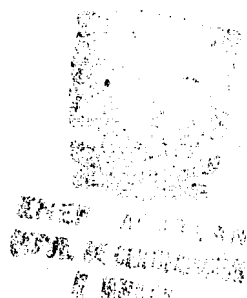




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACATLAN



**HIDROLOGIA SUBTERRANEA PRELIMINAR
DE LA ZONA DEL CAMPO CANTICAS, VER**

TESIS

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADA POR

JULIO CESAR PEREZ RICARDEZ

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



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
ACATLÁN

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLÁN
COORDINACIÓN DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA

CI/175/83.

SR. JULIO C. PEREZ RICARDEZ
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
P r e s e n t e .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 31 de Enero de 1983, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Hidrología Subterránea Preeliminar de la Zona del Campo Canticas, Ver." el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción y Antecedentes
- Cap. I.- Teoría descriptiva del flujo de agua en medios porosos
 - Cap. II.- Recopilación e Interpretación de la Información de Campo.
 - Cap. III.- Características, Piezometría y Balance Geohidrológico
 - Cap. IV.- Alternativas de Explotación
- Conclusiones y Recomendaciones
Bibliografía

Así mismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Vladimir Hernández López profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Acatlán, Edo. de Méx. a 8 de Noviembre de 1983.

ING. ALEJANDRO RAMÍREZ SEGURA
Coordinador del Programa de
Ingeniería. ENLP - ACATLÁN

COORDINACIÓN DEL
PROGRAMA DE INGENIERÍA

I N D I C E

	P A G .
CAPITULO I.- INTRODUCCION	1
I.1 ANTECEDENTES	3
I.2 OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO	5
I.3 METODOLOGIA DE TRABAJO	6
I.4 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.	8
CAPITULO II.- TEORIA DESCRIPTIVA DEL FLUJO DE AGUA EN MEDIOS POROSOS.	11
II.1 EL CICLO HIDROLOGICO	13
II.2 DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO	17
II.3 PROPIEDADES DE LAS ROCAS QUE FORMAN ACUIFEROS SUBTERRANEOS.	20
II.4 TIPOS DE ACUIFEROS	23
II.5 CONCEPTOS BASICOS Y PROPIEDADES DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA.	28
CAPITULO III.- RECOPIACION E INTERPRETACION DE LA INFORMACION DE CAMPO.	42
III.1 CENSO DE APROVECHAMIENTOS	45
III.1.1 NIVELACION DIFERENCIAL	50
III.2 HIDROGEOLOGIA GENERAL	51
III.2.1 GEOLOGIA	53
III.2.2 UNIDADES LITOLOGICAS	56
III.2.3 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO	59
III.3 OBSERVACIONES PIEZOMETRICAS	63
III.4 PRUEBAS DE BOMBEO	69

	P A G .
III.5 GEOFISICA	83
III.5.1 INTERPRETACION DE LA GEOFISICA	109
III.6 HIDROLOGIA SUPERFICIAL Y CLIMATOLOGIA	121
III.7 CALIDAD DEL AGUA	132
CAPITULO IV.- CARACTERISTICAS, PIEZOMETRIA Y BALANCE GEOHIDROLOGICO	138
IV.1 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS Y ESTRATIGRAFICAS DE LOS ACUIFEROS	140
IV.2 CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DEL ACUIFERO	143
IV.3 APLICACION DE LA TEORIA DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SUB- TERRANEA EN MEDIOS POROSOS	145
IV.3.1 BALANCE GEOHIDROLOGICO	147
IV.4 DISPONIBILIDAD HIDRAULICA	152
CAPITULO V. ALTERNATIVAS DE EXPLOTACION, CONCLUSIONES Y RECOMEN- DACIONES.	154
V.1 CONCLUSIONES	156
V.2 RECOMENDACIONES	160

BIBLIOGRAFIA

I.- INTRODUCCION.

En todo aprovechamiento de recursos hidráulicos tanto de fuentes de aguas superficiales, como subterráneas, se hace necesario llevar a cabo, un estudio previo que nos permita conocer, las características tanto de la fuente en explotación, como de las propiedades del agua obtenida.

En el caso del agua subterránea, que es aquella que se encuentra contenida o comprendida dentro de los vacíos de un estrato geológico, la materia que se encarga de su estudio es la Hidrología - Subterránea o Geohidrología, la cual es una rama de la Hidráulica y trata de la presencia, movimiento, recarga, descarga y almacenamiento del agua subterránea, así como de las propiedades de las rocas que controlan su movimiento, métodos de investigación y su utilización adecuada.

En nuestro país, donde existen muchas zonas con escasa información Geohidrológica, se hace necesario iniciar prácticamente estos estudios, con la prospección o búsqueda del agua subterránea, fijando los sitios que nos brinden las condiciones ideales para la realización de las exploraciones geofísicas y de las perforaciones, y, posteriormente en otras etapas dentro de la metodología de la investigación de los recursos hidráulicos, es conveniente establecer un marco geohidrológico o modelo conceptual, que nos sirva de base para la interpretación del funcionamiento de los acuíferos a fin de definir las zonas de explotación mas convenientes, o en su caso señalar las políticas de extracción del agua subterránea.

Ante la necesidad de conocer el funcionamiento de los

acuíferos desde el punto de vista hidráulico, se lleva a cabo el presente trabajo, de la actual fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Coatzacoalcos Ver. Denominada, zona de pozos del Campo Canticas; la cual se encuentra ubicada, al surceste de la zona urbana de Coatzacoalcos. Determinándose en el presente trabajo, la capacidad máxima de aprovechamiento de agua que se puede obtener de estos acuíferos, la calidad de la misma, así como conocer también, la interrelación existente, con los acuíferos y aprovechamientos que los rodean.

La zona en estudio, presenta en la actualidad un total de 53 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales, 32 son pozos, 20 norias y un manantial. Beneficiando con sus aguas en un alto porcentaje, a la zona urbana de Coatzacoalcos, y en su parte surceste, a diversos particulares. Por este motivo, la asignación del presente estudio, correspondió hacerlo, a la Junta Local De Agua Potable Y Alcantarillado de Coatzacoalcos Ver. Organismo dependiente de la Secretaría de Asentamientos Humanos Y Obras Públicas, ahora S.D.U.E; Encomendando la realización de éste trabajo, a la Compañía Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A.

Para una mejor comprensión de éste trabajo, primeramente se mencionan los conceptos teóricos elementales, y posteriormente, se complementa con figuras, gráficas y planos. Procurando seguir una secuencia lógica en la explicación y desarrollo de las actividades que se llevaron a cabo.

I.1.- ANTECEDENTES.

Las principales necesidades que se pretenden satisfacer, con la extracción proveniente de la zona en estudio, son para tres usos fundamentales: Potable, Doméstico e Industrial, por lo que de ésta manera, podemos conocer que las características del agua extraída deben de ser de muy buena calidad.

En un principio, se contempló la idea de satisfacer estas necesidades, por medio de las aguas que escurren por los Ríos Calzadas, Colorado y Coatzacoalcos; pero en virtud del alto contenido de contaminantes por su cercanía con el mar, que contienen estos tres Ríos, así como por el uso que se les da, se tendría que contar con una planta potabilizadora para poder utilizar dichas aguas. Repercutiendo esto de una forma muy notable en el aspecto económico, por lo que se desechó esta idea, y definitivamente se trató de satisfacer al máximo las necesidades de agua de esta parte de la población, con las provenientes del subsuelo de la zona del Campo de Pozos Cánticas, así como de la presa localizada en el Complejo La Cangrejera, misma que por encontrarse en etapa de construcción y a una distancia de 30 Kms., se desechó por el momento.

Los acuíferos de la zona surcoeste de Coatzacoalcos, han venido siendo explotados desde hace varios años, de una forma desmesurada y sin control; existiendo datos de perforaciones de pozos desde el año de 1947. Otras mas a partir de 1962 y algunas que se desconoce su fecha de perforación. La gran mayoría de estas perforaciones se realizaron basadas en métodos empíricos.

Por lo que respecta a la zona urbana de Coatzacoal-

cos, cabe mencionar que originalmente se abastecía de agua, por unas captaciones denominadas Norias Municipales, localizadas dentro de la misma población, de donde se enviaba por medio de bombeo un caudal de 15 l.p.s., a estas obras se agregaron dos Galerías Filtrantes que proporcionaban un gasto de 25 l.p.s. las cuales en la actualidad se encuentran agotadas.

Debido al crecimiento demográfico acelerado de la zona urbana, las obras antes mencionadas no fueron suficientes para satisfacer las necesidades de agua de la población; por lo que en los años de 1968 y 1969, se construyeron nuevas obras de reestructuración de dicho sistema. Dicha reestructuración consistió en la localización y perforación de cuatro pozos profundos de agua en la zona denominada Campo Canticas. Mismos que por sus características pueden formar parte del área que nos brinde una mayor cantidad de agua, así como la calidad requerida de la misma.

I.2.- OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO.

En virtud del acelerado crecimiento de la población -- de Coatzacoalcos registrado en los últimos años; y por consiguiente -- de un incremento en la demanda de agua, es necesario aumentar el suministro de la misma, para esta población, para lo cual, se tiene planeado satisfacer esta necesidad por medio de dos fuentes, una de ellas representada por la zona de pozos del Campo Canticas, y la otra, por la Presa La Cangrejera, presentando esta última el inconveniente de -- que se encuentra a una distancia de 30 Kms. y como ya se mencionó, en proceso de construcción.

El objetivo principal de este estudio, es el de determinar aún con los aprovechamientos actuales en operación, en cuanto -- es posible incrementar la extracción de agua subterránea, sin provocar efectos perjudiciales (asentamientos, intrusión salina, etc.) en los alrededores y en la misma zona seleccionada para satisfacer esta necesidad, así mismo, cumpliendo con las características de calidad -- del agua requerida.

Igualmente, se pretende establecer un marco geohidrológico o modelo conceptual que sirva de base para la interpretación del funcionamiento de los acuíferos, con el objeto de definir las zonas -- de explotación mas convenientes, así como la determinación del número de pozos, su diseño en cuanto a características de construcción, localización y espaciamientos mas convenientes.

I.3.- METODOLOGIA DE TRABAJO.

Para la elaboración del presente trabajo, se llevan a cabo diversas actividades, las cuales se interrelacionan, siguiendo una secuencia lógica para lograr los objetivos planteados.

El primer paso consiste en la recopilación de la información existente sobre la zona en estudio, constituida principalmente por planos topográficos, geológicos, pares estereoscópicos, etc. Llevándose a cabo posteriormente una interpretación de la información existente, elaborandose con esto el plano base de actividades de campo por desarrollar, localizadas estratégicamente, para un mejor resultado.

Una vez hecho lo anterior, se procede a realizar las actividades de campo necesarias, solicitando para esto los permisos correspondientes. Iniciando con el censo de aprovechamientos existentes, ésto con la finalidad de conocer el régimen de explotación al que se encuentran sometidos los acuíferos, describiendo las características principales de los mismos, sirviéndonos esto, para seleccionar los aprovechamientos que cumplan con las características propias para llevar a cabo otras actividades de campo, tales como: pruebas de bombeo, muestreos de agua, etc. Posteriormente se lleva a cabo una nivelación diferencial, esto con el objeto de conocer la elevación de los brocales de los pozos con respecto al nivel medio del mar, siendo de gran utilidad para la realización de actividades posteriores. Enseguida, se determina la hidrogeología de la zona, mediante interpretaciones y observaciones directas, siendo de gran importancia para conocer el marco geológico de la zona en estudio.

Para la determinación de las características y calidad del agua en cuestión, se realizan muestreos de agua en algunos de los aprovechamientos existentes, tanto superficiales como subterráneos. Posteriormente se determina la hidrología superficial de dicha zona, con la finalidad de conocer la influencia de los fenómenos climatológicos tales como lluvia, evaporación, transpiración, etc. Así como su relación con los ríos, esteros, etc.

Finalmente se lleva a cabo una exploración geofísica por el método de resistividad eléctrica, siendo el objetivo de esta actividad, el de determinar las fronteras, límites, y espesores de los estratos geológicos, por medio de sus resistividades. Conociéndose y delimitándose de esta forma la geometría de los acuíferos.

Posteriormente a las actividades de campo y aplicando los principios que rigen el flujo de agua en medios porosos, se determina el comportamiento actual y futuro de los acuíferos, así como las características de las perforaciones a realizar, tales como cantidad, distribución y régimen de operación.

I.4.- LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

La zona del Campo Cantícas se localiza en el sureste de la República Mexicana, y al suroeste de la zona urbana de Coatzacoalcos en el estado de Veracruz. Como se muestra en la figura No. 1 se localiza en la intersección del meridiano $94^{\circ}25'$ y el paralelo $18^{\circ}09'$ a una distancia aproximada de 14 Kms. de la zona urbana. Cubriendo una superficie del orden de 132 Km^2 . Limitada al norte, por el litoral del Golfo de México, al sur, un estero parcialmente navegable y alimentado por el río Coatzacoalcos. Y al occidente por la margen derecha del río Calzadas desde su confluencia con el río Huazuntlán. Así mismo, se comunica con las ciudades de Minatitlán y Coatzacoalcos a través de una carretera que cruza el cauce del río Calzadas y bordea el estero que alimenta esta corriente.

La zona en estudio se encuentra a una elevación promedio de 20 m.s.n.m. con algunas partes que no sobrepasan los 30 m. s.n.m. Con una topografía bastante plana que reconoce como nivel base el Golfo de México.

Fisiográficamente, podemos decir que la zona en estudio es típicamente costera con características de inundación constituida por dunas y depósitos eólicos con áreas de estero que presentan el nivel freático en la superficie.

La topografía de la región es prácticamente plana, interrumpida por algunas ondulaciones del terreno, donde se aprecia la zona de dunas.

Los escurrimientos superficiales que se encuentran en esta zona, son permanentes, y en ocasiones propician inundaciones cuando se presentan avenidas en la época de lluvia. Sin embargo, hay

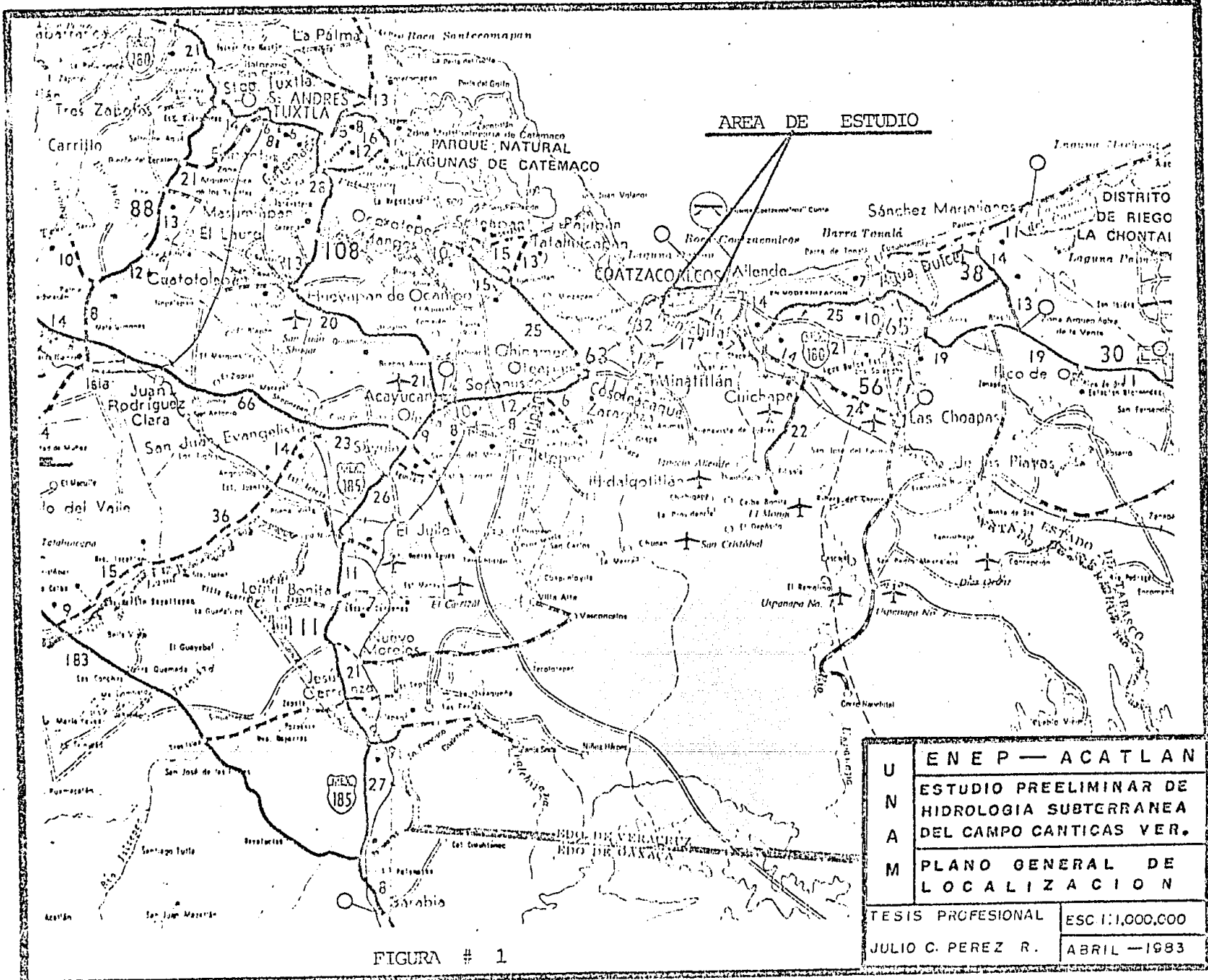


FIGURA # 1

U N A M	ENEP — ACATLAN
	ESTUDIO PRELIMINAR DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA DEL CAMPO CANTICAS VER.
	PLANO GENERAL DE LOCALIZACION
TESIS PROFESIONAL	
JULIO C. PEREZ R.	
ESC 1:1,000,000	
ABRIL — 1983	

que mencionar que el río Coatzacoalcos, tiene válvulas de escape a través de los esteros donde desembocan afluentes que permiten almacenar temporalmente cantidades importantes de agua que no pueden ser conducidas por el cauce principal.

II.- TEORIA DESCRIPTIVA DEL FLUJO DE AGUA EN MEDIOS POROSOS.

En este capítulo se describe la teoría elemental que rige el movimiento del agua subterránea, con la finalidad de establecer los principios que se utilizan para la solución del problema planteado.

El agua subterránea ha sido explotada y estudiada desde hace varios siglos, se habla de grandes túneles de agua subterránea construidos en Persia y Egipto 800 años antes de Jesucristo. Escritores y filósofos Griegos y Romanos trataron de explicar el origen de las fuentes del agua subterránea; donde sus teorías van desde las más pura fantasía hasta un acercamiento muy próximo a la realidad. Dichos filósofos tales como Homero, Platón, Aristóteles, Séneca y Plinio, hacían sus hipótesis y conjeturas sin aportar algo definitivo para el desarrollo de esta ciencia. Sin embargo un arquitecto Romano -- llamado Vitruvius realizó algunos estudios, logrando explicar la teoría del comportamiento de la infiltración del agua en el suelo, misma que es aceptada hoy en día. Pero esto tuvo que ser hasta el siglo -- XVIII, que es cuando por primera vez las teorías estuvieron basadas -- en la observación y en los datos cuantitativos. Pudiéndose medir la -- lluvia, demostrando con esto que el agua de lluvia era suficiente para la recarga de los ríos, también se midió la evaporación del agua -- de los mares, demostrándose de esta manera que la evaporación de agua proveniente de los mares era suficiente para explicar todas las fuentes y corrientes de agua del planeta.

Por medio de estas demostraciones se va teniendo un -- panorama claro del ciclo hidrológico; además de que se establecieron

los fundamentos de la geología.

En la primera mitad del siglo XIX, el Ingeniero Hidráulico Henry Darcy (1803 - 1858) dió a conocer la Ley de Darcy, que explica la teoría del flujo del agua subterránea en los aluviones y formaciones sedimentarias.

II.1.- EL CICLO HIDROLOGICO.

El ciclo hidrológico es un sistema circulatorio que incluye e interrelaciona prácticamente la totalidad del agua existente en nuestro planeta. Solo quedan incluidas en este sistema las llamadas "aguas fósiles" o "aguas congénitas", las cuales son generadas por procesos magmáticos o metamórficos, y son atrapadas en las formaciones geológicas; pero en su cuantía no es de considerarse con respecto al volumen de las aguas comprendidas en el ciclo hidrológico.

Hoy en día, asociamos ya casi instintivamente cualquier variación en las precipitaciones en las aguas superficiales y subterráneas, como oscilaciones parciales de un sistema complejo en el que todas las aguas circulantes de la Tierra se encuentran incluidas e interrelacionadas. Este sistema complejo y funcional es conocido como el Ciclo Hidrológico.

Los océanos son los inmensos depósitos de los cuales procede toda el agua de dicho ciclo, a los cuales retorna. En el caso mas general del ciclo hidrológico, el agua es evaporada desde los océanos por la influencia de los rayos solares, formandose de esta manera las nubes, las cuales son transportadas hacia los continentes por medio de las corrientes de aire, posteriormente las nubes se condensan y se precipitan en forma de lluvia, la cual a su vez es conducida sobre la superficie, por medio de los ríos, y en el subsuelo por medio del flujo subterráneo, regresando de esta manera a su punto de partida, los océanos.

Sin embargo, el ciclo hidrológico presenta muchas derivaciones en el transcurso de su desarrollo, lo cual para hacerlo

mas explícito se indica en la figura número 2.

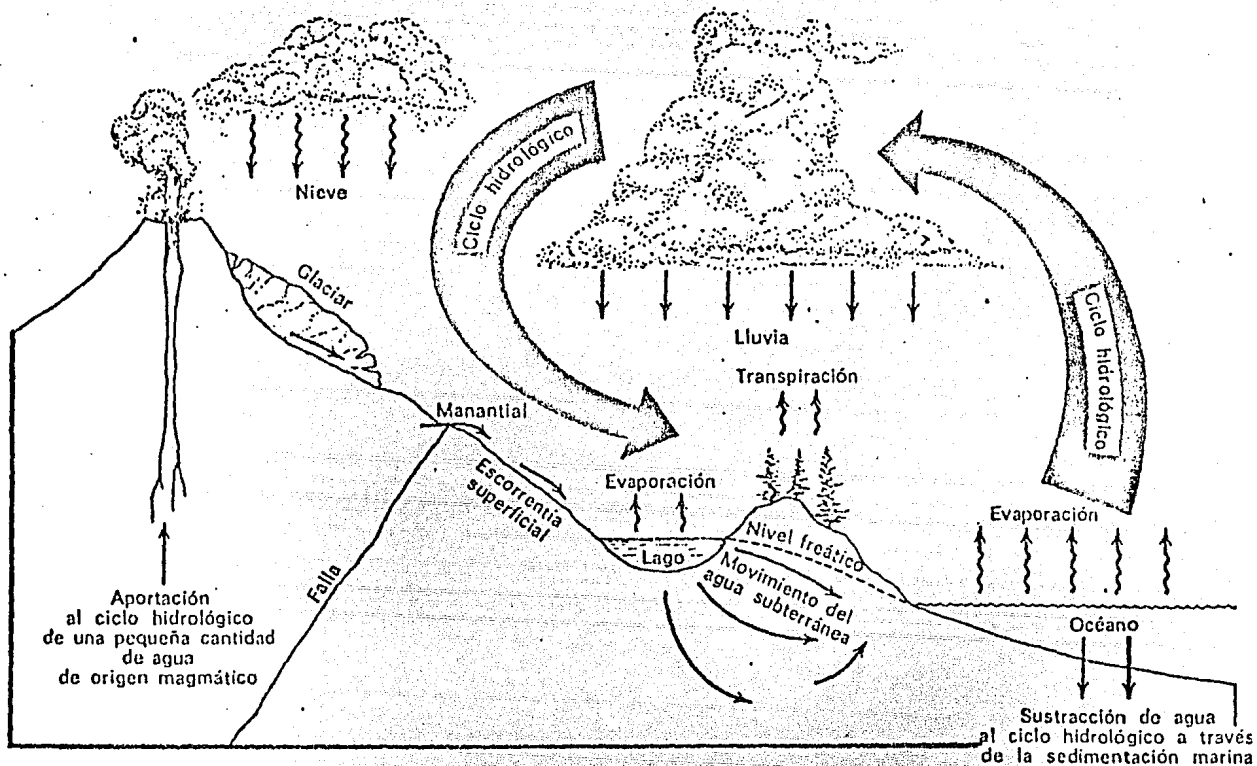


FIGURA # 2 .- EL CICLO HIDROLOGICO.

Como podemos observar, el agua precipitada sobre la superficie de la tierra, se distribuye en la forma siguiente: Una gran parte retorna a la atmósfera a través de la acción combinada de la evaporación, la transpiración y la sublimación, los cuales son en esencia tres variantes de un único proceso debido a la acción de la energía solar, que es la que mantiene el ciclo hidrológico en marcha; estos conceptos se pueden considerar bajo la denominación de evapotranspiración. Otra parte del agua es la que escurre sobre la superficie del terreno filtrándose una parte de ésta en el subsuelo, quedando expresado lo anterior de la siguiente manera:

$$P = Ev + S + I$$

Donde:

(P) = Cantidad de agua precipitada

(Ev) = Evapotranspiración real.

(S) = Volúmen de escurrimiento superficial

(I) = Volúmen de infiltración.

La expresión anterior es denominada "ECUACION DEL CICLO HIDROLOGICO" en su forma mas simple.

La recarga de los acuíferos y la circulación subterránea del agua hasta las zonas de descarga, representan la parte del ciclo hidrológico que tiene lugar en el subsuelo. Existe una estrecha relación entre el agua subterránea y los fenómenos que complementan el ciclo hidrológico. En efecto, la precipitación pluvial constituye la principal fuente de recarga de los recipientes subterráneos. Existe también una contribución conocida con el nombre de recarga artificial, la cual ocurre por el exceso de riego, filtración en los canales de conducción o distribución de agua, y el agua utilizada con la finalidad de aumentar la reserva del almacenamiento subterráneo. El agua de mar también puede introducirse en los acuíferos a lo largo de los litorales donde el gradiente hidráulico es hacia el interior de la tierra. La infiltración es pues, el fenómeno mediante el cual el agua ingresa al subsuelo, y eventualmente llega a la zona de saturación.

Las descargas del agua subterránea ocurren cuando ésta emerge del interior; la descarga natural es cuando el agua fluye hacia la superficie en forma de manantiales, norias, ríos y lagos; aquí el fenómeno de infiltración se invierte, ya que ahora, como podemos observar el acuífero es el que alimenta con sus aguas a las fuentes -

que originalmente, como mencionamos, lo pudieron haber alimentado a él.

Por otra parte, podemos ver que el agua subterránea -- que se encuentra muy cerca de la superficie de la capa de la corteza Terrestre, puede regresar directamente a la atmósfera por medio de la evaporación, o indirectamente por la transpiración de las plantas. Pero indiscutiblemente, la mayor descarga de los recipientes del agua subterránea la constituyen las extracciones de agua por medio de la perforación de pozos.

De esta manera podemos observar la gran importancia -- que juegan los fenómenos que integran el ciclo hidrológico con respecto al agua subterránea.

II.2.- DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO

Es muy difundida la creencia de que en el subsuelo

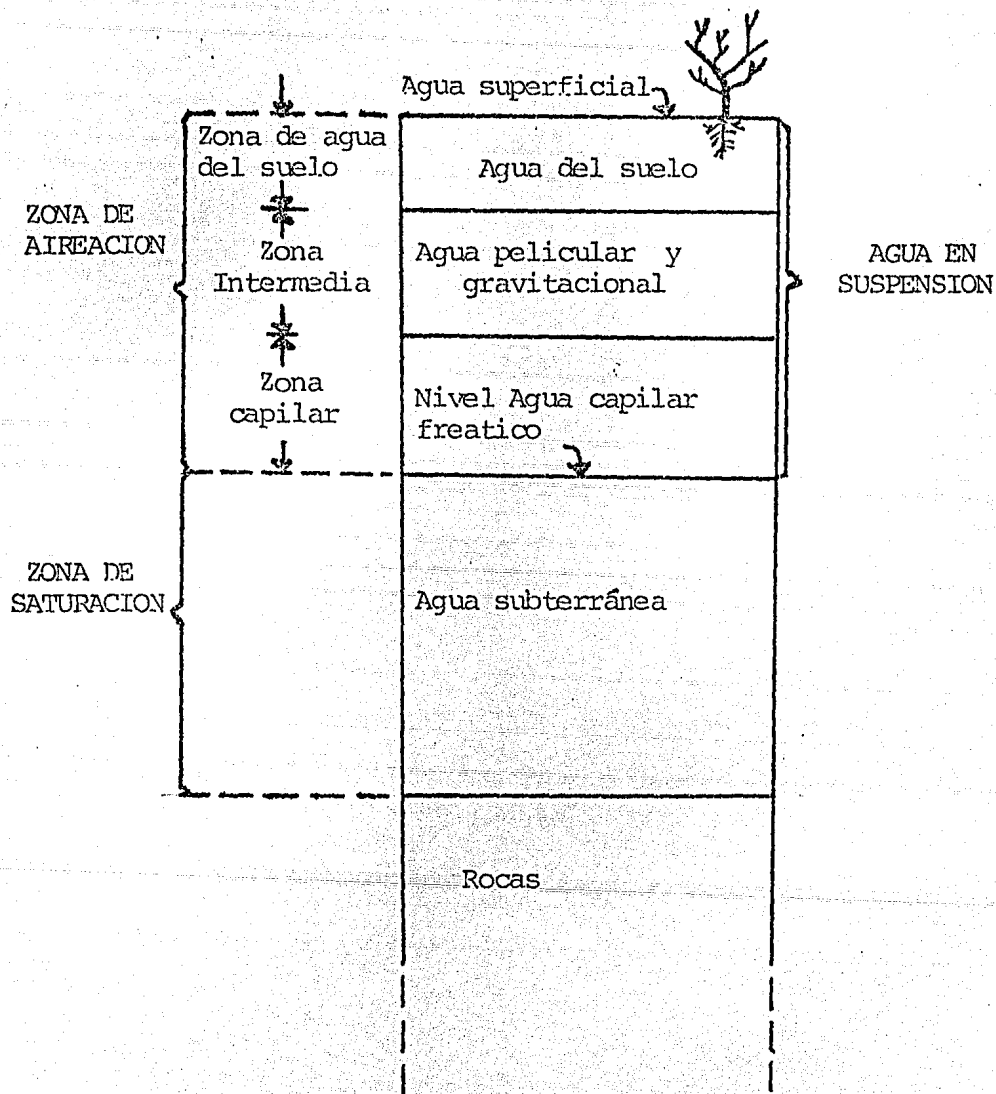


FIGURA # 3

Distribución del agua en el subsuelo

El agua se encuentra formando enormes lagos subterráneos o corrientes muy localizadas que fluyen a lo largo de conductos de gran tamaño. Sin embargo, aunque así se presenta en algunos acuíferos constituidos por rocas volcánicas o rocas carbonatadas; en la gran

mayoría de los casos el agua circula y se almacena en los poros que dejan entre sí las partículas de material , es decir, en un medio poroso. El agua subterránea comprende las aguas medias que ocupan los vacíos dentro de un estrato geológico.

En el subsuelo el agua se encuentra distribuída en dos grandes zonas, como se puede apreciar en la figura número 3 . La primera zona, denominada de aereación o no saturada y la segunda llamada zona de saturación. Y es precisamente esta última, la zona de saturación dónde se encuentra la mayor cantidad de agua y que es de gran utilidad para los fines que se persiguen en el presente trabajo.

La zona no saturada o de aeración se encuentra -- comprendida entre la superficie del terreno y el nivel freático, estando parcialmente saturada ; y se subdivide en zona de agua del suelo, zona intermedia y zona capilar.

La zona de agua del suelo, denominada primera zona o capa superior dentro de la zona no saturada, se encuentra constituída por suelo y otros materiales, el contenido del agua varía continuamente y está influenciada por lluvia, riego, drenaje y evapotranspiración. Abajo de esta capa se encuentra la zona intermedia la cual contiene el agua "pelicular", adherida a los granos. Y temporalmente agua "gravitacional" que fluyen verticalmente hacia la zona saturada durante los períodos de infiltración. Inmediatamente abajo de la zona intermedia, se encuentra la zona capilar ; el espesor de esta capa depende de la granulometría del material y de las fluctuaciones del nivel del agua. En materiales finos la altura capilar puede ser de varios metros, --

pero el agua asciende lentamente. En materiales gruesos la altura capilar es del orden de centímetros y el agua asciende rápidamente.

Posteriormente, abajo de la zona capilar, última capa de la zona de aereación se encuentra el nivel freático el cual es el límite superior de la zona de saturación. Todos los estratos que se encuentran por abajo del nivel freático y que forman parte del acuífero podemos decir que se encuentran saturados.

II.3.- PROPIEDADES DE LAS ROCAS QUE FORMAN ACUIFEROS SUBTERRANEOS

La descripción del afloramiento del agua subterránea - está basada en las condiciones que rodean su existencia, la distribución que tienen en la superficie y en profundidad, así como la extensión que ocupan las cuencas. Se necesita identificar la estructura de sus cuencas geológicas en términos de agua - terreno y agua - capacidad de rendimiento. Los estratos de la sub-superficie son los que gobiernan la distribución y movimiento del agua, ya que la geología desempeña un importante papel en la formación del agua subterránea. Las fuentes y manantiales al igual que las grandes extensiones heladas, - las debemos considerar como afloramientos especiales del agua subterránea.

El agua subterránea se presenta en formaciones geológicas que, según datos el 90% consisten en rocas no consolidadas (principalmente gravas y arenas), formando los acuíferos, palabra de origen latín cuyo significado es "portador de agua", que tienen una estructura que permite apreciar los movimientos del agua a través de ellos bajo ciertas condiciones especiales. Los embalses de agua subterránea y la presencia de las formaciones de agua (en formas de capas, estratos o depósitos) se suelen utilizar como sinónimos, en contraposición con las capas confinantes que son formaciones impermeables. Las cuales -- pueden contener agua pero en cantidades poco considerables. Un ejemplo de esto los tenemos en las arcillas y en el granito, que son formaciones impermeables que no pueden contener ni transmitir agua.

Cuando una roca o suelo tiene espacios libres que no - están ocupados por minerales sólidos, entonces cabe la posibilidad de

que estos espacios los ocupe el agua. Estos vacíos reciben el nombre de intersticios y poros. Dado que estos vacíos pueden actuar como conductores del agua su estudio tiene una importancia fundamental para el flujo del agua subterránea. A estos poros se les caracteriza por su tamaño, forma, irregularidades y distribución.

Los poros originales se crean en los procesos geológicos que rigen el origen de la formación de los estratos y se encuentran en las rocas sedimentarias y en las ígneas.

Los poros secundarios se desarrollan una vez que la roca ha sido formada; ejemplos típicos de esto los tenemos en las fracturas, soluciones abiertas y las formaciones debidas a los animales y a las plantas. Estos poros se pueden clasificar por el tamaño que tienen en: capilares, super capilares y sub capilares.

Los poros capilares son lo suficientemente pequeños para que las fuerzas debidas a la presión superficial mantengan el agua dentro de ellos, los poros super capilares son mayores que estos y los subcapilares son tan pequeños que el agua se mantiene en ellos debido a las fuerzas adhesivas.

La estructura que tienen los poros de las rocas pueden ser en forma de malla, es decir conectados unos a otros o estar aislados entre sí.

La porosidad de una roca o de un suelo nos da una medida del contenido de poros, se mide como el porcentaje de espacios vacíos en relación al total de volumen ocupado por la masa.

En relación con el consumo del agua subterránea, los depósitos granulares sedimentarios son los de mayor importancia; la porosidad de estos depende de la forma y disposición de las partículas

individuales, distribución por tamaños así como grados de cementación y compactación.

II.4.- TIPOS DE ACUIFEROS

Podemos definir a los acuíferos subterráneos en cuatro categorías diferentes, basándonos en su forma de aparición u ocurrencia en: cursos de agua, valles abandonados o enterrados, llanuras y valles entre montañas.

Los cursos de agua consisten en aluviones que se forman y se extienden bajo ríos y canales. Los pozos que se localizan en estratos con permeabilidad alta y que bordean corrientes de agua, producen grandes cantidades de la misma; por la infiltración de agua de los ríos.

Los valles enterrados o abandonados son en general pequeños y están ocupados por corrientes que se forman con ellos, aunque tales valles pueden asemejarse a los cursos de agua en permeabilidad y magnitud de embalse de agua subterránea, los rendimientos y la capacidad son bastante más pequeños.

Las llanuras son planicies que están enterradas junto con sedimentos no consolidados. En algunos lugares las capas de arena y de grava forman importantes acuíferos, en cambio en otros los acuíferos son pequeños y tienen un rendimiento muy limitado. Estas planicies pueden estar sobre tierras altas que sirven como fuentes a los depósitos sedimentarios; las reservas del agua subterránea se cambian principalmente en zonas accesibles para las filtraciones de agua debida a las precipitaciones y a otras corrientes ocasionadas.

Los valles entre las montañas están enterrados por tremendos volúmenes de material rocoso no consolidado, derivados por la erosión de las montañas del contorno. Las arenas y capas de grava

de estos acuíferos producen grandes cantidades de agua, la mayoría de la cual proviene de la filtración de corrientes dentro de aluviones -- que van a parar a regiones montañosas.

En general, la mayoría de los acuíferos son grandes zonas extendidas que pueden considerarse como almacenes de reservas del agua subterránea. El agua puede pasar a la reserva mediante un cambio natural o artificial, sin embargo, el nivel del agua reemplazada representa solamente una pequeña fracción de la capacidad total de almacenaje.

Podemos hacer una segunda clasificación de los acuíferos subterráneos basándonos en las características hidrodinámicas de los materiales que los forman así como de la presencia o no del nivel freático en: confinados, no confinados, colgados y semiconfinados.

Acuífero no confinado o libre es aquel almacenamiento en el cual el nivel freático sirve como superficie de la zona de saturación. El nivel freático varía según la recarga, el tipo de terreno, el bombeo de los pozos y la permeabilidad de los estratos, así -- como de los cambios de volumen de agua embalsada en el acuífero. A -- este tipo de acuíferos se le conoce también con el nombre de acuíferos libres, freáticos, o no artesianos. Debido esto a que no existe un estrato impermeable sobre su zona de saturación, como lo podemos observar en la figura # 4.

Los mapas de contorno y los perfiles del nivel freático en este tipo de acuíferos se pueden preparar a partir de las elevaciones del agua en los pozos realizados en el acuífero no confinado y nos sirven para determinar la cantidad de agua disponible, según su distribución y movimiento. Cabe mencionar aquí que para este tipo de

acuíferos el coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico.

Los acuíferos confinados son aquellos en los cuales el agua subterránea se encuentra sometida a una presión mucho mayor que la atmosférica y rodeada de estratos relativamente impermeables, es por esto, que también se les conoce como acuíferos artesianos o acuíferos a presión.

Si se hace una perforación mediante un pozo en este tipo de acuíferos, se observará que el nivel del agua experimenta una elevación por encima del nivel del estrato impermeable o semi impermeable superior del acuífero. Esto lo podemos observar en la figura # 4, donde se aprecia que el agua entra en un acuífero confinado en una zona donde el confinamiento de los estratos llegan hasta la superficie o terminan antes y el acuífero puede llegar a ser no confinado. A la región que suministra el agua a un acuífero se le conoce con el nombre de "zona de recarga".

Las elevaciones y descensos del agua en pozos que penetran en acuíferos confinados, resultan principalmente de cambios en la presión más que de cambios en el volumen. Por consiguiente, los acuíferos confinados tienen pequeños cambios en el volumen y sirven principalmente como conductores, transportando el agua de las zonas de recarga a otros terrenos en los que se necesita el agua. La superficie piezométrica en este tipo de acuíferos es una superficie imaginaria que coincide con el nivel hidrostático del agua, el nivel del agua que tiene un pozo que penetra en un acuífero confinado, nos define la elevación de la superficie piezométrica en ese punto.

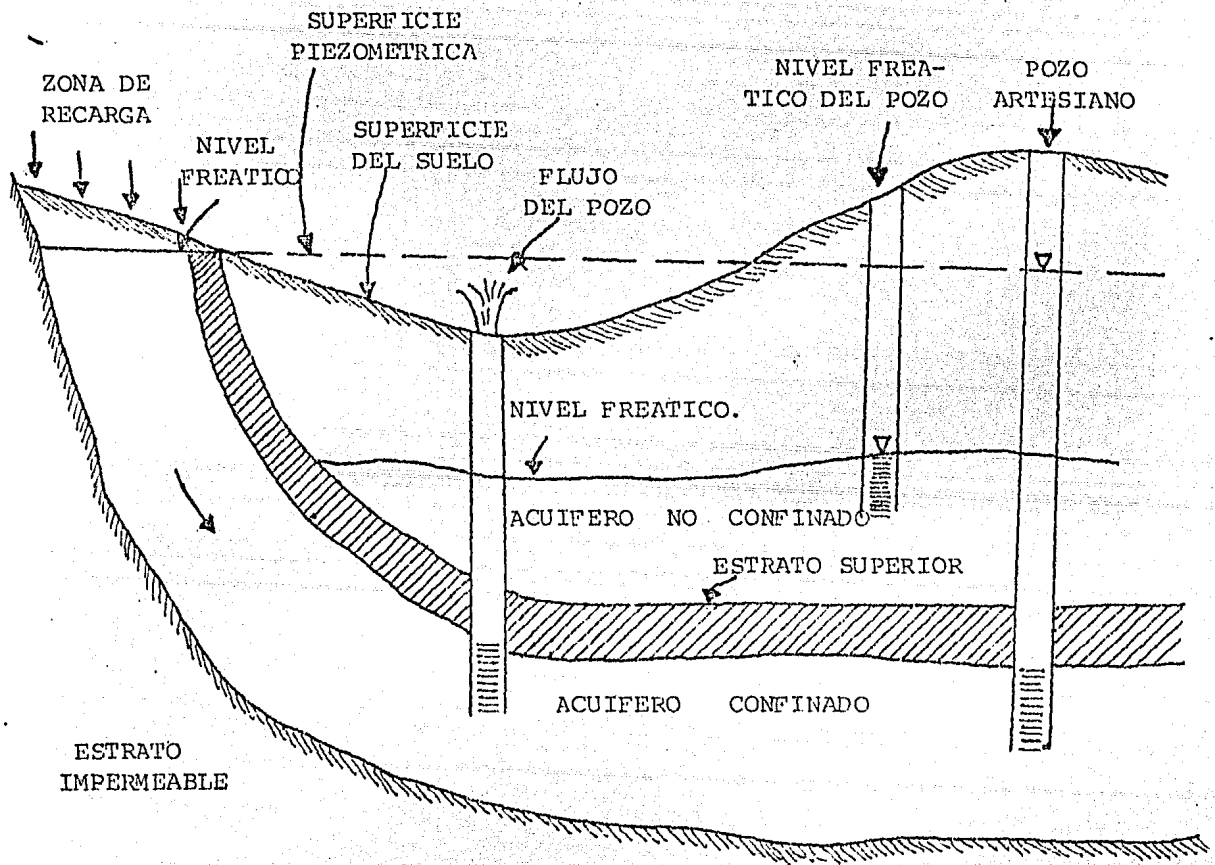


FIGURA # 4
TIPOS DE ACUIFEROS

Un acuífero confinado puede llegar a convertirse en uno no confinado cuando la superficie piezométrica esté bajo el fondo del estrato superior que lo contiene. Siendo también frecuente encontrar que un acuífero no confinado exista sobre un acuífero confinado.

La capacidad de rendimiento de agua de un acuífero confinado se puede expresar en términos de su coeficiente de almacenamiento, el cual se define como el volumen de agua que un acuífero puede

soltar o retener del depósito general, por unidad de superficie del acuífero y por unidad de tiempo en la componente normal a esa superficie. En la mayoría de los acuíferos confinados los valores del coeficiente de almacenamiento (S) varían entre 0.00005 y 0.005, lo cual nos indica los grandes cambios de presión que por encima de extensas zonas se requieren para producir un rendimiento substancial de agua. El coeficiente de almacenamiento se puede determinar examinando el bombeo de pozos y las fluctuaciones del agua subterránea con relación a los cambios de la presión atmosférica y las variaciones de las mareas oceánicas.

Los acuíferos colgados son un caso particular de los acuíferos no confinados y se presentan cuando un depósito de agua subterránea se separa de la masa principal del depósito mayor, por un estrato relativamente impermeable de pequeña extensión, donde la zona de aereación se encuentra por encima de la masa principal del agua. Los pozos realizados en acuíferos colgados tienen un rendimiento bastante bajo en lo que a cantidades de agua se refiere. Por tratarse de acuíferos que se presentan en muy pocas ocasiones, no se abundará más al respecto.

II.5.- CONCEPTOS BASICOS Y PROPIEDADES DEL MOVIMIENTO DEL AGUA

SUBTERRANEA.

Los conceptos que a continuación se describen son de gran utilidad para la aplicación directa en la resolución del problema planteado en el presente estudio; así mismo nos permiten entender de una manera mas clara la solución planteada.

POROSIDAD (N) :La porosidad de una roca o de un suelo, es una medida del volumen de vacíos que contienen y se expresa como un porcentaje del volumen total, de la siguiente manera:

$$N = \frac{V_v}{V_t} (\%)$$

Donde:

(N) Representa la porosidad.

(V_v) Representa el volumen de vacíos, o también representado por:

(V_{wt}) Siendo este el volumen de agua que se requiere para llenar todos los vacíos.

(V_t) Representa el volumen total de la roca.

Puesto que en la zona de saturación los vacíos o poros del suelo están totalmente saturados de agua, la porosidad es una medida de la cantidad de agua que la roca contiene por unidad de volumen.

La porosidad de los materiales consolidados depende del grado de cementación y del estado de disolución y de fracturación de la roca; la porosidad de los materiales sueltos depende del grado de compactación de los granos, de su forma, de su tipo de empaquetamiento y de su distribución por tamaños.

La porosidad es una medida de la capacidad acuífera de un medio y como se puede esperar, juega un importante papel en la aptitud del mismo a efectos de la transmisión del agua.

RETENCION ESPECIFICA (Sr) :Esta propiedad mide la capacidad de la roca para retener agua, y se define como el volumen de agua retenida en contra de la gravedad, por unidad de material. Cuando un cierto volumen de roca totalmente saturada se deja drenar bajo la acción de la gravedad, no toda el agua que contiene es liberada, ya que una parte de ésta es retenida en los poros por las fuerzas de atracción molecular, adhesión y cohesión.

La cantidad de agua retenida en un estrato es directamente proporcional a la superficie de las partículas e inversamente proporcional al tamaño de los poros. Y se expresa de la siguiente forma:

$$Sr = \frac{V_{wr}}{V_t} (\%)$$

Donde :

- (Sr) Representa la retención específica.
- (V_{wr}) Representa el volumen ocupado por el agua retenida.
- (V_t) Representa el volumen total del suelo en cuestión.

RENDIMIENTO ESPECIFICO (Sy) :Se define como rendimiento específico de un suelo a la cantidad de agua que éste libera por unidad de volumen cuando el nivel freático experimenta un abatimiento unitario y se expresa de la siguiente manera :

$$S_y = \frac{V_{wy}}{V_t} (\%)$$

Donde :

(S_y) Representa el rendimiento específico.

(V_{wy}) Representa el volumen de agua evacuada.

(V_t) Representa el volumen total de la roca en cuestión.

De los tres conceptos mencionados anteriormente, podemos deducir lo siguiente:

$$V_{wr} + V_{wy} = V_{wt} = V_w$$

y por otra parte:

$$N = S_y + S_r$$

Es decir, se determina que la retención específica y el rendimiento específico, representan cada uno una porción de la porosidad del acuífero.

CONTENIDO DE HUMEDAD (θ) : El contenido de humedad de un suelo, es la cantidad de agua que contiene este por unidad de volumen; representándose de la siguiente manera:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} (\%)$$

Donde :

(θ) Representa el contenido de humedad.

(V_w) Representa el volumen de agua que contiene el suelo.

(V_t) Representa el volumen total del suelo.

Cuando la muestra de suelo está totalmente saturada de agua se cumple la siguiente igualdad:

$$W_w = W_{wt} = V_v$$

Y bajo estas condiciones podemos decir que el contenido de humedad es numericamente igual a la porosidad.

El método mas exacto para la determinación del contenido de humedad de una muestra de suelo en la práctica, consiste en la medición gravimétrica de dicha muestra. Lo cual consiste en pesar las muestras húmedas, y posteriormente se vuelven a pesar después de ser secadas.

DEFICIENCIA DE HUMEDAD (Dh) : La deficiencia de humedad se define como la diferencia entre la retención específica y el contenido de humedad cuando este último es inferior a la primera; y si el contenido de humedad es igual o mayor que la retención específica, la deficiencia de humedad es igual a cero. Lo anterior lo podemos expresar de la siguiente manera:

$$D_h = S_r - \theta \quad ; \quad \text{Si y solo si se cumple: } \theta \text{ es menor que } S_r \\ D_h = 0 \quad ; \quad \text{Si y solo si se cumple: } \theta \text{ es mayor o igual que } S_r$$

Donde :

- (Dh) Representa la deficiencia de humedad.
- (Sr) Representa la retención específica.
- (θ) Representa el contenido de humedad.

La deficiencia de humedad es la cantidad de agua que requiere una roca por unidad de volumen para satisfacer su retención específica. En otras palabras, es el volumen de agua requerido para elevar el contenido de humedad del suelo hasta un punto tal que cualquier cantidad de agua adicional, determinaría el inicio de una percolación profunda hacia los acuíferos.

GRADO DE SATURACION (Gs) :El grado de saturación de una roca o suelo se define como la relación entre la cantidad de agua que contiene y su volumen de vacíos, expresandose de la siguiente manera:

$$G_s = \frac{V_w}{V_v} (\%)$$

Donde :

- (Gs) Representa el grado de saturación.
- (Vw) Representa el volumen de agua contenido.
- (Vv) Representa el volumen de vacíos.

En la zona de saturación, todos los materiales tienen un valor del grado de saturación igual al 100 % .

CARGA HIDRAULICA (h) Y GRADIENTE HIDRAULICO (i) :El teorema de Bernoulli establece que la energía total expresada como una carga (h), en un punto dentro del seno de un líquido en movimiento es :

$$h = z + P/\rho + v^2/2g$$

Donde:

- (h) Representa la carga hidráulica o energía por unidad de peso del fluido.
- (z) Representa la carga de posición, que no es más que la altura del punto en cuestión sobre un plano o nivel de referencia arbitrario.
- (P/ρ) Representa la carga de presión, donde (P) es la presión soportada por el fluido contenido en los poros de un medio, y (ρ) es el peso específico del fluido.

$(v^2/2g)$ Representa la carga de velocidad.

Ahora bién, en un medio poroso la carga de velocidad es prácticamente despreciable respecto a las demás (una fracción de milímetros frente a varios metros). Debido a que la velocidad de circulación del agua es muy lenta; por lo tanto, para fines prácticos en la gran mayoría de los problemas geohidrológicos la carga total o carga hidráulica se puede expresar:

$$h = z + P / \rho$$

El agua subterránea se desplaza desde los niveles energéticos más altos a los más bajos, por lo que su energía procede esencialmente de las diferencias de nivel y de presión.

En el curso del movimiento del agua subterránea, el agua experimenta una pérdida de energía debido al rozamiento con las superficies del medio granular a través del que circula. A esta pérdida de energía por unidad de longitud recorrida se le llama gradiente hidráulico (i), también llamado pérdida de carga unitaria; definido como la pendiente de la superficie freática o piezométrica en el punto considerado siendo un concepto de primordial importancia en el fenómeno del flujo subterráneo, ya que de su valor depende, en parte, la velocidad de saturación del agua. El gradiente hidráulico (i) es adimensional y se expresa:

$$i = \frac{\Delta h}{l}$$

PERMEABILIDAD (K): En el campo de la geohidrología la permeabilidad juega un papel primordial. De esta propiedad depende fundamental

mente el rendimiento de las captaciones y la velocidad de circulación del agua; su conocimiento es esencial para cuantificar los caudales de agua subterránea y la velocidad de propagación de un contaminante en el subsuelo; asimismo, es uno de los datos básicos necesarios para simular el comportamiento de un acuífero.

La Permeabilidad es la capacidad de un estrato para permitir la circulación del agua a través de ella; cuantitativamente su valor está dado por el coeficiente de permeabilidad (K), - el cual se define como el caudal que circula a través de un área unitaria, transversal al flujo y bajo un gradiente hidráulico unitario (i). Esta propiedad depende de la forma, acomodo y distribución granulométrica de las partículas constituyentes y del grado de compactación o cementación de las mismas; factores que controlan a su vez, el tamaño e interconexión de los intersticios.

El valor del coeficiente de permeabilidad (K), depende tanto de las características del medio como de algunas propiedades del fluido. Se ha demostrado que para considerar separadamente la influencia de ambos factores, dicho coeficiente puede expresarse de la siguiente manera:

$$K = (k_i) (\rho \div \mu)$$

Donde:

(K) representa la permeabilidad que tiene unidades de velocidad.

(k_i) representa la permeabilidad específica o intrínseca dependiente exclusivamente de las características del material.

(ρ) y (μ) representan el peso específico y la viscosidad dinámica.

mica del fluido, respectivamente.

A su vez, (k_i) puede expresarse en función de una longitud característica llamada "Radio Hidráulico" del medio.

$$k_i = Cd^2$$

Donde:

(d) representa el tamaño medio del poro o diámetro específico

(C) representa el factor de forma, el cual toma en cuenta: forma y acomodo de los granos, estructura y estratificación, grado de compactación o cementación, presencia de agujeros o fisuras, etc.

Es importante destacar que una elevada porosidad no implica necesariamente una elevada permeabilidad; por el contrario, en algunas rocas mientras mayor es la porosidad, menores son su permeabilidad y su rendimiento específico. De aquí se desprende como conclusión interesante lo siguiente: para que una roca sea favorable como acuífero, no basta que contenga un gran volumen de agua almacenada; es necesario, además, que permita su fácil circulación hacia las captaciones.

En el campo de la geohidrología se han desarrollado pruebas de campo tendientes a determinar un valor medio de la permeabilidad correspondiente a un cierto volumen de material, tal es el objetivo de las llamadas "Pruebas de Bombeo".

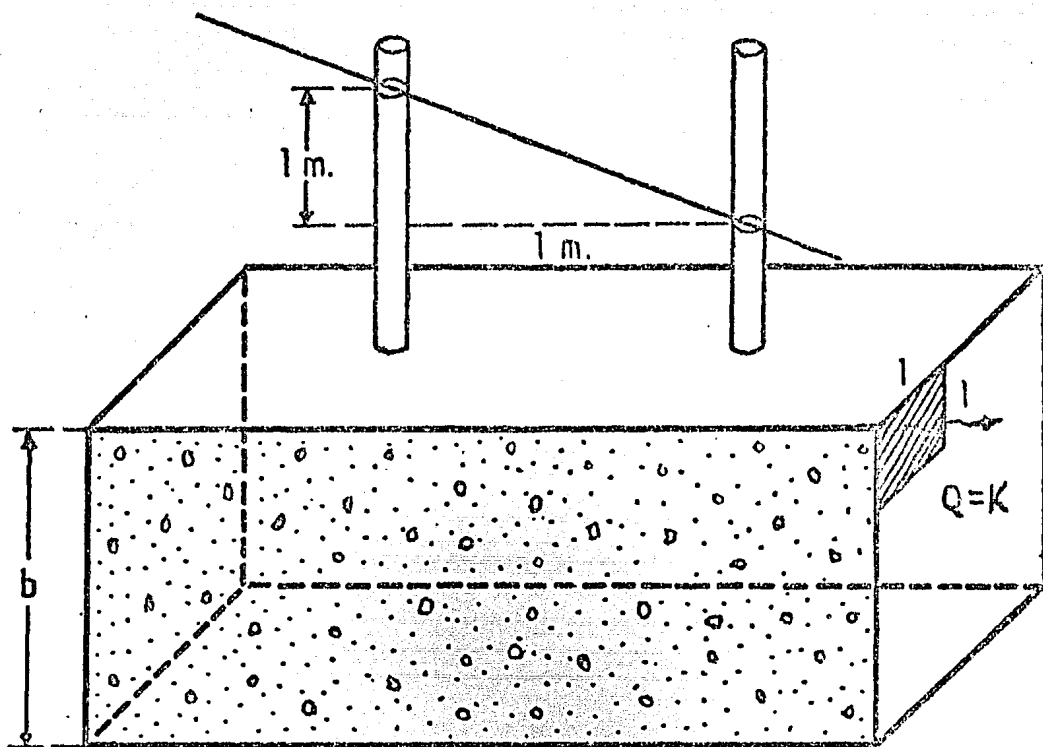


Figura No. 5

LEY DE DARCY

En 1856 Henry Darcy estudió experimentalmente el fenómeno del flujo a través de filtros de arena; como resultado de sus observaciones estableció la ley que lleva su nombre, la cual constituye una de las bases de la Teoría del Flujo en Medios Porosos. De acuerdo con esta Ley, la velocidad con que circula un fluido a través de un material poroso es directamente proporcional a la pérdida de carga hidráulica (Δh) e inversamente proporcional a la longitud recorrida (l) esto es directamente proporcional al gradiente hidráulico.

Matemáticamente lo anterior lo podemos expresar de la siguiente manera:

$$v = (K) \frac{\Delta h}{l} ; i = \frac{\Delta h}{l}$$

$$v = K i$$

Donde:

(v) Representa la velocidad aparente del flujo.

(K) Representa el coeficiente de permeabilidad

(Δh) Representa la pérdida de carga

(l) Representa la longitud

(i) Representa gradiente hidráulico

Ahora, si tenemos que el gasto es :

$$Q = (A) (v)$$

tenemos que:

$$Q = (A) (K) (i); K = \frac{Q}{(i) (A)}$$

De donde se desprende la siguiente definición de las características de que se trata: La permeabilidad de un material poroso es la cantidad de fluido que pasa a través de una sección de área unitaria, transversal al flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario.

En sus experimentos Henry Darcy hizo circular agua a través de un filtro de arena, aforó el caudal del flujo (Q), midió la sección transversal (A) del filtro, calculó la velocidad de flujo como el cociente entre ambos términos ($v = Q/A$) y midió la pér-

dida de carga entre varios piezómetros instalados en el filtro; después de repetir el experimento con varios caudales, correlacionó las velocidades resultantes con la pérdida de carga y la longitud de recorrido respectiva, derivando finalmente de todo ello la ley que lleva su nombre. Pero nótese que la velocidad dada por esta Ley es una velocidad aparente, ya que en su cálculo se consideró la sección total -- del medio, es decir, sólidos y vacíos.

En realidad, como el agua circula únicamente a través de los espacios vacíos (poros, fisuras, fracturas), el área de flujo es mucho menor que el área total de la sección y, por lo mismo, la -- velocidad de circulación es mucho mayor que la velocidad aparente.

El área de flujo (A_f) está dada por:

$$A_f = (A) (N_e)$$

Donde:

(N_e) Representa la porosidad efectiva, la cual es menor que la porosidad total por tomar en cuenta la parte de los vacíos que es ocupada por agua pelicular adherida a la fase sólida.

(A_f) Representa el área real de flujo (vacíos)

(A) Representa el área total de flujo (vacíos y sólidos)

Por otro lado la ecuación de continuidad quedaría:

$$Q = (v) (A) = (v_f) (A_f)$$

De donde obtenemos el valor de la velocidad de flujo (v_f) que es la -- velocidad real de circulación del agua "Velocidad Real de Filtración":

$$v_f = (v) (A/A_f)$$

Ahora bien, la porosidad efectiva (N_e) es numéricamente equivalente -- al rendimiento específico (S_y), de la roca y la velocidad aparente -- está dada por la Ley de Darcy. Por lo tanto la velocidad real la podemos determinar de la siguiente manera:

$$v_f = (K) (i) \left(\frac{\lambda}{(\lambda) (Sy)} \right); \quad v_f = \frac{(K) (i)}{Sy}$$

Considerando que (Sy) toma valores de 0.05 a 0.3, resulta que los valores de la velocidad real (v_f) puede ser de 5 a 20 veces el valor de la velocidad aparente (v).

El concepto de velocidad de filtración (v_f) tiene primordial importancia en problemas de contaminación, pues representa la rapidez con que se propaga un contaminante en el subsuelo.

Para la determinación del rango de validez de la Ley de Darcy es importante considerar el régimen de flujo que estemos trabajando.

Por analogía con el flujo en tuberías se define el "Número de Reynolds" (NR), para medios porosos como sigue:

$$NR = \frac{(v) (d)}{\nu}$$

Donde:

(NR) Representa el número de Reynolds

(v) Representa la velocidad aparente del flujo dada por la Ley de Darcy.

(d) Representa una longitud característica (diámetro medio o diámetro efectivo de los granos).

(ν) Representa la viscosidad cinemática del fluido.

El número de Reynolds es un indicador del régimen de flujo que estamos estudiando; podemos considerar que cuando (NR) toma valores menores de 1, el régimen de flujo es laminar. Afortunadamente, en la gran mayoría de los casos de flujo a través de materiales granulares es laminar y, por tanto, la Ley de Darcy es aplicable.

TRANSMISIVIDAD (T): Un concepto relacionado con el de permeabili

dad es el de coeficiente de transmisividad o transmisibilidad (T), el cual se define como el producto de coeficiente de permeabilidad y el espesor saturado del acuífero.

Se expresa en m^2/seg ó $m^2/\text{día}$ de la siguiente forma:

$$T = (K) (b)$$

Donde:

(T) representa el coeficiente de transmisividad

(K) representa el coeficiente de permeabilidad

(b) representa el espesor saturado del acuífero.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO ESPECIFICO (Ss) Y DE ALMACENAMIENTO (S)

En el subsuelo, un punto cualquiera está sometido a -- una presión total (P), cuyo valor es numericamente igual al peso de la columna de material, de área unitaria, que gravita sobre el punto considerado; esto es:

$$P = (\rho s) (z)$$

Donde:

(P) representa la presión total-

(ρs) representa el peso específico del material

(z) representa la profundidad a la que se encuentra el punto respecto a la superficie.

La presión total (P) está soportada en parte por el esqueleto sólido de la roca, en parte por el agua contenida en sus va cíos. A la presión que soporta el esqueleto se le denomina "Presión - efectiva" o "Presión intergranular" (\bar{p}); la presión a la que está -

sonetida el agua contenida en los vacíos recibe el nombre de "Presión intersticial" o "presión de poro", y es numericamente igual al peso de la columna de agua, de área unitaria, que gravita sobre el punto. Por tanto, la presión total puede expresarse en términos de sus dos componentes como sigue:

$$P = \bar{p} + \gamma h$$

Donde:

- (\bar{p}) representa la presión efectiva
- (γ) representa el peso específico del agua.
- (h) representa la carga hidráulica sobre el punto.

Se define como coeficiente de almacenamiento específico (S_s), a la cantidad de agua liberada por unidad de volumen de material, cuando la carga hidráulica decrece una unidad. Se expresa en unidades de ($1/L$)

El coeficiente de almacenamiento (S) se define como la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la carga hidráulica decrece una unidad. Es un coeficiente adimensional y se expresa:

$$S = (S_s) (b)$$

Donde:

- (b) Representa el espesor del acuífero.

III.- RECOPIACION E INTERPRETACION DE LA INFORMACION DE CAMPO.

En este capítulo se presenta la información que fué -- necesaria recopilar para la elaboración del presente trabajo.

Para llevar a cabo la localización de la zona en estudio, el censo de aprovechamientos de agua superficial y subterránea, es útil para programar observaciones piezométricas, nivelación diferencial, geofísica de resistividad y análisis físico-químicos. Dentro de la información recopilada se encuentra la siguiente:

DESDE EL PUNTO DE VISTA CARTOGRAFICO:

- 1.- Plano topográfico No. J-15 Q-G (12) de la Secretaría de la Defensa Nacional escala 1:100,000, donde aparecen todos los rasgos fisiográficos del área en estudio.
- 2.- Plano topográfico No. E-15-4 de Detenal escala 1:250,000.
- 3.- Planos de los trazos de los acueductos y los perfiles correspondientes. Escala 1:10,000, editados por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
- 4.- Plano correspondiente a la Geología General del Estado de Veracruz, Escala 1:500,000 editado por la U.N.A.M.

DESDE EL PUNTO DE VISTA FOTOGRAFICO:

- 1.- Pares Esteroscópicos verticales de 4 líneas de vuelo, escala --- 1:62,000 clave (V-2178) de la Cia. Mex. Aerofoto.
- 2.- Mosaico topográfico escala 1:20,000 formado por la Cia. COMEESA. Esta información contiene los rasgos más recientes del área de estudio.

DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDROMETEOROLOGICO:

- 1.- Datos climatológicos relativos a precipitación pluvial, temperatura y evaporación en las estaciones climatológicas Coatzacoalcos y Nanchital. Dicha información comprendida para el período de 1948 a 1970.
- 2.- Información Hidrométrica de los Ríos Coatzacoalcos y Calzadas en las estaciones Las Perlas y Minzapán respectivamente, tal información comprende el período de 1953 a 1969.

La fuente informativa son los Boletines Hidrológicos - editados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos No. 37 correspondiendo la zona de estudio a la región hidrológica No. 29.

INFORMACION DIVERSA:

- 1.- Ejemplar del estudio geohidrológico del área de Minatitlán, Ver., elaborado bajo contrato por SAHOP en 1980 a través del Departamento de fuentes de abastecimiento de la Dirección General de Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, de donde se obtuvo información respecto a Geología, análisis químicos y piezometría.
- 2.- De la Dirección General de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Estado de Veracruz se obtuvo un programa de dotación de agua potable para Coatzacoalcos, el cual establece que durante 1981, para una población de 225,000 habitantes y una población servida del 40%, se tendría un superavit del orden de 65 l.p.s. Sin embargo para 1982 para una población de 245,000 habitantes se requeriría una dotación de 1583 l.p.s. para servir al 90% de la población; dicha dotación se tenía establecida a través de dos fuentes prin--

cipales, una de las cuales está representada por el Campo Canticas - y la otra por el sistema de la Cangrejera. No obstante lo anterior y en vista del retraso de algunas obras de esta última fuente, en la actualidad existe la preocupación de sustituirla por otra sobre la margen izquierda del Río Coatzacoalcos que garantice la dotación requerida.

III.1.- CENSO DE APROVECHAMIENTOS

Para conocer la situación actual de los aprovechamientos, y ubicar cada uno de ellos en los planos existentes, los mosaicos aéreos y las fotografías aéreas verticales, se lleva a cabo el censo de aprovechamientos, ello nos permite conocer el régimen de extracción a que está sometido el acuífero, las características y número de tales aprovechamientos, así como la programación de las actividades posteriores del estudio.

En el censo realizado en el área, se localizaron 32 pozos, 20 norias y un manantial; la localización de dichos aprovechamientos se presentan en el plano # 1 de actividades de campo; donde podemos observar que la mayor concentración se encuentra entre los Ríos Calzadas y Colorado en la porción surcoeste de Coatzacoalcos, precisamente en el Campo Canticas y la zona industrial.

De cada uno de los aprovechamientos censados en la tabla # III.1 se presentan los datos tales como: Nombre del usuario y localidad, características constructivas, diámetros de perforación y además, fecha y profundidad de perforación, características de los equipos instalados en ellos, caudal y régimen de operación de los equipos de bombeo y uso del agua.

Del tipo de uso al que están sometidos tales aprovechamientos se obtuvo lo siguiente; 14 pozos son para uso de agua potable, 3 para uso industrial y 2 para uso doméstico, encontrándose 13 pozos fuera de servicio por inactividad (5 pozos próximos a operar). Por lo que corresponde a las norias; 4 son para uso potable, 10 para uso industrial y 6 se encuentran inactivas. El manantial se utiliza para satis-

OVECHAMIENTOS

TABLA # III. 1

PERF. (")	DIAMETRO		Q (l.p.s.)	MOTOR		BOMBA	COLUMNA DE SUCCION			USO	ACTIVO	N. E. (m.)	ALTURA BROCAL (cm)	REGI
	ADENE (")	DESC. (")		T I P O	H. P.		LONG.(m)	Ø (")	No. TAZONES					
22	--	8	28,5	1	100	2	70,00	8	8	P	SI	39,28	030	
22	14	--	--	-	--		--	-	-	S/U	NO	Sellado	025	
22	12	8	28,0	1	125	2	74,00	8	11	P	SI	41,70	015	
22	14	--	--	S/M	--	S/B	--	-	-	S/U	NO	39,04	040	
--	14	8	75,0	1	150	2	(66,00)	8	8	P	SI	45,19*	030	
22	14	6	40,0	1	60	2	--	6	8	P	SI	26,26	015	
22	14	--	--	S/M	--	S/B	--	-	-	S/U	NO	18,05	000	
--	12	8	60,0	1	150	2	67,00	8	11	P	SI	17,55	020	
26	14	8	70,0	1	150	2	(63,00)	8	8	P	SI	S/O	035	
22	14	8	(80,0)	1	150	2	(56,00)	8	8	P	SI	14,32	055	
22	14	8	66,0	1	150	2	(63,00)	8	8	P	SI	NBS	015	
--	14	--	--	S/M	--	S/B	--	-	-	S/U	NO	7,60	000	
20	14	--	--	S/M	--	S/B	--	-	-	S/U	NO	8,25	025	
24	14	--	--	S/M	--	2	(65,00)	8	8	PROX	NO	S/O	030	
22	14	8	36,0	1	100	2	--	8	8	PROX	NO	20,08	020	
18	12	--	--	S/M	--	S/B	--	-	-	S/U	NO	20,85	025	
--	12	--	--	S/M	--	S/B	--	-	-	S/U	NO	22,43	000	
--	--	6-8	38,0	1	50	2	(80,00)	6	8	I	SI	S/O	020	
--	12	6	(36,0)	1	40	2	55,00	6	8	I	SI	29,56	040	
--	12	6	(30,0)	1	40	2	(38,00)	6	8	I	SI	32,42*	049	
--	--	3	(5,0)	1	15	2	--	4	-	D	SI	S/O	055	
--	13	2	(6,0)	1	20	3	43,70	4	-	D	SI	8,04	020	
59	--	--	(0,5)	-	--	6	--	-	-	D	SI	8,30	000	
43	--	--	--	-	--	-	--	-	-	S/U	NO	13,78	086	
18	--	--	--	-	--	-	--	-	-	S/U	NO	7,83	117	
35	--	--	(0,5)	-	--	6	--	-	-	D	SI	7,10	050	
33	--	--	--	-	--	-	--	-	-	S/U	NO	10,70	070	
35	--	--	(0,5)	-	--	6	--	-	-	D	SI	6,78	094	
35	--	--	(0,5)	-	--	6	--	-	-	D	SI	2,07	076	
--	--	1,5	1,0	1	1	1	6,60	1,5	-	A	SI	2,72	066	
39	--	1,0	(0,5)	1	1	1	8,00	1	-	D	SI	6,82	080	
--	--	1,5	0,5	2	--	5	--	1,5	-	D	SI	S/O	000	
32	--	--	--	3	--	-	--	-	-	S/U	NO	SECA	073	

1.- Cabezal 4.- Cabezal Activo: 1.- Si (-).- Valor estimado
 2.- Turbina 5.- Guimbalote 2.- No s/o.- Sin orificio
 3.- Sumergible 6.- Manual

CENSO DE APRO

RA N.o.	LOCALIDAD	PROPIETARIO	PERFORACION	
			FECHA	PROF.(m)
P - 1	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COTZ. VER.	---	150.00
P - 1A	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1976	181.00
P - 2	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO.MPAL. COATZ.VER.	1976	174.00
P - 3B	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1970	170.00
P - 3C	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1978	170.00
P - 4	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1971	186.00
P - 5	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1972	158.00
P - 5BIS	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	--	84.00
P - 6	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1978	160.00
P - 7	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1978	180.00
P - 8	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1978	180.00
P - 9A	EJ.CANTICAS; COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1978	obstruido 33.00
P - 9B	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1978	140.90
P - 10	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	1978	(160.00)
P - 11	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	J.L.A.P.A. AYTO. MPAL. COATZ.VER.	--	(160.00)
P - 12	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	FERTIMEX	(1960)	140.00
P - 13	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	FERTIMEX	1960	140.00
P - 14	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	FERTIMEX	--	140.00
P - 15	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	FERTIMEX	1960	(80.00)
P - 16	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	FERTIMEX	1960	(80.00)
P - 17	EJ.CANTICAS, COSOLEACAQUE, VER.	AEROPUETOS Y SERV. AUX., S.A.	1981	--
P - 18	CAMPAMENTO IASA,	CONSTRUCTORA IASA,	1978)	--
N - 19	EJIDO CANTICAS,	JUAN CANSINO,	1978	10.00
N - 20	GRANJA LOS PANCHOS,	FRANCISCO KING HERNANDEZ	(1970)	20.00
N - 21	RANCHO LOS CHUFITES,	JORGE SALIM DOMINGUEZ,	--	10.00
N - 22	-----	FRANCISCO KING HERNANDEZ,	--	10.00
N - 23	RANCHO SAN RAFAEL,	PETRA PAUDA VDA. DE PEREYRA,	(1968)	15.00
N - 24	EJIDO CALZADAS.	LIDIA SANCHEZ C,	1977	10.00
N - 25	EJIDO CALZADAS,	MARCELINO MARTINEZ E,	1980	8.80
N - 26	RANCHO EL BRILLANTE,	J. CESAR CELAYA V,	--	7.00
N - 27	RANCHO EL ASERRADERO,	J. CESAR CELAYA V,	--	9.50
N - 28	RANCHO LA CUÑA,	ARMANDO DAVID FIGUEROA,	(1967)	(8.00)
N - 29	RANCHO EL KILOMETRO 5,	SEBASTIAN BRIMON P,	--	9.50

P.- Pozo s/m.- Sin motor R.- Riogo D.- Doméstico Tipo de motor: 1.- El
 N.- Noria s/b.- Sin bomba A.- Abrevadero I.- Industrial 2.- Co
 *.- Nivel dinámico P.- Potable s/u.- Sin uso 3.- A

OVECHAMIENTOS

TABLA # III. 1

DIAMETRO			Q (l.p.s.)	MOTOR		BOMBA	COLUMNA DE SUCCION			USO	ACTIVO	N. E. (m.)	ALTURA BROCAL (cm)	REGIO
PERF. (")	ADEME (")	DESC. (")		TIPO	H. P.		LONG.(m)	Ø (")	No. TAZONES					
35	--	--	--	3	--	--	--	--	--	S/U	NO	Seca	070	
70	--	--	(0.5)	--	--	6	--	--	--	D	SI	0.00	000	
6. E N P E R F O R A C I O N														
--	14	--	--	S/M	--	S/B	--	--	--	PROX	NO	13.52	000	
197	--	2	3.0	1	5	1	4.50	2	--	P	SI	1.80	080	
--	--	2	2.0	1	1.5	5	23.00	2	4	P	SI	S/O	000	
32	--	--	(0.5)	6	--	--	--	--	--	D	SI	1.70	020	
40	--	--	(0.5)	6	--	--	--	--	--	D	SI	1.90	065	
--	10	--	--	--	--	--	--	--	--	S/U	NO	Aterrado	090	
--	10	4	(10.0)	S/M	--	--	33.00	4	--	P	SI	18.40	035	
--	12	3	(8.0)	1	25	2	--	--	--	P	SI	17.60*	035	
150	--	6	(35.0)	1	25	2	5.00	6	4	P	SI	3.64*	060	
--	138	6	(35.0)	1	40	2	6.00	6	4	P	SI	4.80	000	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	A	SI	Cerrado	--	
--	6	2.	--	S/M	PROX	--	5.00	2	--	PROX	NO	S/O	000	
--	--	2	0.6	1	1.5	5	--	2	--	P	SI	S/O	000	
--	10	1.5	(0.5)	1	1	1	--	1 1/4	--	P	SI	5.50*	000	
--	6	1.5	(1.0)	1	1.5	--	6.00	1.5	--	P	SI	S/O	000	
--	--	6	5.0	1	5	2	--	3	--	P	SI	--	130	
--	--	--	--	S/M	--	S/B	--	--	--	S/U	NO	2.60	130	

Trico Tipo de bomba: 1.- Centrífuga 4.- Cabazal Activo: 1.- Si (-).- Valor estimado
 ystión interna 2.- Turbina 5.- Guimbalote 2.- No s/o.- Sin orificio
 alote 3.- Sumergible 6.- Manual

CENSO DE AP

RA No.		LOCALIDAD	PROPIETARIO	PERFORACION	
				FECHA	PROF.(m)
	N - 30	MUNICIPIO COSOLEACAQUE,	TERESA GORDILLO	--	11.00
	N - 31	RANCHO EL CEDRO,	MARIA MARTINEZ CRUZ	1962	1.40
	P - 32	- - - -	ESCUELA CONALEP,	1982	--
	P - 33	MUNICIPIO COATZACOALCOS,	I N F O N A V I T ,	1982	--
	N - 34	MUNICIPIO COATZACOALCOS,	UNIVERSIDAD VERACRUZANA,	1976	5.00
	P - 35	MUNICIPIO COATZACOALCOS,	CLUB DE GOLF CAMPESTRE,	--	26.00
	N - 36	COL. AMPLIAC, E. ZAPATA,	REYES LOPEZ,	--	3.00
	N - 37	CONGREGACION ALLENDE	GREGORIO ESPINOZA O.	--	2.50
	P - 38	CALLE L.DE TEJADA,COATZ.,VER.	P E M E X,	--	50.00
	P - 39	CALLE MORELOS , COATZ., VER.	P E M E X .	--	48.00
	P - 40	CALLE MORELOS , COATZ., VER.	P E M E X ,	--	--
	N - 41	CAPTACION Z-3	J.L.A.P.A.AYTO.MPAL COATZ,VER,	1947	(10.00)
	N - 42	CAPTACION LAS NORIAS	J.L.A.P.A.AYTO.MPAL COATZ,VER,	--	8.00
	N - 43	MPIO.COATZ, VER,	- - - - -	--	--
	P - 44	MPIO.COATZ, VER,	CELANESE MEXICANA,	1981	14.00
	P - 45	COATZACOALCOS , VER,	HOTEL VALGRANDE.	1976	--
	P - 46	COATZACOALCOS , VER,	HOTEL OLIDEN ,	1967	--
	P - 47	EDIFICIO AYACHE, COATZ.,VER,	EMILIO AYACHE,	1962	13.00
	N - 48	COL. PETROLERA ,COATZ.,VER,	P E M E X ,	--	--
	N - 49	COL. PETROLERA ,COATZ.,VER,	P E M E X ,	--	--

P.- Pozo *s/m.- Sin motor* **R.- Riego** **D.- Doméstico** **Tipo de motor: 1.-**
N.- Noria *s/b.- Sin bomba* **A.- Abrevadero** **I.- Industrial** **2.-**
 .- Nivel dinámico* **P.- Potable **s/u.- Sin uso** **3.-**

TABLA RESUMEN DE LOS APROVECHAMIENTOS CENSADOS

A P R O V E C H A M I E N T O S					U S O *			
T I P O	CANTIDAD	I N A C T I V O S		A C T I V O S	A/D	P	R	I
		S/U	PROX.					
POZOS	32	8	5	19	2	14	-	3
NORIAS	20	6	-	14	10	4	-	-
MANANTIALES	1	-	-	1	1	-	-	-
T O T A L E S	53	14	5	34	13	18	-	3
		19						

E X P L I C A C I O N U S O *

A/D = Abrevadero-Doméstico

P = Potable

R = Riego

I = Industrial

S/U = Sin uso

PROX.= Próximo a operar

EXTRACCION MEDIA ANUAL EN LOS APROVECHAMIENTOS

O B R A #	VOLUMEN DE EXTRACCION 1982 (EN $10^3 m^3$)	I N I C I O DE OPERACIONES
P - 1	896.20	1976/70
P - 2	238.60	1976/70
P - 3C	2,358.80	1978/70
P - 4	1,257.90	1971
P - 5	722.40	1978
P - 6	2,201.30	1978
P - 7	2,344.00	1978
P - 8	2,094.50	1978
P -14	1,195.20	1960
P -15	1.132.00	1960
P -16	944.00	1960
P -17	21.60	1981
P -18	127.30	1978
N -19	1.68	1978
N -22	1.68	--
N -24	1.68	1977
N -25	1.68	1980
N -26	3.84	--
N -27	0.60	--
N -28	1.92	(1967)
M -31	1.32	1962
N -34	15.60	1976
P -35	10.80	--
N -36	1.32	--
N -37	2.64	--
P -39	129.60	--
P -40	103.20	--
N -41	907.20	1947
N -42	844.20	--
P -45	18.01	1976
P -46	15.03	1967
P -47	3.84	1962
N -48	64.80	--
TOTAL	17,664.44X $10^3 m^3$	

TABLA # III.3

facen necesidades domésticas. Esto lo podemos observar en la tabla -

III.2

Como puede observarse con los datos obtenidos anteriormente, se cuenta con la información suficiente y necesaria para el desarrollo de las pruebas de bombeo, observaciones piezométricas, muestreos geológicos y de agua, etc. que se llevaron a cabo en tales aprovechamientos.

También se obtuvo la información correspondiente a volumen de extracción de agua en 1982 de las obras censadas, lo cual se indica en la tabla # III.3

III.1.1.- NIVELACION DIFERENCIAL.-

Esta actividad es requerida para referenciar los niveles de los brocales de los pozos, y de las norias al nivel medio del mar.

Previa a esta actividad se determinarán los aprovechamientos que debido a sus características constructivas, ubicación, -- etc. serán utilizados en las observaciones piezométricas; tales aprovechamientos son los que se referenciaron al nivel medio del mar, ya que esta información es indispensable en el procesamiento de las observaciones piezométricas, mismo que nos lleva a valorar la disponibilidad del acuífero.

Durante el desarrollo de esta actividad, se realizó una nivelación topográfica con lecturas al milímetro y recorridos de ida y vuelta. Se utilizó un nivel fijo montado, cubriéndose una longitud de 28 km. y apoyándose en un banco de nivel s/n de la Secretaría de Marina, cuya elevación es de 4.293 m.s.n.m.

Los resultados de las obras referenciadas al nivel medio del mar, se indican y se localizan en el plano de actividades de campo No. 1.

III.2.- HIDROGEOLOGIA GENERAL

Mediante investigaciones superficiales es posible hacer una estimación de la presencia de agua.

La utilización adecuada de la información geológica complementada con los trabajos de campo, son apoyos para el reconocimiento y la búsqueda del agua subterránea. Sin embargo, en el presente estudio, no se pretende únicamente con la geología determinar la presencia de agua subterránea, sino en base a las técnicas desarrolladas en la Geohidrología conocer la potencialidad del acuífero y los sitios adecuados para construir nuevos aprovechamientos.

El objetivo de este capítulo es la determinación de las características geométricas y de continuidad de los acuíferos desde el punto de vista superficial, a través de una fotointerpretación con reconocimientos de campo, para establecer la geología general, relacionarla con la estratigrafía y de esta forma definir las unidades hidrogeológicas de la región, así como el funcionamiento que prevalece en el acuífero.

Este análisis se llevó a cabo bajo la consideración de que las características geológicas de los acuíferos, regulan el comportamiento hidráulico de los mismos; pudiendo considerar que estos resultados serán una primera estimación de las características hidrogeológicas del acuífero, siendo ratificadas de una forma más detallada con otras actividades del estudio, tales como geofísica, pruebas de bombeo, etc.

Para la ejecución y solución de los objetivos planteados en este capítulo, se llevaron a cabo la interpretación de fotogra

fías aéreas, mosaicos y planos topográficos.

La interpretación correcta de esta información nos --
ofrece una visión regional del terreno en todos los aspectos que in--
teresan al estudio del agua subterránea, tales como la geomorfología,
drenaje superficial, fronteras superficiales de unidades geohidroló--
gicas, vegetación y uso del suelo.

III.2.1.- GEOLOGIA.-

En el País, las aguas subterráneas se encuentran principalmente en tres diferentes tipos de rocas:

- 1.- Sedimentos clásticos continentales.
- 2.- Rocas volcánicas basálticas.
- 3.- Sedimentos marinos.

Actualmente la producción acuífera mas importante, tal vez el 70% del total, se encuentra en los sedimentos clásticos continentales, los cuales están constituidos esencialmente por gravas, arenas y arcillas, con diferentes grados de selección y consolidación.

Hasta hace poco tiempo, a las unidades litológicas formadas por estos elementos clásticos, se les denominaba simplemente -rellenos aluviales y se les consideraba de edad cuaternaria. Recientes investigaciones efectuadas en la Dirección de Geohidrología y de Zonas Aridas de la S.A.R.H. han demostrado que la mayor parte de las unidades litológicas clásticas del Altiplano y del Noroeste del País, son en realidad de la edad terciaria, depositados en cuencas lacustres y aluviales, en épocas de gran actividad volcánica y tectónica.

La región en estudio se encuentra ubicada en la porción noroeste de la subprovincia geológica denominada Cuencas Terciarias del Sureste, la cual pertenece a la provincia geológica del Sureste de México. En particular esta región se localiza en la porción centro-norte de la Cuenca Salina del Istmo, precisamente en una franja costera de aproximadamente 6 km. de ancho y 24 km. de largo.

Desde el punto de vista estructural, esta cuenca se caracteriza por la presencia de domos salinos en el subsuelo a pro--

fundidades que oscilan entre 1500 y 2000 m. cuyo efecto en la superficie no altera la morfología de la región. No obstante lo anterior, estas estructuras afectan la geología superficial, aunque en el área de interés se encuentran cubiertas por sedimentos arenocarcillosos, -- arenosos y limosos. Las regiones mas importantes se localizan hacia -- la porción noroeste, en la región de los Tuxtlas y hacia el sureste, en la región de la Sierra Madre del Sureste.

En general, la geología está constituida por formaciones sedimentarias que varían desde Terciarias de origen marino hasta Cuaternarias de origen fluvialuvial, con zonas características de -- depósitos de playa, dunas y áreas de inundación. Sin tratar de especi-- ficar la edad de estas formaciones, se puede establecer que las del Terciario son las mas antiguas que afloran en la superficie, las que por su origen marino deben extenderse y existir en toda la región en estudio, aunque solo se observan superficialmente entre la margen de -- recha del Río Calzadas y la margen izquierda del Río Colorado hasta su confluencia con el anterior, en un tramo de aproximadamente 3 km. y a lo largo de la antigua carretera Coatzacoalcos-Minatitlán, en el tramo del cruce del puente carretera con el Río Calzadas, hasta a-- proximadamente al sur del Ejido Canticas.

Estas formaciones deben estar cubiertas por otras del cuaternario, entre las que se pueden identificar las de origen flu-- vialuvial, que se encontraron a lo largo de el trazo del ferrocarril entre Minatitlán y Coatzacoalcos, en el tramo desde la zona urbana -- al Puente Ferrocarril del Río Calzadas, con una extensión importante sobre la margen izquierda del Río Coatzacoalcos e izquierda del Río Calzadas en la porción sur del área urbana, así como en la margen --

derecha del Río Coatzacoalcos a la altura del Complejo Cangrejera.

III.2.2 UNIDADES LITOLÓGICAS. -

Es de gran interés el conocimiento de la litología -- del suelo en estudio, ya que esto nos permite conocer las propiedades hidrogeológicas del suelo.

En la porción costera del Campo Canticas se encuentran dunas, las cuales cubren una región importante de aproximadamente 2 km. de ancho, las cuales son interrumpidas en la línea de costa por -- depósitos de playa, tanto en la margen izquierda como derecha del Río Coatzacoalcos, en el área urbana de la ciudad de Coatzacoalcos y en -- la Congregación Allende respectivamente.

Finalmente, existe una zona que cubre parcialmente las formaciones Terciarias y probablemente las del reciente de origen flu -- vioaluvial, que constituyen zonas de inundación localizadas desde -- aguas arriba de la confluencia de los Ríos Calzadas y Colorado, en el área de la Laguna Tepache y hasta la confluencia del Río Calzadas con el Coatzacoalcos, sobre la margen izquierda de éste, además de una am -- plia zona alrededor de la Laguna Fajaritos en la margen derecha del Río Coatzacoalcos, lo cual lo podemos observar en el plano hidrogeo -- lógico.

Las formaciones Terciarias (Tm) tienen una edad tenta -- tiva del Terciario Superior (Mioceno), formadas por rocas sedimenta -- rias marinas representadas por depósitos de arena, limos, arcillas y conglomerados en escasa proporción. Esta formación, como se mencionó anteriormente, solo aflora en la porción occidental de Coatzacoalcos, aunque debe ser de carácter regional y encontrarse a diferentes -- profundidades en el resto del área en estudio, pues aunque original

mente pudo haber sido un depósito horizontal, puede tener una cierta pendiente hacia el mar, estar erosionada por procesos fluviales, o bien encontrarse deformada por la intrusión de los domos salinos.

Sobre esta formación debió depositarse otra de origen fluvioaluvial (Qfl/al), como resultado del proceso de intemperismo, arrastre y transporte de las formaciones terciarias, cuya evidencia se encuentra en los Ríos Calzadas y Colorado sobre la margen izquierda del Río Coatzacoalcos y el arroyo que se une a este aguas arriba del Puente Carretero sobre su margen derecha. Esta formación fluvioaluvial presenta todavía vestigios de su existencia en ambas margenes del río y, como se mencionó anteriormente, a lo largo de los Ríos y Arroyos que convergen hacia el Río Coatzacoalcos en ambas margenes, cuyos espesores son variables de acuerdo con la erosión de las formaciones terciarias y del nivel base del depósito de estos sedimentos del cuaternario.

En forma local, pero de gran extensión dentro del área en estudio, se encuentran también los depósitos de grano fino correspondientes a las zonas de inundación (Qzi), las cuales son producto de una disminución del escurrimiento superficial en un nivel base como es el Golfo de México, cubriendo parcialmente las formaciones fluvioaluviales y en otras probablemente a las formaciones terciarias. Estas zonas se caracterizan por encontrarse a niveles muy cercanos al medio del mar, además de bordear a lagunas y esteros sobre ambas margenes del Río Coatzacoalcos.

Finalmente, existen 2 formaciones arenosas, de las cuales las dunas (Qd) son de origen eólico, y se localizan en el frente de la línea de costa y a lo largo de toda ésta, cubriendo en

ocasiones a las formaciones fluvioaluviales y en otras probablemente a las formaciones terciarias.

III.2.3.- FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO.

Desde el punto de vista hidrogeológico estas formaciones constituyen acuíferos cuando almacenan agua en el subsuelo y son capaces de permitir el paso a través de ellas, transmitiendo cualquier efecto natural o artificial en el subsuelo. Pueden constituir formaciones impermeables cuando están formadas por arcillas, que aunque contengan agua, no permiten su transmisión a través de ella, como ya lo mencionamos con anterioridad, o bien podrían ser semipermiables y permitir el paso del agua de esas formaciones en direcciones preferenciales, pero sin almacenar el agua en el subsuelo.

La evidencia de la producción de pozos dentro del Campo Canticas, localizado precisamente en la porción central del único afloramiento de formaciones terciarias al occidente de Coatzacoalcos, permite establecer la existencia de acuíferos en formaciones arenosas o con materiales gruesos permeables. Aunque se desconoce la litología de esta formación en estos pozos, es posible considerar que hasta una profundidad máxima de 160 m., o cuando menos hasta profundidades del orden de 100 m., es probable encontrar permeabilidad en el subsuelo y porosidad efectiva para garantizar un almacenamiento de agua subterránea, cuyos límites se encuentran en la vecindad de los pozos perforados.

Por la naturaleza de estas formaciones y principalmente por su origen marino, es posible establecer su condición de acuífero en forma regional, con la interstratificación de cuerpos arcillosos o limosos intercalados entre formaciones arenosas y de clásticos gruesos, por el efecto de las regresiones y transgresiones de la

línea de costa. El nivel máximo perforado en los pozos debe ser el límite inferior de este acuífero. Su límite lateral puede extenderse casi en toda la región de estudio, por el carácter de depósito regional que tiene esta formación, aunque no haya sido identificada fuera del campo Caticas.

El otro acuífero en esta región está constituido por las formaciones fluvioaluviales, las dunas y los depósitos de playa, aunque estos últimos deberían descartarse por su proximidad con el agua de mar en la línea de costa. Las formaciones fluvioaluviales son por naturaleza acuíferas, aunque dependen del espesor de su depósito y principalmente de la formación que cubre en su parte inferior, pues si esta se encuentra arriba del nivel de saturación no puede ser considerada acuífero por esta condición. Por su parte las dunas son formaciones arenosas, bastante permeables y grandes almacenadoras de agua subterránea, aunque su capacidad de aprovechamiento depende del nivel de saturación de las mismas y la profundidad a la cual se encuentran los contactos entre estas formaciones y las fluvioaluviales, o bien las del terciario marino, por lo que su condición de acuífero puede ser reducida si se tiene poco espesor permeable.

Por último, los depósitos de zona de inundación, por su característica de materiales finos, donde predominan limos, arcillas y arenas finas, pueden almacenar agua subterránea, pero no permiten una transmisión del efecto de abatimiento durante su explotación por lo que son retenedores de agua y prácticamente impermeables o semipermeables. Por lo general, esta formación se encuentra completamente saturada y cubierta por depósitos de agua, lo que podrían considerarse como un medio para alimentar a las formaciones permeables que cubren, bien sea la formación fluvioaluvial o la del terciario

rio, permitiendo una filtración vertical descendente. No obstante lo anterior, no deberían de ser sujetas a explotación por la cercanía con cuerpos de agua salubre o salada, pues estas formaciones bordean las lagunas y esteros, así como las zonas donde todavía existe una influencia de mareas a lo largo del Río Coatzacoalcos y la intrusión de agua salada superficial.

Desde el punto de vista cualitativo las áreas susceptibles de explotarse, debido al almacenamiento de agua subterránea, -transmisibilidad, continuidad con zonas de recarga y buena calidad de agua, son aquellas que quedan fuera de la influencia de comunicación con el agua de mar, con cuerpos de agua superficial de mala calidad en zonas donde existe transmisibilidad en los acuíferos. De esta forma, se deben considerar únicamente las formaciones del terciario y las fluvioaluviales que se marcan sobre la margen izquierda del Río Coatzacoalcos.

De estas dos formaciones la principal es la del terciario en el área que quede fuera de la influencia de intrusión salina desde la línea de costa, o de contaminación de cuerpos de agua superficial de mala calidad. Por lo tanto, es posible considerar ambas márgenes del Río Calzadas, principalmente en la margen derecha donde aflora esta formación, sin descartar la margen izquierda que debería analizarse desde el punto de vista geohidrológico para definir la extensión de esta formación bajo estas características anteriores, para ampliar el área de extracción. De acuerdo con lo anterior no es recomendable explotar la franja costera en el área de las dunas, ni tampoco la zona de influencia de las formaciones de inundación, ni aquellas fluvioaluviales que están en contacto con las dos anteriores, --principalmente por la continuidad con cuerpos de agua salada que pu--

dieran contaminar en corto plazo la disponibilidad hidráulica en el -
subsuelo.

Para complementar todo lo anterior presentado en este subcapítulo, se anexa el plano hidrogeológico de la zona (Plano No. 2) en el cual se muestran las principales unidades que afloran en el área estudiada. Se hace una breve descripción de la litología de cada formación.

III.3.- OBSERVACIONES PIEZOMÉTRICAS

Respecto a las observaciones piezométricas que fueron llevadas a cabo, podemos considerarlas de dos tipos: Las primeras se realizaron para condiciones estáticas del nivel del agua, y las segundas bajo condiciones de operación de bombeo de los pozos, es decir a nivel dinámico. Estas últimas se llevar a cabo al efectuar pruebas de bombeo, las cuales analizaremos en otro capítulo posteriormente.

Las observaciones del nivel estático del agua nos brindan una información indispensable para el comportamiento del acuífero, entendiéndose por nivel estático, aquel nivel de agua que se detecta en una perforación no afectada por bombeos y corresponde al nivel que alcanza un acuífero, que puede estar confinado o semi-confinado, existiendo la diferencia con el nivel freático de que abajo de este todo el espesor acuífero se encuentra saturado, mientras que en el caso del estático no necesariamente corresponde a un nivel de saturación.

Para la realización de las observaciones del nivel estático del agua en los pozos, se utilizó un dispositivo consistente en un cable de dos hilos, unidos por un extremo a una pila seca, encontrándose por el otro extremo con los hilos ligeramente separados los cuales se introducían en los pozos y al hacer contacto con el agua permitían el paso de corriente lo que se registró con un miliamperímetro. Posteriormente se medía la profundidad de los hilos, misma que corresponde a la profundidad del nivel estático con respecto al brocal del pozo, el cual lo tendremos referenciado al nivel medio del mar. De esta manera podemos determinar las elevaciones del nivel

estático con respecto al nivel medio del mar.

En la realización de esta prueba, se llevaron a cabo 5 recorridos completos durante un período de dos meses, para conocer la profundidad del nivel estático en 21 pozos, 16 norias y un manantial -- los cuales para su localización se ubican en el plano de actividades -- de campo, y los resultados obtenidos de estas observaciones en la Figura No. III.4 y su respectiva configuración del nivel estático en el -- plano # 3.

Esta actividad nos permitió conocer el comportamiento -- de los acuíferos desde el punto de vista de configuración con respecto al nivel medio del mar, evolución a través del tiempo y profundidad -- desde la superficie.

Las profundidades máximas observadas en el Campo Canticas, se refieren a la zona de explotación de los pozos de agua potable, observándose dos conos definidos en dicho campo, tales conos son debidos a la sobre explotación de agua. Estos dos conos tienden a unirse con un tercero, en los alrededores de los pozos No. 15 y 16, -- propiedad de Fertimex, donde se alcanzan valores ligeramente mayores de 30 m. Estas configuraciones indican la presencia de una concentración de extracciones cuyos vértices se encuentran en los centros de -- gravedad de la zona de explotación. El cono encontrado entre la zona urbana de Coahuaco y el Campo Canticas, en los alrededores de -- los pozos Nos. 32 y 33 se debe probablemente a extracciones en la -- zona vecina a dichos pozos, además de la presencia de dunas que elevan la topografía y por lo tanto separan el nivel de saturación y el nivel del terreno.

Al referir estas profundidades al nivel medio del mar,

LECTURAS MENSUALES DE PROFUNDIDADES Y
ELEVACIONES DEL NIVEL ESTÁTICO

OBRA #	COTA BROCAL m. s. n. m.	M A R Z O		A B R I L		
		1a	2a	1a	2a	3a
P - 1	32.008	1) 39.28 2) -7.27	41.27 -9.26	* 44.95 -12.94	* 44.90 -12.89	* 45.05 -13.04
P - 1A	31.721	1) S 2) -	E L -	L A -	D O -	-
P - 2	33.948	1) 41.70 2) -7.75	42.58 -9.63	43.05 -9.10	42.48 -8.53	41.87 -7.92
P - 3B	36.537	1) 39.04 2) -2.50	40.87 -4.33	39.94 -3.40	39.93 -3.39	40.41 -3.87
P - 3C	16.557	1) *45.19 2) -28.63	N.B.S. -	N.B.S. -	N.B.S. -	N.B.S. -
P - 4	15.860	1) *42.07 2) -26.21	*43.95 -28.09	27.03 -11.17	*43.10 -27.24	*43.70 -27.84
P - 5	19.801	1) 18.05 2) 1.75	18.58 1.22	19.12 0.68	19.08 0.72	18.76 1.04
P - 5BIS	18.980	1) 17.55 2) 1.43	17.93 1.05	18.33 0.65	18.36 0.62	18.00 0.98
P - 6	12.136	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
P - 7	6.637	1) 14.32 2) -7.68	s/o -	15.82 -9.18	* 34.05 -27.41	* 35.00 -28.36
P - 8	10.647	1) N.B.S. 2) -	N.B.S. -	N.B.S. -	N.B.S. -	N.B.S. -
P - 9A	13.746	1) 7.60 2) 6.15	8.36 5.39	8.32 5.43	8.53 5.22	8.27 5.48
P - 9B	14.142	1) 8.25 2) 5.89	8.54 5.60	8.52 5.62	8.35 5.79	8.11 6.03
P - 10	24.053	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
P - 11	20.140	1) 20.08 2) 0.06	N.B.S. -	N.B.S. -	N.B.S. -	N.B.S. -
P - 12	22.927	1) 20.85 2) 2.08	21.69 1.24	22.20 0.73	22.12 0.81	22.13 0.80
P - 13	24.374	1) 22.43 2) 1.94	23.07 1.30	23.72 0.65	23.32 1.05	23.49 0.88
P - 14	---	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
P - 15	30.185	1) 29.55 2) 0.64	*32.30 -2.11	*32.60 -2.41	*32.31 -2.13	*32.57 -2.39
P - 16	28.807	1) *32.42 2) -3.61	30.21 -1.40	30.65 -1.84	30.54 -1.73	30.69 -1.88
P - 17	10.139	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
P - 18	14.510	1) 8.04 2) 6.47	8.60 5.91	* 29.73 -15.22	8.66 5.85	8.85 5.66
P - 19	20.234	1) 8.30 2) 11.93	8.78 11.45	9.91 10.32	10.02 10.21	10.23 9.95

TABLA # III.4

- 1) Profundidad del nivel estático en m. s/o Sin orificio N.B.S. No baja sonda .
2) Elevación del nivel estático m.s.n.m. * Nivel dinámico N.P.P. No permiten pasar.

LECTURAS MENSUALES DE PROFUNDIDADES Y
ELEVACIONES DEL NIVEL ESTÁTICO

O B R A #	C O T A B R O C A L m. s. n. m.	M A R Z O		A B R I L		
		1ª	2ª	1ª	2ª	3ª
N - 20	36,687	1) 13.87 2) 22,91	14.09 22,60	14.30 22.39	14.27 22.42	14.40 22.29
N - 21	---	1) 7.83 2) --	8.52 -	N.P.P. -	N.P.P. -	N.P.P. -
N - 22	30.345	1) 7.10 2) 23.25	7.28 23.07	7.40 22.95	7.48 22.87	7.70 22.65
N - 23	---	1) 10.70 2) -	N.P.P. -	N.P.P. -	N.P.P. -	N.P.P. -
N - 24	12,146	1) 6,78 2) 5,37	7,23 4,92	7,50 4,65	7,57 4,58	7,62 4,53
N - 25	6,439	1) 2,07 2) 4,37	3,75 2,69	4,54 1,90	4,47 1,97	4,50 1,94
N - 26	3,947	1) 2,72 2) 1,23	3,26 0,69	5,23 -1,28	4,18 -0,23	3,26 0,69
N - 27	7,727	1) 6,82 2) 0,91	7,20 0,53	8,13 -0,40	7,15 0,58	7,30 0,43
N - 28	---	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
N - 29	---	1) 2)	S	E	C A	
N - 30	---	1) 2)	S	E	C A	
M - 31	2,700	1) 0,00 2) 2,7	0,00 2,70	0,00 2,70	0,05 2,65	0,13 2,57
P - 32	15,307	1) En Perfo 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
P - 33	15,768	1) 13,52 2) 2,25	13,48 2,29	13,60 2,17	13,57 2,20	14,59 1,18
N - 34	8,747	1) 1,80 2) 6,95	2,27 6,98	3,00 5,75	2,36 6,39	2,47 6,28
P - 35	27,117	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
N - 36	9,968	1) 1,70 2) 8,27	2,23 7,74	2,43 7,54	2,40 7,57	2,34 7,63
N - 37	--	1) 1,90 2) -	1,80 -	1,82 -	1,81 -	1,80 -
P - 38	--	1) 2)	A T	E R	R A	D O
P - 39	19,196	1) 18,40 2) 0,80	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
P - 40	17,354	1) *17,60 2) -0,25	*17,54 -0,19	16,13 1,22	*17,62 -0,27	*17,70 -0,35
N - 41	---	1) *3,64 2) -	Cerrado -	3,56 -	3,85 -	1,89 -
N - 42	7,466	1) 4,80 2) 2,67	4,97 2,50	*5,53 1,94	*5,13 2,34	5,27 2,20

TABLA # III.4

1) Profundidad del nivel estático en m. s/o Sin orificio N.P.S. No baja sonch.
2) Elevación del nivel estático m.s.n.m. * Nivel dinámico N.P.P. No permiten pasar.

LECTURAS MENSUALES DE PROFUNDIDADES Y
ELEVACIONES DEL NIVEL ESTÁTICO

OBRA #	COTA BROCAL m. s. n. m.	M A R Z O		A B R I L		
		1a	2a	1a	2a	3a
N - 43	---	1) C 2) E R	E R	R A	D O	
P - 44	---	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
P - 45	---	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
P - 46	4.280	1) *5.50 2) -1.22	3.77 0.51	3.78 0.50	* 4.66 - 0.38	* 4.70 -0.42
P - 47	---	1) s/o 2) -	s/o -	s/o -	s/o -	s/o -
N - 48	---	1) - 2) -	- -	- -	*11.00 -	- -
N - 49	---	1) - 2) -	- -	- -	2.60 -	- -

TABLA #III.4

1) Profundidad del nivel estático en m. s/o Sin orificio N.B.S. No baja sonda.
2) Elevación del nivel estático m.s.n.m. * Nivel dinámico N.P.P. No permiten pasar.

se obtuvo la configuración que se muestra en el plano No. 3 en el cual se puede observar que los conos se normalizan y solamente aparece una depresión piezométrica sobre la margen izquierda del Río Coatzacoalcos, en la zona de concentración de norias y pozos someros dentro de la zona urbana, observándose un gradiente piezométrico normal desde la porción central del área urbana hacia la línea de costa y margen izquierda del Río Coatzacoalcos.

Por lo que respecta al Campo Canticas, se presentan dos depresiones piezométricas, de los cuales la menor se localiza en los alrededores de los pozos de Fertimex, en cuyo centro se tienen elevaciones menores del nivel medio del mar. La otra depresión piezométrica se encuentra en los alrededores de los pozos de agua potable de Coatzacoalcos, con valores también bajo el nivel medio del mar, encerrados en la curva -10.

III.4 PRUEBAS DE BOMBEO.-

El conocimiento de las características físicas e hidráulicas del acuífero en estudio, nos permiten llevar a cabo la identificación del sistema de flujo que estamos estudiando (confinado, semi--confinado, con fronteras impermeables o de alimentación, etc.) y la determinación de sus propiedades hidráulicas (coeficientes de permeabilidad, transmisibilidad, almacenamiento, etc.). Tales características son esenciales para estudiar el comportamiento del acuífero.

Generalmente, un buen corte geológico derivado de la clasificación de las muestras de los materiales atravesados durante la perforación, proporciona una idea del tipo de sistema de que se trata. De la correlación de la litología de los materiales con los rangos de permeabilidad correspondientes (obtenidos por medio de tablas), puede deducirse la transmisibilidad del acuífero, (esto lo podemos observar en el subcapítulo de hidrogeología general); lógicamente como se explicó anteriormente en el citado subcapítulo, el valor así obtenido es solo aproximado, ya que durante la perforación y el muestreo fueron alteradas las condiciones que tiene el material in situ, especialmente por lo que se refiere al acomodo y grado de compactación, factores que tienen gran influencia en la permeabilidad.

Sin embargo, aún considerando que fuera correcta la transmisibilidad obtenida de la forma anteriormente mencionada, cabe aclarar que la transmisibilidad deducida en esta forma es prácticamente puntual, y la respuesta de los niveles al bombeo depende, en gran parte, de la transmisibilidad media de la porción de acuífero -

afectada por el mismo, además de otras propiedades hidráulicas y de las condiciones de frontera particulares de cada sistema.

El objetivo de las pruebas de bombeo es determinar el tipo de sistema de flujo que estamos estudiando y proporcionar los valores de las características hidráulicas del acuífero en el área de influencia del bombeo.

La prueba de bombeo consiste en determinar las características hidrodinámicas observando los efectos provocados en la superficie piezométrica del acuífero, por la extracción de un gasto conocido. Tales efectos conocidos como abatimientos son registrados en el pozo de bombeo y en pozos próximos a él, llamados pozos de observación.

Para la interpretación completa de una prueba de bombeo, lo ideal es contar con uno o varios pozos de observación dispuestos a diferentes distancias y direcciones del pozo de bombeo. Cuando esto es posible las características deducidas son más confiables y representativas de un área mayor. Por ello, es recomendable disponer al menos de un pozo de observación.

Para la selección del pozo de bombeo y para que la prueba sea lo más precisa posible, deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

- Que el equipo de bombeo se encuentre en condiciones apropiadas para mantener un gasto constante durante la prueba.
- Que la profundidad al nivel del agua sea fácilmente medible.
- Que el gasto extraído sea fácilmente aforado.
- Que el agua bombeada no se infiltre hasta el acuífero en las cercanías del pozo.

- Que las características constructivas y el corte geológico del pozo sean conocidas, y
- Que los pozos usados como de observación correspondan al mismo acuífero
- Que los pozos próximos no operen durante la prueba.

Por la dificultad que se tiene para que se presenten todas estas condiciones al mismo tiempo, en cada caso deberá juzgarse a criterio, si el incumplimiento de una o varias de estas restricciones obstaculiza significativamente o no, el buen desarrollo y la interpretación de las pruebas de bombeo.

Para la ubicación correcta del o de los pozos de observación deben de tomarse en consideración las condiciones locales de cada caso; en términos generales, el emplazamiento de los pozos de observación a distancias entre 30 y 100 m. del pozo de bombeo son adecuadas en la mayoría de los casos; aunque para una ubicación más cuidadosa deben contemplarse los aspectos siguientes: El tipo de acuífero, la transmisibilidad, el caudal de descarga, la ubicación y longitud del cedazo del pozo de bombeo.

Referente al tipo de acuífero, se tomará en cuenta lo siguiente: En acuíferos confinados la propagación de los efectos del bombeo es muy rápida y, por tanto, los abatimientos pueden ser medibles a distancias hasta de varios cientos de metros, incluso para tiempos cortos de bombeo. En cambio, en los acuíferos libres la propagación de los abatimientos es mucho más lenta; por consiguiente, los pozos de observación deben situarse más próximos al de bombeo, a fin de que los abatimientos sean medibles sin prolongar demasiado la prueba.

Por lo que respecta a la influencia de la transmisibilidad, podemos decir que mientras mayor es ésta, mas extenso es el cono de abatimiento en el acuífero. Por lo tanto, en un acuífero de alta transmisibilidad los pozos de observación pueden situarse mas alejados del pozo de bombeo, que en un acuífero de transmisibilidad baja.

Es importante también el conocimiento del caudal de descarga, ya que la magnitud de los abatimientos es directamente proporcional al caudal bombeado. Por lo tanto, mientras mas bajo sea el caudal extraído, mas próximos deben ubicarse, del pozo de bombeo, los pozos de observación.

Es de gran importancia el conocimiento de las características del cedazo del pozo de bombeo, ya que cuando éste capta la mayor parte del espesor del acuífero, el flujo es predominantemente lateral. En este caso, los pozos de observación registran el mismo abatimiento independientemente de la posición y de la ubicación de su cedazo. Por el contrario, si el cedazo del pozo bombeado capta solo una parte del espesor del acuífero, la distribución vertical de los abatimientos no es uniforme, debido a que el flujo es tridimensional en las proximidades del pozo; como consecuencia, los abatimientos registrados en un pozo de observación dependen de la longitud y ubicación de su cedazo. Debido a que se complica la interpretación de la prueba bajo estas condiciones, es preferible emplazar los pozos de observación a distancias mayores de 1.5 veces el espesor del acuífero, donde el flujo es prácticamente horizontal.

Tan importante como su ubicación con respecto al pozo de bombeo, es la adecuada profundidad de los pozos de observación, debiéndose cuidar que estos capturen el mismo acuífero que está siendo bombeado.

En la ejecución del presente estudio, se realizaron 6 pruebas de bombeo, los aprovechamientos seleccionados para estas pruebas fueron: Nos. 1, 2, 3B, 3C, 4, 5 y 7. Mismos que se indican en el plano de actividades de Campo No. 1.

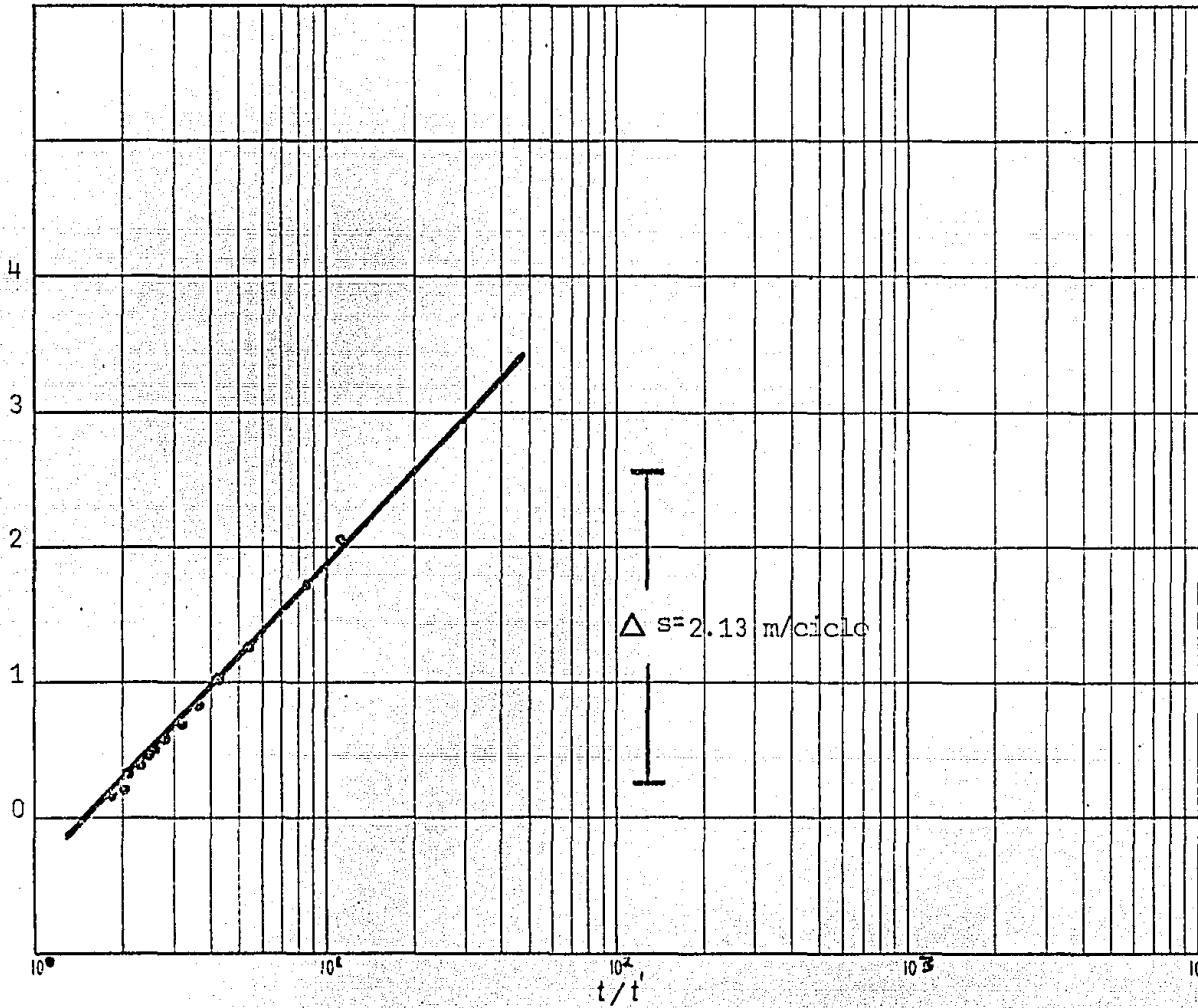
Las pruebas de bombeo se iniciaron con la selección de los pozos, basándonos en los criterios mencionados anteriormente y apoyándonos en la geología y en la geofísica. Se revisó el instrumental a utilizar (cronómetros, sondas, cintas métricas, escuadra para aforo, etc.); posteriormente, antes de iniciar el bombeo, se midieron los niveles estáticos en el pozo de bombeo y en el de observación; se anotó la hora de iniciación del bombeo (procurando un caudal constante) y se hicieron mediciones de los niveles del agua en el pozo de bombeo y en el de observación, con las secuelas de tiempo que se indican en la gráfica de "interpretación de las pruebas de bombeo". En la etapa de extracción asimismo se comprobó el caudal de bombeo durante la prueba, a intervalos de tiempo seleccionados, mismos resultados se muestran en las gráficas de pruebas de bombeo Nos. III-5, III-6, III-7, III-8, III-9, III-10, III-11 III-12.

Una vez concluida la etapa de bombeo o extracción se inició la etapa de recuperación, la cual consistió en suprimir el bombeo midiendo inmediatamente la profundidad del nivel del agua en ambos pozos, y se fueron tomando lecturas de los niveles del agua a intervalos de tiempo seleccionados como se muestran en las gráficas de "interpretación de las pruebas de bombeo" (en la etapa de recuperación). Y finalmente en la tabla No. III-13 se muestra el resumen y los resultados de estas pruebas de bombeo.

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 7 Fecha 1-IV-82 Malla Duración 7.0 hs.
 Caudal 110 lps. Desc. 8" NE 15.82m Prof. 180 m.
 Iniciación 9.00 hs. Pozo de N° r.

ABATIMIENTO RESIDUAL EN METROS



T. Acumulado en 10 ² seg.	Prof. al nivel del agua en m.	Abatimiento Residual en m.	t/t'
0.0	33.01	---	---
24.0	17.90	2.08	10.75
30.0	17.53	1.71	8.80
54.0	17.13	1.31	5.33
72.0	16.84	1.02	4.25
90.0	16.65	0.83	3.60
108.0	16.53	0.71	3.17
126.0	16.44	0.62	2.86
144.0	16.36	0.54	2.63
162.0	16.31	0.49	2.44
180.0	16.26	0.44	2.30
198.0	16.18	0.36	2.18
216.0	16.14	0.32	2.08
234.0	16.10	0.28	2.00
252.0	16.07	0.25	1.93

METODO SIMPLIFICADO DE JACOB

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s}$$

$$T = \frac{0.183 \times 110.0 \times 10^{-3}}{2.13}$$

$$T = 9.45 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

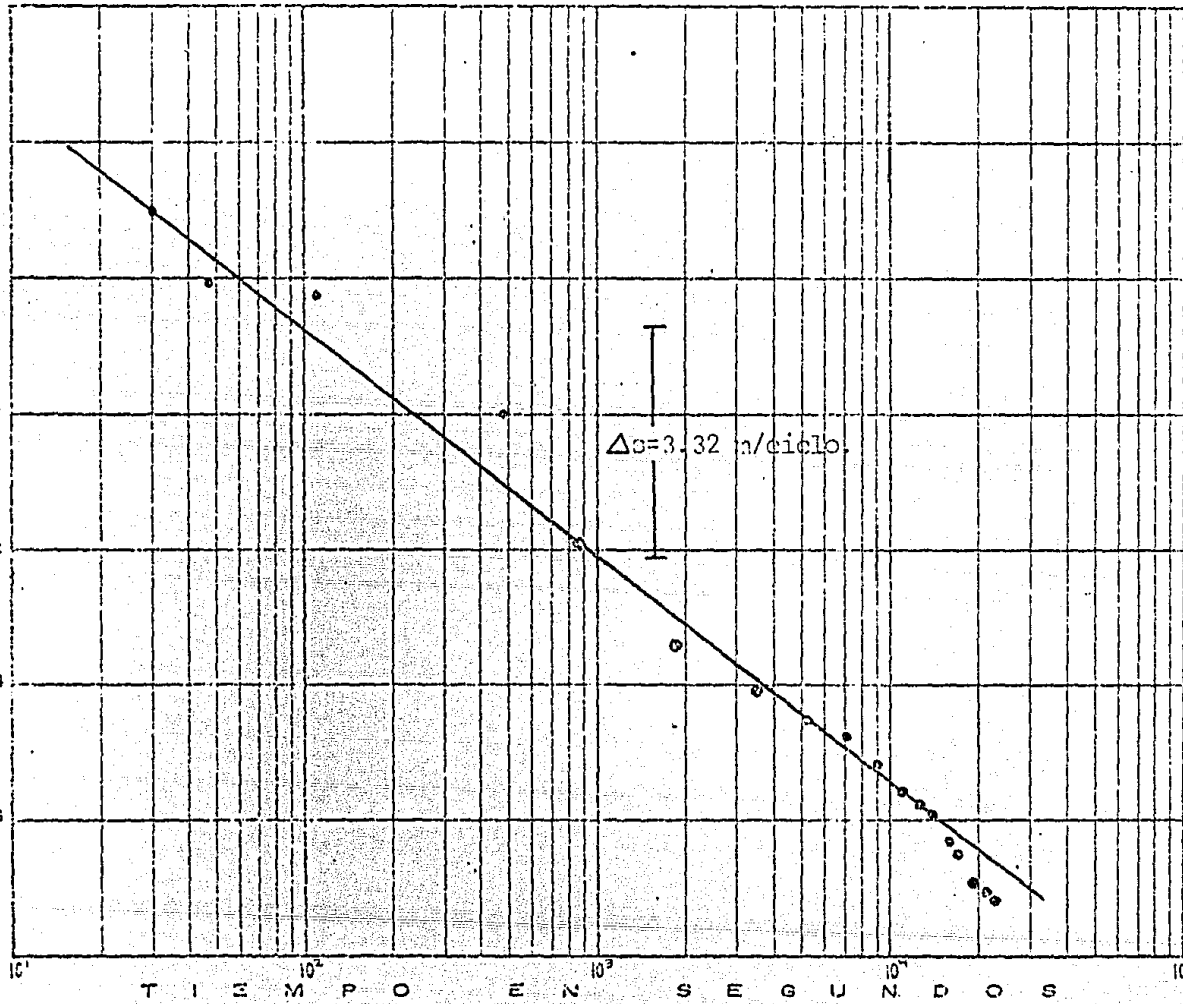
GRAFICA # III.5

ETAPA DE RECUPERACION.

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 7 Fecha 1-11-82 Malla Duración 6.5 hs
 Caudal 110 lps. y Desc. 9" H=15.8 m. Prof. 120 m
 Infiltración 9.00hs. Pozo de No. r.

ABATIMIENTO EN METROS



T. Acumulado en 10 ² seg.	Prof. al nivel del agua en m.	Abatimiento en m.
0.00	15.82	-
0.15	20.15	4.33
0.30	22.92	7.00
0.45	23.99	8.07
1.20	24.05	8.23
1.20	25.85	10.03
9.00	27.90	11.98
18.00	29.10	13.28
35.00	29.95	14.13
51.00	30.26	14.44
72.00	30.58	14.76
90.00	30.99	15.17
108.00	31.30	15.48
126.00	31.55	15.73
144.00	31.78	15.96
162.00	32.11	16.29
180.00	32.39	16.57
198.00	32.68	16.86
216.00	32.90	17.08
234.00	33.01	17.19

METODO SIMPLIFICADO DE JACOB.
 $T = \frac{0.183 Q}{\Delta s}$; $T = \frac{0.183 \times 110.0 \times 10^{-3}}{3.32}$
 $T = 6.06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$

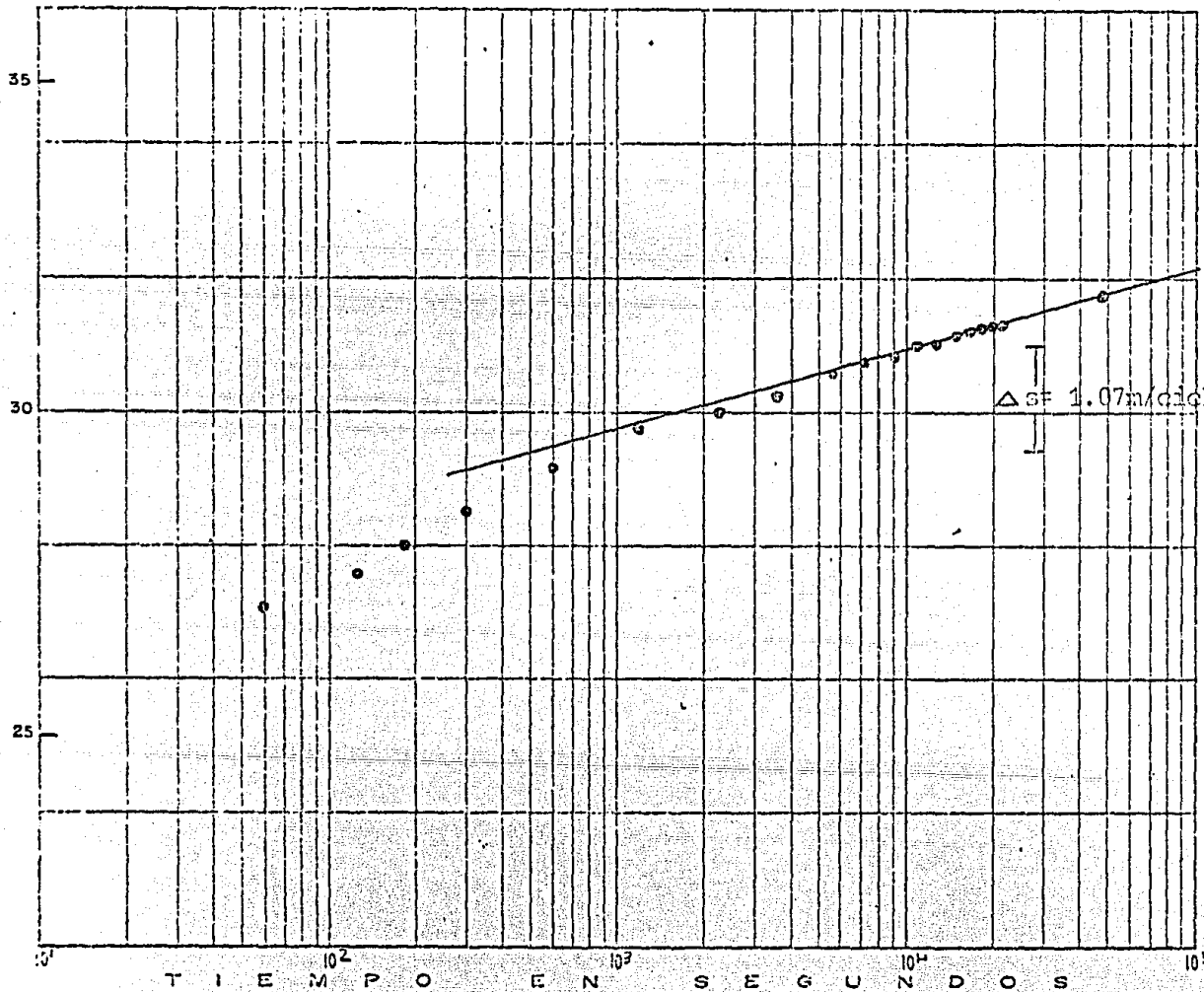
GRAFICA # III.5

ETAPA DE ABATIMIENTO.

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 5 Fecha 24-7-82 Malla Duración 13.0
 Caudal 66.4 lps. a Desc 8-6" NE 18.6 m Prof. 84.0 m
 Iniciación 20.0 hs. Pozo de NE

RECUPERACION EN METROS



T. Acumulado en 10 ² seg.	Prof. al nivel del agua en m.	Recuperación en m.
0.0	50.35	0.00
0.6	23.16	27.19
1.2	22.91	27.44
1.8	22.35	28.00
3.0	21.90	28.45
6.0	21.38	28.97
12.0	20.86	29.49
24.0	20.40	29.95
36.0	20.19	30.16
54.0	20.00	30.35
72.0	19.87	30.48
90.0	19.78	30.57
108.0	19.71	30.64
126.0	19.65	30.70
144.0	19.60	30.75
162.0	19.54	30.81
180.0	19.50	30.85
198.0	19.45	30.90
216.0	19.43	30.92
468.0	19.08	31.27

METODO SIMPLIFICADO DE JACOB
 $T = \frac{0.183 Q}{\Delta s}$ $T = \frac{0.183 \times 66.4 \times 10^{-3}}{1.07}$

$T = 11.36 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$

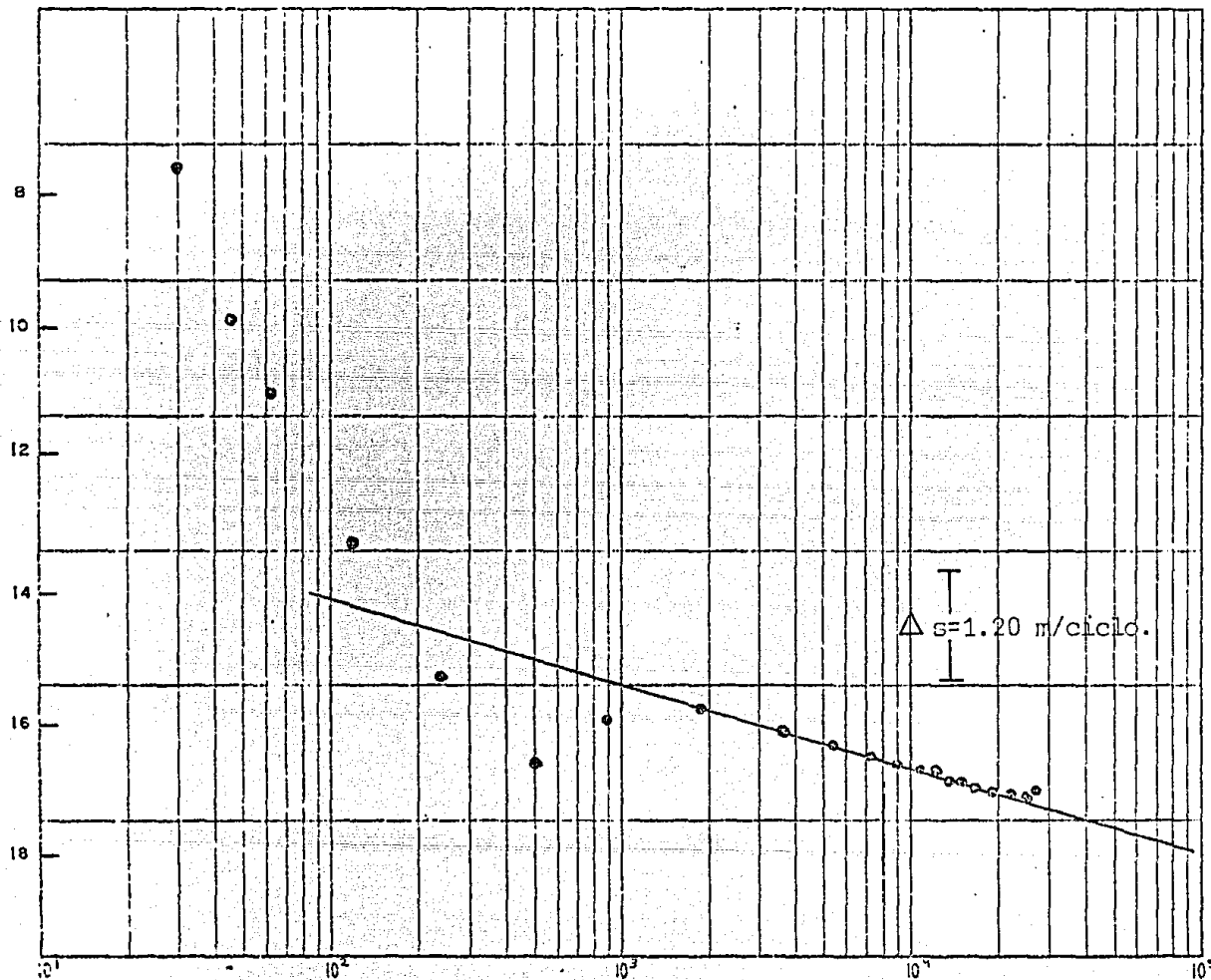
GRAFICA # III.7

ETAPA DE RECUPERACION.

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 4 Fecha 23-6-82 Malla Duración 7.0 hs.
 Caudal 40 Gps. r Desc. 6" NE 26.26 Prof. 186.0 m
 Iniciación 17.0 hs. Pozo de No r m.

ABATIMIENTO EN METROS



T. Acumulado en 10 ² seg.	Prof. al nivel del agua en m.	Abatimiento en m
0.00	26.26	-
0.30	33.95	7.69
0.45	36.17	9.91
0.60	37.13	10.87
1.20	39.48	13.22
2.40	41.63	15.37
4.80	42.87	16.61
9.00	42.18	15.92
18.00	42.02	15.76
36.00	42.40	16.14
54.00	42.53	16.27
72.00	42.69	16.43
90.00	42.73	16.52
108.00	42.91	16.65
126.00	43.00	16.73
144.00	43.09	16.83
162.00	43.15	16.89
180.00	43.20	16.94
198.00	43.23	16.97
216.00	43.26	17.00
234.00	43.28	17.02
252.00	43.30	17.04

METODO SIMPLIFICADO DE JACOB.

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s} ; T = \frac{0.183 \times 40.0 \times 10^{-3}}{1.20}$$

$$T = 6.10 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

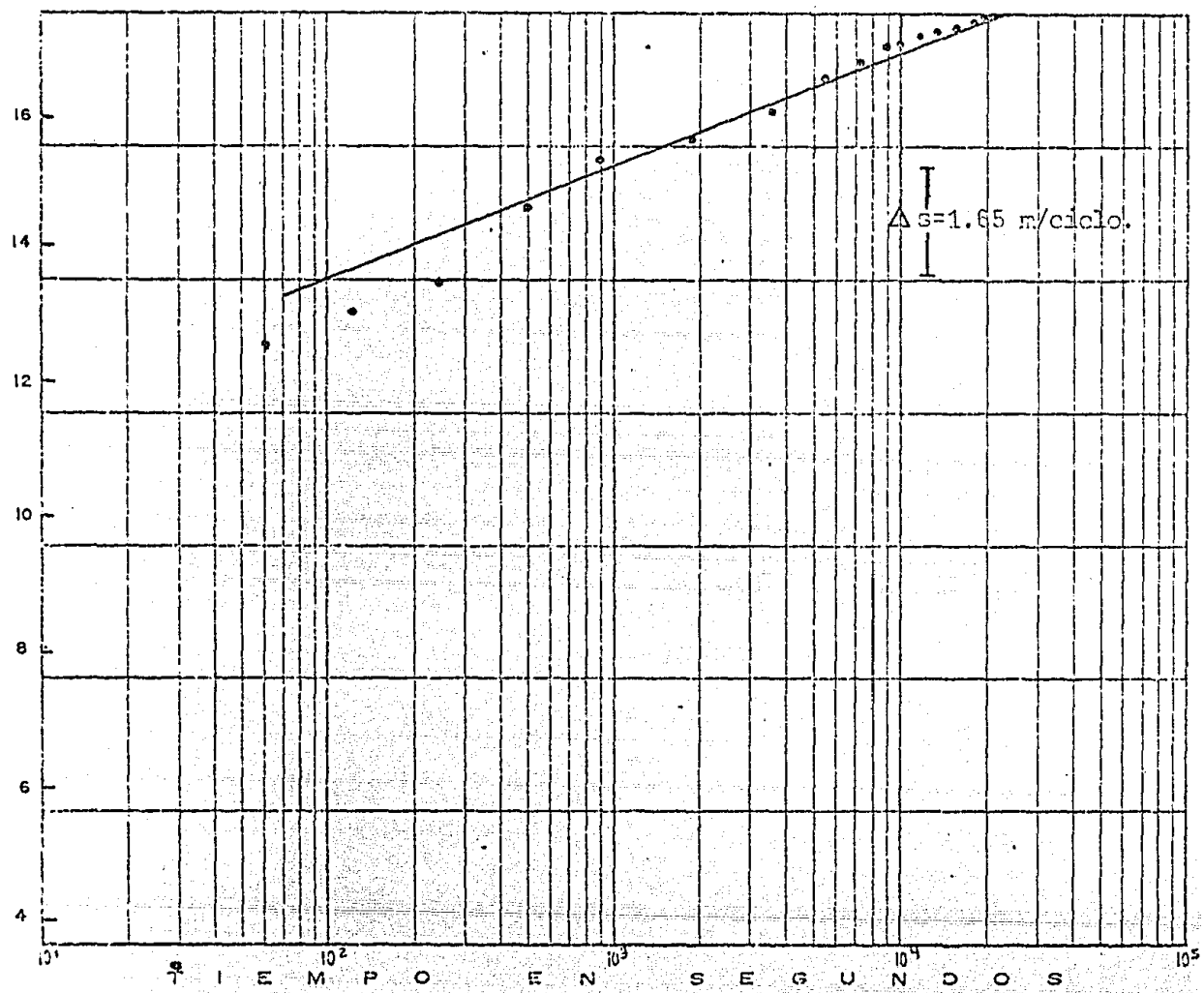
GRAFICA # III.8

ETAPA DE ABATIMIENTO.

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 4 Fecha 23-3-82 Hora 6.0 hs
 Caudal 4.0 lps y Desc. 6" NE. 26.2 m Prof. 166 m
 Iniciación 11.0 hs Pozo de N.º

RECUPERACION EN METROS



T. Acumulado en 10 ² seg.	Prof. G nivel del agua en m.	Recuperacion en m.
0.00	43.89	-
0.30	40.45	3.44
0.60	31.24	12.65
1.20	30.57	13.32
2.40	30.14	13.75
4.80	29.40	14.49
9.00	28.65	15.24
18.00	28.03	15.86
36.00	27.73	16.16
54.00	27.34	16.55
72.00	27.03	16.86
90.00	26.89	17.00
108.00	26.75	17.14
126.00	26.67	17.22
144.00	26.57	17.32
162.00	26.49	17.40
180.00	26.41	17.48
198.00	26.30	17.59
216.00	26.26	17.63

METODO SIMPLIFICADO DE JACOB.

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s} ; T = \frac{0.183 \times 40.0 \times 10^{-3}}{1.65}$$

$$T = 4.41 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

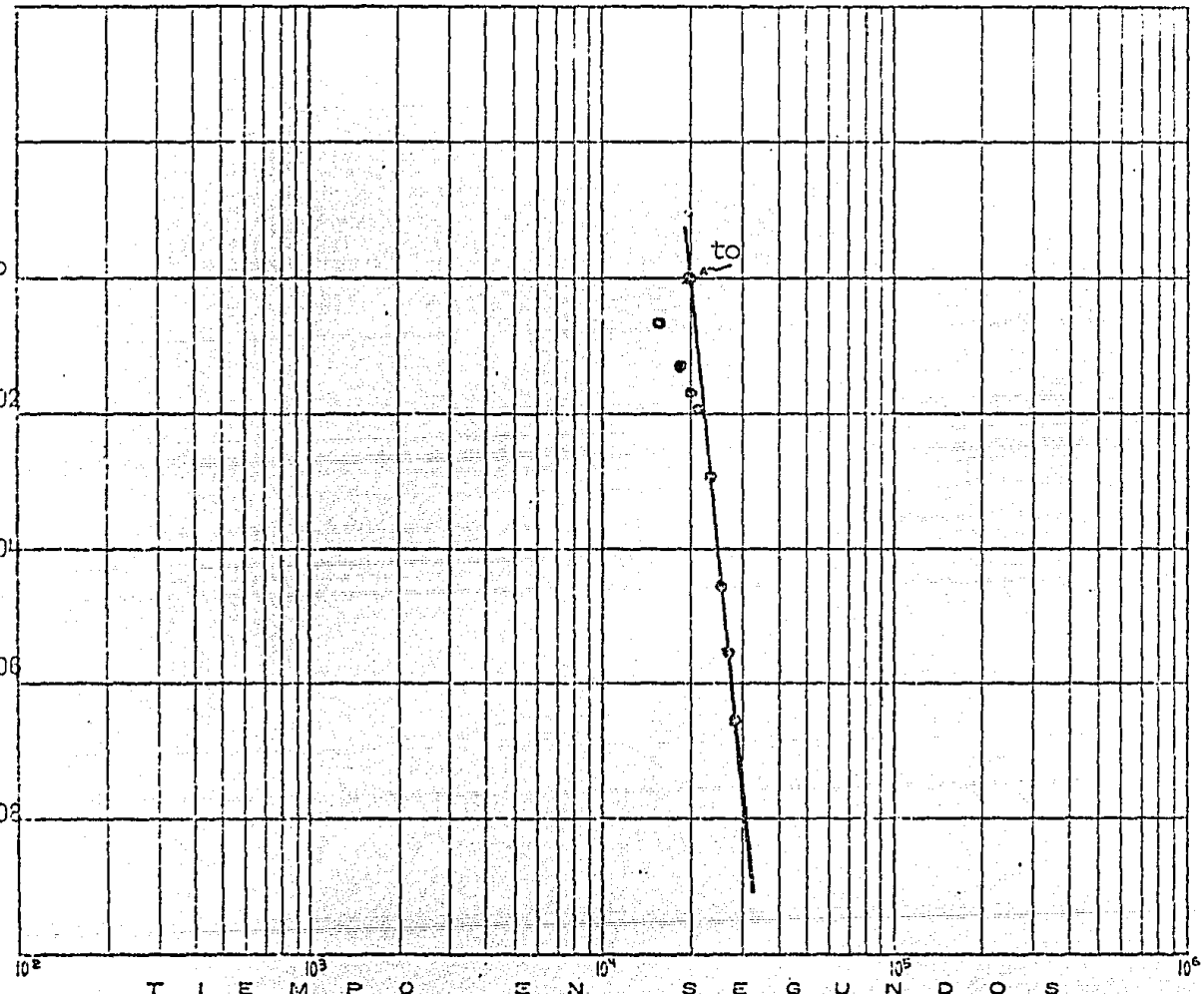
GRAFICA # III.9

ETAPA DE RECUPERACION

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 313 Fecha 3-4-82 Malla Duración 8.0 hs
 Caudal 1.0 lps a Desc. " No. 10.0 m. Prof. 170.0 m
 Iniciación 12.0 hs. Pozo de Bomb. No. 3C r. 60.0 m.

ABATIMIENTO EN METROS



T. Acumulado en 10 ² seg.	Prof. al nivel del agua en m.	Abatimiento en m.
0.00	40.00	0.00
0.15	40.00	0.00
0.30	40.00	0.00
0.45	40.00	0.00
0.60	40.00	0.00
1.20	40.00	0.00
2.40	40.00	0.00
4.80	40.00	0.00
9.00	40.00	0.00
18.00	40.00	0.00
36.00	40.00	0.00
54.00	40.00	0.00
72.00	40.00	0.00
90.00	40.00	0.00
108.00	40.00	0.00
126.00	40.00	0.00
144.00	40.00	0.00
162.00	40.00	0.00
180.00	40.01	0.01
198.00	40.01	0.01
216.00	40.02	0.02
234.00	40.03	0.03
252.00	40.04	0.04
270.00	40.05	0.05
288.00	40.06	0.06

METODO SIMPLIFICADO DE JACOB.
 $T = \frac{0.183 Q}{\Delta s}$; $T = \frac{0.183 \times 40.0 \times 10^{-3}}{0.398}$; $S = \frac{2.25 T to}{r}$
 $T = 18.39 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$; $S = 114.94 \times 10^{-3}$
 $r = 60.0 \text{ m}$
 $to = 2 \times 10^4 \text{ seg.}$

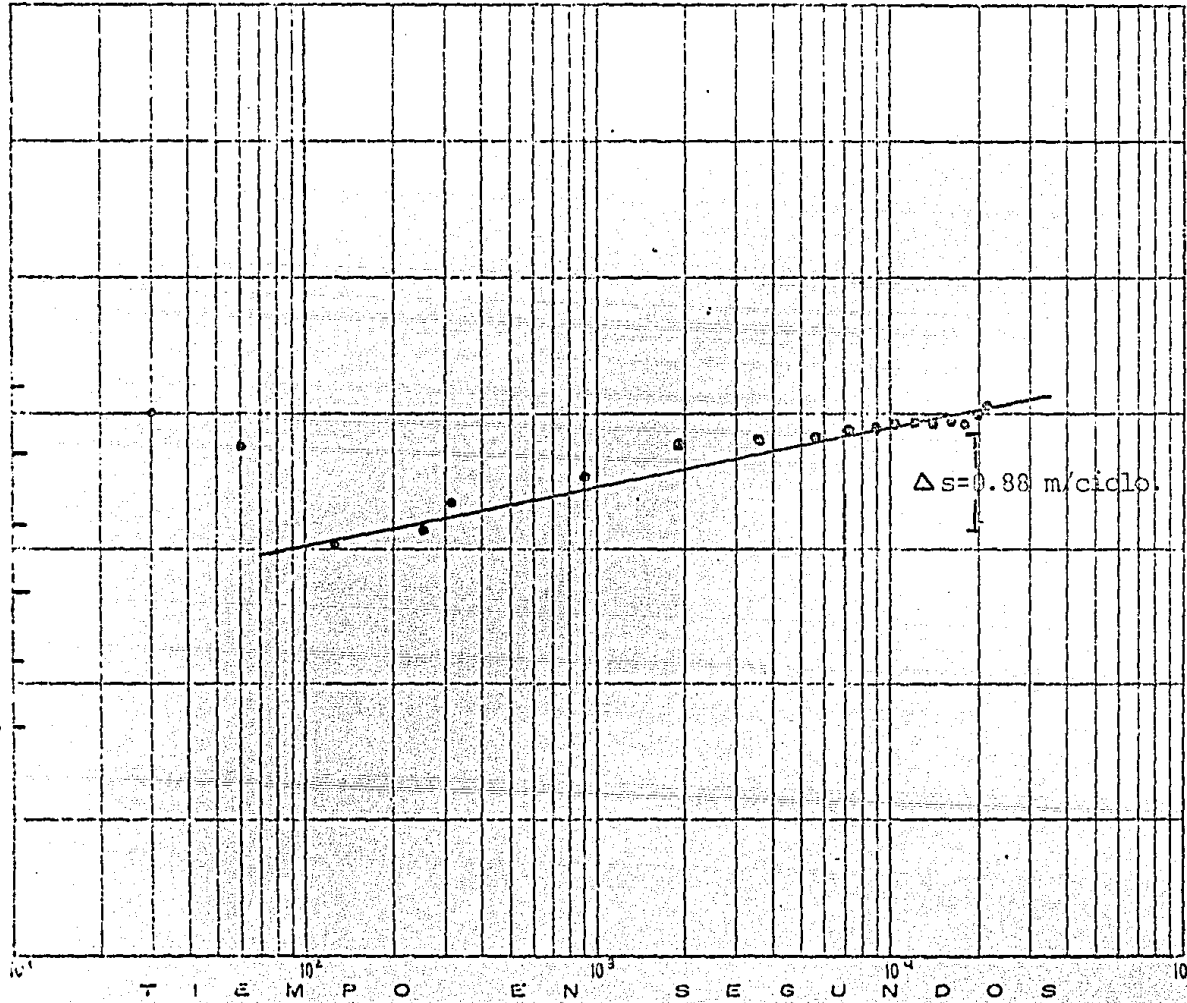
GRAFICA # III.10

ETAPA DE ABATIMIENTO...

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 2 Fecha 15-9-82 Hecta Duración 6.0 hs.
 Caudal 26.2 ps. a Desc. 8-0' NE: 0.20m Prof: 174.0m
 Iniciación 4.30 hs. Fozo de No f. m.

RECUPERACION EN METROS



T. Acumulado en 10 ² seg.	Prof. el nivel del agua en m.	Recuperación en m.
0.00	64.07	-
0.15	47.95	16.12
0.30	44.42	19.65
0.60	45.02	19.05
1.20	46.32	17.75
2.40	46.12	17.95
3.20	45.72	18.35
9.00	45.44	18.63
18.00	45.13	18.94
36.00	45.02	19.05
54.00	44.91	19.16
72.00	44.80	19.27
90.00	44.70	19.37
108.00	44.64	19.43
126.00	44.59	19.48
144.00	44.54	19.53
162.00	44.52	19.52
180.00	44.47	19.60
198.00	44.44	19.63
216.00	44.29	19.78

METODO SIMPLIFICADO DE JACOB.

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{\Delta s} ; T = \frac{0.183 \times 26.2 \times 10^{-3}}{0.88}$$

$$T = 5.45 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

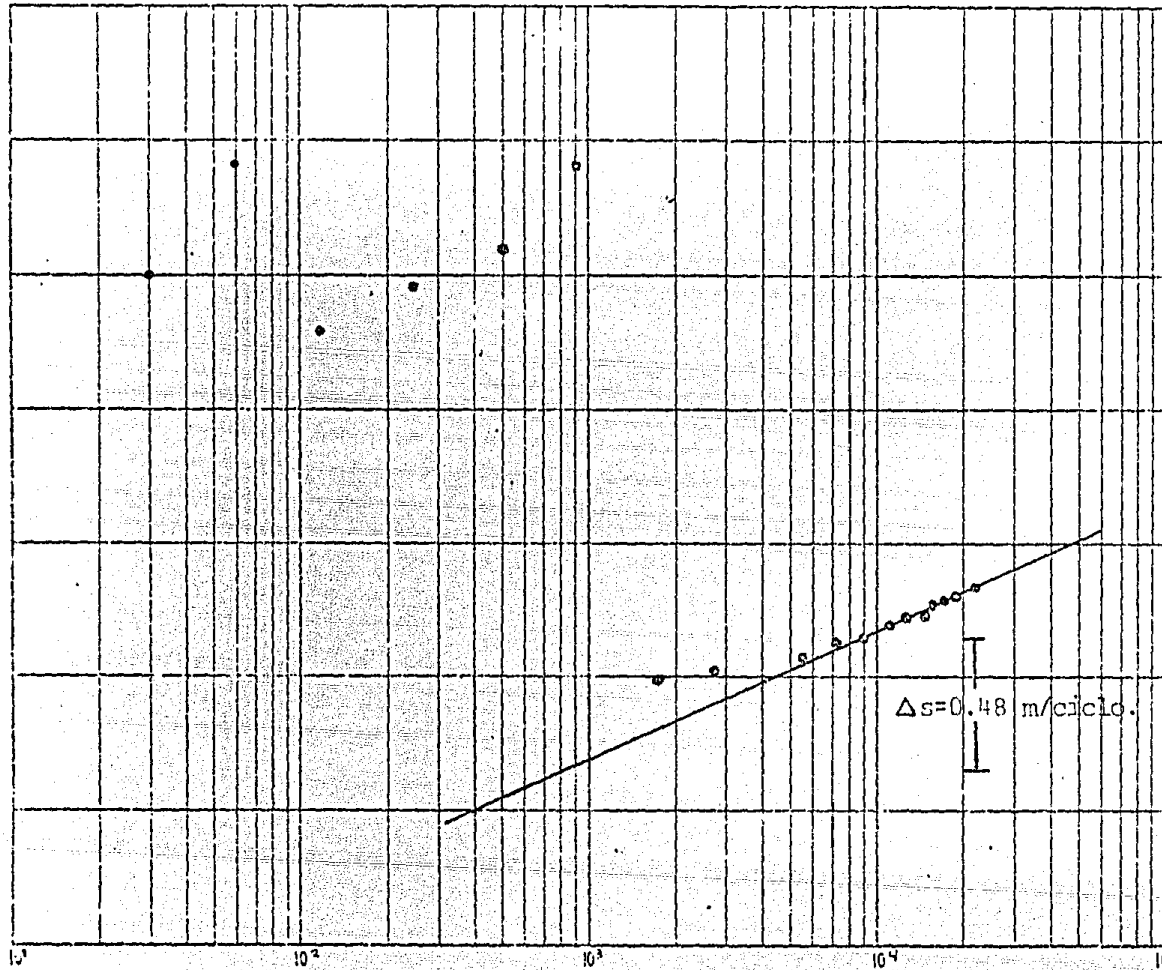
GRAFICA # III.11

ETAPA DE RECUPERACION	

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 1 Fecha 22-3-82 Malla Duración 6.0 hs
 Caudal 28.5 lps. Desc. 8" NE. 42.0m. Prof. 150.0m
 Iniciación 11.0 hs. Pozo de No. r. m.

RECUPERACION EN METROS



T. Acumulado en 10 ² seg.	Prof. al nivel del agua en m.	Recuperacion en m.
0.00	44.87	-
0.30	40.87	4.00
0.60	40.47	4.40
1.20	41.08	3.79
2.40	40.91	3.96
4.80	40.72	4.15
9.00	40.46	4.41
18.00	42.40	2.47
36.00	42.34	2.53
54.00	42.30	2.57
72.00	42.25	2.62
90.00	42.22	2.65
108.00	42.18	2.69
126.00	42.14	2.73
144.00	42.11	2.76
162.00	42.09	2.78
180.00	42.07	2.80
198.00	42.06	2.81
216.00	42.04	2.83

Δs=0.48 m/ciclo.

METODO SIMPLIFICADO DE JACOB.

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{\Delta s} ; T = \frac{0.183 \times 28.5 \times 10^{-3}}{0.48}$$

$$T = 10.87 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

ETAPA DE RECUPERACION.

GRAFICA # III.12

RESUMEN DE LA INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS DE BOMSEO

Obra No.	Q (lps)	N.E. (m)	N.D. (m)	Abat. (m)	Q/Abat. CAUDAL ESPE (lps/m)	Transmisibilidad $10^{-3} m^2/seg$			OBSERVAC
						Abat.	Rec.	Prom.	
1	28.50	42.00	44.90	2.83	10.07	---	10.87	10.87	--
2	26.20	40.20	64.10	23.87	---	---	5.45	5.45	REC. AF .
3B 3C	(40.00)	40.00	--	0.06	---	18.39	---	18.39	POZO OBS.
4	40.00	26.30	43.30	17.04	2.35	6.10	4.44	5.27	--
5B	66.40	18.70	50.40	31.27	2.12	---	11.36	11.36	REC. AF .
7	(110.00)	15.80	33.00	17.19	(6.39)	6.06	9.45	7.76	--

TABLA # III. 13

III.5 GEOFISICA. -

La prospección geofísica básicamente consiste en la -- realización de mediciones desde la superficie del suelo, encaminadas a suministrar información acerca de las propiedades físicas de los -- materiales del subsuelo. Esta información interpretada en forma adecuada puede utilizarse para localizar estructuras geológicas favorables donde se encuentre: agua, hidrocarburos o minerales útiles. Esta definición establece una característica general de gran atractivo que constituye, por otra parte, la razón de su desarrollo, y es que, al realizarse la investigación del subsuelo desde la superficie, la geofísica se convierte en un sustituto parcial con ventajas económicas de la observación directa.

Es de especial cuidado el seleccionar el método geofísico adecuado para la mejor interpretación de la zona de estudio, -- para esto, primeramente daremos una clasificación de los métodos geofísicos, consistentes en los grandes grupos:

I.- Los que utilizan campos de fuerzas naturales.	[Magnetométrico
		Radioactivo
		Termométrico
		Gravimétrico.

II.- Los que utilizan excitación artificial.	[Eléctrico
		Sísmico

Dentro de estos dos grandes grupos se encuentran diver-

Los métodos geofísicos, los cuales para ser seleccionados se toman en cuenta aparte de las consideraciones prácticas y teóricas el factor económico.

Tomando en cuenta lo anterior y en base a las experiencias, se puede decir que los métodos considerados en primer término para la prospección del agua subterránea son:

- Método Eléctrico Resistivo
- Método Sísmico de Refracción.

El método seleccionado para el desarrollo del presente estudio fué el método eléctrico resistivo, por convenir a nuestros intereses, por lo que a continuación daremos una descripción de éste método.

METODO ELECTRICO RESISTIVO.-

El método de resistividad se basa en medir desde la superficie del terreno los cambios de resistividad de las diferentes estratos ó unidades geológicas del subsuelo.

La resistividad de un cierto material se define como la resistencia eléctrica de un cubo de 1 m. de lado de dicho material, cuando hacemos pasar a través de él una corriente perpendicular a una de sus caras.

Los principales factores que afectan la resistividad de las rocas son:

- Porosidad
- Constitución mineralógica
- Grado de saturación
- La resistividad del agua contenida.

Uno de los elementos esenciales de las instalaciones destinadas a las mediciones geoelectricas son los electrodos; definiéndose como electrodos a las "barras metálicas" con las cuales se hace contacto con el terreno. Los electrodos de corriente, pueden consistir en barras de acero inoxidable, de unos 70 cms. de largo.

Otros de los elementos de estos arreglos son los electrodos de potencial, los cuales consisten en unas barras mediante las cuales se registra la diferencia de potencial, en ocasiones llamadas "sondas", pudiendo estar constituidas también por varillas de acero inoxidable o cobre.

Para la comprensión adecuada del método de resistividad es necesario tener conocimiento del potencial eléctrico producido por un electrodo puntual en la superficie de un terreno homogéneo.

Para la obtención de la resistividad del suelo, la esencia del problema consiste en la medición de la intensidad de corriente (I) que se hace pasar por el terreno a través de dos electrodos de alimentación A y B y de la diferencia de potencial ΔV entre otros dos electrodos M y N colocados en la superficie del terreno. El consumo de los cuatro electrodos se denomina cuadripolo o tetrapolo. En principio, los cuatro electrodos pueden adoptar cualquier disposición geométrica sobre el plano que representa la superficie a el terreno.

La diferencia de potencial es:

$$\Delta V = V^{AB}_M - V^{AB}_N = V^A_M - V^B_M - V^A_N + V^B_N \quad (1)$$

Donde:

(ΔV) Representa la Diferencia de potencial (M - N)

(V_{AB_M}) Representa el potencial en el electrodo M debido a la corriente I de (A - B)

(V_{AB_N}) Representa el potencial en el electrodo N debido a la corriente I de (A - B)

Y utilizando la ecuación que nos indica el potencial eléctrico en un punto.

$$V = \frac{I \rho}{2 \pi} \frac{1}{r} \quad (2)$$

Donde:

(V) Representa el potencial eléctrico en un punto

(I) Representa la intensidad de corriente.

(ρ) Representa la resistividad

(r) Representa la distancia del punto al electrodo de corriente

Y sustituyendo la ecuación (2) en la segunda parte de la ecuación (1):

$$\Delta V = \frac{I \rho}{2 \pi} \frac{1}{AM} - \frac{I \rho}{2 \pi} \frac{1}{AM} + \frac{I \rho}{2 \pi} \frac{1}{BN}$$

$$V = \frac{I \rho}{2 \pi} \left| \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right| \quad (3)$$

De esta relación se puede despejar la resistividad verdadera (ρ) del terreno

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{2 \pi}{\left| \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right|}$$

Ahora si hacemos:

$$K = \frac{2 \pi}{\left| \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right|} \quad (5)$$

Sustituyendo (5) en (4):

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

A la ecuación (6) se le conoce como expresión general para la obtención de la resistividad.

El factor (K), que no depende más que de la posición relativa de los cuatro electrodos, se le denomina factor o coeficiente geométrico.

Para determinar la resistividad de un terreno homogéneo se han sugerido varios arreglos de electrodos, para A, B, M, N.

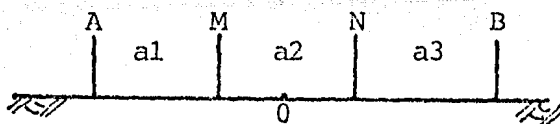
Los más comúnmente usados son:

- 1) Arreglos simétricos
- 2) Arreglos dipolares.

En los arreglos simétricos, los puntos A, M, N y B se colocan en una línea recta de manera que los puntos M y N sean simétricos con respecto al centro "O" de tendido \overline{AB} .

Dentro de este tipo de arreglo se encuentra el dispositivo Wenner, en el cual los cuatro electrodos se colocan equidistantes de manera que se obtenga $a_1 = a_2 = a_3$

DISPOSITIVO WENNER

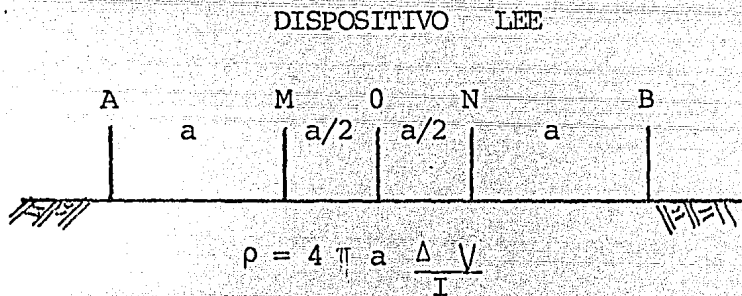


$$\rho = 2 \pi a \frac{\Delta V}{I}$$

En ocasiones se utiliza el arreglo denominado Lee, el cual es una modificación del Wenner.

El arreglo Lee consiste en colocar en el punto "O" un tercer electrodo de medición, obteniéndose para cada punto dos medidas de diferencia de potencial, MO y ON.

La resistividad (ρ) está dada por la misma expresión en el espacio MO ó ON :



El arreglo Schlumberger el cual podemos observar en la Figura No. III.14, es otro de los dispositivos simétricos y forma junto con el dispositivo Wenner los dispositivos electrónicos más empleados.

En el dispositivo Schlumberger las distancias a_1 y a_3 son iguales y muy grandes en comparación de a_2 .

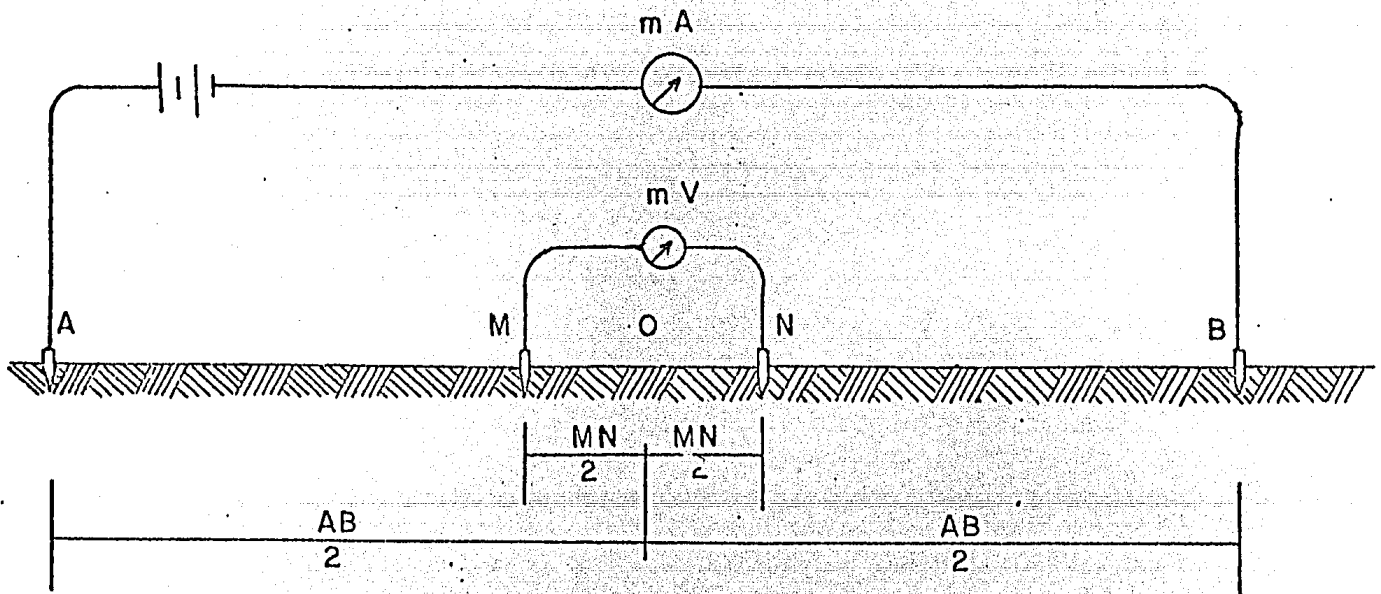
En la práctica se mantendrá la relación:

$$5 \frac{AB}{MN} < 20$$

Y la resistividad viene dada por la expresión :

$$\rho = \pi \frac{|AM \times AN|}{MN}$$

ARREGLO TETRAPOLAR SIMETRICO TIPO SCHLUMBERGER



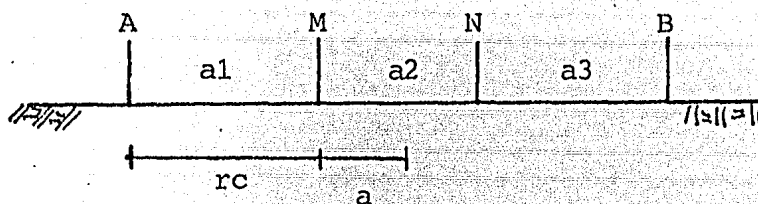
O = Centro del sondeo

$$\overline{AB} \geq 5 \overline{MN}$$

$$\rho = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\overline{AB}^2 - \overline{MN}^2}{\overline{MN}} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

FIGURA # III:14

DISPOSITIVO SCHLUMBERGER



También existen los dispositivos dipolares en los cuales las distancias entre los electrodos de medición y de corriente -- son pequeñas en comparación con la distancia (r) entre los centros O y Q de los dos dipolos.

En dependencia de la posición de los dipolos de corriente y de medición distinguimos varios tipos de dispositivos dipolares.

DESARROLLO DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES. --

Las mediciones de resistividad del subsuelo se pueden efectuar en dos formas principales. La primera, mediante los llamados "Perfiles Resistivos a Profundidades Constantes" en los cuales en la fórmula (6) deducida anteriormente para determinación de la resistividad aparente (ρ) del subsuelo, (K) permanece constante para una serie de medidas en diferentes puntos, dando como resultado información geoelectrica del subsuelo en dirección horizontal a una determinada profundidad.

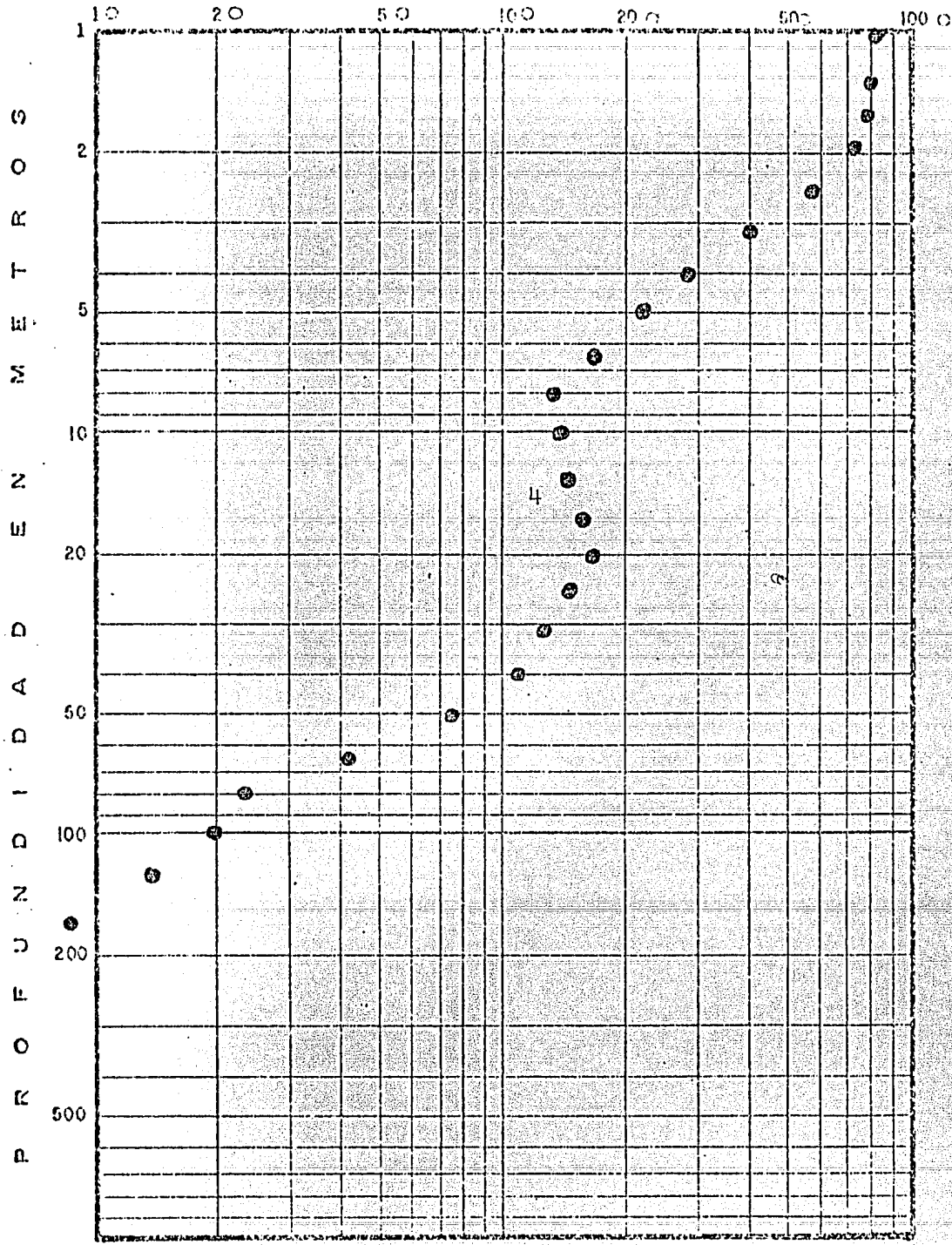
En la segunda forma, llamada "Sondeo Eléctrico Vertical" (SEV), las medidas son ejecutadas en un punto específico, tal que el valor del coeficiente geométrico (K) cambie progresivamente

De esta forma, los valores de la resistividad aparente, medidas en la superficie, reflejan la distribución vertical de los valores resistivos en una sección geológica.

Para el desarrollo de este estudio fué realizada en el campo una investigación de geofísica eléctrica de resistividad consistente en la implantación de 15 sondeos eléctricos verticales basados en un arreglo tipo Schlumberger como se muestra en la Fig. # III.14, con el propósito de correlacionar las unidades geológicas en el subsuelo con las observadas en la superficie, así como para interpretar las características eléctricas de estas formaciones y conocer la presencia de fronteras impermeables, así como contaminación por aguas saladas en el subsuelo. Correlacionando también esto con la información que se tiene de manifestaciones de agua subterránea en los pozos y norias, así como con las ideas generalizadas que se tienen de la estratigrafía regional de estas formaciones.

La localización de los 15 (SEV) que fueron llevados a cabo de acuerdo con las necesidades de investigación formando 7 perfiles longitudinales y transversales se muestran en el Plano # 1. Y los resultados de los 15 sondeos en forma individual en las gráficas III.15 a III.29 correspondientes a secciones geofísicas; cuyos resultados generales se indican en la tabla # III.30 en la cual como podemos observar por lo general se interpretaron 4 capas diferentes con resistividades mínimas de 6.5 ohms-m y máximas de 1000 ohms-m, siendo importante aquí señalar también que la máxima apertura de los electrodos de corriente fué de 500 metros, con aberturas mínimas de 320 metros.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M



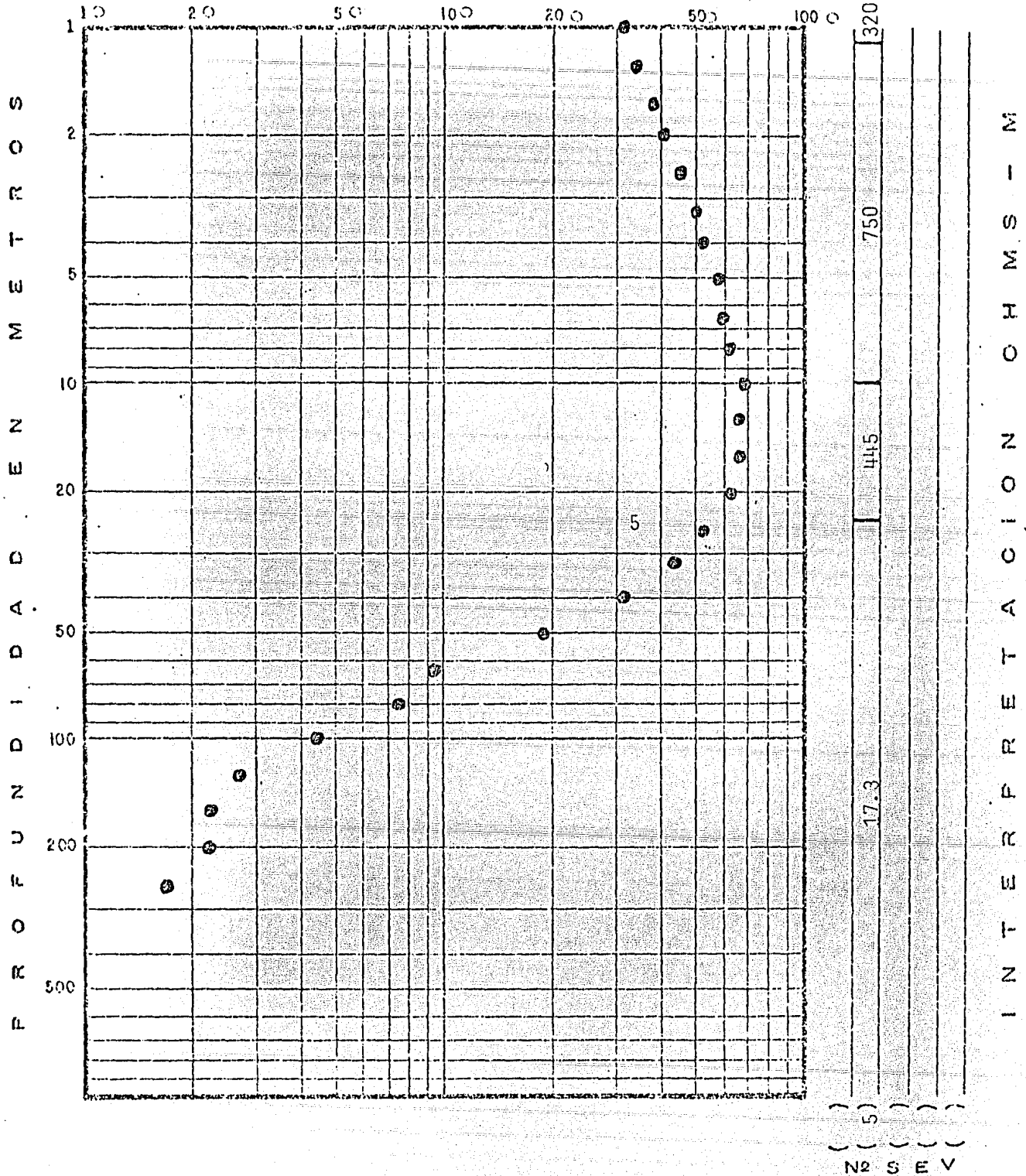
815
138
205
11

()
(4)
()
()
()
Nº S E V

I N T E R P R E T A C I O N O H M S - M

SECCION I
CAMERA # III.15
MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

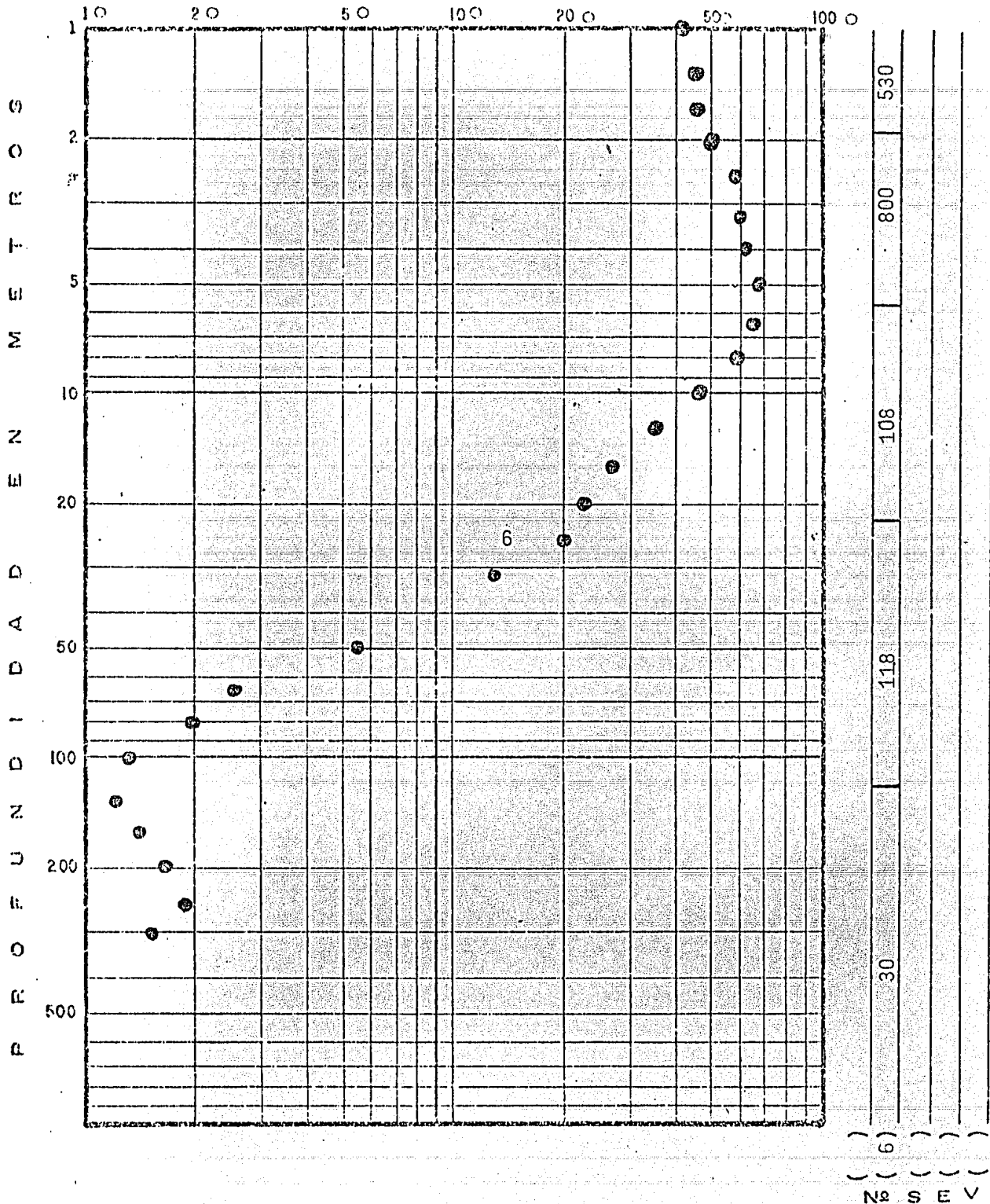


SECCION I

GRAFICA # 111 30

MEXICO, D.F.

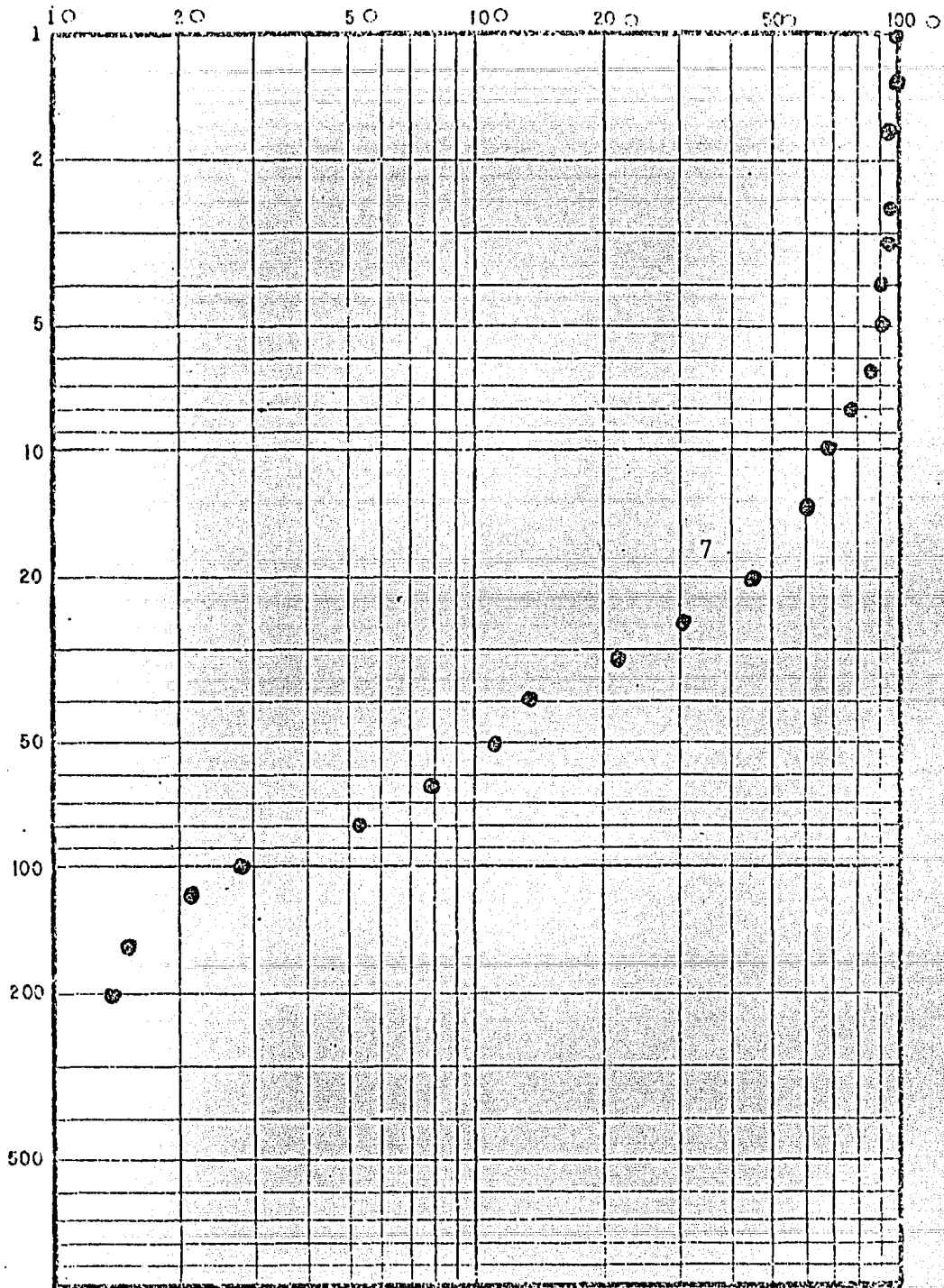
RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M



SECCION I
 GRAFICA # III.17
 MEXICO, D.F.

INTERPRETACION OHMS - M

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

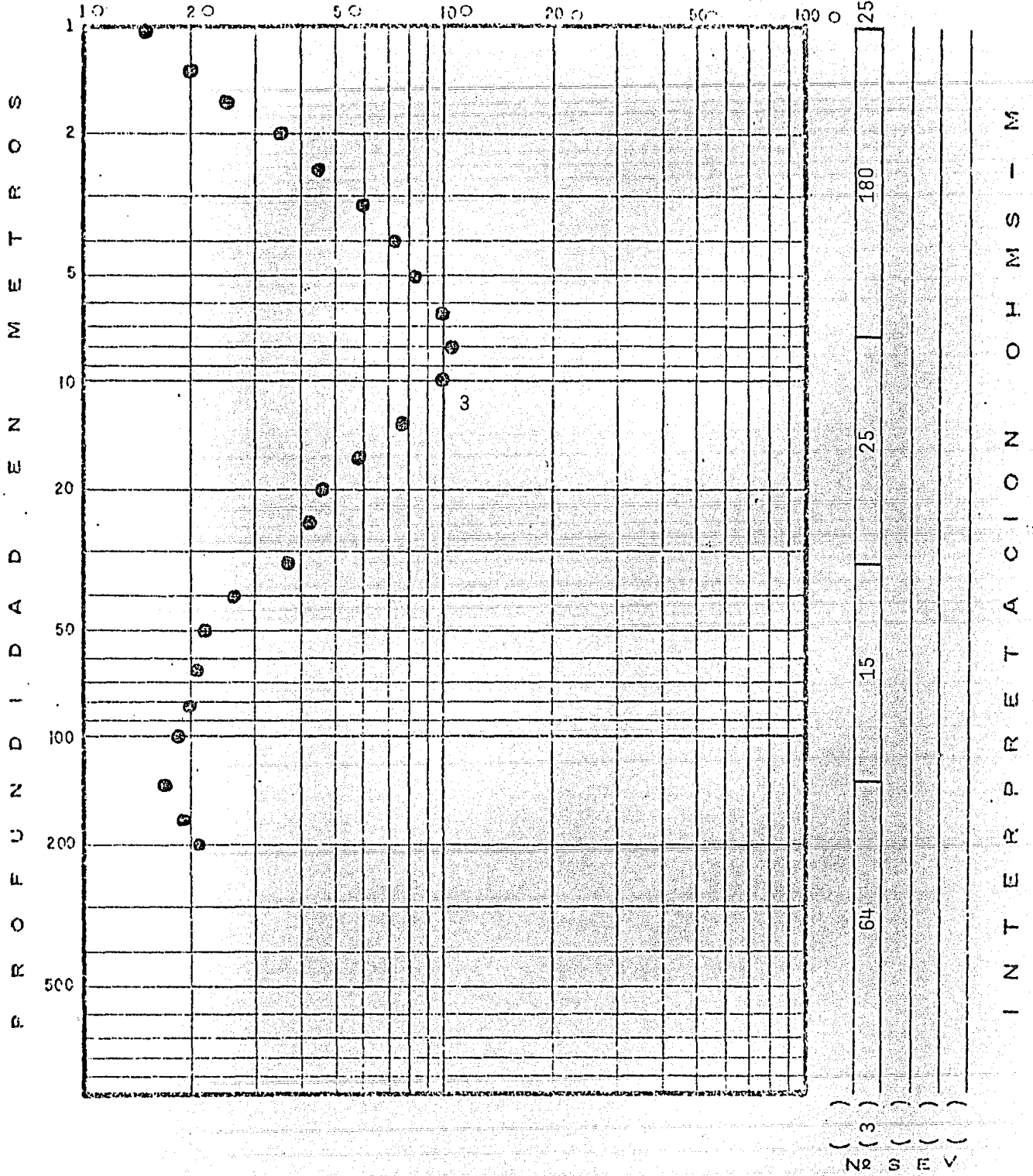


()	()	()	()
(7)	()	()	()
18		335	1000
		790	
Nº S E V			

I N T E R P R E T A C I Ó N O H M S - M

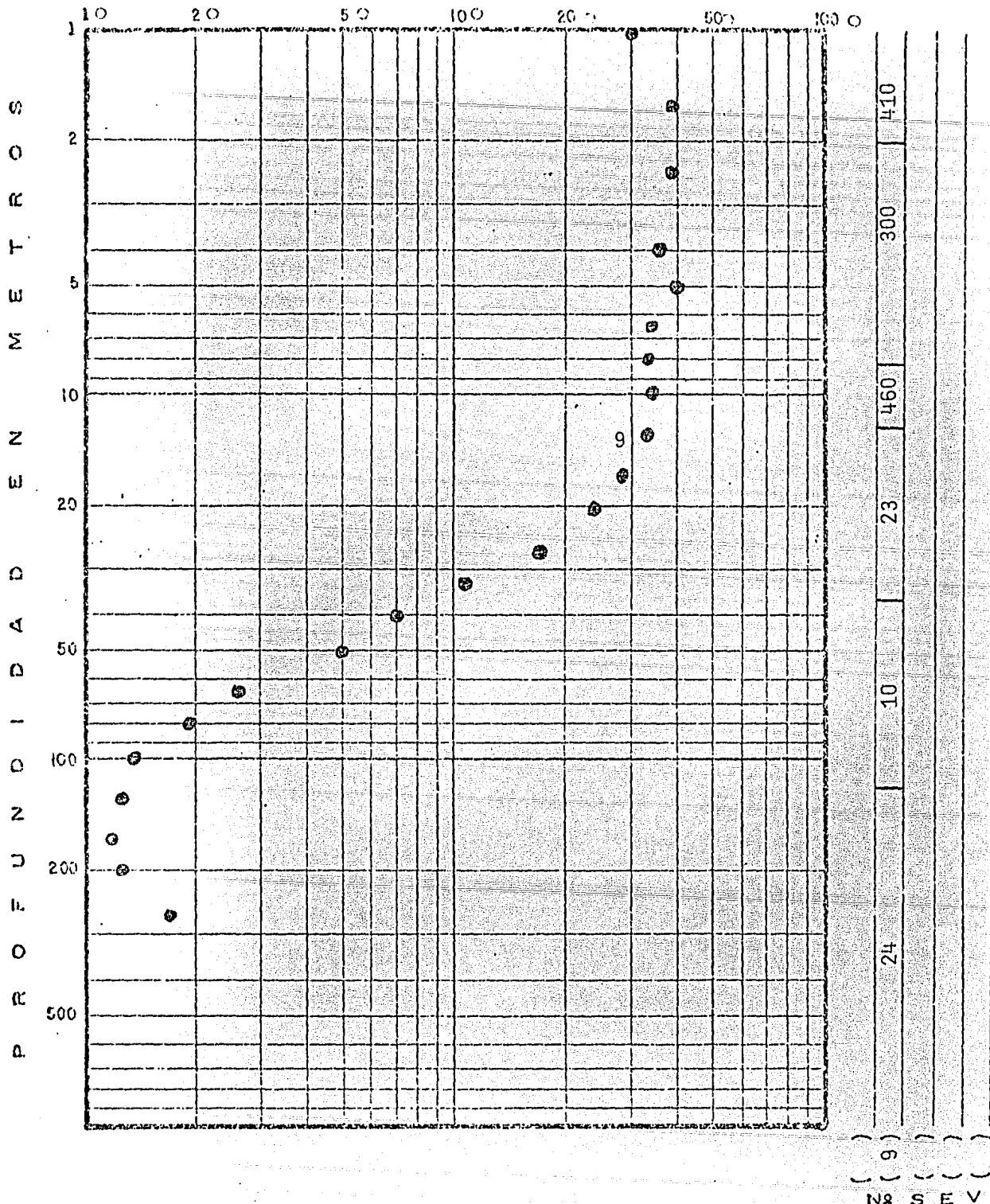
SECCION I
 GRAFICA # III.18
 MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M



SECCION II
 GRAFICA # III.19
 MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

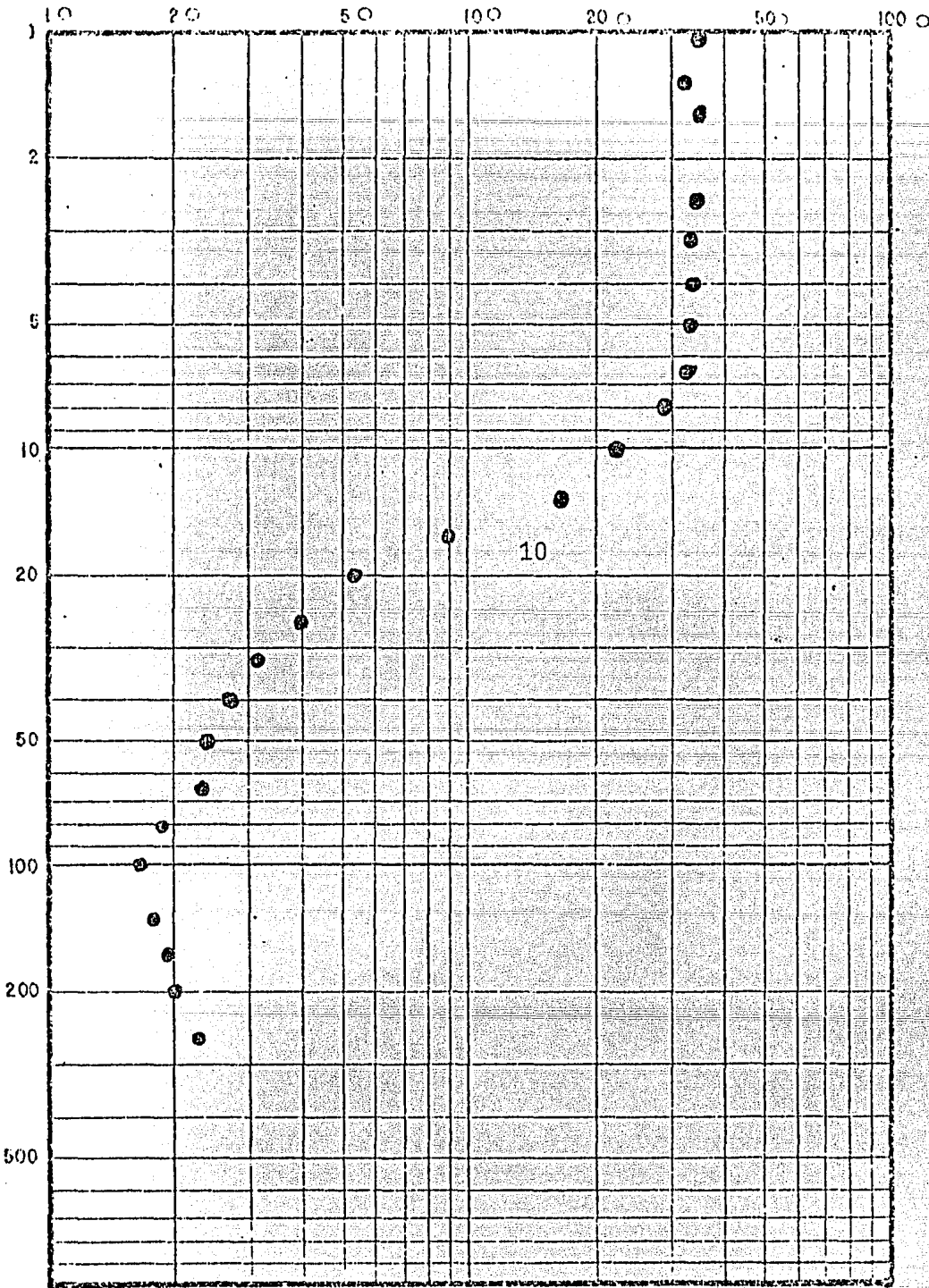


INTERPRETACION OHMS - M

SECCION II
GRAFICA # 111.20

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

P
R
O
F
U
N
D
I
D
A
D
E
N
M
E
T
R
O
S



()	()	()	()	()
(10)	()	()	()	()
Nº	34	14	24	280
S				360
E				
V				

I
N
T
E
R
P
R
E
T
A
C
I
O
N
O
H
M
S
-
M

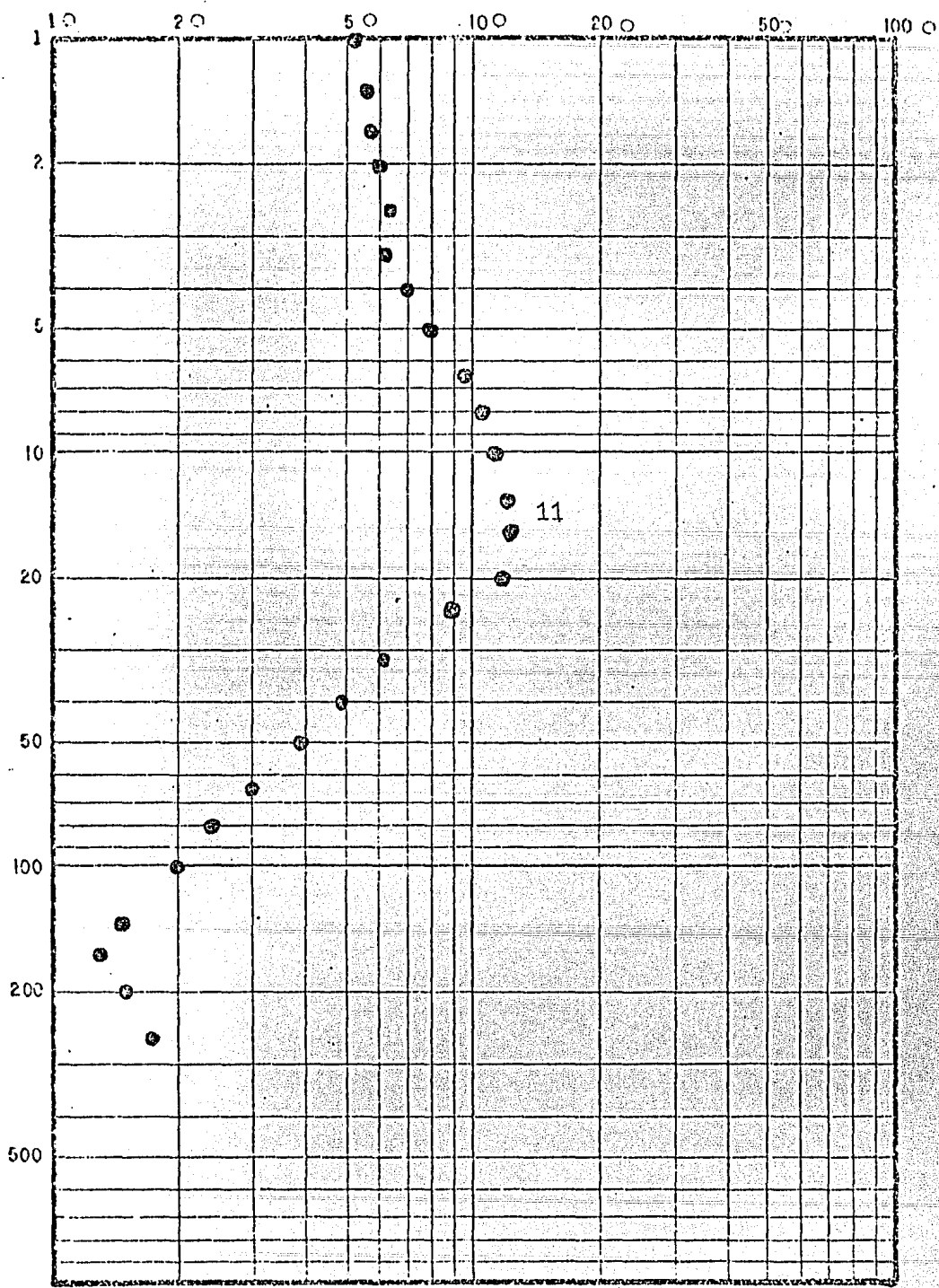
SECCION II

GRAFICA # III,21

MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

P
R
O
F
U
N
D
I
D
A
D
E
N
M
E
T
R
O
S

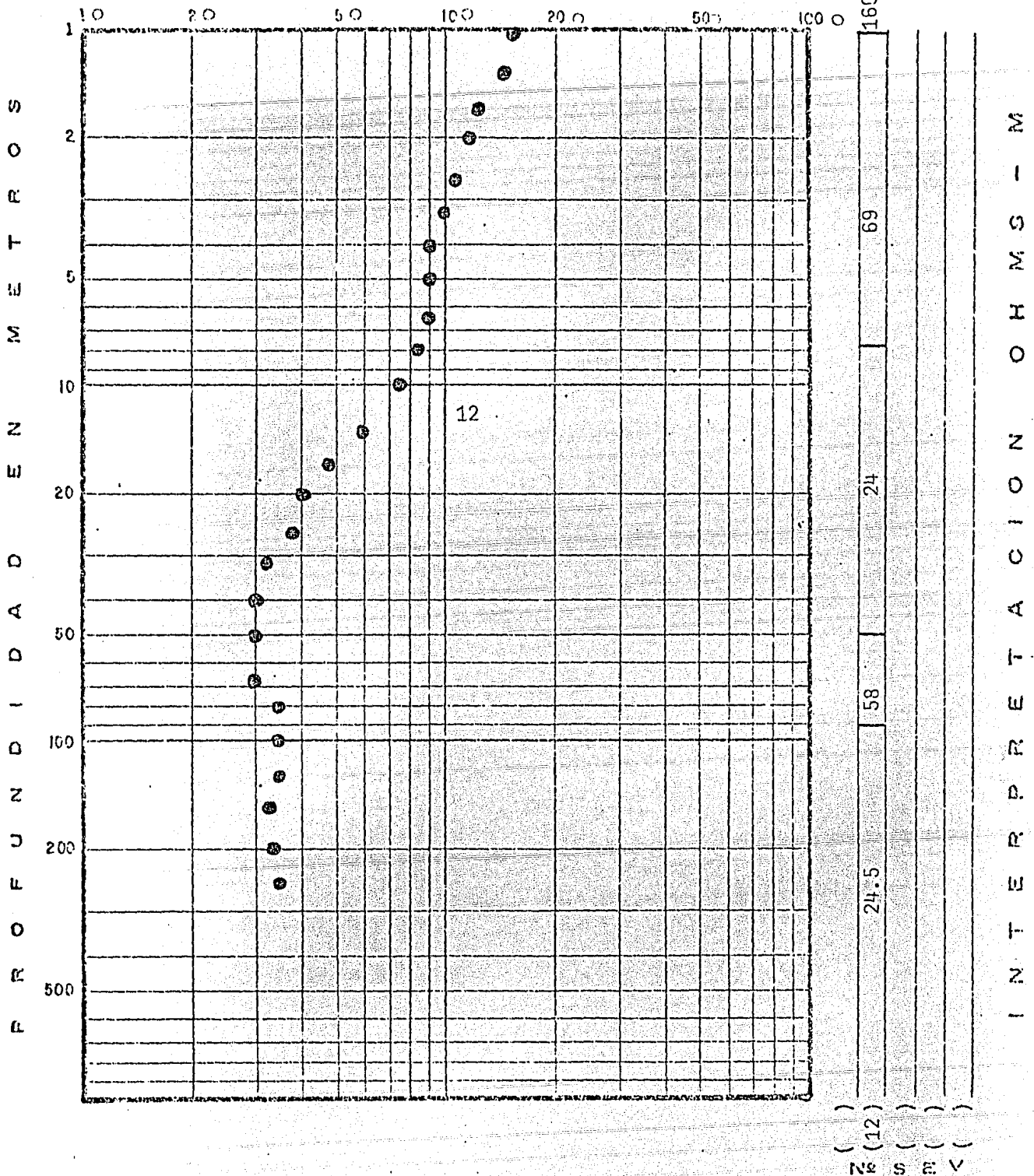


()	15
Nº (11)	79
S ()	183
E ()	51
V ()	10
()	85

I
N
T
E
R
P
R
E
T
A
C
I
O
N
O
H
M
S
-
M

SECCION II
 GRAFICA # III.22
 MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

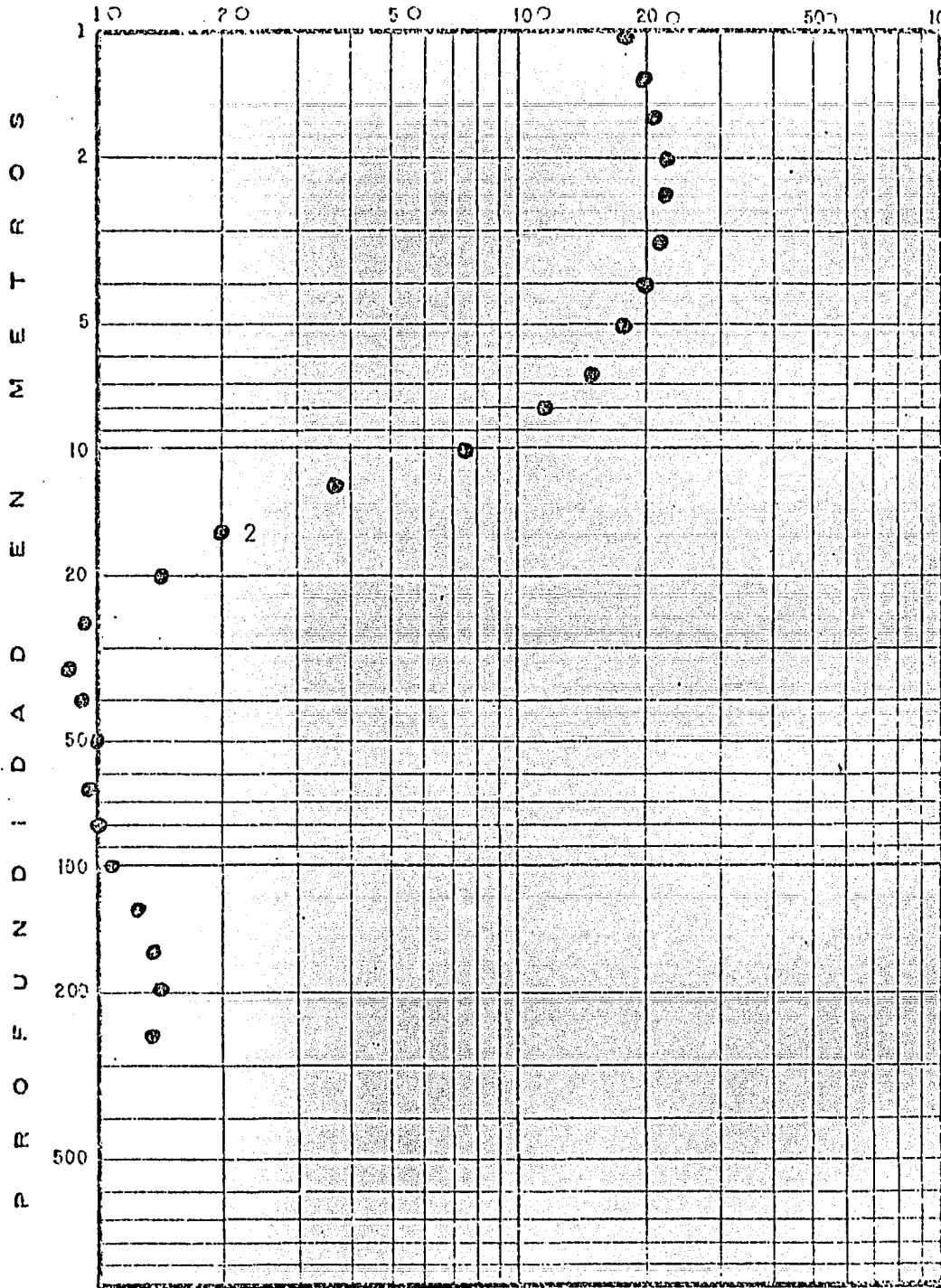


SECCION II

GRAFICA # III.23

MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

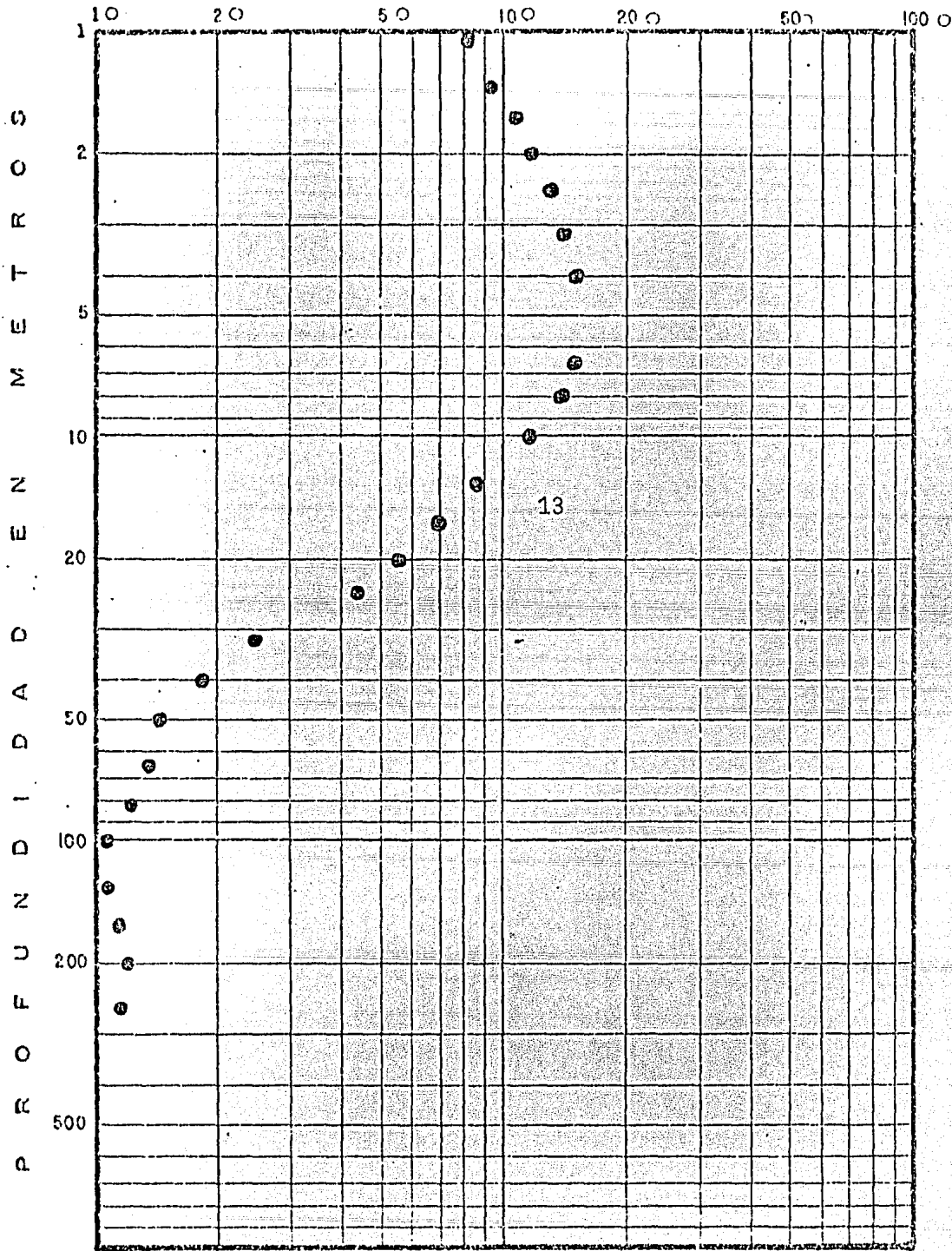


()	
(2)	290
()	98
()	6.5
()	16.3
()	
()	
()	

INTERPRETACIÓN OHMS - M

SECCION III
 GRAFICA # III.24
MEXICO

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M



()	()	()	()
Nº	14	9.3	85
S	()	()	()
E	()	()	()
V	()	()	()
			211

I N T E R P R E T A C I O N O H M S - M

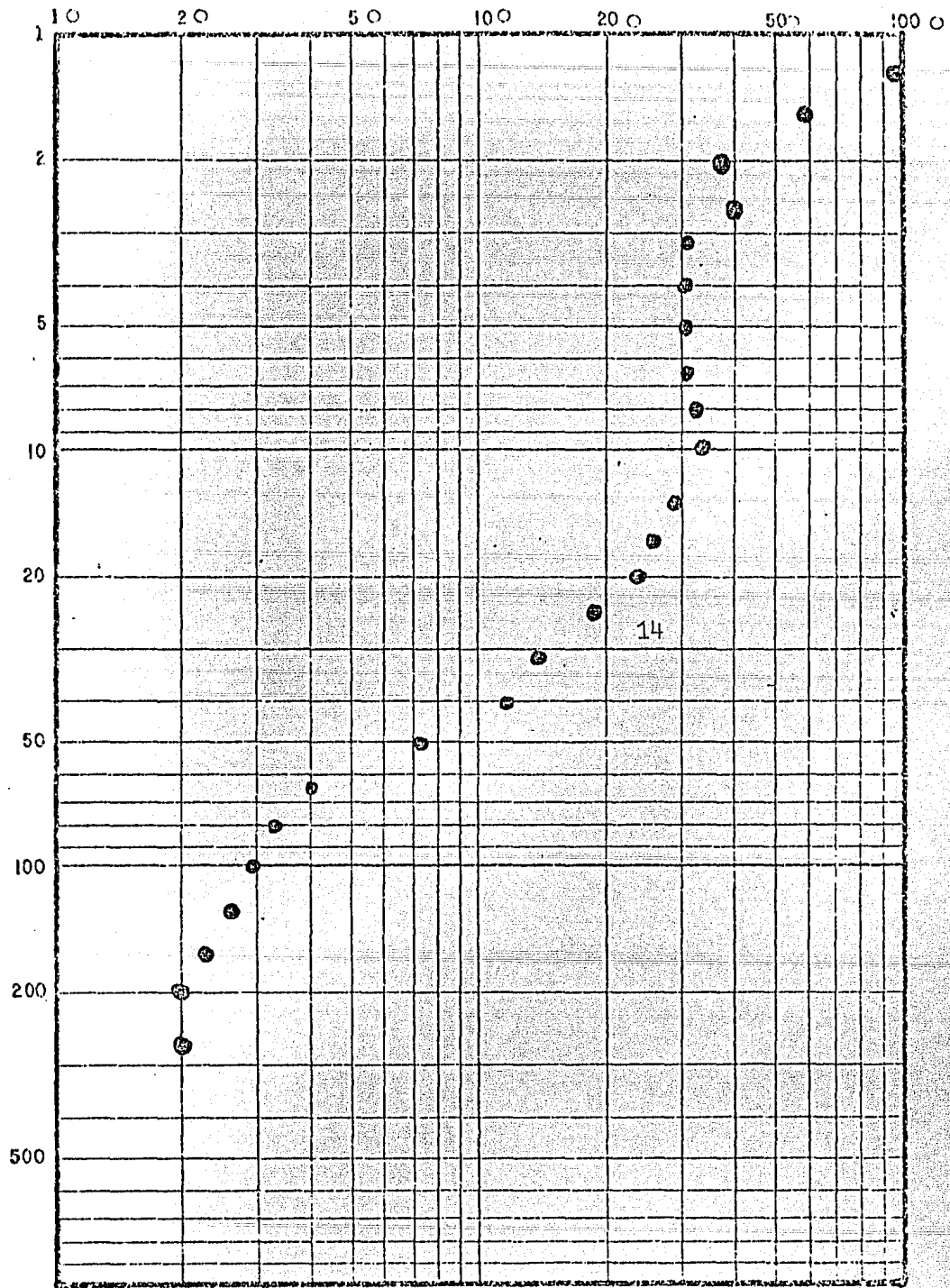
SECCION III.....

GRAFICA # III.25

MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

P. PROFUNDIDAD EN METROS



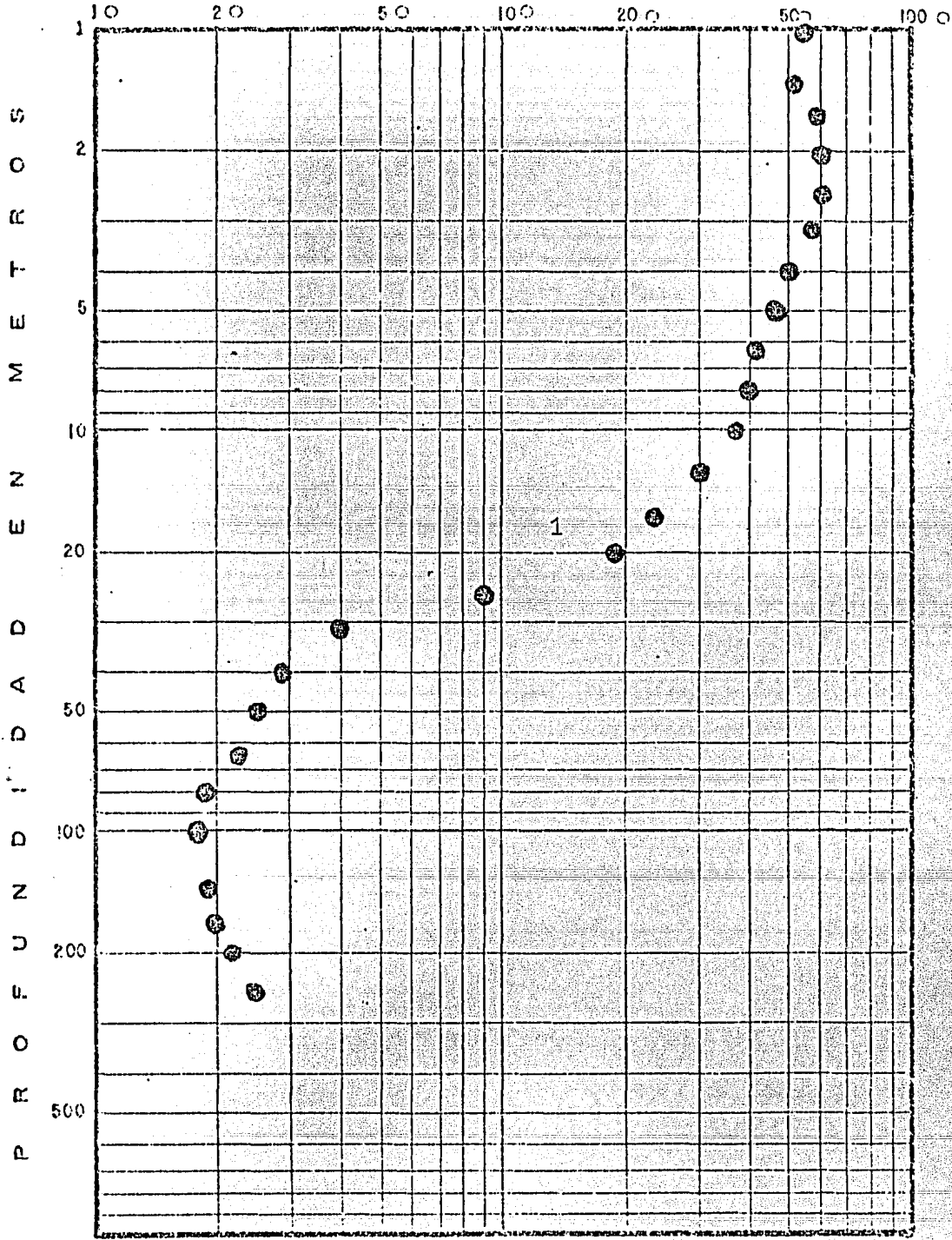
()
 (14)
 ()
 ()
 ()
 ()
 N° S E V

300
 380
 140
 33
 18.5

I N T E R P R E T A C I O N O H M S - M

SECCION IV
 GRAFICA # 111.26
 MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M



()
(1)
()
()
()

Nº S E V

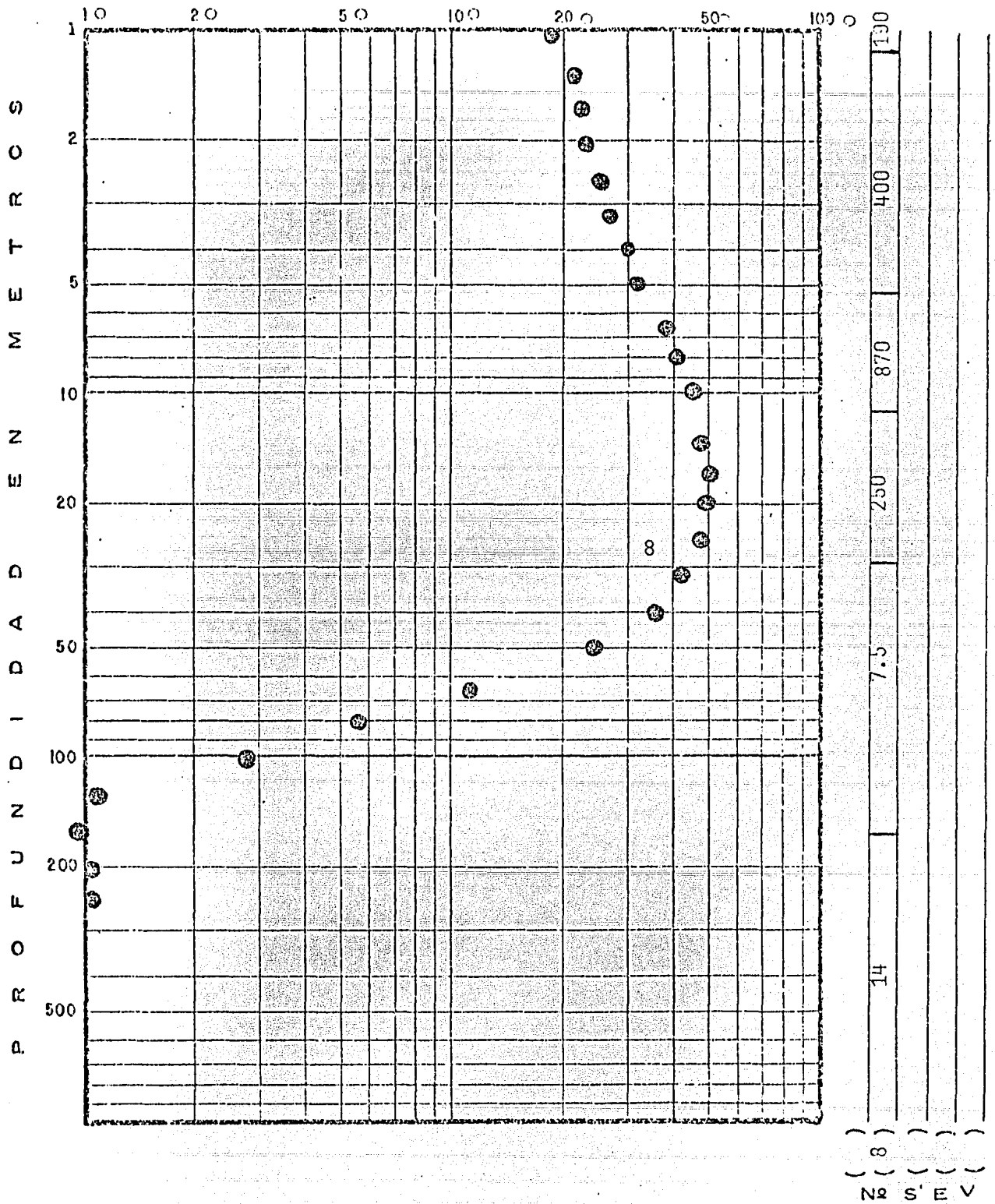
SECCION V

GRAFICA # III.2/

MEXICO, D.F.

INTERPRETACION OHMS - M

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M

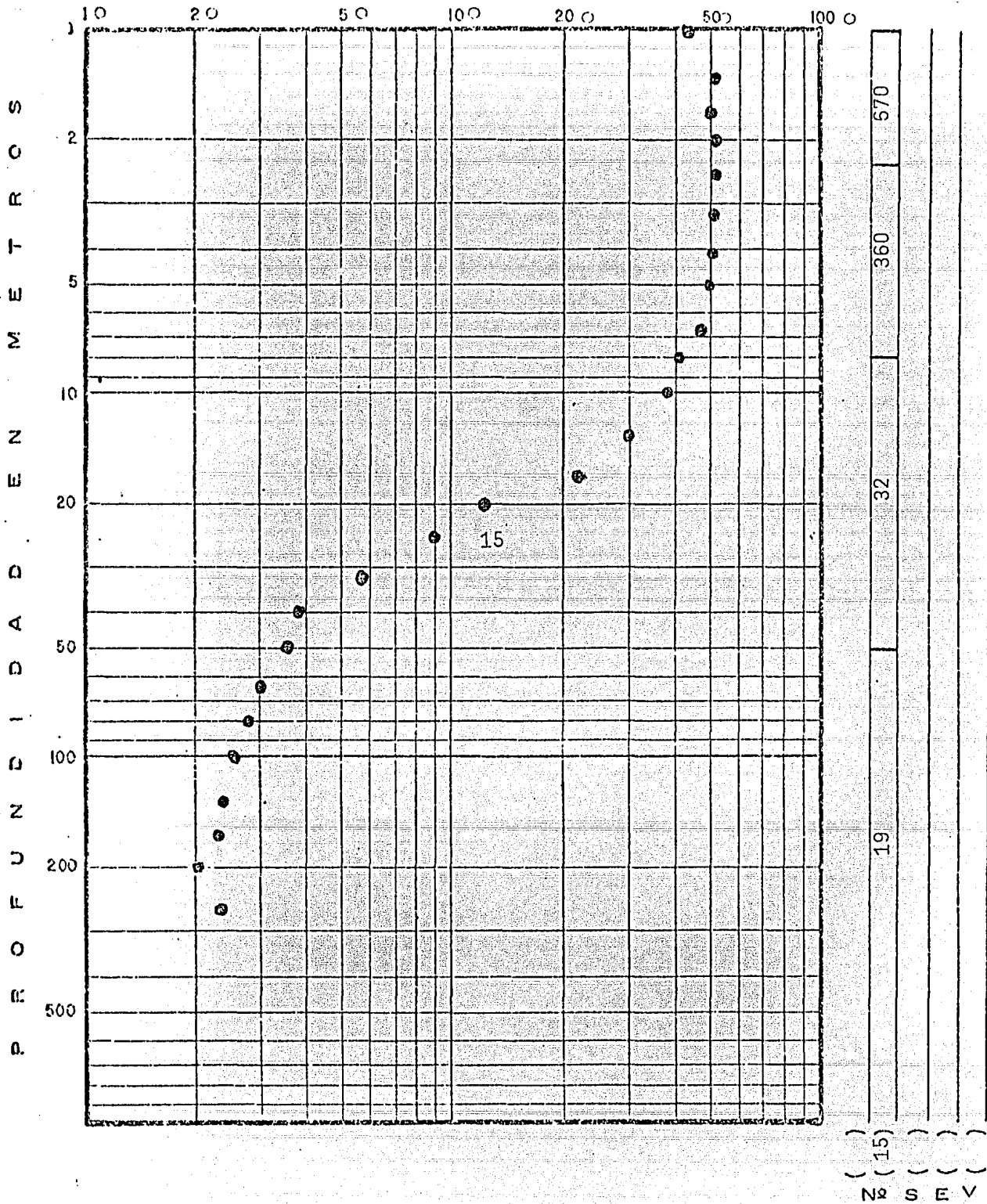


I N T E R P R E T A C I O N O H M S - M

NR (8)
S ()
E ()
V ()

SECCION VI
GRAFICA # 111.28
MEXICO, D.F.

RESISTIVIDAD APARENTE EN OHMS - M



SECCION VII
 GRAFICA # III.29
 MEXICO

INTERPRETACION OHMS - M

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

CAPA	SECC - II	SECCION III		SECC - IV	SECC - V	SECC - VI	SECC - VII	
	SEV - 9	SEV - 2	SEV - 13	SEV - 14	SEV - 1	SEV - 8	SEV - 15	
1	I	0-2	0-1.0	0-1.0	0-3.0	0-1.0	0-1.1	0-1.0
	P	410	135	94	300	540	190	440
2	I	2-8	1.0-2.3	1.0-3.8	3.0-8.5	1.0-1.8	1.1-5.5	1.0-2.3
	P	300	290	211	380	800	400	670
3	I	8-12	2.3-5.5	3.8-9.0	8.5-23.0	1.8-9.0	5.5-11.3	2.3-8.0
	P	460	98	85	140	320	870	360
4	I	12-36	5.5-32.0	9.0-29.0	23.0-63.0	9.0-100.0	11.3-28.0	8.0-51.0
	P	23	6.5	20	33.0	16	250	32
5	I	36-124	32.0-	29.0-100.0	63.0-	100.0-	28.0-163.0	51.0-
	P	10	16.3	9.3	18.5	29	7.5	19
6	I	124-		100.0-			163.0-	
	P	24		14			14	
7	I							
	P							
8	I							
	P							
9	I							
	P							
10	I							
	P							
AB max. (m)		500	500	500	500	500	500	500

TABLA # III.30

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

CAPA	S E C C I O N I				S E C C I O N II			
	SEV - 4	SEV - 5	SEV - 6	SEV - 7	SEV - 3	SEV - 12	SEV - 11	SEV - 10
I	0-1.3	0-1.1	0-1.9	0-2.0	0-1.0	0-0.9	0-1.0	0-2.0
P	815	320	530	1000	25	160	51.0	360
I	1.3-10.0	1.1-10.0	1.9-5.5	2.0-6.5	1.0-7.5	0.9-7.5	1.0-3.3	2.0-6.5
P	138	750	800	790	180	69	79	280
I	10.0-18.0	10.0-24.0	5.5-23.0	6.5-20.0	7.5-33.0	7.5-50.0	3.3-10.3	6.5-34.5
P	205	445	108	335	25	24	183	24
I	18.0-	24.0-	23.0-122.0	20.0-	33.0-133.0	50.0-90.0	10.3-32.5	34.5-114.0
P	11	17.3	11.8	18	15	58	51	14
I			122.0-		133.0-	90.0-	32.5-160.0	114.0-
P			30		64	24.5	10	34
I							160.0-	
P							85	
I								
P								
I								
P								
I								
P								
I								
P								
max. (m)	320	500	500	400	400	500	500	500

TABLA # III.30

III.5.1.- INTERPRETACION DE LA GEOFISICA.

Por lo general la primera capa interpretada en todos los sondeos, correspondiente a un intervalo entre 0 y 2 a 3 metros — fué de valores altos, con resistividades entre 25 y 1000 ohms-m; la segunda capa que se extiende hasta una profundidad aproximadamente de 5 a 6 metros correspondió también a resistividades relativamente altas, con valores entre 69 y 800 ohms-m; la tercer capa, que llega — aproximadamente hasta profundidades de 20 a 30 m. tuvo también resistividades relativamente elevadas entre 24 y 870 ohms-m; la capa No. 4 que en algunos casos fué la última que se interpretó y que llegó hasta profundidades aproximadas de 100 m. tuvo resistividades entre 6.5 y 250 ohms-m; la capa No. 5, que también en algunos casos fué la última que se interpretó y que llegó hasta profundidades de cerca de — 160 m. tuvo resistividades variables entre 7.5 y 34 ohms-m; finalmente la sexta capa, que también fué la última que se interpretó en los sondeos donde apareció, presentó resistividades entre 14 y 85 ohms-m.

La interpretación individual de estos sondeos, no permite relacionar por secuencia de capas la estratigrafía o la litología de los materiales en el subsuelo, en vista de lo cual se construyeron perfiles geofísicos en donde se relacionaron las diferentes resistividades interpretadas con los espesores correspondientes, tomando en cuenta la variación topográfica del terreno y la distancia entre estos sondeos.

Los 7 perfiles obtenidos se presentan en las figuras — Nos. III.31 a III.37, los cuales se describen a continuación.

PERFIL No. I

Se localiza a lo largo de la carretera que comunica el área urbana de Coatzacoalcos con el Ejido Calzadas y comprende los sondeos Nos. 4, 5, 6 y 7 en una longitud de aproximadamente 3.2 km. Los dos cuerpos interpretados en este perfil corresponden a resistividades relativamente altas en el superior, con un espesor de aproximadamente 20 m, descansando sobre otro cuerpo con resistividades menores y un espesor no definido por la penetración de los sondeos. Para una mejor comprensión, se muestra este perfil en la figura # III.31.

El cuerpo superior tiene resistividades bajo el nivel de saturación entre 108 y 445 ohms-m y sobre el nivel de saturación - llega hasta valores máximos de 1000 ohms-m. El cuerpo inferior presenta resistividades entre 11 y 17.3 ohms-m, aunque en el sondeo No. 6 - se identificó un tercer cuerpo a la profundidad de 122 m. con una resistividad de 30 ohms-m, que no fué correlacionado con los sondeos de este perfil. El cuerpo superior, dividido en dos partes por el nivel de saturación, debe corresponder con el material menos compacto y granular de la formación de dunas que cubren al cuerpo inferior, el que debe corresponder a las formaciones del Terciario, también acuíferas pero de menor capacidad que el superior.

PERFIL No. II

Formado por los sondeos Nos. 3, 12, 11, 10, 9 y 4, a lo largo de la carretera que une la zona urbana de Coatzacoalcos con

el Campo Canticas, considerandose una continuación del perfil no. 1, pero con una longitud de 6.6 km. y un cambio de dirección. Siendo casi perpendicular a la línea de costa y longitudinal al afloramiento de las formaciones Terciarias.

Para este caso se interpretaron tres cuerpos generales, como se puede observar en la Figura III.32, de los cuales el superior presenta un espesor entre 20 y 40 m. y resistividades entre 23 y 51 ohms-m, en la zona no saturada. El segundo cuerpo con un espesor entre 100 y 150 m. y resistividades entre 10 y 15 ohms-m. El cual descansa sobre un tercer cuerpo con un espesor no definido por corresponder a la penetración máxima de los sondeos en cuestión, el cual presenta resistividades entre 24 y 85 ohms-m.

Estos tres cuerpos corresponden a una misma formación, identificada como Terciario Marino, cuyos diferentes grados de compactación y permeabilidad corresponden con los rangos de resistividades obtenidas, siendo mas arcillosos por las resistividades menores y mas arenosos para resistividades mayores, lo cual explica el origen de esta formación y la presencia de intercalaciones de materiales finos menos permeables con materiales mas gruesos y consecuentemente mas permeables.

PERFIL No. III

Formado por los sondeos Nos. 2, 12 y 13. Que se localiza aproximadamente en la porción suroeste del Campo Canticas y en forma transversal a la carretera antes mencionada con una longitud de --

aproximadamente 2.8 km. siendo transversal al No. II en el sondeo No. 12. Este perfil lo podemos observar en la Figura No. III.33

En forma similar, se identificaron aproximadamente 3 - cuerpos que deben localizarse dentro de la formación del Terciario, - con diferentes rangos de resistividad y espesores, de los cuales el - superior presenta un espesor variable entre 20 y 40 m. siendo corre-- lacionable con el primer cuerpo del perfil No. II, con resistividades entre 20 y 24 ohms-m, aunque hacia el sondeo No. 2 desciende notable-- mente hasta 6.5 ohms-m. El cuerpo intermedio se observa exclusivamen-- te sobre el sondeo No. 13, con un espesor de aproximadamente 70 m. y resistividad de 9.3 ohms-m, siendo correlacionable con el segundo cuer-- po encontrado en el Perfil No. II y finalmente el tercer cuerpo con - espesor no definido por la penetración de los sondeos, el cual tiene resistividades entre 14 y 29 ohms-m y se relaciona también con el -- cuerpo inferior del Perfil No. II.

PERFIL No. IV.

Formado por los sondeos Nos. 11 y 14 con una longitud aproximada de 2.2 km. siendo paralelo al No. III y perpendicular al No. II en el sondeo No. 11; este perfil que se puede observar en la figu-- ra No. III.34, también se encuentra dentro del afloramiento de las -- formaciones del Terciario, localizandose los mismos tres cuerpos men-- cionados anteriormente, aunque el superior tiene espesores mayores y resistividades entre 33 y 51 ohms-m bajo el nivel de saturación, con resistividades hasta de 280 ohms-m, en la porción seca. El cuerpo in--

termedio tiene resistividades entre 10 y 18.5 ohms-m, con un espesor definido por la penetración de los sondeos, pero es correlacionable con los cuerpos identificados en los perfiles Nos. II y III.

PERFIL No. V

Formado por los sondeos Nos. 1, 10 y 15 y una longitud de aproximadamente 2.8 km. Vease figura No. III.35

Los mismos tres cuerpos mencionados en los perfiles -- anteriores se presentan también en éste, aunque con una tendencia a -- aumentar su espesor hacia la porción sureste, como se puede observar también en el perfil No. IV. El cuerpo superior en su parte saturada tiene resistividades entre 24 y 32 ohms-m, con espesores hasta de 50 m el cuerpo intermedio tiene resistividades entre 14 y 19 ohms-m con espesores entre 90 y 120 m. y finalmente el tercer cuerpo, sin espesor definido por la penetración de los sondeos, presenta resistividades -- entre 27 y 34 ohms-m.

PERFIL No. VI

Formado por los sondeos Nos. 8 y 5, con una longitud -- aproximada de 1.6 Km., perpendicular al perfil No. I en el sondeo No. 5 localizado a una distancia media entre la zona urbana de Coatzacoalcos y el Campo Canticas.

Se identificaron tres cuerpos que se correlacionan con los que se mencionan en el perfil No. I, correspondiendo a una porción superior resistente bajo el nivel de saturación, con espesores hasta --

de 20 m. y resistividades entre 250 y 445 ohms-m. Este se encuentra - sobre el cuerpo intermedio con un espesor medio de 140 m. y resistividades entre 7.5 y 17.3 ohms-m, el cual se encuentra sobre un tercer - cuerpo de espesor no definido por la penetración de los sondeos, con una resistividad de 14 ohms-m, observada en el sondeo No. 8 como se - puede observar en la figura No. III.36

PERFIL No. VII

Este último perfil se construyó con los sondeos No. 14, 15 y 9, conectándose con el perfil No. II en el sondeo No. 9, siendo perpendicular a los perfiles Nos. IV y V; su localización es hacia el suroeste del Ejido Calzadas con una longitud aproximada de 2 km.

En éste perfil, el cual se observa en la figura No. - III.37, se identificaron únicamente dos cuerpos, de los cuales el superior tiene un espesor incluyendo la porción no saturada entre 20 y 70 m. con resistividades en su porción saturada entre 32 y 50 ohms-m, el segundo cuerpo, sin espesor definido por la penetración de los sondeos, tiene resistividades entre 11 y 19 ohms-m.

Este perfil se construyó sobre la formación del Terciario, por lo que la variación de resistividades es correlacionable con la litología que presenta esta formación en cuanto a contenidos arcillosos, o bien granulometría más fina para las resistividades menores y mas gruesas para las resistividades mayores.

SECCION I

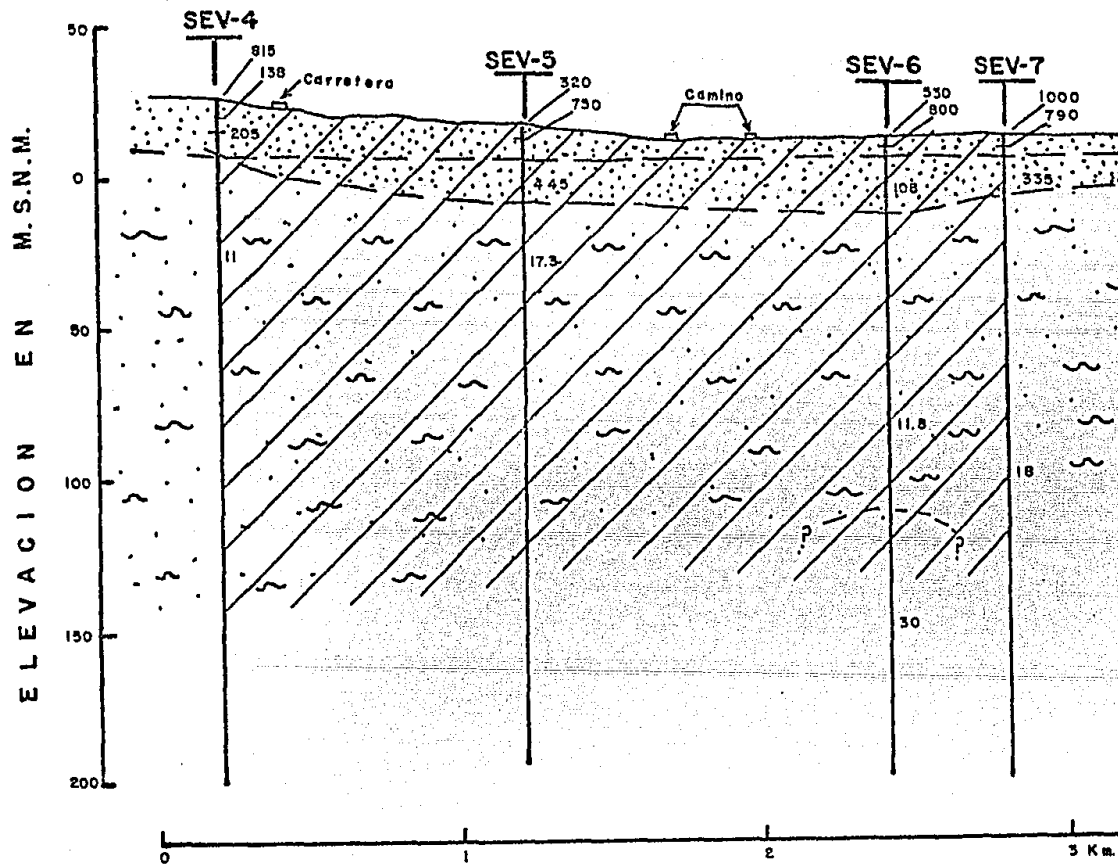


FIGURA # III.31

EXPLICACION

SONDEO ELECTRICO VERTICAL. MOSTRANDO CAPAS DE DIFERENTE RESISTIVIDAD EN OHMS METRO.

SEV-12
 135
 290

CONTACTO INFERIDO.

ARENAS FINAS

ARENAS Y ARCILLAS

GRAVAS, ARENAS Y LIMOS

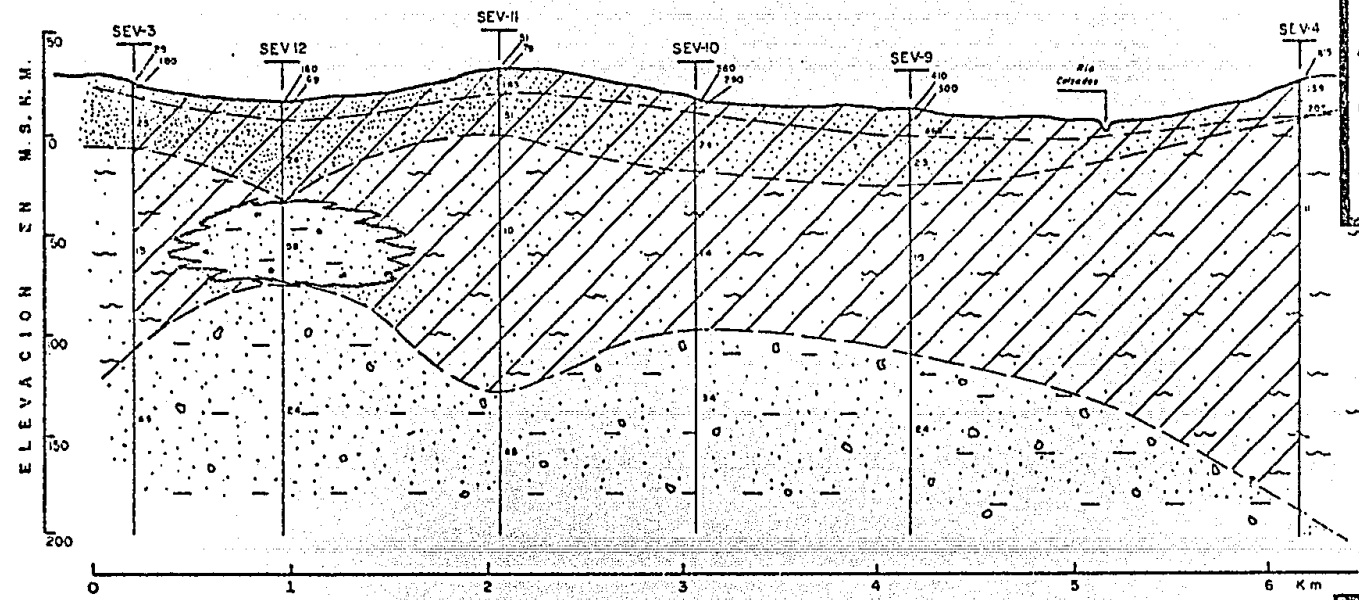
ZONA DE SATURACION

UNAM **ENEP-ACATLAN**

PERFILES GEOFISICOS

TESIS PROFESIONAL
 JULIO C. PEREZ RICARDEZ

SECCION II



EXPLICACION

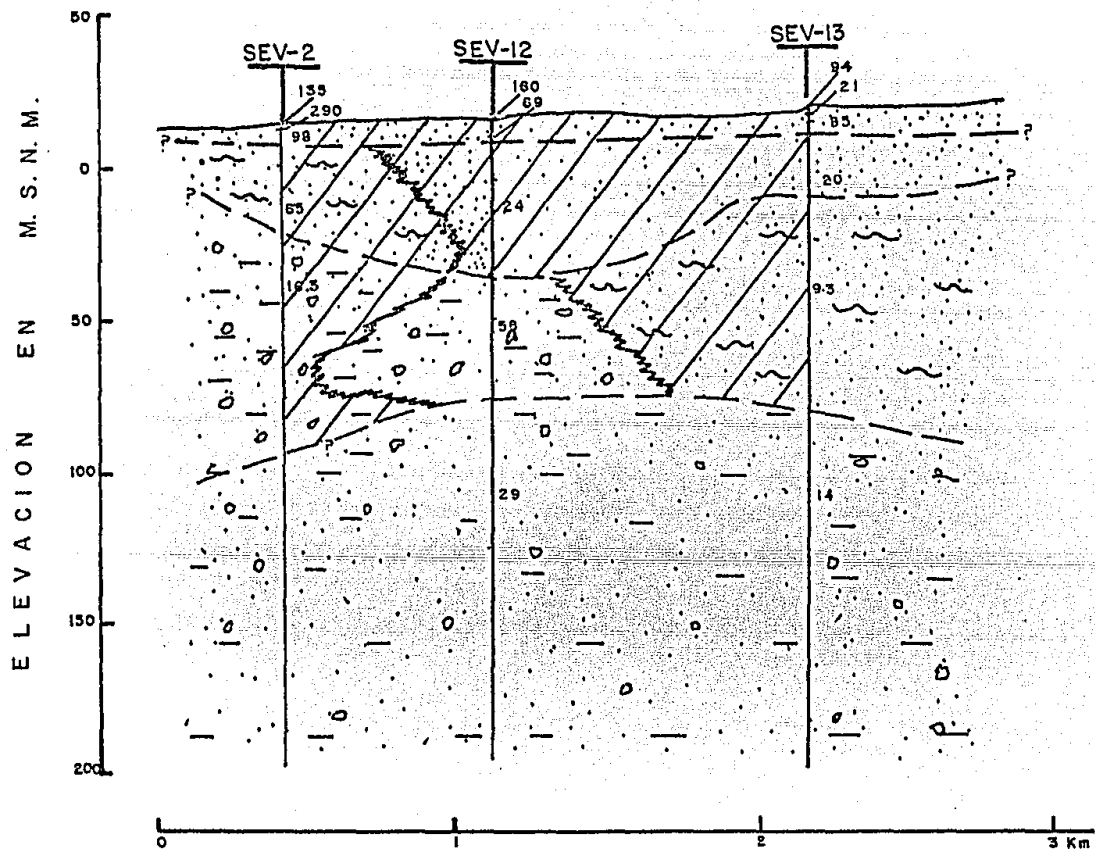
- SONDEO ELECTRICO VERTICAL, MOSTRANDO CAPAS DE DIFERENTE RESISTIVIDAD EN OHMS METRO.

SEV-12	135
	290
- CONTACTO INFERIDO.
- ARENAS FINAS
- ARENAS Y ARCILLAS
- GRAVAS, ARENAS Y LIMOS
- ZONA DE SATURACION

FIGURA # III.32

UNAM	ENEP-ACATLAN
	PERFILES GEOFISICOS
	TESIS PROFESIONAL
	JULIO C. PEREZ RICARDEZ

SECCION III

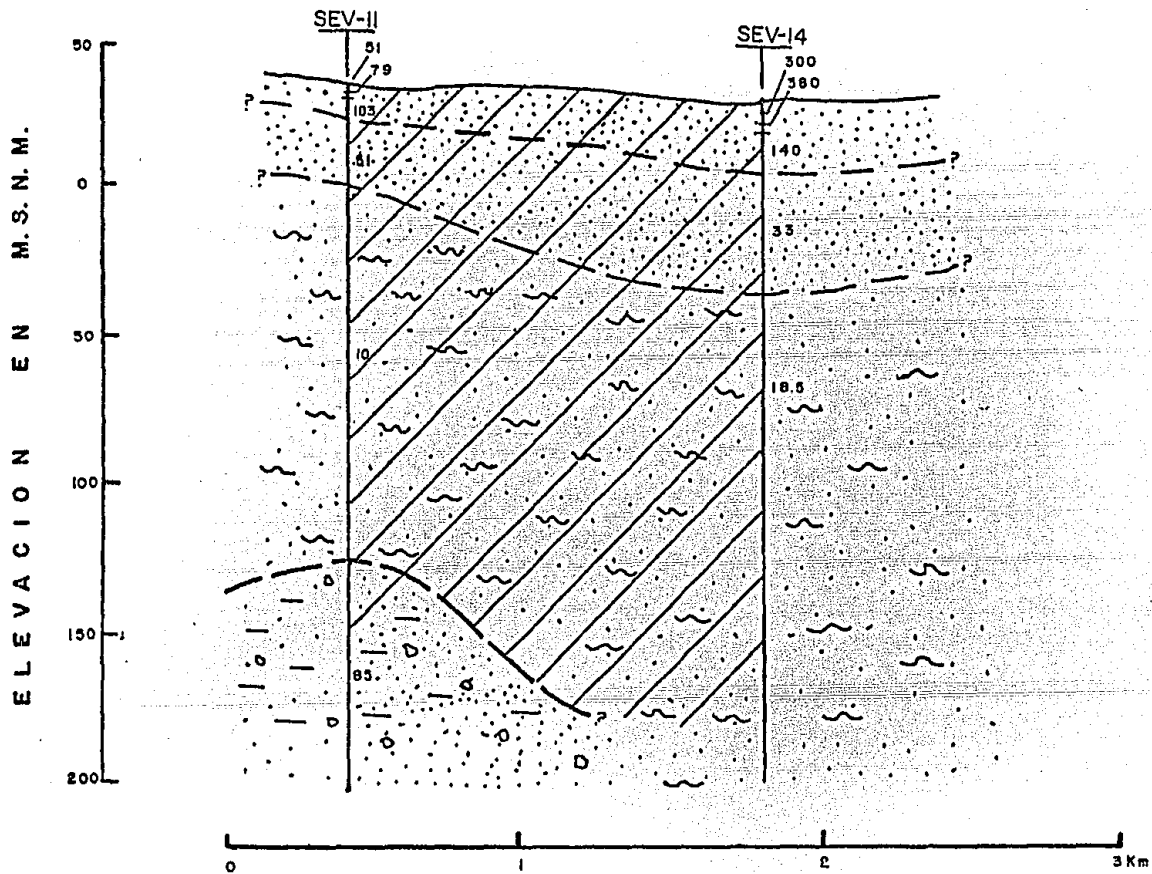


EXPLICACION	
SONDEO ELECTRICO VERTICAL, MOSTRANDO CAPAS DE DIFERENTE RESISTIVIDAD EN OHMS METRO.	SEV-12 135 290
CONTACTO INFERIDO.	- - - - -
ARENAS FINAS	[Stippled pattern]
ARENAS Y ARCILLAS	[Wavy pattern]
GRAVAS, ARENAS Y LIMOS	[Pattern with circles and dashes]
ZONA DE SATURACION	[Diagonal hatching]

UNAM	ENEP-ACATLAN
	PERFILES GEOFISICOS
	TESIS PROFESIONAL
	JULIO C. PEREZ RICARDEZ

FIGURA # III.33

SECCION IV



EXPLICACION

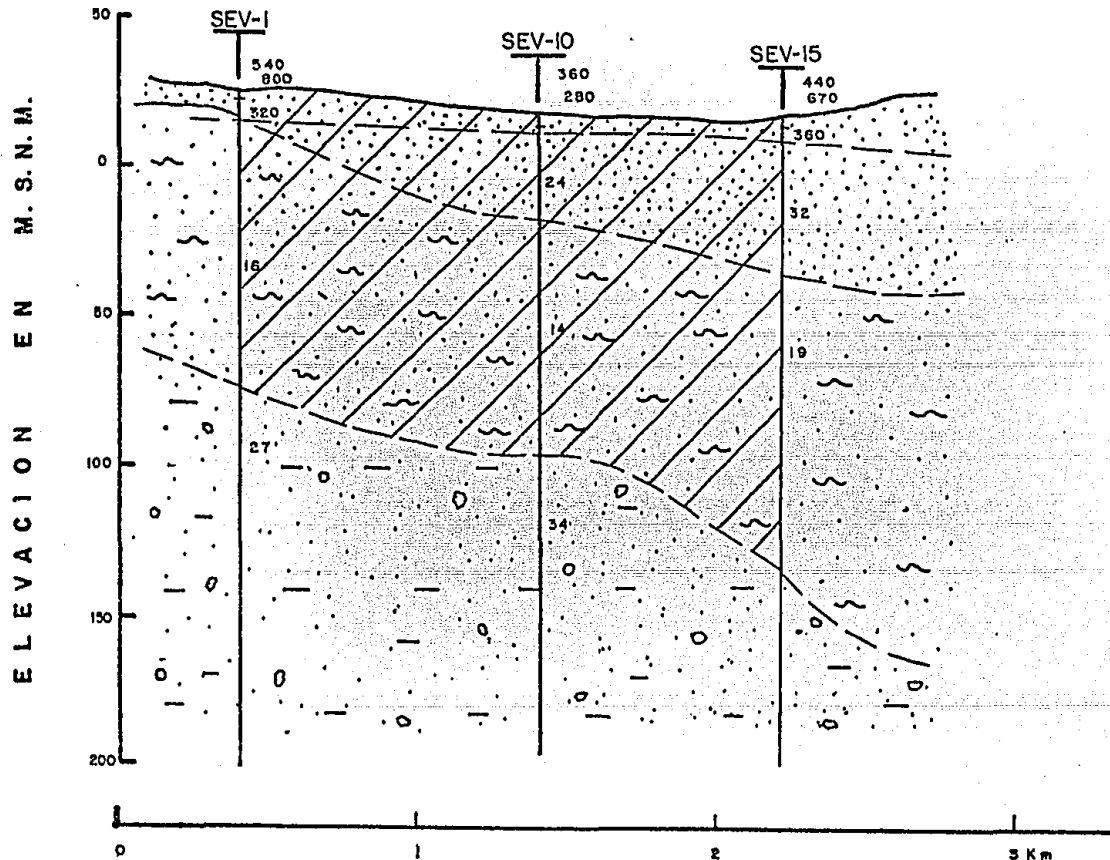
SONDEO ELECTRICO VERTICAL, MOSTRANDO CAPAS DE DIFERENTE RESISTIVIDAD EN OHMS METRO.

- CONTACTO INFERIDO.
- ARENAS FINAS
- ARENAS Y ARCILLAS
- GRAVAS, ARENAS Y LIMOS
- ZONA DE SATURACION

U N A M	ENEP-ACATLAN
	PERFILES GEOFISICOS
	TESIS PROFESIONAL
	JULIO C. PEREZ RICARDEZ

FIGURA # III.34

SECCION V



EXPLICACION

- SONDEO ELECTRICO VERTICAL, MOSTRANDO CAPAS DE DIFERENTE RESISTIVIDAD EN OHMS METRO.
- SEV-12
135
290
- CONTACTO INFERIDO.
- ARENAS FINAS
- ARENAS Y ARCILLAS
- GRAVAS, ARENAS Y LIMOS
- ZONA DE SATURACION

FIGURA # III.35

U N A M	ENEP-ACATLAN
	PERFILES GEOFISICOS
	TESIS PROFESIONAL
	JULIO C. PEREZ RICARDEZ

SECCION VI

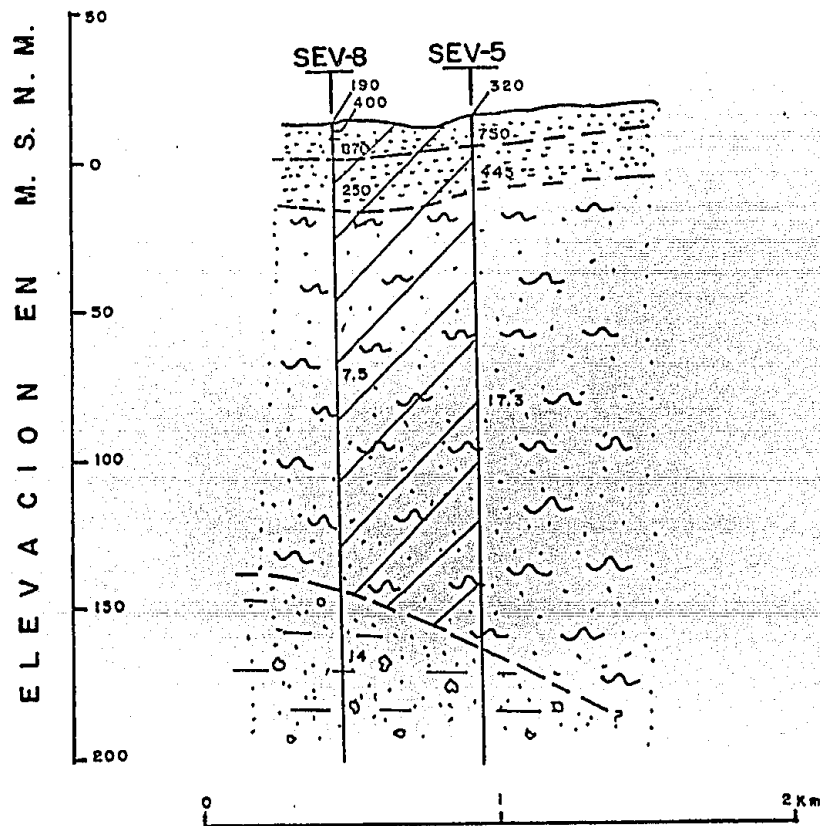


FIGURA # III.36

EXPLICACION

SONDEO ELECTRICO VERTICAL, MOSTRANDO CAPAS DE DIFERENTE RESISTIVIDAD EN OHMS METRO.

SEV-12
133
290

CONTACTO INFERIDO.

ARENAS FINAS



ARENAS Y ARCILLAS



GRAVAS, ARENAS Y LIMOS



ZONA DE SATURACION



UNAM	ENEP-ACATLAN
	PERFILES GEOFISICOS
	TESIS PROFESIONAL JULIO C. PEREZ RICARDEZ

SECCION VII

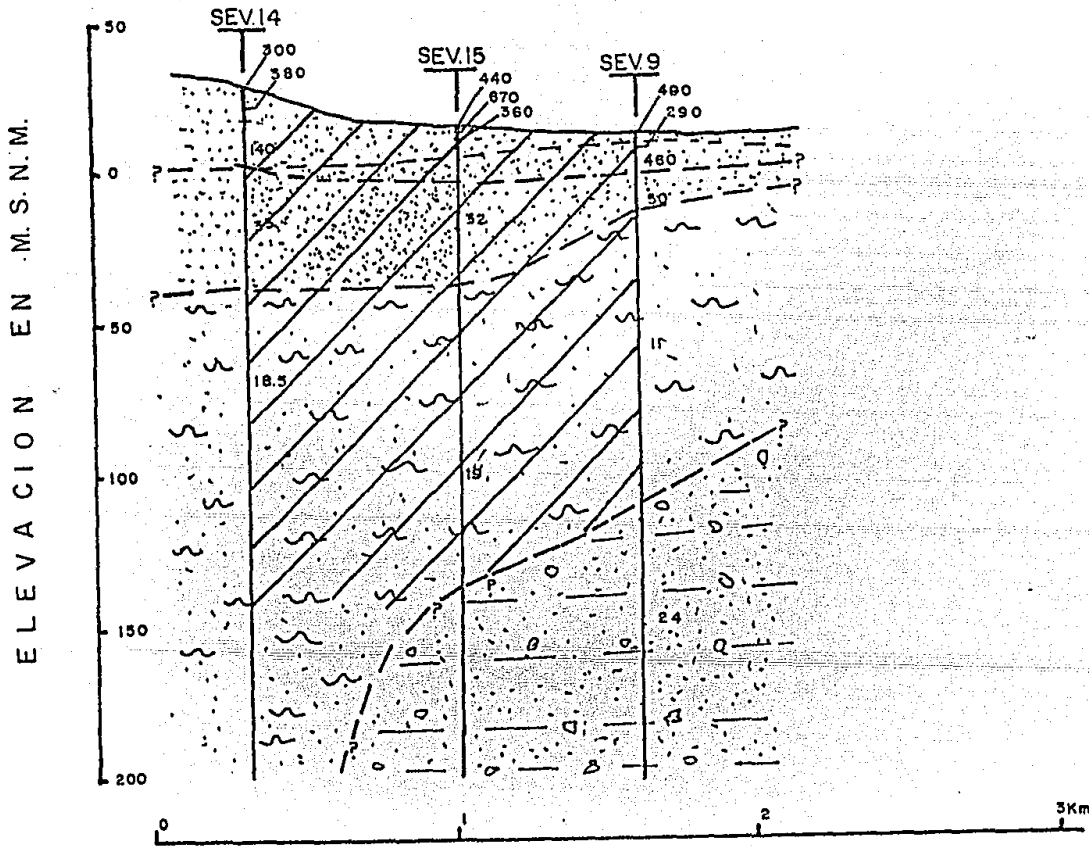


FIGURA # III.37

EXPLICACION

SONDEO ELECTRICO VERTICAL, MOSTRANDO CAPAS DE DIFERENTE RESISTIVIDAD EN OHMS METRO.

SEV-12
 135
 290

CONTACTO INFERIDO.

ARENAS FINAS

ARENAS Y ARCILLAS

GRAVAS, ARENAS Y LIMOS

ZONA DE SATURACION

U
 N
 A
 M

ENEP-ACATLAN

PERFILES
 GEOFISICOS

TESIS PROFESIONAL
 JULIO C. PEREZ RICARDEZ

III.6 HIDROLOGIA SUPERFICIAL Y CLIMATOLOGIA

La realización de esta actividad se lleva a cabo con el propósito de conocer la influencia para con el acuífero de factores externos de la zona en estudio tales como: Temperatura, Evaporación Potencial, Precipitación Pluvial y Escurrimientos superficiales.

Para la determinación de las condiciones de temperatura, evaporación potencial y precipitación pluvial, se analizaron datos de 26 años de registro para el período comprendido de 1955 - 1980 en la estación climatológica Nanchital, localizada al sureste de Coatzacoalcos sobre la margen derecha del Río del mismo nombre; esta estación se analizó por ser una de las mas completas y por quedar cerca de Coatzacoalcos, considerándose que el régimen de lluvias es muy similar al del área en estudio, por la cercanía entre ambos sitios.

La localización de las estaciones hidrométricas y climatológicas de las cuales se utilizó la información correspondiente, se localiza en la Figura No. III.38 y en la Tabla No. III.39.

Con respecto a la precipitación pluvial, diremos que el área en estudio corresponde a una zona de precipitación media anual mayor de 2000 mm., con valores medios anuales de 2741 mm. para Coatzacoalcos; 2762 mm. para Nanchital al sur, hacia el suroeste - 2124 mm. para Minatitlán, en la misma dirección 2013 mm. para Jaltipan y hacia el este 2808 mm. en Agua Dulce.

De la estación climatológica Nanchital, se obtuvieron los valores de la precipitación anual y mensual para el período 1955-1980 mismos que se muestran en la tabla No. III.40. De esta manera se considera que el valor medio anual de la precipitación en --

Nanchital fue de 2702.8 mm. presentándose con una frecuencia de 3.25 años. Asimismo, el valor máximo de la precipitación fué de 3321.6 mm. en 1956 presentándose con una frecuencia de 13 años. Y con la misma frecuencia de presentación se obtuvo la precipitación mínima anual -- que fué de 1739.7 mm. para 1977.

Tomando en consideración la cercanía de la estación -- Nanchital con el área en estudio, se puede establecer que la lluvia -- media anual tiene una frecuencia ligeramente mayor de 3 años, con pre -- cipitaciones mínimas cada 13 años y máximas también cada 13 años, lo que garantiza una recarga prácticamente estable dentro del área en -- estudio.

La información correspondiente a la temperatura se -- muestra en la tabla No. III.42 en la cual podemos observar un valor -- medio anual de 26.1°C, con valores máximos de 26.7°C. y mínimos de -- 25.5°C. por lo que puede considerarse como una temperatura bastante -- estable como promedio anual. No obstante esto, las temperaturas máxi -- mas como promedio mensual se observan durante el mes de Mayo con 30.8° C. y las mínimas como promedio mensual durante el mes de Enero con -- 20.9°C.

De la misma manera se obtuvo la información correspon -- diente a la evaporación potencial misma que se muestra en la tabla No. III.43. Determinándose el promedio anual de evaporación potencial -- igual a 1214 mm., con valores máximos de 1426 mm. para 1956 y mínimos de 1049 mm. para 1980. Correspondiendo las máximas evaporaciones men -- suales al mes de Mayo con 214 mm. y las mínimas al mes de Diciembre -- con 30.5 mm.

En lo que correspondé a escurrimientos superficiales, el área en estudio se encuentra localizada dentro de la cuenca del

Río Coatzacoalcos, el cual recibe como afluentes sobre su margen izquierda al Río Calzadas, formado por los Ríos de Xizapán y Huazuntlán y sobre su margen derecha a los Ríos Uzpanapa, Coachapa y Solosuchil, según se puede observar en la figura No. III.38

De estos escurrimientos, unicamente se obtuvo información del Río Calzadas en la estación Hidrométrica Huazuntlán; y sobre el Río Coatzacoalcos solo se obtuvo información de la estación Hidrométrica las Perlas, ubicada antes de la confluencia de los Ríos mencionados en ambas margenes, misma que se muestra en la figura No. III.38 al igual que la estación Huazuntlán.

El Río Calzadas en la estación Huazuntlán la cual fué suspendida en 1956 para continuar en 1974 presenta un escurrimiento medio anual de $220.774 \times 10^6 \text{ m}^3$ entre los años de 1952 y 1955 como se observa en la Tabla No. III.44. Por su parte el Río Coatzacoalcos tiene un escurrimiento medio anual en la estación Las Perlas entre los años 1953 y 1980 de $13,215.37 \times 10^6 \text{ m}^3$. Presentándose los resultados en la tabla No. III.45

De acuerdo con lo anterior, podemos establecer que tanto el Río Calzadas como el Coatzacoalcos tienen un escurrimiento permanente en sus cauces para garantizar un nivel casi estable de drenaje hacia los acuíferos, o bien considerarse como una zona de recarga en caso de la existencia de depresiones piezométricas. Estos dos Ríos rodean el área de estudio y limitan el área acuífera, separándola de el Golfo de México estableciendo una zona de carga constante en el cauce de los mismos.

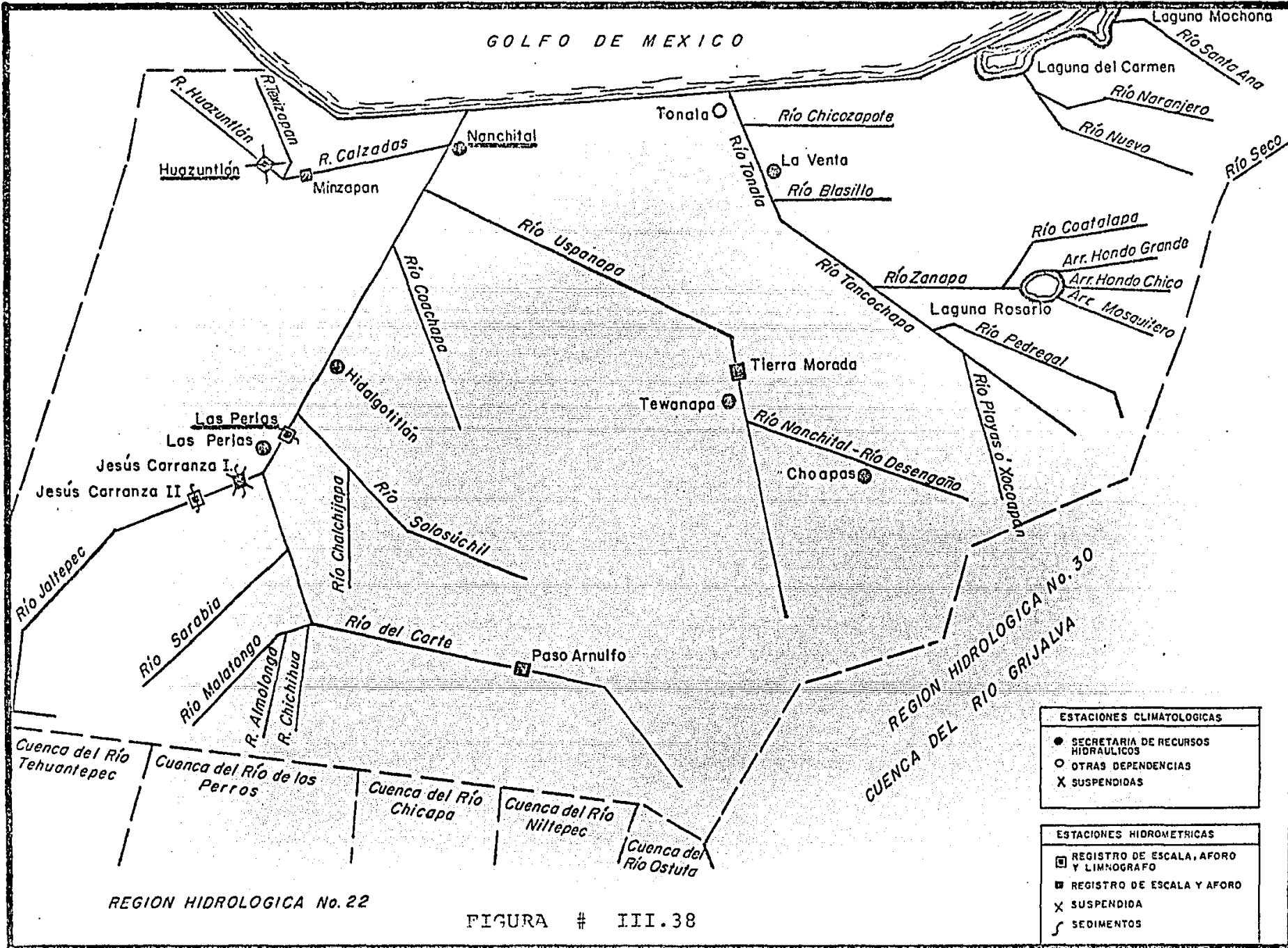


FIGURA # III.38

RELACION DE INFORMACION HIDROMETEREOLOGICA

1.- CLIMATOLOGIA

ESTACION NANCHITAL

DATOS MENSUALES:	PERIODO
LLUVIA	1955-1980
TEMPERATURA	1955-1980
EVAPORACION	1955-1980

2.- HIDROMETRIA

ESCURRIMIENTOS MEDIOS DIARIOS

ESTACION	CORRIENTE	PERIODO
LAS PERLAS	RIO COATZACOALCUS	1953-1980
HUAZUNTLAN	RIO CALZADAS (HUAZUNTLAN)	1952-1955

TABLA # III.39

PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)

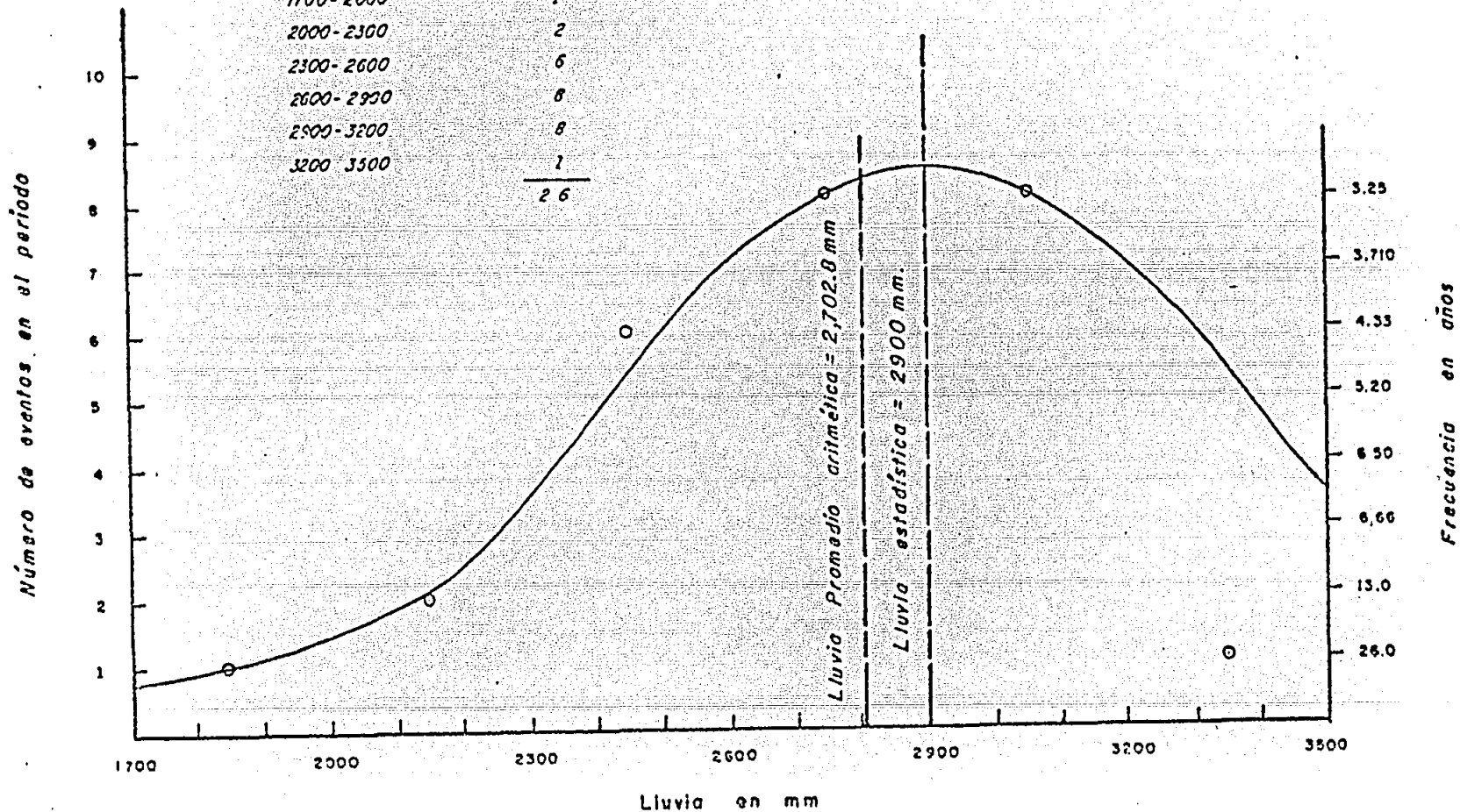
Estación climatológica NANCHITAL Período 1955- 1980

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1955	172.2	57.7	14.8	41.6	12.6	299.7	202.2	280.0	749.9	379.4	290.1	163.8	2,670.0
1956	102.8	14.5	19.1	0.0	549.0	469.1	239.8	142.0	584.9	461.8	427.3	311.3	3,321.6
1957	22.2	210.3	54.1	80.6	39.0	152.0	237.7	514.7	670.9	223.7	113.5	182.9	2,701.6
1958	84.7	16.8	59.9	5.5	240.6	586.9	360.2	106.2	445.3	276.1	692.9	317.6	3,192.7
1959	112.9	132.3	44.6	85.2	51.0	298.7	298.1	189.3	223.4	448.0	254.2	123.2	2,260.9
1960	389.4	9.7	62.5	9.5	53.5	100.4	403.2	178.5	348.3	225.2	319.8	279.4	2,379.4
1961	269.0	54.6	47.0	3.0	20.1	141.8	369.7	191.1	365.6	918.3	168.3	457.5	3,006.0
1962	139.8	6.0	61.5	164.8	14.0	88.1	115.8	332.0	530.8	471.3	292.4	164.0	2,380.5
1963	77.5	138.2	95.6	31.0	147.0	240.7	288.0	222.0	680.0	648.0	145.0	289.0	3,002.0
1964	171.0	75.7	10.2	104.0	150.0	258.0	277.0	165.9	153.0	575.5	463.5	424.5	2,928.3
1965	259.5	113.0	180.5	32.0	1.0	209.0	246.0	441.5	249.0	712.5	351.0	207.0	3,002.0
1966	183.0	134.5	79.5	30.0	67.0	214.5	254.5	132.0	786.0	625.0	232.0	277.0	3,015.0
1967	94.5	43.5	23.0	19.5	28.0	402.5	75.0	322.5	595.0	571.5	98.5	298.5	2,572.0
1968	107.0	72.5	29.5	12.0	111.0	264.3	226.0	282.5	675.0	438.5	91.0	159.5	2,468.8
1969	56.0	167.0	101.5	4.0	85.0	115.5	198.0	470.5	805.0	495.5	397.5	100.8	2,996.3
1970	172.5	66.5	57.0	0.0	13.5	398.5	321.0	268.0	453.0	491.8	250.5	132.5	2,624.8
1971	46.0	32.5	52.0	24.0	66.5	5.0	450.5	528.5	310.0	127.5	442.0	301.5	2,386.0
1972	289.0	255.5	77.7	47.7	4.3	341.5	280.7	358.1	174.0	581.8	444.4	238.9	3,093.6
1973	75.2	67.1	0.0	28.5	117.3	286.5	381.8	720.9	264.3	473.6	256.0	123.9	2,795.1
1974	92.7	217.6	0.0	95.1	141.1	299.8	193.1	253.0	596.0	446.9	233.9	84.5	2,653.7
1975	191.1	36.0	36.4	7.5	158.9	315.9	84.1	290.0	667.4	649.1	229.5	188.9	2,854.8
1976	195.0	80.5	59.0	32.0	59.9	140.0	150.0	288.5	178.2	399.0	244.7	267.2	2,094.0
1977	60.2	84.8	8.4	26.5	0.0	233.0	136.2	321.0	287.5	245.0	300.5	136.5	1,739.7
1978	178.0	122.0	94.0	0.0	55.0	406.0	186.5	316.0	484.5	373.6	268.0	284.0	2,767.6
1979	177.3	93.5	28.5	43.5	115.2	240.5	295.1	419.9	437.8	248.4	178.0	275.0	2,552.7
1980	160.6	141.1	84.7	(62.9)	41.0	396.0	277.0	222.0	545.5	238.5	(294.5)	350.5	2,814.4
SUMA	4085.1	2443.4	1381.1	990.4	2341.5	6903.9	6547.3	7856.6	12360.3	11745.5	7479.0	6139.4	70,273.5
PROVEDIO	157.1	94.0	53.1	38.1	90.1	265.5	251.8	302.2	475.4	451.8	287.7	236.1	2,702.8
MAX.	389.4	255.5	180.5	164.8	549.9	586.9	450.5	528.5	805.0	918.3	692.9	457.5	3,321.6
MIN.	45.0	6.0	0.0	0.0	0.0	5.0	75.0	106.2	174.0	127.5	91.0	84.5	1,739.7

FRECUENCIA DE LLUVIAS EN LA ESTACION CLIMATOLOGICA NANCHITAL

Período 1955-1980

Lluvia (mm)	Nº de Eventos
1700-2000	1
2000-2300	2
2300-2600	6
2600-2900	8
2900-3200	8
3200-3500	1
	26



GRAFICA # III.41

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)

Estación climatológica NANCHITAL, Período 1955 - 1980

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1955	22.5	22.1	24.7	27.5	29.0	28.0	26.9	27.8	26.5	25.3	24.5	22.8	25.6
1956	22.1	24.2	25.0	27.7	27.3	26.8	27.1	27.6	26.6	25.9	23.0	23.0	25.5
1957	23.2	24.4	25.3	27.2	29.5	29.4	27.2	27.5	27.4	26.1	24.8	21.6	26.1
1958	20.9	22.0	25.0	27.2	27.9	28.6	27.8	28.6	28.6	27.0	25.3	22.4	25.9
1959	21.8	24.7	24.4	26.4	28.7	28.9	27.5	28.3	28.3	27.3	23.4	22.3	26.0
1960	23.2	21.4	24.0	26.4	29.1	29.3	28.0	28.9	27.8	27.9	25.8	22.5	26.2
1961	21.8	22.9	26.2	27.8	29.7	28.7	27.6	28.2	28.1	25.3	24.8	24.2	26.3
1962	21.7	25.2	25.3	26.1	28.4	29.1	28.2	28.6	28.1	24.7	23.5	23.4	26.4
1963	22.6	22.3	25.9	27.9	28.2	29.1	28.1	28.2	27.2	25.8	25.0	21.5	26.0
1964	21.2	22.6	26.2	28.5	28.9	27.9	27.6	28.5	28.2	25.2	25.0	23.4	26.1
1965	22.5	23.3	24.4	27.7	29.1	28.7	27.3	27.5	28.12	25.7	25.1	23.5	26.1
1966	21.4	22.4	23.7	27.7	28.3	28.1	28.5	27.8	26.3	23.6	21.7	25.7	25.7
1967	21.6	22.3	25.1	28.0	29.1	28.8	28.1	28.5	27.4	25.4	24.4	24.1	26.1
1968	22.5	22.0	23.6	28.2	29.1	28.8	27.7	27.7	27.8	26.6	24.7	23.1	26.0
1969	22.7	24.4	24.1	28.3	29.0	29.9	28.5	27.9	27.2	27.3	23.9	23.3	26.4
1970	21.9	21.9	25.2	28.8	27.4	28.1	27.7	28.5	26.8	29.9	22.5	23.9	25.8
1971	23.3	24.3	25.4	26.2	28.9	28.7	27.5	27.4	28.1	27.1	25.1	25.2	26.4
1972	24.4	23.1	27.0	29.0	29.42	28.2	27.8	27.5	27.8	27.2	26.0	23.3	26.7
1973	22.9	22.5	28.2	27.9	29.4	28.7	28.2	27.1	28.2	26.2	26.2	22.0	26.5
1974	24.8	22.5	26.6	27.5	29.2	27.6	27.3	27.5	27.0	24.8	24.3	23.5	26.1
1975	22.8	24.3	27.5	29.3	30.7	28.8	27.6	28.2	26.9	25.9	24.6	22.6	26.6
1976	20.9	22.1	26.9	26.9	28.9	28.2	27.9	27.2	27.9	25.9	22.7	20.7	25.5
1977	22.3	22.2	26.0	26.5	29.3	28.4	27.9	28.7	28.2	26.5	24.8	23.7	26.2
1978	22.1	22.3	24.3	27.4	30.4	27.9	27.7	29.9	27.7	25.8	26.1	24.0	26.3
1979	21.6	22.8	25.4	28.8	28.6	27.7	27.8	26.7	26.6	26.5	23.9	23.3	25.8
1980	23.3	21.3	26.5	(28.6)	30.8	27.8	(27.7)	(28.0)	27.4	23.1	(22.7)	22.4	(25.8)
SUMA.	522.0	595.5	661.9	719.5	754.3	740.4	720.8	729.0	717.6	680.5	636.9	597.5	
PROMEDIO	22.4	22.9	25.5	27.6	29.0	28.5	27.7	28.0	27.6	26.2	24.5	23.0	26.1
MAX.	24.8	24.7	28.2	29.3	30.8	29.9	28.5	29.9	28.6	27.9	26.2	25.2	26.7
MIN.	20.9	21.3	23.6	26.1	27.3	26.8	26.9	26.7	26.5	23.1	22.5	20.7	25.5

TABLA # III.42

EVAPORACION MEDIA ANUAL (mm)

Estación climatológica NANCHITAL Período 1955-1980

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1955	72.3	69.5	123.8	165.9	180.30	168.5	105.9	138.4	101.8	89.7	74.1	49.5	1,339.7
1956	78.7	91.5	139.7	(160.5)	(197.1)	118.5	143.0	150.3	117.9	103.7	66.5	58.7	(1,426.1)
1957	75.0	97.6	133.8	155.1	213.9	161.4	116.2	124.7	102.1	95.7	77.9	48.8	1,402.2
1958	55.1	74.9	114.4	156.4	138.0	141.1	109.2	124.4	116.6	104.3	69.9	40.9	1,245.2
1959	49.2	79.1	90.8	110.2	148.3	132.9	111.4	122.3	119.8	103.6	60.4	45.3	1,173.3
1960	67.3	70.4	95.4	145.5	180.5	143.3	119.7	131.5	102.5	117.4	(69.2)	56.0	(1,298.7)
1961	34.0	58.7	117.9	149.3	194.8	148.3	117.5	127.5	142.3	75.6	78.0	81.6	1,325.5
1962	48.2	96.9	122.5	106.2	151.5	154.9	124.2	138.0	118.5	115.1	89.9	74.8	1,340.7
1963	70.2	64.6	114.0	145.4	130.4	147.4	121.4	116.6	100.3	95.4	84.5	52.6	1,242.8
1964	48.3	65.2	115.6	157.2	164.1	113.7	109.5	126.8	95.3	72.8	59.4	50.3	1,178.2
1965	56.4	71.6	91.5	127.3	145.5	136.9	101.1	100.9	98.3	74.6	55.9	47.2	1,107.2
1966	47.6	54.6	33.3	121.4	139.5	129.2	113.2	123.6	96.9	82.5	58.2	53.0	1,053.0
1967	50.8	50.7	96.5	145.0	163.2	132.5	123.5	122.3	105.1	80.4	78.0	74.6	1,226.6
1968	53.6	60.1	86.3	147.0	157.6	137.8	111.6	114.0	110.0	100.3	85.5	62.5	1,226.3
1969	66.0	73.0	81.0	137.0	145.5	152.0	118.2	103.5	86.9	95.8	60.4	65.6	1,184.9
1970	46.1	49.9	102.0	148.2	123.9	112.9	95.7	119.0	87.9	85.1	55.6	66.7	1,094.0
1971	68.1	85.7	97.2	126.0	139.2	126.0	100.3	97.6	108.2	90.6	71.7	76.1	1,186.7
1972	62.6	70.6	120.7	150.0	148.6	115.7	110.9	103.4	111.0	100.4	84.1	65.6	1,250.6
1973	62.3	56.9	149.9	127.6	154.9	131.9	125.8	99.2	113.4	85.2	87.7	58.2	1,253.0
1974	76.0	57.4	113.0	117.3	155.8	107.0	104.1	112.2	99.6	75.1	65.4	63.9	1,146.8
1975	59.8	73.6	127.2	154.7	178.8	133.8	119.0	129.8	94.1	84.4	68.6	55.6	1,279.4
1976	40.4	58.5	114.6	114.5	142.8	117.2	117.5	102.1	110.1	84.6	46.3	30.5	1,079.1
1977	54.2	44.5	110.4	102.9	149.9	122.6	120.6	132.2	119.0	94.2	74.6	63.5	1,188.6
1978	55.8	53.2	89.1	124.9	176.1	108.6	112.2	115.7	106.5	80.8	80.9	72.4	1,176.2
1979	53.3	57.7	92.6	141.5	136.7	106.0	110.5	92.6	87.5	95.7	59.8	62.8	1,096.7
1980	60.9	32.9	119.1	(137.4)	155.6	100.7	99.3	(98.3)	97.2	46.8	(49.2)	51.5	(1,048.9)
SUMA.	1519.2	1723.3	2792.3	3574.4	4112.5	3400.8	2961.5	3066.9	2748.8	2330.8	1811.7	1528.2	31,570.4
PROMEDIO	52.4	66.3	107.4	137.5	158.2	130.8	113.9	117.9	105.7	89.6	69.7	58.8	1,214.25
MAX.	78.7	97.6	139.7	165.9	213.9	168.5	150.5	150.3	142.3	117.4	89.9	81.6	1,426.1
MIN.	34.0	32.9	33.3	102.9	123.9	100.7	95.7	92.6	89.9	46.8	46.3	30.5	1,048.9

TABLA # III.43

VOLUMENES ANUALES DE ESCURRIMIENTO DEL RIO CALZADAS EN LA
 ESTACION HIDROMETRICA HUAZUNTLAN (SUSPENDIDA)

AÑO	VOLUMEN 10^6 m ³
1952	(167.619)
1953	211.016
1954	223.316
1955	227.991
1956	Suspendida (Feb)
220.774 x 10^6 m ³ Promedio Anual	

TABLA # III.44

VOLUMENES ANUALES DE ESCURRIMIENTO DEL RIO COATZACOALCOS
 EN LA ESTACION HIDROMETRICA LAS PERLAS

AÑO	VOLUMEN 10^6 m ³
1953	(6,679.16)
1954	13,089.28
1955	13,334.64
1956	15,057.36
1957	10,085.79
1958	12,528.60
1959	10,983.88
1960	12,781.91
1961	15,214.80
1962	10,416.23
1963	14,009.42
1964	13,207.62
1965	13,717.11
1966	13,139.03
1967	9,809.45
1968	18,781.71
1969	15,964.61
1970	15,158.27
1971	11,727.10
1972	13,754.45
1973	22,822.01
1974	13,029.69
1975	10,601.13
1976	11,330.22
1977	9,060.98
1978	17,725.50
1979	14,200.49
1980	11,819.84

370,030.28 x 10^6 m³

13,215.37 x 10^6 m³ Promedio anual 1953 - 1980

TABLA # III.45

III.7 CALIDAD DEL AGUA

La interpretación de la calidad del agua subterránea - se utiliza como un auxiliar para conocer y entender en una forma mas completa, el funcionamiento de los acuíferos y la planeación de una mejor y mas racional explotación.

Para la determinación de la calidad del agua de la zona de estudio se recolectaron un total de 33 muestras de agua, durante dos recorridos diferentes. En el primero se tomaron muestras en 5 pozos de agua potable del Sistema de Coatzacoalcos, 3 pozos particulares, 6 norias y un manantial; durante el segundo recorrido se tomaron muestras de agua en 4 pozos del sistema de agua potable, 1 pozo particular, 8 norias, 1 manantial y 4 sitios de escurrimiento de agua superficial. Lo cual lo podemos observar para su localización - en el plano de actividades de campo, mostrándose sus resultados en - las tablas Nos. III.46, III.47 y III.48.

Los análisis químicos correspondieron a las determinaciones del contenido de sólidos totales disueltos, concentraciones de calcio, magnesio y sodio para los cationes y bicarbonato, carbonato - cloruro y sulfato para los aniones, además de la alcalinidad y dureza total, diferenciándose esta última en dureza de calcio y dureza de -- magnesio. Estas determinaciones se hicieron en partes por millón (p. p.m.), midiéndose también la conductividad eléctrica en ohms/centímetros (Tabla No. III.48)

En todos los muestreos de agua de las fuentes mencionadas se tomaron 2 juegos, de los cuales de uno de ellos se obtuvo la resistividad eléctrica, la temperatura y el p.h., el segundo juego se

RESUMEN DE RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS

DEL AGUA (ABRIL-1982)

OBRA #	C.E. mhos/cm.	S.T.D.	ALC. T O T e n	DUREZA			Ca	Mg	Na	Hco ₃	CO ₃	Cl	SO ₄
				T A L p a r t e s	D U R E Z A C a	D U R E Z A M g							
P - 1	320	272	150	130	90	40	36	9	37	109	36	37	8
P - 3C	700	620	240	210	70	140	28	34	136	219	36	159	8
P - 4	590	547	195	160	90	70	36	17	135	164	36	152	7
P - 7	700	650	255	190	100	90	40	21	149	201	54	177	8
P - 8	490	475	255	240	120	120	48	29	56	219	45	71	7
P -14	600	585	300	220	170	50	68	12	95	274	45	88	3
P -18	310	255	150	140	150	10	60	2	19	91	45	33	5
N -24	400	298	120	230	80	150	32	36	9	109	18	88	6
N -28	240	231	135	190	120	70	48	17	1	109	27	33	6
M -31	270	230	135	180	90	90	36	21	8	73	45	35	12
N -34	240	225	90	190	170	20	68	4	16	73	18	35	11
P -35	290	256	135	110	100	10	40	2	40	91	36	35	12
N -37	700	566	285	400*	300	100	120	24	17	237	54	88	26
N -41	510	547	255	310*	88	230	32	55	123	219	45	53	20
N -42	490	463	225	300*	140	160	56	38	33	183	45	88	20

* SOBREPASA NORMAS DE CALIDAD.

RESUMEN DE RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS
DEL AGUA (JULIO - 1982)

OBRA #	C. E. mhos/cm	S.T.D.	ALC. T O T A L e n	DUREZA T A L p a r t e s	DUREZA Ca	DUREZA Mg	Ca	Mg	Na	Hco ₃	CO ₃	Cl	SO ₄
P - 1	328	467	130	85	40	45	16	10	46	137	10	33	6
P - 3C	770	621	217	140	60	80	24	19	153	219	22	177	7
P - 4	580	473	137	115	35	80	14	19	119	137	16	163	5
P - 7	530	520	208	95	40	55	16	13	133	210	21	122	5
P -14	380	430	222	120	50	70	20	17	83	237	16	56	1
N -19	173	124	63	40	20	20	8	4	25	54	10	21	2
N -24	390	230	84	190	30	160	12	38	4	91	5	79	1
N -28	125	174	93	120	20	100	8	24	8	91	10	30	3
M -31	231	230	138	150	30	120	12	29	17	146	10	31	6
N -34	140	140	55	100	30	70	12	17	8	45	10	40	8
N -36	490	486	252	230	100	130	40	31	53	274	16	49	23
N -37	730	673	313	270	250	20	100	4	93	338	21	99	18
N -41	520	483	243	330*	80	250	32	60	16	274	10	74	17
N -42	450	333	147	240	90	150	36	36	11	146	16	69	19

SITIOS DE AGUA SUPERFICIAL.

"A" Pte. R. Calzadas	2990	2265*	129	230	120	110	48	26	774*	135	10	1242*	30
"E" Zona Pantanososa	175	184	85	100	15	85	6	20	21	82	10	40	5
"C" Río Calzadas	2550	1980*	147	420*	170	250	68	60	585*	146	16	1065*	40
"CH" Pte R. Coatzac.	8900	6180*	127	1950*	350	1600	140	388*	1514*	109	22	3500*	170

* SOBREPASA NORMAS DE CALIDAD.

CONDUCTIVIDAD DE LAS MUESTRAS DE AGUA A LA TEMPERATURA STANDARD DE 25°C

OBRA #	P . H .	C O N D U C T I V I D A D		
		MARZO	ABRIL	MAYO
P - 1	6.5	240	220	240
P - 3C	7.0	730	750	700
P - 4	6.5	600	540	605
P - 6	-	-	280	-
P - 7	7.5	720	700	690
P - 8	7.0	400	420	-
P -14	7.5	560	-	540
P -18	6.0	60	-	-
N -19	6.0	-	-	70
N -24	6.0	420	-	380
N -28	6.5	200	-	150
M -31	7.0	180	-	275
N -34	6.5	140	-	140
P -35	6.0	180	-	-
N -37	7.5	700	-	800
N -41	7.5	500	490	570
N -42	6.0	460	460	460

SITIOS AGUA

SUPERFICIAL

Muestra "A"	6.0	-	-	2000
Muestra "B"	6.0	-	-	180
Muestra "C"	6.0	-	-	2400
Muestra "CH"	6.0	-	-	8000

TABLA # III.48

envió al laboratorio correspondiente para su análisis físico-químico, de los cuales a continuación se describen sus resultados.

Por lo que corresponde a los cationes, el calcio tiene una aceptación máxima de 200 p.p.m. (partes por millón) para usos potables, la cual no se sobrepasó en ninguna de las dos series de análisis químicos, obteniéndose los valores mas altos de éste en el sitio de comunicación entre el Río Calzadas y Río Coatzacoalcos, sobre el puente carretera que comunica el área urbana con la Colonia Calzadas, con una concentración de 140 p.p.m., también se obtuvo una concentración relativamente alta en la noria No. 37 con 100 p.p.m.

En lo que corresponde al magnesio, con una concentración máxima permisible de 125 p.p.m., solamente se sobrepasó en el análisis de agua superficial del Río Coatzacoalcos zona "CH" (ver plano de actividades de campo No. 1), encontrándose 388 p.p.m. Finalmente, en los cationes, el sodio tiene una concentración máxima permisible de 164 p.p.m., la cual se sobrepasa en el análisis de la muestra de agua superficial del Río Coatzacoalcos zona "CH", además de otras dos muestras de agua superficial localizadas en el Río Calzadas zona "A" en el punto del cruce del puente del Río Calzadas a la altura del Ejido Calzadas al noreste del Campo Canticas, con 774 p.p.m. y sobre el Río Calzadas zona "C" (ver localización en plano de actividades de campo No. 1) antes de su confluencia con el Río Huazuntlán con un contenido de 585 p.p.m.

Por lo que corresponde a los aniones, para el contenido de bicarbonato se tiene una norma de 350 p.p.m. como máximo permisible para usos potables, sin sobrepasarse en ninguna de las muestras analizadas; en cloro se permite una concentración máxima para estos -

usos de 250 p.p.m. y se sobrepasa en las tres muestras de agua superficial mencionadas anteriormente, con 1242, 1065 y 3500 p.p.m. respectivamente. Finalmente, el sulfato, con una concentración máxima permisible de 250 p.p.m. no se sobrepasa en ninguna de las muestras analizadas.

En lo que respecta a la alcalinidad total, con un máximo permisible de 400 p.p.m., en ninguna de las muestras analizadas se sobrepasa esta concentración, aunque en algunas ocasiones se alcanzan valores hasta de 300 y 313 p.p.m. como se puede observar en el pozo No. 14 y la noria No. 37.

Para la dureza total se tiene una concentración máxima permisible de 300 p.p.m. y se sobrepasa en las muestras de agua superficial correspondientes al Río Calzadas zona "C" y al sitio de comunicación de este con el Río Coatzacoalcos zona "CH", con un contenido de 420 y 1950 p.p.m. respectivamente, además de las norias Nos. 37, 41 y 42, que se localizan sobre la margen izquierda del Río Coatzacoalcos.

Por lo que corresponde a sólidos totales disueltos, que es un reflejo del contenido iónico del agua en partes por millón, la norma establece un rango entre 500 y 1000 p.p.m. para usos potables, este valor se sobrepasa en las muestras correspondientes a agua superficial en diferentes sitios de los Ríos Calzadas y Coatzacoalcos con valores que van de 2,265 a 6,180 p.p.m., por otra parte solamente sobrepasan las 500 p.p.m. de sólidos totales disueltos en los pozos Nos. 3C, 7 y en la noria No. 37 con valores de 621, 520 y 673 p.p.m. respectivamente, que se pueden considerar como aptas para uso potable.

IV.- CARACTERISTICAS, PIEZOMETRIA Y BALANCE GEOHIDROLOGICO.-

Siguiendo la secuencia conforme los objetivos trazados, en este capítulo se presentará un resumen de los resultados obtenidos describiendo las características físicas de la zona de estudio. Así como toda la información que sea útil para la determinación de la -- cuantificación de los Recursos.

Como primer punto diremos que conforme al censo de aprovechamientos realizado se localizaron un total de 53 captaciones -- de agua, de las cuales, se encuentran por el momento inactivas 14 captaciones correspondientes a 8 pozos y 6 norias; con respecto al uso -- del agua de las captaciones en explotación 13 son para usos de abreva dero y doméstico, 18 para uso potable y 3 para usos industriales; el total de agua extraída de estas captaciones fué para 1982 aproximadamente de $17,664.44 \times 10^3 \text{ m}^3$. En la zona del Campo Canticas se determinó una extracción media anual de $15.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ provenientes de 19 aprovechamientos constituidos por 13 pozos y 6 norias. De los cuales -- $12.11 \times 10^6 \text{ m}^3$ son para usos potables y $3.43 \times 10^6 \text{ m}^3$ son para otros usos.

Por lo que respecta a la geología de la zona en estudio, podemos considerar que en esta región afloran formaciones con -- edades desde el Terciario hasta el Reciente, constituidas las primeras por formaciones del Mioceno de origen Marino, con intercalaciones de materiales gruesos y finos, las cuales se encuentran cubiertas por otras formaciones del Cuaternario de origen fluvioaluvial, de espesores probablemente muy reducidos, por el efecto del transporte y sedi-

mentación de la erosión fluvial de dichas formaciones. También se --
presentan formaciones eólicas en la línea de costa, constituidas por
dunas estabilizadas, que deben cubrir en parte a las formaciones alu-
viales. Finalmente, existen formaciones típicas de playa, constituí-
das por arenas que deben estar cubriendo en parte a las dunas, así --
como depósitos zonas de inundación, presentes en zonas con elevacio--
nes muy cercanas a la media del mar, que bordean a los esteros y lagu-
nas litorales.

Desde el punto de vista hidrogeológico las formacio--
nes terciarias son permeables dentro de los cuerpos granulares, pues
tienen intercalaciones de arcillas y aparentemente a profundidades --
mayores de 100 m. los cuerpos se vuelven mas arcillosos, como sucede
también hacia la línea de costa, por el efecto de depósito que produ-
ce el nivel base del mar. Las formaciones fluvioaluviales también --
son permeables, cuando se encuentran con saturación, pues cuando cu-
bren a las formaciones del terciario y su contacto inferior se encuen-
tra sobre el nivel de saturación, entonces constituyen acuíferos de -
muy bajo almacenamiento. Las dunas, aunque bastante permeables y alma-
cenadoras de agua subterránea, deben descartarse por su proximidad --
con el mar, como sucede también con los depósitos de playa que se en-
cuentran en la línea de costa. Finalmente, los depósitos de zona de -
inundación no son explotables desde el punto de vista de acuíferos, -
pues se encuentran bordeando zonas de agua de mala calidad, además de
estar constituidos por limos y arcillas, que tienden a tener baja --
producción de agua por medio de pozos.

IV.I.- CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS Y ESTRATIGRAFICAS DE LOS ACUIFEROS

Tomando en consideración los 15 sondeos eléctricos verticales realizados en la formación de los 7 perfiles mencionados, trazados en sentido longitudinal y transversal al Campo Canticas, se pudo confirmar la presencia de una formación correccionable con el Terciario de origen Marino. Los sondeos eléctricos verticales que se llevaron a cabo sobre la línea de costa en la carretera de acceso entre el Campo Canticas y la zona urbana de Coatzacoalcos, definieron la presencia de dunas de poco espesor, depositadas sobre una formación mas compacta pero arcillosa, identificada como formación del Terciario. El resto de los sondeos, se efectuaron sobre esta formación mencionada, definiéndose una serie de características correlacionables con su litología, como lo señalamos con anterioridad.

Por lo que respecta a los resultados obtenidos del resto de los sondeos realizados, podremos decir que en términos generales se encontraron 3 cuerpos diferentes, de los cuales, el primero, el cuerpo superior, corresponde a una zona con material mas resistente, permeable y probablemente menos compacto, presentando valores de resistividad ligeramente mayores que el intermedio y de muy similar magnitud que el inferior. En este primer cuerpo, se localiza el acuífero principal el cual se encuentra depositado sobre el segundo cuerpo o cuerpo intermedio el cual por su mayor contenido de arcillas es menos productor. Estos dos cuerpos, el superior e intermedio forman lo que es la zona de producción del acuífero, ya que el tercer cuerpo o estrato inferior, presenta características de resistividad relativamente mas altas que el cuerpo intermedio, mas compacto y definitivamente

te menos productor que los cuerpos que lo cubren, por lo cual a este tercer cuerpo lo podemos considerar como el límite inferior del acuífero productor.

Para delimitar geoméricamente el acuífero productor, primeramente estableceremos las profundidades que presenta este desde el nivel del terreno natural, para que posteriormente restando a estas, la profundidad del nivel estático o nivel de saturación, obtengamos el espesor real del acuífero productor.

Las profundidades determinadas para el acuífero productor, o sea al nivel inferior del estrato intermedio fueron las siguientes: 150 m. en la zona central del Campo Canticas, en los alrededores del sondeo No. 11, o bien del pozo No. 2, disminuyendo hasta 20 m. de profundidad cerca de la línea costera, entre los sondeos Nos. 4 y 7.- En el borde occidental, sobre la margen derecha del Río Calzadas, rodeando el acuífero, la profundidad fué de 50 m. y en el borde oriental, una profundidad de 100 m. sobre la margen izquierda del Río Colorado, rodeando el acuífero.

Respecto a la descripción de las características para conocer la configuración en planta de el cuerpo recomendado como acuífero productor, podemos decir que este tiende a ser mas arcilloso hacia la región costera, por lo tanto se reduce su espesor en esta zona considerablemente, así como también hacia la margen derecha o zona de influencia del Río Calzadas, antes del puente carretera hacia la zona urbana de Coatzacoalcos, en cuya margen izquierda, se observan zonas de inundación. La profundidad del acuífero, aumenta hacia la parte central del Campo Canticas y hacia la margen izquierda del Río Colorado, la cual debería de descartarse como zona de explotación

por la presencia de las lagunas, esteros y zona de inundación, pues -
la continuidad y comunicación entre la superficie y la formación per-
meable pueden llegar a contaminar el agua almacenada en caso de que -
la depresión piezométrica que se genere, induzca un movimiento de a-
gua subterránea desde esta región hacia el Campo Caticas.

IV.2.- CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DEL ACUIFERO.-

Llevando a cabo la interpretación de las 8 pruebas de bombeo realizadas, las cuales se muestran en las tablas No. III.5 a - III.12, poderos conocer las características hidrodinámicas del acuífe ro, lo cual consiste en determinar el tipo de acuífero, el valor de - la transmisibilidad y el del coeficiente de almacenamiento; el prime- ro se obtuvo en los pozos de bombeo y de observación, y el segundo -- únicamente en el pozo de observación.

Los pozos seleccionados, fueron pozos de agua potable del Campo Canticas tales como los Nos. 1, 2, 4, 5B y 7 en los que se hicieron las observaciones dentro del mismo pozo de bombeo, y el pozo No. 3C, con observación en el No. 3B a una distancia de 60 m.

Para la interpretación de estas pruebas se utilizó el método simplificado de Jacob para tiempos largos de bombeo, el cual - se basa en la teoría del flujo radial no establecido de un acuífero - confinado, elaborado por Theis.

Los valores de la Transmisibilidad los cuales los pode mos observar en la tabla de resumen No. III.13, variaron entre 5.27 y $11.36 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$. En algunos pozos, como en los Nos. 1, 2 y 5B, -- las pruebas se llevaron a cabo en la etapa de recuperación, al dete-- ner la operación del pozo después de un tiempo prolongado de bombeo y en otros, como en el caso de los Nos. 4 y 7, las pruebas se hicieron tanto en la etapa de abatimiento como de recuperación. Para el pozo - No. 3B, se llevó a cabo la prueba de bombeo al operar el pozo No. 3C en su etapa de abatimiento.

Con base en los abatimientos y en los caudales de opera

ción, se calculó el caudal específico en l.p.s. por metro de abatimiento el cual tuvo valores mínimos de 1.1 l.p.s./m y máximos de 10.07 - l.p.s./m, siendo el mejor de ellos el pozo No. 1, que además presenta una de las mejores transmisibilidades en el acuífero, aunque estos - valores se consideran con reserva, por la corta duración de la prueba de bombeo, estimándose que dichos caudales específicos deben tener valores entre 1 y 2 l.p.s./m. de abatimiento.

En el pozo No. 3B se obtuvo el coeficiente de almacenamiento, determinándose un valor de 0.115 con una transmisibilidad de $18.39 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$ siendo esta la mayor de todas las determinadas, debiéndose esto principalmente a que el acuífero es libre, parcialmente confinado, con un tiempo de respuesta para una distancia de 60 m. de 20,000 seg, equivalente a 5.5 horas. El coeficiente de almacenamiento determinado es ligeramente bajo, pero acorde con el tipo de material que se encuentra en estas formaciones Terciarias y tiene su - significado en una porosidad efectiva del orden del 11%.

De estas pruebas mencionadas, podemos concluir que el acuífero es del tipo libre, parcialmente confinado, como lo demuestra la presencia de dos niveles piezométricos en el mismo sitio, aunque - es probable que el cuerpo confinante se encuentre arriba del nivel de saturación del acuífero principal, por la explotación a la que se encuentra actualmente sujeto.

IV.3.- APLICACION DE LA TEORIA DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA
EN MEDIOS POROSOS.

En este capítulo se presenta el análisis y resultado de una cuantificación realizada, aplicando a la información obtenida en el campo, la teoría fundamental que controla el flujo de agua subterránea en medios porosos. Partiendo de la ecuación fundamental de balance, que nos indica que la recarga menos la descarga de agua en el acuífero es igual a la variación de almacenamiento en el tiempo, lo cual lo indicamos de la siguiente forma:

$$R - D = \Delta V$$

Donde:

- (R) Representa la recarga del acuífero.
- (D) Representa la descarga del acuífero.
- (ΔV) Representa la variación de almacenamiento.

De la información necesaria para aplicar esta fórmula en lo que respecta a la recarga (R) constituida principalmente por recarga horizontal e infiltración vertical, diremos que la recarga horizontal no fué posible medirla debido a la deformación que tienen las configuraciones del nivel piezométrico, por otra parte, la infiltración vertical no pudo ser medida en forma separada, debido a que la estación climatológica mas cercana con datos confiables es la estación Nanchital y durante el período de observaciones la lluvia tuvo variaciones notables en la región.

Ahora por lo que respecta a la descarga, las extracciones fueron calculadas como se mencionó anteriormente.

Por lo que respecta a la variación de almacenamiento, - esta la podríamos determinar auxiliandonos de las lecturas de la variación piezométrica realizadas, pero debido al corto período de tiempo que duraron estas observaciones (2 meses) además de la determinación de - una variación prácticamente nula en los niveles, es decir que en las lecturas tomadas se determinaron varios casos en los cuales se presenta un abatimiento ligeramente igual a la recuperación. Por lo cual, - estas lecturas no representan un dato confiable de la variación del - nivel piezométrico con respecto al tiempo.

IV.3.1.- BALANCE GEOHIDROLOGICO. RECARGA - DESCARGA

Para poder determinar un balance entre la recarga y descarga ocasionada en el acuífero del Campo Caticas, se hicieron algunas consideraciones pertinentes para poder aplicar la ecuación general del balance, mencionado anteriormente, tales consideraciones son las siguientes:

- 1a. Se parte de una condición original en la cual no existían deformaciones piezométricas, debido a la escasa extracción de agua en el Campo Caticas.
- 2a. Se considera que la explotación del acuífero a esta fecha, tiene 10 años de haberse iniciado. Es decir, que la explotación antes de esta fecha era casi nula.
- 3a. Debido a lo cual en las condiciones originales, en esta superficie existía un gradiente piezométrico natural con descarga hacia los Ríos Calzadas y Colorado mediante un drenaje horizontal.
- 4a. El acuífero era alimentado de dos maneras, la primera una recarga de tipo horizontal proveniente de la porción sureste, y la segunda, una recarga vertical por la infiltración de la lluvia.
- 5a. En virtud de las anteriores consideraciones, la variación piezométrica también debió haber sido nula para períodos anuales.
- 6a. El nivel medio piezométrico original es aproximadamente igual a 8 m.s.n.m. Tomando en consideración para esto el nivel base de los Ríos.

Tomando en cuenta estas consideraciones de las condiciones originales (1972) del acuífero del Campo Caticas y utilizando la información realizada en el presente estudio, podemos establecer -

que la diferencia de niveles entre la configuración actual y la original debe ser el resultado de el balance entre recarga y descarga, y de esta forma aplicando la fórmula general del balance podemos determinar las incógnitas de la siguiente manera:

$$R_t - D_t = \Delta V_{1-2} \quad \text{---} \quad \text{(I)}$$

Donde:

(R_t) Representa la recarga total de 1972 a 1982.

(D_t) Representa la descarga total de 1972 a 1982.

(ΔV_{1-2}) Representa la variación del volumen almacenado de la condición original (1) al estado actual (2).

La variación de almacenamiento la obtendremos de la siguiente fórmula:

$$\Delta V_{1-2} = (\Delta H_{1-2}) (A) (S) \quad \text{---} \quad \text{(II)}$$

Donde:

(ΔH_{1-2}) Representa la diferencia de la elevación del nivel medio piezométrico en el período de 10 años.

(H_1) Representa la elevación del nivel medio piezométrico en la condición 1 u original.

(H_2) Representa la elevación del nivel medio piezométrico en la condición 2 o actual.

(S) Representa el coeficiente de almacenamiento

(A) Representa la superficie de captación del acuífero

Y substituyendo los valores de los niveles piezométricos en la ecuación (II) tenemos:

$$\Delta V_{1-2} = (H_1 - H_2) (A) (S)$$

$$\Delta V_{1-2} = (8 - 2.94) (17.49 \times 10^6) (0.11)$$

$$\Delta V_{1-2} = 9.73 \times 10^6 \text{ m}^3$$

El primer valor del nivel piezométrico (H_1) es el considerado según las condiciones originales del nivel base de los Ríos. Y el segundo (H_2) es el obtenido en el presente estudio. Con lo cual determinamos que el valor de la variación del volumen almacenado para un período de 10 años fué igual a $9.73 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Para la determinación de la descarga en este período de 10 años, la obtenemos de la siguiente forma:

$$D_t = E_a + Q_s \quad \text{--- --- --- --- ---} \quad \text{(III)}$$

Donde:

(D_t) Representa la descarga total del acuífero en el período de 10 años.

(E_a) Representa la extracción por medio de los aprovechamientos censados mencionados anteriormente, considerando para el área del Campo Canticas un volumen total de $117.77 \times 10^6 \text{ m}^3$ en ese período de 10 años, tomando en consideración la fecha de inicio de operación de las captaciones.

(Q_s) Representa el flujo de agua subterránea que originalmente se descargaba hacia la margen derecha del Río Calzadas e izquierda del Río Colorado. Tomando en consideración que en los primeros cinco años del período considerado existía flujo de descarga en el acuífero, y en los últimos cinco años, en la depresión

piezométrica impidió el flujo de agua hacia los Ríos. Esta -
 parte de la descarga la obtenemos de la siguiente forma:

$$Q_s = (L) (i) (T) (t) \text{ --- (IV)}$$

Donde:

- (L) Representa el ancho o longitud del canal de descarga, que tiene un valor de 2000 m.
- (i) Representa el gradiente piezométrico con un valor de 1.53×10^{-3}
- (T) Representa la transmisibilidad del acuífero, la cual se obtuvo en las pruebas de bombeo en el pozo No. 3B con un valor de $18.39 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$.
- (t) Representa el tiempo de descarga que es de 5 años o 1.57×10^8 - seg.

Finalmente sustituyendo estos valores en la ecuación -

(IV) obtenemos:

$$Q_s = (2000 \text{ m}) (1.53 \times 10^{-3}) (18.39 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}) (1.57 \times 10^8 \text{ seg})$$

$$Q_s = 8.87 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Y sustituyendo estos valores en la ecuación (III) obtenemos:

$$D_t = (117.77 \times 10^6 \text{ m}^3) + (8.87 \times 10^6 \text{ m}^3)$$

$$D_t = 126.64 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Que es el valor de la descarga total para el período de 10 años. Y de la misma forma, sustituimos valores en la ecuación (I); para determinar nuestra incógnita que es la recarga:

$$R_t - D_t = \Delta V_{1-2}$$

$$R_t = \Delta V_{1-2} + D_t$$

$$R_t = (9.73 \times 10^6 \text{ m}^3) + (126.64 \times 10^6 \text{ m}^3)$$

$$R_t = 116.91 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Siendo este el valor de la recarga total para el periodo de 10 años. Haciendo la aclaración de que el valor de la variación del volumen almacenado (ΔV) es negativo ya que la variación fue disminutiva.

El valor de la recarga media anual es de $11.69 \times 10^6 \text{ m}^3$ que como podemos observar esta es menor que la extracción media anual que es de $12.66 \times 10^6 \text{ m}^3$ lo cual justifica la existencia de las depresiones piezométricas.

IV.4.- DISPONIBILIDAD HIDRAULICA.

El área considerada desde el punto de vista del agua subterránea como mejor zona de explotación y mejor disponibilidad hidráulica es la ubicada en el Campo Canticas, entre los Ejidos Calzadas y Canticas y la margen derecha del Río Calzadas e izquierda del Río Colorado.

En primer término diremos que ésta zona cumple con las especificaciones de calidad del agua. Aunque se deberá tener cuidado en la zona costera entre la zona urbana de Coatzacoalcos y la margen izquierda del Río Calzadas antes del cruce en el puente carretera, donde la disponibilidad hidráulica es bastante reducida debido a la existencia de acuíferos muy someros y de poco espesor, con continuidad hacia la línea de costa con el agua salada.

En la actualidad la extracción de agua en la zona del Campo Canticas es de $15.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ anuales, que equivale a un caudal constante de 491 l.p.s. Del cual $12.11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ son para otros usos existiendo un gasto constante para usos potables de 384 l.p.s. y 107 l.p.s. para otros usos.

En virtud de la falta de confirmación de la información de campo en cuanto a la configuración de la evolución piezométrica así como de las elevaciones bajo el nivel del mar que tienen los niveles piezométricos en su porción central, en forma reservada se establece que puede incrementarse la extracción para usos potables hasta un valor del orden de 499 l.p.s. lo que equivale a un volumen medio anual de $15.75 \times 10^6 \text{ m}^3$ que sumados a los $3.43 \times 10^6 \text{ m}^3$ que se obtienen para usos diversos, tenemos un volumen total extraído de $19.18 \times$

10^6 m^3 / año o sea con caudal de 609 l.p.s. Llegándose con esto a modificar sustancialmente la piezometría de la región con una elevación mínima de 10 m.b.n.m. y máxima de 5 m.s.n.m. para la misma superficie de 17.5 km^2 .

Para lograr el incremento en la recarga para satisfacer esta necesidad, se podrá obtener en parte del almacenamiento subterráneo y en parte del aumento del gradiente piezométrico, lo que reducirá el drenaje hacia los ríos y por lo tanto se obtendrá una mayor captación de agua.

V.- ALTERNATIVAS DE EXPLOTACION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la zona estudiada, podemos concluir que el área que presenta las mejores características para proporcionarnos un mayor caudal de agua subterránea del actualmente explotado es la zona del Campo Canticas, que se ubica al suroeste de la zona urbana de Coatzacoalcos bordeado por la margen derecha del Río Calzadas, margen izquierda del Río Colorado y el Ejido Canticas. Además de brindarnos un incremento en el caudal explotado, se selecciona esta zona en virtud de cumplir con las especificaciones de calidad del agua requeridas.

El incremento en la explotación de agua de la zona mencionada será de $3.64 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, que es equivalente a un caudal constante de 115.42 lts/seg. para uso exclusivo de agua potable, que sumado al gasto actual que se explota, de $12.11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ para usos potables, tenemos una extracción total de $15.75 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, ó 499.43 lts/seg. de caudal constante, por lo tanto, el programa de aprovechamientos, deberá apegarse a este gasto; aunque el caudal de extracción total del acuífero es de $19.18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ o sea 608.19 lts/seg., la diferencia de $3.43 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ de extracción, es agua que se seguirá destinando para otros usos.

Respecto a la operación de los pozos, que en la actualidad operan las 24 horas del día, se pretende que este se reduzca a 20 horas diarias, con la finalidad de tener un margen para dar el mantenimiento operativo a los equipos. Por lo tanto, las instalaciones que debemos de tener para mantener el caudal constante de aproximadamente 500 l/seg. de agua potable, deberá ser de 600 l/seg. por este motivo. Asimismo se tendrá una reserva del 20% de la capacidad de

operación normal para mantenimiento correctivo del equipo (re-habilitaciones, cambios, etc.) que sería de 120 l/seg. teniendo entonces una capacidad total instalada de 720 l/seg. para este uso.

V.1.- CONCLUSIONES.

A continuación se describirán de manera resumida, los aspectos mas sobresalientes e importantes, de la zona estudiada, siguiendo un orden adecuado.

- 1a. De la zona estudiada al suroeste de la zona urbana de Coatzacoalcos, Ver., se establece que el área seleccionada por sus mejores condiciones de hidrología subterránea, es la ubicada en el Campo Canticas, la cual se encuentra limitada al noroeste por la margen derecha del Río Calzadas, al sureste por la margen izquierda del Río Colorado y al suroeste por el Ejido Canticas, cubriendo una superficie de 17.5 km^2 .
- 2a. Conforme al Censo de aprovechamientos realizado, se cuenta con una extracción actual en el Campo Canticas de $15.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, de los cuales $12.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ se destinan a usos potables, y $3.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ a otros usos.
- 3a. Respecto a las formaciones geológicas que se localizaron en la zona de estudio, en la parte ubicada entre la zona urbana de Coatzacoalcos y el Ejido Canticas, las formaciones acuíferas son de espesor muy reducido del orden de 20 m. constituidas principalmente por depósitos eólicos y dunas estabilizadas, que se conectan con el agua del Golfo de México, así como por el lado oriente existen zonas de inundación poco permeables, por tal motivo se prevé la existencia de intrusión salina, siendo este el motivo de desechar esta zona. Sin embargo, en la región del Campo Canticas, los acuíferos están constituidos principalmente por formaciones

del Terciario Marino, del Mioceno, que por sus características litológicas son buenos formadores de acuíferos, además de tener un espesor mucho mayor. Determinándose la existencia de tres cuerpos o estratos diferentes en el subsuelo, de los cuales el superior - de buena permeabilidad, alcanza profundidades hasta de 50 m., y el intermedio que es el cuerpo de mejor permeabilidad, alcanza -- profundidades hasta de 150 m. en su porción central. Y el tercer cuerpo que es de mayor contenido de arcillas, se considera como -- estrato impermeable y límite inferior del acuífero, su espesor no está definido.

4a. Por las condiciones mencionadas, los acuíferos del Campo Canticas se consideran del tipo libre con confinamientos superficiales a través de formaciones menos permeables o semipermeables presentando características hidrodinámicas tales como: Un coeficiente de transmisibilidad medio de $8.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$, un coeficiente medio de almacenamiento de 0.11. Con un abatimiento específico promedio de 2 l.p.s./m de abatimiento.

5a. A pesar de su cercanía con las aguas del Golfo de México, el acuífero ubicado en el Campo Canticas, se considera libre de intrusión salina, debido a la influencia del Río Calzadas, que sirve como pantalla, que divide o separa estas aguas. Siempre y cuando se respeten las condiciones de profundidades y caudales de los -- aprovechamientos.

6a. Mediante el planteamiento formulado para establecer el balance, -- obtuvimos que la recarga media anual de los acuíferos del Campo Canticas es de $11.69 \times 10^6 \text{ m}^3$ con una descarga para el período de 1972 a 1982 considerado de $126.64 \times 10^6 \text{ m}^3$ lo que equivale a te--

ner una variación del almacenamiento en ese período de 10 años de $9.73 \times 10^6 \text{ m}^3$. Utilizando la información de las lecturas del comportamiento del nivel estático, en este corto período de tiempo -- aunque no manifestaron un cambio notable se pudieron observar algunas depresiones piezométricas, debidas a que la recarga es menor a la descarga media anual calculada en el campo, sin embargo se considera que en la actualidad la descarga y la recarga son iguales al haberse incrementado el gradiente piezométrico hacia las depresiones piezométricas, y estabilizarse el nivel piezométrico en la región. Debido esto a un mejor aprovechamiento del agua, -- ya que ahora se utiliza toda la recarga, no permitiendo que esta drene hacia los Ríos y el Mar, o sea evaporada hacia la atmósfera.

- 7a. En cuanto a la calidad del agua, el agua superficial del Río Calzadas no es apta para usos potables por sus altas concentraciones iónicas sobre todo de sodio y cloro. En tanto al agua subterránea para usos potables esta es buena en la zona del Campo Canticas y en la zona de extracción entre el área urbana y el Río Calzadas, aunque dentro de la zona urbana no es recomendable ya que aquí el agua se encuentra ligeramente contaminada por calcio y magnesio, lo que aumenta su dureza total con concentraciones mayores que -- las permitidas para usos potables. Además de que existe el problema del drenaje pluvial y de aguas negras, que podría estar aumentando las concentraciones de sales en el agua subterránea.

En el Campo Canticas en términos generales el agua es de muy buena calidad para usos potables, aunque las depresiones piezométricas debido a las concentraciones de pozos en la porción

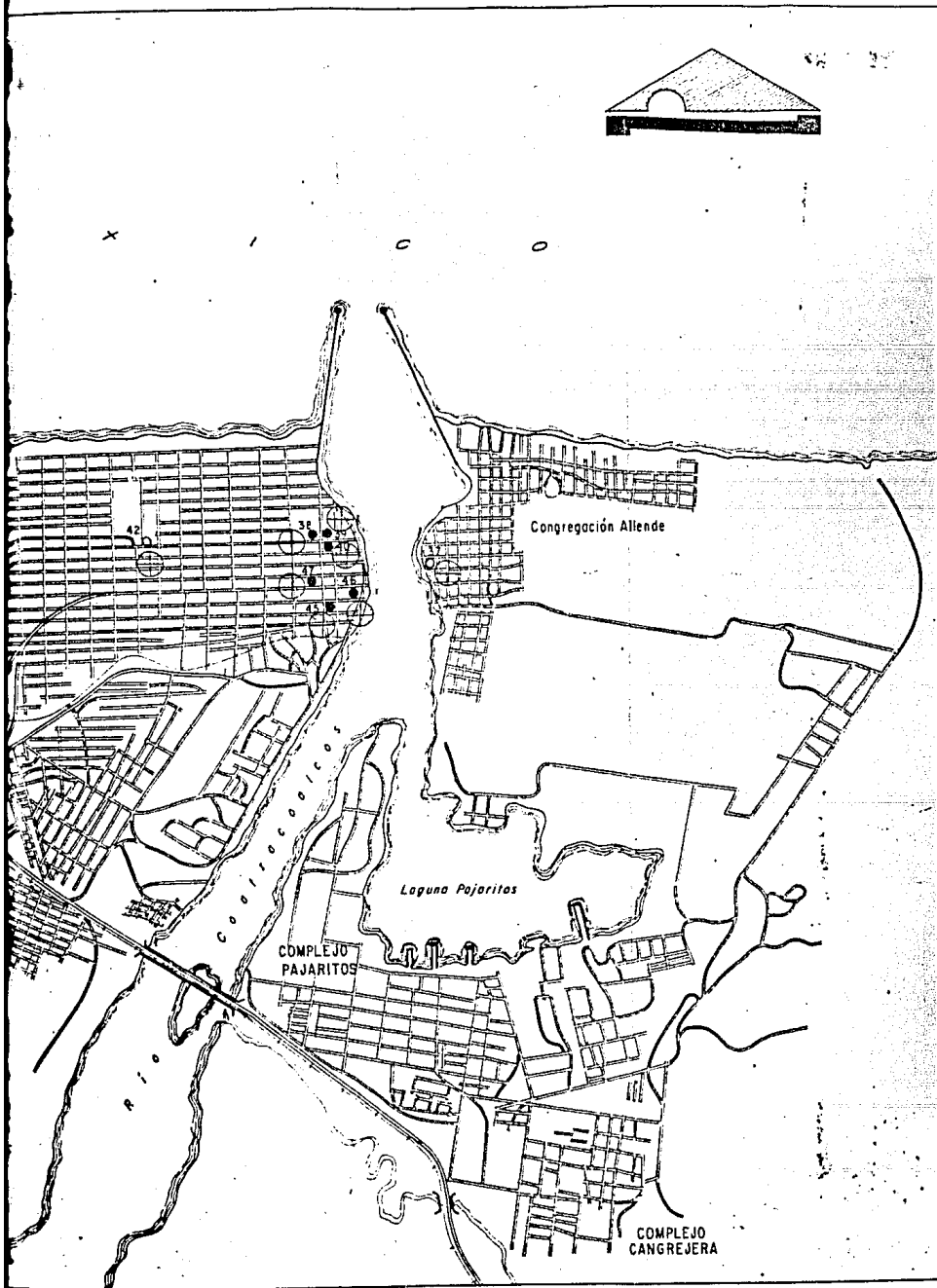
central del área de explotación indican que esto puede estar generando una contaminación desde las partes superiores del acuífero, pudiendo contaminarlo todo y hacerlo inútil, en caso de que no se distribuya estratégicamente la explotación actual.

V.2 RECOMENDACIONES.

- 1a. Deberá de respetarse el régimen de operación propuesto para la zona seleccionada del Campo Canticas, el cual consiste en tener una duración constante máxima de 20 hrs. diarias de bombeo y una reserva adicional del 17% de la capacidad total instalada que es de 720 lts. para uso potable, lo cual permite mantener en buenas condiciones el sistema.
- 2a. La profundidad de los pozos de la zona del Campo Canticas, propuesta para incrementar la extracción, no deberá de exceder de los 100 m. en la parte central y de 70 m. en la margen izquierda del Río Colorado y 50 m. en la margen derecha del Río Calzadas; ya que después de esta profundidad existe el riesgo de que haya intrusión salina de acuerdo con los registros eléctricos.
- 3a. Con el fin de detectar alguna intrusión salina que pueda afectar al acuífero, deberá realizarse un muestreo anual de agua en pozos y norias, teniendo especial cuidado en las zonas de fuerte explotación. Las muestras que se obtengan serán analizadas químicamente y los resultados se estudiarán desde el punto de vista hidrogeoquímico.
- 4a. Para controlar la extracción de agua subterránea en esta zona, se recomienda se lleve a cabo un registro periódico de operación de cada aprovechamiento, donde se incluya el caudal extraído.
- 5a. Se recomienda que no se aumente el régimen de extracción de agua superficial y subterránea en el área de influencia de este campo de pozos, para lo cual es conveniente que se solicite ante la

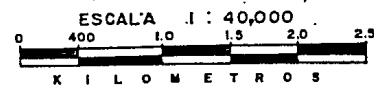
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, se realice una veda de control de extracción de agua en dicha zona.

- 6a. Para llevar el estudio a una etapa mas avanzada se recomienda -- continuar haciendo observaciones piezométricas en los aprovechamientos, con el objeto de configurar la elevación del nivel estático de los acuíferos, conocer su evolución con respecto al tiempo y determinar el esquema de flujo que se presente.



S I M B O L O G I A

POBLACION	-----	
RANCHERIA	-----	
CARRETERA	-----	
FERROCARRIL	-----	
CAMINO DE TERRACERIA	-----	
BRECHA O VEREDA	-----	
AEROPUERTO	-----	
RIO O ARROYO	-----	
POZO	-----	
NORIA	-----	
MANANTIAL	-----	
SONDEO ELECTRICO VERTICAL	-----	
PERFILES GEOFISICOS	-----	
OBSERVACION PIEZOMETRICA	-----	
PRUEBA DE BOMBEO	-----	
MUESTREO DE AGUA	-----	



U
N
A
M

ENEP - ACATLAN

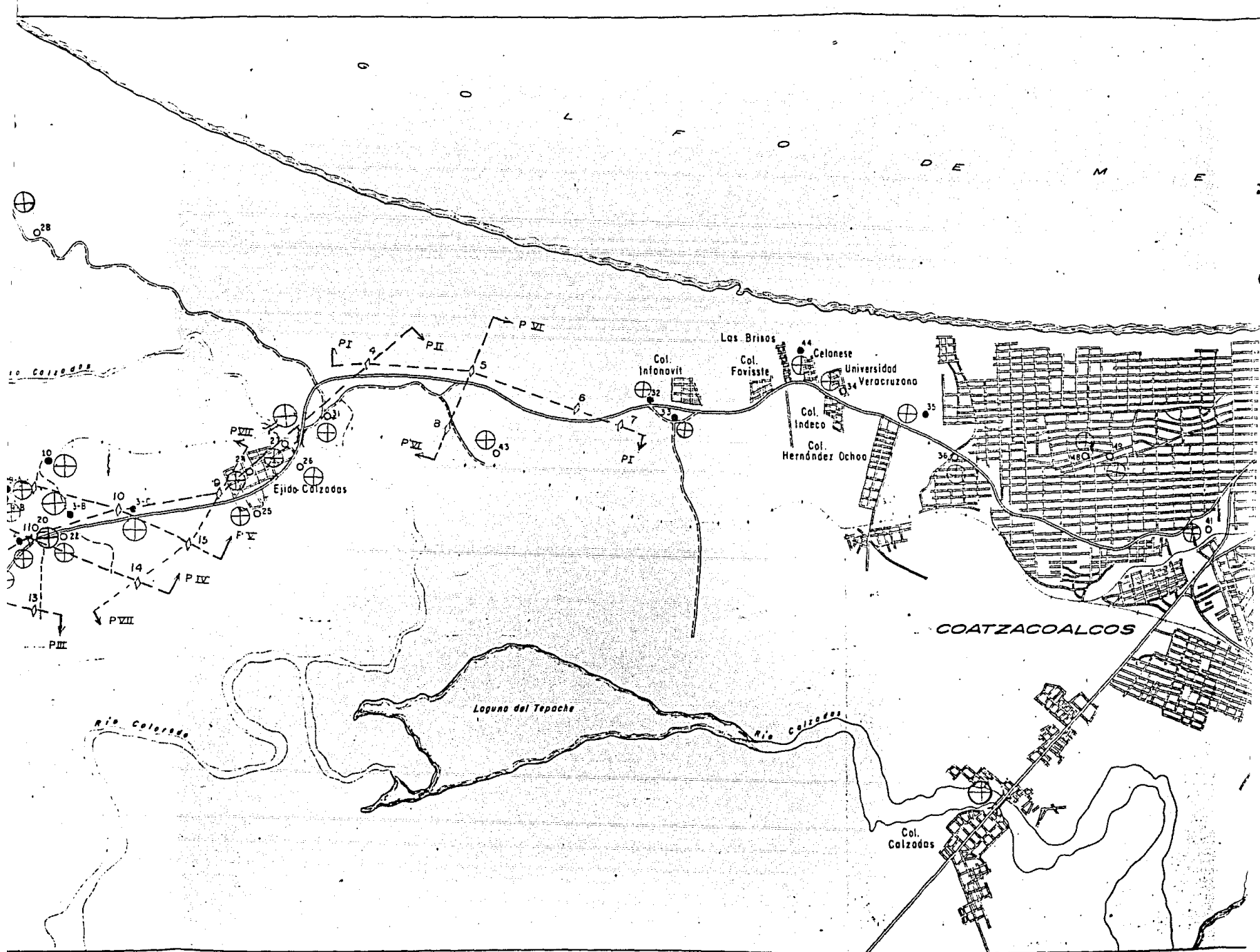
ESTUDIO PREELIMINAR DE HIDROLOGIA
SUBTERRANEA DEL CAMPO CANTICA VER.

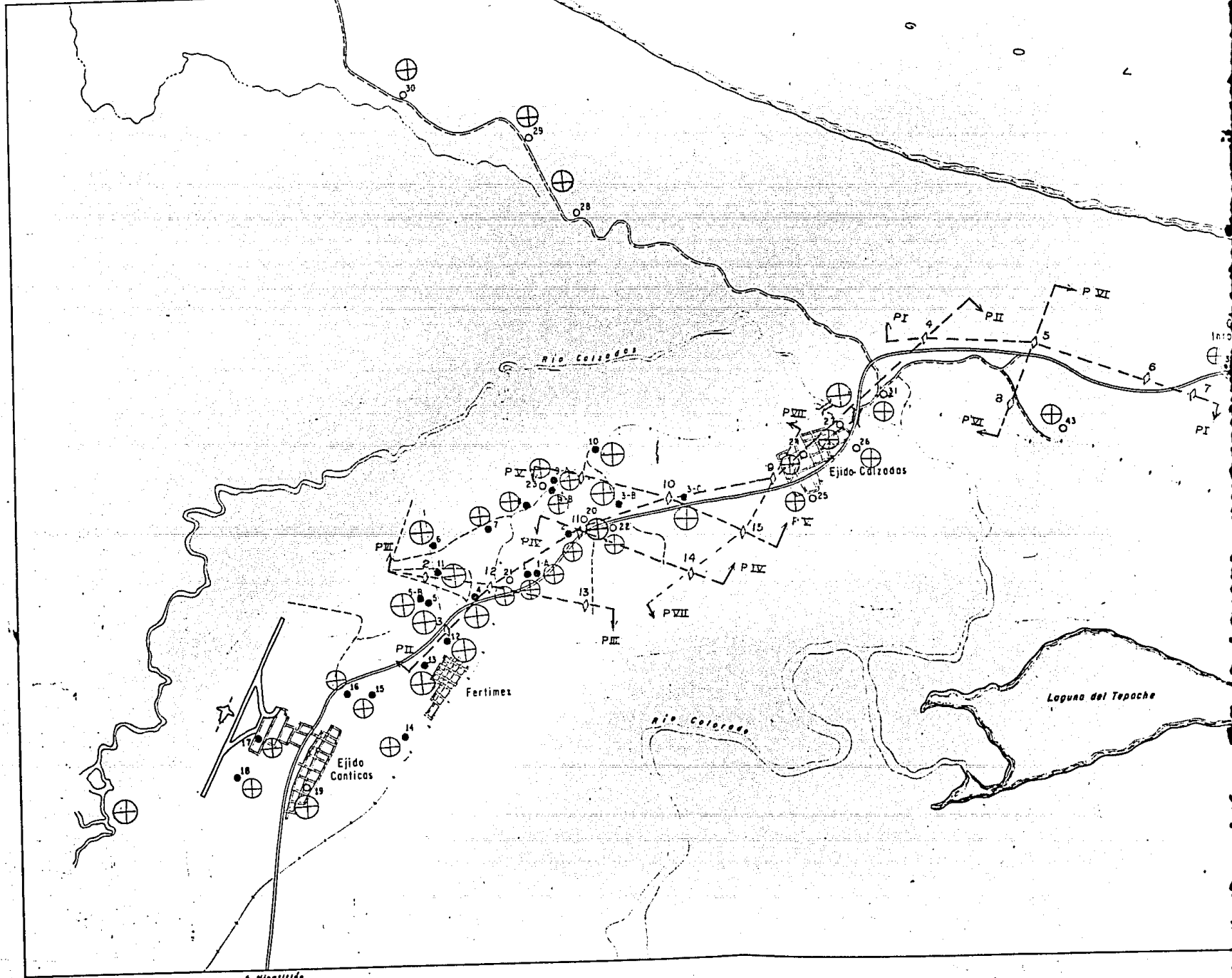
PLANO DE ACTIVIDADES
DE CAMPO

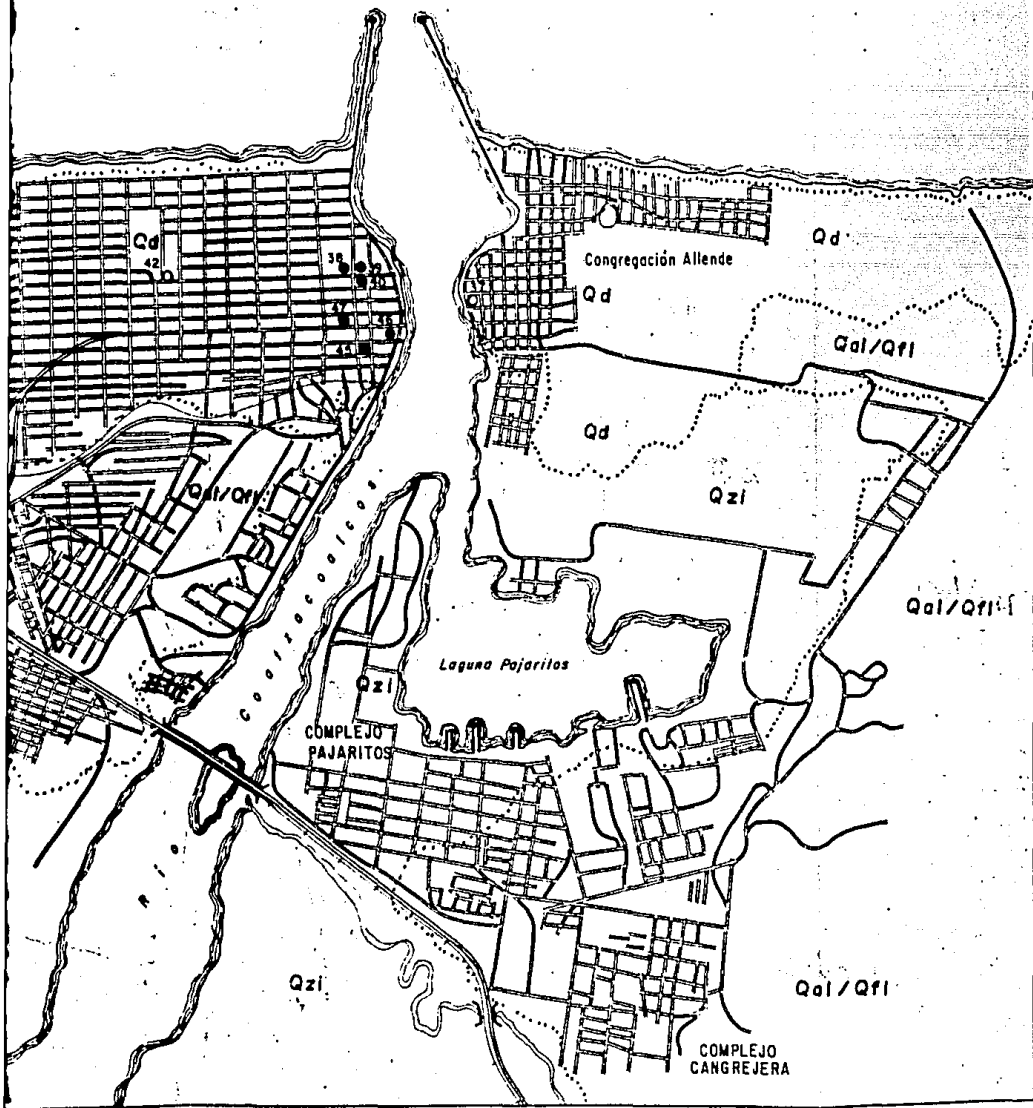
PLANO#

TESIS PROFESIONAL
JULIO C. PEREZ RICARDEZ

ABRIL - 83







S I M B O L O G I A

POBLADO	
RANCHERIA	
CARRETERA	
FERROCARRIL	
CAMINO DE TERRACERIA	
BRECHA O VEREDA	
AEROPUERTO	
RIO O ARROYO	
POZO	
NORIA	
MANANTIAL	
CONTACTO GEOLOGICO	
DEPOSITO DE LITORAL CONSTITUIDOS POR ARENAS DE PLAYA PERMEABLES.	
DUNAS, ARENAS FINAS DE ORIGEN EOLICO - ALTAMENTE PERMEABLES.	
DEPOSITOS FLUVIALUVIALES PERMEABLES	
ZONA DE DEPOSITO DE GRANO FINO, SUJETA A INUNDACIONES, IMPERMEABLES O SEMIPERMEABLES	
ARENAS Y GRAVILLAS DE ORIGEN MARINO, PERMEABLES	



U
N
A
M

ENEP - ACATLAN

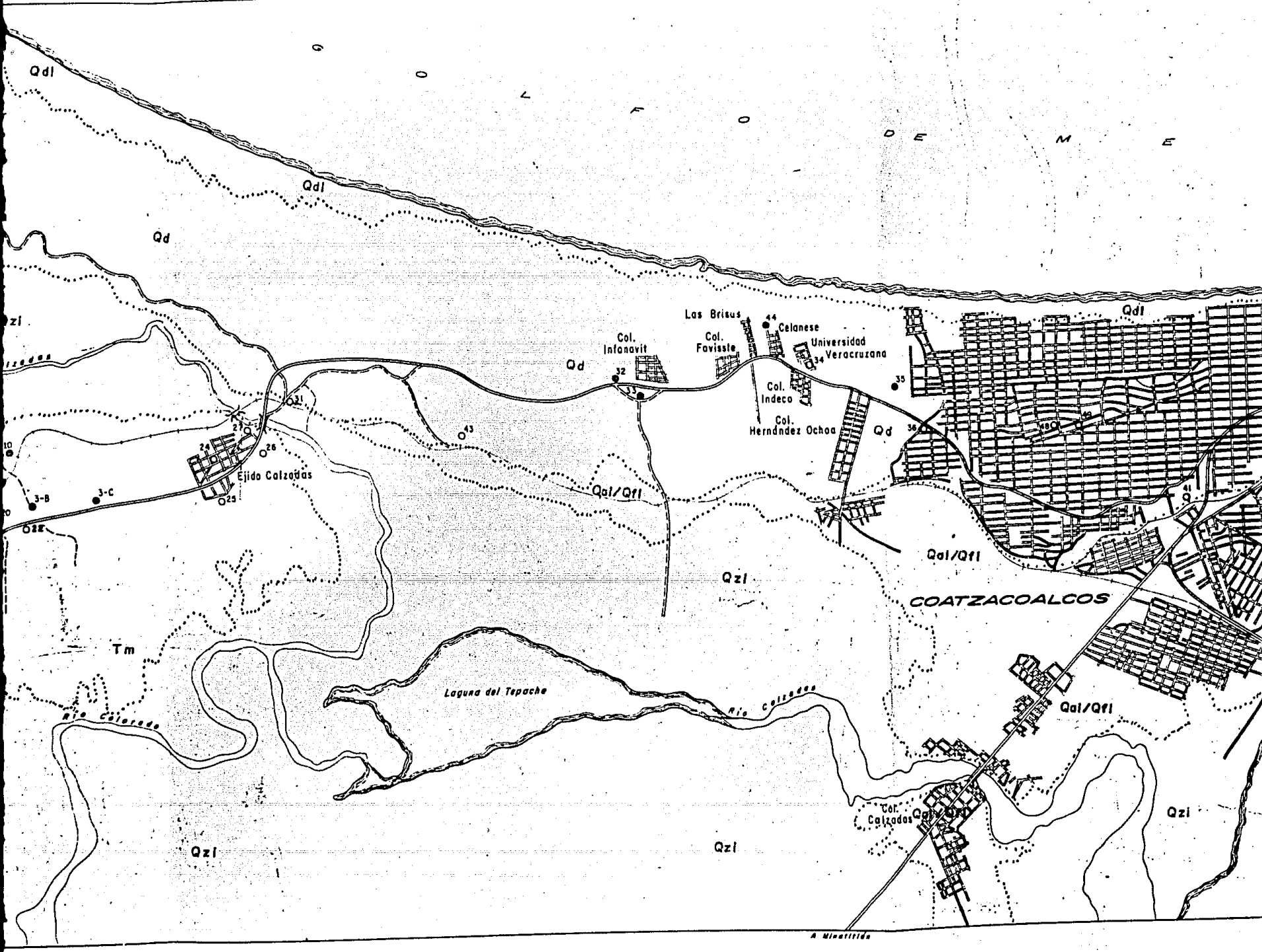
ESTUDIO PREELIMINAR DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA DEL CAMPO CANTICA VER.

PLANO HIDROGEOLOGICO

PLANO#
2

TESIS PROFESIONAL
JULIO C. PEREZ RICARDEZ

ABRIL - 83



Qdl

Qdl

Qd

zi

Qd

Qdl

Ejido Calzadas

Las Brisas

Col. Fovissile

Col. Celanese

Universidad Veracruzana

Col. Indeco

Col. Hernández Ochoa

Qal/Qfl

COATZACOALCOS

Qzi

Laguna del Tepache

Qzi

Tm

Río Colorado

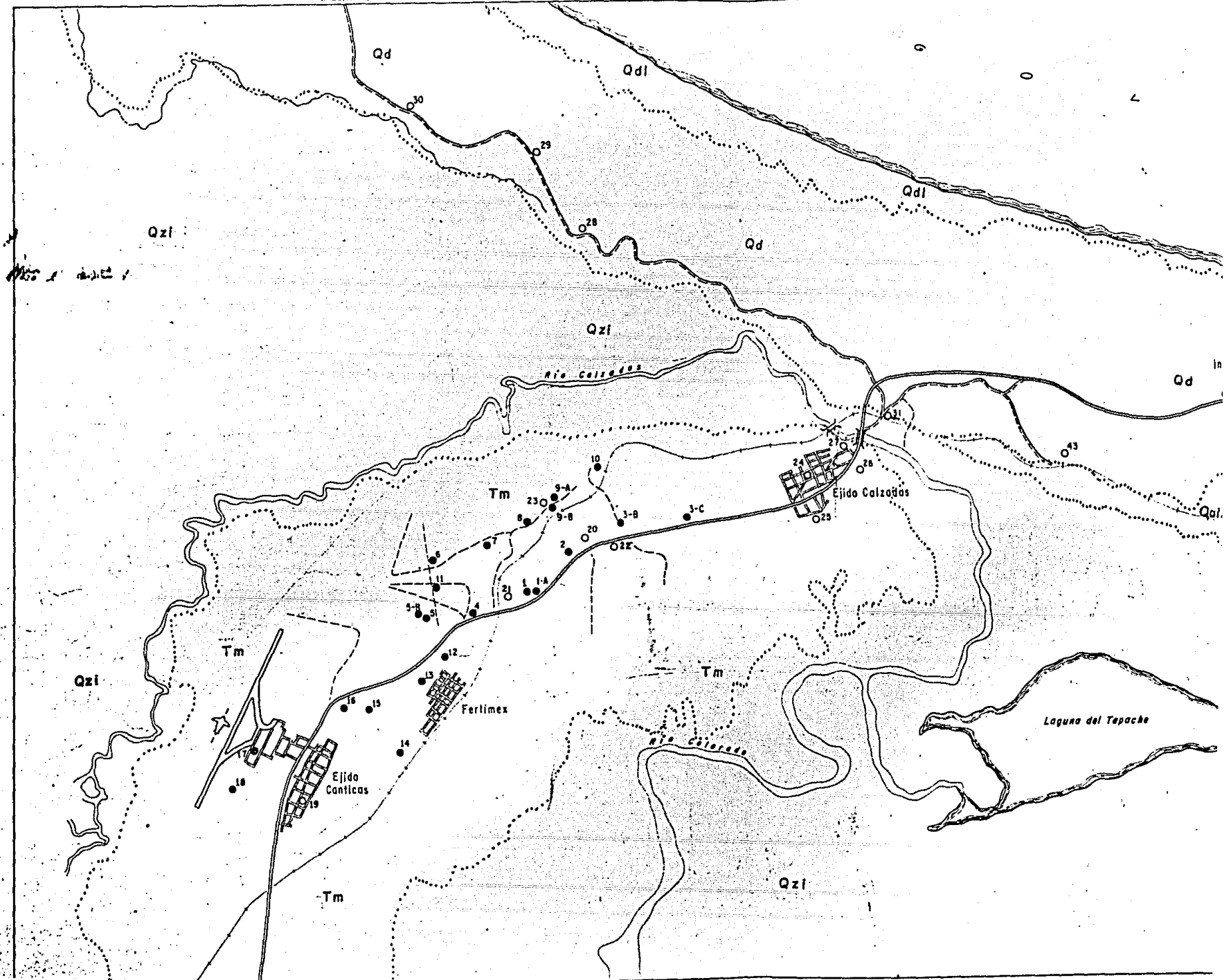
Río Coatzacoalcos

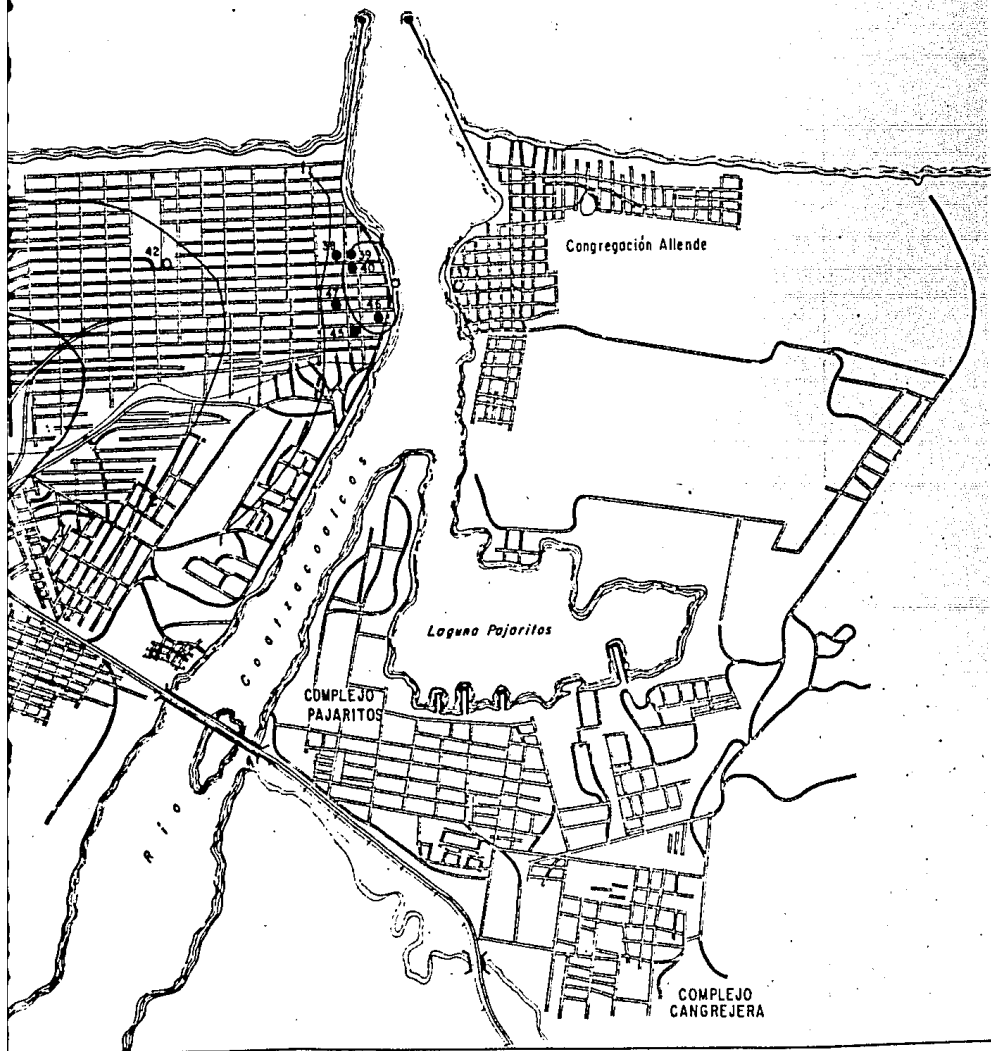
Qal/Qfl

Qzi

Col. Calzadas

Qzi





A Villahermosa



U
N
A
M

ENEP - ACATLAN

ESTUDIO PREELIMINAR DE HIDROLOGIA
SUBTERRANEA DEL CAMPO CANTICA VER.

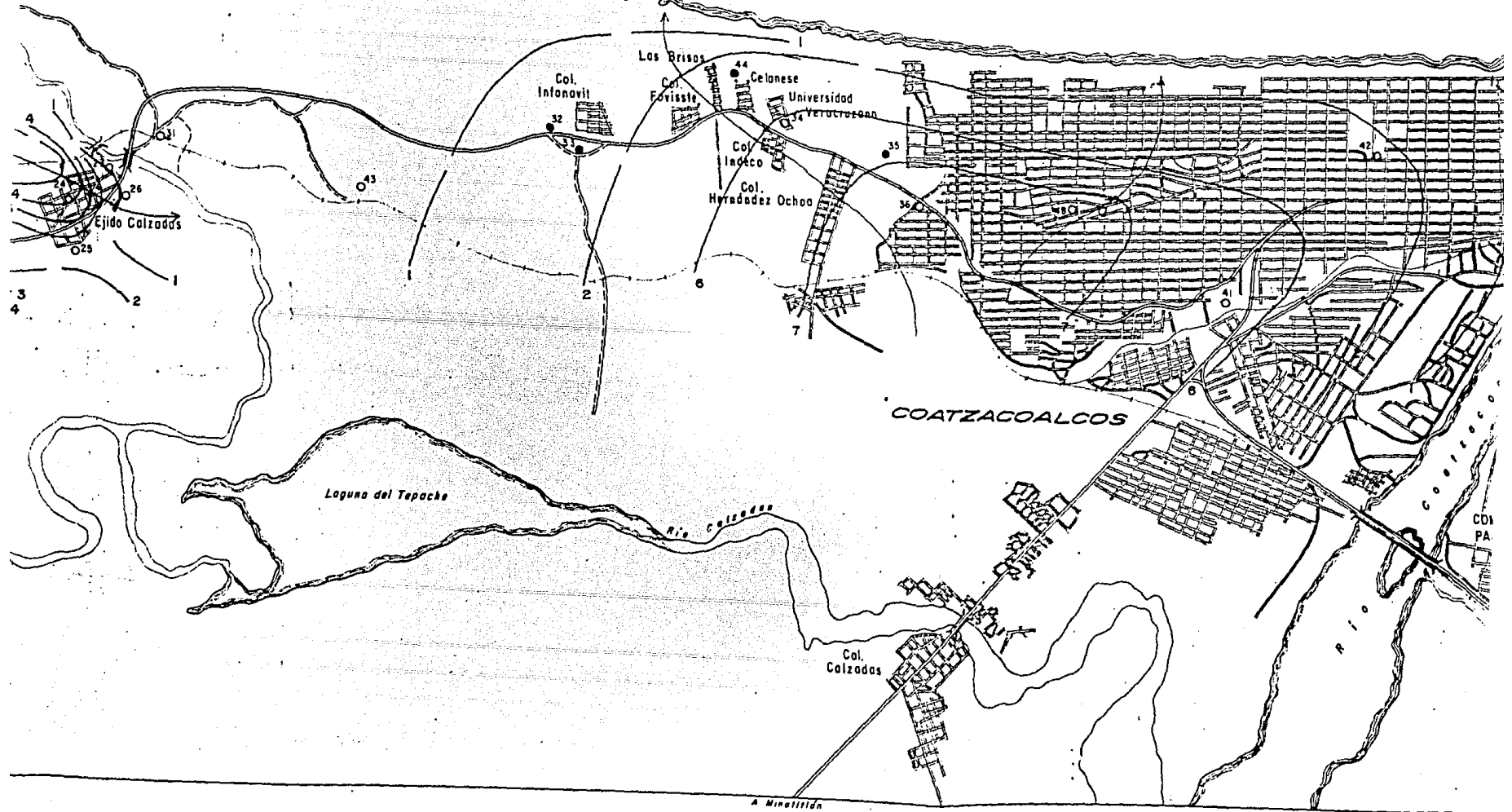
CONFIGURACION DEL NIVEL ESTATICO

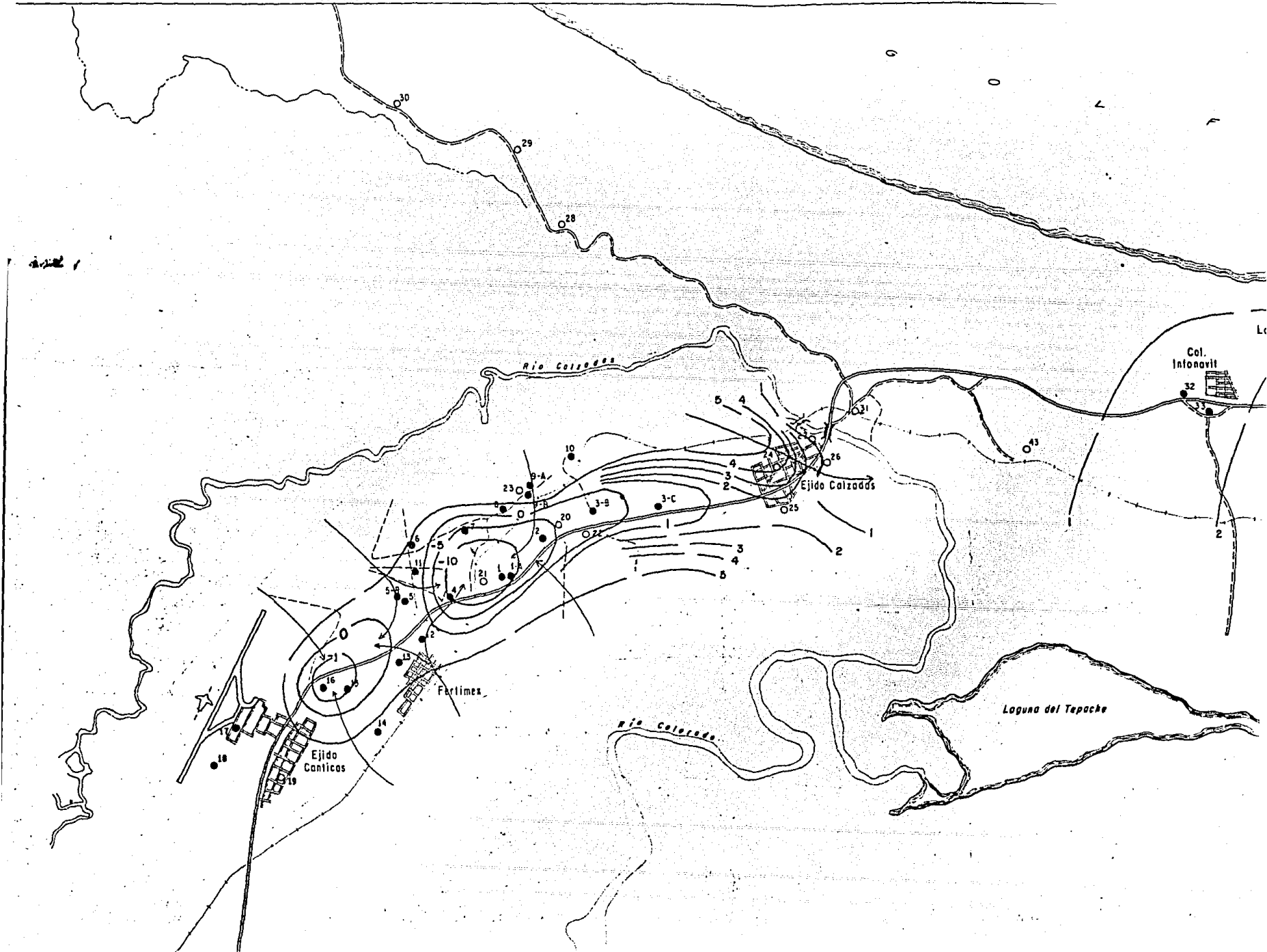
PLANO #
3

TESIS PROFESIONAL
JULIO C. PEREZ RICARDEZ

ABRIL - 83

9
0
L
F
O
D
E
M
R
X
I





BIBLIOGRAFIA

- I.- GROUND WATER HIDROLOGY .
DAVID KEITH TODD .
WILEY .
- II.- HIDROGEOLOGY .
STANLEY N. DAVIS AND ROGER J. M. DE WIEST.
ARIEL .
- III.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA .
CUSTODIO - LLAMAS .
OMEGA .
- IV.- EXPLORACION , CUANTIFICACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS
RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS .
(APUNTES) DIVISION DE EDUCACION CONTINUA .
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
- V.- GEOFISICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGIA .
J . L . ASTER .
PARANINFO .
- VI.- STUDY AND INTERPRETATION OF THE CHEMICAL CHARACTERISTICS
OF NATURAL WATER .
JOHN D. HEM .