

V.- ESTUDIOS DE TIPO GEOLOGICO EN LA ZONA.

Dado que en el presente trabajo se particulariza la atención hacia el estudio de las aguas subterráneas, tendremos que analizar el medio portador de las mismas, que en este caso lo constituyen los suelos. Analicemos las diversas manifestaciones de sus propiedades principalmente el aspecto permeabilidad. Para esto solicitamos igualmente un estudio global de geología de la zona en cuestión que comprenderá lo siguiente:

- 1) Estudio de geología superficial.
- 2) Estudio de la geología interna del lugar mediante investigación geofísica.
- 3) Estudio Geológico directo sobre perforaciones llevadas a cabo en el lugar.

5.1.- GEOLOGIA SUPERFICIAL.

Esta clase de estudio es valioso en cuanto a que nos dará la pauta para la localización primaria de los puntos extremos de las líneas de perfiles a investigación geofísica y posteriormente la localización de perforaciones que más convengan tratando de lograr localizaciones estratégicas que nos aporten la mayor cantidad posible de datos.

En realidad este estudio es previo a la geofísica y perforaciones para lograr de estos dos últimos estudios geológicos, los mas costosos

el mayor aprovechamiento.

Este tipo de estudios se llevan a cabo mediante brigadas de geólogos en visitas exploratorias por el lugar; es recomendable antes de hacer estas visitas llevar a cabo un vuelo sobre la zona donde se fijen los principales puntos de interés para estudios de geología superficial. En el caso del presente estudio se cuenta con un mapa geológico a escala 1:500,000, el cual fué elaborado por la "Cía. Mexicana de Aerofoto, S. A.," para la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Este mapa nos muestra la variedad de complejos geológicos existentes en la zona, tales como rocas, sedimentarias, magmáticas y metamórficas. No se aprecian fenómenos tectónicos, tales como fallas, líneas de echado o de plegamientos, en este mapa. De manera que el estudio de geología superficial a cargo de geólogos experimentados constituye un complemento para hacer de este mapa geológico una fuente representativa de datos completos.

Los trabajos de Geología superficial en la zona de Caborca, que hasta la fecha se han efectuado se resumen a continuación:

Precámbrico. - La cordillera de Pitiquito que limita la región al oriente está constituida por un complejo sedimentario (cuarcitas, calizas y lutitas) con rocas volcánicas e intrusiones graníticas probablemente del precámbrico.

Paleozoico. - Las partes norte y sur comprenden rocas sedimentarias de la era paleozoica. Tienen también algunas intrusiones graníticas-dioríticas y volcánicas en contacto con zonas metamórficas.

En los cerros de la Proveedora, Lista Blanca y de los Arrojos, se han encontrado expuestas rocas sedimentarias cámbricas.

Existen fuertes echados que forman hasta 70° con la horizontal, algunas fallas en dirección Norte-Sur separan los rellenos de los valles.

Mesozoico. - El cerro del Alamo, en el límite poniente de la región, está compuesto de sedimentos triásicos fuertemente invadidos por granitos y diques. Su composición litológica es principalmente de material clástico, areniscas y lutitas con algunas calizas en las laderas del Norte.

Cenozoico. - Se encuentran intrusiones graníticas de la era cenozoica en todas las cadenas montañosas de la región, en contacto con formaciones paleozoicas y mesozoicas. Estas rocas son de grano grueso de textura porfirítica. Se encuentran esparcidas en la región minas pequeñas que explotan sus metales.

5.2. - ESTUDIOS GEOFISICOS. -

5.2.1. - OBJETIVOS. - El estudio geofísico propuesto en el área - lleva el propósito de conocer la geología subterránea y las caracterís-

ticas geoelectricas de diferentes secciones o cortes en la zona de investigación. Actualmente, la información de geología subterránea con que contamos se limita a algunos datos de pozos superficiales en la zona, información raquílica en general.

Los principales objetivos de esta exploración geofísica podríamos resumirlos en la averiguación de los siguientes datos:

- 1) Espesor y variabilidad de la sección aluvial que se investiga.
- 2) Características litológicas de las rocas sedimentarias más profundas.
- 3) Configuración estructural y profundidad del Basamento.
- 4) Localización en planta y profundidad de acuíferos y subacuíferos, su distribución e interrelación.

5.2.2. - METODO DE RESISTIVIDAD SUPERFICIAL. Una de las técnicas más útiles y más comunmente usadas para la exploración del subsuelo es el método de la resistividad eléctrica.

El método se basa en mediciones superficiales de la resistencia al flujo de una corriente eléctrica a través de los diferentes estratos geológicos. La conductividad de formaciones rocosas depende del contenido de agua en fisuras de las rocas, intersticios o simplemente la cantidad de agua retenida por saturación o capilaridad en los suelos. La resistividad de una formación es función de su porosidad, grado de saturación y salinidad del agua dependiendo también de la litoestrati-

grafía y estructura de la formación.

Existen varias técnicas de pruebas geofísicas de profundidad de las cuales la más apropiada a nuestras condiciones es la configuración de Wenner. En esta configuración, cuatro electrodos iguales se colocan en el suelo, espaciándolos a través de una línea recta simétricamente dispuestos respecto a un punto fijo central. Enseguida se hace pasar una corriente eléctrica a través del suelo mediante los electrodos extremos y el flujo de potencial es medido entre el par de electrodos interiores. Al hacer esta medición los electrodos se encontraban separados una distancia "A", así el hemisferio equipotencial descrito por la corriente se extiende a la misma profundidad "A" que es la separación entre electrodos. Aumentando progresivamente la distancia entre electrodos se obtiene también un aumento en la profundidad de penetración. Entonces la variación de la resistividad con la profundidad se encuentra determinada y graficando estos valores obtendremos la curva resistividad profundidad. La unidad de medida usada es el Ohm-cm.

La resistividad registrada para cierta separación de electrodos expresa la suma de las resistividades de todas las capas desde la superficie del terreno, hasta la profundidad analizada, esta resistividad se denomina "resistividad aparente". Para obtener la resistividad de distintas capas aproximándonos a los valores reales de la resistividad,

se usa un método de interpretación cuantitativa mediante obtención de curvas de cambios de resistividades aparentes que se comparan con determinadas curvas teóricas tipo de diferentes contrastes de resistividad.

Estas resistividades calculadas se encuentran para cada prueba geofísica de profundidad efectuada en el campo. Las pruebas geofísicas de profundidades se llevan a cabo espaciadamente en el campo sobre líneas transversales a la sección que se desea analizar. Los diferentes rangos de valores de resistividades calculados (reales) se correlacionan a lo largo de la sección y se obtiene una red de curvas de iso-resistividad, significando geohidrológicamente las diferentes características litológicas, estructurales y de saturación de agua de los complejos encontrados en la cuenca subterránea analizada, llegando así a la determinación del perfil geológico de una sección.

Es conveniente hacer notar al respecto de todos los métodos geofísicos de investigación, la necesidad de perforaciones exploratorias las cuales nos servirán para calibración de nuestros aparatos, pues dentro de un rango de resistividades pueden haber interpretaciones en ocasiones muy variadas.

5.2.3.- REGISTRO ELECTRICO EN POZOS. En la operación de registros eléctricos de pozos, dos son las propiedades eléctricas medidas:

Resistividad y Potencial.

RESISTIVIDAD. - La resistividad de un material es aquella propiedad que caracteriza por su oposición a la circulación de corriente eléctrica. De aquí que la resistividad es la recíproca de la conductividad.

La resistividad eléctrica de una formación está directamente relacionada con la naturaleza, cantidad y distribución de agua en la formación. Puesto que éstos factores varían en forma apreciable de una a otra formación, las determinaciones de la resistividad hechas en un pozo perforado pueden utilizarse para determinar contactos de formaciones y obtener información sobre la naturaleza de las capas atravesadas por la perforación.

La curva de resistividad puede obtenerse introduciendo y haciendo descender uno o varios electrodos dentro del pozo, haciendo las medidas por medio de apropiados arreglos eléctricos en el equipo. Estas medidas son registradas en función de la profundidad, denominándosele a la gráfica resultante "curva de resistividad".

Los valores de resistividad están expresados en Ohm-m. En la tabla siguiente se dan los rangos típicos de resistividad para diferentes formaciones:

Arenas y gravas conteniendo agua dulce.	30	=	200	Ohm = m.
Areniscas y calizas conteniendo agua dulce.	50	=	500	Ohm = m.
Arenas y gravas conteniendo agua salobre.	4	=	30	Ohm = m.
Arenas y gravas conteniendo agua salada.	0.1	=	4	Ohm = m.
Arcillas Lutitas.	2	=	10	Ohm = m.
Formación compacta.	1000	=	10000	Ohm = m.
Agua potable.	10	=	100	Ohm = m.
Lodo de perforación.	1	=	10	Ohm = m.

La tabla anterior muestra que las formaciones que contienen aguas blandas (un buen acuífero) y las compactas tienen una mayor resistividad que aquellas que contienen agua salada o que las arcillas y lutitas.

Los valores de resistividad registrados en un corte eléctrico corresponden a mediciones promedio de una esfera de aproximadamente 1.00 m. de diámetro (equipo de un solo electrodo) o varios m³ de formación y lodo de perforación (equipo de multielectrodos). Debido a que el lodo de perforación es incluido en la medición y que este lodo es de diferente resistividad que las formaciones, su efecto hace variar

la medida de la resistividad; cuanto más grande es el diámetro del pozo, tanto más se afecta la medida de la resistividad.

Los acuíferos que generalmente estén confinados por formaciones arcillosas y que no sean de gran espesor son parcialmente influenciados por la arcilla. Ya que esta tiene una baja resistividad y aunado lo anterior a lo delgado o poco potente del acuífero, muestra el registro eléctrico con una resistividad pequeña.

POTENCIAL.- Determinaciones hechas en pozos perforados han mostrado la existencia de potenciales eléctricos naturales entre formaciones. Estos potenciales, algunas veces llamados "Potenciales espontáneos" varían de acuerdo con la naturaleza de los estratos o lechos atravesados. Por ejemplo el potencial de una formación que contenga agua salada o salobre es generalmente negativo con respecto al potencial de las arcillas o lutitas. En formaciones que contengan agua dulce los potenciales pueden ser positivos o negativos con respecto al potencial de las arcillas o lutitas y normalmente son de menor amplitud que en formaciones que contengan agua salada.

La medida del potencial se hace entre un electrodo dentro del pozo y un electrodo fijo en la superficie registrándola en función de la profundidad.

El potencial de la arcilla se utiliza casi siempre como referen-

cia. Por ejemplo: cuando se dice que un acuífero tiene un potencial negativo, esto significa que el potencial en el acuífero es más negativo que el potencial en la arcilla que lo rodea.

5.2.4.- PROGRAMA DE INVESTIGACION GEOFISICA. Las líneas de exploración geofísica fueron seleccionadas para abarcar el depósito subterráneo del valle de Caborca en dirección transversal y longitudinal, iniciándose y concluyéndose en las fronteras rocosas que limitan el valle de Caborca y abarcando la zona de afloramientos centrales del valle, llegando a determinar igualmente el contorno de roca basamento del mismo.

Para correlación litológica e interpretación de valores de resistividades deben llevarse a cabo varias pruebas geofísicas de profundidades cercanas a pozos profundos perforados, con suficiente información geológica para calibración de los instrumentos; Estas pruebas geofísicas de profundidad deberán abarcar desde la superficie hasta una profundidad máxima de 800 mts.

a) AREA ASUNCION.- Se proponen 6 secciones geofísicas a investigar, 3 transversales en dirección Este-Oeste, y 3 longitudinales en dirección Norte-Sur, todas con espaciamentos geofísicos de profundidad de 95,00 mts.

b) AREA DEL COYOTE.- Se propone una sección geofísica a ex-

plorar en dirección Norte-Sur. Esta sección nos dará a conocer el espesor y las características del relleno aluvial en la descarga del depósito del Area Asunción, punto por donde se drena el total de la recarga que se recibe en Caborca por flujo subterráneo, avanzando hacia el depósito costero a través de esta "Area del Coyote",

c) PLANICIE COSTERA. - Se proponen 6 secciones geofísicas, tres en dirección Norte-Sur paralelas a la línea de la Costa y tres perpendiculares, en dirección Este-Oeste casi paralelas al curso de la corriente del Rio Concepción (Magdalena), desde las montañas hasta la línea de la playa.

Esta zona reviste importancia debido a que nos interesa conocer las condiciones de flujo de agua dulce subterránea o el probable avance de aguas salinas o quizás la existencia de depósitos marinos antiguos que nos puedan ocasionar acuíferos con agua altamente salina o la contaminación del acuífero de agua dulce existente.

RESUMEN DE SECCIONES GEOFISICAS POR EXPLORAR EN
EL VALLE DE CABORCA.

CUENCA SUBTERRANEA	NUMERO DE LA SECCION	LONGITUD (KMS)	PRUEBAS GEOFISICAS DE PROF.	OBSERVA- CIONES.
ASUNCION	1	40	22	Transversal
	2	28	15	"
	3	26	15	"
	4	30	15	Longitudinal
	5	23	12	"
	6	35	16	"
DEL COYOTE	7	12	8	Norte-Sur
PLANICIE COSTERA	8	35	15	Paralela Cost
	9	30	15	"
	10	20	10	"
	11	30	15	Perpend. Cost
	12	30	15	"
	13	20	10	"

5.3.- ESTUDIO GEOLOGICO DIRECTO.-

Podríamos afirmar sin lugar a dudas que esta etapa del estudio es la más cara del mismo por lo que reviste mucha importancia su desarrollo y control de registros.

Una vez obtenidos los resultados de las diferentes secciones geofísicas, anteriormente mencionadas se procede a llevar a cabo la localización de perforaciones tratando de obtener de una manera exhaustiva la mayor cantidad de datos y los mínimos costos posibles, progra-

mando y previendo todos los problemas que se puedan presentar y contando con un equipo de supervisión perfectamente capacitado y experimentado en este tipo de trabajos.

Es importante igualmente que la dirección de programación y localización de estos trabajos esté bajo un grupo de técnicos bastante enterados de los estudios previos efectuados en la zona ya que es indispensable ir complementando y eslabonando el trabajo pues el alto costo de todas estas operaciones no nos permite el lujo de que por deficiencias de organización se confirmen exploraciones ya dadas por la investigación geofísica salvo casos de importancia y en los cuales la geofísica nos arroje datos con bastante incertidumbre.

5.3.1.- OBJETIVOS.- Los principales objetivos del programa de perforación exploratorio son:

- 1) Estudiar la sección geológica en estos valles por medio de la penetración del relleno aluvial hasta llegar a la roca basamento.
- 2) Demostrar si existen o no acuíferos poco profundos en la sección aluvial o en la formación rocosa.
- 3) Estudiar las características geohidrológicas de los acuíferos perforados al igual que su calidad de agua.
- 4) Determinación de zonas de localización de pozos de bombeo.
- 5) Observar la intrusión salina en la zona costera.

Con la perforación de pozos de exploración con diámetro reducido se podrán llenar los puntos objetivos 1, 2 y 4. Para estudiar con más detalle las características geohidrológicas de los acuíferos (punto objetivo 3) será necesario llevar a cabo varias pruebas, posibles únicamente en perforaciones con diámetro más amplio, procediendo en algunos casos a la ampliación de diámetros de perforación de algunos pozos exploratorios de diámetro reducido.

5.3.2. - PROGRAMA DE PERFORACIONES. - El programa que se propone consta de 14 pozos de prueba, los cuales se perforaran de acuerdo con las prioridades marcadas por dos etapas en que subdividiremos el programa total de perforación. A continuación resumimos los datos mencionados del programa en una tabla.

ZONA	PRIMERA ETAPA POZO No.	RANGO DE PROFUNDIDAD.	SEGUNDA ETAPA POZO No.	RANGO DE PROFUNDIDAD.	POZOS AMPLIADOS.	TOTAL DE POZOS
ASUNCION	P = 1	250 - 300	P = 2	300 - 400	2	5
	P = 4	300 - 400	P = 3	300 - 400		
			P = 5	300 - 400		
DEL COYOTE	P = 6	250 - 350	-	-	1	1
PLANICIE COSTERA	P = 7	300 - 350	P = 8	300	2	8
	P = 9	400 - 500	P = 11	300		
	P = 10	300 - 400	P = 12	300		
			P = 13	300 - 400		
			P = 14	200 - 300		

5.3.3. DATOS GEOLOGICOS OBTENIDOS EN SUPERVISION DE PERFORACION DE POZOS DE PARTICULARES.

Las investigaciones geológicas directas en pozos se logran complementar con la supervisión y muestreo de pozos particulares actualmente en perforación. Sobre este particular se ha obtenido la siguiente información:

Los valles y la planicie costera están formados por material de relleno, de erosión de las cadenas montañosas acarreado por corrientes fluviales, siendo depositados sobre bloques de roca fallados.

En la actualidad existen más de 700 pozos particulares, pero -
dado que no se conservaron las muestras, ni se hizo un reconocimien-
to de la litología de los pozos, no se ha logrado obtener información
valiosa para geología interna. Sin embargo, se han supervisado per-
foraciones de nuevos pozos, cuidando de obtener, muestreos de los -
terrenos atravezados y complementando con registros eléctricos, se
ha logrado obtener mejor información.

AREA ASUNCION.- Ninguno de los pozos perforados en esta a-
rea han logrado llegar al basamento, por lo que se deduce que el ma-
terial aluvial es de un espesor considerable. Prueba de ello es un po-
zo perforado a 240 mts. , de profundidad en el valle de Bisani, en el
cual tampoco se logró llegar al basamento, encontrándose solo estra-
tos de arena lavada, grava y cantos rodados.

Una correlación litológica con estos datos es difícil, sin embar-
go, sobre el valle de Bisani si se logran distinguir 2 complejos geo-
lógicos: 120 a 150 metros iniciales, de material grueso semiconsoli-
dado y 120 a 180 metros más profundo, se identifican arcillas areno-
sas con poco material grueso (20 a 30 %).

En el valle de Bisani en perforaciones profundas se han encon-
trado después de la capa de arcilla, nuevas concentraciones de mate-
rial grueso, quizás acuífero semiconfinado que será objeto de estu-

dios de potencialidad y calidad de agua en perforaciones exploratorias profundas posteriores.

El valle de Caborca, cuenta con pozos muy superficiales (70 a 100 mts.) pero es de suponerse que el espesor aluvial es más reducido que el del valle de Bisani, por la proximidad de los afloramientos y lo estrecho del valle.

El valle de Pitiquito quizás tiene también espesor aluvial reducido pues al sur del valle, se encontró la roca madre o basamento muy superficial.

AREA DEL COYOTE. - Se cuenta con pozos en su mayoría superficiales (90 a 100 mts.). El relleno aluvial está compuesto de arena gruesa, grava y cascajo bien graduado y bajo % de finos.

En perforación profunda reciente (Pozo Carrillo) se encontró entre 120 y 140 m. de profundidad, una arcilla marina, intercalada entre capas de grava, observándose diferencias de niveles en las dos capas de gravas mencionadas.

Se cree que el espesor intermedio del relleno aluvial, en esta area es como de 300 metros formado en general por material grueso - deslavado, probablemente depositado por la corriente del rio Asunción y el arroyo Del Coyote.

PLANICIE COSTERA.- Cerca de 300 pozos perforados existen en esta zona, muchos de ellos abandonados. En el centro de la planicie costera se encuentran capas de grava y arena alternadas con capas de arcilla plástica fina. La capa de arcilla más profunda no ha sido perforada por los pozos existentes, pues por lo general el usuario no perfora pozos muy profundos en proximidades de la costa por la seguridad de encontrar agua más salobre a más profundidad. En general la capa de aluvión es poco profunda y descansa sobre gruesas capas de arcilla.

5.3.4.- CARACTERISTICAS DE CONDUCCION Y ALMACENAMIENTO DE ALGUNAS FORMACIONES GEOLOGICAS GENERALES:

Los materiales sueltos, no consolidados, como formaciones de gravas y arenas pueden alumbrar miles y miles de M³ diarios. Las formaciones rocosas en lajas, cementadas tales como los esquistos y las rocas areniscas, pueden entregar varios millares de litros por minuto generalmente para pozos de uso doméstico.

Las rocas calizas que son solubles en el agua muchas veces tienen una estructura parecida a un panal de abejas (celular) y forman canales de tal modo que pueden proporcionar ricos abastecimientos de agua. Las rocas cristalinas como el granito, los esquistos y los gneises duros son malas productoras de agua.

Las rocas sedimentarias constituyen el 5% de la corteza terrestre, pero almacenan el 95% de las aguas subterráneas.