

1004

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



---

**UNA APLICACION DE LOS METODOS GEOFISICOS  
A UN ESTUDIO HIDROGEOLOGICO EN ACUIFEROS  
LIBRES Y COSTEROS**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**INGENIERO GEOFISICO**  
**P R E S E N T A:**  
**JOSE LUIS MEZA TREJO**

**MEXICO, D. F.,**

**1982**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA  
Dirección  
60-I-125

Señor MEZA TREJO JOSE LUIS.  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Ing. - Roboam León Sánchez, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOFISICO.

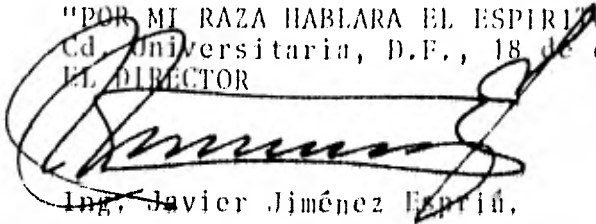
"UNA APLICACION DE LOS METODOS GEOFISICOS A UN ESTUDIO  
HIDROGEOLOGICO EN ACUIFEROS LIBRES Y COSTEROS"

- INTRODUCCION.
- I METODO ELECTRICO RESISTIVO.
- II EXPLORACION GEOHIDROLOGICA.
- III PROYECTO MANZANILLO.
- IV APLICACION DE LOS METODOS GEOFISICOS.
- V APLICACION DIRECTA DE LOS PARAMETROS DE  
DAR ZARROUK.
- VI RESULTADOS.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- APENDICE.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como -- requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así -- como de la disposición de la Coordinación de la Administración -- Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los -- ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., 18 de octubre de 1982.  
EL DIRECTOR

  
Ing. Javier Jiménez Espriú.

C O N T E N I D O		
	INTRODUCCION	1
CAPITULO I	METODO ELECTRICO RESISTIVO	3
I.1	CONDUCTIVIDAD DE LAS ROCAS	3
	a) Reacciones del agua que rellenan las poros.	5
	b) Parada de las suelas	6
I.2	FUNDAMENTOS CUANTITATIVOS	6
I.3	TEORIA DEL SONDEO ELECTRICO VERTICAL.	13
CAPITULO II	EXPLORACION GEOHIDROLOGICA	17
II.1	CONCEPTOS TEORICOS DE ACUIFEROS LIBRES Y COSTEROS.	17
	a) Modelo de acuífera libre y costera	18
	b) Relación agua dulce y cuña salina	19
II.2	ESTUDIOS GEOLOGICOS.	23
II.3	ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS	24
II.4	ESTUDIOS GEOFISICOS	26
CAPITULO III	PROYECTO MANZANILLO	30
III.1	ESTUDIO GEOLOGICO	31
III.2	PROSPECCION GEOHIDROLOGICA	34
III.3	HIDROLOGIA SUBTERRANEA	36
CAPITULO IV	APLICACION DE LOS METODOS GEOFISICOS	38
IV.1	SISMICA DE REFRACCION	38
IV.2	ESTUDIO GRAVIMETRICO	39
IV.3	ESTUDIO GEOELECTRICO	40
CAPITULO V	APLICACION DIRECTA DE LOS PARAMETROS DE DAR ZARROUK	
V.1	TRANSMISIVIDAD DE ACUIFEROS	46

V.2	ZONAS INTRUSIONADAS	48
CAPITULO VI	RESULTADOS	50
VI.1	RESULTADOS GEOLOGICOS	51
VI.2	RESULTADOS GEOHIDROLOGICOS	52
VI.3	RESULTADOS GEOFISICOS	53
VI.4	RESULTADOS DE LOS PARAMETROS S y T	56
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
	A P E N D I C E	60
	BIBLIOGRAFIA	71

## INTRODUCCION

El presente trabajo esboza el estudio de una aplicac---  
ción Geofísica de Exploración a una investigación Hidrogeo--  
lógica.

Se presentan los principios y conceptos del método Geo-  
eléctrico específicamente la teoría del Sondeo Eléctrico Ver-  
tical (SEV) en sus modalidades Schlumberger y medio Schlumberger  
en corriente continua para los fines de un acuífero libre y --  
costero

Del SEV, la única propiedad electromagnética medible, -  
es una resistividad aparente de la cual se obtiene informa--  
ción del subsuelo mediante la elaboración de mapas y seccio-  
nes.

La resistividad es una propiedad intrínseca de los ma-  
teriales en el subsuelo que se encuentra asociada con el por-  
centaje de poros comunicados, los que por regla general nun-  
ca se encuentran vacíos, y sí ocupados por gases y/o electro-  
litos, a los cuales se debe la conducción eléctrica del sub-  
suelo. De aquí que en términos de la resistividad se puedan  
clasificar los materiales porosos y relativamente compactos,  
a partir de una unidad de apoyo que se encuentra a profundi-  
dad y que se denomina basamento. Este nos es de vital impor-  
tancia para la determinación de una columna de unidades geo-  
eléctricas, las cuales ayudan a encontrar la capa acuífera -

---

favorable para futuros fines de explotación.

Estas capas acuíferas cuando se encuentran cerca de zonas costeras se le requiere localizar las zonas de posible -- intrusión marina; esto debido a su presencia en las proximidades de las masas de aguas saladas. Generalmente debido a -- los abatimientos de niveles, la capa acuífera sufre un proceso de contaminación de agua salada en los dominios de la capa acuífera costera, rompiéndose el equilibrio que guarda el flujo de agua dulce con las masas de aguas saladas pertenecientes a los mares contiguos.

Debido a tal proceso el estudio obliga la participación de las siguientes técnicas:

Geológicas, Hidrogeológicas y Geofísicas, las cuales son, amplias y específicas en su metodología. Estas no se excluyen entre sí o establecen una competencia; por el contrario, se -- necesitan unas a otras para alcanzar la mejor ubicación de -- extracciones y evitar la presencia de dicho fenómeno en la -- contaminación del acuífero por sobre-explotación de pozos,

No se propone abordar cada técnica en sus formas am-- plias de aplicación; lo que se pretende es presentar un re-- sumen de la aplicación de cada una de las técnicas a los fines Hidrogeológicos. Se hace notar la importancia de un es-- tudio Geofísico de exploración mediante Sísmica de Refracción, Gravimetría y particularmente Sondeo Eléctrico vertical (SEV) como métodos Geofísicos más eficaces y usados para los fines mencionados,

## CAPITULO I

### METODO ELECTRICO RESISTIVO

El Método Eléctrico Resistivo forma parte de los Métodos Geofísicos, conocidos como "Mayores". Es el más apropiado en la localización de estructuras capaces de contener agua subterránea relativamente a poca profundidad y para las características hidrogeológicas que se buscan en el subsuelo. Además -- permite determinar la naturaleza, morfología y profundidad -- del sustrato acuífero, y da así una idea de la litología de la capa acuífera.

Este método se basa en el estudio de las variaciones de un parámetro físico de las rocas: su aptitud más o menos grande es la de conducir corriente eléctrica, la CONDUCTIVIDAD ELECTRICA. Para mayor comodidad se utiliza en general la resistividad, que es la inversa de la conductividad, de ahí su nombre.

#### 1.1 CONDUCTIVIDAD DE LAS ROCAS

La conductividad de las rocas es del tipo electrolítico, la corriente se propaga en forma de iones. Es pues, función de:

$V_e$  = Volumen de los poros llenos o vacíos total de fluido.

$T_w$  = Conductividad del fluido saturador.

$C$  = Constante para una disposición dada de los poros.

$Y$  es obtenida por:

$$Tr = \frac{V_e \cdot T_w}{C}$$



ésta a su vez es:

$$Pr = \frac{1}{T r} \quad (\text{resistividad})$$

La variación de la resistividad ( $Pr$ ) en función de la porosidad se expresa de la siguiente forma:

$$Pr/Pw = \frac{1}{\phi^2}$$

Donde:

$Pw$  = Resistividad del fluido.

$\phi$  = Porosidad

GRAFICAMENTE:

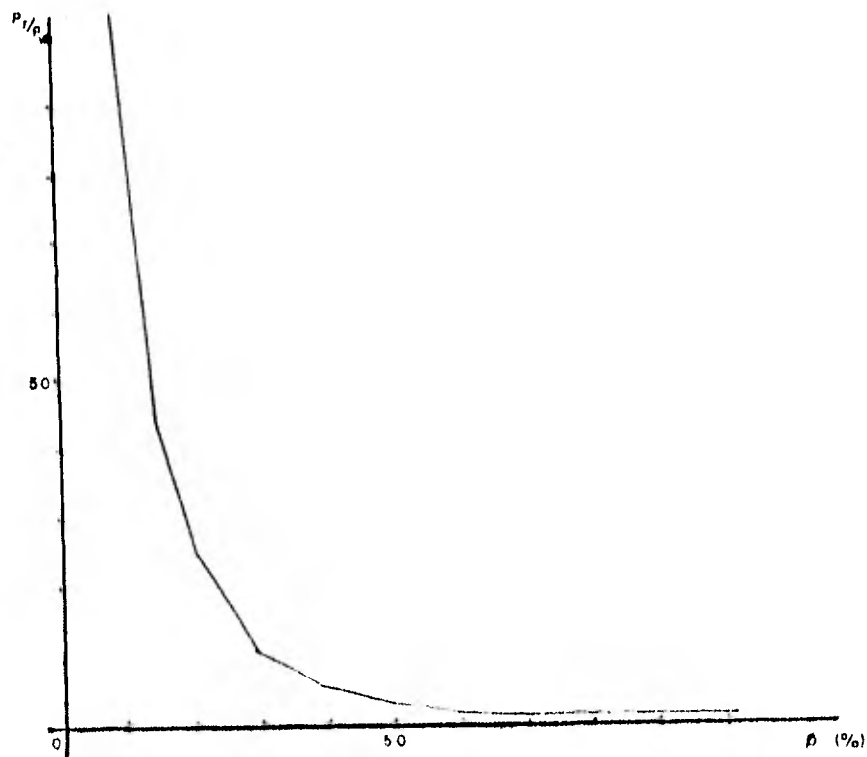


FIGURA 1

En el apéndice se muestran algunos valores de resistividad de rocas en función de la porosidad según la TABLA I.

a) REACCIONES DEL AGUA QUE RELLENA LOS POROS

La corriente fluye solamente a través del agua intersticial, la que es conductiva debido a su contenido de sales en solución. Estas sales se disocian en cationes, cargados positivamente ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , ...) y aniones, cargados negativamente - - ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ , ...). Bajo la influencia de un campo eléctrico, estos iones se mueven llevando una corriente a través de la solución. De la interacción del agua en el interior de los poros se puede encontrar dos fenómenos eléctricos conocidos como: La CONDUCCION SUPERFICIAL y la POLARIZACION DE MEMBRANA.

Conducción Superficial.- Fenómeno polar en una capa de agua producido entre los minerales cargados eléctricamente y que cubren las paredes internas de los poros en las rocas del subsuelo.

El efecto es disminuir la resistividad de los electrolitos poco conductores por su escasez o débil concentración y aumentar la resistividad de los más conductores.

Polarización de Membrana.- La arcillosidad contribuye también a la conductividad. La conducción de las arcillas difiere de la conducción electrolítica descrita anteriormente; donde está la conducción es un proceso de intercambio de iones por el cual éstos (usualmente los cargados positivamente), se mueven bajo la influencia de un campo eléctrico entre pun

tos de intercambios sobre la superficie de las partículas de arcilla. El efecto de la arcillosidad sobre la resistividad depende de la cantidad, tipo y distribución de la arcilla -- existente. Fenómenos que explican el conocido hecho de que, en sedimentos que contienen agua dulce, la resistividad aumenta en el orden Arcillas-Limos-Arenas-Gravas.

#### b) PARADOJA DE LOS SUELOS

Hecho presentado en suelos de climas secos no así en climas húmedos.

Normalmente se sabe que en afloramientos ó superficie - meteorizada por causa de su mayor porosidad, suele presentar una resistividad pequeña (figura 1). Pero debido a efectos de clima, esto tiende a apartarse de la normalidad, de donde sue los de climas secos presentan menor resistividad que suelos de climas húmedos, en contra de lo esperado debido al mayor contenido de agua en suelos de climas húmedos.

Este hecho se comprende a partir de la presencia de gran des evaporaciones de agua en climas secos, lo que ocasiona la depositación de iones en la superficie del suelo; mientras que en zonas húmedas, la intensa circulación del agua en la su-- perficie arrastra todos los posibles iones existentes.

### 1.2 FUNDAMENTOS CUANTITATIVOS

Ecuación básica del método.- Cuando una corriente conti nua fluye en un medio considerado como homogéneo e isótropo, se puede demostrar que su potencial se gobierna por la ecuación:

$$\nabla^2 U = 0$$

La ecuación de Laplace en un medio homogéneo se puede manejar convenientemente en un sistema de coordenadas esféricas, puesto que por simetría del problema, el potencial en un punto que se encuentra a una distancia "r" de la fuente, no dependerá de las variables angulares "θ" y "φ", es:

$$\nabla^2 U = 1/r^2 [ d/dr (r^2 dU/dr) ] = 0$$

Resolviendo esta ecuación se puede mostrar que:

$$U = -C. 1/r + C'$$

donde C y C' son constantes de integración que dependen de las condiciones límites y de frontera.

Aplicando las dos condiciones al problema para determinar las constante C y C';

1.-  $U=0$  cuando  $r \rightarrow \infty$  de aquí que:

$$C' = 0$$

2.- La corriente total que atraviesa una superficie -- semiesférica es:

$$I = 2\pi r^2 J = 2\pi r^2 \nabla_r dU/dr = -2\pi r C$$

esto es que:

$$C = - IP/2\pi$$

Sustituyendo ambos resultados en U tenemos que:

$$U = (IP/2\pi) 1/r$$

Arreglo general de electrodos sobre la superficie.

La distancia entre ambos es finita (figura 2).

El potencial debido  
a A en M es:

$$U_1 = -C_1/r_1; \text{ donde:}$$

$$C_1 = -IP/2\pi$$

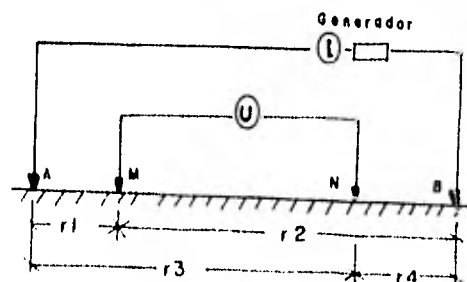


FIGURA 2

Similarmente el potencial debido a B en M es:

$$U_2 = -C_2/r_2; \text{ donde } C_2 = IP/2\pi$$

Esto implica que  $C_2 = -C_1$ ; de aquí que las dos corrientes son iguales y opuestas. De esto se tiene que:

$$U_1 + U_2 = IP/2\pi (1/r_1 - 1/r_2)$$

Finalmente, introduciendo un segundo potencial en N se puede medir una diferencia de potencial entre M y N que resulta:

$$\Delta U = IP/2\pi [(1/r_1 - 1/r_2) - (1/r_3 - 1/r_4)]$$

Despejando P:

$$P = 2\pi [(1/r_1 - 1/r_2) - (1/r_3 - 1/r_4)]^{-1} \Delta U / I$$

Donde:

$$K = 2\pi [(1/r_1 - 1/r_2) - (1/r_3 - 1/r_4)]^{-1}$$

Factor que depende del arreglo entre los electrodos de potencial y corriente. Finalmente se obtiene:

$$P = K \Delta U / I$$

Resistividad aparente.- El valor calculado para P anteriormente es para un subsuelo homogéneo e isótropo; pero debido a tan difícil planteamiento práctico se obtiene un valor ficticio de la resistividad (figura 3).

Es decir, si se efectúa una medición en superficie resultará una resistividad que en general no será igual a  $P_1$  ni  $P_2$ ; sino que dependerá de  $P_1, P_2, P_3$  y de la disposición de los electrodos en la superficie del terreno.

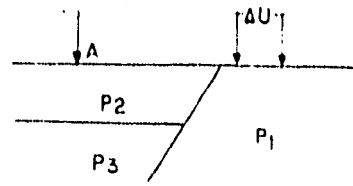


FIGURA 3

De ahí que en realidad será utilizada para calcular un valor aparente de la resistividad (figura 4).

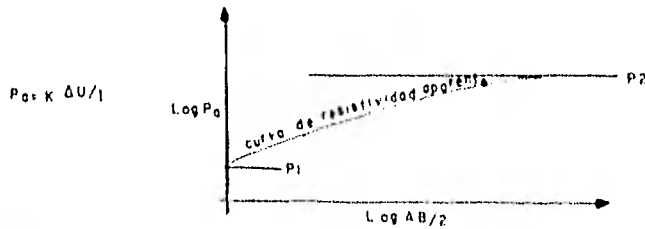


FIGURA 4

Dispositivos de electrodos.- La figura 5 muestra dos dispositivos de uso común, los cuales son los más usados en los Sondeos Eléctricos Verticales.

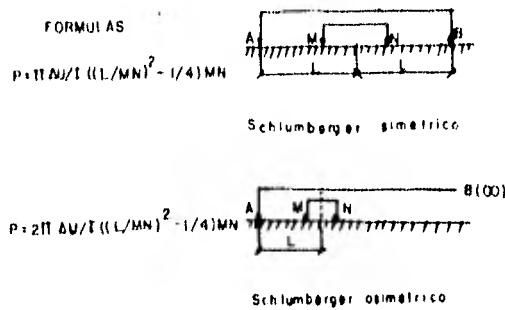


FIGURA 5

Se puede decir que para la modalidad simétrica, la distancia MN tiende a cero; pero en la práctica es suficiente que  $AB \gg 5MN$ . Las líneas equipotenciales son ortogonales a las líneas de corriente; donde además las líneas equipotenciales - esféricas muestran distorsión entre los electrodos A y B (figura 6).

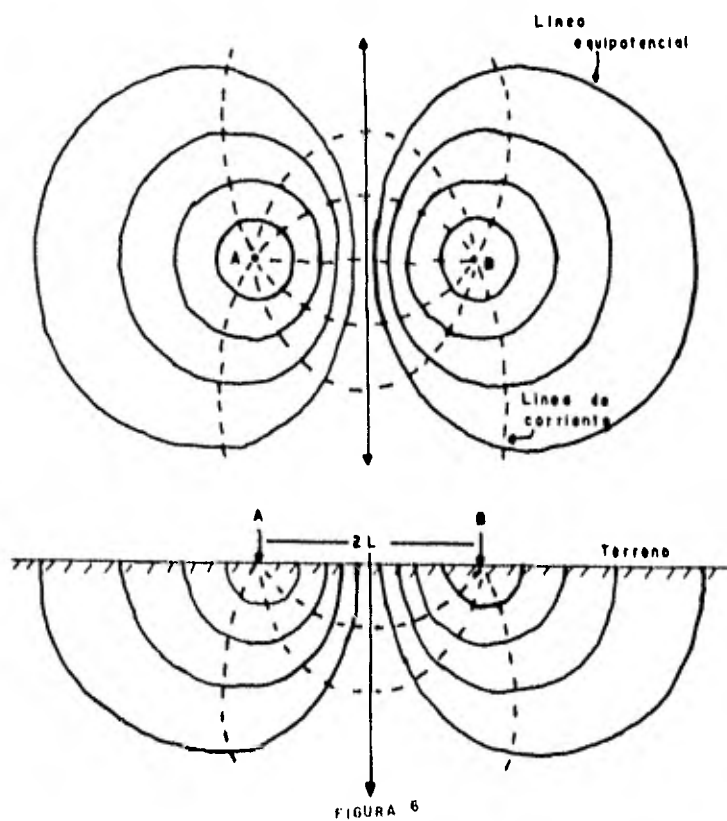


FIGURA 6

De la misma manera, el dispositivo Schlumberger asimétrico en el que un electrodo de corriente se encuentra lo bastante alejado del punto de atribución o punto cero, De aquí que el campo del otro electrodo toma la forma indicada en la figura 7.

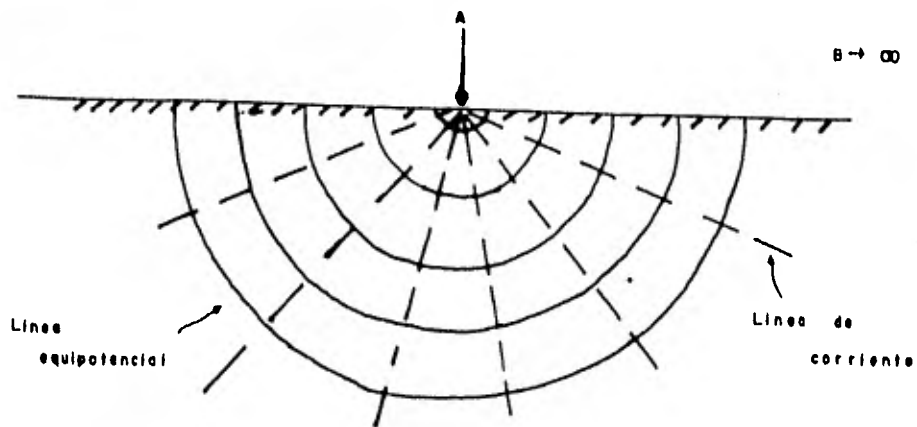
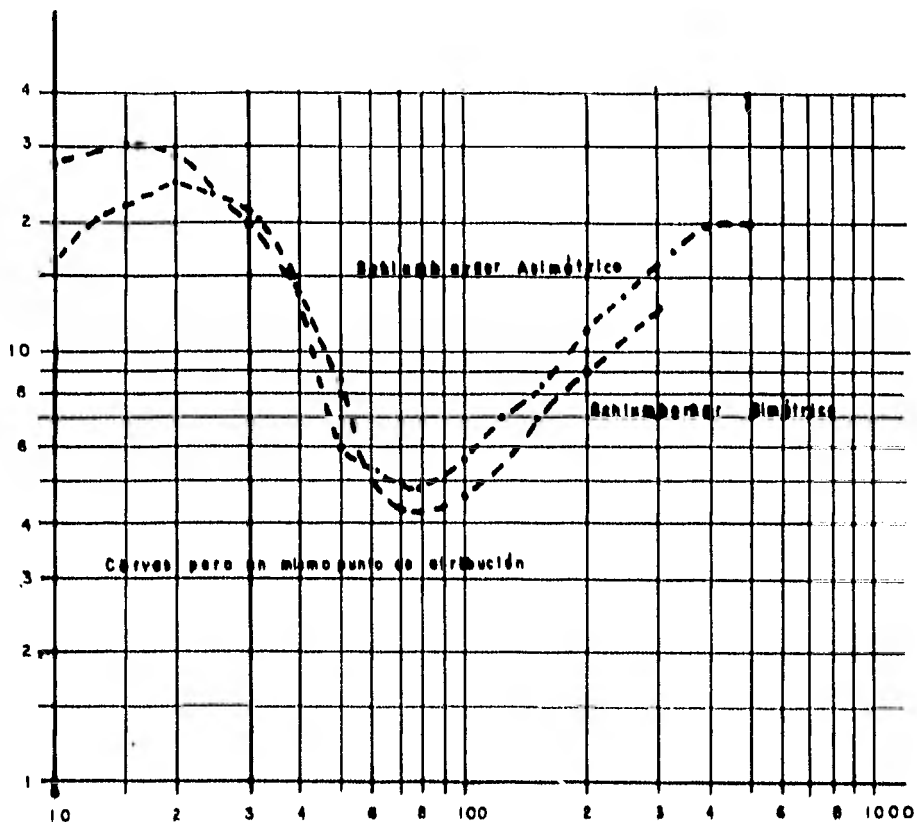


FIGURA 7

En la práctica la ubicación del electrodo en el "infinito". Se coloca sobre una mediatriz del segmento MN con una relación  $OB \geq 30A$  y B (electrodo en el infinito) permanece fijo sobre todas las mediciones como un punto a tierra.

A continuación se muestra un SEV para ambos dispositivos en un mismo punto de atribución.





### I.3 TEORIA DEL SONDEO ELECTRICO VERTICAL (SEV).

Anteriormente se expusieron los diferentes dispositivos de uso comun en la práctica en la obtención de valores de resistividad aparente a partir de la expresión del potencial de medios homogéneos isótropos; dando así su representación mediante una curva  $P_a = P_a (AB/2)$  en papel bilogarítmico.

La finalidad en dicho SEV es encontrar la distribución vertical en las resistividades del subsuelo bajo el punto de atribución, mediante una separación progresiva en los electrodos de corriente, manteniendo fijo durante el trabajo el punto de atribución (figura 8).



FIGURA 8

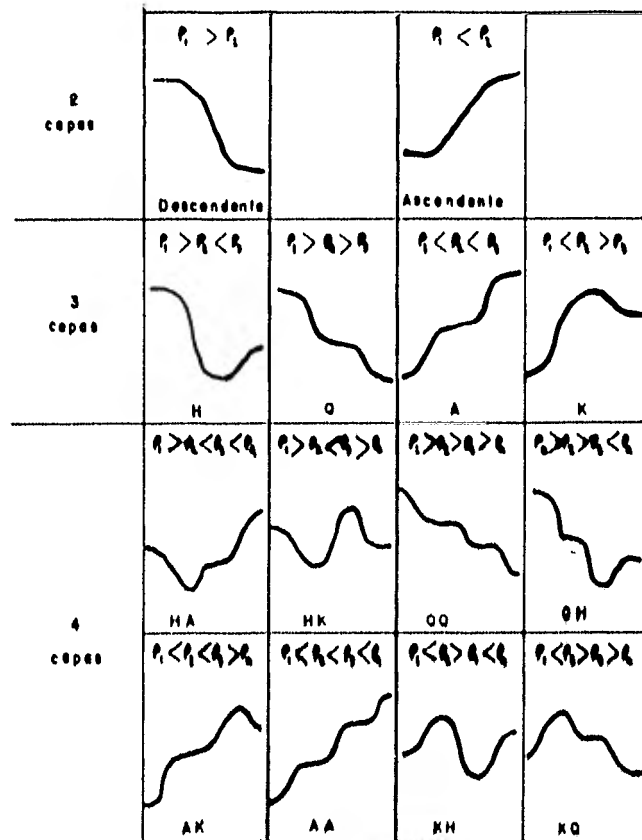
En superficie se coloca el dispositivo de medida, quedando el punto O fijo. Cuando la línea de emisión AB es

pequeña e inferior a E (Espesor) la corriente circula por la capa superior. Al aumentar progresivamente la longitud AB, se incrementa el volumen del terreno afectado y la profundidad de investigación varía.

Corte Geoelectrico.- Un corte geoelectrico queda definido según los valores de espesor y resistividad de las capas -- geoelectricas que la conforman, de tal manera que un corte con N capas geoelectricas requiere para su conocimiento N resistividades y N-1 espesores, debido a que la última capa se consi-

dera que tiene un espesor infinito. Así pues, los cortes son tanto más representativos, cuanto mayor es el espesor de las capas en relación a su profundidad. La detección de una capa delgada es difícil de definir.

Para el uso más cómodo en la clasificación de cortes -- geoeléctricos. Se empleará aquí el siguiente sistema de notación:



- Diagramas de curvas de sondeos eléctricos en función del número de capas geoeléctricas.

El método sólo es aplicable si las resistividades de las capas están completamente diferenciadas.

Problema inverso.- Para la cuantificación de los parámetros de un corte geoelectrico (resistividad, espesor) es necesario conocer previamente mediante curvas teóricas casos de varias capas, curvas patrón representadas en colecciones convenientemente ordenadas.

En teoría, basta obtener las curvas de resistividad aparente y la longitud de la línea de emisión, éstas dibujarlas en papel bilogarítmico transparente y superponerlas sobre las curvas patrón de las colecciones que se posean hasta encontrar la coincidencia. Los valores de la resistividad y espesores de las capas están definidos por las hipótesis de cálculo de la curva patrón coincidente.

Las colecciones de curva utilizadas en este trabajo son las correspondiente a Orellana y Money (1966). En el apéndice se incluye un programa para calculadoras de bolsillo programables (Texas-Instruments) que permite resolver el problema directo.

Limitaciones.- Las curvas patrón se han calculado en el supuesto caso de que:

- Las discontinuidades del subsuelo son horizontales y paralelas a la superficie del terreno.
- El medio es homogéneo e isótropo.
- No existen variaciones laterales de la resistividad.

- Han sido calculadas para corriente continua.

Parámetros de Dar Zarrouk.- Estos son considerados igualmente válidos que los parámetros de un corte geoelectrico debido a que son función de ambos (resistividad y espesor), pero ellos lo representan implícitamente en dos valores T y S (figura 9).

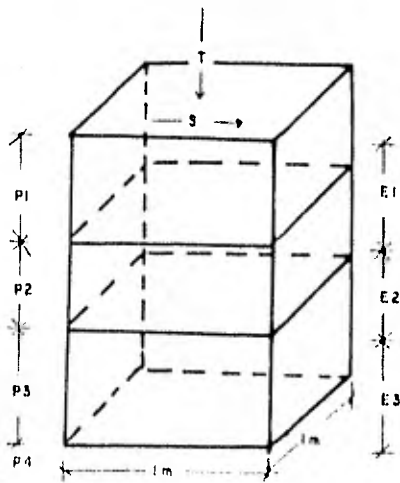


FIGURA 9

T recibe el nombre de "Resistencia Transversal Unitaria" y representa la resistencia de un prisma de sección unitaria, cuando la corriente fluye perpendicularmente a la estratificación.

S se denomina "Conductancia Longitudinal Unitaria" y representa la conductancia de un prisma de sección unitaria,

cuando la corriente fluye paralelamente a la estratificación.

Los parámetros de Dar Zarrouk son aditivos para cada corte geoelectrico. El valor de S o T para un corte de N capas -- puede calcularse por adición de los valores individuales:

$$T = \sum_{i=1}^{N-1} T_i = \sum_{i=1}^{N-1} E_i P_i \qquad S = \sum_{i=1}^{N-1} S_i = \sum_{i=1}^{N-1} E_i / P_i$$

Estos parámetros de Dar Zarrouk representan papel importante en el método de reducción de capas y en la aplicación Geohidrológica, Una aplicación aparece en el proyecto.

## CAPITULO II

### EXPLORACION GEOHIDROLOGICA

La prospección de aguas subterráneas se resumen en el conjunto de operaciones o trabajos que permiten la localización de acuíferos o embalses subterráneos de los que se puede obtener agua en cantidad y calidad adecuada para el fin que se pretenda.

Estos requieren previamente estudios preliminares o de reconocimiento que tienen como finalidad fundamental localizar los embalses subterráneos más importantes, y obtener una primera estimación de sus dimensiones, de la calidad de sus aguas así como de los parámetros hidrológicos de sus zonas de recarga y posteriores planteamientos de etapas de trabajo.

El ciclo hidrológico representa la circulación del agua en diversos estados, desde los océanos y mares a la atmósfera, de la atmósfera a la tierra, sobre la superficie, en el subsuelo y finalmente su retorno a los océanos y mares. De aquí se hace necesario que estos estudios de reconocimiento no se refieran sólo a las aguas subterráneas, sino a los recursos hidráulicos totales de la región con el objeto de conocer la mejor manera de extraerlos para los usos que se les asignen.

#### II.1 CONCEPTOS TEORICOS DE ACUIFEROS LIBRES Y COSTEROS

Por razones puramente hidrogeológicas se prefiere defi

nir a los acuíferos como zonas naturales situadas por debajo de la superficie del suelo, capaces de suministrar agua en cantidades suficientemente grandes como para ser explotables económicamente.

Al agua de un acuífero que se encuentra en contacto directo con la atmósfera a través de los espacios huecos de un terreno permeable se le denomina - acuífero libre, (figura 10).

Las variaciones del nivel freático corresponden a cambios en el espesor de la zona de saturación.

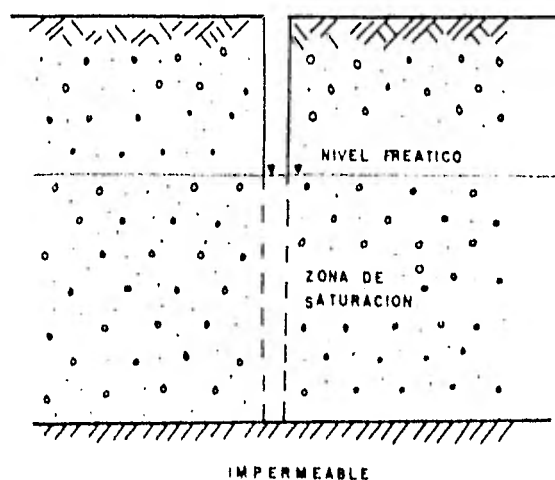


FIGURA 10

a) MODELO DE ACUIFERO LIBRE Y COSTERO.

Estos tipos de acuíferos, que por lo general, están constituidos por depósitos no consolidados (gravas, arenas, limos y arcillas), presentan en su límite inferior una formación impermeable generalmente compacta con pocos poros por lo que el agua no puede migrar a mayores profundidades a las que suele denominarse basamento impermeable. Por las mismas características naturales, es de gran interés en el estudio de estos tipos de acuíferos, la penetración que logra el mar tierra adentro (figura 11).

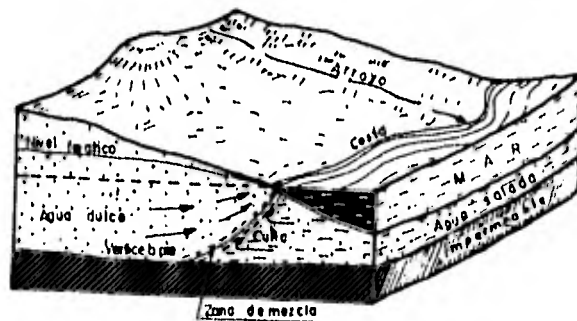


FIGURA II

La "intrusión salina" tal como se observa es una masa de agua salada con sección en forma de cuña apoyada sobre el basamento impermeable del acuífero y con el vértice hacia tierra adentro.

La intrusión de agua salada o marina es el movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando al agua dulce. El agua captada en un acuífero costero se contamina (saliniza) cuando la porción activa de la captación se ve afectada por la zona de mezcla de agua dulce y agua salada o por la propia agua salada. Esta zona de mezcla es -- producto de la miscibilidad entre las dos aguas (dulce y salada); es decir que no existe una interfase brusca, sino que se pasa de un fluido a otro a través de esta zona de mezcla. --  
 - Esta zona dentro de la cual el agua se mueve no sólo como -- consecuencia de las diferentes de densidad, sino también a -- consecuencia de cambios de niveles piezométricos en ambos -- fluidos.

b) RELACION AGUA DULCE Y CUÑA SALINA.

Ghyben y Herzberg (1901), basados en el equilibrio está-



tico de columnas de aguas de diferentes densidades, sitúan una interfase bajo el nivel del mar con una profundidad de:

$$Z = \frac{D_d}{D_s - D_d} h_d \quad D_s > D_d$$

Siendo:  $Z$ = Profundidad de la interfase por debajo del nivel del mar.

$h_d$ = Altura del nivel freático sobre el nivel del mar.

$D_s$  y  $D_d$ : Densidades del agua salada y agua dulce respectivamente.

La ecuación anterior supone una situación de equilibrio entre el agua dulce y el agua salada, es decir, no hay flujo en ningún sentido y una interfase plana o alabeada (figura 12).

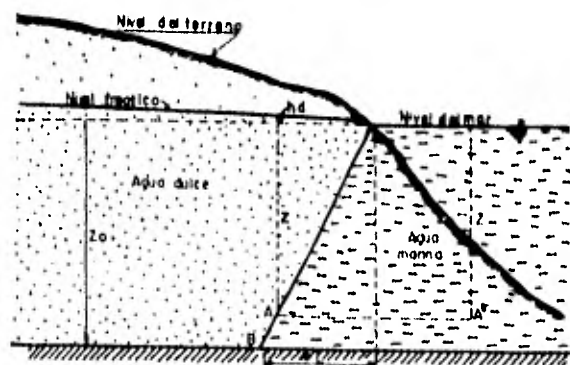


FIGURA 12

Cuando exista flujo de agua dulce hacia el mar, la velocidad del agua dulce en la cuña salina presenta componentes verticales. (figura 13). Obsérvese que los puntos B y A' no están situados en una línea vertical.

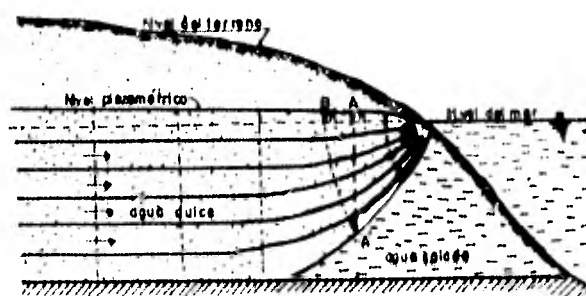


FIGURA 13

De aquí que Hubbert (1940) corrige la anterior hipótesis de Ghyben y Herzberg suponiendo que el espesor de la zona de mezcla es muy corta, por lo que no se comete el error al suponerlo nulo (figura 14).

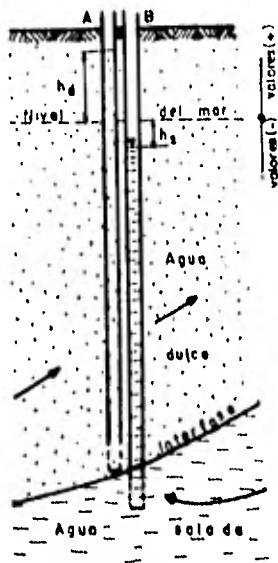


FIGURA 14

Se colocan dos piezómetros, uno abierto en el agua dulce justo por encima de la cuña, observándose un nivel de agua dulce ( $h_d$ ) y otro en el agua salada ( $h_s$ ) cuyo nivel es generalmente negativo, respecto al nivel del mar.

Esto es:

$$z = \frac{D_d}{D_s - D_d} h_d - \frac{D_s}{D_s - D_d} h_s$$

Donde, el primer término corresponde al resultado encontrado por Ghyben y Herzberg. Ahora como ( $h_s$ ) generalmente es negativo la forma de Hubbert señalará mayor profundida como consecuencia de la curvatura de su red de flujo, dando una menor intrusión de ella.

La contaminación por salinización puede efectuarse también por superficie del terreno como resultado de una alta marea; en este trabajo nos es de mayor interés la contaminación por presencia de cuña salina como producto de un abatimiento de los niveles piezométricos en la sobre-explotación de pozos, que la contaminación superficial.

Se puede decir que la relación del flujo de agua dulce y cuña salina es perturbada en su equilibrio dinámico cuando se abaten los niveles piezométricos del acuífero, dando como consecuencia un avance de la cuña salina.

Tal situación una vez localizada, puede ser cuantificada en su avance por el método de Hubbert. Sin embargo esto se dificulta debido a que el fenómeno tratado ocurre a profundidad y no está a simple vista. En este trabajo se expone la utilización de técnicas apropiadas para la localización de la cuña en el subsuelo.

## II.2 ESTUDIOS GEOLOGICOS

Se basan esencialmente en cartografía geológica de superficie, que a su vez consiste en registrar en planta la naturaleza litológica o estratigráfica y las características estructurales de los afloramientos de las rocas.

La interpretación de las anteriores cartas con fines hidrogeológicos se apoya fundamentalmente en la identificación de unidades permeables e impermeables para inferir las mejores zonas naturales de recarga.

En lo que respecta al presente estudio, las formaciones geológicas acuíferas corresponden a materiales no consolidados cuyo origen se debe a procesos de intemperismo, erosión de rocas preexistentes y acarreo como depósito, generalmente aluvial. A continuación se muestra una tabla sobre la clasificación de las rocas sedimentarias no consolidadas en relación con su permeabilidad.

		PERMEABILIDAD (m/día)										
		10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>
CLASIFICACION GEOLOGICA	GRAVAS LIMPIAS	GRAVAS Y ARENAS GRUESAS	ARENAS FINAS Y MEDIANAS	LIMOSO O ARCILLAS ARENOSAS	ARCILLAS COMPACTAS							
CLASIFICACION HIDROGEOLOGICA	BUEN ACUIFERO	ACUIFERO POBRE	ACUITANDOS	PRACTICAMENTE IMPERMEABLE								

### II.3 ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS

Se basan esencialmente en el estudio de los parámetros hidrogeológicos de una cuenca medidos en el terreno, y en el estudio del comportamiento y características del acuífero en una red de pozos. Se puede decir que los estudios hidrogeológicos hacen uso de:

Estudios climatológicos.- Concretamente se refieren al estudio de la precipitación y de los parámetros que afectan a la evapotranspiración de las zonas de interés. Estos datos son recopilados de la información proporcionada por las estaciones climatológicas correspondientes a dicha zona de estudio.

Inventario de aprovechamientos.- Resulta de gran importancia en la localidad de estudio, debido a que la recopilación de datos de los aprovechamientos existentes dan idea de la explotación del acuífero, además, resulta de interés saber el uso que se le está dando (potable, agrícola, industrial) para preponderar las prioridades del estudio, así como también conocer las profundidades, los gastos, para definir el tipo de aprovechamiento (noria, pozo o manantial) y cuantificar la extracción llevada a cabo en la capa acuífera para establecer el volumen de explotación.

Estudios Geoquímicos.- En los fines de estos estudios la calidad del agua es el factor más importante. Por ello desde el comienzo de los trabajos debe programarse adecuadamente la toma y análisis sistemático de muestras de aguas. Dicho --

muestreo resulta ser aún más importante cuando se trata de acuíferos costeros y en zonas de posible contaminación marina, aumentando la frecuencia de muestreo en las proximidades del agua salada.

Estudios Piezométricos.- Parten de la medición del nivel piezométrico de cada pozo, así como de su evolución en el tiempo, lo cual permite determinar con exactitud las direcciones del flujo subterráneo, siendo los flujos de gran valor en los acuíferos costeros.

Este método permite determinar directamente y en forma cualitativa las zonas naturales de descarga.

#### II.4 ESTUDIOS GEOFISICOS

En el estudio hidrogeológico detallado sobre el subsuelo se recurre a las prospecciones Geofísicas, siendo el método eléctrico de resistividades el más apropiado; pero para complementación de información se recurre a otros métodos que ayudan a conocer indirectamente otros parámetros físicos de la roca que dan a conocer cuantitativamente las propiedades del embalse. Entre éstos se tiene presente en el estudio, el Sismológico de Refracción y el Gravimétrico:

Método Sismológico de Refracción.- Este método de estudio investiga la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo cuando se produce una liberación de energía repentina con una fuente artificial. Donde dicha propagación se sintetiza en tiempos de recorridos de frentes de ondas refractadas. El método es importante en los estudios de poca profundidad.

De esto se puede concluir que el objetivo del método es calcular la velocidad de propagación de las ondas en el subsuelo en el tiempo de recorrido, entre el momento de una explosión que marca la salida de la señal y las llegadas de las primeras ondas al lugar de los geófonos situados en distancias progresivas.

En términos generales, el tiempo de recorrido es función de los parámetros elásticos de las rocas. De aquí que la velocidad de propagación aumenta con la densidad de las rocas, y

por lo tanto con la profundidad, debido a la mayor compactación.

Así, cada unidad se caracteriza por una velocidad de propagación propia.

Los tiempos denominados "primeras llegadas" son interpretados en gráficas de distancia-tiempo (dromocrónicas) para el cálculo de velocidades y profundidades.

Aplicación a acuíferos libres y costeros.- Debido a la naturaleza del presente acuífero es de mayor interés, el estudio superficial del subsuelo de aquí la importancia de la -- prospección sísmica de refracción. Este estudio permite determinar cuantitativamente la distribución de las capas en el subsuelo mediante las dromocrónicas; la velocidad de la capa está ligada a su módulo de Poisson y el módulo elástico de Young.

En la siguiente tabla se muestran las velocidades típicas de ondas longitudinales en m/s.

T A B L A

Aluvi6n	250-400
Limos y arenas	300-500
Arenas y gravas poco compactas	400-900
Arenas y gravas con alta compacidad	1400-1800
Aguas	1400-1600
Granito	4600-5800



Método Gravimétrico.- Este método investiga el comportamiento del campo gravitacional terrestre en la zona de interés mediante la adquisición de datos de gravedad relativa en las estaciones del área de estudio.

Dicho campo se encuentra relacionado con la distribución de densidades en las masas del subsuelo, así como a efectos - externos que perturban el campo existente. De aquí que los valores obtenidos por observaciones de campo sobre estaciones - ubicadas en una zona de estudio tiene que ser procesadas para llegar a producir información anómala denominada Anomalía de Bouguer. En base a lo anterior, dicha anomalía se expresa - así:

$$\begin{array}{l} \text{ANOMALIA DE} \\ \text{BOUGUER} \end{array} = \begin{array}{l} \text{GRAVEDAD OBSERVADA + CORRECCION AL AIRE} \\ \text{LIBRE- CORRECCION DE BOUGUER + CORREC-} \\ \text{CION TOPOGRAFICA- GRAVEDAD TEORICA.} \end{array}$$

Esta anomalía indica que la densidad real por encima o debajo del nivel de referencia es distinta de la que se ha supuesto (densidad representativa del área y que se emplea para hacer la corrección de Bouguer).

Este valor de Anomalía de Bouguer se procesa y con ello separado el efecto de interés, que dará información del subsuelo cuando se analiza con las técnicas apropiadas.

Aplicación a acuíferos libres y costeros.- Debido a la naturaleza de los acuíferos citados, es de mayor interés el comportamiento superficial del subsuelo. Por tal motivo hay que separar los efectos creados por cuerpos a grandes profundidades de los que se crean superficialmente, ya que ambos -

efectos se encuentran sumados en la Anomalía de Bouguer.

Afirmada la importancia de los efectos superficiales que son producidos por estructuras locales, se estudia la Anomalía Residual que es el resultado de la diferencia de la Anomalía de Bouguer menos una Anomalía de tipo regional, esto:

$$\text{ANOMALIA RESIDUAL} = \text{ANOMALIA DE BOUGUER} - \text{ANOMALIA REGIONAL}$$

En tal Anomalía Residual su comportamiento se analiza mediante los efectos de un alto y un bajo de sus valores en cuyos casos la combinación de ambos informa cualitativamente sobre la geometría del subsuelo.

## CAPITULO III

### PROYECTO MANZANILLO

En el presente estudio se establecen las condiciones Geológicas y Geohidrológicas imperantes para que, por medio de aplicación de Métodos Geofísicos se pueda definir la profundidad del nivel freático, el espesor del acuífero, así -- como localizar las posibles zonas contaminadas por aguas saladas.

Situación Geográfica, Area y Límites.- El área de estudio que es el valle de el Colomo, queda enmarcada entre los paralelos  $19^{\circ} 08'$  y  $19^{\circ} 05'$  de latitud norte y entre los meridianos  $104^{\circ} 08'$  y  $104^{\circ} 17'$  de longitud oeste. Se encuentra -- ubicada políticamente en su totalidad dentro del estado de -- Colima, y el área de la cuenca del valle se estima en  $177 \text{ Km.}^2$ .

Vías de Comunicación.- El área de estudio se encuentra comunicada entre las ciudades de Colima y Manzanillo por la carretera federal No. 200, existen además, carretera estatales, terracerías y brechas, estas últimas, transitables durante todo el año. Cuenta con servicio de ferrocarril en el puerto de Manzanillo y servicio aéreo en el aeropuerto "Playa de -- Oro" (aprox. 40 Km.) que presta servicio a vuelos nacionales e internacionales, así como servicios particulares.

### III.1 ESTUDIO GEOLOGICO

Fisiográficamente el área está ubicada en la porción - noroeste de la provincia fisiográfica de la sierra Madre del Sur; queda limitada hacia el Oeste por el Oceano Pacífico, - hacia el Norte por el Eje Neovolcánico, así como por las entrantes sedimentarias correspondientes a la cuenca Morelos-Guerrero y a la cuenca de Tlaxiaco, al Sureste limita con la sierra de Juárez y hacia el Oriente con la provincia del Sureste de México.

El área de estudio presenta las siguientes unidades -- geomorfológicas bien definidas:

Una cadena montañosa que enmarca la cuenca de el Colomo y que está compuesta por la superposición de rocas graníticas, andesíticas y calcáreas. Este conjunto de rocas da lugar a - una cadena montañosa de forma curvilínea con bordes irregulares bisectados por el drenaje y por el arroyo de las Adjuntas. Además, una segunda unidad geomorfológica corresponde a la - planicie aluvial con pendiente muy suave, su elevación es de 1 a 8 metros con respecto al nivel del mar. La planicie se - encuentra limitada por la cadena montañosa que presenta una ramificación hacia el Noroeste y por la Laguna de Cuyutlán hacia el Sureste.

La geología estructural de la cuenca de el Colomo quedaría representada mediante la siguiente sección prototipo, enmarcada en la figura 15, en donde se observa que la roca



ESCALA HOR. 1:100000  
 ESCALA VER. 1:100000

TESIS PROFESIONAL  
 DECCION GEOLOGICA  
 JOSE LUIS MEZA T  
**FAC. INGENAM**

cristalina granítica quedaría como la forma del basamento local del acuífero libre en el valle (planicie aluvial).

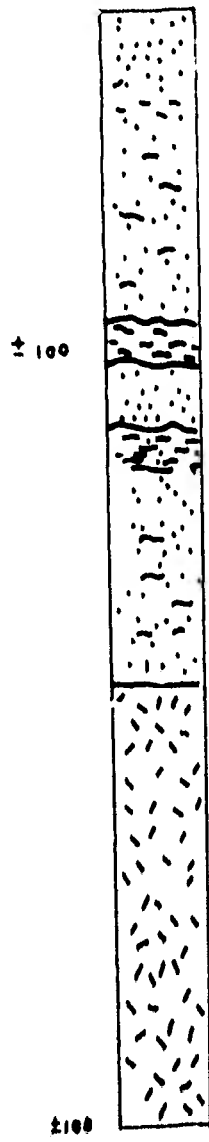
Con base en las perforaciones realizadas en el valle de el Colomo (figura 16), se señala la columna litológica - tipo que muestra los diferentes materiales que se han cortado con espesor aproximado de 100 m., de sedimentos aluviales que sobreyacen en la roca granítica.

Unidades Hidrogeológicas.- El marco hidrogeológico en el cual se lleva a cabo la infiltración, flujo y almacenamiento del agua subterránea, queda enmarcado dentro de las siguientes unidades hidrogeológicas (figura 17).

Unidades impermeables.- Unidades constituidas por rocas de tipo granítico. No obstante el carácter impermeable del granito, por su fracturamiento e intemperismo somero se presenta como transmisor por lo que los escurrimientos provenientes de la cadena montañosa llegan al aluvión incluso como flujo subterráneo. Por su naturaleza impermeable no permite que el agua almacenada en los rellenos de la cuenca sea infiltrada hacia las formaciones de mayor profundidad.

Otra unidad de menor importancia que presenta baja permeabilidad, la constituyen los sedimentos limo-arcillosos del medio palustre localizado en la parte frontal del sureste de la planicie. Por su naturaleza granulométrica puede constituir localmente una barrera impermeable.

Unidades de media permeabilidad.- Dentro de esta un-

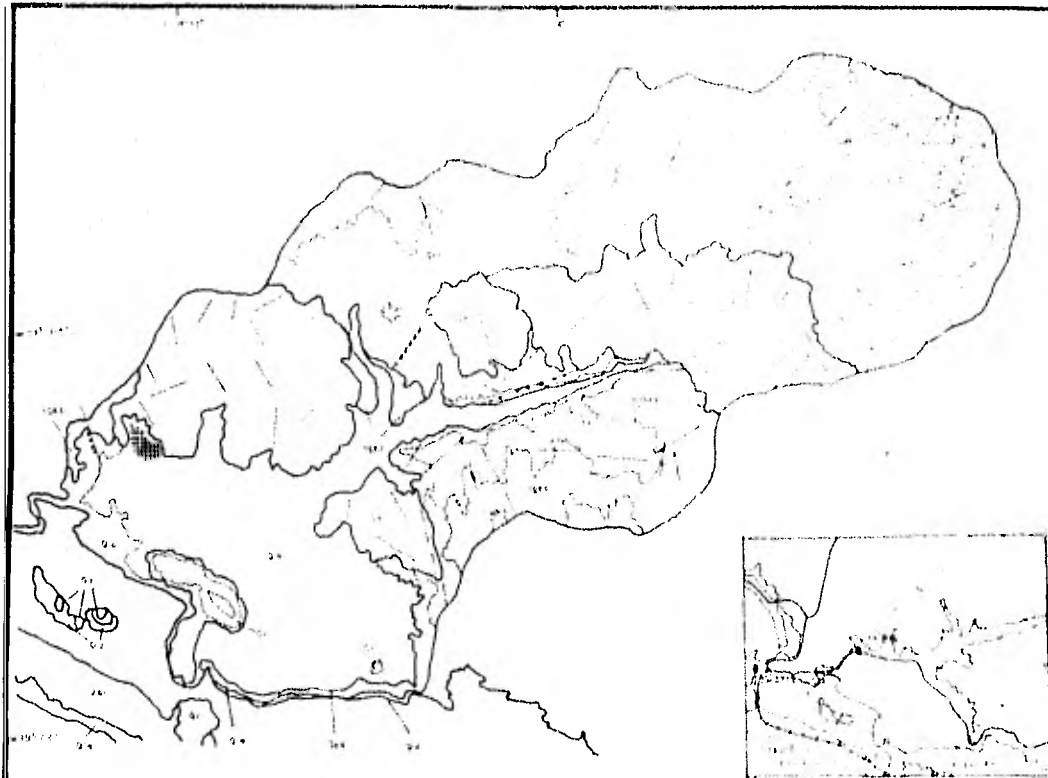


ALUVION COMPUESTO PRINCIPALMENTE POR ARENAS  
 DE CUARZO DE GRANO GROSSO Y GRAVILLA CON PEQUEÑAS  
 INTERCALACIONES DE LIMOS Y ARCILLAS

ROCA GRANITICA SANA SIN  
 PISO DEFINIDO

FIGURA 16

TESIS PROFESIONAL  
 COLUMNA LITOLÓGICA  
 TIPO  
 JOSE LUIS MEZA T  
 FAC. INGENAM



**LEYENDA**

1. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

2. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

3. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

4. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

5. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

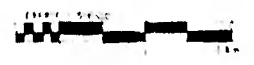
6. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

7. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

8. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

9. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.

10. Línea de contorno: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000.



**TESIS PROFESIONAL**  
**UNIDADES**  
**HIDROBIOLOGICAS**  
 JOSÉ LUIS MEZA Y  
**FAC. INGENIARIA**



dad quedan comprendidos los sedimentos de arenas limo-arcillosas que se encuentran bordeando la porción oeste del área estudiada. Su distribución es relativamente pequeña y dado su espesor y granulometría hidrogeológicamente, se constituyen como una zona de recarga.

De igual manera, el material aluvial por su heterogeneidad, contiene cantidades variables de material fino que hace que la permeabilidad se reduzca.

Unidades permeables.- En este grupo están incluidas las andesitas ampliamente distribuidas al Este y Oeste del área en estudio. Por su alto grado de fracturamientos, permite la recarga a lo largo de sus escurrimientos que son - infiltrados hacia el acuífero granular.

Las calizas al igual que las andesitas, por su alto grado de fracturamiento, funcionan como área de recarga. El agua infiltrada en esta unidad descarga directamente hacia el aluvión al ponerse en contacto con la roca granítica impermeable que le subyace.

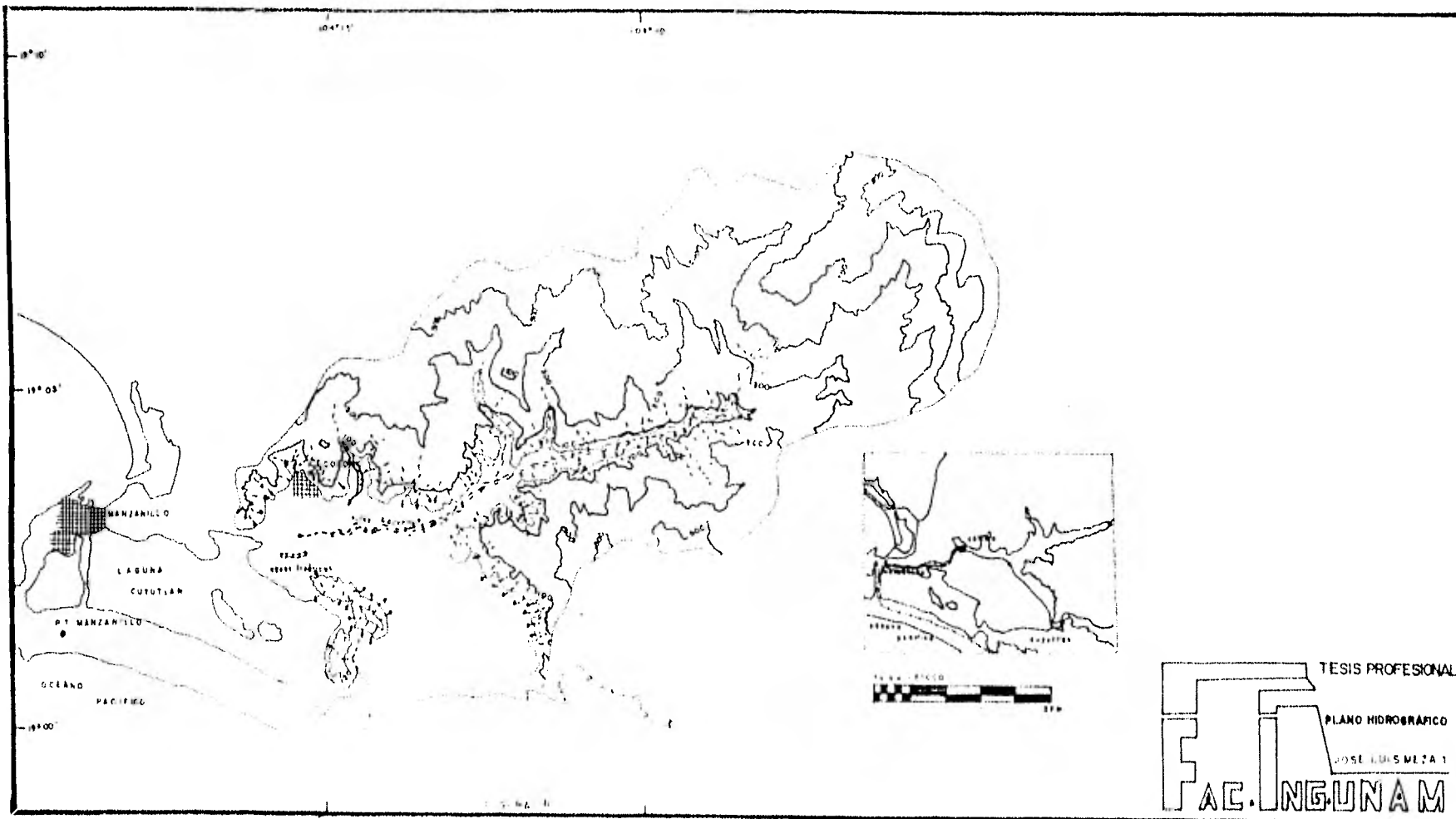
### III.2 PROSPECCION GEOHIDROLOGICA

El área de estudio se ubica en la cuenca hidrográfica - del arroyo de las Adjuntas, la cual es de forma alargada y se orienta de Noroeste a Suroeste (figura 18).

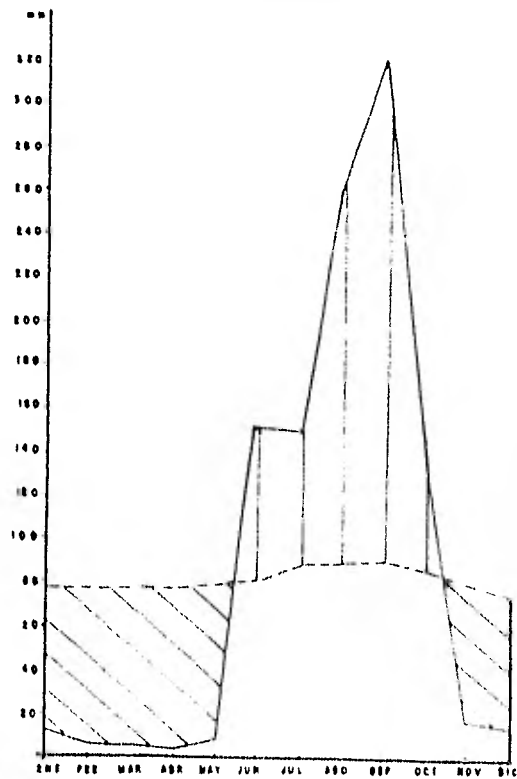
La corriente de mayor importancia en la zona lo constituye el arroyo de las Adjuntas, el cual se clasifica como una corriente intermitente, de origen pluvial; existen además, escurrimientos de menor importancia, intermitentes y - efímeros. Se observa que el caudal de los arroyos desaparece al llegar a la planicie aluvial, debido a su infiltración en ella misma.

Balance Hídrico.- De los valores de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial, registrados en el - Observatorio Meteorológico de Manzanillo, Col., durante un - período de 39 años (1941-1979), el Departamento de Geohidrología de la Comisión Federal de Electricidad procesó dicha información y obtuvo la evapotranspiración real que predomina en dicha zona, la cual se muestra en el apéndice correspondiente a la Tabla II, su distribución gráfica se presenta en la figura 19.

En la misma figura se observa que en los meses de noviembre a mayo se hace gran uso del agua subterránea. Se crea así un déficit, debido a que la evapotranspiración real resultó - mayor que la precipitación; en cambio, durante el período que comprende los meses de junio a octubre, se registró un exceden



TESIS PROFESIONAL  
 PLANO HIDROGRAFICO  
 JOSE LUIS MELTA 1  
**FAC. INGENAM**



— PRECIPITACION  
 - - - EVAPOTRANSPIRACION  
 [diagonal hatching] UTILIZACION DE LA RESERVA DE AGUA  
 [horizontal hatching] RESERVA DE AGUA

FIGURA 9

TESIS PROFESIONAL  
 BALANCE HIDRICO  
 JOSE LUIS MEZAT  
 FAC. INGENIARIA

te equivalente a una escorrentía+infiltración. La diferencia de precipitación y evapotranspiración real lleva a definir una pseudoprecipitación, cuyo total anual permite inferir una lámina de infiltración por las condiciones imperantes de infiltraciones en la planicie.

De esto se hace una estimación Hidrometeorológica que lleva a conocer la recarga promedio anual, y se define como el producto de la lámina de infiltración por el área total de recarga:

$$95.42 \text{ mm/anuales} \times 17,700,000 \text{ mm}^2 = 16,889,340 \text{ m}^3/\text{anuales}$$

### III.3 HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Del censo de aprovechamientos realizados en el valle el Colomo se obtuvo el registro de 131 aprovechamientos, de los cuales 100 son pozos y 31 fueron clasificados como norrias. El tipo y uso de aprovechamiento se muestra en la siguiente tabla.

USOS DE AGUA SUBTERRANEA

USO	POTABLE	AGRICOLA	INDUSTRIAL	TOTAL
TIPO DE APROVECHAMIENTO				
POZOS	7	91	2	100
NORIAS	11	20	—	31
TOTAL	18	111	2	131

La ubicación de los aprovechamientos mencionados en la tabla se muestra en la figura 20.

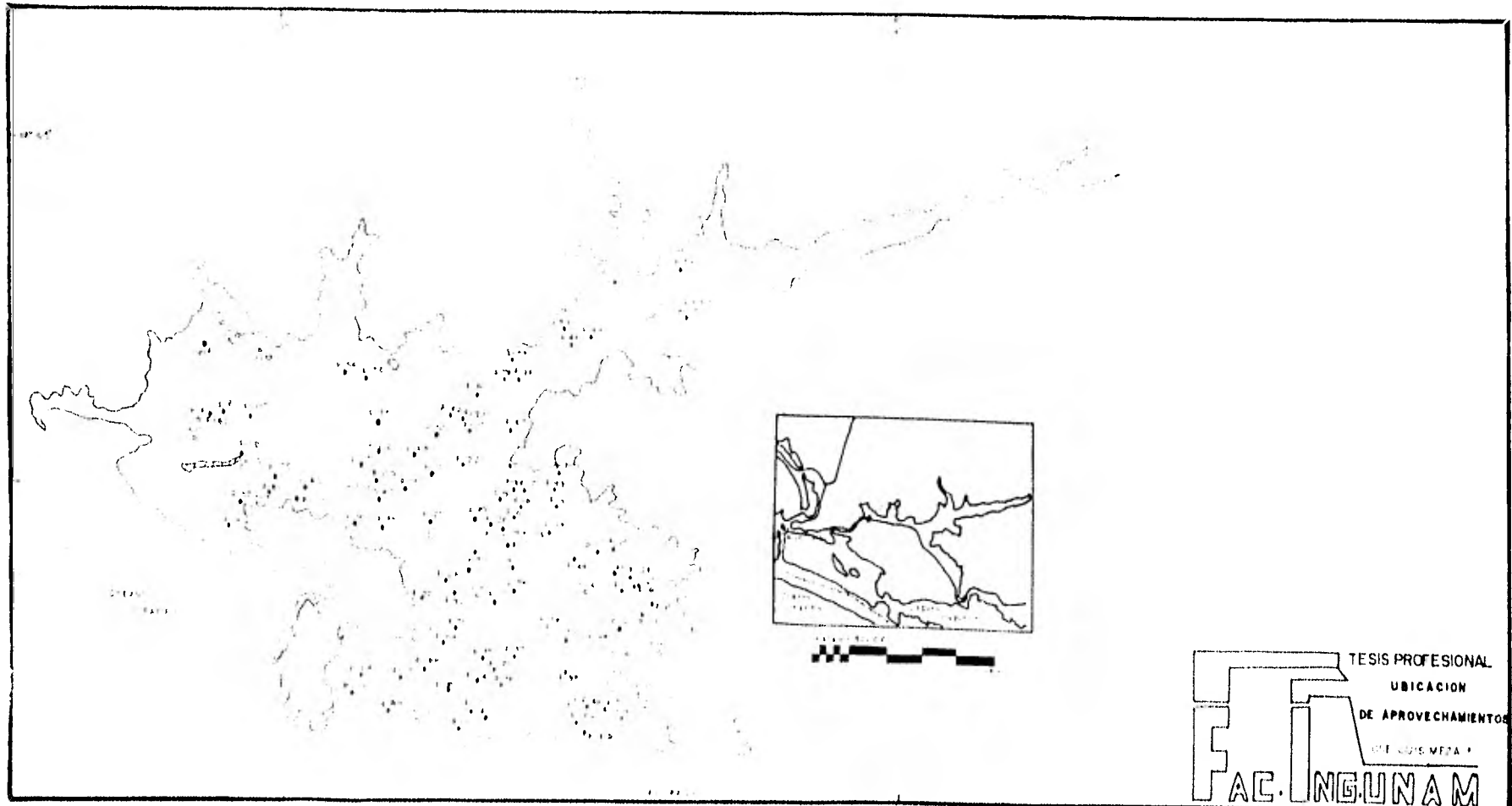
De acuerdo a los datos hidrométricos obtenidos durante el censo, se estima que existe una extracción aproximada de - 14,600,000 m<sup>3</sup>/anuales provenientes de los aprovechamientos -- existentes.

El rendimiento medio de los pozos fluctúa entre 30 LPS y 60 LPS encontrándose pozos con caudales máximos de 75 LPS. y mínimos de 20 LPS. Las profundidades alcanzadas en las per-

foraciones existentes son de 35 m., a 75 m., y la máxima es en pozo P-87 con 102 m. Los diámetros de perforación varían de 14" a 20" y los de descarga de 6" a 10". De las norias generalmente se extraen caudales de 1 a 10 LPS y alcanza profundidades del orden de los 10 m.

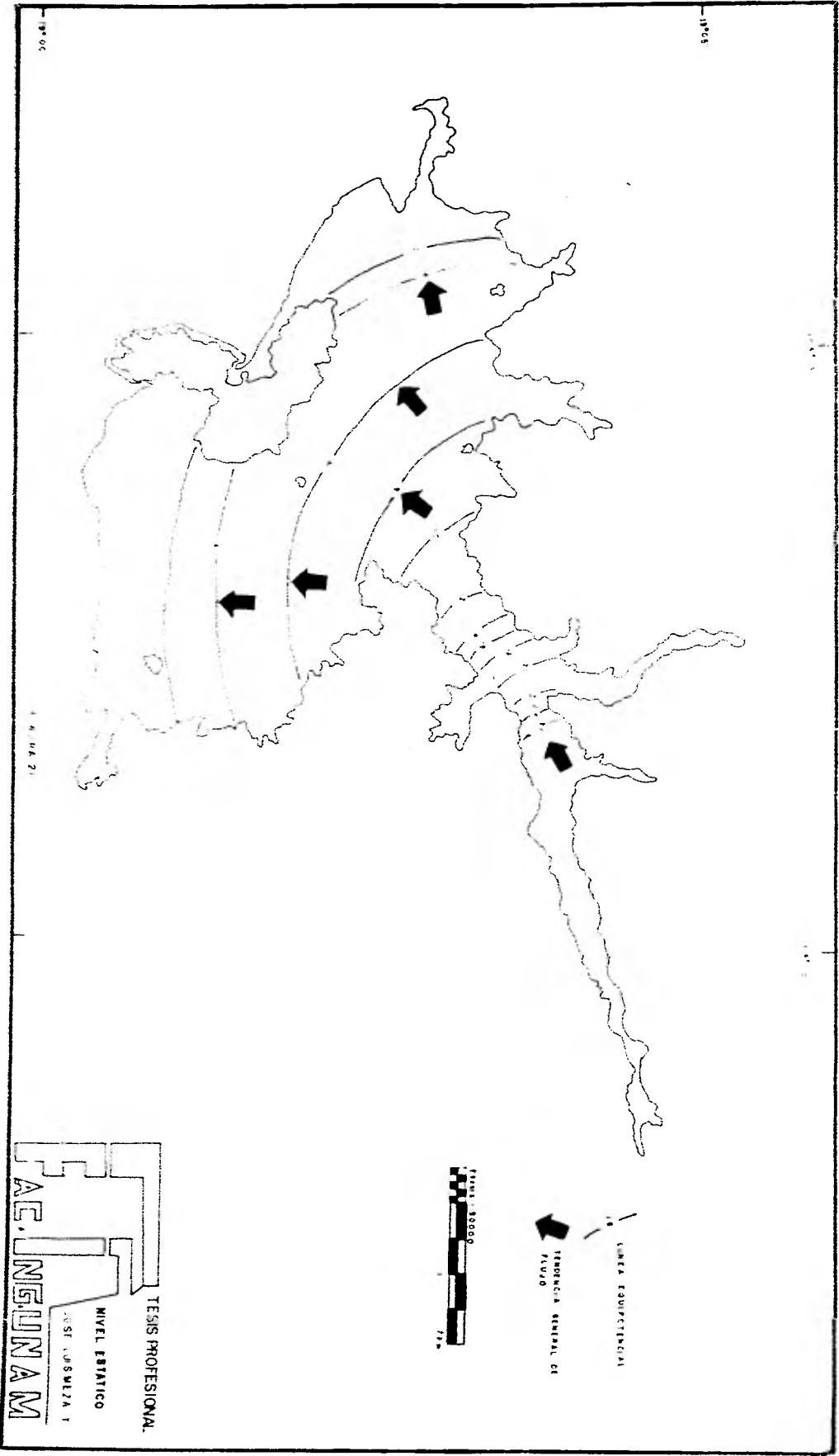
Piezometría.- Al ocurrir la precipitación del arroyo, las Adjuntas recibe los escurrimientos de las partes altas del valle el Colomo, los cuales al llegar a la planicie se infiltran en el aluvión debido a sus características de permeabilidad y constituyen junto con la precipitación, las principales fuentes de recarga al acuífero. En la siguiente configuración se señala la elevación del nivel estático o nivel freático (figura 21).

La elevación a partir de su representación en planta en puntos de igual altura piezométrica o isopiezas, señala dos posibles flujos preferenciales subterráneos.



TESIS PROFESIONAL  
UBICACION  
DE APROVECHAMIENTOS  
DEL AGUAS  
FAC. INGENIARIA





**FE**  
**FAE. INGENIARIA**  
 TESIS PROFESIONAL  
 NIVEL ESTADICO  
 ASIST. OBSERV. 1

## CAPITULO IV

### APLICACION DE LOS METODOS GEOFISICOS

Estos resultados revisten alto grado de importancia debido al refinamiento de los estudios preliminares hidrogeológicos por un bajo costo.

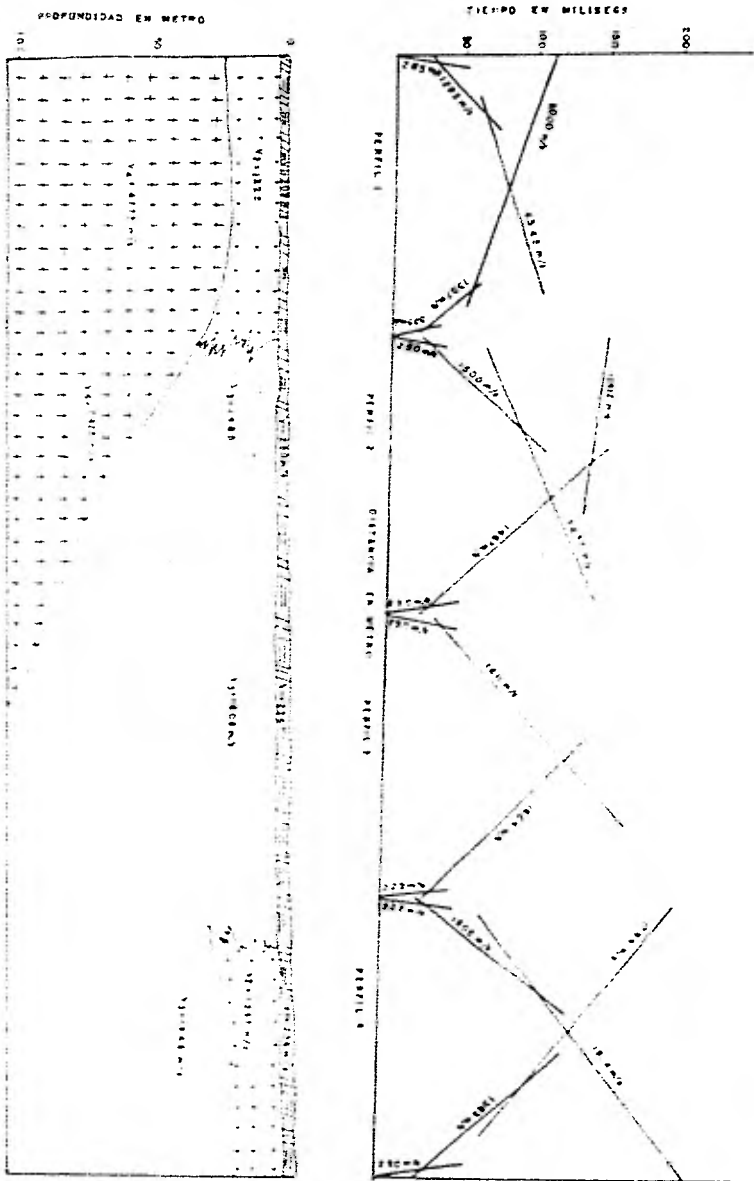
#### IV.1 SISMICA DE REFRACCION

En la presente investigación hidrogeológica, con la aplicación geofísica en sísmica de refracción, conlleva a plantear una primera imagen detallada del embalse subterráneo.

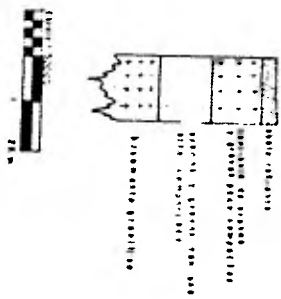
Cada perfil sísmico tiene una longitud aproximada de 305 m. y se orienta de la siguiente forma :

El perfil No. 1 de rumbo N 69° W; los perfiles No. 2 y 3 de orientación N 78° E; y finalmente, el perfil sísmico No. 4 orientado de E-W. En la figura 22 se encuentran dichos perfiles integrados en una sección sismológica.

Esta sección señala en términos de velocidades sísmicas cuatro unidades fundamentales que se localizan en la cuenca hidrográfica del Colomo, donde para los fines deseados, se ha tomado como unidad de referencia una unidad de alta velocidad correspondiente al basamento granítico definido por la geología.



LEYENDA

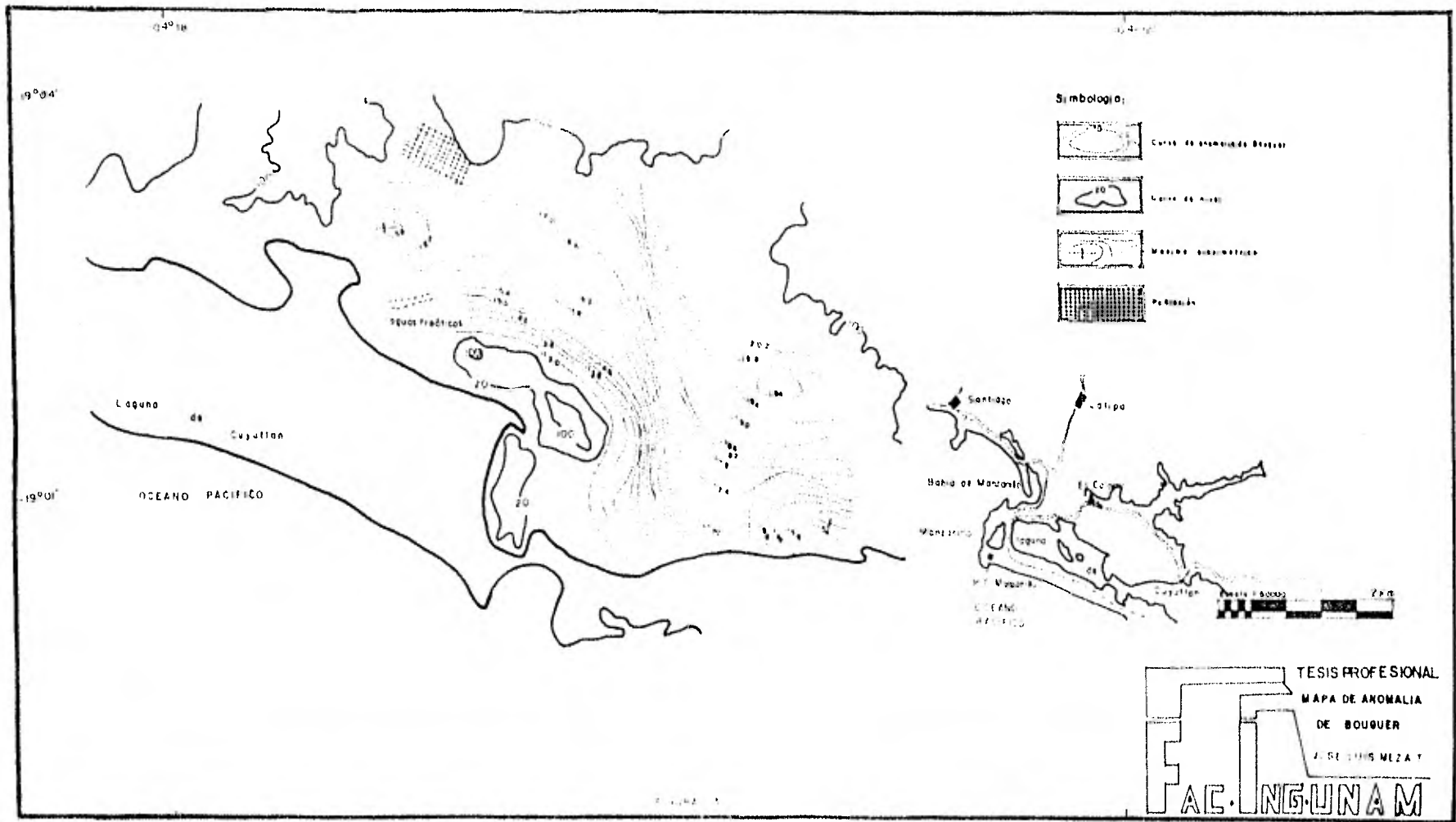


TESIS PROFESIONAL  
 SECCION SISMOLOGICA  
 JOSE LUIS RIZZA  
**FAC. INGENIAM**

#### IV.2 ESTUDIO GRAVIMETRICO

El objetivo de este segundo estudio se obtener la distribución del relleno formado por arenas y gravas, que delimite cualitativamente las zonas de mayor y menor espesor en el valle, lo que es consecuencia de levantamientos o hundimientos en el basamento granítico. Esto se manifiesta por la existencia de altos y bajos gravimétricos tal como se muestran en las figuras 23, 24 y 25.

En el mapa de Anomalía Residual se indica claramente el resultado del comportamiento local del basamento. Así en la parte Sureste, en los extremos inferiores de las márgenes costeras se manifiesta una anomalía positiva que representa posiblemente un alto en el basamento. En la porción central de este plano se manifiesta una pequeña anomalía negativa que puede ser causada por un hundimiento en el basamento; en la parte Noroeste se tienen tres pequeños altos gravimétricos - con una orientación relativa con los afloramientos y que indican tres pequeños altos basales.



TESIS PROFESIONAL  
 MAPA DE ANOMALIA  
 DE BOUQUER  
 J. DE J. M. MEZA Y  
**FAC. INGENAM**





### IV.3 ESTUDIO GEOELECTRICO

En el presente estudio se establecieron ocho líneas -- geoelectricas que cubren en su totalidad el área de estudio -- correspondiente a la planicie costera del Colomo, tal como se muestra en la figura 26.

El intervalo de distancia para cada emplazamiento fue programado en separación progresiva (100, 150, 200, 300, 500, 600), desde las márgenes de la laguna de Cuyutlán hacia tierra adentro de la planicie costera.

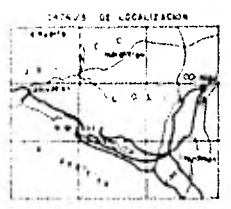
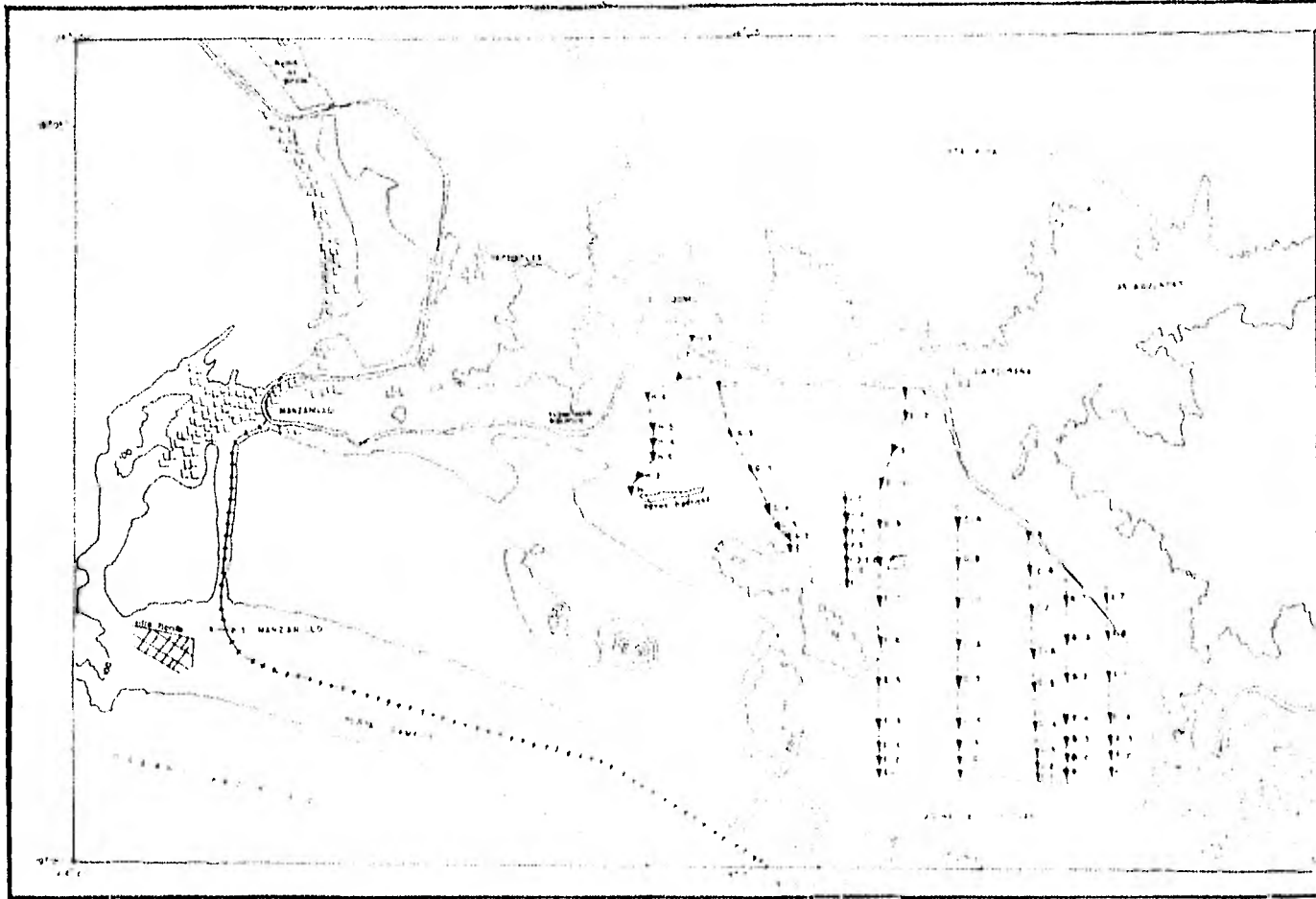
Para los emplazamientos se recurrió a la teoría del SEV, aplicando para ello modalidad Schlumberger y medio Schlumberger. La disposición de éstos permite conocer las capas del subsuelo según una vertical en el punto emplazado.

Un análisis preliminar de los resultados se obtiene a -- partir del conocimiento de los valores en resistividad aparentes en sus correspondientes aberturas electródicas.

Curvas de campo características:

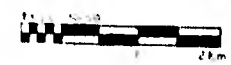
Un primer tipo realizado a las márgenes de la laguna y que es perteneciente al sondeo A-1, se presenta enseguida:



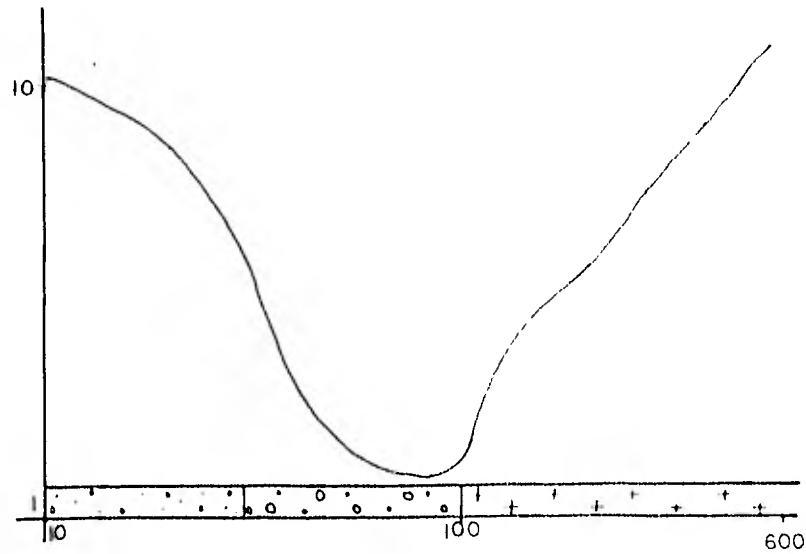


SIEMPRE EN EL CAMINO

- MINIO PLANTAS DE TRANSFORMACION
- LÍNEA DE TRANSMISIÓN
- CERREJOS
- PUENTE Y CERRAJES
- CURVA DE ANIL



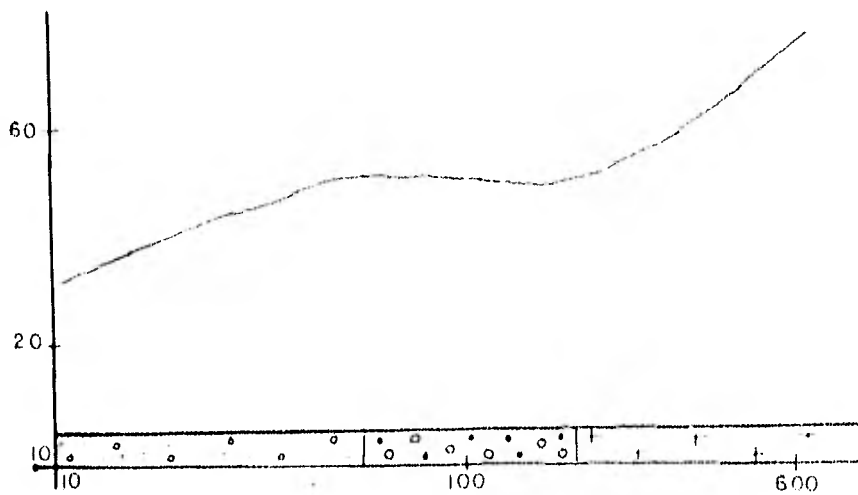
**TESIS PROFESIONAL**  
**LOCALIZACION DE**  
**LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**  
**REALIZADAS**  
 JOSÉ LUIS MEZA



SONDEO A-1

La curva es característica de tres terrenos, la más superficial corresponde a arcillas, limos y arenas, subyaciendo otra de arenas y gravas con contenido en agua salada que reposa sobre el sustrato cristalino granítico e impermeable.

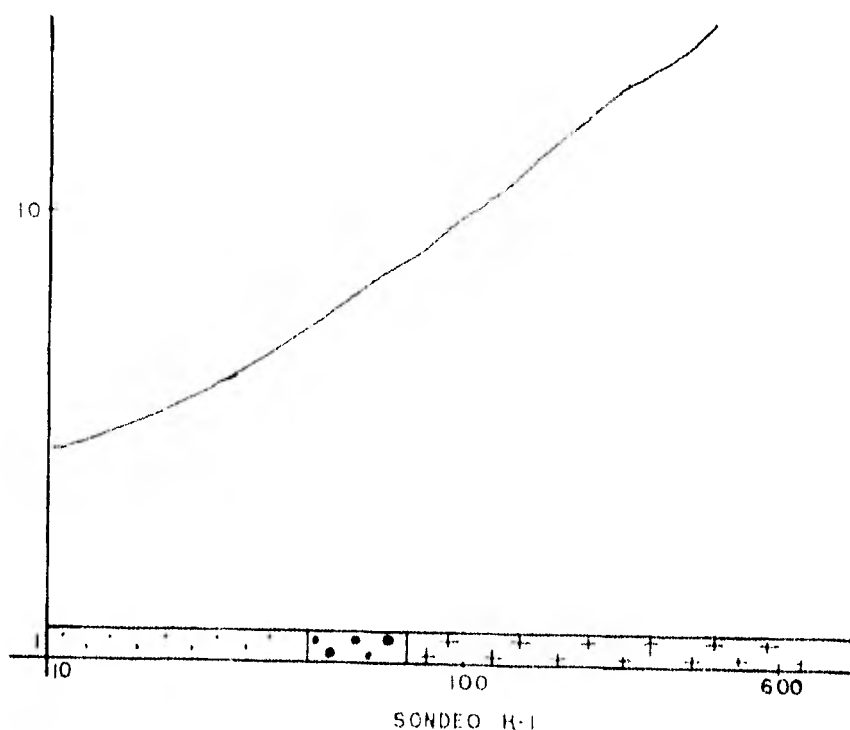
Un segundo tipo, se realizó retirado de las márgenes de la laguna y pertenece al sondeo A-4, se presenta enseguida:



SONDEO A-4

La curva es característica de tres terrenos; la más superficial es de arcillas, limos y arenas, subyace una de arenas y gravas saturadas en agua dulce que reposa sobre el sustrato cristalino granítico impermeable.

Un tercer tipo, se realizó a las márgenes de la laguna y que es perteneciente al sondeo H-1, se presenta enseguida:



La curva es representada en tres unidades, la más superficial es de arcillas, limos y arenas húmedas en agua salada, subyace arenas y gravas saturadas en agua dulce y que reposa sobre el sustrato cristalino granítico impermeable

Cateo con dispositivo AMNB simétrico:

En estos dispositivos las cuatro tomas de tierra se si-

túan en una recta; y las M y N se encuentran situadas simétricamente (caso Schlumberger simétrico) respecto al punto de atribución "O".

Si se mantiene una longitud de línea AB constante, o sea una profundidad de investigación constante, y se desplaza únicamente el centro "O" del dispositivo como si se tratase de un cuerpo rígido, a través del área de estudio, se obtendrán valores de resistividad aparente correspondiente a una profundidad.

Estos valores se representan en mapas de líneas iso-resistivas; y se procede de igual forma para diferentes aberturas de AB.

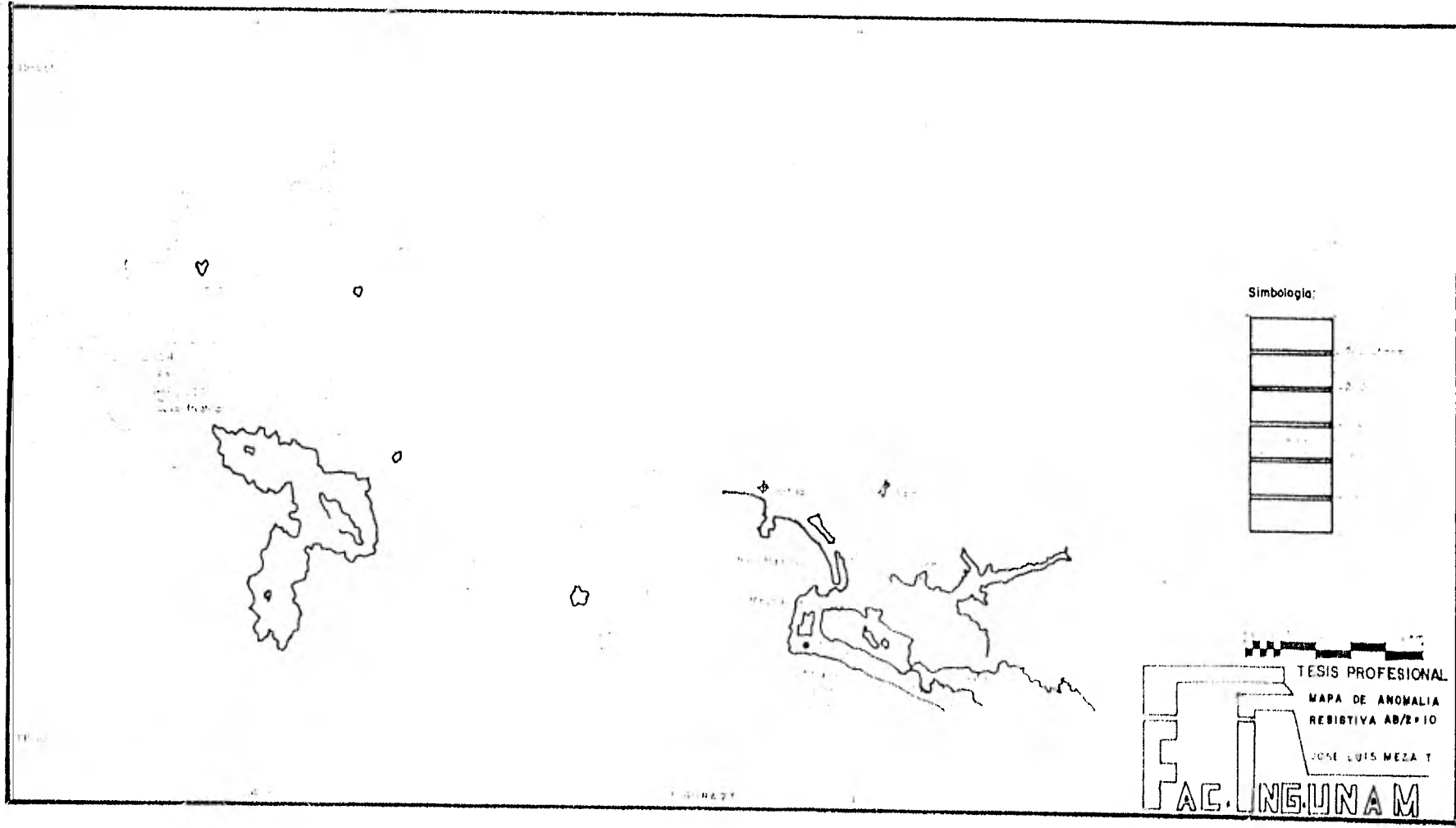
Los problemas a resolver en el presente estudio con ayuda del dispositivo simétrico son los siguientes:

- Presentar una distribución de las resistividades aparentes, así como un patrón a seguir de ellas mismas.
- Descubrir en una profundidad la posible presencia de agua salina desde un punto de vista eléctrico.

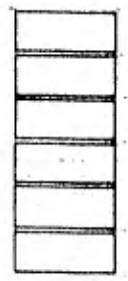
En el apéndice de la Tabla III se muestran los valores de resistividad aparente correspondiente a cada abertura AB/2.

Las figuras 27, 28, 29, 30 y 31 muestran la distribución de iso-resistividades correspondiente al área de estudio.

Una segunda forma de análisis y con bases completamente cuantitativas es la referente a una representación tectónica del subsuelo en secciones de tipo geoelectrico, en las que

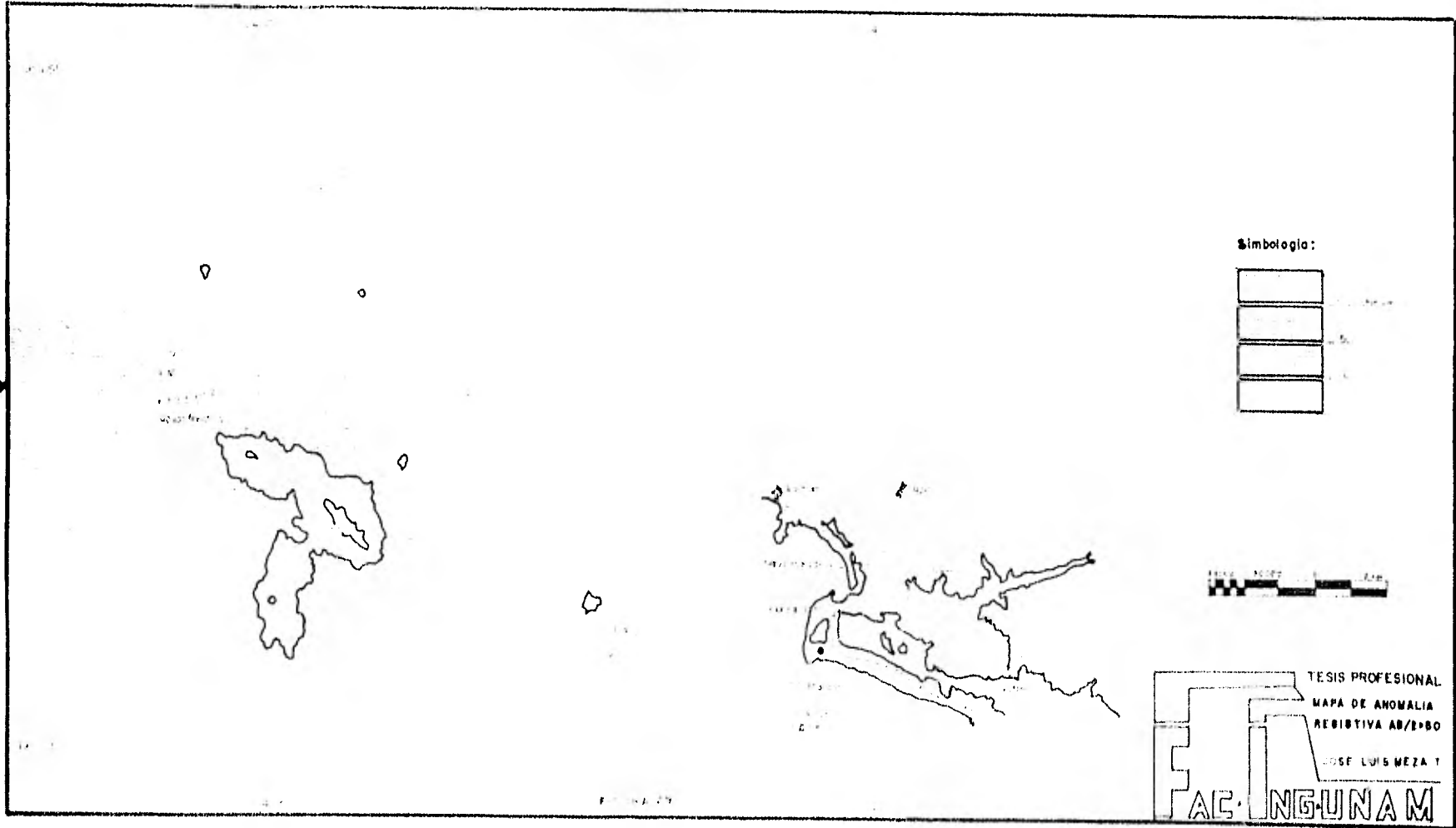


Simbologia:



TESIS PROFESIONAL  
MAPA DE ANOMALIA  
RESISTIVA AB/2\*10  
JOSE LUIS MEZA T  
FAC. ING. UNAM

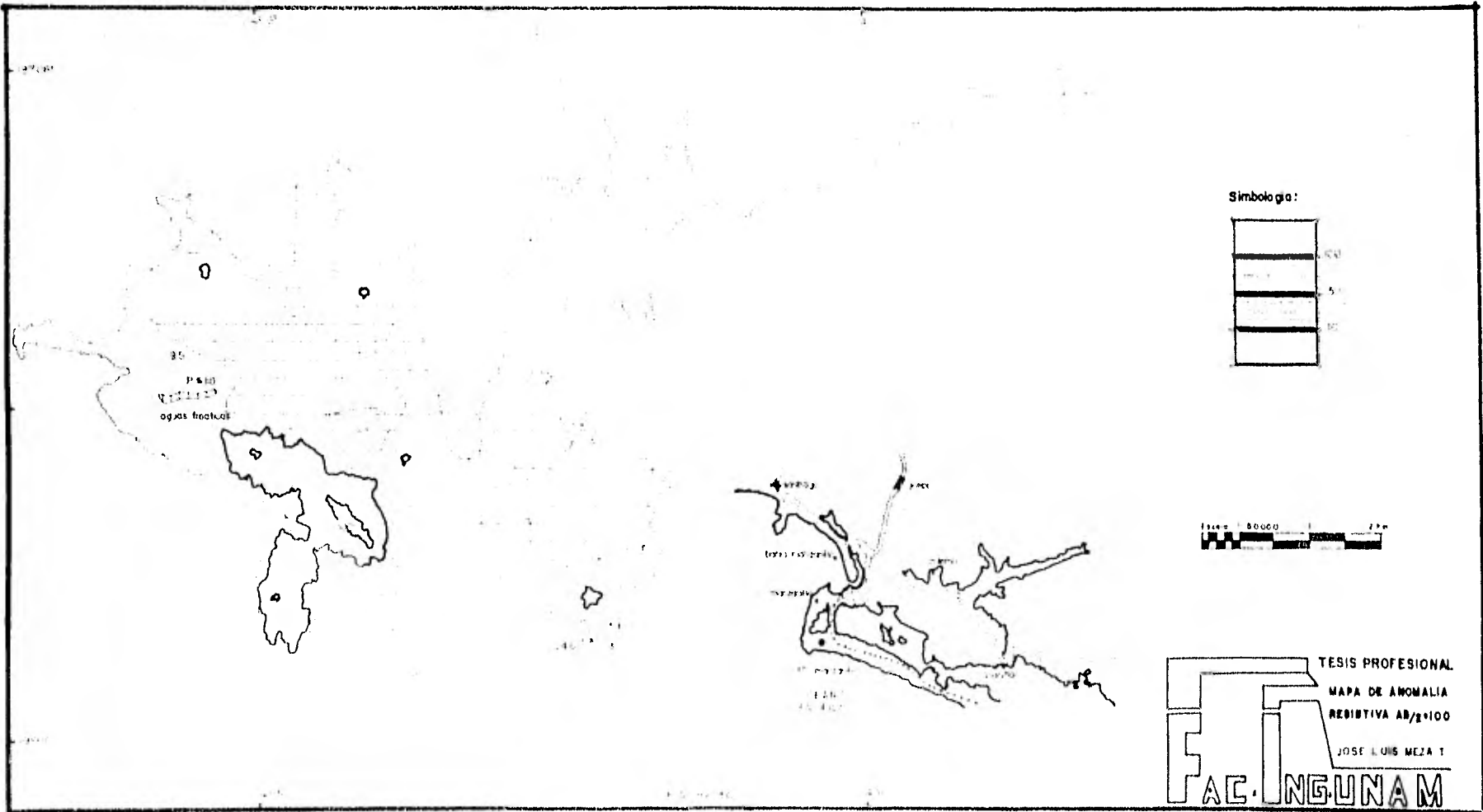




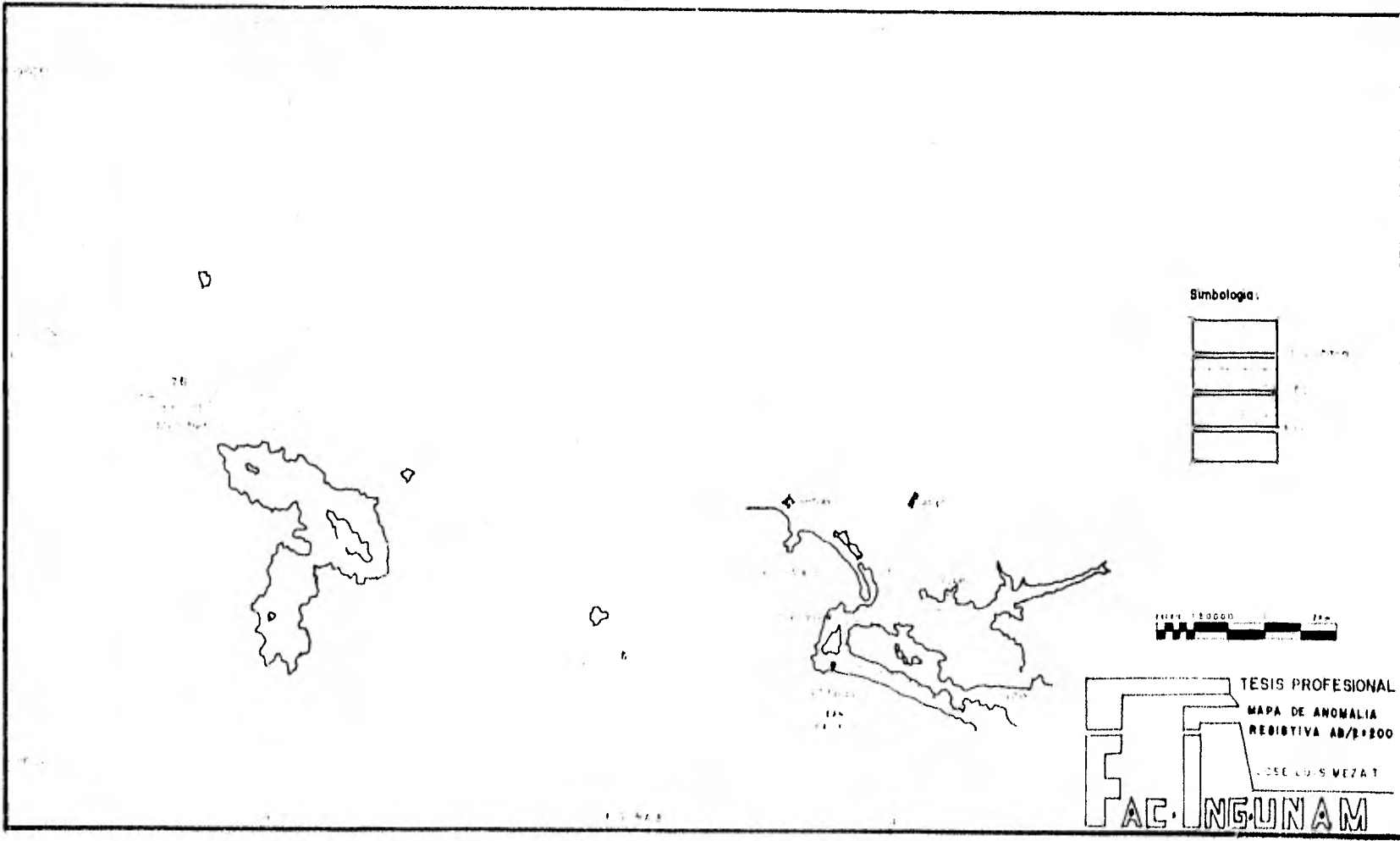
Simbologia:



TESIS PROFESIONAL  
MAPA DE ANOMALIA  
RESISTIVA AB/200  
JOSE LUIS MEZA Y  
FAC. INGENIERIA

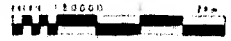






Simbología:

[Symbol]	[Text]
[Symbol]	[Text]
[Symbol]	[Text]
[Symbol]	[Text]



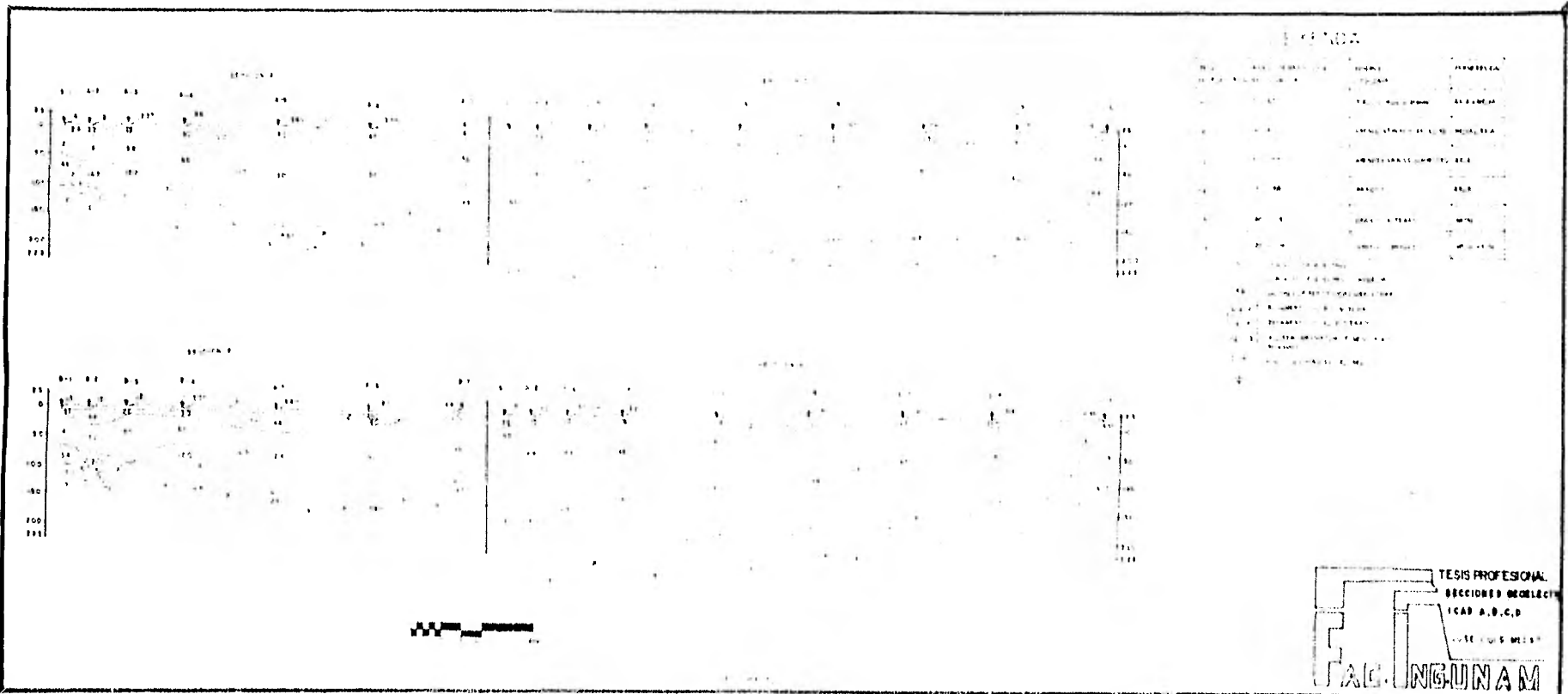
TESIS PROFESIONAL  
MAPA DE ANOMALIA  
RESISTIVA AD/800  
JOSE LUIS MEZA T  
FAC. INGENIAM

cada punto de atribución pertenece a un SEV y éstos, a la vez, a una línea de sección; se asume una distribución vertical en el sentido de profundidad de resistividades verdaderas que son distribuidas de acuerdo a cada capa geoelectrica interpretada y perteneciente a una profundidad cuantificada.

La finalidad de estas representaciones es visualizar en la construcción de un perfil, la distribución vertical a profundidad de valores en resistividad que permiten inferir cierto tipo de litología bajo el conocimiento previo de una columna estratigráfica del área.

Además, estas litologías inferidas y definidas por los contactos geoelectricos informarán sobre el rango de permeabilidades existentes, que llevarán a definir las capas acuíferas. Asimismo, dependiendo del grosor de las capas de la profundidad de localización y de su continuidad en el sentido lateral existente, se definirá con términos económicos, acuíferos productores de bajo, medio y alto rendimiento.

Las figuras 32 y 33 muestran las secciones geoelectricas correspondientes al área de estudio.



**1. OBJETIVO**

El objetivo de esta tesis es determinar el efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas de los materiales metálicos.

**2. JUSTIFICACION**

Esta investigación es importante porque permite conocer el comportamiento de los materiales metálicos en condiciones de alta temperatura, lo cual es esencial para el diseño de componentes mecánicos que operan en entornos de alta temperatura.

**3. METODOLOGIA**

Se utilizaron métodos experimentales para determinar las propiedades mecánicas de los materiales metálicos en condiciones de alta temperatura. Se realizaron ensayos de tensión y compresión en una máquina universal de ensayos.

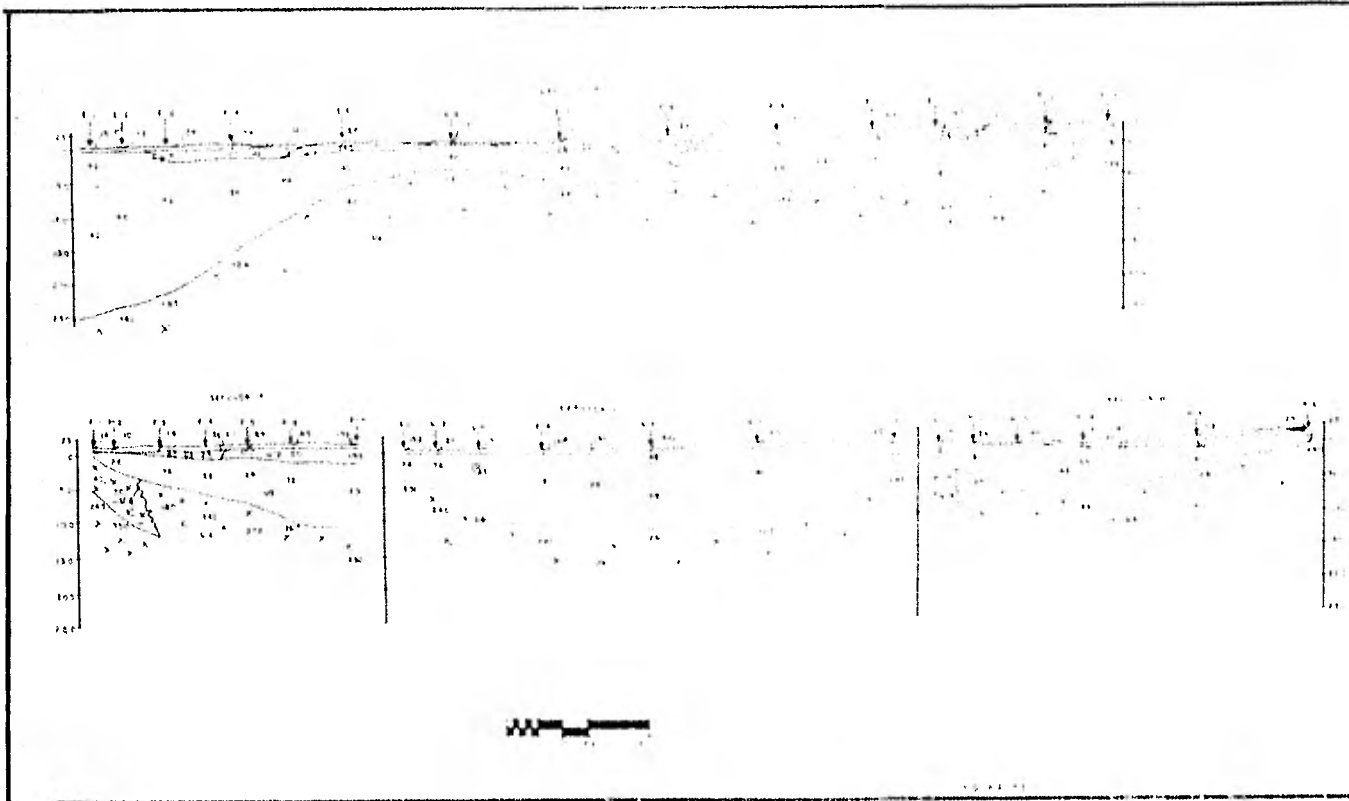
**4. RESULTADOS**

Los resultados de los ensayos muestran que las propiedades mecánicas de los materiales metálicos disminuyen a medida que aumenta la temperatura. Esto se debe a la disminución de la resistencia y la ductilidad de los materiales a altas temperaturas.

**5. CONCLUSIONES**

Se concluye que las propiedades mecánicas de los materiales metálicos disminuyen a medida que aumenta la temperatura. Esto es importante para el diseño de componentes mecánicos que operan en entornos de alta temperatura.

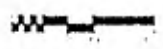
TESIS PROFESIONAL  
 DECCION DE DECCION  
 1000 A. D. C. D  
 DECCION DECCION  
**INGUNAM**



LEYENDA

NUMERO	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD	TIPO DE SUELO
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...

- 1. LINEA DE ELECTRICIDAD
- 2. LINEA DE TELECOMUNICACIONES
- 3. LINEA DE TUBERIA
- 4. LINEA DE TUBERIA
- 5. LINEA DE TUBERIA
- 6. LINEA DE TUBERIA
- 7. LINEA DE TUBERIA
- 8. LINEA DE TUBERIA
- 9. LINEA DE TUBERIA
- 10. LINEA DE TUBERIA



TESIS PROFESIONAL  
 SECCION DE OBRAS  
 ICAB E.P.S.M.  
 JOSE LUIS MATA  
**FAC. INGENIARIA**

## CAPITULO V

### APLICACION DIRECTA DE LOS PARAMETROS DE DAR ZARROUK

La combinación de resistividad y espesor de cada capa en un corte geoelectrico, conocidos como parámetros de Dar - Zarrouk (parámetros S y T), tiene su aplicación directa en las propiedades hidrológicas de acuíferos formados en materiales no consolidados, rocas que constituyen principalmente a los - acuíferos libres. Ambas variables y los derivados conceptos - de curvas de Dar Zarrouk son de primera significancia en el - desarrollo de teoría de interpretación para SEV.

Para algunas aplicaciones específicas, en estudios de - acuíferos libres y costeros, S y T son poderosas interpreta-- ciones auxiliares, a un lado de cualquier interpretación pla-- neada exhaustivamente. Esta interpretación va más allá de la usual aplicación hidrogeológica de resistividades sondeadas, que comúnmente apunta con la definición de una geometría - - acuífera. En lugar, la total superioridad es tomada desde la combinación de espesor y resistividades en una sola variable, que es usada como una base para la evaluación de cada propie-- dad como transmisividad acuífera, y localización de zonas in-- trusionadas.

## V.1 TRANSMISIVIDAD DE ACUIFEROS

La transmisividad acuífera está definida como el producto del espesor del acuífero por el coeficiente de permeabilidad del mismo. Esto es usualmente denotado por el símbolo T, que tiene una similitud con la resistencia transversal unitaria:

$$T = E.K$$

Donde:

E = espesor (metro)

K = coeficiente de permeabilidad (metro/día)

T = transmisividad (metro<sup>2</sup>/día).

Donde se observa que (T), tiene las dimensiones (L<sup>2</sup>.T<sup>-1</sup>); de la misma manera, la resistencia transversal unitaria:

$$T = E. PT$$

Donde:

E = espesor (metro)

PT = resistividad transversal (metro,ohmio)

T = resistencia transversal unitaria (metro<sup>2</sup>,ohmio)

Donde se observa que (T), tiene las dimensiones (L<sup>2</sup>.Ω).

Se observa también que la transmisividad y la resistencia transversal unitaria, tienen una gran similitud en su parámetro geométrico (espesor) así como en la resistividad con la permeabilidad debido a que esta última crece con la primera.

De aquí que resulta de gran importancia en materiales no consolidados, expresar las variaciones de la resistencia transversal unitaria de la capa acuíf<sup>er</sup>a en planta sobre el área de estudio; interpretada en mapas que unen valores de igual T mediante iso-líneas (expresadas en kilo-ohmio-metro<sup>2</sup>), que en iguales condiciones resultan de mejor transmisividad aquellos valores mayores de resistencia transversal unitaria.

Las zonas de iguales transmisividades se correlacionan a un flujo existente, que es inicializado de la zona de recarga natural más próxima. De aquí que los valores mayores definen un flujo principal y permitan identificar las zonas naturales de descargas principales.

Estos flujos principales llevan a cabo un verdadero lavado sobre las probables masas de aguas salinas existentes en zonas costeras no permitiendo que intrusionen a las capas acuíferas.

La figura 34 representa una aplicación real de dicha similitud sobre el área de estudio.





## V.2 ZONAS INTRUSIONADAS

La aplicación de S al igual que la de T constituye una poderosa herramienta complementaria en la marcha de investigación en la capa acuífera, debido a que arroja valores de conductancia:

$$S = \frac{E}{PL}$$

Donde:

E = espesor (metro)

PL = resistividad longitudinal (metro.ohmio)

S = conductancia longitudinal (mho), es decir ( $\Omega^{-1}$ )

Se observa de la S una verdadera medida en la conductividad, la cual está relacionada directamente a su parámetro geométrico (espesor) e inversamente a sus resistividad longitudinal; ésta última se encuentra en dependencia con el contenido de sales en la capa acuífera.

De esto resulta que en capas acuíferas definidas por arenas y gravas interpretar la variación de la conductancia longitudinal unitaria en planta sobre el área de estudio; interpretadas en mapas que unen valores de igual conductancia mediante iso-líneas (expresarías en Mho) que en iguales condiciones resultan de mejores conductancias aquellos valores mayores de S.

Las zonas de mayor conductancia longitudinal unitaria definen un mayor contenido de sales en la capa acuífera o en dependencia con la distribución de materiales, como la exis-



tencia de los Deltas en zonas costeras se relacionarían a una barrera impermeable arcillosa.

De aquí que los valores mayores de conductancias relacionados con la geología; además a descargas naturales (zonas de lavados) que nos infieren criterios para la posible existencia de masas salinas intrusionadas en el acuífero presente en zonas costeras.

La figura 35 representa una real aplicación de dicha similitud sobre el área de estudio; en el apéndice de la Tabla IV se muestran los valores correspondientes a los parámetros de Dar-Zarrouk.



LEYENDA

-  LÍNEAS DE CONDUCTIVIDAD
-  PUNTO DE MUESTREO




 TESIS PROFESIONAL  
 MAPA DE CONDUCTANCIA  
 LONGITUDINAL  
 JOSE LUIS MEZA T  
 FAC. INGENIARIA

---

## CAPITULO VI

### R E S U L T A D O S

Los resultados a exponer en el presente capítulo son - los correspondientes al estudio hidrogeológico realizado sobre la planicie costera del Colomo en Manzanillo, Col.

Estos resultados fueron obtenidos a partir de los estudios secuenciales y disciplinarios de exploraciones Geológicas, Geohidrológicas y Geofísicas; donde estos estudios requirieron una mutua cooperación en sus aplicación de una a otra etapa del estudio Hidrogeológico para su complementación de los objetivos en la búsqueda del agua en el subsuelo, así como la implicación de la inmediata presencia de agua de mar y su consecuencia.

Cada uno de estos estudios, aporta resultados que son de interés para la explotación y obtención de mejores zonas para perforación, así como para cuidar de la Intrusión.

## VI.1 RESULTADOS GEOLOGICOS

En el área de estudio queda preponderada cómo la mejor zona con fines hidrogeológicos, la parte más baja constituida por una planicie aluvial representativa de materiales no consolidados.

El área de estudio ponderada queda clasificada como una cuenca de tipo hidrográfico debido a los enmarcamientos periféricos, a una alta montaña que vierte sus aguas hacia el Pacífico, así como a la presencia de barreras creadas por afloramientos en las márgenes costeras.

Las rocas que afloran en la zona de estudio quedan encuadradas como impermeables, permeables y de media permeabilidad; generalmente las dos primeras (refiriéndonos a las más representativas por su abundancia) presentan un alto grado de fracturamiento, pudiendo decir en estos términos que ambas se presentan como transmisoras del flujo de agua que se vierte de los lugares altos sobre los materiales de una alta y media permeabilidad representativa de las partes bajas.

Los materiales no consolidados quedan representados por gravas, arenas, limos y arcillas que descansan sobre la roca granítica de carácter impermeable.

## VI.2 RESULTADOS GEORIDROLOGICOS

Las corrientes existentes son de carácter intermitente con flujos de origen pluvial; siendo el arroyo de las Adjuntas, el de mayor importancia por su gran caudal.

La infiltración es llevada a cabo sobre la misma planicie aluvial.

Durante siete meses del año (nov. a mayo) se manifiesta un déficit de la precipitación, considerando los cinco meses restantes (junio a octubre) como aportadores de una alta precipitación.

El volumen de infiltración sobre la cuenca del Colomo es de un valor promedio de 16,889,340 M<sup>3</sup>/anuales, con una extracción de sus aprovechamientos existentes de 14,600,000 m<sup>3</sup>/anuales.

La totalidad de los aprovechamientos están orientados a fines agrícolas; siendo para ellos las mayores extracciones.

En iguales condiciones de transmisividad, se encuentran dos posibles flujos subterráneos. Uno de ellos descarga sobre la planicie (testimonio de aguas freáticas) otro va y descarga sobre las aguas de la Laguna de Cuyutlán.

### VI. 3 RESULTADOS GEOFISICOS

Mediante la sísmica de refracción se detectan cuatro - unidades:

Primeramente una pequeña cubierta de aluvión que constituye el suelo reciente, con velocidad promedio de 258 m/s y un espesor promedio de 3m; arenas y gravas sueltas sobreyacen al granito y constituyen lentejones con una velocidad - promedio de 1335m/s y un espesor promedio de 20 m. y se localizan a una profundidad no mayor a 4m; encontramos también arenas y gravas más compactas predominantes en la cuenca con espesores mayores a 100m y sobreyaciendo al basamento impermeable granítico.

Mediante la prospección gravimétrica se detectan levantamientos y hundimientos en el relleno; así se definen zonas de mayor y menor espesor.

Los espesores mayores del relleno se encuentran en la parte Este del área de estudio, disminuyendo hacia el Norte y Oeste. Se nota así una disminución del espesor hacia el Sureste y producto de un levantamiento del basamento.

Mediante la prospección geoelectrica con el sondeo -- eléctrico vertical, se infiere un cierto comportamiento en la curva de resistividades aparente, así como una distribución general de la resistividad aparente en vista de planta (cateo AMNB) y su distribución vertical en resistividades verdade-

ras en el subsuelo, mediante perfiles geoeléctricos.

Se distinguen tres curvas características de campo:

Dos que son representativas de los emplazamientos efectuados y próximos a la laguna de Cuyutlán: A-1 y H-1; sin embargo, adquieren comportamientos diferentes y contrarios. Donde A-1 emite resistividades pequeñas en profundidad y H-1 más superficiales.

Una de esas curvas es representativa de los emplazamientos alejados de las márgenes de la laguna (emplazamiento A-4); sin embargo, adquiere comportamientos similares al de H-1. Se puede decir que en H-1 su espesor de arenas y gravas saturadas en agua dulce es mucho más pequeño que en el caso de A-4.

Se elaboraron cinco cateos en AB/2 para determinar una distribución en profundidad de las anomalías resistivas.

En la totalidad de ellos se encontraron dos pequeñas -- zonas aisladas, con resistividades menores a 10 ohmio-m y -- próximas a la laguna en ambos extremos de la planicie. Se -- puede decir además, que la distribución en resistividades apa rentes aumenta generalmente, desde las márgenes de la laguna en orientación al arroyo de las Adjuntas.

Los rangos existentes en resistividades en ohmio-metro para cada abertura en AB/2 son:

AB/2=10;     $P \leq 10$      $10 \leq P \leq 50$      $50 \leq P \leq 100$   
 $100 \leq P \leq 200$      $200 \leq P \leq 500$     y     $P > 500$



$AB/2 = 20; P \leq 10 \quad 10 \leq P \leq 50 \quad 50 \leq P \leq 100$

$100 \leq P \leq 200 \quad \text{y} \quad P \geq 200$

$AB/2=50; AB/2=100, \text{ y } AB/2=200; P \leq 10$

$10 \leq P \leq 50 \quad 50 \leq P \leq 100 \quad \text{y} \quad P \geq 100$

Se construyeron ocho secciones geoeléctricas con un total de 65 SEV, las cuales permiten inferir a partir de sus rangos en resistividades, una posible litología a que se le atribuye una cierta permeabilidad.

**Generalmente encontramos cuatro unidades principales:**

U1, que constituye el suelo meteorizado con contenidos en limos y arenas con rangos de resistividades de 2-1370 ohmio-m, con permeabilidades de baja a media.

U2 y U'2, unidades formadas por lenticulas de arenas, gravas y arcillas; en donde U2 infiere un menor porcentaje de arcillas con rangos de resistividades de 14-80 ohmio-m con permeabilidad de media-baja.

U3, que constituye la principal capa acuífera con contenidos en arenas y gravas con rangos en resistividades de 11-109 ohmio-m con permeabilidad de media a alta.

U4 y U'4, unidades que constituyen el basamento de granito con rangos de resistividades de 100-1526 ohmio-m en granito sano (U4) y 46-70 ohmio-m en granito alterado (U'4) con permeabilidades baja y media respectivamente.

#### VI.4 RESULTADOS DE LOS PARAMETROS S Y T

Mediante la aplicación de los parámetros de DAR-ZARROUK sobre la capa definida como acuífera y constituida principalmente por gruesos espesores de arenas y gravas se logra localizar una distribución de los valores mayores y menores de transmisividades y de igual manera de conductancia.

Mapa de Resistencia Transversal. En éste se logra encontrar cuatro zonas de mayores transmisividades; dichas zonas presentan un lineamiento desde la zona principal de recarga natural hacia las márgenes de la laguna de Cuyutlán; de este lineamiento, se puede inferir, un flujo principal - subterráneo existente y presentar de aquí las márgenes costeras donde el flujo realiza sus principales descargas naturales hacia la laguna; siendo el Este de la planicie la zona de mejores transmisividades.

Mapa de Conductancia Longitudinal. En éste se logra encontrar la capa acuífera de gravas y arenas, que presenta generalmente una cierta distribución uniforme sobre la cuenca y valores bajos de conductancia; no sucede así al Sureste de la planicie, donde se obtienen mayores conductancias; lo cual - permite inferir que es zona de alta conductancia.

## C O N C L U S I O N E S

1.- En el presente estudio Geológico, el tipo de acuífero existente se clasifica como un acuífero libre y costero, por ocurrir sobre materiales de gravas, arenas, limos y arcillas que forman el relleno de la planicie, el cual a la vez, sobreyace localmente a una unidad impermeable localizada en los límites costeros del oceano Pacífico.

2.- En el presente estudio Geohidrológico se señala que las recargas de dicho acuífero son proporcionadas directamente por los flujos pluviales de las partes altas contiguas sobre los meses de junio a octubre, cuyas extracciones sirven fundamentalmente para fines agrícolas, y para usos industriales y domésticos, en mucho menor escala.

3.- En el presente estudio Geofísico, se realizó una línea de Sismica de Refracción para ubicar estructuralmente las gravas y arenas; asimismo se aplicó gravimetría para conocer la geometría del relleno que resultó ser de forma irregular; el estudio Geoeléctrico conlleva a hacer las afirmaciones de susodichos métodos, diciendo así que los mayores espesores de arenas y gravas se localizan al Este del área de estudio, como también una intrusión por presencia de cuña salina ( $P \approx 10$  ohmio-m en los mapas de anomalía resist.), y al Oeste una intrusión por superficie como producto de la descarga del agua de la laguna sobre la planicie ( $P \approx 10$  ohmio-m en los mapas de anomalía resist.)

Así también, la aplicación de los parámetros de - -  
Dar-Zarrouk conlleva a definir en la capa acuífera productora de alto rendimiento (definida por las secciones geoelectricas), un principal flujo subterráneo (valores máximos de R. Transv.) que establece el equilibrio dinámico de la cuña salina con el agua dulce, manifestada también por valores de altas conductancias.

## RECOMENDACIONES

1.- Es necesario vigilar la zona donde ocurre la intrusión por cuña salina para cuantificar el posible avance; y asimismo señalar los meses en que ocurre, como efecto de excesivas extracciones.

Se hace necesario ubicar, en dicha zona, dos piezómetros sobre la "cuña", uno que vigile el nivel del agua dulce y otro que vigile el nivel del agua salada.

Dichas observaciones deben ser periódicas durante los meses de noviembre a mayo donde se tiene un déficit de precipitaciones.

Una vez que hayan sido detectados los meses de avance, deben tomarse las medidas pertinentes para no perturbar el equilibrio dinámico.

2.- Se hace necesario correr registros geofísicos en los propios pozos ubicados en el área para la evaluación de los parámetros de: porosidad, saturación de agua, espesor de la capa permeable y permeabilidad.

3.- La mejor zona para la ubicación de aprovechamientos resulta ser al lado del máximo gravimétrico que detiene cualquier intrusión de agua salada, y localizada al Sureste de la planicie.

A P P E N D I C E

PROGRAMA DE RESISTIVIDAD SCHLUMBERGER

No mayor de ocho capas.

Si  $AB/2$  es menor que uno no funciona el programa.

Nota.- No más de quince puntos.

- 1.- 8 2nd OP 17
  - 2.- 1 Se lee el lado uno de la tarjeta
  - 3.- 2 se lee el lado dos de la tarjeta
  - 4.- CLR
  - 5.- D
  - 6.-  $AB/2$  min. R/S = 1
  - 7.-  $AB/2$  max. R/S = 300
  - 8.- CLR
  - 9.- E
  - 10.- Se introducen las resistividades  
con R/S
  - 11.- 0 R/S
  - 12.- Se introducen las profundidades  
con R/S
  - 13.- 0 R/S el programa empieza a  
correr
- |          |     |
|----------|-----|
| P1 = 10  | R/S |
| P2 = 100 | R/S |
| P3 = 10  | R/S |
| P1 = 1   | R/S |
| P2 = 5   | R/S |

RESULTADO DEL EJEMPLO.

P1 = 11.70	P6 = 31.21	P10 = 19.17	P15 = 10.07
P2 = 14.14	P8 = 37.47	P11 = 13.07	
P3 = 18.31	P7 = 40.50	P12 = 10.89	
P4 = 24.33	P8 = 37.69	P13 = 10.33	
	P9 = 28.98	P14 = 10.14	

T A B L A I

	Porosidad %	Pr/Pw
Rocas ígneas y metamórficas	0.5-2	100
Calizas y areniscas compactas	3-4	50-100
Arcilla y arenas en general	8-15	20-40
Arcilla porosa, arenas, areniscas		
Calizas porosas, dolomías, margas	15-40	3-20
Arcillas superficiales		
Suelo arenoso	40-75	1.5-4
Turba	80-90	1-1.5

Valores de Hefland para Pr/Pw en función de la porosidad para algunas rocas.



PARA SONDEOS SCHLUMBERGER EN LA  
TEXAS INSTRUMENTS T-1 PROGRAMABLE

001 76*Lb1	027 42 Sto	053 32 X=t	079 67 Y=t
002 14 D	028 09 9	054 25 CLR	080 00 0
003 25 CLR	029 43 RCL	055 91 R/S	081 63 69
004 58 *FIX	030 60 60	056 72 Sto * Ind	082 69 * OP
005 02 2	031 45 Y <sup>x</sup>	057 02 2	083 33 333
006 91 R/S	032 43 RCL	058 69 * OP	084 06 06
007 28 * Log	033 10 10	059 22 22	085 22 Inv
008 65 X	034 65 X	060 22 Inv 0	086 28 * Log
009 06 6	035 43 RCL	061 67 &X-t	087 72 Sto * In
010 95 =	036 61 61	062 00 0	088 03 03
011 59 * Ind	037 95 =	063 54 54	089 02 02
012 42 STO	038 42 Sto	064 91 R/S	090 08 8
013 10 10	039 10 10	065 48 * EXC	091 42 Sto
014 25 CLR	040 76 * Lb1	066 05 05	092 04 04
015 91 R/S	041 15 E	067 75 -	093 01 1
016 28 * Log	042 01 1	068 43 RCL	094 09 9
017 65 X	043 02 2	069 05 5	095 42 Sto
018 06 6	044 42 Sto	070 95 =	096 03 03
019 95 =	045 02 2	071 94 +/-	097 01 1
020 59 * Ind	046 02 2	072 72 Sto * In	098 07 7
021 75 -	047 00 0	073 03 3	099 85 +
022 43 RCL	048 42 Sto	074 43 RCL	100 43 RCL
023 10 10	049 03 3	075 05 5	101 09 9
024 85 +	050 25 CLR	076 69 * OP	102 95
025 01 1	051 42 Sto	077 23 23	103 02 02
026 95 =	052 05 5	078 22 Inv	104 11 11

105 42 Sto	132 43 RCL	159 02 2	186 95 =
106 01 01	133 60 60	160 73 RCL*IN	187 22 Inv
107 06 6	134 95 =	161 02 2	188 23 Inx
108 55 %	135 32 X=t	162 42 Sto	189 42 Sto
109 43 RCL	136 97 * DSZ	163 07 7	190 05 5
110 10 10	137 01 1	164 43 RCL	191 85
111 42 Sto	138 01 1	165 02 2	192 01 1
112 08 8	139 17 17	166 67 X-t	193 95
113 95 =	140 02 2	167 02 2	194 55 %
114 94 +/-	141 08 8	168 34 34	195 53
115 32 X=t	142 42 Sto	169 69 *OP	196 43 RCL
116 69 * OP	143 04 04	170 32 32	197 05 5
117 23 23	144 43 RCL	171 69 *OP	198 94 +/-
118 73 RCL*Ind	145 11 11	172 33 33	199 85 +
119 03 3	146 42 Sto	173 43 RCL	200 01 1
120 22 Inv	147 01 1	174 02 2	201 54
121 77 * X=t	148 01 1	175 75 -	202 95 =
122 01 1	149 02 2	176 01 1	203 42 Sto
123 15 15	150 32 X=t	177 01 1	204 05 5
124 43 RCL	151 73 RCL*In	178 95 =	205 85 +
125 03 3	152 04 4	179 42 Sto	206 53
126 72 Sto*In	153 42 Sto	180 00 0	207 73 RCL*In
127 04 4	154 03 3	181 43 RCL	208 02 2
128 69 * OP	155 75 -	182 08 8	209 55 %
129 24 24	156 08 8	183 65 X	210 43 RCL
130 32 X=t	157 95 =	184 73 RCL*In	211 07 7
131 55%	158 42 Sto	185 03 3	212 54

105 42 Sto	132 43 RCL	159 02 2	186 95 =
106 01 01	133 60 60	160 73 RCL*IN	187 22 Inv
107 06 6	134 95 =	161 02 2	188 23 Lnx
108 55 %	135 32 X=t	162 42 Sto	189 42 Sto
109 43 RCL	136 97 * DSZ	163 07 7	190 05 5
110 10 10	137 01 1	164 43 RCL	191 85
111 42 Sto	138 01 1	165 02 2	192 01 1
112 08 8	139 17 17	166 67 X-t	193 95
113 95 =	140 02 2	167 02 2	194 55 %
114 94 +/-	141 08 8	168 34 34	195 53
115 32 X=t	142 42 Sto	169 69 *OP	196 43 RCL
116 69 * OP	143 04 04	170 32 32	197 05 5
117 23 23	144 43 RCL	171 69 *OP	198 94 +/-
118 73 RCL*Ind	145 11 11	172 33 33	199 85 +
119 03 3	146 42 Sto	173 43 RCL	200 01 1
120 22 Inv	147 01 1	174 02 2	201 54
121 77 * X=t	148 01 1	175 75 -	202 95 =
122 01 1	149 02 2	176 01 1	203 42 Sto
123 15 15	150 32 X=t	177 01 1	204 05 5
124 43 RCL	151 73 RCL*In	178 95 =	205 85 +
125 03 3	152 04 4	179 42 Sto	206 53
126 72 Sto*In	153 42 Sto	180 00 0	207 73 RCL*In
127 04 4	154 03 3	181 43 RCL	208 02 2
128 69 * OP	155 75 -	182 08 8	209 55 %
129 24 24	156 08 8	183 65 X	210 43 RCL
130 32 X=t	157 95 =	184 73 RCL*In	211 07 7
131 55%	158 42 Sto	185 03 3	212 54

213 42 Sto	243 65 X	273 25 CLR	303 02 02
214 06 6	244 43 RCL	274 85 X	304 08 08
215 95 =	245 60 60	275 73 RCL*In	305 42 Sto
216 55 %	246 95 =	276 03 3	306 02 02
217 53	247 42 Sto	277 65 X	307 73 RCL*In
218 43 RCL	248 08 8	278 73 RCL*In	308 02 02
219 05 5	249 97 *DSZ	279 04 4	309 91 R/S
220 85 +	250 01 1	280 95 =	310 69 *OP
221 43 RCL	251 01 1	281 69 *OP	311 22 22
222 06 6	252 50 50	282 23 23	312 97 *DSZ
223 35 1/x	253 02 2	283 69 *OP	313 00 00
224 95 =	254 08 8	284 24 24	314 03 03
225 49 *PRD	255 42 Sto	285 97 *DSZ	315 06 06
226 07 7	256 02 2	28601 01	316 61 Sto
227 69 *OP	257 43 RCL	287 02 2	317 02 02
228 32 32	258 09 9	288 73 73	318 97 97
229 69 *OP	259 42 Sto	289 72 Sto	319 00
230 33 33	260 00 0	290 02 2	320 00
231 97 *DSZ	261 01 1	291 69 *OP	
232 00 0	262 08 8	292 22 22	
233 01 01	263 42 Sto	293 97 *DSZ	
234 80 80	264 01 1	294 00 00	
235 43 RCL	265 43 RCL	285 02 2	
236 07 7	266 02 2	296 60 60	
237 72 Sto*In	267 42 Sto	297 76 *Lb1	
238 04 4	268 04 4	288 13 C	
239 69*OP	269 06 6	299 43 RCL	
240 24 24	270 02 2	300 09 09	
241 43 RCL	271 42 Sto	301 42 Sto	
242 08 8	272 03 3	302 00 00	

T A B L A II

VALORES PARA EL VALLE DE COLOMO MANZANILLO, COL.

	PRECIPITACION (mm)	EVAPOTRANSPIRACION REAL (mm)	SEUDOPRECIPITACION ( mm )
ENE.	12.00	74.54	-62.54
FEB.	5.30	74.84	-69.54
MAR.	4.40	75.14	-70.74
ABR.	3.10	75.74	-72.64
MAY.	6.40	77.15	-70.75
JUN.	147.10	79.05	68.05
JUL.	145.70	86.26	59.44
AGO.	250.20	87.16	163.04
SEPT.	314.00	88.06	225.94
OCT.	130.50	84.16	46.34
NOV.	16.30	78.75	-62.45
DIC.	<u>13.40</u>	<u>72.13</u>	<u>-58.73</u>
Totales Anuales:	1048.40	953.03	95.42

Lámina de Infiltración anual = 95.42 mm/anales.

T A B L A II

VALORES PARA EL VALLE DE COLOMO MANZANILLO, COL.

	PRECIPITACION (mm)	EVAPOTRANSPIRACION REAL (mm)	SEUDOPRECIPITACION ( mm )
ENE.	12.00	74.54	-62.54
FEB.	5.30	74.84	-69.54
MAR.	4.40	75.14	-70.74
ABR.	3.10	75.74	-72.64
MAY.	6.40	77.15	-70.75
JUN.	147.10	79.05	68.05
JUL.	145.70	86.26	59.44
AGO.	250.20	87.16	163.04
SEPT.	314.00	88.06	225.94
OCT.	130.50	84.16	46.34
NOV.	16.30	78.75	-62.45
DIC.	<u>13.40</u>	<u>72.13</u>	<u>-58.73</u>
Totales Anuales:	1048.40	953.03	95.42

Lámina de Infiltración anual = 95.42 mm/anuales.

T A B L A III  
RESISTIVIDADES APARENTES

LINEA								
AB/2	A	B	C	D	E	F	G	H
10	6.0	9.2	42	33	48	68	135	20
	12.0	66	40	38	46	55	110	23
	80	76	42	38	42	62	72	34
	73	85	50	42	44	80	47	68
	37	40	52	51	73	111	44	109
	43	46	48	49	100	55	55	165
	50	60	71	60	80	55	105	
			55	105	100			
20	30	4.6		125	60	50	73	14
	6.6	44	44		85	36	59	19
	56	65	42	48	90	40	48	37
	55	70	42	47	160	50	35	70
	30	31	44	41	600	71	34	90
	32	46	-	45		42	44	
	32	47	50	58	50	42	56	6.5
		55	38	53	46			9.6
50	2.4		70	73	38	43	51	13
	10	8.6	55	107	34	32	44	30
	38	44		110	52	36	44	43
	38	53	36		62	34	33	57
	34	55	40	50	54	55	40	
	44	38	42	39	70	75	44	4.5
	29	64	44	38	46	98	38	9.3
		54	71	39	62			58
100	9.6		70	50	96	82	48	25
	19	28	132	80	96	29	37	35
	30	38	150	120	312	40	44	29
	33	36	37	185		25	38	
	45	38		190	50	53	125	
	100	65	25		39	125	70	
	18	320	29	34	34	175	42	
		320	28	26	33			
200	13		38	24	44	95	105	
	16	27	180	26	40	28	36	
	23	26	180	36	40	38	47	
	65	24	380	120				

A B C D E F G

80	50	175	180	75	23	80
460	150	98	540	86	150	230
15	380		450	140	115	150
	560	17		170	190	100
		26	24	110		
		22	18	210		
		60	18			
		-	16	40		
		240	47	28		
		460	230	22		
		200	180	30		
		160	460	96		
			550	38		
				38		
				100		
				130		
				220		
				210		
				500		
				140		
				28		
				18		
				21		
				35		
				140		
				60		
				60		
				83		
				105		
				170		
				175		
				750		
				86		



T A B L A IV

PARAMETROS DE DAR-ZARROUK PARA U<sub>3</sub>.

Emplazam.	Espesores (m)	Resistividad (ohmio-m)	R. Transv. (ohmio-m)	C. Longitud (mho)	Profundidad (mho)
C-1	224.4	42	9424.8	5.34	228.8
C-2	144.0	40	5760	3.6	157.5
C-3	184	40	7360	4.6	188
C-4	114.24	47	5369.28	2.43	141.44
C-5	150	43	6450	3.18	175
C-6	160	47	7520	3.40	185
C-7	144	41	5904	3.5	160
C-8	129.5	62	8029	2.08	155.4
C-9	45.5	34	1547	1.33	53.93
B-1	53.42	3.9	208.338	13.69	67.86
B-2	54	30	1620	1.8	84
B-3	80.6	65	5239	1.24	90.
B-4	37	60	2220	0.61	54.81
B-5	133	24	3192	5.54	154.62
B-6	143.2	30	4296	4.77	167.06
B-7	33	95	3135	0.34	101.9
A-1	43.18	1.75	75.565	24.67	53.58
A-2	50.7	5.5	278.85	9.22	64.22
A-3	46.50	38	1770.42	1.226	59.91
A-4	36.8	65	2392	0.566	65.1
A-5	172.38	30	5171.4	5.746	194.4
A-6	126.72	30	3801.6	4.224	153.12
A-7	85.48	32	2735.36	2.671	97.60
D-1	50.23	55	2762.65	0.91	61.15
D-2	78.75	48	3780	1.64	87.37
D-3	93.5	44	4114	2.125	103.6
D-4	86.46	46	3974.4	1.878	94.85
D-5	58.46	60	3507.6	0.974	77.50
D-6	207.01	48	9936.48	4.312	234.0
D-7	188.1	65	12226.5	2.89	207.1
D-8	95	67	6365	1.41	105.07
D-9	97.91	109	10672.19	0.89	109.56

T A B L A IV

PARAMETROS DE DAR-ZARROUK PARA U<sub>3</sub>.

Emplazam.	Espesores (m)	Resistividad (ohmio-m)	R. Transv. (ohmio-m)	C. Longitud (mho)	Profundidad (mho)
C-1	224.4	42	9424.8	5.34	228.8
C-2	144.0	40	5760	3.6	157.5
C-3	184	40	7360	4.6	188
C-4	114.24	47	5369.28	2.43	141.44
C-5	150	43	6450	3.18	175
C-6	160	47	7520	3.40	185
C-7	144	41	5904	3.5	160
C-8	129.5	62	8029	2.08	155.4
C-9	45.5	34	1547	1.33	53.93
B-1	53.42	3.9	208.338	13.69	67.86
B-2	54	30	1620	1.8	84
B-3	80.6	65	5239	1.24	90.
B-4	37	60	2220	0.61	54.81
B-5	133	24	3192	5.54	154.62
B-6	143.2	30	4296	4.77	167.06
B-7	33	95	3135	0.34	101.9
A-1	43.18	1.75	75.565	24.67	53.58
A-2	50.7	5.5	278.85	9.22	64.22
A-3	46.50	38	1770.42	1.226	59.91
A-4	36.8	65	2392	0.566	65.1
A-5	172.38	30	5171.4	5.746	194.4
A-6	126.72	30	3801.6	4.224	153.12
A-7	85.48	32	2735.36	2.671	97.60
D-1	50.23	55	2762.65	0.91	61.15
D-2	78.75	48	3780	1.64	87.37
D-3	93.5	44	4114	2.125	103.6
D-4	86.46	46	3974.4	1.878	94.85
D-5	58.46	60	3507.6	0.974	77.50
D-6	207.01	48	9936.48	4.312	234.0
D-7	188.1	65	12226.5	2.89	207.1
D-8	95	67	6365	1.41	105.07
D-9	97.91	109	10672.19	0.89	109.56

F-1	10,8	100	1080	0,108	12,60
F-2	10,86	25	271,5	0,434	14,66
F-3	43	36	15,48	1,19	53,0
F-4	52,5	34	1785	1,54	70
F-5	75	39	2925	1,92	82,5
F-6	93,15	36	3353,4	2,58	143,85
F-7	88,2	35	3087	2,52	109,2
E-1	232,5	50	11625	4,65	240
E-2	225	46	10350	4,89	229
E-3	201,6	39	7862,4	5,17	214,2
E-4	138,87	36	4999,32	3,85	154,3
E-5	50,64	40	2025,6	1,266	61,18
E-6	33	30	990	1,1	36,3
E-7	45,73	42	1920,66	1,08	59,59
E-8	41,84	57	2175,68	0,80	62,76
E-9	60,45	36	2176,2	1,68	79,95
E-10	51,94	50	2597	1,0388	134,25
E-11	115	60	6900	1,916	39,6
E-12	34,65	80	2772	0,433	
G-1	41,6	38	1580,8	1,09	46,6
G-2	53,2	36	1915,2	1,47	55,1
G-3	82,5	43	3547,5	1,92	87,5
G-4	116,88	28	3272,64	4,17	121,75
G-5	112,5	38	4275	2,96	117,5
G-6	110	40	4400	2,75	115,5
G-7	36,8	27	993,6	1,36	41,4
H-1	16,25	4	65	4,06	20
H-2	40	6	240	6,66	45
H-3	50,18	11	551,98	4,56	58,34
H-4	75	33	2475	2,27	83,1
H-5	37,26	40	1490,4	0,93	47,61
H-6	15	23	345	0,61	20

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Prospección y explotación de las aguas subterráneas; de la editorial Omega (1975) de G. Castany.
- (2) Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros; de la editorial Omega (1972) de D.P. Krynine - W.R. Judd., tercera edición.
- (3) Hidrogeología; de la editorial Ariel (1971) de S.N. Davis, R. De Wiest.
- (4) Hidrología subterránea; de la editorial Omega, Tomo I y II de E. Custodio M. R. Llamas, primera edición.
- (5) Exploración, cuantificación y aprovechamientos de los recursos hidráulicos subterráneos; división de educación continua de la facultad de Ingeniería U. N. A. M. (Noviembre 1980).
- (6) Registros de Pozos, Parte I. Teoría e interpretación; departamento general de reservas de hidrocarburos de Petróleo Mexicano (Verano de 1975); Orlando Gómez Rivero, primera edición.
- (7) Introduction to Geophysics; Company Huntington, New York (1978) de Benjamín Howell JR.

- (8) Exploración Eléctrica; editorial Reverté de I.U. V. Iakubosyskii.
- (9) Electrical Methods in Geophysical Prospecting, Colorado School of mines, Golden, Colorado U.S.A. de George V. Keller.
- (10) Ediciones promovidas por la dirección general de carreteras del ministerio de obras públicas. J. González Montero y Dr. Ing. de Minas.
- (11) Prospección Geoeléctrica en corriente continua; editorial Paraninfo (1972) de Ernesto Orellana.
- (12) Applied Geophysics; Cambridge University (1976) de W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff, D. A. Keys.
- (13) Introducción a la prospección geofísica; editorial Omega (1975) de Milton B. Dobrin, segunda edición.
- (14) Fundamentos de la interpretación de perfiles; documento de la Schlumberger (1968).
- (15) Curso de prospección gravimétrica; editorial Reverté (1977) de V. V. Mirónov.
- (16) Direct Applications of the "Dar Zarrouk" parameters in

Ground Water Surveys; Geophysical prospecting (1976) de  
J. P. Henriot. J. R.

- (17) Estudio Geohidrológico sucesivo del comportamiento Hidrodinámico del Valle de el Colomo P.T. Manzanillo, Col.; Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Estudios e Ingeniería Preliminar; Sub-Gerencia de Ingeniería Básica Area de Geología y Minería (1977).
- (18) III Reunión Nacional de Geotecnia y Geotermia; memoria Tomo I, México 1980, Comisión Federal de Electricidad.
- (19) Estudio Sucesivo de la Intrusión Marina en el Valle del Colomo, Col. (1982); Comisión Federal de Electricidad, Residencia de Estudios Geofísicos para Plantas Térmicas.
- (20) Estudio Geofísico de Refracción Sísmica en el área de Manzanillo - el Colomo (1977); Comisión Federal de Electricidad, Brigada de Evaluación y Estudios Especiales.
- (21) Prospección Gravimétrica en el área de el Colomo, Col. (1981); Comisión Federal de Electricidad, Brigada de Evaluación y Estudios Especiales.