09424
09425 CATALOGADO N/314

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROGRAMA DE NACIONES
UNIDAS PARA EL DESARROLLO

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
BIBLIOTECA
CENTRO DE
DOCUMENTACION
Y PUBLICACIONES

5

PLAN AGUA SUBTERRANEA

REPUBLICA ARGENTINA

PROSPECCION GEOFISICA EN LOS VALLES DE TULUM, ULLUM - ZONDA, VALLE FERTIL, BERMEJO Y TUNUYAN

por

YVES F. SERRES

Este informe se eleva al Consejo Federal de Inversiones previo a su aprobación por las Naciones Unidas o por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y por lo tanto no representa necesariamente los puntos de vista de estas organizaciones.

SAN JUAN

DICIEMBRE 1965 - NOVIEMBRE 1968

Impreso en Argentina - Printed in Argentine
Hecho el depósito que marca la ley 11.723
(c) 1970 CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
Alsina 1401 Buenos Aires República Argentina

FE DE ERRATAS

1- Página 31 - línea 24

donde dice: "... las formaciones resisticas tienen menos de 30 metros ..."

debe decir: "... las formaciones resistivas tienen menos de 30 metros..."

2- Página 38 - línea 14

donde dice: "... la falta de datos de control así como los calores bajos ..."

debe decir: "... la falta de datos de control así como los valores bajos ..."

3- Página 44 - línea 25

donde dice: "... hifrogeología del área ..."

debe decir: "... hidrogeología del área ..."

4- Página 49 - línea 26

donde dice: "... transverslles ..."

debe decir: "... transversales ..."

5- Página 50 - línea 29

donde dice: "... podrían realizarce..."

debe decir: "... podrían realizarse..."

6- Página 51 - línea 14

donde dice: "... poso ..."

debe decir: "... pozo ..."

7- Página 52 - línea 16

donde dice: "...en el almazenamiento..."

debe decir: "...en el almacenamiento..."

8- Página 52 - línea 22

donde dice: "... han podido analizarce..."

debe decir: "... han podido analizarse..."

2- VALLE FERTIL Pág. 28
(a) Configuración general " 28
(b) Características estructurales " 29
(c) Caracter del relleno " 34
(d) Recomendaciones " 35
3- VALLE DEL BERMEJO " 36
(a) Configuración general " 36
(b) Resultados " 38
(c) Recomendaciones " 44
4- VALLE DE TUNUYAN " 44
(a) Configuración general " 44
(b) Resultados " 47
(c) Recomendaciones " 50
5- VALLE DE MENDOZA " 51
6- CONCLUSIONES " 52

FIGURAS

1. Respuesta de la resistividad aparente contra diámetros de los pozos Pág. 10
2. Respuesta de la resistividad en el Valle de Tulum (Pozo VT5) " 15
3. Sondeos eléctricos en áreas salinas " 27
4. Sondeos eléctricos típicos en áreas poco y muy profundas del Valle Fértil " 30
5. Perfiles eléctricos de la cuenca profunda de Valle Fértil " 33
6. Mapa del basamento conductivo al este de San Agustín " 34
7. Sondeos eléctricos típicos del Valle del Bermejo " 38
8. Sondeos eléctricos típicos del Valle de Tunuyan " 47

MAPAS

I- VALLE DE TULUM - Mapa de la resistencia transversal del relleno resistivo

INDICE

A. INTRODUCCION	Pág.	1
1- Alcance del informe	"	1
2- Areas cubiertas por el informe	"	1
3- Organización del informe	"	2
B. METODOS	"	3
1- Consideraciones generales	"	3
2- Métodos geofísicos	"	4
(a) Densidad	"	5
(b) Suceptibilidad magnética	"	5
(c) Velocidad sísmica	"	5
(d) Resistividad	"	6
(i) Principios	"	6
(ii) Técnicas de campo	"	8
(iii) Interpretación	"	9
- (e) Otros parámetros	"	11
3- Selección de métodos	"	13
C. ORGANIZACION Y EQUIPO	"	15
1- Constitución de la Sección Geofísica	"	15
2- Operaciones de campo	"	16
3- Estudios geofísicos	"	16
D. RESULTADOS OBTENIDOS	"	19
1- Valle de Tulum	"	19
(a) Configuración general	"	19
(b) Características estructurales	"	19
(c) Caracter de la parte sub-superficial del relleno	"	22
(d) Profundidad del basamento conductivo-Secciones transversales	"	24
(e) Recomendaciones	"	27

II- VALLE DE TULUM	- Mapa de Resistividad Aparente para un espaciamiento electródico AB= 100 metros
III- VALLE DE TULUM	- Mapa de profundidad del basamento conductivo
IV - VALLE FERTIL	- Mapa de Resistividad Aparente para un espaciamiento electródico AB= 600 metros y secciones transversales.
V - VALLE DEL BERMEJO	- Mapa de Resistividad Aparente para metro cúbico espaciamiento electródico AB= 2.000 metros y secciones transversales
VI - VALLE DE TUNUYAN	- Mapa de Resistividad Aparente para un espaciamiento electródico AB= $f(Z_{S.E} - Z_{N.E})$. Secciones Transversales. .

INFORME FINAL DEL EXPERTO EN GEOFISICA

POR PERIODO COMPLETO. ARG-108-SC

Período de trabajo: 21 de diciembre de 1965 a 30 de noviembre de 1968

Por YVES F. SERRES

A. INTRODUCCION

1. Alcance del Informe

Desde que cuatro de las cinco áreas bajo estudio ya han sido investigadas y muy pocos datos geofísicos adicionales pueden esperarse en el Valle de Tulum, Valle Fértil y Valle del Bermejo hasta la finalización del Plan, este informe ha sido específicamente escrito con el fin de preparar el Informe Final del Plan.

Como guía para encarar correctamente programas futuros, se presenta un análisis de los métodos geofísicos corrientes y su aplicabilidad a las diferentes etapas en las investigaciones hidrogeológicas. Incidentalmente, se discuten con mayor detalle las técnicas de resistividad en la superficie y en profundidad.

Los resultados obtenidos durante casi tres años, desde Enero de 1966 hasta Octubre de 1968, durante los cuales el autor trabajó para el Plan, se detallan como una contribución al conocimiento de las cuencas. Es obvio que este informe deberá ajustarse y completarse una vez que hayan finalizado los trabajos en el total de las cinco áreas, y que la presentación deberá modificarse para que esté de acuerdo con la forma del Informe Final del Plan.

2. Areas cubiertas por el informe

En el Valle de Tulum (provincia de San Juan) y en el Valle de Tunuyán (provincia de Mendoza), donde existen abundantes datos hidrogeológicos, se han realizado estudios detallados de reconocimiento geofísico de acuerdo a

los métodos de resistividad. En las otras dos áreas de la provincia de San // Juan que se encuentran bajo estudio, Valle Fértil y Valle del Bermejo, donde los datos son escasos, solamente se han realizado estudios generales de reconocimiento por resistividad. El trabajo en el Valle de Mendoza recién se había comenzado en el momento de redactar este informe, de manera que sólo se proporcionarán recomendaciones respecto a esta área.

Estudios detallados usando técnicas de resistividad y sísmica de refracción se han realizado en áreas limitadas del Valle de Tulum y de Valle Fértil. Sus resultados se presentarán en el transcurso de la discusión general.

3. Organización del informe

Este informe se divide en tres partes. En la primera se discuten los parámetros físicos que se usan más comunmente en la exploración geofísica y la selección de los métodos con fines hidrogeológicos.

Las consideraciones estadísticas acerca del trabajo realizado dentro del Plan incluyendo organización, equipo y trabajos que abarcaron los reconocimientos geofísicos, son el tema de la segunda parte.

Los resultados y las recomendaciones se presentan en la tercera / parte, que está dividida en diferentes secciones que corresponden a cada una de las cinco áreas bajo estudio.

B. METODOS

1. Consideraciones generales

En las cinco áreas bajo estudio, los sistemas portantes de agua son complejos aluviales y/o gravas terciarias superiores, que yacen generalmente sobre una base impermeable o semi-impermeable. Esta base ha sido reconocida por intermedio de pozos profundos como Terciario arcilloso con algunas / arenas e intercalaciones de conglomerados en el Valle de Tulum, Valle Fértil, Valle de Tunuyán y Valle de Mendoza. También en el Valle de Bermejo, donde no existen pozos profundos, la geología superficial así como los datos obtenidos por sísmica de refracción indicaron que la base es probablemente el Terciario arcilloso en la mayor parte del Valle.

El relleno aluvial yace directamente sobre formaciones más antiguas incluyendo areniscas paleozoicas, calizas cambro-ordovícicas y complejos metamórficos precámbricos en áreas limitadas de los confines del Valle de Tulúm.

En Valle Fértil, varios pozos cercanos a las montañas occidentales muestran pedimentos poco profundos que yacen sobre arcillas rojas y areniscas, consideradas como acuiclusas. Otros pozos que oscilan entre los 20 y 80 metros de profundidad, no llegan a la base del aluvión en la parte meridional del Valle Fértil, entre Baldes de Chucuma y San Carlos.

La información geofísica existente de las cinco áreas y que es anterior al Proyecto, fue recogida principalmente por Yacimientos Petrolíferos Fiscales (Y.P.F.) que usó especialmente la sísmica de reflexión y refracción para la investigación de petróleo.

Debido a que con la sísmica de reflexión se investiga principalmente las formaciones profundas, por debajo del Terciario, la información sólo es útil para proporcionar las características generales de las cuencas, pero no puede confiarse en aquélla para investigaciones en los depósitos post-terciarios que son los que precisamente interesan más en el caso del Proyecto. / Numerosos estudios por sísmica de refracción realizados por Y.P.F. para explo

raciones petroleras en las cinco cuencas, proporcionan datos acerca de las formaciones post-terciarias que se pueden interpretar y usar para una investigación hidrogeológica. Un estudio por sísmica de refracción menos profunda se / realizó en 1947 en la parte septentrional del Valle de Tulum con fines hidrogeológicos que proporcionó un primer cuadro general de la cuenca.

Por otra parte, varios reconocimientos localizados y limitados fueron realizados por el método de la resistividad en diferentes fechas en los / Valles de Tulum y Fértil por organizaciones particulares y oficiales. Aunque fueron de pequeña envergadura, mostraron claramente un contraste definido de las resistividades entre las diferentes formaciones y demostraron, en conse-/ cuencia, la aplicabilidad del método.

2. Métodos geofísicos

Del conjunto de métodos geofísicos corrientes de superficie, debía realizarse una elección que estuviese de acuerdo con los siguientes requisitos adecuados al Proyecto:

1°) Amplia posibilidad de empleo en la investigación aluvial, generalmente destinada a un reconocimiento a nivel de cuenca. La profundidad de la investigación se esperó fuera, en general, menor de 500 metros.

2°) Posibilidad de entrenar localmente a los profesionales argentinos, tanto en las técnicas de campo como en las de interpretación. Este requisito excluía métodos que necesitan el procesamiento de datos complicados.

3°) Costo del equipo y provisiones de acuerdo a las especificaciones del Plan de Operaciones.

Desde que la mayoría de los métodos geofísicos depende para su éxito del contraste de parámetros físicos, es el contraste entre las formaciones útiles y su medio ambiente lo que debe considerarse.

Los valores de parámetros comunes considerados a continuación se basan en parte sobre datos publicados y en observaciones para resistividades y velocidades sísmicas, efectuadas durante la investigación de este Proyecto.

(a) Densidad

La densidad de los sedimentos depende de su porosidad, compactación y profundidad. Los valores medios son los siguientes:

-Sedimentos no consolidados. . . . . 1,8 - 2,3 cgs.
-Arenas y aluviones. . . . . 1,5 - 2,0 "
-Esquisto, arcillas y areniscas. . . 2,0 - 2,6 "
-Calizas . . . . . 2,4 - 2,7 "

La densidad de las rocas metamórficas e ígneas oscila entre / 2,5 y 3,3 cgs. Debido a que no existe un contraste bien definido en las densidades entre las formaciones no consolidadas recientes que rellenan las cuen-/ cas, no puede esperarse que su distribución espacial tenga reflexión gravitacional. Por el contrario, las características estructurales de las rocas y // del antiguo basamento metamórfico probablemente producirían una respuesta directa de gravedad.

(b) Susceptibilidad magnética

La susceptibilidad de los sedimentos varía de 5 a 50×10^{-6} cgs, pero no hay un cambio apreciable en los valores que pueda correlacionarse con la litología. Las rocas metamórficas y las intrusivas básicas tienen una susceptibilidad mucho más elevada, hasta 6000×10^{-6} cgs. Por lo tanto, la técnica magnética es útil para proporcionar información acerca de la forma del fondo de estas cuencas sedimentarias, así como acerca de la presencia de intrusivas en las formaciones sedimentarias.

(c) Velocidad sísmica

Los valores medios de las velocidades de las ondas de compresión para diferentes formaciones geológicas son las siguientes:

Formaciones no consolidadas metcorizadas	300 - 500 m/s
Aluvión seco	500 - 1400 m/s
Aluvión saturado	1600 - 2200 m/s

Arcillas, esquistos, areniscas blandas .	2000 - 3000 m/s
Areniscas duras, calizas blandas . . .	3000 - 3500 m/s
Calizas compactas.	3500 - 5000 m/s
Rocas ígneas y metamórficas meteorizadas	2000 - 3500 m/s
Rocas ígneas y metamórficas sin alterar.	4000 - 6000 m/s

Las avanzadas técnicas actuales de medición y de procesamiento de datos hacen verdaderamente de la sísmica de reflexión y refracción, una de las herramientas más poderosas para la exploración de cuencas sedimentarias en escala tanto regional como detallada.

Dentro de las áreas del Proyecto, el método de la sísmica de refracción es de aplicación directa para determinar el espesor del aluvión y/o de las gravas terciarias superiores sobre un basamento calizo o metamórfico.

Aunque el contraste de velocidades entre el aluvión saturado y el Terciario arcilloso no es muy notable, existe aparentemente una superficie reflectora cercana al contacto, que hace que el método sea útil para obtener un cuadro del relleno aluvial en general. La velocidad de las gravas terciarias superiores, puede esperarse que sea la velocidad del aluvión, o bien la velocidad del Terciario arcilloso, según su compactación.

Dentro del aluvión no existe ningún contraste entre las diferentes formaciones, tales como para convertir a los acuíferos en sísmicamente anómalos con respecto a los acuícludos.

(d) Resistividad

Los métodos de resistividad se tratarán con algún detalle, debido a su importancia dentro del Proyecto.

(i) Principios

Omitiendo algunos pocos minerales metálicos, la conductividad (inversa de la resistividad) de una roca, se debe esencialmente al movimiento de iones en el agua que satura los poros y depende, en consecuencia, /

de la cantidad de fluído interconectado y de la conductividad del fluído. La resistividad de una formación saturada es, en consecuencia, inversamente proporcional a la porosidad de la formación y a la concentración iónica del fluído. Archie, en 1942, descubrió la relación empírica que existe entre la resistividad de una arenisca saturada limpia ρ ts, y la resistividad del saturante ρ w:

$$\rho ts = F \rho w$$

F, llamado "factor de formación", depende de la porosidad efectiva (pe). Las ecuaciones del tipo $F = K\ pe^{-m}$, se han desarrollado y se usan corrientemente en la exploración del petróleo. Aunque F decrece ligeramente a medida que ρ w crece (Alger, op.cit.), ensayos recientes de laboratorio corroboraron la proporcionalidad directa entre F y el tamaño del grano en arenas homogéneas y limpias. Un paso más en el análisis demostró una relación lineal entre la porosidad y el "factor de formación".

Si S es la fracción de espacio poroso saturado en un medio parcialmente saturado, la relación entre su resistividad ρ t y la resistividad de la formación completamente saturada ρts lo dá la ecuación:

$$\rho t = \rho ts\ S^{-n}, \text{ con n en el orden 2}$$

La presencia de arcilla en las formaciones arenosas produce una disminución de la resistividad, mayor a medida que la resistividad del saturante, ρ w aumenta. El efecto se debe a la mayor concentración de iones positivos en la doble capa iónica que existe en la superficie de las partículas de arcilla.

En resumen, las variaciones en la resistividad de formaciones no consolidadas reflejan variaciones de porosidad, permeabilidad, saturación, contenido de arcilla y salinidad del agua, que son precisamente características hidrogeológicas básicas de un sistema aluvial acuífero. Las resistividades de las diferentes formaciones medidas durante el reconocimiento fueron las siguientes:

Aluviones:	Arenas y limos salinos.	0,4 - 7	ohm.m
	Limos y arcillas	7 - 20	"
	Arenas y gravas saturadas con agua dulce. . .	100 - 800	"
	Gravas gruesas saturadas con agua dulce . . .	500 - 3000	"
	Gravas terciarias superiores saturadas (dependiendo de la resistividad del agua) . . .	10 - más de 100	"
	Gravas terciarias superiores secas.	50 - 600	"
	Arcillas y areniscas terciarias	3 - 12	"
	Areniscas paleozoicas	5 - 25	"
	Calizas cambro-ordovícicas.	1000 - 5000	"
	Rocas metamórficas e ígneas	80 - 500	"

(ii) Técnicas de campo

Las mediciones de resistividad se usan tanto en el perfilaje eléctrico de pozos como en la investigación de superficie.

En el perfilaje eléctrico de pozos, se introducen en el mismo uno o varios electrodos, de los cuales se obtienen una o varias curvas de resistividad aparente Vs profundidad. Generalmente, esta operación se combina con un registro de potenciales espontáneos.

Con respecto a la resistividad de superficie, se encuentran en uso dos técnicas principales. Para la determinación de estructuras verticales, tales como fallas, se mide dentro del área bajo estudio, la resistividad aparente de una capa sub-superficial de espesor aproximadamente constante. La práctica corriente consiste en arrastrar un conjunto simétrico de cuatro electrodos de dimensiones fijas a lo largo de perfiles preestablecidos y graficar en un mapa la resistividad aparente que se lee en cada estación.

La investigación vertical por medio de mediciones de resistividad en superficie, es de más amplia aplicabilidad. El sistema clásico, adecuado para las estratificaciones sub-horizontales u horizontales, consiste en aumentar progresivamente la distancia inter-electródica de envío de corrien

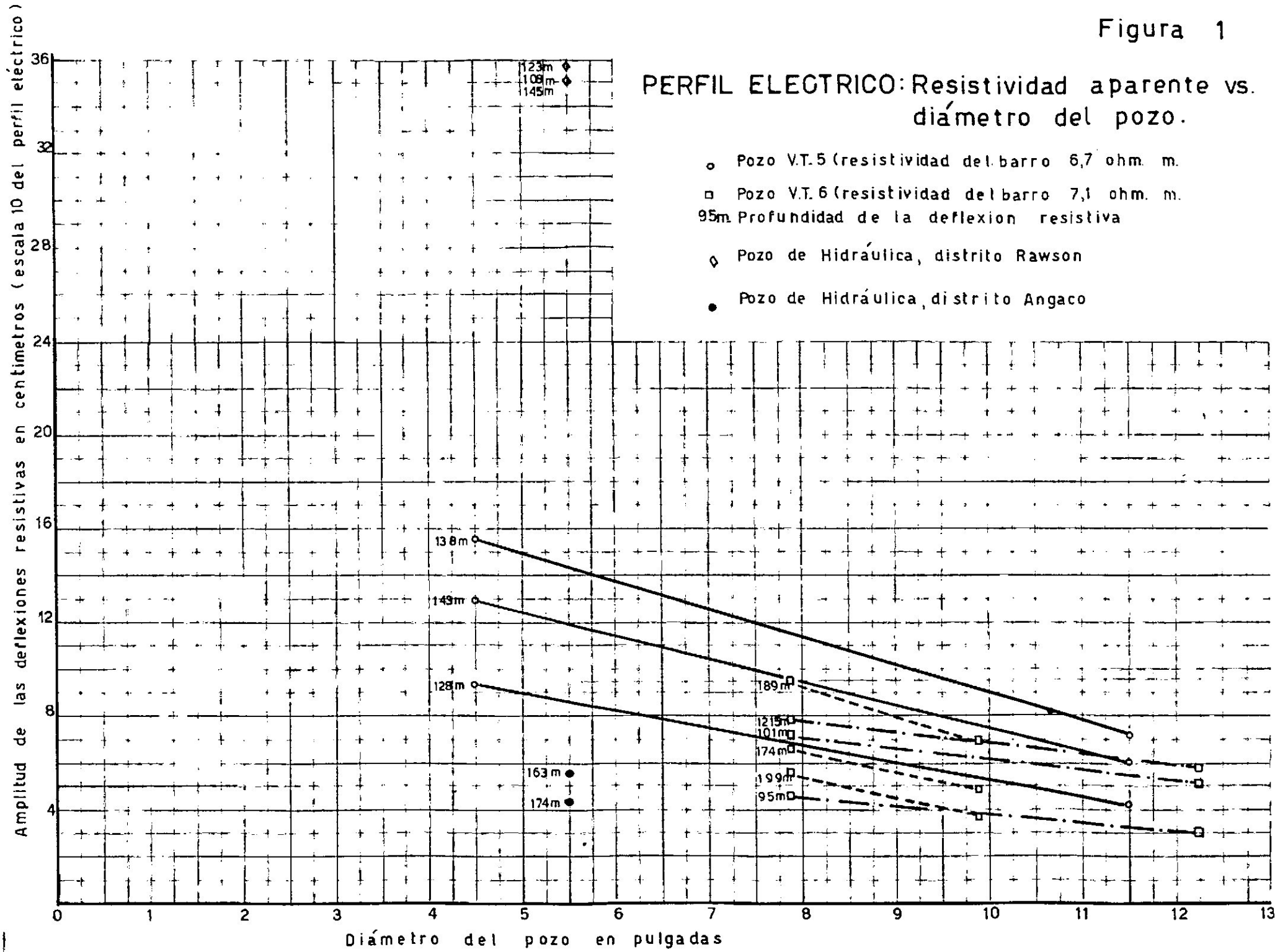
te para obtener lecturas para capas cada vez más profundas. Las lecturas de resistividad aparente correspondientes a cada semi-espaciamiento electródico se grafican en papel bilogarítmico. La operación misma, así como el diagrama obtenido se conocen universalmente como sondeo eléctrico (SE).

Dos configuraciones electródicas simétricas son las más comunes, tanto en las técnicas de profundidad constante como en las de sondeo eléctrico. En el cuadripolo de Wenner, los cuatro electrodos están igualmente espaciados, mientras que en el sistema de Schlumberger los dos electrodos de potencial se colocan muy próximos entre sí. Cada uno de los sistemas presenta sus ventajas; no obstante, las técnicas interpretativas se han desarrollado más para la configuración de Schlumberger; razón por la cual se eligió esta técnica para todo el trabajo del Proyecto.

(iii) Interpretación

Las curvas de resistividad aparente obtenidas por perfilaje eléctrico de pozos, reflejan directamente la presencia de capas resistivas y conductivas. La interpretación puede ser cualitativa o cuantitativa. La simple observación de una curva de resistividad mono-electródica combinada // con un análisis grosero de los potenciales espontáneos, es del primer tipo. En formaciones no consolidadas portadoras de agua, la baja resistividad y los bajos potenciales representan capas arcillosas; la alta resistividad y los potenciales medianos corresponden a arenas y gravas con agua dulce; la resistividad baja o media combinada con potenciales negativos intensos, refleja arenas y gravas con aguas salinas. Sin embargo, varios factores pueden afectar las características de los perfilajes; entre ellos, la resistividad de lodo de inyección y el diámetro de la perforación. Durante la ejecución del Proyecto se realizaron experimentos en varios pozos a fin de que proporcionaran reglas empíricas con respecto a la magnitud de la respuesta de la resistividad en relación al diámetro de la perforación. Los resultados se dan en la figura 1. Generalmente, la amplitud de la desviación positiva de la resistividad aparente frente a la formación resistiva disminuye a medida que el diámetro de /

Figura 1


PERFIL ELECTRICO: Resistividad aparente vs. diámetro del pozo.
Pozo V.T. 5 (resistividad del barro 6,7 ohm. m.
Pozo V.T. 6 (resistividad del barro 7,1 ohm. m.
95m Profundidad de la deflexion resistiva
Pozo de Hidráulica, distrito Rawson
Pozo de Hidráulica, distrito Angaco
Amplitud de las deflexiones resistivas en centimetros (escala 10 del perfil eléctrico)
Diámetro del pozo en pulgadas
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
4
8
12
16
20
24
28
32
36
123m
108m
145m
138m
149m
128m
189m
121m
101m
174m
199m
95m
163m
174m

la perforación aumenta. Este efecto es normal puesto que la resistividad del lodo generalmente es menor que la resistividad de las formaciones.

En el mismo gráfico se han representado las principales desviaciones de la resistividad observada en los perfiles eléctricos del Valle de Tulum (Fig.1). Aunque no puede darse una regla matemática, existe una relación clara e indudable entre la amplitud de estas desviaciones y el tamaño de los materiales. Por ejemplo: los dos pozos del Departamento de Hidráulica cuyos resultados se muestran en la Figura 1 corresponden al área de aluvión grueso (amplitud 35 cms) más abajo descripta como Cuenca Occidental y el área de / depósitos finos (amplitud 5 cms) en la parte noreste del Valle. Además, los / ensayos realizados en los pozos parecen demostrar una cierta proporcionalidad entre la amplitud de las desviaciones y la permeabilidad del material. Estos resultados están,en consecuencia, en completa concordancia con las consideraciones teóricas presentadas más arriba.

Cuando se usan varias configuraciones electródicas y dispositivos especiales (inducción, calibres) puede realizarse el análisis cuantitativo de los resultados, de manera que proporcione valores exactos de las resistividades de formaciones, de porosidades, de contenido de petróleo y agua, etc.

En cuanto a la medición de resistividad en superficie, el último paso en la interpretación de un sondeo eléctrico se espera que proporcione una sección vertical en la cual cada capa se caracteriza por su espesor y su resistividad. Aunque las técnicas de análisis cuantitativo de los sondeos eléctricos se están mejorando constantemente, la naturaleza integradora del método, así como la limitada precisión de las medidas de campo hacen que las estimaciones numéricas del espesor puedan alcanzarse con buena precisión sólo cuando están apoyadas por datos adicionales. Incidentalmente, diferentes distribuciones verticales de resistividades producen diagramas prácticamente idénticos. Las manifestaciones más importantes de esta ambigüedad se conocen como el principio de equivalencia y principio de supresión.

El principio de equivalencia concierne a una capa cuya resistividad es mayor o menor que la resistividad de las capas incluyentes. Este principio establece que una capa resistiva entre dos capas conductoras se manifiesta principalmente por su resistencia transversal (T), producto del espesor (h) por la resistividad ρ. ($T = \rho h$).

Con respecto a una capa conductora ubicada entre dos capas resistivas, demuestra esencialmente su conductancia longitudinal (C), razón del espesor h por la resistividad ($C = \frac{h}{\rho}$). Los valores de T y C, característicos de las capas, se obtienen generalmente comparando las curvas de // campo con las curvas maestras existentes y se grafican en secciones transversales y mapas. Una vez determinados los valores de ρ con la ayuda del perfilaje eléctrico o de mediciones sobre materiales aflorantes, se calcula el espesor de las diferentes capas.

El principio de supresión, otra ambigüedad importante / que se produce en la interpretación de los sondeos eléctricos, establece que una capa cuya resistividad es intermedia a las resistividades de aquéllas que la encierran, no es visible en el sondeo eléctrico, a menos que tenga un gran espesor. También en este caso la información de control que se obtiene del perfilaje eléctrico permite al geofísico traducir los datos de campo en cifras.

(e) Otros parámetros

El método telúrico consiste en medir la dirección e intensidad de las corrientes eléctricas naturales que fluyen por la tierra. Debido a que la distribución de estas corrientes está relacionada con las características geológicas, el método resulta útil para ofrecer un cuadro general.

La respuesta electromagnética de capas conductoras en el subsuelo ofrece teóricamente un método para la detección de los cuerpos de agua subterránea dentro de un ambiente seco. Sin embargo, los ensayos hasta ahora no han proporcionado evidencia concluyente de la aplicabilidad de esta técnica.

Los efectos de polarización inducida son debidos principalmente a conductores metálicos y son, por lo tanto, de uso extenso en la exploración minera. Aunque exploraciones recientes en aluviones han demostrado que / las reacciones de polarización inducida dependen íntimamente de la permeabilidad de la formación, el elevado costo de operación así como la falta de un // buen desarrollo interpretativo, excluye el empleo de la polarización inducida como técnica de rutina en la actualidad.

La radioactividad natural diferencial (emisión de rayos gamma) de las calizas, evaporitas, arenas y arcillas proporciona un medio suplementario para el perfilaje de pozos, puesto que normalmente no está afectada por / las condiciones adversas de las perforaciones, tales como aquellas causadas / por el entubamiento o el perforado con los lodos altamente mineralizados. En cuanto a la investigación superficial, las mediciones de radioactividad natural no proporcionan datos adecuados para la investigación de agua subterránea debido a la absorción de las radiaciones por la cubierta superficial.

Lo tratado, con referencia a la utilización de parámetros físicos en la investigación de agua subterránea por métodos geofísicos se resume a continuación:

PARAMETROS	ESTUDIO REGIONAL (DEFINICION DE CUENCAS SEDIMENTARIAS).	RECONOCIMIENTO	DETALLE	PERFILAJE DE POZOS
DENSIDAD	Aplicable	Respuestas ambigüas	No evid.	No aplicable
SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA	Aplicable	Respuestas ambigüas	Aplicable en casos espec.	No aplicable
ELASTICIDAD (SISMICA)	Aplicable ocasionalmente	Muy aplicable	Aplicable	Aplicable, se usa raramente
RESISTIVIDAD	Aplicable ocasionalmente	Muy aplicable	Muy aplicable	Muy aplicable
CORRIENTES NATURALES	Aplicable	Raramente Aplicable	No aplicable	No aplicable
POTENCIALES ESPONTANEOS	No aplicable	No aplicable	No aplicable	Muy aplicable

RESPUESTA ELECTROMAGNETICA	Aplicable	No probada	No probada	Aplicable, se usa raramente.
POLARIZACION INDUCIDA	No aplicable	No aplicable	Se usa raramente	No probada
RADIOACTIVIDAD NATURAL	No aplicable	No aplicable	No aplicable	Muy aplicable

3. Selección de métodos

De la exposición anterior, se deduce que una investigación regional amplia, destinada a definir las cuencas, dependería de uno o varios parámetros entre la densidad, la susceptibilidad magnética ó las corrientes naturales.

En una etapa subregional o de reconocimiento de cuenca, la sísmica y la resistividad desempeñarían el papel más importante, pero la parte geofísica siempre estaría subordinada al medio geológico.

Los estudios detallados, especialmente de los cuerpos aluviales, se harían principalmente con resistividad y accesoriamente con sísmica de refracción. Si bien es cierto que no existe ningún método geofísico capaz de indicar directamente la presencia de agua subterránea, la resistividad refleja las variaciones en la granulometría, el contenido de arcilla y la salinidad / del agua y es, por lo tanto, de gran importancia en los estudios de detalle y en el perfilaje de pozos.

En la Fig. 2 se da un ejemplo de la respuesta de la resistividad de superficie obtenida en una parte confinada del Valle de Tulum. La característica sobresaliente del sondeo eléctrico es la presencia de un complejo resistivo incluído entre un recubrimiento superficial conductor y un substrato conductor. La primera interpretación se completó teniendo en cuenta los datos geofísicos reunidos a lo largo del perfil de sondeos eléctricos y la escasa / información geológica superficial disponible en el área. La sección vertical estimada fue la siguiente:

-100 metros de recubrimiento conductor (limos y arcillas arenosas)

-Arenas y gravas resistivas (acuíferos) que tenían una resistencia transversal de 10.000 ohm.m^2 con una intercalación conductiva. La resistividad de conjunto se eligió de 80 ohm.m; por lo tanto el espesor era de:

$$\frac{10.000}{80} = 125 \text{ metros}$$

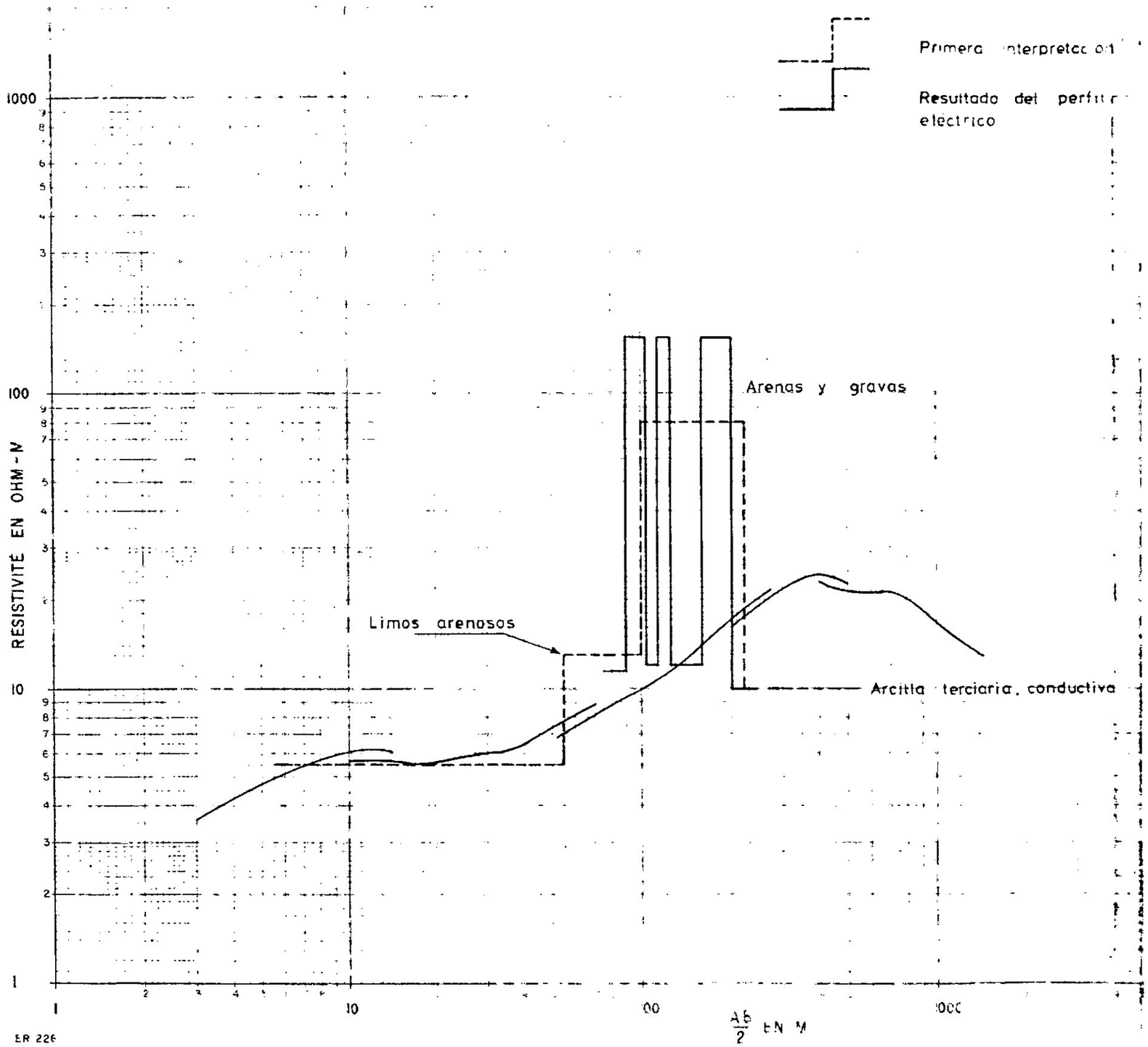
-Basamento terciario arcilloso conductor.

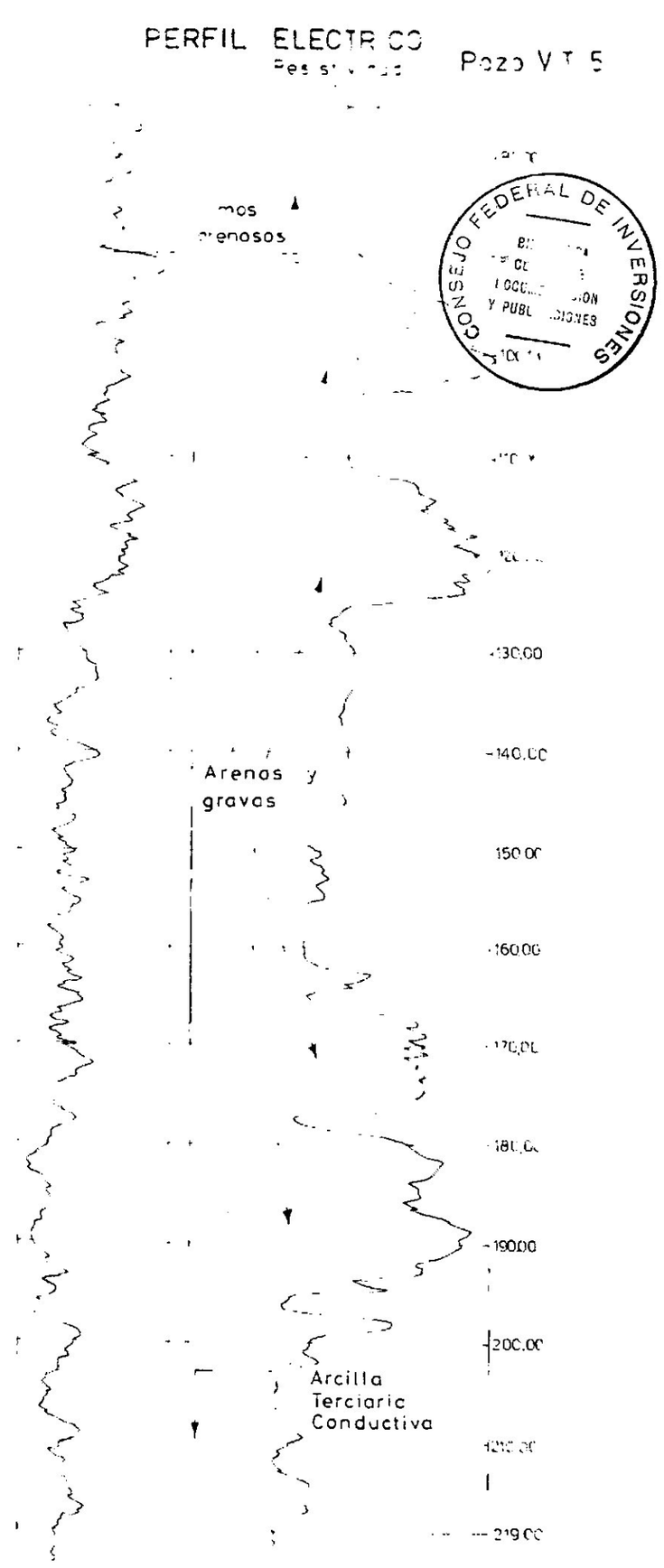
Un pozo perforado y perfilado eléctricamente en este lugar, en fecha posterior, demostró que las arenas y gravas encontradas entre los 90 y // 203 metros estaban divididas en 3 cuerpos principales, el más importante de / los cuales estaba ubicado entre los 162 y 203 metros (Fig.2). Las desviaciones positivas de los potenciales espontáneos en el perfilaje eléctrico del pozo / sugerían que el agua subterránea en este acuífero era menos conductiva que el filtrado del lodo en la perforación. Después de su terminación el pozo surgía naturalmente a razón de más o menos 110 m^3/h y la resistividad del agua era / de 20,4 ohm.m contra 7,1 ohm.m para el filtrado del lodo. Este ejemplo muestra la clase de información y el rango de exactitud que puede esperarse de la interpretación de la resistividad superficial en una etapa de reconocimiento detallado.

Hasta ahora la investigación geofísica se ha considerado en condiciones de estudio favorable. En algunas áreas del Valle de Tulum y del Valle de Tunuyán, sin embargo, se encontró que los tubos metálicos, los rieles y los alambres, desviaban el flujo de la corriente de manera que las mediciones de la resistividad de superficie se hacían imposibles. En el futuro esta limitación es muy probable que restrinja la investigación por resistividad en las / áreas urbanas y suburbanas de Mendoza. Por otra parte, siendo el relieve de / los cinco valles muy suave, este factor no tiene una importancia significativa para la precisión de las mediciones.

Figura 2

Respuesta de la resistividad en el [illegible] de [illegible] (pozo VT-5)





CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
BIBLIOTECA DOCUMENTACION Y PUBLICACIONES

ER 226

C. ORGANIZACION Y EQUIPO

1. Constitución de la Sección Geofísica

No había ninguna organización geofísica pre-existente en las instituciones participantes que pudiera proporcionar el núcleo de la sección Geofísica del Proyecto y el mismo debió estructurarse por completo. Además del / geofísico de Naciones Unidas, la sección se constituyó en un primer período / con un ingeniero de minas con buena experiencia en geofísica, especialmente sísmica. Después de 15 meses, el primer geofísico dejó el Proyecto y fue reemplazado por un operador que había adquirido alguna experiencia previa en geología y levantamiento. A este profesional se le dió una beca de 2 meses que / pasó en Francia con la Compagnie Générale de Geophysique a fin de perfeccionar los conocimientos que había adquirido localmente. Se entrenaron un total de 6 operadores, mano de obra se reclutó localmente y hasta octubre de 1968 se emplearon aproximadamente 180 meses-hombre.

Se han entrenado empleados de instituciones federales y provinciales a diferentes niveles, tanto en las técnicas de campo como en las de interpretación. Además, el geofísico de las Naciones Unidas dió conferencias sobre prospección por resistividad en la Universidad Nacional de Cuyo.

La elección de los intrumentos se realizó teniendo en cuenta el / conocimiento que se tenía de las cuencas. Se compraron los siguientes instrumentos:

Resistividad de Superficie: Una unidad SERCEL AE 631 (potenciómetro de corriente contínua, espaciamiento máximo de electrodos: / 4.000 a 6.000 metros).

Perfilaje de Pozos: Una unidad NELTRONIC 2 K, Tipo D (mono electrodo y curva SP, impulsado a motor, 660 metros de cable).

Además, antes del arribo del nuevo equipo se dispuso, por préstamo al Proyecto, de un pequeño equipo de resistividad superficial de poco alcance.

También se le prestó al Plan Agua Subterránea una unidad de sísmica de refracción ELECTROTECHNICAL ER 75-12 de pequeño alcance. Esta unidad fue proporcionada por el Plan Minero UNDP con asiento en Mendoza.

2. Operaciones de campo

Las operaciones de campo se efectuaron sobre la base de período contínuo con un patrón estacional claro que se desarrolló como sigue:

Febrero 1966 - Julio 1966	(Otoño e Invierno) Resistividad; Departamento Sarmiento, Valle de Tulum (equipo de resistividad // prestado).
Agosto 1966 - Mayo 1967	(Primavera y Verano) Valle de Tulum (Unidad Sercel).
Mayo 1967 - Octubre 1967	(Invierno y Primavera) Valle Fértil y parte del / Valle del Bermejo.
Noviembre 1967 - Abril 1968	(Verano) Valle de Tunuyán.
Mayo 1968 - Agosto 1968	(Invierno) Valle del Bermejo; complementos de Valle Fértil.
Desde Setiembre de 1968	Valle de Mendoza.

De esa manera las áreas donde se observan las temperaturas más elevadas durante el verano (Valle del Bermejo, Valle Fértil y parte norte del Valle de Mendoza) se investigaron durante la estación fría.

Los datos de campo se controlaban e interpretaban tan pronto como se disponía de los mismos en la oficina, de modo que proporcionaran un apoyo inmediato a las otras secciones. Los resultados se presentaban generalmente / en memos y a fines de 1966 se presentó un informe de los resultados obtenidos en la parte sudoeste del Valle de Tulum (Distrito Sarmiento).

3. Estudios geofísicos

La parte principal de los estudios geofísicos se realizó aplican-

do la técnica de los sondeos eléctricos destinada a reconocimiento de cuenca.

Dependiendo del volumen de otros datos disponibles y de la espera da exactitud del balance hidrológico final, pueden definirse dos tipos princi pales de estudios:

-Reconocimiento amplio, donde existían muy pocos datos. Los sondeos eléctricos generalmente espaciados de 1 a 5 km.,se ubicaron a lo largo de líneas / separadas entre sí de 15 a 60 km. perpendiculares a las direcciones de las estructuras. Los trabajos realizados en el Valle del Bermejo, constituyen un ejemplo típico de este tipo de reconocimiento en una cuenca prácticamente / desconocida. También la parte oriental y meridional del Valle Fértil y la / parte meridional del Valle de Tulum se investigaron en una escala de reconocimiento amplio.

-Reconocimientos detallados se realizaron generalmente en las áreas donde ya existían buenos datos básicos y donde se había programado un balance hidrológico preciso. Es el caso de la parte septentrional del Valle de Tulum y / el Valle de Tunuyán. Los perfiles de sondeos eléctricos se hicieron normales a las direcciones de las estructuras, equidistantes en menos de 15 km. y el espaciado de las estaciones osciló entre 0,5 y 3km.

Con fines específicos, se realizaron observaciones con espaciamiento menor, en áreas limitadas donde interesaban levantamientos detallados. Toda la investigación de resistividad a profundidad constante y toda la sísmica de refracción efectuadas en los valles de Tulum y Fértil, fueron levantamientos detallados.

Los elementos estadísticos referentes a los estudios en el Valle de Tulum, Fértil, del Bermejo y Tunuyán se encuentran en la Tabla I. Los trabajos realizados en el Valle de Mendoza no figuran en esta tabla, puesto que la investigación geofísica recién se empieza en esta área.

T A B L A I

M E T O D O S A P L I C A D O S

Area	Tipo de estudio	SE			RPC	SR		PE
		Número	Espaciamiento AB máximo en m.	Longitud Perfiles en Km.	Número de lecturas	Dispositivos	Explosiones	Número de Pozos
Valle de Tulúm	Reconocimiento detallado	319	600-6000	291				
	Reconocimiento amplio (sur)	59	2000-6000	112				
	Detallado	92	100-800	26,5	176	8	33	38
	Reconocimiento amplio	131	400-3000	127				3 + 3 Parcial
Valle Fértil	San Agustín-Detallado	36	200-1500	6,5		11	44	
Valle del Bermejo	Reconocimiento amplio	135	2000-6000	236				2
Valle de Tunuyán	Reconocimiento detallado	130	600-4000	131				
		898		930				43+ 3 Parcial

METODOS: SE: Sondeo Eléctrico

RPC: Resistividad a profundidad constante

SR: Sísmica de refracción

PE: Perfilaje Eléctrico

D. RESULTADOS OBTENIDOS

1. VALLE DE TULUM

(a) Configuración general

En la mayor parte del área de Tulum, incluyendo el pequeño Valle de Ullum-Zonda (llamado más adelante Valle de Zonda), las gravas terciarias superiores y el aluvión del Río San Juan yacen sobre la unidad conductiva (3-12 ohm.m) del Terciario arcilloso. Sin embargo, en los bordes del Valle, un aluvión delgado cubre directamente formaciones más antiguas, a saber: areniscas paleozoicas en el suroeste, calizas cambro-ordovícicas de alta resistividad (100 a 5000 ohm.m) en las gargantas occidentales y complejo metamórfico resistivo (más de 80 ohm.m) en el borde del Cerro Pie de Palo.

(b) Características estructurales

La mejor manera de encarar el estudio de las características estructurales de los valles de Tulum y Zonda, es la interpretación del mapa de resistencia transversal de relleno resistivo (Lámina I).

El relleno resistivo se define como la parte de las gravas terciarias superiores y/o aluvión del Río San Juan, cuya resistividad de conjunto es mayor de 30 ohm.m. Como primera aproximación puede considerarse como incluyendo las arenas y gravas y excluyendo los limos, limos arenosos y formaciones salinas. La resistencia transversal T, de una capa, es el producto del espesor h por la resistividad ρ ($T = h \times \rho$). Es el único parámetro característico de la capa resistiva que puede determinarse directamente comparando la curva de campo con las curvas maestras existentes, mientras que la determinación del espesor exige el conocimiento de la resistividad. Valores elevados de T reflejan un gran espesor, o bien una elevada resistividad del relleno, o una combinación de ambos. Por otra parte, resistividades elevadas en las formaciones no consolidadas, las cuales parecen constituir la mayor parte de los depósitos de los valles, dan evidencia de material grueso.

Aunque los valores intermedios en las áreas que dividen las unidades estructurales principales podrían interpretarse de diferente manera, las resistencias transversales contrastan en general lo suficiente como para proporcionar un cuadro digno de confianza de las características tectónicas / de los valles.

En el Valle de Zonda, las líneas de contorno de T delinean una anomalía elíptica de valores altos (mayores de 200.000 ohm.m^2 en el centro). La dirección claramente norte-sur del eje de la anomalía, sugiere una estructura de tipo graben rellena con material altamente resistivo (una capa de // 200.000 ohm.m^2 puede representar 400 metros de aluvión con resistividad de 500 ohm.m). Incidentalmente el límite oriental del "graben" ha sido precisado por medio de un estudio por resistividad a profundidad onstante, realizado específicamente para investigar la ubicación de un dique en la garganta del Río San Juan hacia el oeste. Las líneas de igual resistividad, en el Mapa I, indican claramente una falla principal orientada NO 19° E que ha desplazado al bloque oriental hacia arriba.

En el Valle de Tulum, el vértice del abanico aluvial muestra valores mayores de 100.000 ohm.m^2, debidos principalmente a una sección de gravas gruesas secas.

Al este de la ciudad de San Juan, se desarrolla un área de elevada resistencia transversal, constituyéndose en la mayor anomalía del valle. Las resistencias máximas son mayores de 200.000 ohm.m^2 y el área cubierta con valores superiores a 100.000 ohm.m^2,es de aproximadamente 300 km^2. Es muy probable que una depresión grande y profunda rellena con material de alta resistividad se encuentre por debajo de esta parte del Valle de Tulum. Las líneas de contorno son alargadas en dirección nor-noreste en general, sugiriendo más bien un control tectónico que uno erosivo. Hacia el este particularmente, el fuerte gradiente hacia los valores más bajos de T refleja una notable reducción del espesor del relleno resistivo, que un análisis posterior demostró ser debido a un levantamiento tectónico del Terciario arcilloso. La resistencia dis

minuye suavemente al norte a lo largo del eje de la anomalía en relación con una disminución progresiva del espesor del relleno. Finalmente, la anomalía resistiva termina en un sinclinal en el Terciario Superior, 30 km al noreste de la ciudad de San Juan.

La resistencia disminuye bruscamente hacia el sur, hasta valores tan bajos como 1000 ohm.m^2 entre el Cerro Valdivia y el Cerro Barboza. En esta área, la línea de contorno de 5000 ohm.m^2 delinea otra unidad estructural principal del valle. Esta unidad corresponde a un bloque elevado de terrenos antiguos, principalmente Terciario arcilloso, aflorando también areniscas paleozoicas y rocas metamórficas precámbricas en las dos colinas pequeñas de Cerro Valdivia y Cerro Barboza. Al oeste del Cerro Barboza la inflexión aguda / hacia el sur de las líneas de 5000 y 10.000 ohm.m^2, indica un engrosamiento / local del relleno resistivo. La falta de continuidad de esta anomalía a través de todo el bloque elevado, sugiere que el engrosamiento se debe posiblemente a la falla que con rumbo norte-sur bordea el afloramiento precámbrico, más que a erosión.

Al noreste del Cerro Barboza, las resistencias transversales aumentan ligeramente hasta alcanzar valores algo mayores a 10.000 ohm.m^2, en el centro de la parte del valle que se encuentra entre el Cerro Barboza y el Cerro Pie de Palo. Aparentemente, en esta área el bloque elevado que limita la profunda depresión occidental fue subsiguientemente erosionada y el canal se llenó con aluvión más grueso.

Al sureste del área conductiva limitada por el Cerro Valdivia y el Cerro Barboza, la resistencia trasnversal nuevamente aumenta con fuerte gradiente sugiriendo una escarpa tectónica.

En la parte más meridional del valle, los valores de T no exceden los 25.000 ohm.m^2, pero el análisis de los sondeos eléctricos demuestra que estas resistencias relativamente bajas se deben principalmente a una disminución de la resistividad del relleno. En efecto, la granulometría de los / depósitos se hace más fina hacia el sur, mientras que el Terciario arcilloso

conductivo puede encontrarse a profundidades de 1000 metros, como lo demuestran dos pozos petrolíferos.

Sobre el límite oriental del valle, la línea de contorno de / 5.000 ohm.m^2 delinea estrechamente el borde del Cerro Pie de Palo. Estos bajos valores reflejan a la sospechada reducción en el espesor del aluvión. Al sur del Cerro Pie de Palo, resistencias elevadas de hasta 45.000 ohm.m^2 corresponden a una sección seca de pedimentos o dunas de arena muy resistivas.

Al suroeste del Cerro Valdivia, las resistencias transversales se desarrollan en un conjunto de anomalías de dirección nor-noreste, alternativamente resistivas y conductivas, las cuales reflejan claramente una estructura en "horst" y "graben". Las dos áreas resistivas que corresponden a bloques hundidos, son de este a oeste:

-La pequeña cuenca de Los Berros.
-La cuenca mayor al oeste de Cañada Honda. Cabe señalar que se realizó un estudio por resistividad a profundidad constante para determinar con precisión la dirección de la falla que limita esta cuenca al este. Las líneas de igual resistividad, que figuran en el Mapa I, indican glaramente la falla que ha desplazado hacia arriba al labio oriental.

Una inflexión de las líneas de contorno al este de Cañada Honda, sugiere la existencia de un accidente tectónico transversal.

(c) Carácter de la parte subsuperficial del relleno

Aunque las mediciones de resistividad de superficie no pueden correlacionarse con precisión a variaciones menores en la granulometría y salinidad de los materiales, debido a la naturaleza integradora del método y debido a los efectos convergentes de diferentes causas (tanto salinización como aumento en el contenido de arcilla producen una disminución en la resistividad), ellas proporcionan una imagen de la variación general en el carácter del relleno. Por ejemplo, la naturaleza de las capas superficiales, responsables del carácter confinado o libre del cuerpo de agua subterránea, puede ponerse en evi-

dencia por medio de un mapa de resistividad aparente trazado para un espaciamiento pequeño de electrodos. Los valores bajos corresponderán a materiales superficiales arcillosos conductivos, los valores altos, por el contrario, reflejarán depósitos superficiales gruesos. El mapa de resistividades aparentes, medidas con un espaciamiento de electrodos de 100 metros se ilustra en la Lámina II y servirá de base para la discusión acerca del carácter de la parte subsuperficial del relleno.

La parte occidental del Valle de Zonda está cubierta con valores superiores a 400 ohm.m, lo cual indica material muy grueso en la superficie. La resistividad aparente decrece al este, en relación con la disminución de la granulometría. La línea de 50 ohm.m puede considerarse en una primera / aproximación como el límite oriental del área sin confinar del cuerpo principal de agua subterránea.

Como podía esperarse, las resistividades más altas en el Valle de Tulum se encuentran cerca de la salida de la desembocadura de la garganta del Río San Juan. En esta área la disposición concéntrica de las líneas refleja la forma cónica del abanico aluvial e indica también que el vértice del abanico corresponde al antiguo canal del río en la Quebrada de Zonda. Los valores de la resistividad disminuyen hacia el este, en relación con la mayor cantidad de materiales finos. La línea de 50 ohm.m puede suponerse como que delinea aproximadamente el límite oriental del área no confinada. Más al este, los valores entre 50 y 10 ohm.m reflejan una capa superficial de limo arenoso de espesor creciente. Las resistividades menores de 10 ohm.m evidencian la naturaleza salina de las capas superiores. Los valores excepcionalmente bajos / inferiores a 2 ohm.m hasta 0,55 ohm.m) que se observan en el extremo noreste del área de estudio, reflejan una alta concentración salina en los primeros 50 metros del suelo. También al sureste del Cerro Barboza, una gran porción del valle está cubierta con resistividades menores de 5 ohm.m, las cuales indican depósitos salinos.

Sobre el límite meridional del Cerro Pie de Palo, una anomalía

resistiva corresponde, o bien a dunas de arena o a pedimentos gruesos.

En los extremos orientales de los Perfiles A,B y F, y en el / centro de los Perfiles E y R_s, los valores que oscilan de 3 a 10 ohm.m reflejan un Terciario arcilloso conductivo poco profundo. No deben interpretarse, en consecuencia, en relación con características del relleno.

Las resistividades aparentes que se leen en las pequeñas cuencas del borde suroeste del valle son generalmente mayores de 100 ohm.m. Ellas indican material grueso en la superficie y condiciones de no confinamiento del cuerpo de agua subterránea. Solamente en el borde oriental de la cuenca de Los Berros, los valores de la resistividad reflejan la existencia de depósitos superficiales de granulometría fina. Es interesante recalcar que un pozo perforado en esta área demostró la existencia de agua confinada dentro de un acuífero de arena y grava.

(d) Profundidad del basamento conductivo. Secciones transversales

La interpretación de los sondeos eléctricos, en cuanto a los cómputos de profundidad, se realizó teniendo en cuenta toda la información de que se disponía, proveniente de la geología superficial y del subsuelo, del / perfilaje eléctrico, de las mediciones realizadas sobre los materiales aflorantes, etc.

En esta etapa se tropezó con dos dificultades principales. Primero, sólo existe un pequeño número de pozos que han atravesado toda la formación portadora de agua, los cuales proporcionan control con respecto a los valores de la resistividad. Estos pozos están generalmente ubicados, o bien en los bordes de cuenca, o sobre los bloques levantados del basamento conductivo (véase lámina III).

Por el contrario, no existen pozos que lleguen hasta el basamento conductivo en las depresiones estructurales profundas rellenadas con materiales muy resistivos del Valle de Zonda y al oeste de la falla principal / del Valle de Tulum. Así, en estas áreas, los valores de resistividades usados

para cómputos de profundidad tuvieron que basarse esencialemente en razones de continuidad de las áreas menos profundas y deben considerarse como meramente inferidos. Es interesante notar, sin embargo, que los resultados de un estudio por sísmica de refracción que se realizó posteriormente en el Valle de Zonda, estaban en completo acuerdo con los cómputos previos obtenidos por resistividad.

La otra dificultad principal se presentó en las áreas donde se ha producido una salinización del suelo como resultado de la evaporación. Las capas salinas superficiales son muy conductivas y producen un efecto de pantalla sobre las formaciones más profundas. Si la capa salina fuera delgada, es todavía posible determinar la resistencia transversal de las gravas y arenas que yacen por debajo, computando luego su espesor (Véase Fig.3, SE E26). Por el contrario, cuando el espesor de la capa salina aumenta y/o su resistividad disminuye se hace imposible, aún con el máximo espaciamiento entre electrodos, 6.000 metros, obtener una variación significativa en la pendiente del diagrama de sondeos eléctricos que hiciese posible la evaluación de la resistencia transversal de las capas resistivas profundas (Véase SE Q13 en la Fig. 3). Además, este fenómeno ocurre generalmente en las áreas más alejadas sobre la planicie de inundación, donde la naturaleza granulométrica fina del relleno se manifiesta por una reducción del contraste de resistividad entre el relleno resistivo y el Terciario arcilloso. Por estas dos razones, las lecturas de diferencias del potencial se vuelven más pequeñas y la precisión de los valores de resistividad es en cierto modo cuestionable.

A pesar de estas limitaciones, la primera de las cuales de cualquier modo se superará tan pronto como se obtengan datos de control en las depresiones profundas, el mapa de la profundidad del basamento conductivo y las dos secciones transversales a lo largo de los perfiles de espesor máximo y mínimo ilustradas en el Mapa III, pueden considerarse como la representación más adecuada de los resultados de resistividad de superficie, en cuanto concierne a la hidrogeología.

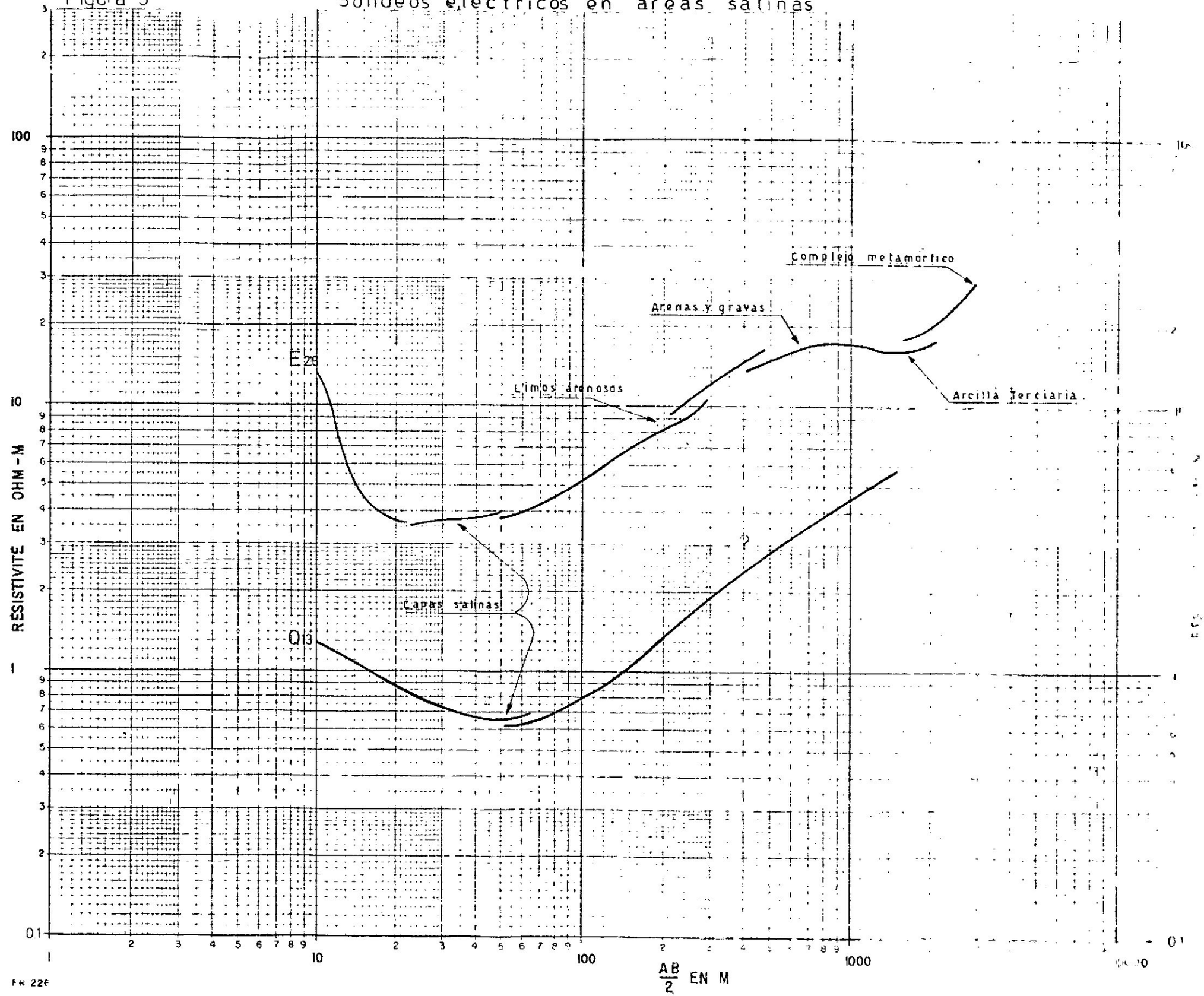
En el mapa, las cinco unidades estructurales principales del área de Tulum se ponen claramente en evidencia:

- "Graben" del Valle de Zonda de más de 500 metros de profundidad rellenado principalmente con material grueso. Sobre el borde oriental se desarrolla un recubrimiento conductivo.
- Depresión estructural occidental del Valle de Tulum que termina al oeste en el área del cono aluvial antiguo y está limitada al este por una falla principal, de aquí en adelante llamada "falla de Tulum". La profundidad del basamento conductivo llega hasta los 600 metros en el centro de la depresión. El tamaño del material parece variar desde el uniformemente grueso en el borde occidental hasta una alternancia de grueso a fino en el extremo oriental de la depresión. Una capa conductiva limosa se desarrolla en la superficie hacia el este y origina condiciones de confinamiento. En / ciertas áreas ha parecido posible dividir el relleno resistivo en dos cuerpos principales separados por una capa más conductiva. Sin embargo, en general, el relleno por debajo del acuícludo superficial se parece más a una alternancia de formaciones resistivas y conductivas.
- Bloque levantado de formaciones antiguas, de dirección nornoreste. Entre el Cerro Valdivia y el Cerro Barboza, el relleno, principalmente de granulometría fina, tiene menos de 100 metros de espesor. Entre el Cerro Barboza y el Cerro Pie de Palo, la profundidad máxima del basamento conductivo es de más o menos 250 metros y la parte inferior del relleno presenta una resistividad que promedia los 100 ohm.m indicando un material de granulometría media.
- Depresión meridional del Valle de Tulum. La unidad más grande del Valle, su extremo meridional no está definido, pero probablemente se confunde allí con el sistema mendocino. Al este, tampoco existen datos como para proporcionar ni siquiera un cuadro grosero de la forma de la cuenca. La resistividad del relleno decrece desde el borde del bloque levantado hacia el sur, en relación con la granulometría más fina de las arenas y una cantidad mayor de limos. Los perfilajes eléctricos que se realizaron en el pozo VT 14 (450 m) perforado por el Plan, en los pozos privados CVd 1 (440 m) y CVd 2 (440 m) y en dos pozos petrolíferos profundos, reflejan la presencia de arenas y gravas resistivas que yacen por debajo de los limos arenosos conductivos, cuyo espesor oscila de los 270 a los 420 metros. Las arenas y

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
BIBLIOTECA
CENTRO DE DOCUMENTACION
PUBLICACIONES

Figura 3

Sondeos eléctricos en áreas salinas



F# 226

las gravas representan del 10 al 25% del espesor total computado desde la parte superior del acuífero superior y se dividen en cuerpos de no más de 20 metros de espesor. Los dos pozos petrolíferos reconocieron esta secuencia hasta la parte superior del Terciario arcilloso que se encontró a los 1.022 y 1.150 metros respectivamente. Debe mencionarse aquí que ni la resistividad de superficie ni los perfiles eléctricos mostraron una variación clara en la resistividad que pudiera haberse relacionado con el contacto entre el aluvión y la unidad de grava del Terciario conocida como Mogotes. Una capa superficial salina, de muy baja resistividad, se desarrolla en las áreas de evaporación de la depresión meridional. Su efecto de pantalla, así como la disminución del contraste de resistividad, entre el relleno resistivo y el basamento conductivo, hacen que sea imposible determinar las resistencias transversales en la mayoría de los perfiles G y H. Sin embargo, todavía es posible observar la presencia del cuerpo resistivo que corresponde a las arenas y gravas interestratificadas entre los limos. La parte superior de esta formación más resistiva se encuentra a profundidades que oscilan entre los 250 y los 500 metros.

- Cuencas del suroeste. Estas cuencas, relativamente pequeñas, son semi-independientes de la depresión meridional del Valle de Tulum, debido a un ascenso del Terciario arcilloso que ocurre al oeste de Cañada Honda. Sin embargo, una inflexión aguda en las líneas de contorno del basamento conductivo sugiere la presencia de una falla con rechazo horizontal, que pondría en comunicación, al noroeste del pozo VT 8, las pequeñas cuencas del suroeste con la depresión meridional del Valle de Tulum.

(e) Recomendaciones

Se ha obtenido un cuadro general de la cuenca a través del estudio de tipo de reconocimiento detallado. Ya que en el futuro será necesario un conocimiento más detallado, para los fines de utilización de los / recursos, que puede emplearse la resistividad de superficie en una etapa de detalle para determinar con precisión las condiciones en las áreas a ser perforadas. También parece aconsejable realizar más perfilajes eléctricos y perfiles de rayos gamma en los pozos nuevos y antiguos, especialmente en las

áreas donde no se pudieron recoger datos de este tipo hasta la fecha. En el Valle de Zonda, en el antiguo cono aluvial y en la depresión occidental del Valle de Tulum, donde la mayoría de los pozos se perforan a percusión, un estudio sistemático por rayos gamma de los pozos disponibles, sería particularmente útil para ajustar perfiles geológicos cuestionables.

Aunque no parece ser de interés práctico para un futuro cercano, será útil corroborar por medio de otros métodos la profundidad de las depresiones estructurales del Valle de Zonda y al oeste de la falla de Tulum. Si no se perforan pozos profundos en estas áreas hasta el basamento conductivo, la sísmica de refracción podría ser útil a este propósito.

2. VALLE FERTIL

(a) Configuración General

Las arenas y gravas se han depositado sobre un basamento de arcilla roja y areniscas a lo largo de las montañas que limitan a Valle Fértil por el oeste. Numerosos pozos productivos perforados cerca de San Agustín y Astica han demostrado que las arenas y gravas permeables no tienen más de 35 metros de espesor y que el basamento puede considerarse como un acuícludo, con fines prácticos, ya que las areniscas contienen agua de pobre calidad y en pequeña cantidad.

El sondeo eléctrico P6 (Figura 4) es típico de esta área. Se realizó cerca de un pozo cuya sección es la siguiente:

0,00 m

Aluvión (arenas y gravas)

21,50 m

Arcillas rojas y areniscas

154,00 m

El contraste en resistividad de las formaciones es intenso. El aluvión es altamente resistivo (100 a 400 ohm.m) mientras que las arcillas rojas y las areniscas son conductivas (aproximadamente 10 ohm.m).

Los pozos cavados a mano más al este y sureste (Baldes de

Astica) a profundidades de aproximadamente 65 metros, no llegaron al basamento de las arenas y gravas, que estaban secas. Los sondeos eléctricos realizados en esta área reflejan una formación resistiva gruesa (50 a 200 ohm.m) que yace sobre un basamento conductivo (10 a 20 ohm.m), (Figura 4). Por lo tanto, son de naturaleza similar a los sondeos eléctricos realizados en el área de depósitos poco profundos, siendo la única diferencia el espesor de la cubierta resistiva.

En la parte meridional del Valle (Baldes de Chucuma, San Carlos), se han perforado varios pozos productivos cuyas profundidades oscilan entre los 30 y los 80 metros, en depósitos aluviales incluyendo capas de arena, grava y limos sin que se haya alcanzado aparentemente el basamento.

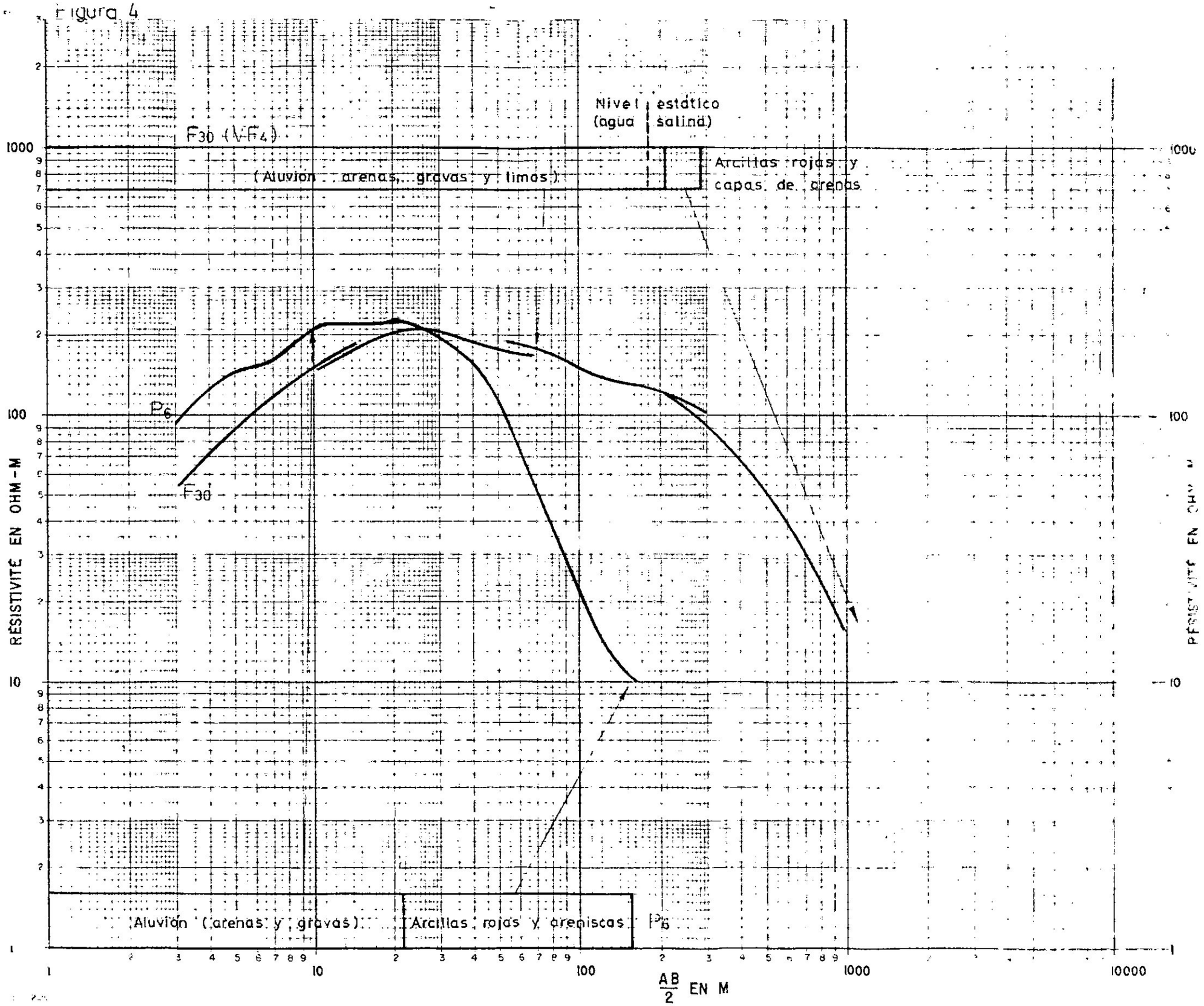
(b) Características Estructurales

Un primer paso hacia el conocimiento de las características generales del Valle, puede basarse en la interpretación del mapa de resistividad aparente con un espaciamiento de electrodos AB= 600 metros, presentado en Lámina IV .

En los perfiles A y B efectuados en el Valle intermontano al norte de Usno, las resistividades generalmente oscilan de 10 a 30 ohm.m, reflejando los valores más elevados el aluvión más grueso. Las resistividades aparentes mayores de 40 ohm.m que se encontraron en el extreno occidental del perfil B y el perfil C, evidencian un basamento resistivo poco profundo que corresponde a las rocas graníticas.

Las resistividades menores de 20 ohm.m que se observan en una faja de 4 a 10 Kilómetros de ancho que bordea las montañas al este, en los perfiles E, F, H é I, delinean claramente al área del aluvión de poco espesor. Las resistividades aumentan bruscamente hacia el este hasta valores superiores a 50 ohm.m a lo largo de una línea con dirección sureste entre los perfiles F y FH y con dirección sur, entre los perfiles FH e I. El paralelismo de esta línea con la dirección estructural principal de la Sierra de Valle Fértil, así como el fuerte gradiente de las resistividades, sugiere una escarpa tectónica, muy probablemente debida a una falla con un bloque oriental hundido. Los valores disminuyen nuevamente hacia el este, en rela -

Sondeos eléctricos típicos en las áreas poco profundas y profundas de Valle Fértil



ción con una disminución en el espesor del relleno resistivo y con granulometría más fina de los sedimentos.

Hacia el sur, el cuadro no es muy claro actualmente, debido a que los sondeos eléctricos I_4 a I_8 no son merecedores de mucha confianza y a que el perfil no pudo ser extendido hacia el este lo suficientemente lejos como para proporcionar el límite del bloque hundido.

A pesar de esta restricción, los resultados de la resistividad de superficie indican claramente la presencia de dos unidades estructurales definidas en Valle Fértil, a saber:

- Un área de depósitos de poco espesor al oeste, en la cual debe incluirse el Valle intermontano de Usno (Perfiles A, B y C).
- Una profunda depresión al este

Los cálculos de profundidad, desarrollados como un paso siguiente en el análisis de los sondeos eléctricos, se presentaron en secciones transversales a lo largo de los perfiles y se emplearon para elegir la ubicación de los pozos de ensayo. Estas secciones transversales, ajustadas a los datos reales recogidos en pozos perforados por el Proyecto, se muestran en el Mapa IV.

En el valle intermontano al norte de Usno, el aluvión no / tiene más de 40 metros de espesor y el basamento conductivo se hunde suavemente hacia el este en forma general. Las ligeras depresiones observadas en la parte superior del basamento conductivo (A7, B4) no son lo suficientemente profundas para que constituyan canales propiamente dichos. Al respecto, un pozo perforado a percusión en el lugar B4, sólo encontró una pequeña cantidad de agua buena por debajo de los 38,60 metros en una formación de arcilla y basaltos alterados. El perfilaje eléctrico de la parte inferior del pozo, demostró que el límite inferior de la formación resistiva (¿basaltos alterados?) estaba a 47 metros.

Otro pozo perforado en el lugar A17 penetró en el basamento arcilloso desde los 40 a los 81 metros. En este pozo se encontró agua de calidad mediocre (SD 1940 ppm) en las formaciones arcillosas por debajo de los 41,30 metros. La diferencia observada entre el espesor interpretado (55m) y

el real (40m) se debió probablemente a una anisotropía en las formaciones aluviales. Otros pozos de propiedad particular, perforados cerca de las montañas orientales entre los perfiles B y C, aparentemente atravesaron todo el aluvión y penetraron en el basamento, ya que el agua obtenida contiene gran cantidad de sales, características de las formaciones arcillosas (SD 1915 a 2100 ppm).

En el perfil C, ejecutado en la angosta planicie que constituya la salida meridional del valle intermontano, los sondeos eléctricos así como la sísmica de refracción indican que el espesor del aluvión oscila entre los 20 y 35 metros. En esta área, es probable que las rocas graníticas se encuentren a una profundidad de no más de 100 metros. Un pozo perforado en el lugar C4 encontró el basamento arcilloso a los 33,50 metros, extrayéndose agua de buena calidad (SD, 907 ppm.) en el aluvión por debajo de los 24,3 metros.

Por lo tanto,parece que el aluvión en el valle intermontano al norte de Usno es en su mayor parte seco, no considerando, probablemente, los períodos de inundación. Solamente en las áreas más bajas del valle y especialmente en la salida meridional, pueden esperarse apreciables cantidades de agua de buena calidad.

El área de San Agustín se tratará en detalle más adelante, puesto que se han realizado estudios detallados allí.

Secciones transversales a lo largo de los perfiles F y H ponen en evidencia el aumento de espesor en el relleno resistivo a lo largo de la línea que corresponde a la falla previamente descripta. En el bloque occidental levantado, las formaciones resisticas tienen menos de 30 metros de espesor y el basamento conductivo parece estar constituído por arcillas rojas y areniscas.

La situación es más completa en el bloque oriental hundido. En esta área los perfilajes geológicos y eléctricos de los pozos perforados por el Plan, indican que el relleno resistivo corresponde a depósitos aluviales donde predominan las arenas y las gravas.

En el pozo VF1 (Sondeo Eléctrico F18), el basamento conductivo encontrado a 190 metros representa arcillas rojas intercaladas con capas

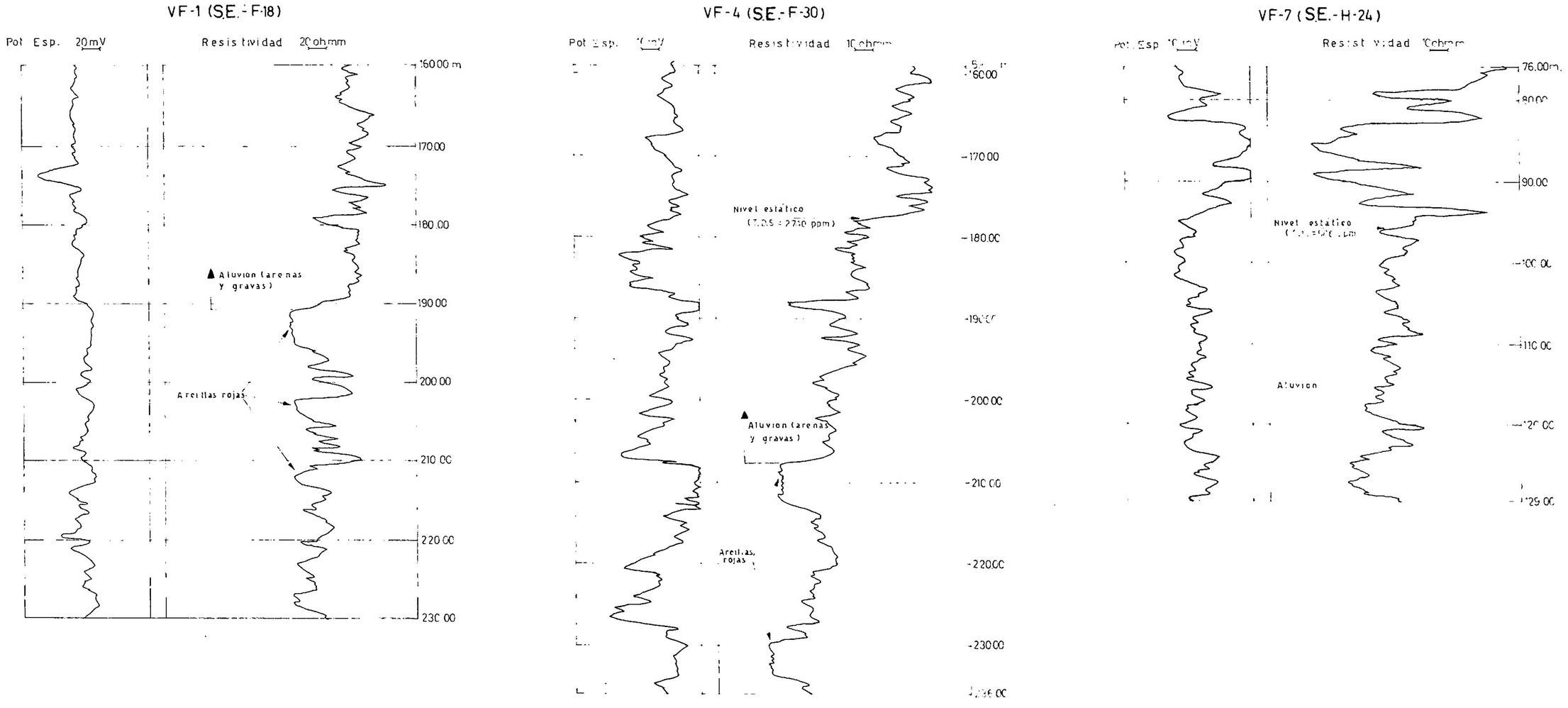
de arena, grava y limos. El contacto entre el aluvión y la primera capa arcillosa se ve en forma perfectamente clara en el perfilaje eléctrico (Fig.5). En el pozo VF4 (Sondeo Eléctrico F30) la primera capa de arcillas rojas se encuentra a los 208 metros y la secuencia típica de arcillas conductivas y de arenas arcillosas semi-resistivas se observa hasta el fondo del pozo, // 280 metros (Véase Fig.5). El perfilaje eléctrico tambien demuestra que la resistividad de conjunto del aluvión decrece repentinamente a los 177 metros hasta valores similares a aquellos de las arenas arcillosas más profundas. Las pruebas de bombeo que se realizaron en el pozo demostraron que esta disminución en la resistividad se debe a la presencia de agua salada conductiva (SD 2740 ppm.) la cual satura el aluvión por debajo de los 177 metros.

Las primeras arcillas conductivas se encuentran a los 188 metros en el pozo VF7 (Sondeo Eléctrico H24). En el perfil eléctrico, la resistividad del aluvión parece estar sólo ligeramente disminuída por el agua que se encontró por debajo de los 96 metros (fig.5). Esto está probablemente relacionada con la baja salinidad del agua(SD 586 ppm.). Por otra parte, es interesante notar que las arenas arcillosas interestratificadas en lo que se considera como el basamento conductivo, se ensayaron en este pozo entre los 201 y 216 metros. Proporcionaron agua de buena calidad (SD 763 ppm) pero rendimiento específico bajo.

Las mediciones de resistividad de superficie demuestran / que el basamento conductivo podría estar a los 100 ó 150 metros de profundidad a lo largo del perfil I, en la parte meridional del valle. Es esta área, el pozo VF 6 (Sondeo Eléctrico I9) se perforó hasta los 123 metros en una secuencia de gravas, arenas y limos. Las pruebas de bombeo proporcionaron agua de buena calidad (SD 609 ppm) y demostraron que la permeabilidad del aluvión disminuía con la profundidad.

Lo dicho anteriormente puede resumirse como sigue: el basamento conductivo identificado en la profunda depresión estructural por el estudio de resistividad superficial y corroborado por los perfiles eléctricos de los pozos corresponde a cualquiera de las dos formaciones siguientes:

FIGURA 5: PERFILES ELECTRICOS EN LA CUENCA PROFUNDA DEL VALLE FERTIL

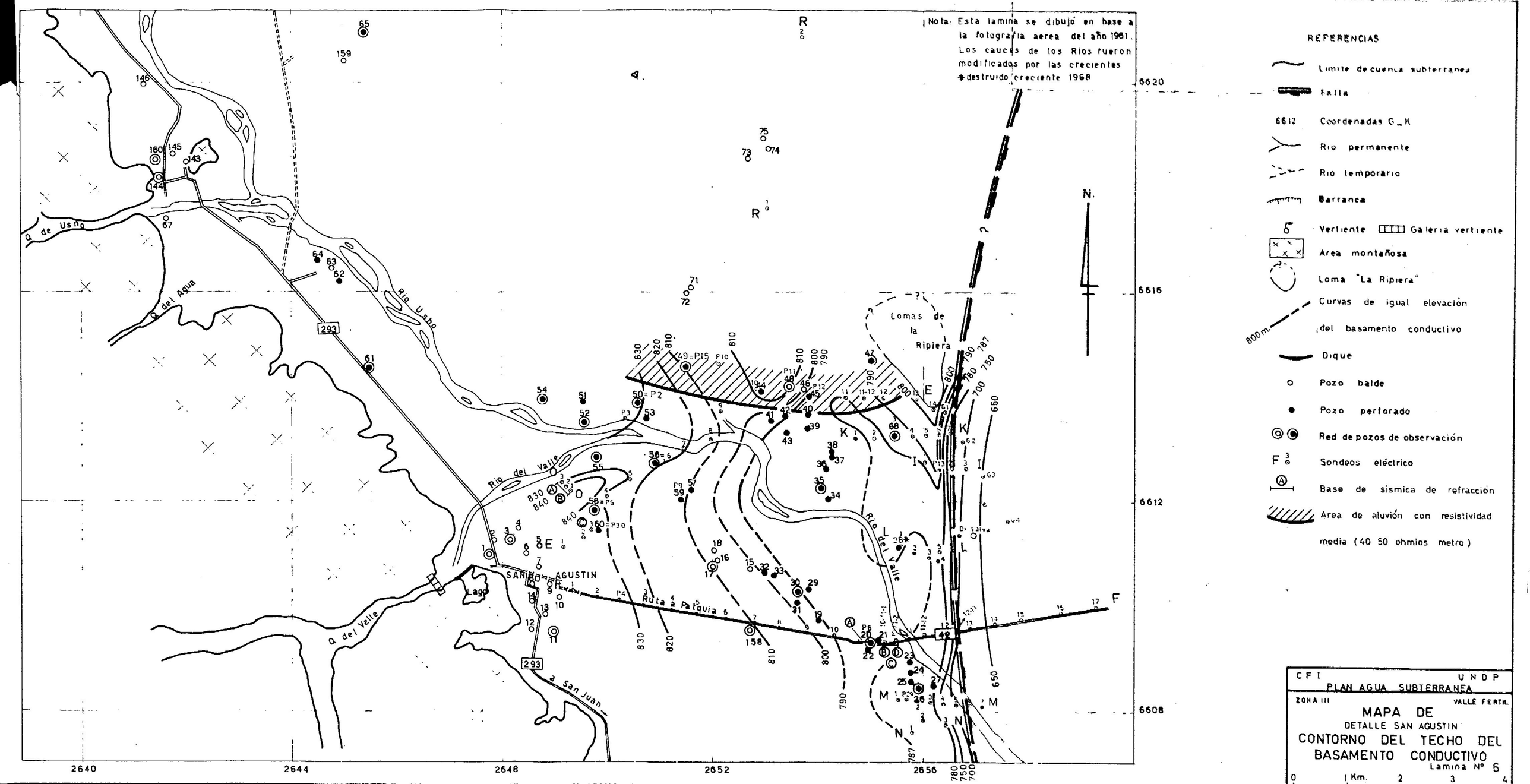


- arcillas y arenas arcillosas, verdadero basamento geológico del aluvión. Incidentalmente, las arenas del basamento parecen ser portadoras de agua, poseyendo baja transmisividad.
- aluvión saturado por agua salada, la cual es muy probable que sólo se presente en la parte septentrional de la depresión.

Estudios detallados por resistividad y sísmica de refracción se realizaron en el área de San Agustín. Los resultados se dan en la Figura 6, mapa de contorno del basamento conductivo. Las líneas de contorno reflejan una ligera pendiente del basamento conductivo desde San Agustín / hacia el este, hasta una línea norte-sur definida por los sondeos eléctricos K7, J2, L6, F12-13 y M4 . A lo largo y al este de esta línea, el basamento está desplazado alrededor de 100 metros hacia abajo, por la falla principal que separa las dos unidades estructurales principales del valle.

Sobre el bloque occidental levantado, ligeras irregularidades afectan al basamento arcilloso. Una elevación de las arcillas, de aprox aproximadamente 6 metros, que se presenta en el área del sondeo eléctrico O_1, es muy probable que corte la recarga desde el río del Valle hacia el / sur durante los períodos de sequía. Esta configuración particular explicaría las irregularidades observadas en los rendimientos de los pozos P8 y / P30, ubicados al sur del levantamiento. Otro levantamiento del basamento conductivo se observa en el área de los sondeos eléctricos G1, K6 y P17. Este levantamiento puede afectar el movimiento del agua subterránea hacia la depresión profunda, como lo corrobora el Pozo P17, cuyo rendimiento es mucho menor que los valores corrientes obtenidos en los pozos ubicados al oeste. Sin embargo, es interesante notar que un Sondeo Eléctrico realizado sobre la pequeña colina de La Ripiera, donde aparentemente aflora el substrato (arcillas rojas y cantos rodados de cuarcita) indica formaciones resistivas en los primeros 25 metros. Estas formaciones resistivas probablemente reflejan la presencia de capas de cantos rodados bien desarrollados.

Una depresión del basamento conductivo se presenta en el área de los Sondeos Eléctricos P12, E11 y E11-12. Aunque no se dispone de


Nota: Esta lamina se dibujó en base a la fotografia aerea del año 1961. Los cauces de los Rios fueron modificados por las crecientes * destruido creciente 1968
REFERENCIAS
Limite de cuenca subterranea
Falla
6612 Coordenadas G_K
Rio permanente
Rio temporario
Barranca
Vertiente
Galeria vertiente
Area montañosa
Loma "La Ripiera"
800 m. Curvas de igual elevación del basamento conductivo
Dique
Pozo balde
Pozo perforado
Red de pozos de observación
Sondeos eléctrico
Base de sismica de refracción
Area de aluvión con resistividad media (40 50 ohmios metro)
N.
Lomas de la Ripiera
Rio del Valle
Rio Usno
Q. de Usno
Q. del Agua
Q. del Valle
SAN AGUSTIN
Lago
Ruta a Patquia
a San Juan
293
49
6620
6616
6612
6608
2640
2644
2648
2652
2656
CFI
UNDP
PLAN AGUA SUBTERRANEA
ZONA III
VALLE FERTIL
MAPA DE
DETALLE SAN AGUSTIN
CONTORNO DEL TECHO DEL BASAMENTO CONDUCTIVO
Lamina Nº 6
0
1 Km.
2
3
4

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
BIBLIOTECA
CENTRO DE DOCUMENTACION Y PUBLICACIONES

datos de control para apoyar la interpretación, parece que el basamento puede estar a unos 50 metros de profundidad en esta área. La resistividad del aluvión que llena la depresión es reducida (40-50 ohm.m) debido al elevado contenido de sales en el agua (SD 1750-2300 ppm.). En realidad, este valor de SD es dos veces más elevado que el observado en los pozos ubicados hacia el sur y sur este donde la recarga es directa desde el Río del Valle. Parecería, en consecuencia, que la depresión de los sondeos eléctricos P12, E11-12 tiene una recarga independiente del Río del Valle (¿ por un antiguo curso del Río Usno?).

(c) Carácter del Relleno

Como podía esperarse, la resistividad del relleno disminuye desde el pie de las montañas hacia el este, en relación con una disminución de la granulometría de los sedimentos. La resistividad anormalmente elevada (2000 a 8000 ohm.m) observada en los depósitos de la parte occidental del / perfil I refleja la presencia de una sección compuesta por cantos rodados / grandes ($\frac{1}{2}$ m^3), faltando material arcilloso intersticial.

Aparte de esta zona, la resistividad del relleno en el área de depósitos poco profundos oscila desde los 100 a los 1000 ohm.m., dependiendo del tamaño de los elementos, del contenido de humedad y de la salinidad del agua.

En la depresión profunda, el relleno es bastante homogéneo, resistivo en general (50 a 300 ohm.m) con escasas intercalaciones conductivas que corresponden a los limos arcillosos. Aparentemente, hasta el extremo sur del área de estudio (Perfil I) no se desarrolla ninguna capa arcillosa conductiva en la superficie como para crear condiciones de confinamiento para el cuerpo de agua subterránea. Esta configuración peculiar hace que el Valle Fértil sea completamente diferente al Valle de Tulum y podría explicar el origen del área salina que se desarrolla más al sur.

(d) Recomendaciones

Se ha efectuado un reconocimiento amplio del Valle Fértil y se han obtenido datos adicionales de los pozos perforados por el Plan. Parece, por lo tanto, aconsejable ahora una etapa de reconocimiento detallado para precisar el cuadro de que se dispone actualmente.

En el valle intermontano al norte de Usno, donde no puede esperarse encontrar mucha agua, es aparentemente inútil ampliar el reconocimiento geofísico.

Por el contrario, las características de la depresión observada a 7 Km al noreste de San Agustín deberían ser estudiadas hacia el norte por medio de resistividad y sísmica de refracción de una escala de semi-detalle. Tambien podría efectuarse un muestreo geoquímico denso en esta área, para corroborar la sospechada recarga independiente de agua procedente del norte.

Con respecto a la depresión profunda, su límite septentrional no ha sido determinado todavía. Aunque es de poco interés práctico dado que el nivel de agua es muy poco profundo y la calidad del agua es probablemente mediocre, debería ser factible determinar este límite por medio de 2 o 3 perfiles de sondeos eléctricos, de dirección norte-sur.

Hacia el sur, parece muy aconsejable precisar la forma de la depresión profunda, por lo menos al sur del Pozo VF7, donde puede encontrarse agua hasta a profundidades inferiores a los 95 metros. En particular, investigaciones geofísicas que se podrían efectuar entre el Perfil I y el área de descarga, indicarían si el cuerpo de agua subterránea se encuentra bajo condiciones de confinamiento. Por lo tanto, los datos recogidos podrían ayudar a explicar la formación de los depósitos salinos. Tres o cuatro perfiles de Sondeos Eléctricos que cruzaran todo el valle parecerían ser un / programa adecuado para completar la investigación de la depresión profunda. Tambien podría perforarse un pozo profundo (200m) con la máquina rotativa en el extremo oriental del perfil I (I 19) con el objeto de proporcionar datos acerca del verdadero espesor del aluvión, de la calidad del agua y de

los parámetros hidráulicos del basamento.

Finalmente tendría que precisarse la ubicación del Perfil H, ya que el relevamiento topográfico realizado no se ha referido a las estaciones geodésicas.

3. VALLE DEL BERMEJO

(a) Configuración General

La geología de los bordes del Valle del Bermejo sugiere un basamento terciario arcilloso que se hunde suavemente hacia el este, por debajo de las gravas del Terciario Superior y del relleno del Valle de Bermejo. El valle termina al este en una falla principal que ha levantado las / formaciones más antiguas que constituyen el cordón montañoso formado por las Sierras Morada, Valle Fértil y de La Huerta.

Algunos pozos de no más de 15 metros de profundidad, cavados en la parte norte del valle, entre los perfiles G y A, evidencian la / existencia de agua de bastante buena calidad. Al sur, solamente en Mogna, que está a 90 Km del perfil A, se habían perforado dos pozos hasta profundidades de aproximadamente 60 metros, antes de iniciarse los trabajos del Plan. Los perfiles de los pozos indican limos, gravas y arenas que contienen agua de calidad mediocre (SD 3400 ppm.). En la salida más meridional / del valle, entre el Cerro Pie de Palo y la Sierra de La Huerta (Mapa V) en un pozo perforado hasta una profundidad de 170 metros, se han encontrado / arenas y limos que contienen agua cuya calidad empeora a medida que aumenta la profundidad (SD 4800 ppm. a los 20 m; 11400 ppm. a los 170 m).

Las pruebas de sísmica de refracción efectuadas por Y.P.F. en el valle, indican formaciones de velocidades inferiores a 3000 m/s. de hasta 1400 metros de espesor. Si es verdad que el contacto entre las formaciones cuyas velocidades son inferiores y superiores a 3000 m/s. no representa necesariamente la parte superior del Terciario arcilloso, es muy probable sin embargo que una cuenca post-terciaria yace por debajo del Valle del Bermejo.

El estudio por resistividad, ejemplo típico de un reconocimiento amplio, se hizo difícil por la falta de accesos. Los perfiles A, G y B se efectuaron a lo largo de sendas preexistentes. El perfil AB se efectuó a lo largo del lecho del Río Huaco. Los perfiles C y D se realizaron usando líneas de sísmica de reflexión abiertas por Y.P.F. Con respecto al perfil E, tuvo que abrirse una senda a través de todo el valle, empleando una topadora. Sólo se completó en buenas condiciones el perfil F, a lo largo de la Ruta Nacional Nº 20 que une San Juan con Córdoba.

Los resultados del estudio por resistividad en el Valle / del Bermejo, en muchas formas, son similares a aquellos obtenidos en el Valle de Tulum.

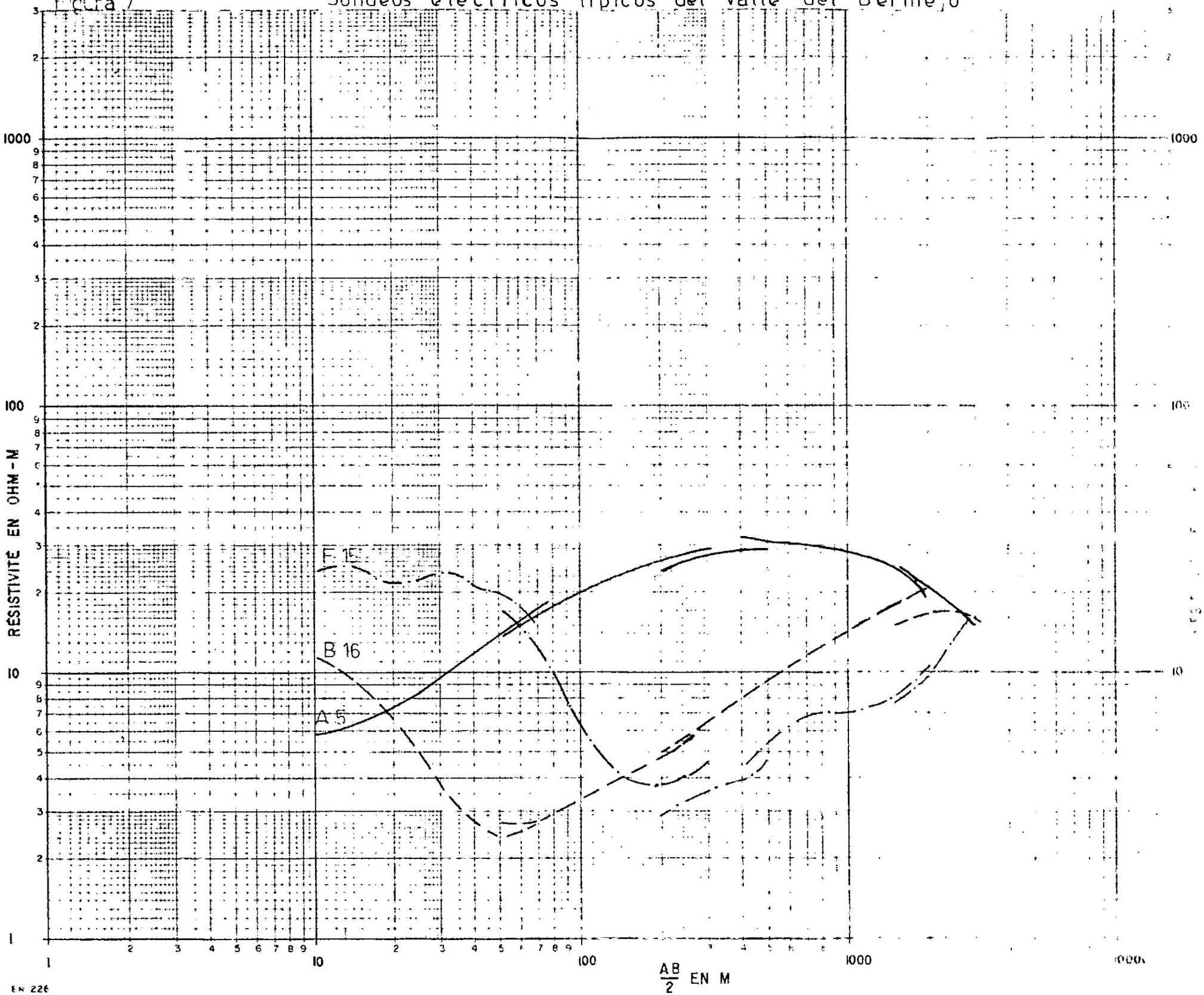
La Fig. 7 muestra tres sondeos eléctricos típicos que corresponden a las partes septentrional, central y meridional del valle. El sondeo eléctrico A5 (parte septentrional) indica una gruesa secuencia de / capas resistivas y conductivas, aluviones y gravas del Terciario superior (?) que yacen sobre un basamento conductivo que, con mucha probabilidad, es Terciario arcilloso. En la superficie, una capa conductiva de no más de 15 metros de espesor refleja una sección limosa.

El sondeo eléctrico B16 corresponde a la parte central del Valle. Haciendo caso omiso de un delgado recubrimiento resistivo, el sondeo eléctrico puede interpretarse como un diagrama de 4 capas, a saber, desde arriba:

- Capa salina muy conductiva (2 ohm.m) de 40 metros de espesor.
- Capa conductiva que tiene una conductancia longitudinal ($C = \frac{h}{\rho}$) de 30 mhos. Esta capa, con gran probabilidad, representa limos arenosos algo salinos. Suponiendo una resistividad de 6 ohm.m, el espesor sería de 180 metros.
- Capa resistiva que tiene una resistencia transversal ($RT = h.\rho$) de 36.000 ohm.m^2 que se interpreta como una secuencia de materiales gruesos (arenas y gravas). El espesor de esta formación puede variar desde un mínimo de 360 metros para una resistividad de 100 ohm.m a un máximo de 720 metros para una resistividad de 50 ohm.m.

Figura 7

Sondeos eléctricos típicos del Valle del Bermejo



EN 226

- Substrato conductivo que corresponde al Terciario arcilloso.

El sondeo aléctrico F15 se efectuó en la salida más meridional del valle. En este sondeo eléctrico, el espesor de las formaciones subsuperficiales salinas es de alrededor de 100 metros. Una capa de resistividad ligeramente más elevada es la responsable de la "campana" que se observa con una separación de electrodos de 1500 metros. Si esta formación / representara material más grueso, el valor bajo de la resistencia transversal, 3800 ohm.m^2, sugiere, e bien una cantidad muy pequeña de capas de arena y/o agua salada. La última parte del sondeo eléctrico refleja la presencia de una formación conductiva (Terciario arcilloso) que yace encima de un basamento resistivo (areniscas triásicas o complejos metamórficos) cuya parte superior estaría a los 1000 metros de profundidad. Debe notarse que, en las áreas central y meridional del Valle del Bermejo, el efecto de pantalla de las capas salinas, la falta de datos de control así como los calores bajos de las lecturas de diferencia potencial, hacen que la interpretación sea difícil y meramente inferida.

(b) Resultados

Aunque los perfiles están demasiado espaciados para facilitar la interpolación de la información, se ha trazado un mapa de las resistividades aparentes para un espaciamiento de electrodos AB=2000 metros, como primer paso para conocer las características del valle (Lámina V).

Una anomalía resistiva con dirección noroeste-sureste se desarrolla en la parte más septentrional y más angosta del valle. Las resistividades más elevadas corresponden a la sección de mayor espesor del material resistivo mediano que rellena la cuenca. El gradiente suave de los valores hacia ambos lados del valle sugiere una disminución progresiva del relleno que finalmente desaparece al oeste en los afloramientos terciarios arcillosos.

La configuración concéntrica de las curvas de igual resistividad en la desembocadura de los ríos Huaco y Jáchal delinea abanicos

aluviales que contienen formaciones de resistividad mediana.

Las resistividades son generalmente bajas en la parte central y meridional del valle debido a la gran cantidad de material de grano fino y salino. Sin embargo, valores ligeramente más altos se desarrollan en una anomalía angosta de dirección sur-sureste delineada por los sondeos eléctricos B16, C14 y D17. Esta anomalía refleja un engrosamiento de la unidad resistiva del relleno debido, ó bien a un viejo canal del Río Bermejo relleno con aluvión grueso, ó a un bloque hundido del Terciario arcilloso. Se observan dos anomalías resistivas más en los sondeos eléctricos D11 y D14.

Haciendo caso omiso del extreno oriental del Perfil E, donde el basamento geofísico poco profundo se traduce en una anomalía de alta resistividad, las resistividades de los perfiles E y F son extremadamente bajas, reflejando una gran cantidad de depósitos de grano fino o bien agua salada, pero más probablemente una combinación de ambos efectos.

Las secciones transversales a lo largo de los porfiles que ilustran las resistencias transversales de las capas resistivas y la conductancia longitudinal de las capas conductivas, se han trazado como un paso siguiente en la interpretación. Tambien se han preparado secciones transversales con cómputos de profundidad, aunque no existen datos de control en el valle para corroborar los valores de las resistividades empleadas es estas computaciones.

Las secciones transversales de los perfiles G, A, B, D, E, y F se dan en la lámina V.

En el extremo occidental del perfil G, formaciones resistivas de hasta 150 metros de espesor pueden reflejar material grueso perteneciente a un abanico aluvial. Entre los sondeos eléctricos G4 y G6, una capa conductiva (limos) aparece en la superficie. Sobre la margen izquierda del Río Bermejo, los sondeos eléctricos G7 a G9 muestran formaciones superficiales resistivas, probablemente de aluviones gruesos. Por debajo de estas capas superficiales, los sondeos eléctricos indican una formación bastante conductiva (20 ohm.m.) la que muy posiblemente representa una unidad anisotrópica que incluye capas resistivas y conductivas. La investigación

que se realizó con espaciamiento de electrodos, hasta de 4000 metros no refleja ningún cambio significativo en profundidad que pudiera relacionarse con un substrato de diferente resistividad. Hasta la fecha no está claro si esto se debe a una secuencia de capas resistivas y conductivas de mucho espesor (aluvión y gravas del Terciario Superior) o al hecho de que el substrato del valle y el aluvión tienen resistividades similares. La línea de sísmica de refracción de YPF 42 137, indica sin embargo que las capas que tienen una velocidad inferior a 3000 m/s alcanzan 1000 metros de espesor. En consecuencia es probable que el relleno post-terciario tenga mucho espesor en esta área.

La sección transversal que corresponde al perfil A muestra un basamento arcilloso conductivo que se hunde desde el sondeo eléctrico / A1 al A4, elevándose luego al este. En la parte occidental del perfil, el relleno se divide en dos unidades principales, a saber:

- Una unidad superficial conductiva (limos) de alrededor de 200 metros de espesor.
- Una unidad resistiva profunda (aluvión y/o gravas del Terciario Superior) con una resistencia transversal máxima de 22.000 ohm.m^2 en el sondeo eléctrico A4.

Hacia el este se desarrolla una unidad resistiva de poca profundidad. El pozo VB1 perforado en el lugar A5 hasta una profundidad de 354 metros demostró que este acuífero superior tiene una permeabilidad muy superior a la del inferior. Las computaciones de profundidad, suponiendo resistividades de 60 a 80 ohm.m. para la unidad resistiva inferior indican que el basamento conductivo está a más o menos 500 metros de profundidad en el centro del valle.

En el perfil B, los sondeos eléctricos B1 a B6 reflejan / una sección de 4 ó 5 capas, a saber:

- Capa resistiva superficial (falta en el sondeo eléctrico B3) bien desarrollada en el sondeo eléctrico B5.
- Primera capa conductiva (limos), de 50 a 100 metros de espesor.
- Unidad resistiva poco profunda (arenas y gravas) de más o menos 100 metros

de espesor (abanico aluvial del Río Huaco ?).

- Unidad conductiva profunda (limos) de alrededor de 110 metros de espesor.
- Unidad resistiva profunda, la más importante (aluvión y/o gravas del terciario superior?).

El pozo VB 2 perforado en el lugar del B2 hasta una profundidad de 380 metros corroboró la sección predicha.

La unidad resistiva poco profunda desaparece al este del sondeo eléctrico B6 y las dos capas conductivas se confunden, mientras su resistividad decrece. Una formación salina muy conductiva se desarrolla en superficie al este del Sondeo Eléctrico B11.

Con respecto a la unidad resistiva profunda, su resistencia transversal es bastante constante desde el sondeo eléctrico B1 al B10. La resistencia disminuye bruscamente entre los sondeos eléctricos B11 y // B14. Esta reducción puede que se deba, o bien a la disminucuón del espesor de la unidad, o a la disminución de la resistividad (grano más fino o agua salada). Hacia el este las resistencias transversales aumentan otra vez en los sondeos eléctricos B15 y B16 donde el basamento conductivo puede estar a una profundidad de unos 900 metros.

Las resistencias transversales disminuyen bruscamente entre el sondeo eléctrico B16 y B17, quizás debido a una falla que ha desplazado hacia arriba el bloque oriental del basamento conductivo. Más al este, los datos que se refieren a las capas profundas son escasos. No obstante, los sondeos eléctricos B20 al B24 muestran claramente que las formaciones superficiales resistivas que corresponden a los abanicos aluviales de la Sierra del Valle Fértil, yacen directamente sobre los limos conductivos y no se comunican, por lo tanto con la unidad resistiva profunda del valle.

En el extremo occidental del perfil D, el relleno incluye 2 unidades diferentes, a saber:

- Capas superficiales conductivas y muy conductivas (limos y formaciones salinas).
- Una unidad de resistividad media (20-30 ohm.m?).

El relleno en esta área no tiene aparentemente más de 200

metros de espesor.

Entre el sondeo eléstrico D7 y el D9, el contraste en resistividad entre el relleno y el basamento conductivo disminuye. Por lo tanto, se hace imposible determinar la resistencia transversal del relleno resistivo que de cualquier manera sería más baja. Al este del sondeo eléctrico D10, la estructura del valle parece ser muy similar a la estructura observada en el perfil B. En particular, un área de elevadas resistencias transversales se observa en los sondeos eléctricos D16 y D17.

El perfil E se realizó en la angosta planicie que constituye la salida meridional del Valle del Bermejo, entre el Cerro Pie de Palo y la Sierra de La Huerta. Las resistividades son muy bajas en este perfil, y la precisión de las mediciones es en cierto modo cuestionable. El obtener mejores mediciones requerirá un equipo registrador del cual no se dispone actualmente en el Plan. Además de un recubrimiento superficial de resistividad media (15 a 40 ohm.m) los sondeos eléctricos del perfil E muestran una secuencia conductiva (menor de 4 ohm.m) en profundidad, la cual es muy probable que esté relacionada con sedimentos de grano fino y salinos. Solamente en el sondeo eléctrico E2, la capa superficial de alrededor de 40 metros de espesor, yace sobre una formación que tiene una resistividad promedio de // 9 ohm.m., la cual podría presentar una secuencia anisotrópica de capas resistivas y conductivas. No obstante, la poca precisión de las mediciones no permite realizar computaciones de profundidad en las que se pueda confiar. El sondeo eléctrico E1, realizado cerca de los afloramientos de rocas gneisicas, muestra sedimentos resistivos (100 ohm.m.) que yacen sobre un basamento de resistividad media (50 ohm.m) cuya naturaleza se desconoce.

Sobre el extremo occidental del perfil F, formaciones resistivas de abanicos aluviales del Cerro Pie de Palo, cuyo espesor máximo es del orden de los 100 metros, yacen directamente sobre el Terciario arcilloso conductivo. Al este, los sondeos eléctricos F8, F15, F18, F23 y F24, los más completos del perfil reflejan una sucesión de 5 capas, a saber, desde arriba:

- Una formación superficial resistiva (40 a 100 ohm.m) de arenas.

- Una capa salina conductiva (2-5 ohm.m) reconocida por el pozo perforado cerca del sondeo eléctrico F 13, hasta una profundidad de 170 metros.
- Una unidad ligeramente más resistiva, cuya resistencia transversal oscila desde los 2000 ohm.m^2 a los 4500 ohm.m^2 . Aunque no existen datos de control aquí, esta unidad puede interpretarse como una secuencia de arenas intercaladas en limos conductivos. Es tambien la única formación que merece ser investigada mediante una perforación en esta área.
- Una capa conductiva cuya conductancia longitudinal oscila, de los 75 a los 130 mhos, correspondiendo al Terciario arcilloso.
- Un basamento resistivo reflejando formaciones triásicas y gneisicas.

Resumiendo, el Valle del Bermejo puede dividirse en tres áreas principales, a saber:

- Un área septentrional donde se encuentra material permeable muy cerca de la superficie y la cual puede actuar como área de recarga. El pozo VB1, perforado en esta área, produjo agua buena hasta una profundidad de 228 metros, máxima ensayada.
- Un área central donde el material grueso está oculto bajo formaciones // salinas y limosas. En esta área, los ríos Huaco y Jáchal han formado abanicos aluviales que aparentemente no están conectados con la unidad resistiva profunda. El pozo VB2, actualmente bajo ensayos en el borde o margen del abanico del Río Huaco, proporcionará informaciones acerca de la calidad del agua en la unidad resistiva profunda. Si esta calidad fuese pobre, la estructura del valle hacia el este (elevación y depresión del basamento) sugeriría que el agua existente en la depresión cercana a la montaña oriental podría ser de diferente calidad, si la recarga principal procede del norte.
- Un área meridional donde los depósitos son principalmente salinos y de granulometría fina y que representa el área de descarga.

(c) Recomendaciones

En lo que se refiere a la geofísica de superficie, deberían precisarse los siguientes puntos:

- Hasta la fecha no está claro si la anomalía resistiva observada en el sondeo eléctrico A5 está conectada con la anomalía del sondeo eléctrico B16. Esta información sería de gran importancia, ya que determinaría una posible recarga de agua de buena calidad a la parte central del valle. Uno o dos perfiles más de sondeos eléctricos entre los perfiles A y B // aclararían este punto:
- El extremo de la anomalía resistiva principal no se ha precisado al sur del perfil D. Un perfil corto que cruce la angosta planicie al nòreste del Cerro Pie de Palo, podría efectuarse con este fin.
- Se sugiere controlar algunos de los sondeos eléctricos con un equipo registrador en el área de los depósitos muy conductivos.
- Sería tambien aconsejable hacer perforar pozos profundos y realizar perfilajes eléctricos en las áreas de interés, con el fin de ajustar las interpretaciones de resistividad superficial. Las ubicaciones B16, D17, sobre la anomalía resistiva y la F17 en la salida más meridional del valle, podrían elegirse con este objeto.

4. VALLE DE TUNUYAN

(a) Configuración General

La cuarta área de estudio, ubicada en la Provincia de Mendoza, se designa en este informe con el nombre de Valle de Tunuyán, aunque existe clara evidencia de que el Río Tunuyán ejerce poco control sobre la hifrogeología del área. Quizá pueda encontrarse un nombre más apropiado en el futuro.

Los límites del área son: el río Mendoza al norte, el río Tunuyán al sur, el anticlinal conocido como Cuchilla de Lunlunta, Cuchilla del Carrizal al este y el anticlinal de Tupungato al oeste. La superficie del terreno se inclina suavemente hacia el sur, estando el Río Mendoza a

una elevación de 950 metros cerca del puente de la Ruta Nacional N° 40 y el Río Tunuyán a una elevación inferior a los 800 metros. Formaciones del Terciario Inferior, incluyendo gran cantidad de material arcilloso y algunas capas de grava, afloran en los anticlinales que limitan el área de estudio al oeste y al este. Tambien hacia el sur, formaciones arcillosas de edad / terciaria afloran a lo largo del Río Tunuyán y cerca del arroyo conocido / como Arroyo de las Piedras Coloradas. Gravas de edad terciaria superior, / parcialmente cementadas, yacen sobre la unidad arcillosa más baja (LáminaVI)

El área de estudio propiamente dicha, aparece por lo tanto como una zona deprimida tectónica y topográficamente, donde la unidad arcillosa del Terciario debe encontrarse a profundidad por debajo de una sección de aluviones y/o gravas del Terciario superior. Un gran número de pozos productivos han sido perforados en el área a profundidades que oscilan entre los 20 y 330 metros. Los pozos ubicados al norte, cerca del Río Mendoza, muestran una sección de gravas, desde gruesas a muy gruesas, incluyendo escasas intercalaciones arcillosas. El pozo RT1, perforado por el Plan sobre la margen izquierda del Río Mendoza, reconoció material aluvial que contenía un elevado porcentaje de arenas y gravas hasta la profundidad máxima alcanzada de 180 metros. Un pozo perforado por YPF a 8,5 Kilómetros al este del pozo RT1, sobre la extensión del anticlinal de Lunlunta, muestra una / sección de 350 metros de depósitos cuaternarios que yacen sobre el Terciario arcilloso. El perfilaje eléctrico efectuado en este pozo indica una cantidad de aproximadamente 50% de gravas y 50% de arcillas en el Cuaternario, siendo el espesor de las capas de grava de no más de 30 metros. La granulometría de las gravas disminuye hacia el sur, mientras que la cantidad de arcillas y limos aumenta. En la parte más meridional del área, parece que varios pozos han sido perforados en una secuencia arcillosa que pertenecen probablemente al Terciario Inferior. Estos pozos han encontrado, interestratificadas en las arcillas, gravas productivas que contienen agua de calidad bastante buena.

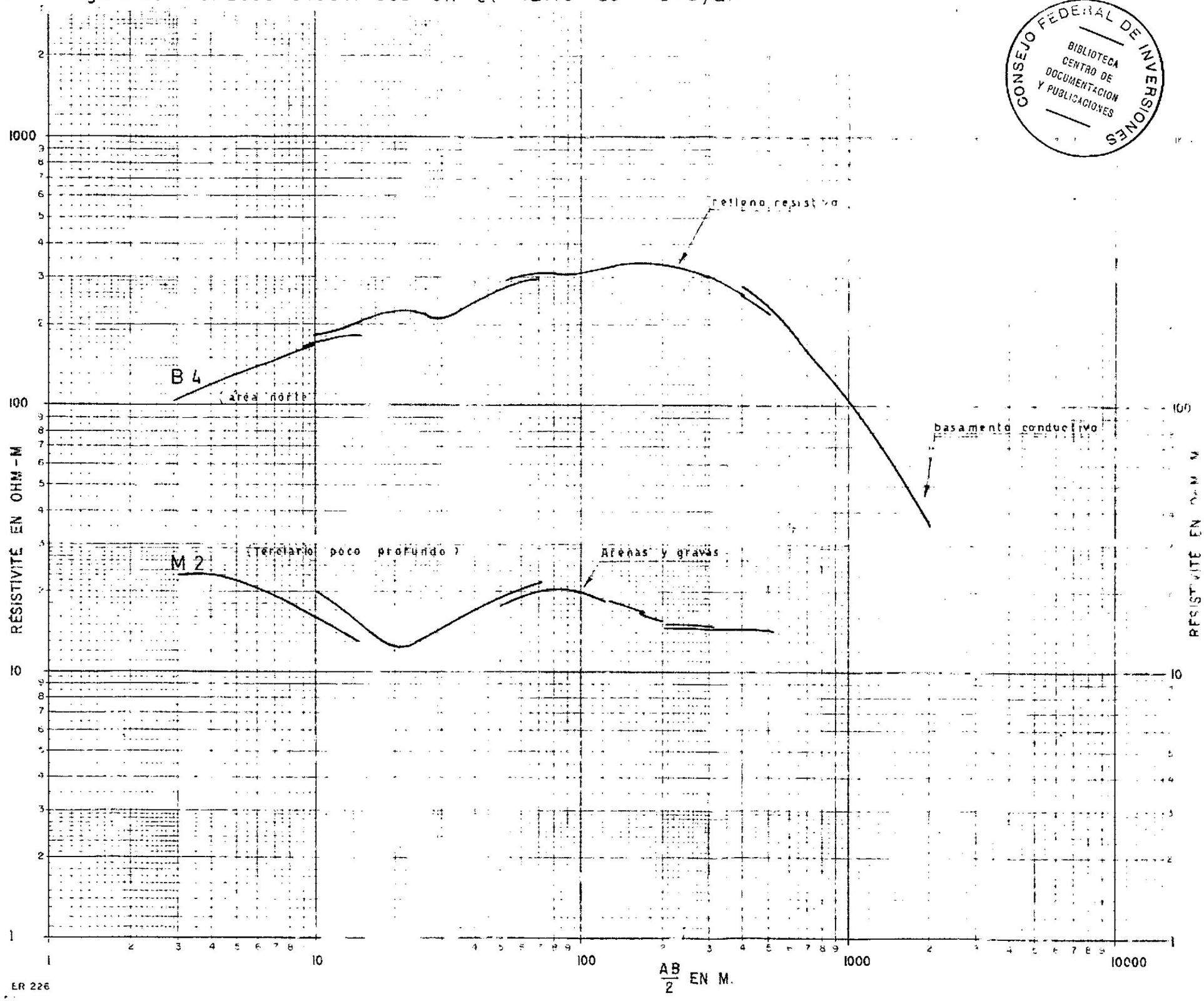
Los estudios por sísmica de refracción realizados por YPF, evidencian capas de altas velocidades (más de 3000 m/s) a profundidades in

feriores a los 100 metros en el área norte de Ugarteche. Las velocidades de las formaciones superficiales disminuyen al sur, a valores menores de 3000 m/s. Aunque no puede encontrarse ninguna explicación satisfactoria a esta configuración, ya que las formaciones encontradas en el norte son principalmente no consolidadas, la diferencia en naturaleza de las dos áreas ha sido confirmada por el estudio por resistividad, como se demuestra más adelante.

Las respuestas de la resistividad de superficie en el Valle de Tunuyán son esencialmente variable dependiendo de la parte del área que se considere. El sondeo eléctrico J3, efectuado al norte del Río Mendoza sobre pedimentos que ocultan formaciones terciarias, indica un basamento bastante resistivo (40 ohm.m) probablemente relacionado a una secuencia de gravas resistivas y arcillas conductivas. Al sur del Río Mendoza, los sondeos eléctricos evidencian una formación gruesa y muy resistiva (100 a 800 ohm.m), aluvión y/o gravas terciarias superiores, que yacen sobre una unidad más conductiva, la cual corresponde muy probablemente a formaciones arcillosas del Terciario (Véase sondeo eléctrico B4, figura 8). Los sondeos eléctricos realizados en la parte meridional del área donde la unidad inferior del Terciario se sospecha que está a poca profundidad, indican capas de resistividad mediana, interestratificadas en un medio ambiente más conductivo. (vease sondeo eléctrico M2, Figura 8). Las capas resistivas representan las gravas / mencionadas más arriba. Este hecho lo corroboran los datos recogidos en los numerosos pozos petrolíferos perforados sobre los anticlinales cuyos perfilajes eléctricos muestran muchas intercalaciones resistivas en la unidad terciaria.

Debe mencionarse aquí que se tropezó con grandes dificultades para completar el perfil A, debido a cañerías enterradas, alambres,etc., de manera que muchos de los sondeos eléctricos de este perfil no merecen confianza. Esta dificultad se obvió después de completar el perfil I en el lecho del Río Mendoza.

Figura 8: Sondeos eléctricos en el Valle de Tunuyan



CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
BIBLIOTECA
CENTRO DE
DOCUMENTACION
Y PUBLICACIONES

ER 226

(b) Resultados

El primer paso hacia el conocimiento de las características estructurales del Valle de Tunuyán puede ser la interpretación del mapa de resistividades aparentes para un espaciamiento de electrodos $AB=f(Z_{ES}-Z_{WL})$ presentado en la lámina VI, siendo Z_{ES} y Z_{WL} las cotas de los sondeos eléctricos y del nivel de agua respectivamente.

El desarrollo y significación de dicho mapa requieren algunas explicaciones. Los mapas de resistividades aparentes para un espaciamiento de electrodos AB de dimensiones fijas, constituyen una técnica corriente y se han trazado para el Valle de Tulum, Valle Fértil y Valle del Bermejo. Como una primera aproximación, las resistividades aparentes medidas se han considerado como representado la resistividad promedio de una capa subsuperficial de espesor constante. En otras palabras, el plano de referencia de la investigación fué la superficie del terreno. Las anomalías conductivas se interpretaron como reflejando una sección de gran espesor de formaciones // conductivas (arcillas superficiales, basamento terciario arcilloso), las anomalías resistivas, por el contrario, evidenciaron una sección que contenía principalmente material grueso.

En el Valle de Tunuyán podría haberse desarrollado un mapa tal. Sin embargo, las características especiales del área septentrional, concernientes al nivel de agua, habrían tenido como consecuencia que este mapa fuese de poco interés. Efectivamente, la profundidad del nivel de agua varía desde quizá 200 metros en la parte septentrional del área hasta 15 metros cerca de Ugarteche, debido a la pendiente natural del terreno. Así, un mapa trazado para un espaciamiento de electrodos AB de dimensiones fijas, / digamos para una profundidad de investigación de aproximadamente 200 metros habría proporcionado datos heterogéneos como la resistividad promedio de las gravas secas en la parte noroeste del área y la resistividad promedio de una capa de 200 metros de espesor de acuíferos potenciales cercanos a Ugarteche. Esta dificultad puede obviarse eligiendo un plano de referencia diferente / de la superficie del terreno y referido más especialmente a la superficie / del nivel del agua.

Con este objeto, se confeccionaron mapas de resistividades aparentes para un espaciado de electrodos variable $AB = f(Z_{ES} - Z_{WL})$. Si el nivel de agua fuese muy profundo, AB es grande. Cuando el nivel de agua está cerca de la superficie, AB, es pequeño. Un mapa de resistividades aparentes para un espaciamiento de electrodos $AB = 10(Z_{ES} - Z_{WL})$ se ha confeccionado para el Valle de Tunuyán. Al norte de la línea determinada por los sondeos eléctricos C5, H4, D11, la elevación del nivel del agua se ha supuesto que está aproximadamente 900 metros sobre el nivel del mar. Al sur de esta línea se emplearon las verdaderas elevaciones del nivel de agua proporcionadas por la sección Hidrología.

En conjunto, las líneas de igual resistividad determinan dos áreas:

- Un área septentrional de resistividades elevadas, cuyo límite meridional corresponde aproximadamente a la línea de 100 ohm.m.
- Un área meridional caracterizada por bajas resistividades.

En el área septentrional, las resistividades aumentan desde los bordes de los anticlinales hacia el centro de la cuenca, reflejando el engrosamiento de las formaciones resistivas. La línea de 200 ohm.m delinea una anomalía de valores altos, con dirección norte-sur, que corresponde a la parte más profunda de la cuenca rellena de depósitos gruesos. Este engrosamiento está probablemente relacionado a una configuración sinclinal asimétrica, estando el eje del sinclinal más cerca del borde oriental de / la cuenca.

Otra pequeña anomalía resistiva se observa en el extremo occidental del perfil A. Esta anomalía puede interpretarse como reflejando una depresión local del basamento terciario arcilloso. Hacia el norte, los escasos datos obtenidos a lo largo del perfil J, indican una disminución / rápida en el espesor del relleno resistivo.

Las resistividades menores de 100 ohm.m que se presentan en el área meridional, prestan evidencia de un basamento conductivo menos profundo. El cambio de dirección de las líneas hacia una configuración claramente este-oeste en el área intermedia, entre los perfiles C y D, sugie-

re un levantamiento del basamento conductivo a lo largo del eje norte-sur. Más al sur, las líneas de igual resistividad adoptan la dirección sureste, reflejando una nueva orientación de la cuenca.

Como paso siguiente en la interpretación , se ha efectuado computaciones de profundidad y los resultados se han presentado bajo la forma de secciones transversales. Dos secciones transversales que corresponden a los perfiles C y E y otra orientada norte-sur, se muestran en la lámina VI.

En el área septentrional, el basamento conductivo parece / estar alrededor de 400 metros de profundidad y el relleno muy resistivo, debido al tamaño grueso de los sedimentos. Esta cuenca profunda termina al norte por un levantamiento suave del basamento conductivo que está a menos de 20 metros de profundidad en el sondeo eléctrico J3. Como se mencionó anteriormente, la resistividad del basamento es bastante elevada (30-40ohm.m) en esta zona, reflejando muy probablemente una secuencia de gravas y arcillas.

La resistividad del relleno disminuye hacia el sur en relación con formaciones de granulometría más fina. Las intercalaciones conductivas visibles en los sondeos eléctricos se han interpretado como única capa, pero deben corresponder en realidad a varias intercalaciones arcillosas. El levantamiento del basamento conductivo hacia el sur, revelado por el mapa de resistividades aparentes no es aparentemente una escarpa, debido a // una falla, sino un ascenso progresivo del eje sin[illegible]l que finalmente termina en el Terciario Inferior más al sur. El espesor del relleno resistivo disminuye desde los 100 metros sobre el extremo [illegible] como en su extremo oriental, donde la unidad arcillosa del Terciario aflora.

Las intercalaciones resistivas existentes en esta unidad arcillosa no se han indicado en las secciones transverslles, ya que no están lo suficientemente desarrolladas como para estar indudablemente correlacionadas. Además, estas intercalaciones resistivas, perfectamente visibles en los sondeos eléctricos realizados directamente sobre la unidad arcillosa / del Terciario, no se pueden individualizar en las áreas donde existe relleno

resistivo de mediano o gran espesor.

Con respecto a la hidrogeología, algunas zonas han sido determinadas a través de los resultados geofísicos:

- Cerca del Río Mendoza la granulometría gruesa y el espesor del relleno crean condiciones favorables para una recarga del agua superficial del río.
- La profunda depresión rellenada por depósitos gruesos que yace por debajo del área septentrional, debe actuar esencialmente como una gran cubeta en la cual se mantiene el agua. Las características de la cuenca al noroeste no han sido precisadas todavía. Sin embargo, el pozo perforado por YPF sobre la extensión del anticlinal de Lunlunta sugiere que no existe un umbral que podría afectar el movimiento del agua subterránea hacia el noreste.
- En el área meridional, un delgado aluvión de grano grueso yace sobre una secuencia de arcillas intercaladas con arenas y gravas, las cuales actúan principalmente como acuíferos confinados. Hasta la fecha, la conexión entre los acuíferos de las dos unidades no está muy claramente determinada. Sin embargo, el análisis de las muestras de agua, parece indicar un mayor contenido de sales en el acuífero confinado, siendo de composición similar a la del aluvión.

El Río Tunuyán también puede recargar algunas gravas de la unidad del Terciario Inferior, pero la fina granulometría de los sedimentos en general, así como la probable naturaleza limosa del lecho del río, deben limitar seriamente la infiltración.

(c) Recomendaciones

En la actualidad, la investigación geofísica parece ser suficiente en el Valle de Tunuyán propiamente dicho, para la etapa de reconocimiento detallado.

Si fuese necesario, podrían realizarse en el futuro estudios por resistividad de superficie como etapa detallada, en las áreas a ser perforadas.

Se sugiere que, de inmediato, se realicen dos sondeos eléctricos al norte del río Mendoza, cerca de los pozos RMP1 perforado por el Plan y cerca del pozo de YPF ubicado al oeste. Tambien es aconsejable realizar nuevos sondeos eléctricos sobre la extensión del anticlinal de Lunlunta para determinar si existe un umbral allí.

Debido a la granulometría gruesa de los sedimentos, no parece que sea factible perforar pozos por parte del Plan hasta el basamento en la profunda cuenca septentrional. Por lo tanto, sería particularmente / útil conseguir todos los datos geológicos y eléctricos respecto al aluvión y a las gravas del Terciario superior hasta el Terciario arcilloso en los nuevos pozos que YPF pueda perforar en esta área. Un programa de perfilaje por rayos gamma podría tambien realizarce en los pozos más profundos del / área para corroborar los perfilajes geológicos.

Se sugiere hacer perforar uno o dos pozos profundos por / parte del Plan, perfilándolos eléctricamente en el área intermedia o meridional donde yace un aluvión resistivo de poco espesor sobre la unidad arcillosa del Terciario Inferior. Ensayos hidráulicos y químicos ayudarían a dilucidar las conexiones entre los dos sistemas portantes de agua.

La información recogida tambien serviría para ajustar la interpretación de la resistividad de superficie, de manera que podría confeccionarse un mapa del basamento conductivo.

5. VALLE DE MENDOZA

Se han realizado los primeros perfiles de sondeos eléctricos en la parte norte del Valle de Mendoza, el cual representa tambien la extensión hacia el sur del Valle de Tulum. Esta área corresponde precisamente al antiguo lago donde se juntaban los ríos San Juan y Mendoza.

El relleno, bastante resistivo sobre el borde occidental de la cuenca disminuye bruscamente en resistividad hacia el centro del valle. La capa superficial salina, observada en los perfiles F, G y H del Valle de Tulum, se desarrolla aún más, hasta un espesor de 250 metros cerca del antiguo lago. Su efecto de pantalla conjuntamente con las bajas lecturas, ha-

cen que la interpretación sea cuestionable. Parece por lo tanto aconsejable adquirir o alquilar un equipo registrador para poder obtener lecturas más exactas en esta área. Si se consiguiera este equipo, tambien sería necesario comprar un cable de tipo menos resistivo, debido al gran espaciamiento entre electrodos que deberá emplearse. Tambien sería aconsejable tener un pozo profundo (¿800 metros?) en este lugar para apoyar la interpretación de los datos de resistividad de superficie.

6. CONCLUSIONES

Las actividades geofísicas del Plan, se han dirigido principalmente al reconocimiento de las cuencas como una de las primeras etapas de la investigación del agua subterránea. En este aspecto se ha alcanzado bastante éxito al delinear las características estructurales principales y las variaciones de conjunto en la naturaleza del relleno de las cuencas, / que sirvieron de guía para investigaciones posteriores.

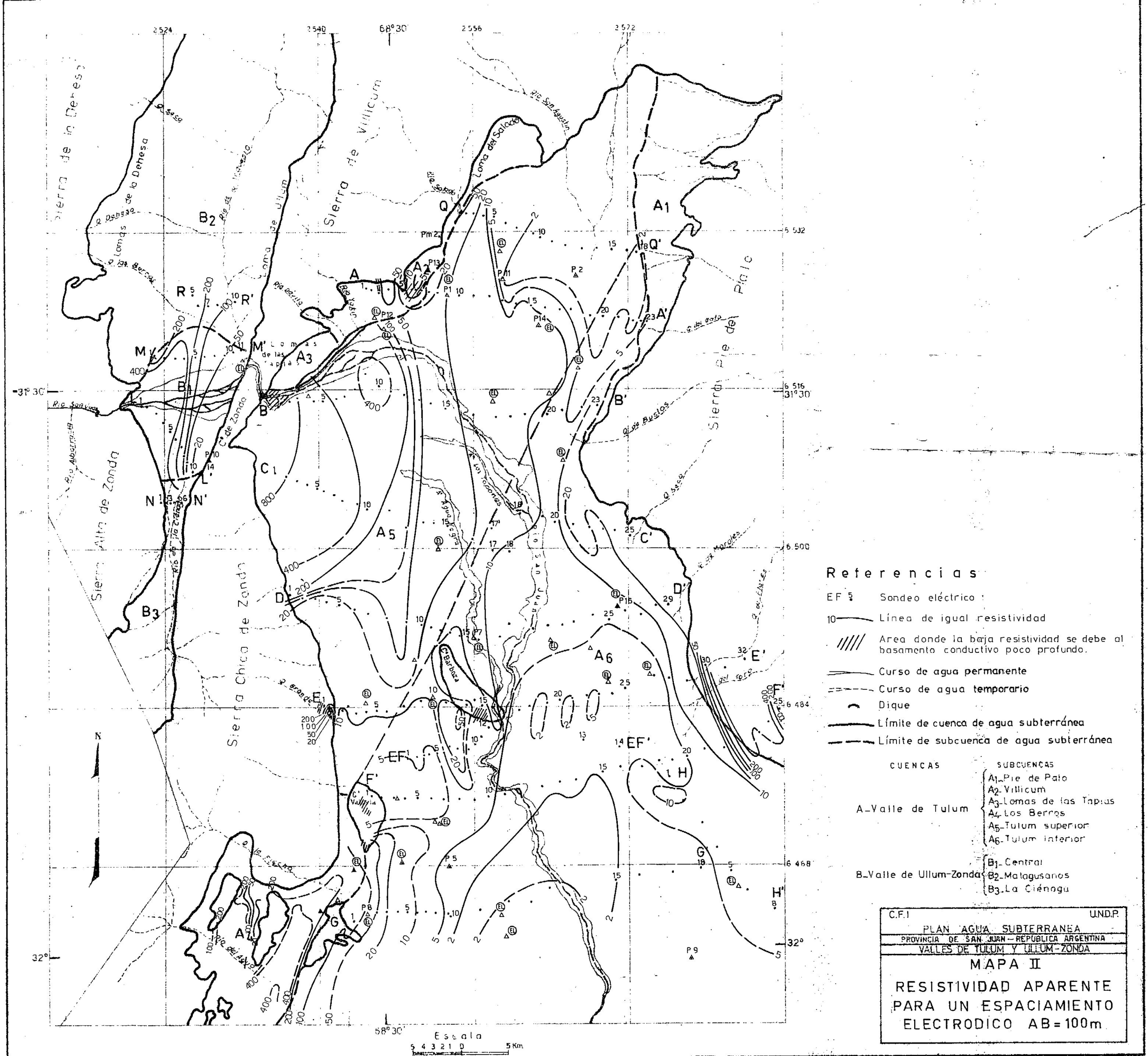
Durante la ejecución de los estudios geofísicos, se evidenció la importancia del control estructural en el almaxenamiento y el movimiento del agua subterránea, mientras que la erosión pareció haber desempeñado un papel menos significativo.

A pesar de las limitaciones del método en las áreas de depósitos salinos superficiales de mucho espesor, la resistividad de superficie que constituyó el medio básico de investigación ha proporcionado datos dignos de confianza que han podido analizarce sobre una base semi-cuantitativa. Se ha demostrado tambien que la exactitud del análisis mejoraba a medida que se obtenían datos adicionales procedentes de otras técnicas.

Finalmente, el autor piensa que los dos objetivos propuestos a la sección geofísica del Plan, se han desarrollado en forma satisfactoria. En particular, el entrenamiento del personal de la contraparte, realizado en un inmejorable ambiente de cooperación, permitirá que se alcancem excelentes resultados en el futuro.

YVES F. SERRES
Geofísico

6 de diciembre de 1968


Sierra de la Dehesa
Sierra de Villicum
Sierra de Pie de Palo
Sierra Alta de Zonda
Sierra Chica de Zonda
Lomas de las Tapias
Loma del Salado
Cerro Barbaca
Cerro Valdivia
Río San Agustín
Río Abaucán
Río de la Cruz
Río Grande
Río Frías
Río del Arbol
Río Marques
Río Bustos
Río Seco
Río Zonda
Río Blanco
Río Colorado
Río Tulum
Río Jáchal
Río Gualcamayo
Río Los Berros
Río Sorpa
Río Valle Fértil
Río Los Tolombones
Río Los Berros
Río Sorpa
Río Jáchal
Río Gualcamayo

C.F.I. U.N.D.P.

PLAN AGUA SUBTERRANEA

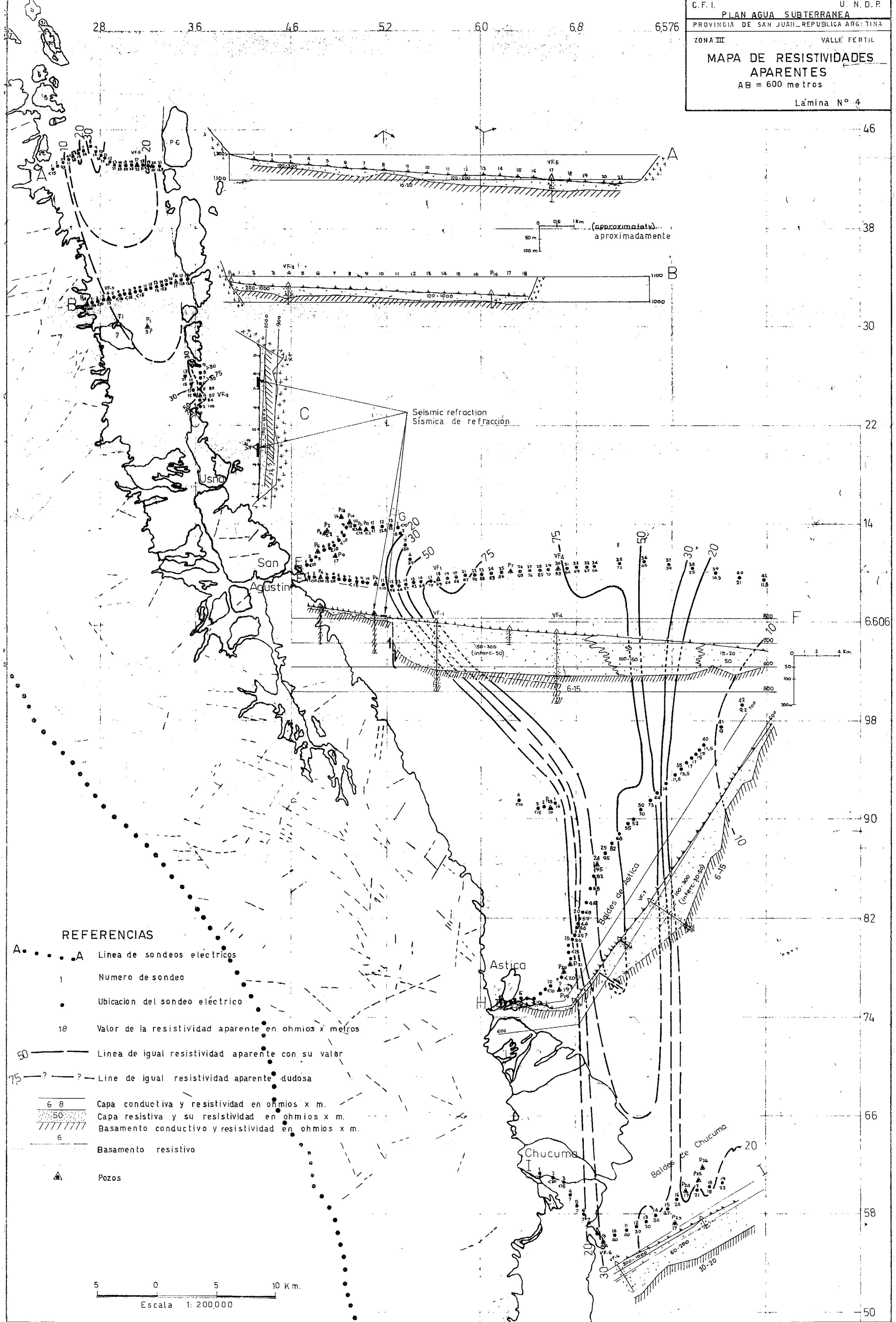
PROVINCIA DE SAN JUAN_REPUBLICA ARGENTINA

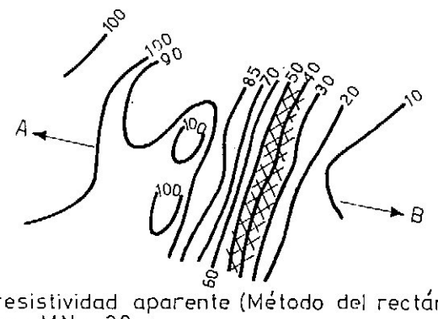
ZONA III VALLE FERTIL

MAPA DE RESISTIVIDADES APARENTES

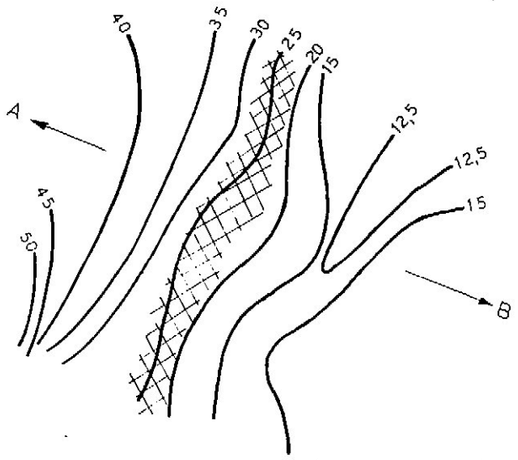
AB = 600 metros

Lámina Nº 4





1 Mapa de resistividad aparente (Método del rectángulo)
A B = 900m ; MN = 30m
50 Línea de igual resistividad en ohm.m
Traza de la falla
Escala 1:5.000



2 Mapa de resistividad aparente (Método del rectángulo)
A B = 1.000m ; MN = 50m
20 Línea de igual resistividad en ohm.m
Traza de la falla
Escala 1:5.000

Referencias

- D 1.0 Sondeo eléctrico
- 50 Línea de igual valor de T
- Anomalía de alta resistencia transversal
- Anomalía de baja resistencia transversal
- Pozo con perfilaje eléctrico
- Curso de agua permanente
- Curso de agua temporario
- Dique
- Límite de cuenca de agua subterránea
- Límite de subcuenca de agua subterránea

CUENCAS	SUBCUENCAS
A_Valle de Tulum	A1_Pie de Palo A2_Villicum A3_Lomas de las Tapias A4_Los Berros A5_Tulum superior A6_Tulum inferior
B_Valle de Ullum-Zonda	B1_Central B2_Matagusanos B3_La Ciénaga

C.F.I. UNDP
PLAN AGUA SUBTERRANEA
PROVINCIA DE SAN JUAN – REPUBLICA ARGENTINA
VALLES DE TULUM Y ULLUM-ZONDA

MAPA I

RESISTENCIA TRANSVERSAL DEL RELLENO RESISTIVO

PLAN AGUA SUBTERRANEA

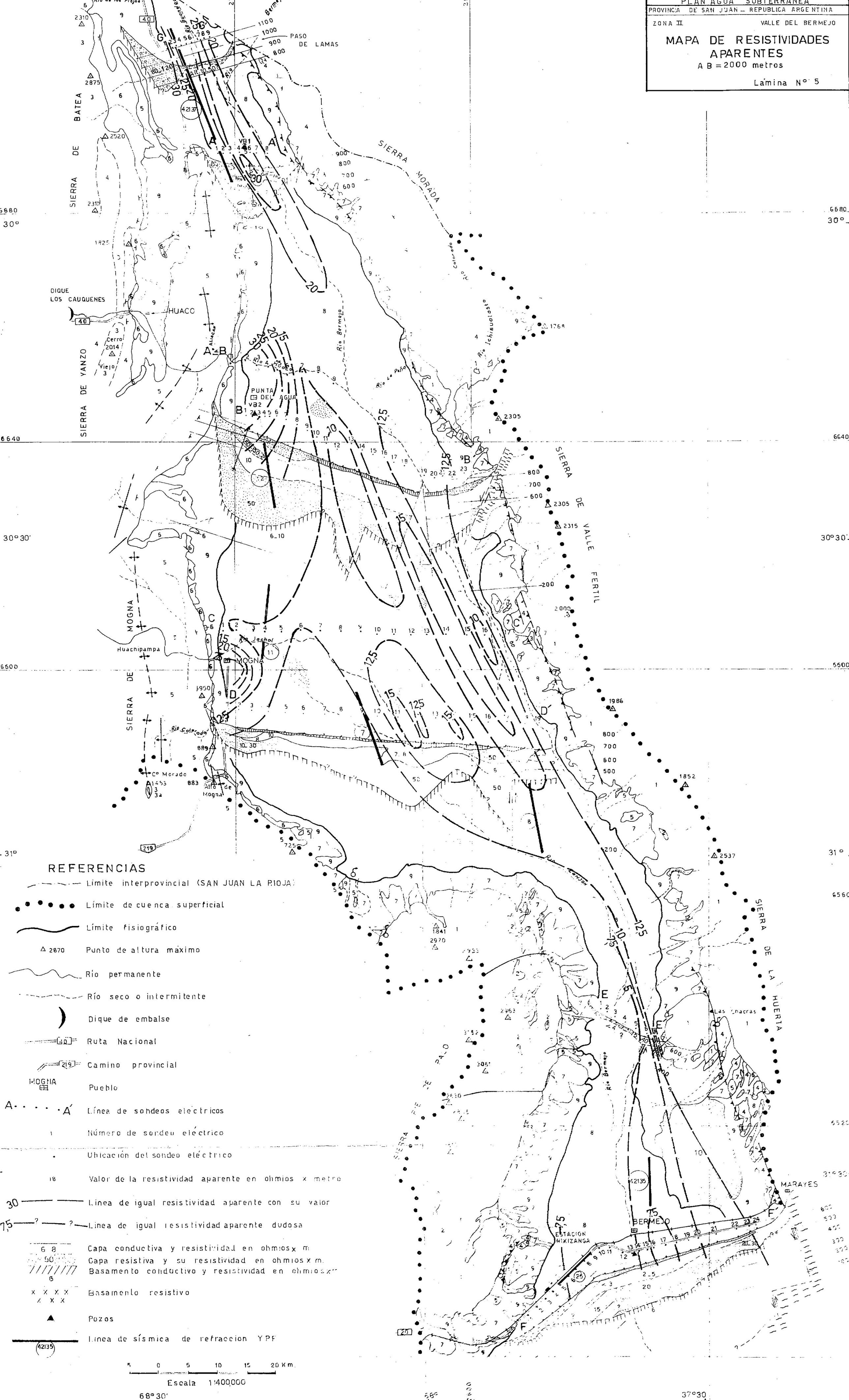
PROVINCIA DE SAN JUAN – REPUBLICA ARGENTINA

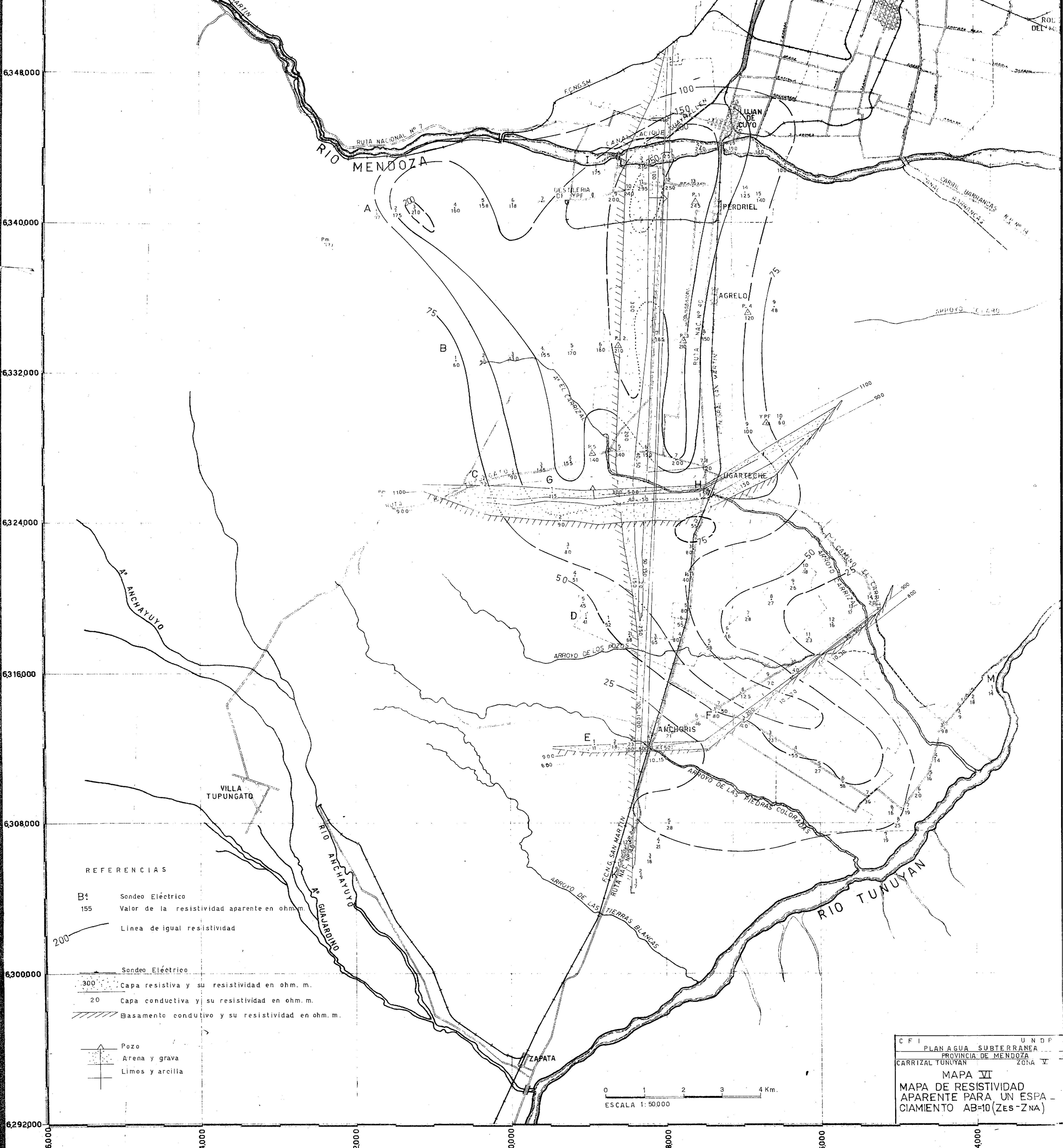
ZONA II — VALLE DEL BERMEJO

MAPA DE RESISTIVIDADES APARENTES

A B = 2000 metros

Lámina N° 5




RIO MENDOZA
RUTA NACIONAL Nº 7
F.C.N.G.S.M.
CANAL CACIQUE GUAYMALLEN
SAN JUAN DE CUYO
DESTILERIA CEPYPE
PERDRIEL
AGRELO
RUTA NAC. Nº 40
FERROCARRIL SAN MARTIN
A° EL CARRIZAL
UGARTECHE
ARROYO EL CARRIZAL
CAMINO EL CARRIZAL
ARROYO DE LOS POZOS
ANCHORIS
ARROYO DE LAS PIEDRAS COLORADAS
ARROYO DE LAS TIERRAS BLANCAS
A° ANCHAYUYO
VILLA TUPUNGATO
RIO ANCHAYUYO
A° GUAJARDINO
ZAPATA
RIO TUNUYAN
CANAL BARRANCAS
6,348,000
6,340,000
6,332,000
6,324,000
6,316,000
6,308,000
6,300,000
6,292,000
REFERENCIAS
B4 Sondeo Eléctrico
155 Valor de la resistividad aparente en ohm. m.
Linea de igual resistividad
Sondeo Eléctrico
300 Capa resistiva y su resistividad en ohm. m.
20 Capa conductiva y su resistividad en ohm. m.
Basamento condutivo y su resistividad en ohm. m.
Pozo
Arena y grava
Limos y arcilla
0 1 2 3 4 Km.
ESCALA 1:50.000
CFI UNDP
PLAN AGUA SUBTERRANEA
PROVINCIA DE MENDOZA
CARRIZAL TUNUYAN ZONA V
MAPA VI
MAPA DE RESISTIVIDAD APARENTE PARA UN ESPACIAMIENTO AB=10 (ZES-ZNA)