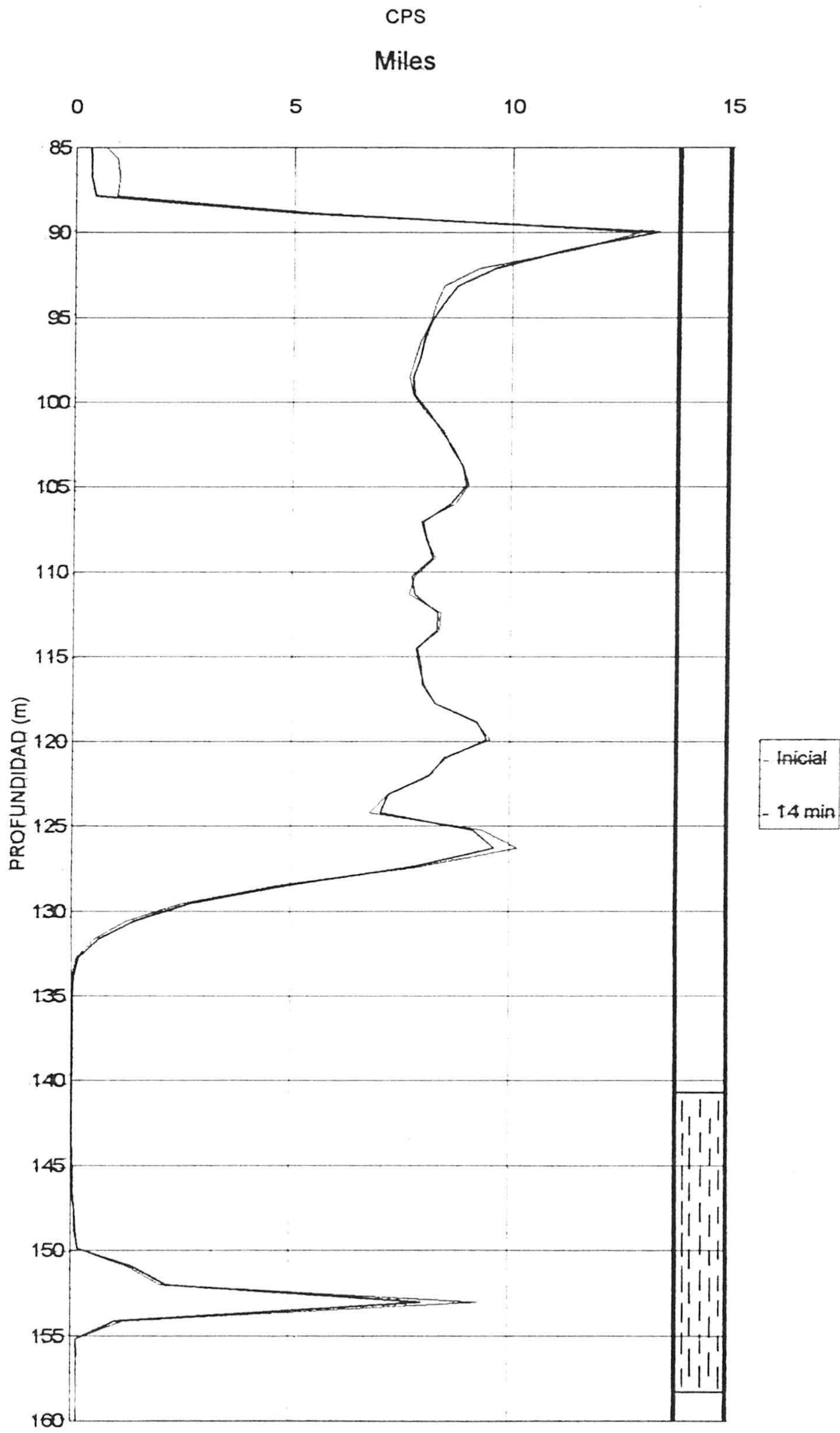
Miles



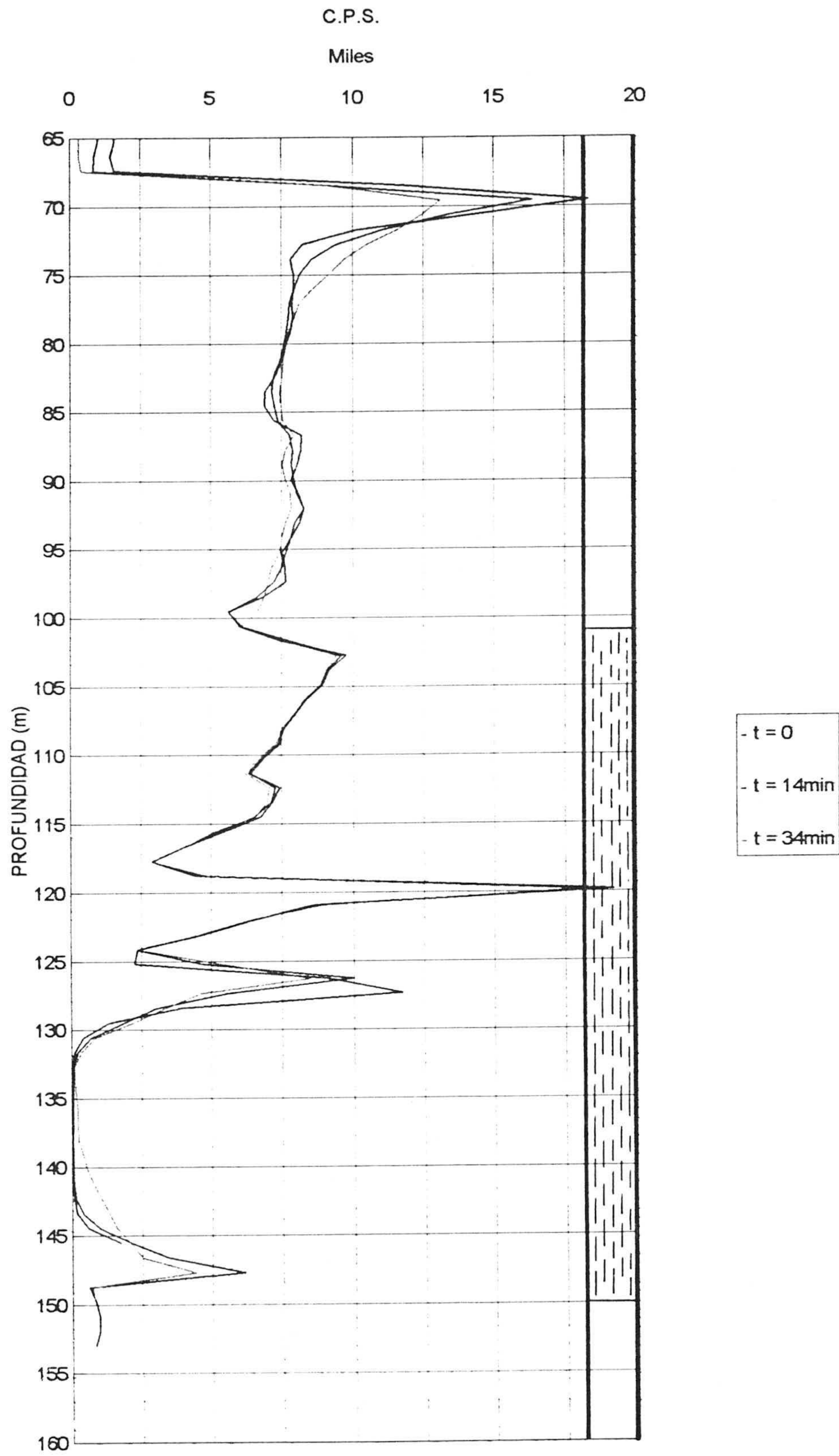
MELIONES-10



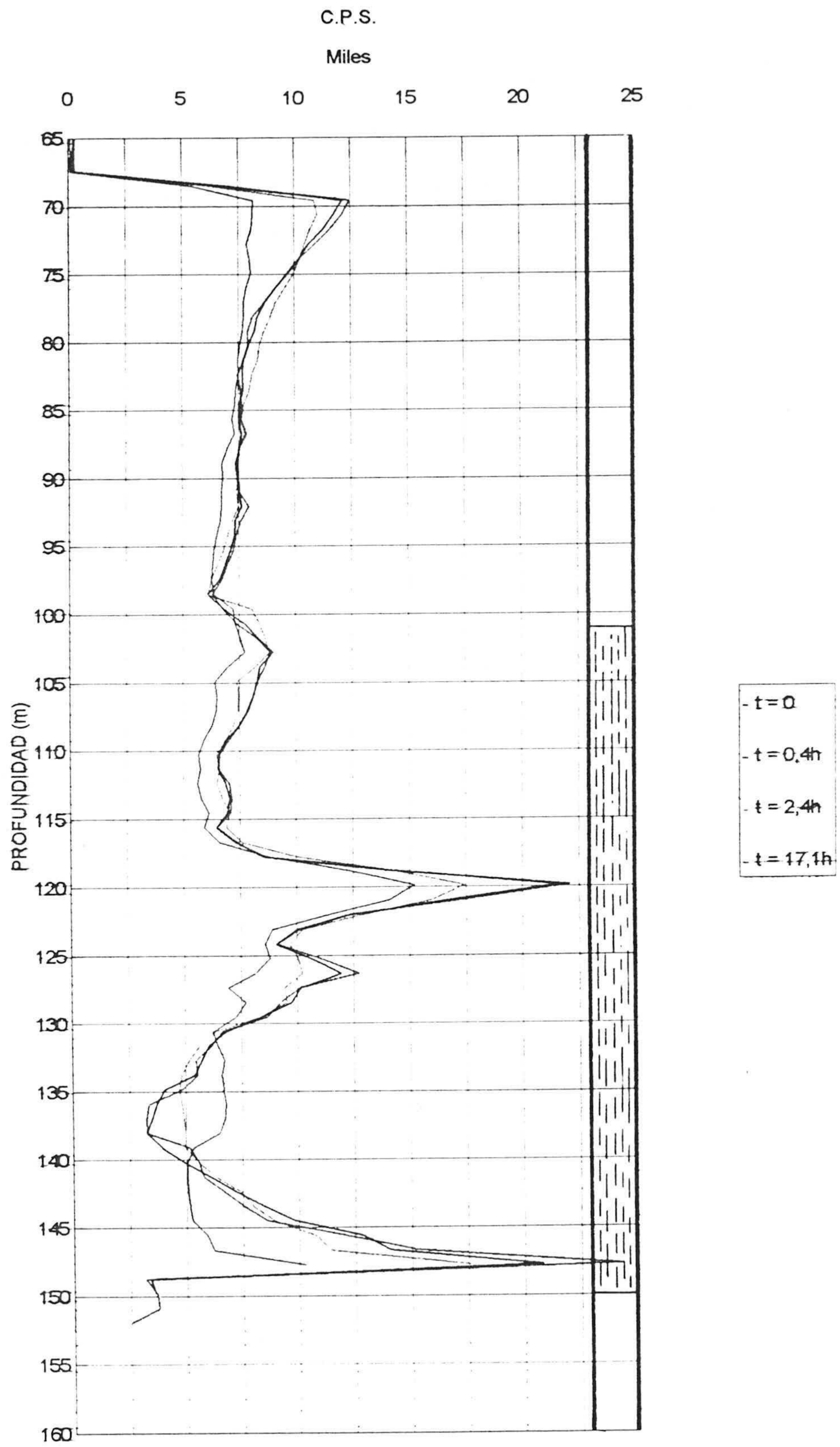
MELIONES-11



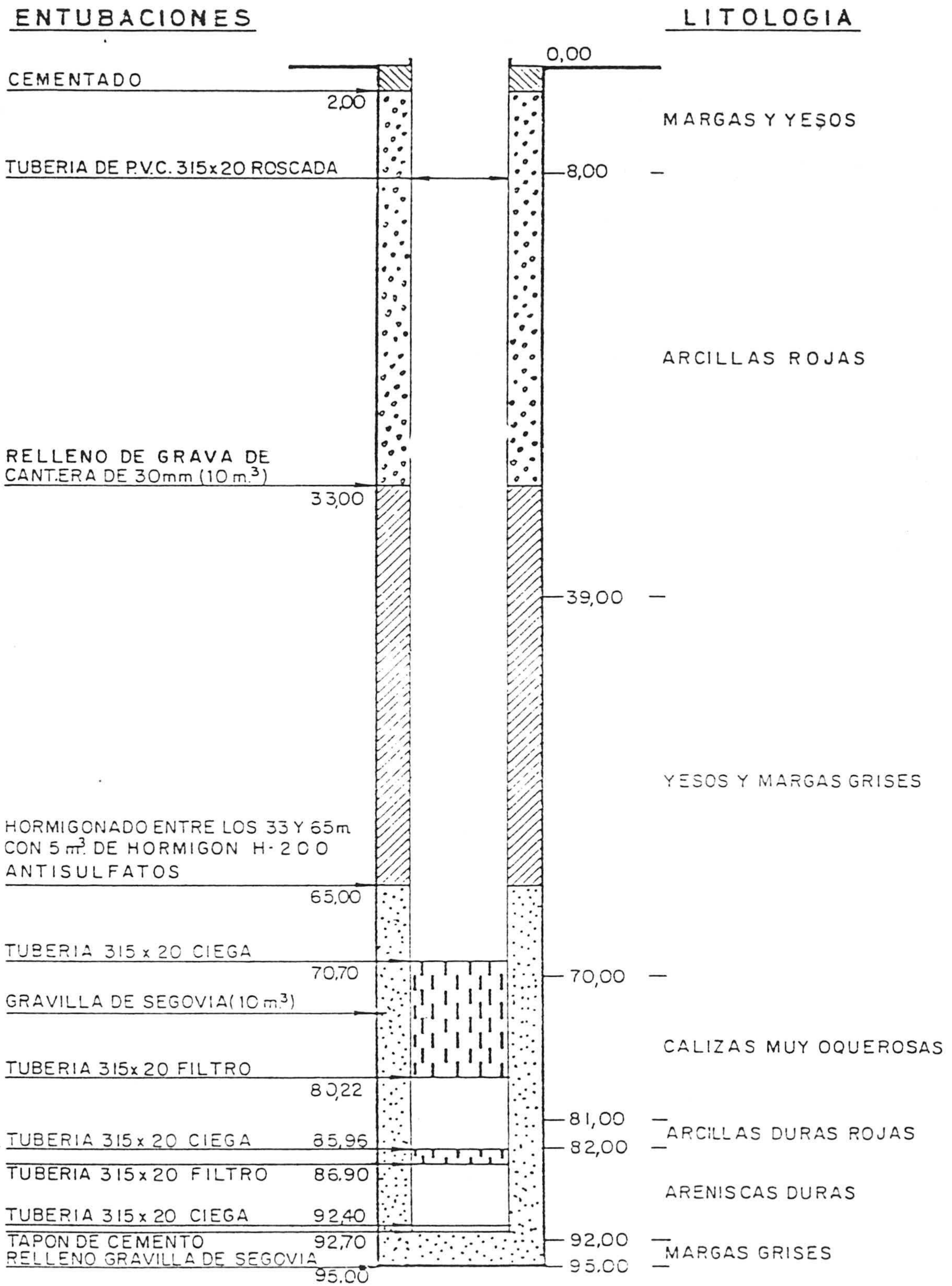
MELIONES-13



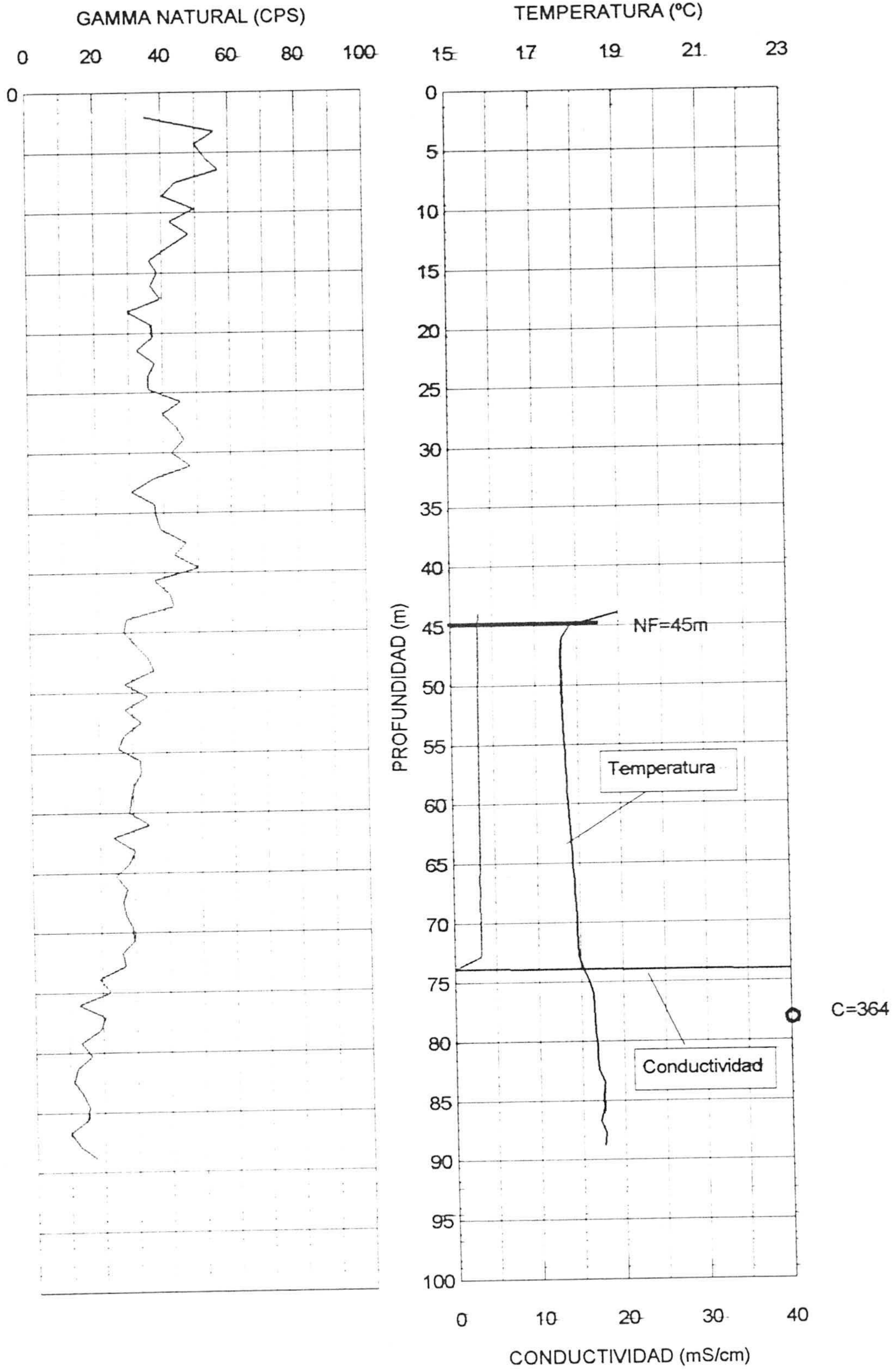
MELIONES-13



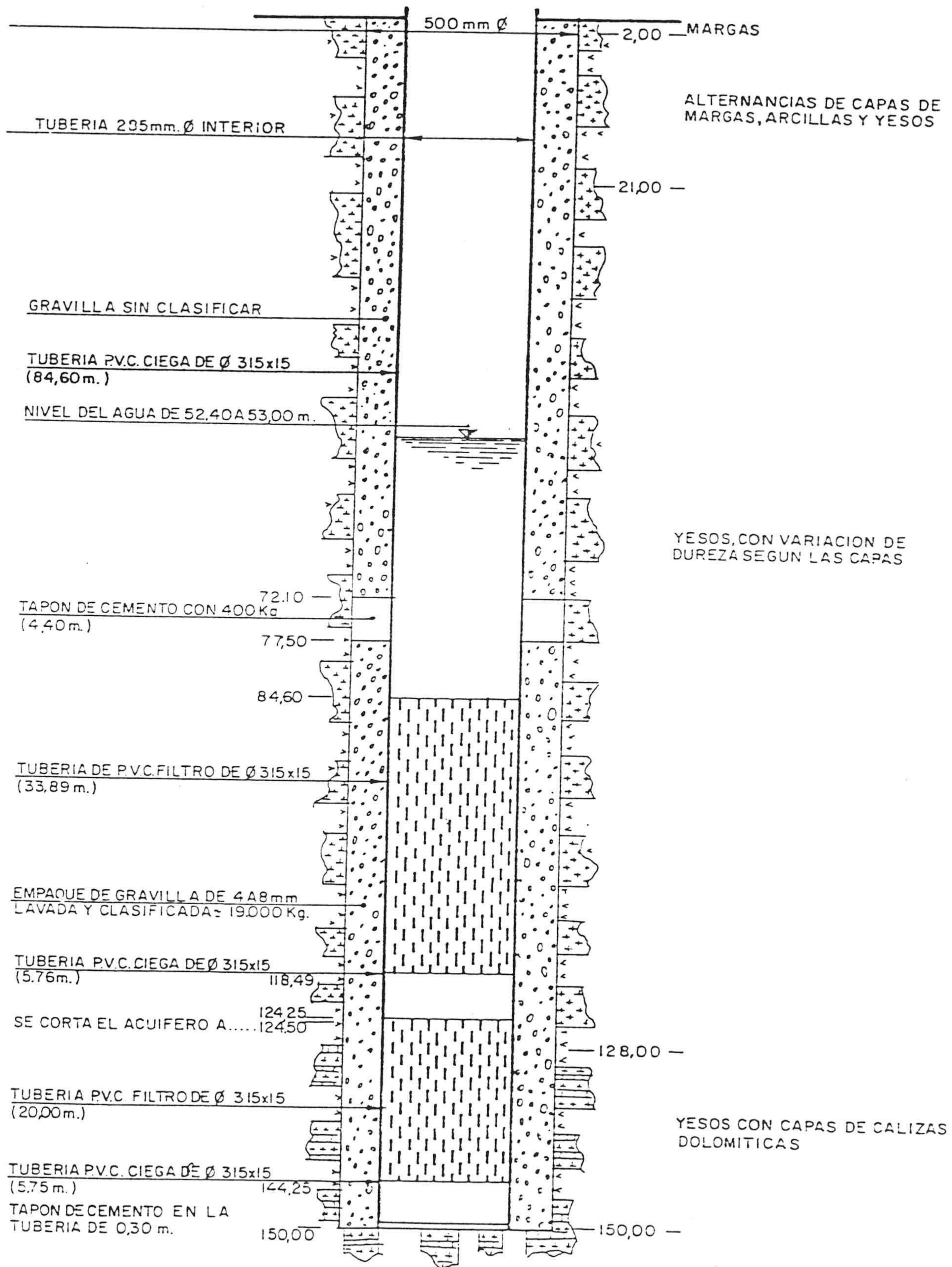
SONDEO S-2



SONDEO S-2

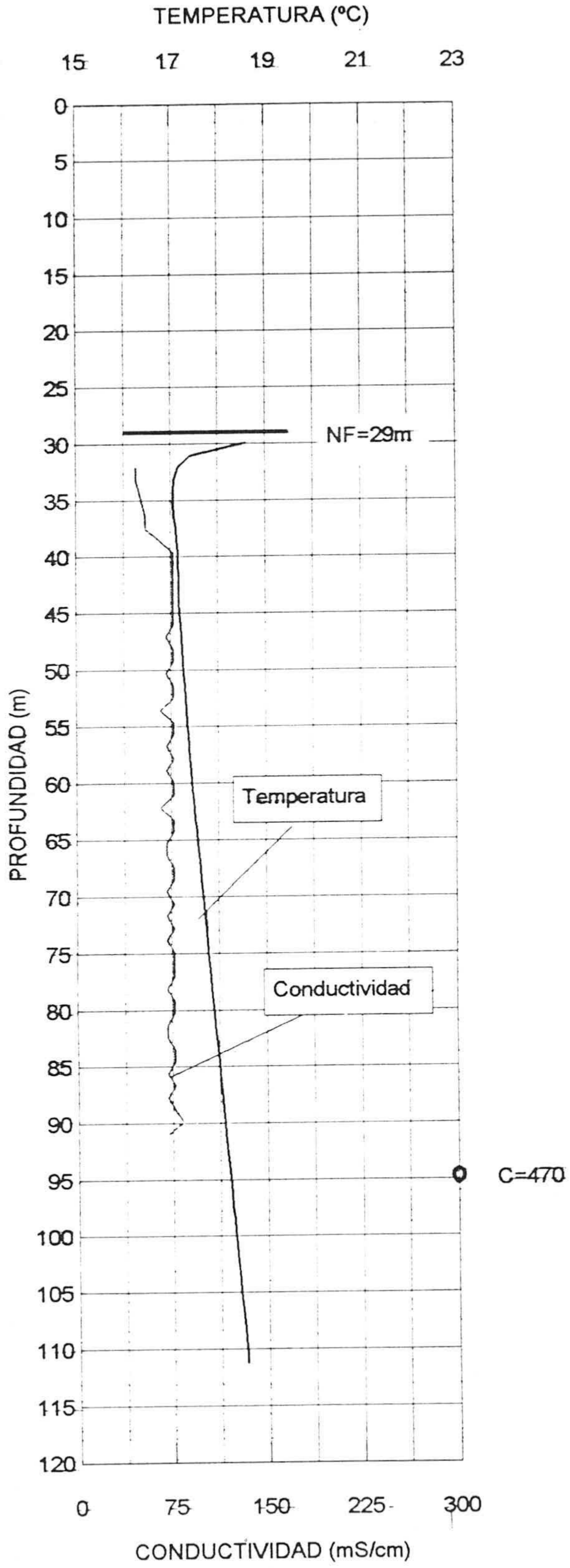
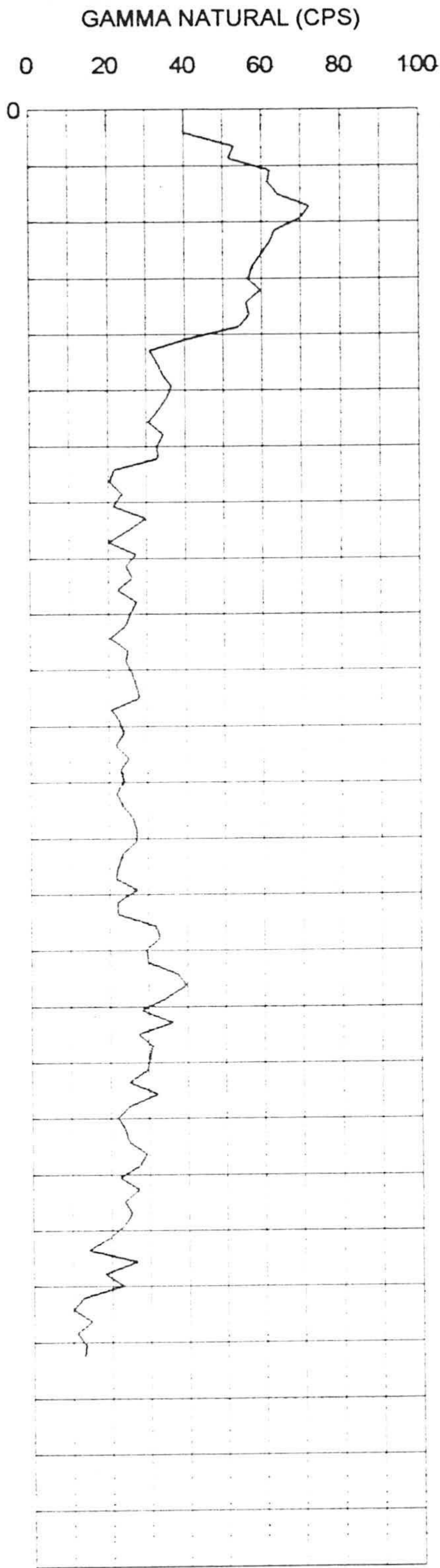


SONDEO S-3

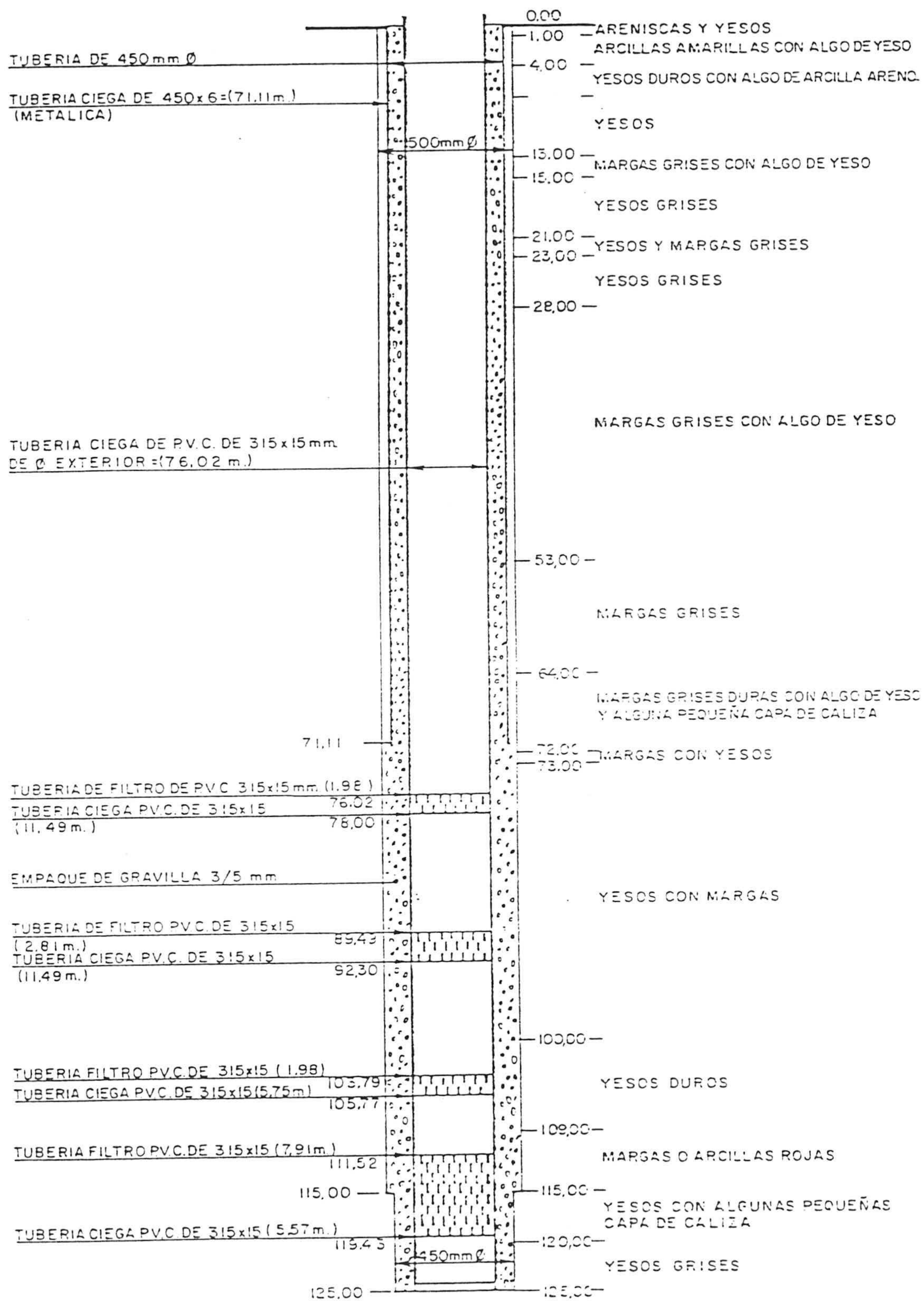


Tuberia P.V.C. ciega \varnothing interior 315x15 = 96,11
 " " filtro " " " " = 53,89
 TOTAL TUBERIA = 150,00m.

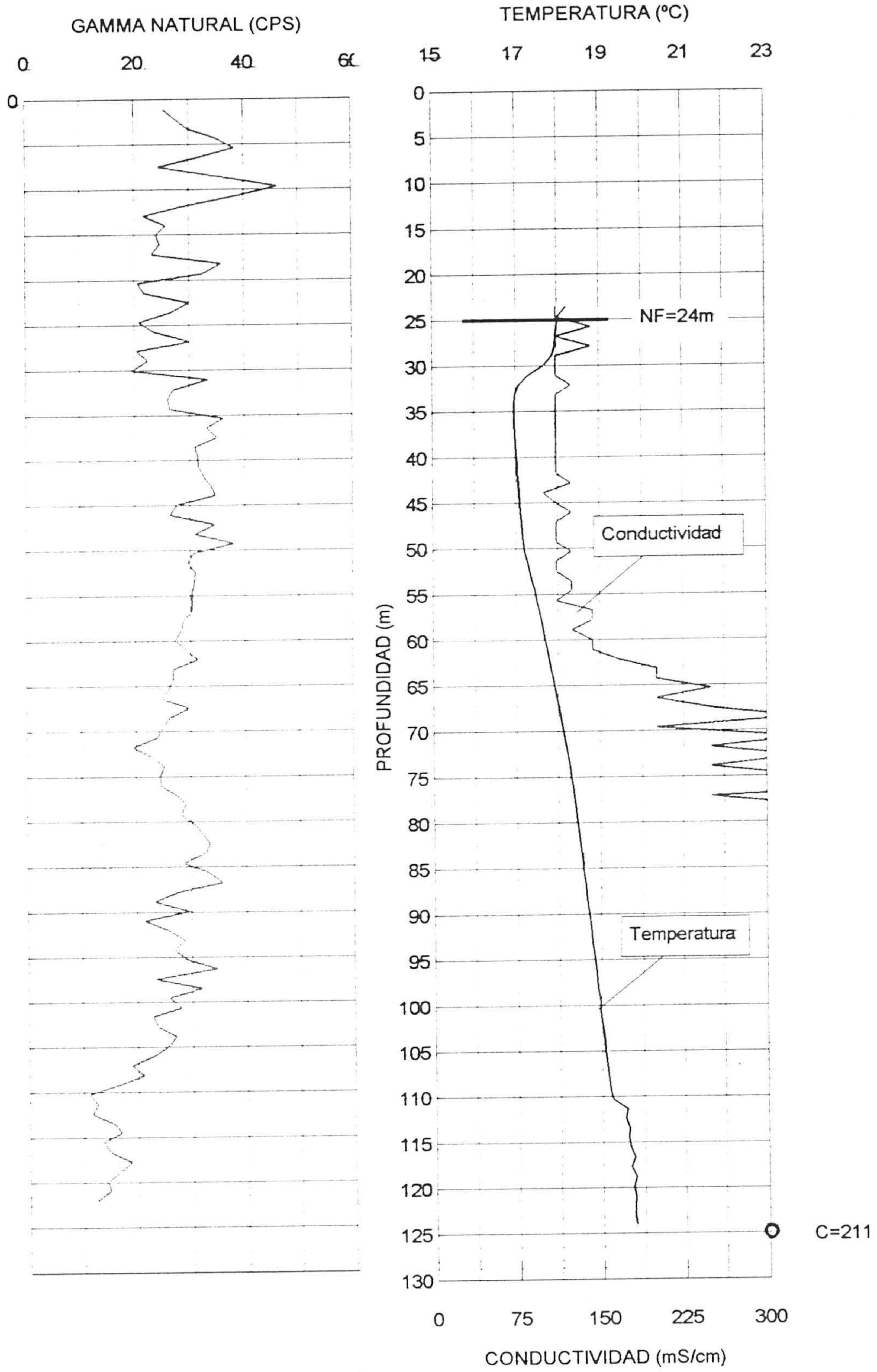
SONDEO S-3



SONDEO S-4



SONDEO S-4

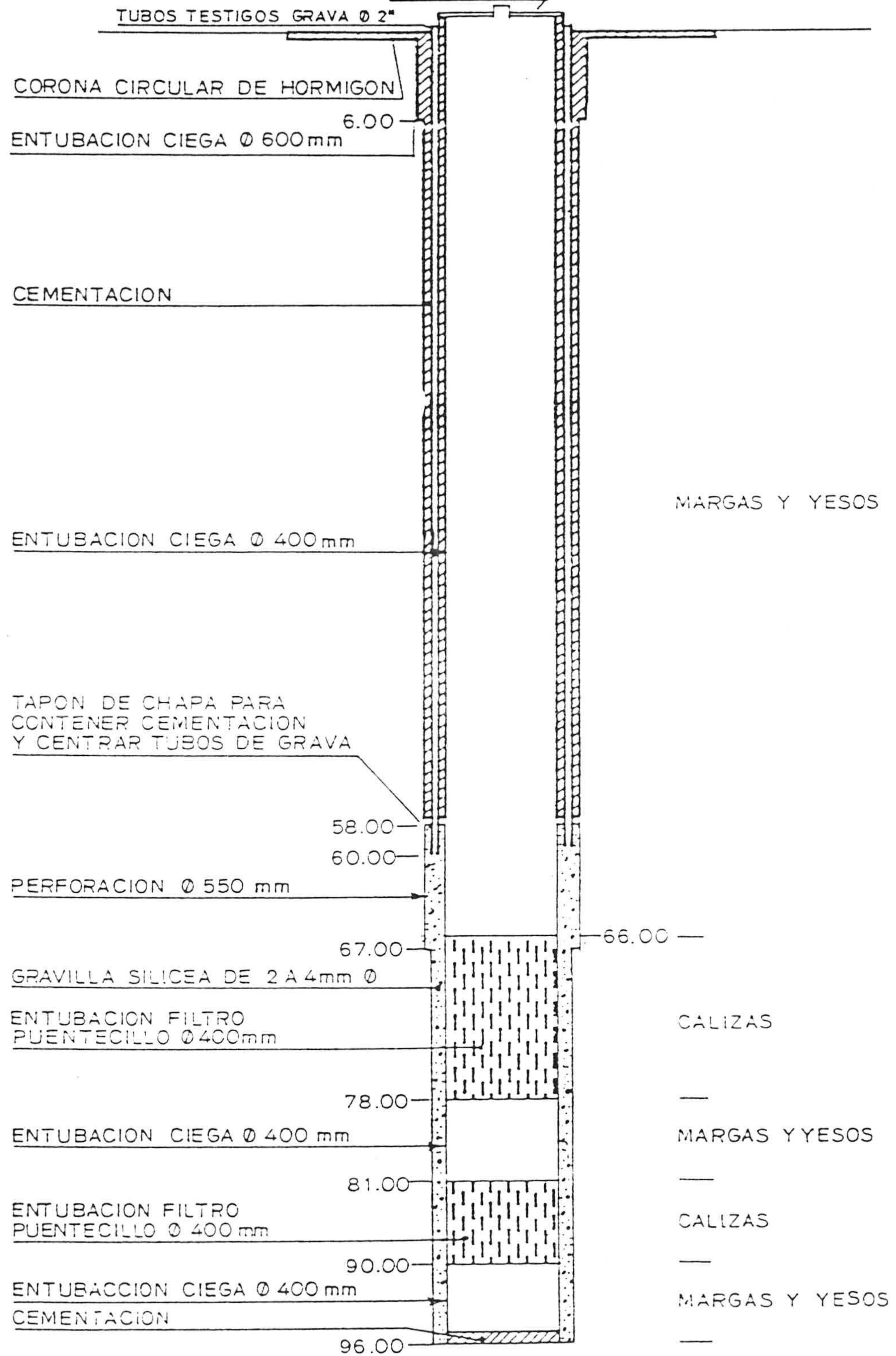


SONDEO S-5

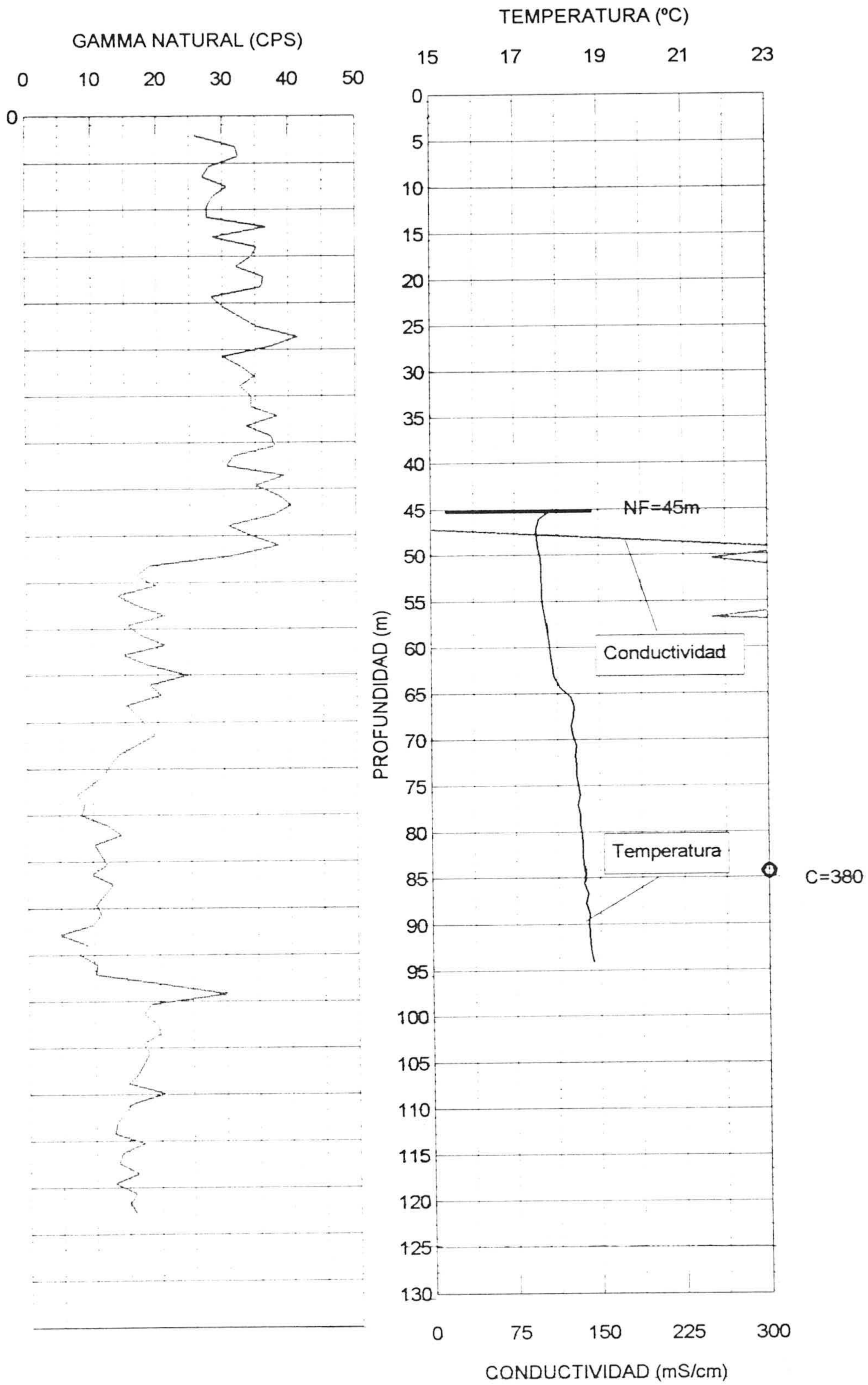
ENTUBACIONES

CABEZAL DE CIERRE CON
TAPA CON TORNILLOS Y
MANGUITO DE Ø 2"

LITOLOGIA



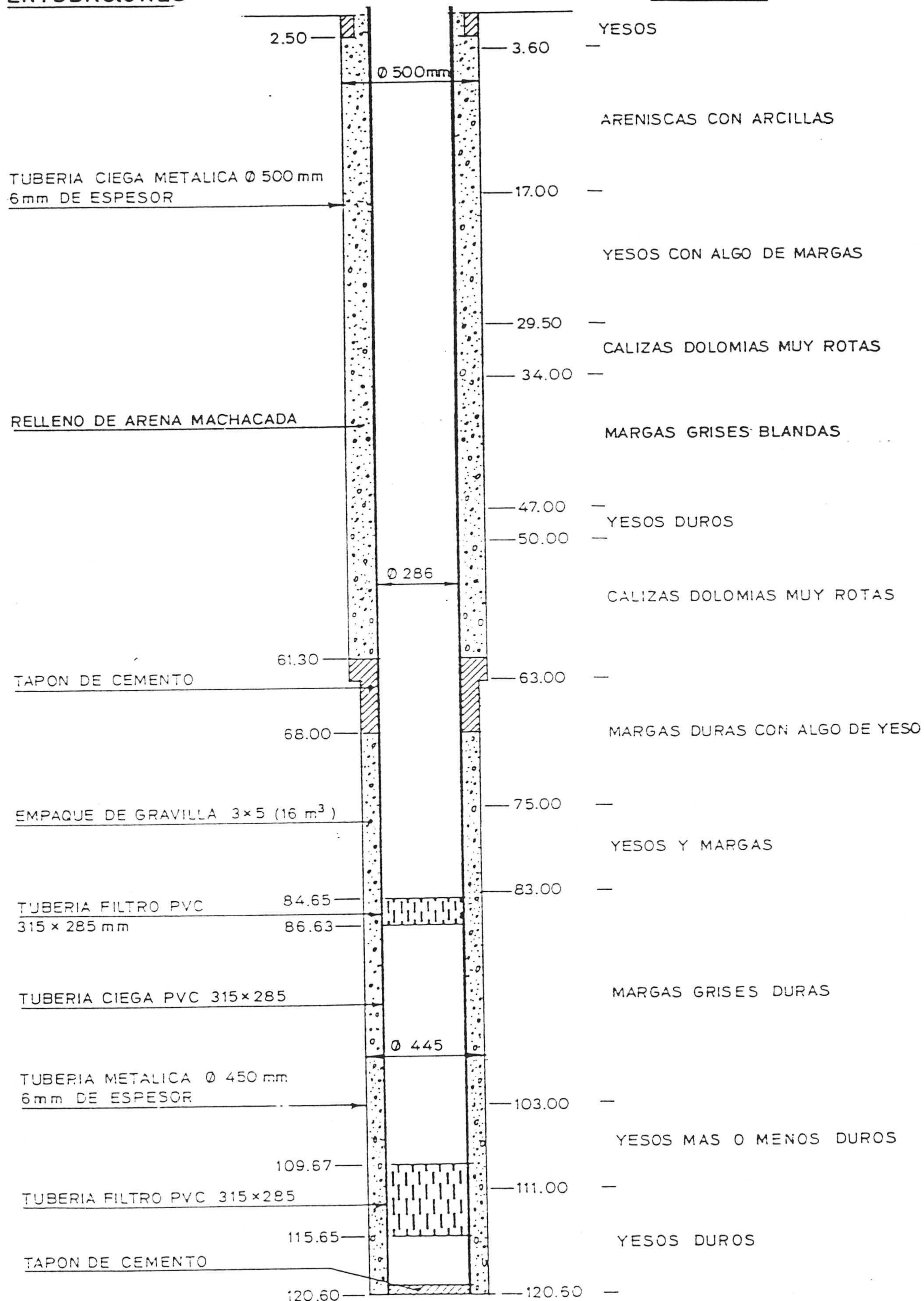
SONDEO S-5



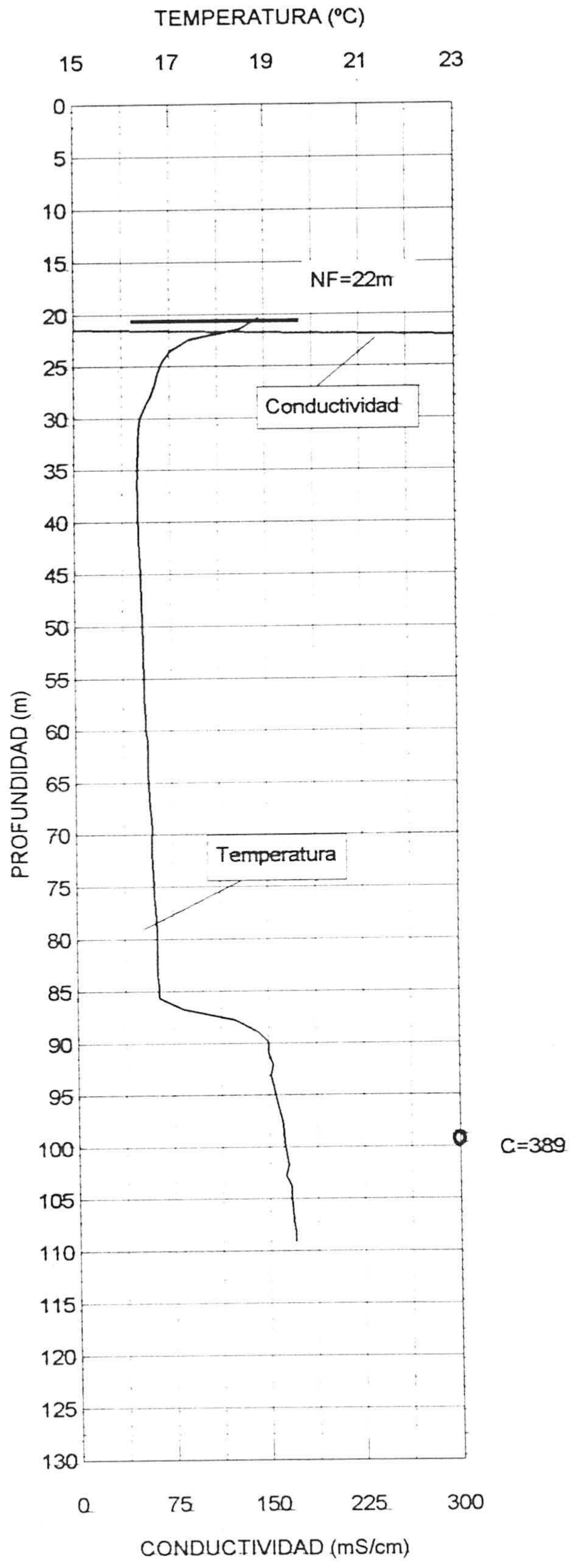
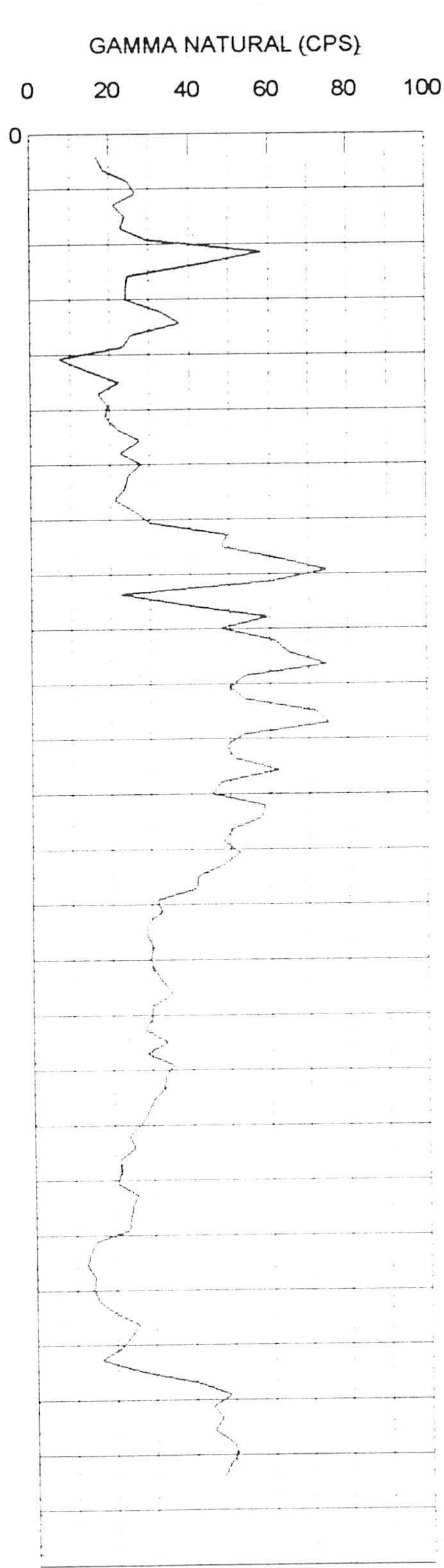
SONDEO S-6

ENTUBACIONES

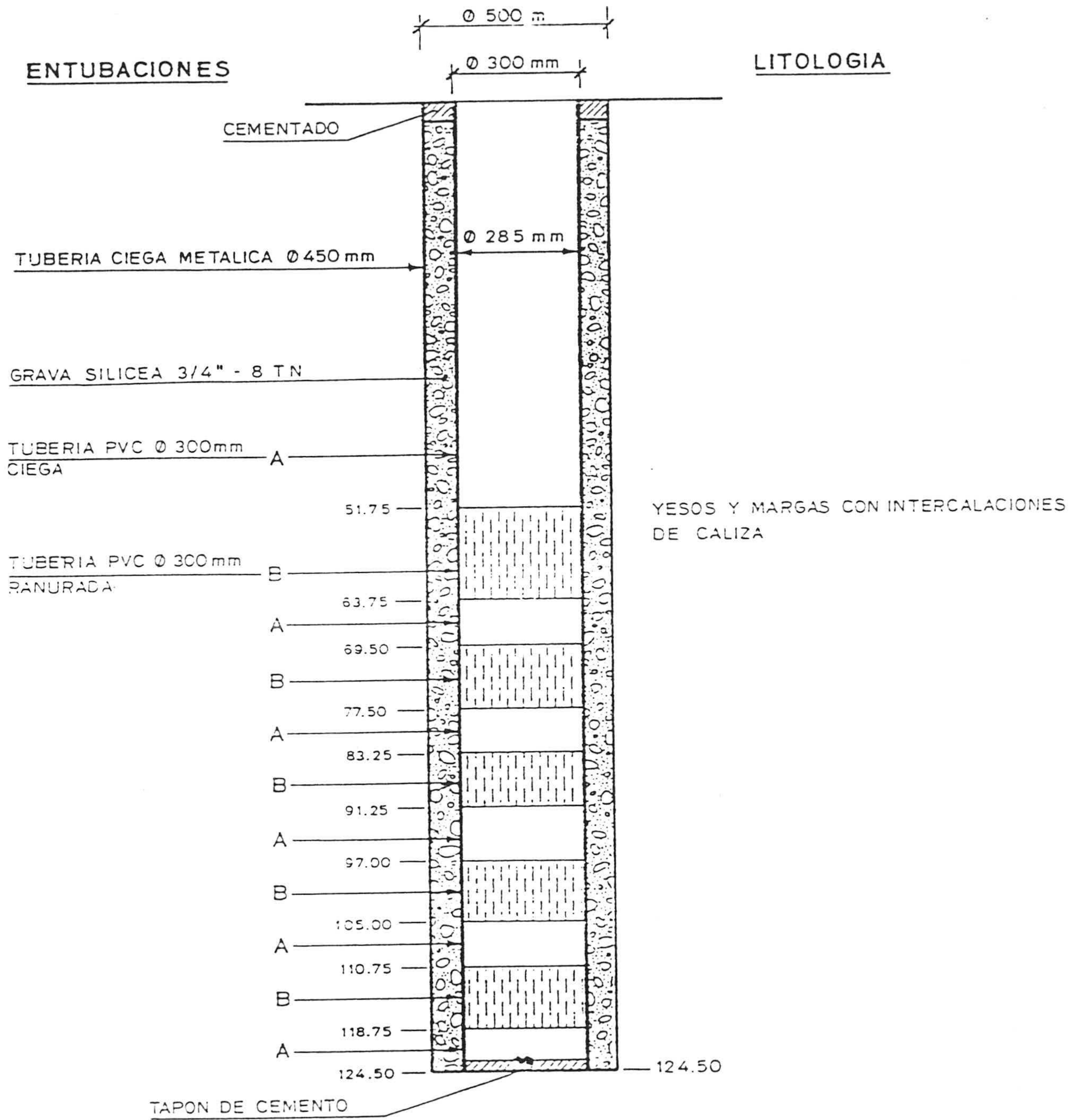
LITOLOGIA



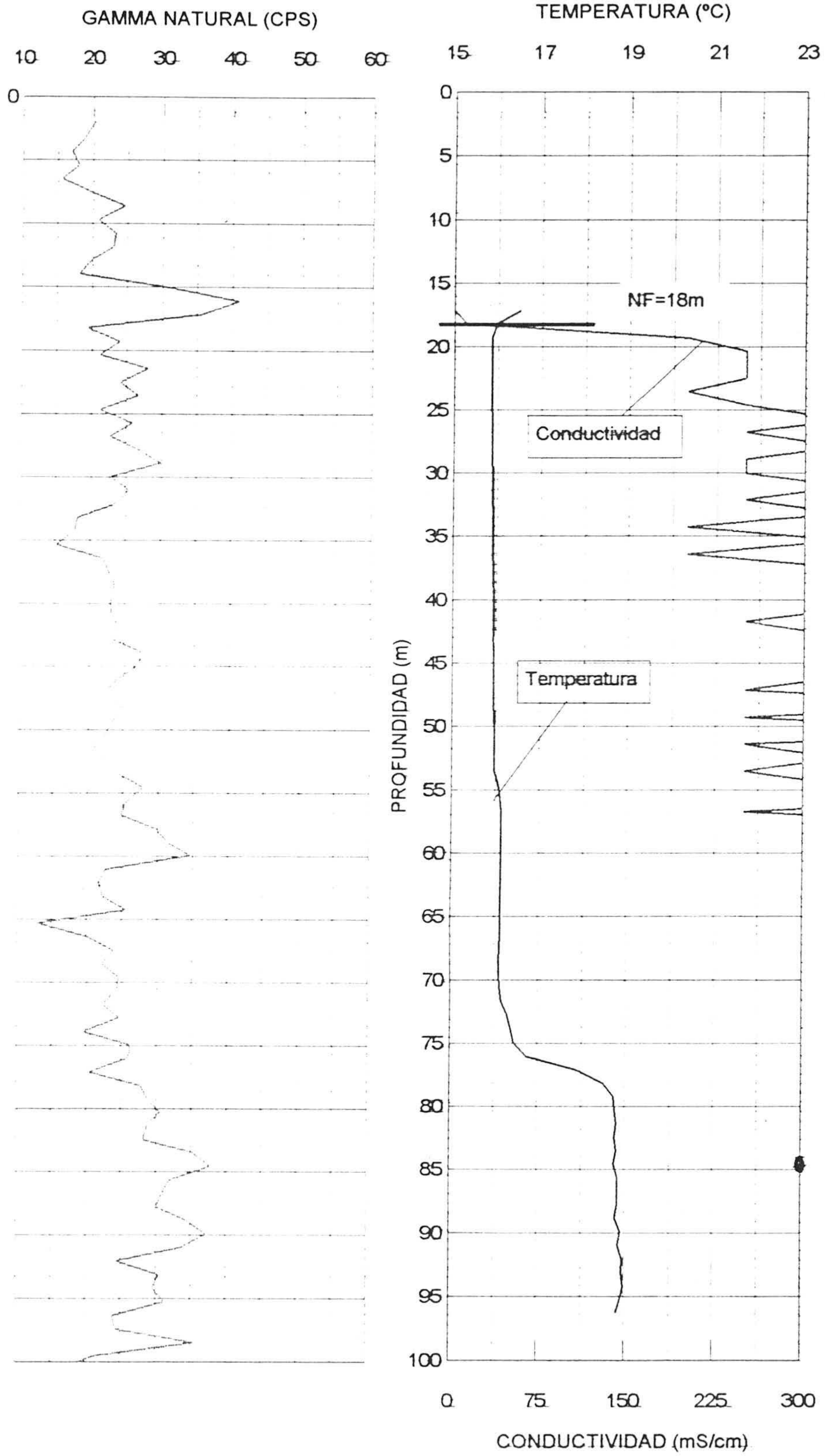
SONDEO S-6



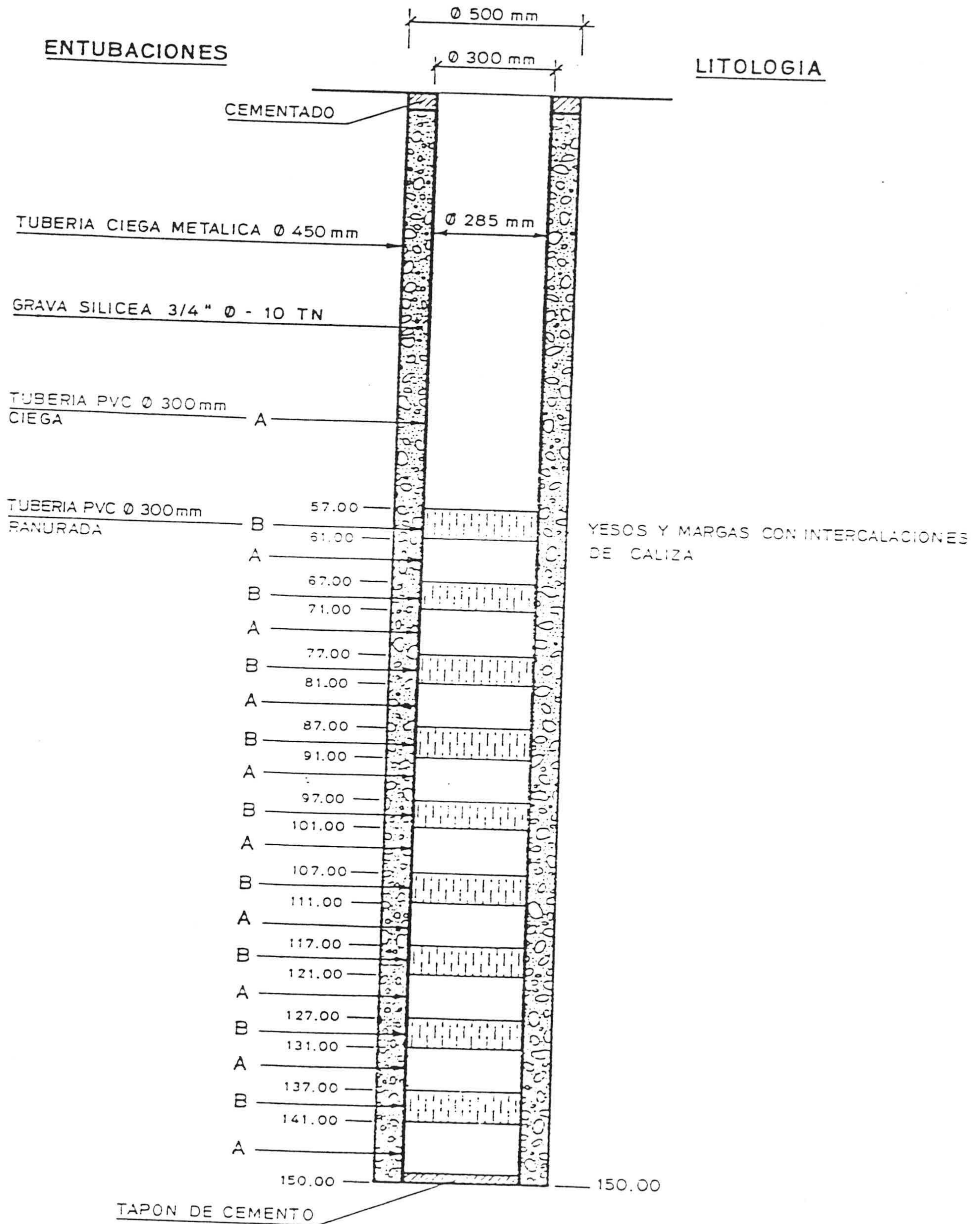
SONDEO S-7



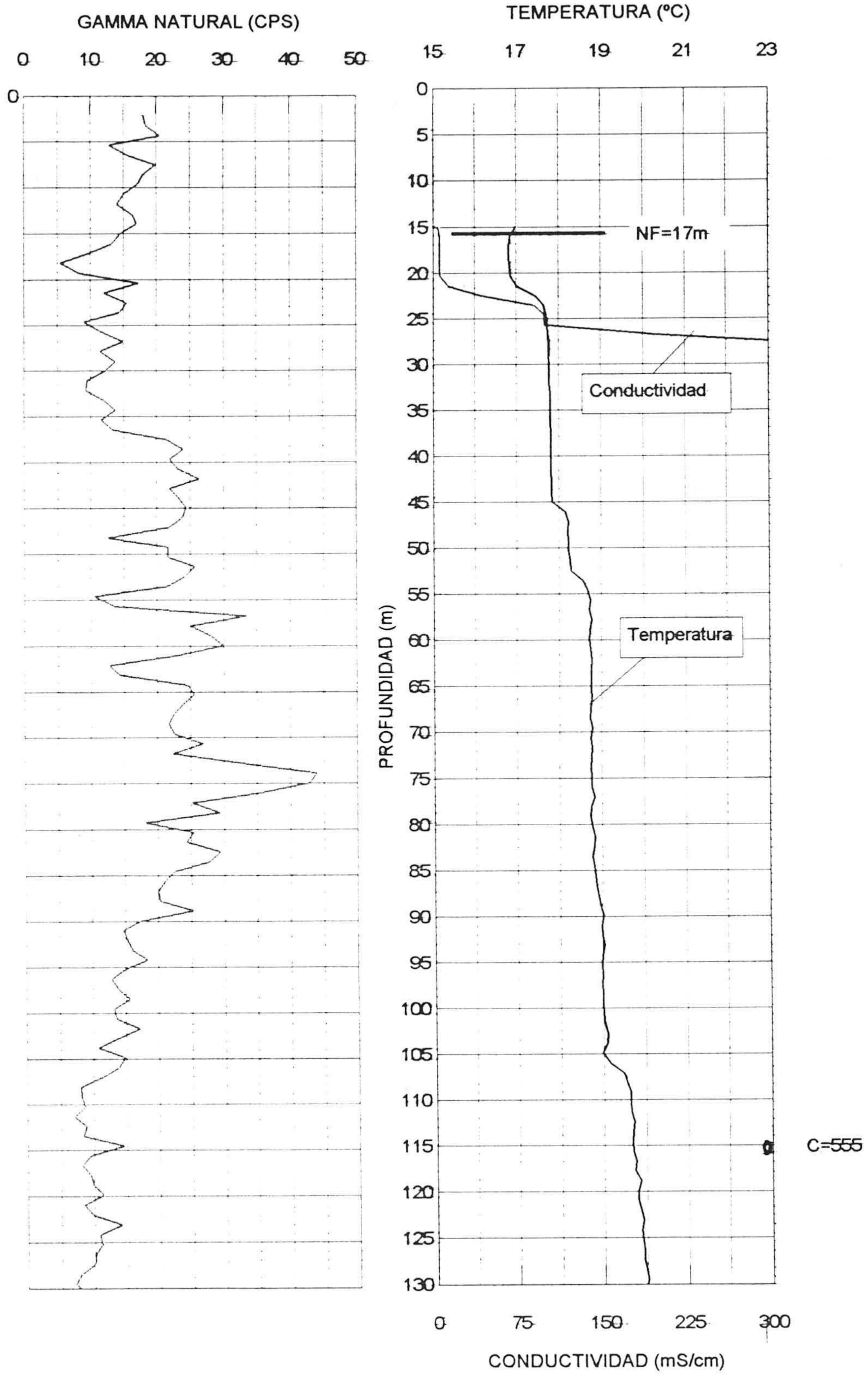
SONDEO S-7



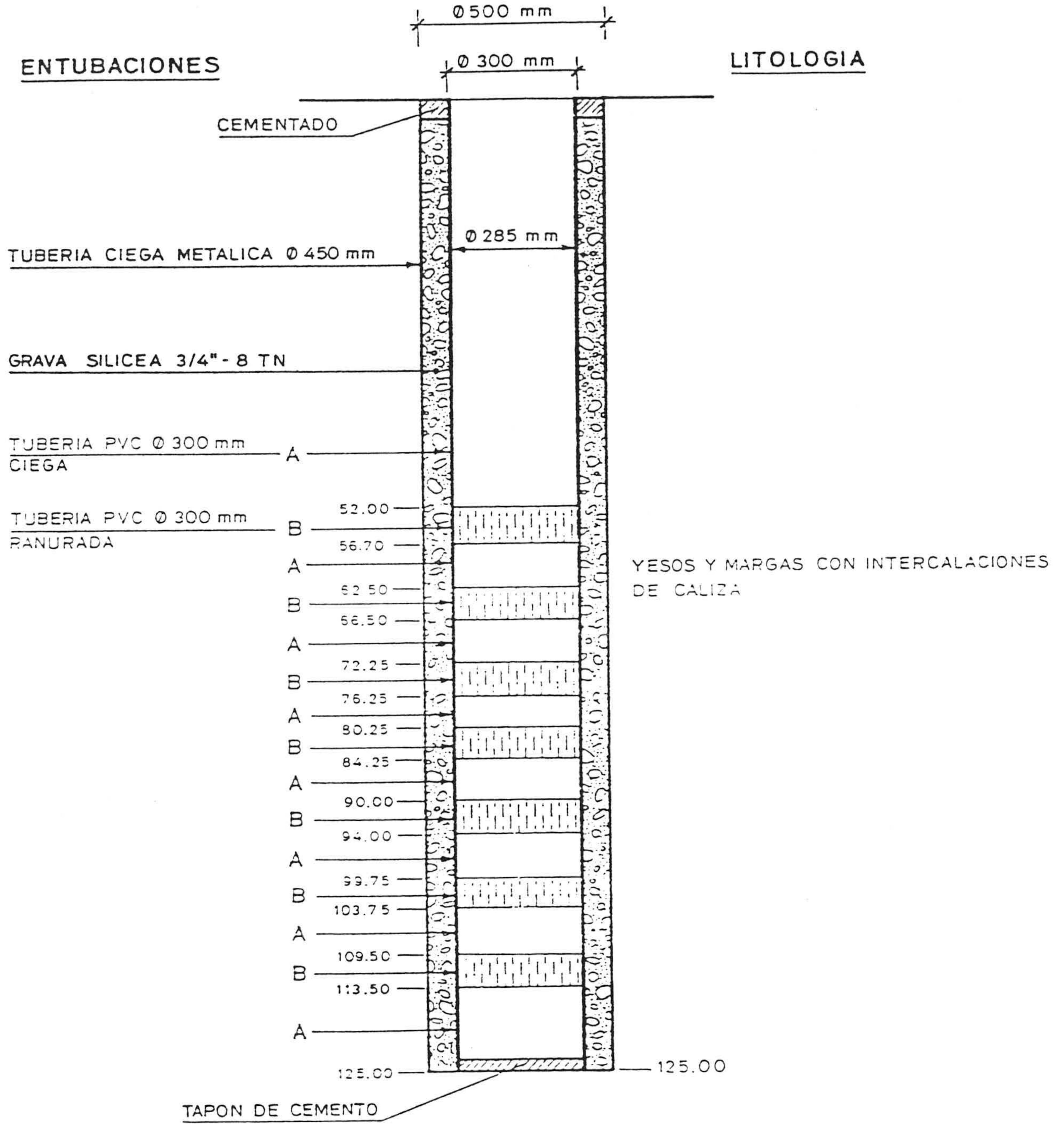
SONDEO S-8



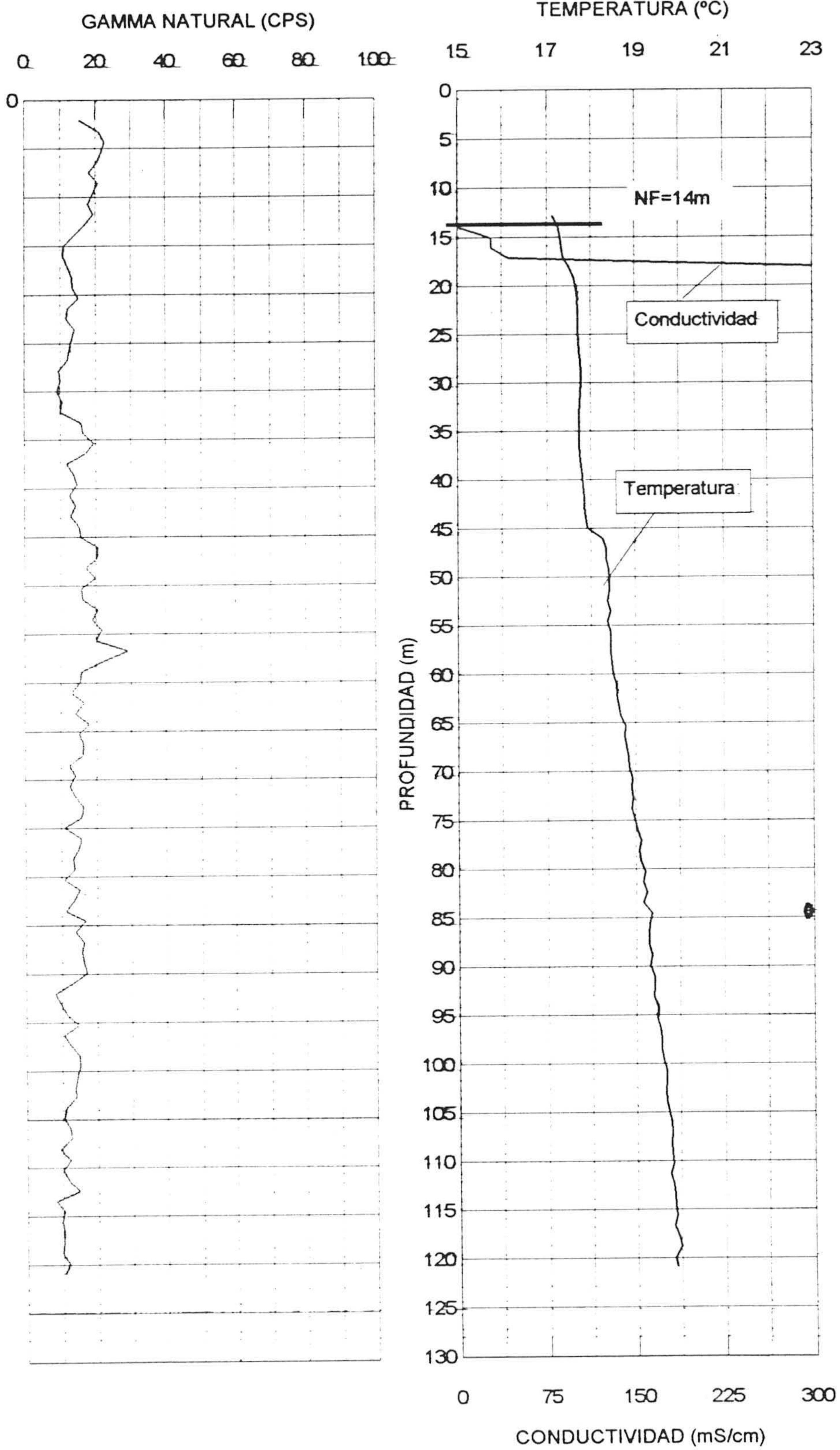
SONDEO S-8



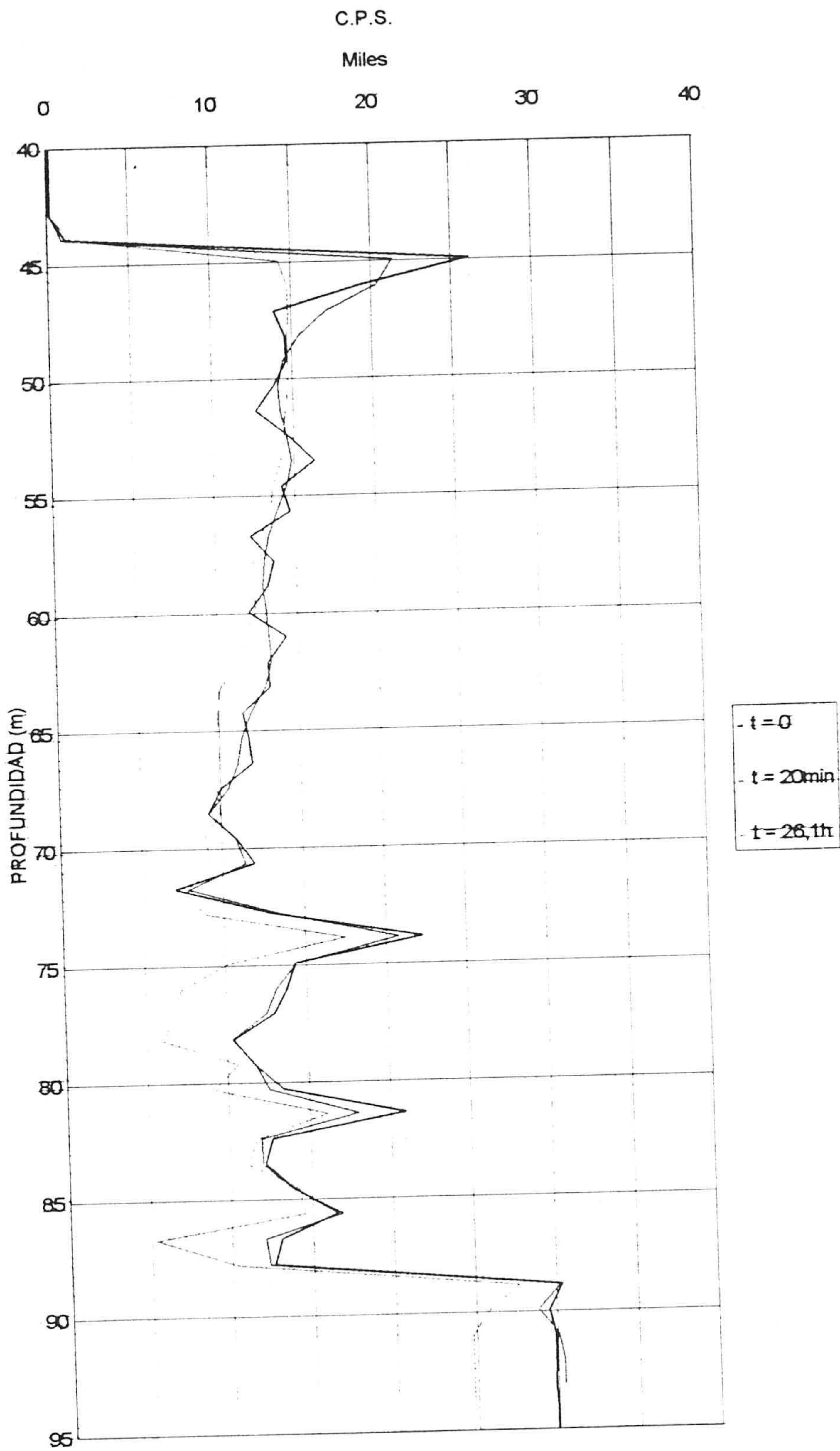
SONDEO S-9



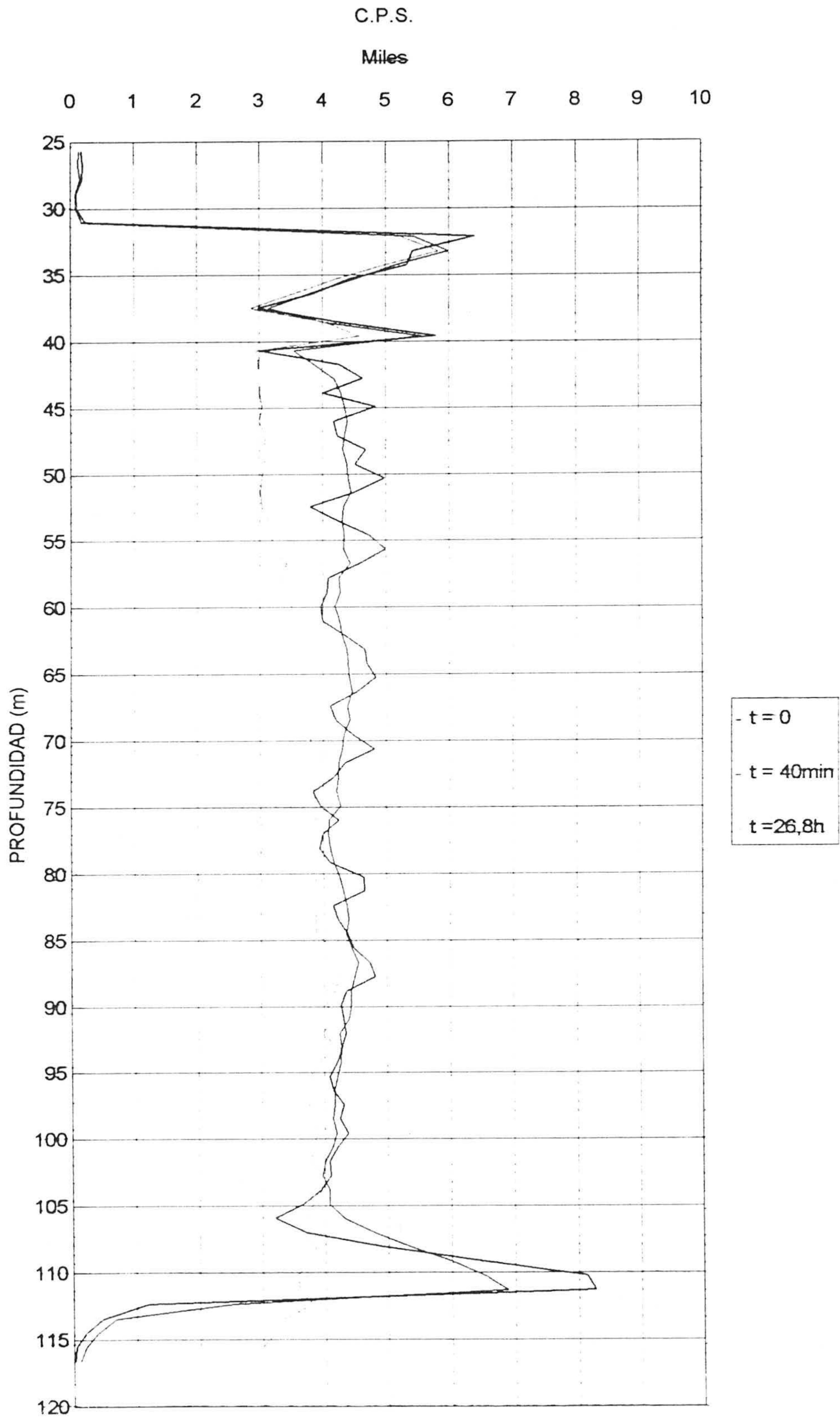
SONDEO S-9



SONDEO S-2



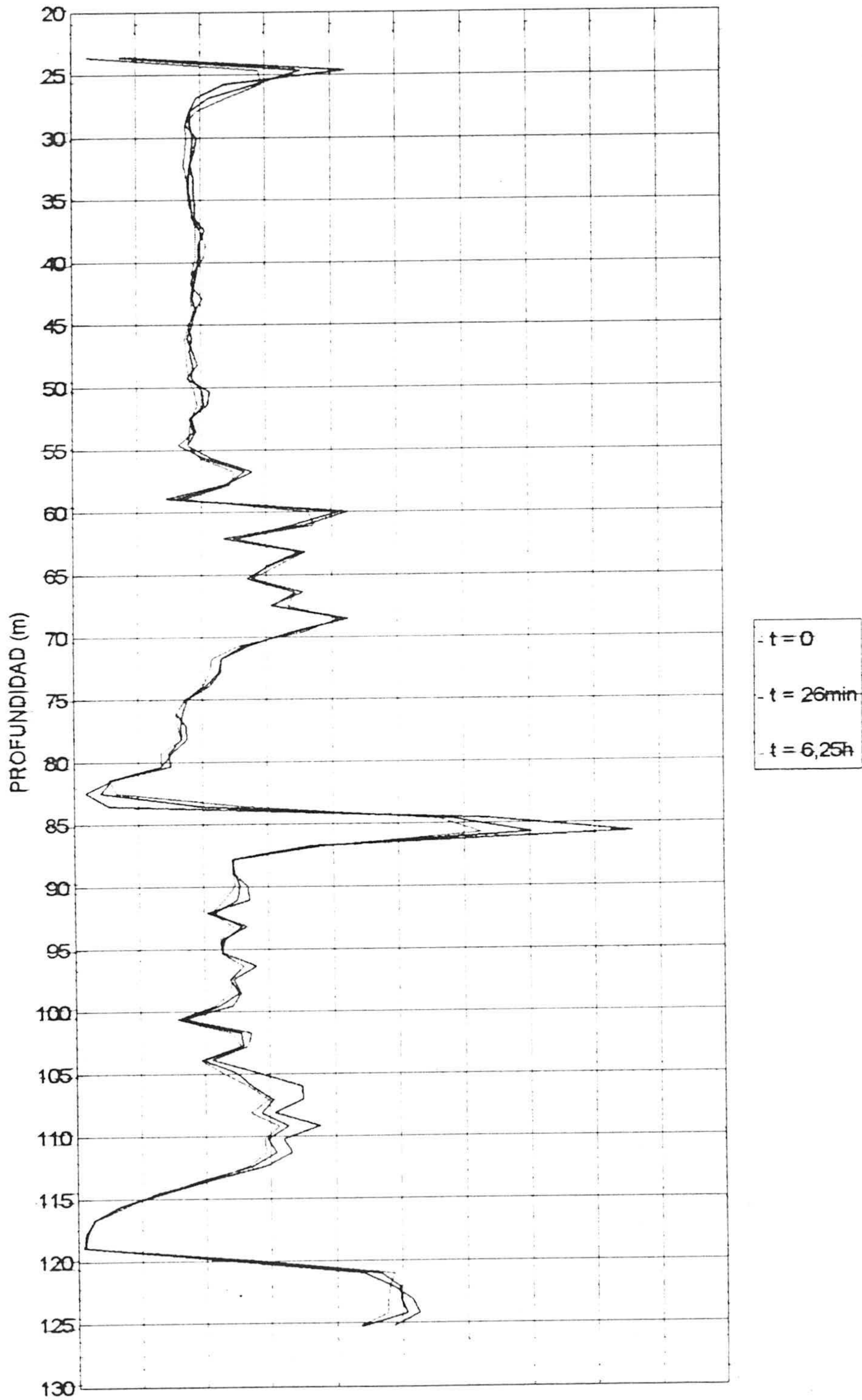
SONDEO S-3



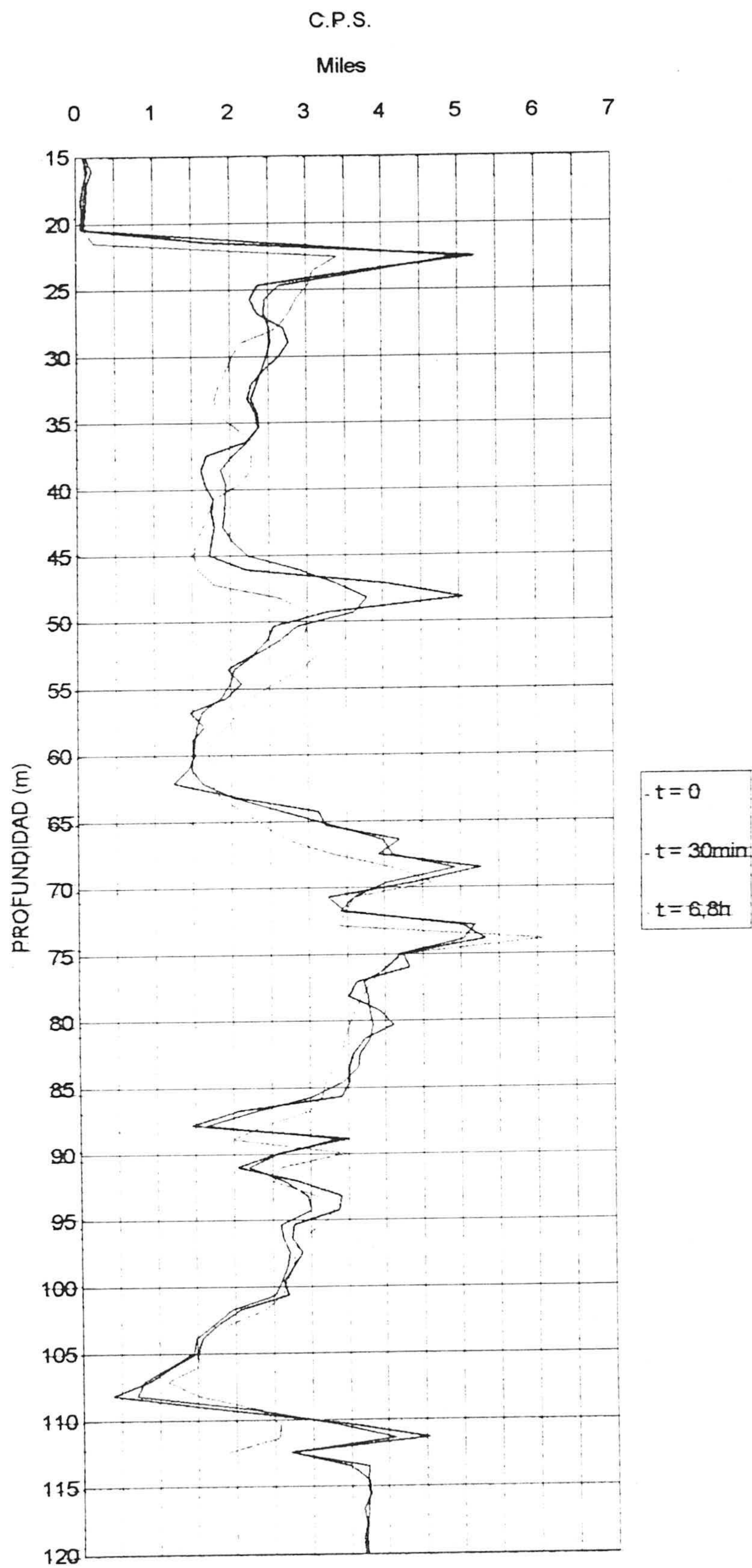
SONDEO S-4

C.P.S.

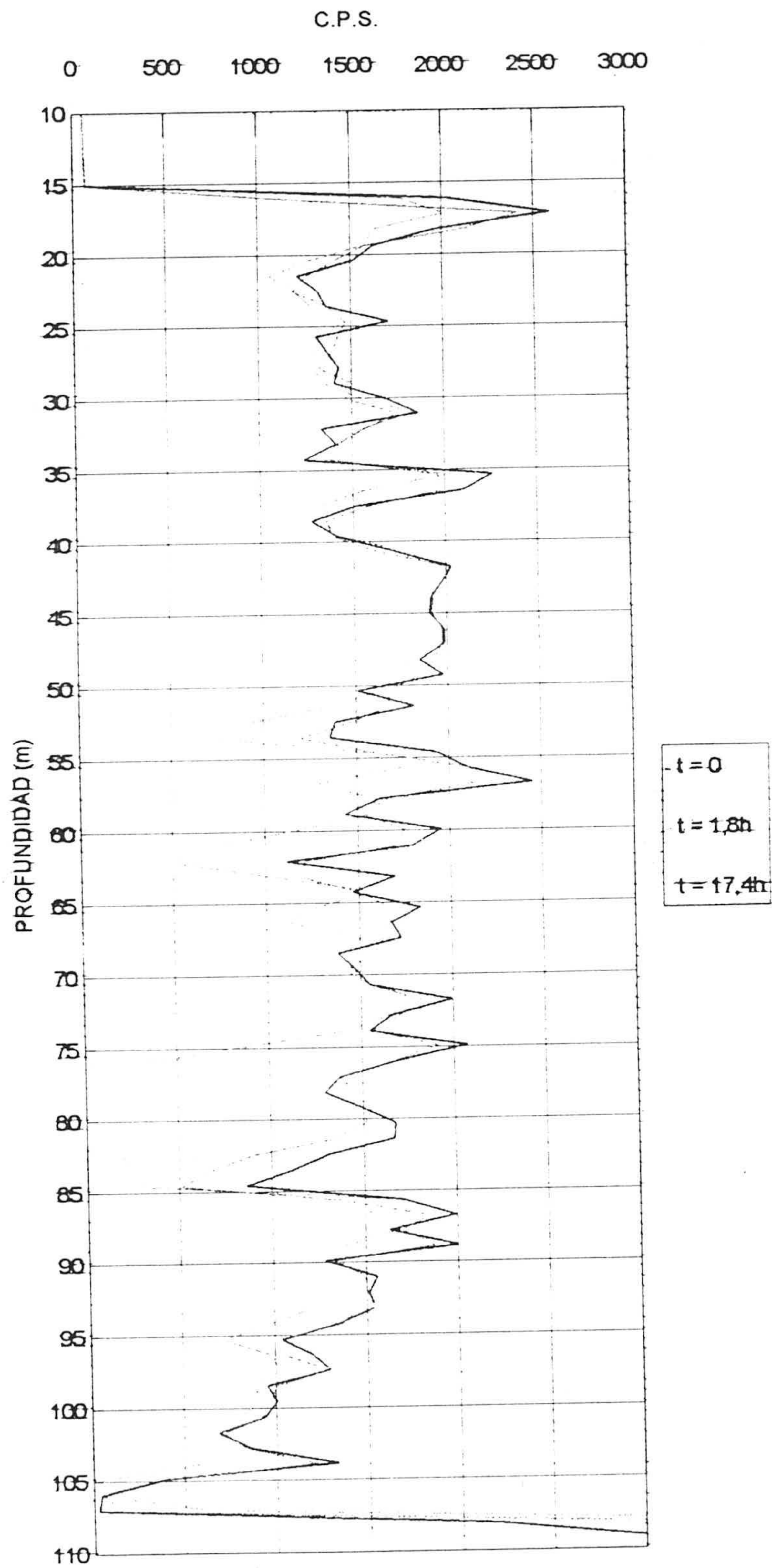
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000



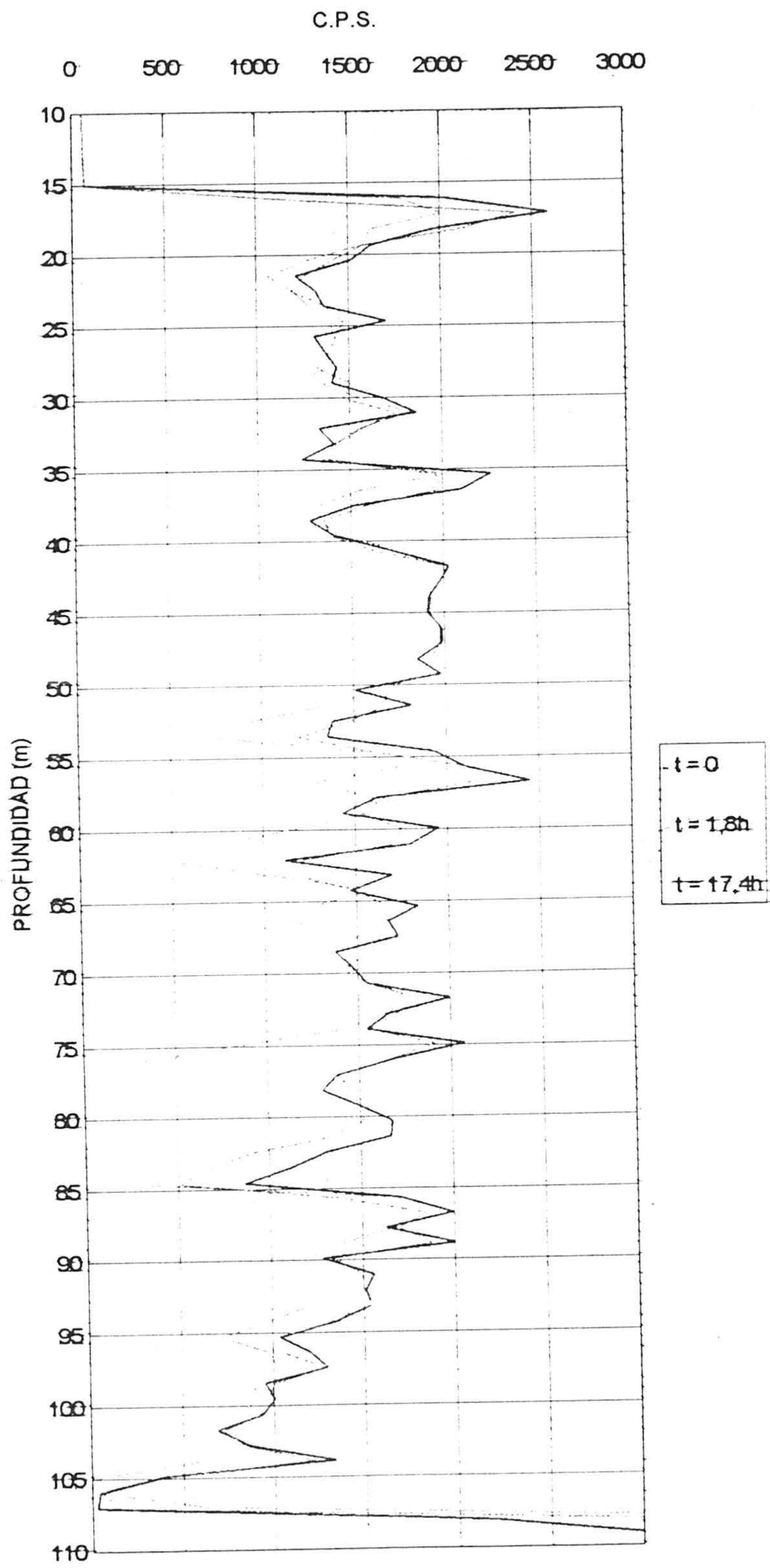
SONDEO S-6



SONDEO S-8



SONDEO S-8



SONDEO S-9

