

2ej. 21

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL PARQUE NACIONAL,
CERRO EL CIMATARIO, EDO. DE QUERETARO " .

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE INGENIERO GEOLOGO PRESENTA -
JOSE ALEJANDRO MEDINA XOCHIHUA.

México, D.F., noviembre de 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 AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL PARQUE NACIONAL CERRO
EL CIMATARIO, ESTADO DE QUERETARO "

TESIS PROFESIONAL

C O N T E N I D O

	Pág.
CAPITULO I .- INTRODUCCION -----	6
CAPITULO II .- GENERALIDADES	
2.1.- Antecedentes -----	9
2.2.- Objetivos del estudio -----	10
2.3.- Localización del área -----	10
2.4.- Vías de comunicación -----	11
2.5.- Método de trabajo -----	11
CAPITULO III .- FISIOGRAFIA	
3.1.- Fisiografía -----	13
3.2.- Hidrografía -----	15
3.3.- Climatología -----	15
3.3.1.- Método de Thornthwaite -----	18
3.4.- Excedentes de lluvia -----	20
3.5.- Datos meteorológicos -----	23
3.6.- Resultados climatológicos -----	31
3.7.- Flora y Fauna -----	32
3.8.- Fórmulas más usadas -----	33
CAPITULO IV .- GEOLOGIA	
4.1.- Geología de la región -----	36
4.2.- Historia geológica -----	36
4.3.- Geología local -----	39

	Pág.
CAPITULO V .- HIDROLOGIA	
5.1.- Conceptos generales -----	46
5.2.- Cuencas hidrológicas -----	47
5.3.- Unidades hidrogeológicas -----	48
5.4.- Piezometría -----	50
5.5.- Capacidad específica -----	53
CAPITULO VI .- GEOQUIMICA	
6.1.- Principios generales -----	56
6.2.- Análisis fisicoquímicos -----	58
6.3.- Clasificación del agua -----	63
6.3.1.- Diagramas hidroquímicos -----	65
6.4.- Correlación geoquímica -----	73
6.5.- Calidad del agua -----	76
CAPITULO VII .- GEOFISICA	
7.1.- Conceptos generales -----	78
7.2.- Método eléctrico resistivo -----	78
7.3.- Actividades desarrolladas -----	82
7.4.- Interpretación de datos -----	88

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

*** BIBLIOGRAFIA ***

= ANEXOS =

- a) Fotografías Representativas del Area.
- b) Plano geológico
- c) Plano Hidrológico
- d) Perfil Geofísico

" ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARIO, ESTADO DE QUERETARO " .

TESIS PROFESIONAL

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

Actualmente el país se encuentra en una etapa de gran impulso a los estudios geohidrológicos como base para el control efectivo de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, con la finalidad de dotar de este precioso líquido a todas las comunidades, ya sea para uso potable o bien para la agricultura y la industria y ahora también para la reforestación. La creación del "Parque Nacional Cerro el Cimatarío" comprende etapas de reforestación y construcción de instalaciones para la recreación y estancia de visitantes. Corresponde la realización de estos trabajos a la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, por medio de la Dirección de Parques Nacionales en colaboración con la Subdirección de Construcción y el Departamento de Fuentes de Abastecimiento, actualmente pertenecientes a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

Con la reforestación del área del Cerro del Cimatarío se pretende constituir el pulmón de la Ciudad de Querétaro, por su localización al sur, a una escasa distancia de ésta.

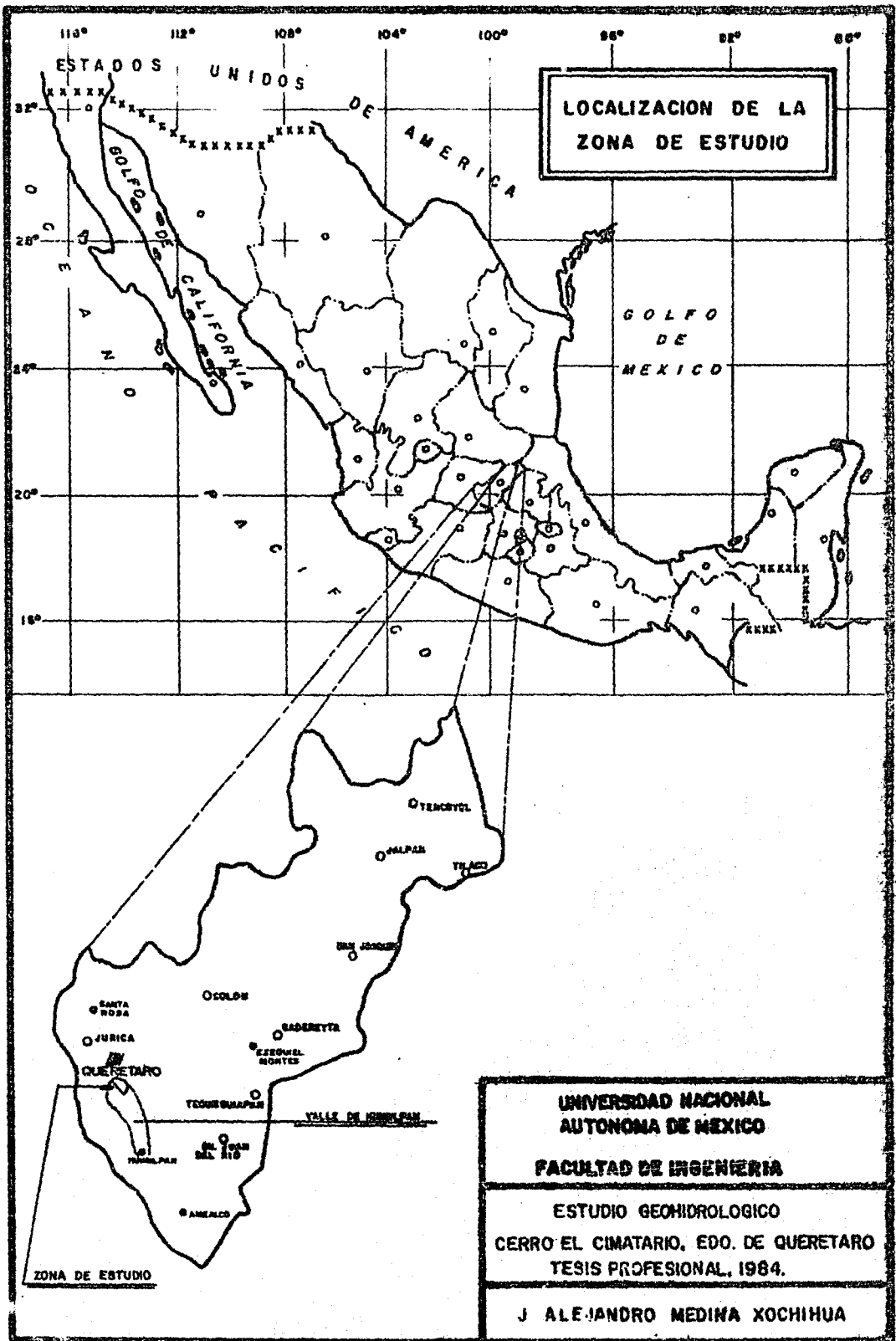
En el futuro, por el rápido crecimiento de la población, se prevé que llegará a ser una gran área verde integrada a la zona urbana.

Al contemplarse la situación de proporcionar agua al parque y sabiendo que la ciudad de Querétaro tiene déficit de ese líquido, se decidió que era conveniente solucionar ambos problemas, mediante la búsqueda de una fuente en --

algún lugar cercano con posibilidades de abastecer a los dos sitios. Así se inició el Estudio Geohidrológico para la zona del Cerro El Cimatarío, encontrándose con la posibilidad de estudiar una gran cuenca situada al Sur -- del cerro, y que se denominó Cuenca de Huimilpan ó Villa Corregidora, la cual tiene la ventaja de encontrarse muy cerca del parque, formando los flancos Sur y Suroeste del Cimatarío, condiciones inmejorables de posición, lo cual motivó a su estudio.

Se ubicó al Parque Nacional Cerro el Cimatarío dentro de la Cuenca Hidrológica de Huimilpan o Villa Corregidora, la que geológicamente está emplazada en rocas ígneas de carácter basáltico-andesítico y en tobas de composición mineralógica similar, cuya ocurrencia es en forma de coladas lávicas. El Valle se encuentra ubicado en la parte centro-sur de la Mesa Central casi en el límite de esta Provincia con el Eje Neovolcánico y geográficamente en la parte media de la República Mexicana y al SW del Estado de Querétaro (Fig.No.1).

Los elementos estructurales más importantes, desde el punto de vista geohidrológico, corresponden a una serie de fallas y fracturas, las cuales son el motivo geológico del trabajo ya que, al estudiar su comportamiento subterráneo, se podrán establecer las posibilidades de que dichos sistemas sean capaces de contener acuíferos susceptibles de poder ser aprovechados para los fines del Parque.



CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1.- ANTECEDENTES.- Para el área del Cerro el Cimatario y el Valle de Huimilpan que lo contiene, no se han hecho estudios específicos, ya que sólo -- aparece como un área de condiciones geohidrológicas restringidas en las publicaciones de algunos autores que han estudiado al Estado de Querétaro.

En la carta Geohidrológica del Estado de Querétaro, elaborada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y presentada en la 3a. Reunión Nacional de Perforación de Pozos, es considerado este Valle como zona de pocas posibilidades y en la Carta Hidrológica de Detenal, México a Esc. 1:1'000,000 se considera como zona de permeabilidades bajas en materiales consolidados y a la parte central del Valle se le considera con permeabilidad media en materiales consolidados.

Actualmente varias compañías particulares realizan estudios de carácter geohidrológico con el fin de configurar las zonas acuíferas en las áreas aledañas al Valle de Querétaro, auspiciadas por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y de Desarrollo Urbano y Ecología, como en el caso de éste trabajo.

La relativa poca importancia dada a este Valle de Huimilpan, probablemente radique en el hecho de que anteriormente no era grande la demanda de agua en esa zona y como las obras que se encontraban funcionando eran pequeñas y de poco gasto, era de suponerse que la cantidad de agua en los acuíferos sería escasa, debido a que los materiales encontrados y trabajados hasta entonces correspondían a tobos y rellenos arcillosos que poco caudal daban al combinarse con rocas de nula permeabilidad.

2.2.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO.- El principal objetivo del estudio radica en conocer las estructuras geológicas en el área del Cerro El Cimatario y las existentes en el Valle de Huimilpan así como sus relaciones. Del conocimiento que se obtenga de ellas se podrán señalar las zonas que ofrezcan posibilidades favorables de contener acuíferos y de ser exploradas para la perforación de pozos profundos que aporten el agua para satisfacer las necesidades futuras e inmediatas del Parque Nacional Cerro El Cimatario, y coadyugar en el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de Querétaro.

2.3.- LOCALIZACIÓN DEL AREA.- El Parque Nacional del Cerro Cimatario queda alojado en el flanco Oriente del cerro del cual toma su nombre. Este lugar se encuentra al Sur de la Ciudad de Querétaro, capital del Estado.

Geográficamente el área de estudio queda enmarcada dentro del plano delimitado por los meridianos $100^{\circ} 10'$ y $100^{\circ} 30'$ de longitud Oeste, y por los paralelos $20^{\circ} 20'$ y $20^{\circ} 38'$ de latitud Norte (ver planos del anexo y fig. -- No. 1) esto es que se sitúa en la parte central de la República Mexicana. Geológica y Fisiográficamente se ubica en la parte central Sur de la Mesa Central muy cerca del límite de esta provincia con el Eje Neovolcánico.

Hidrologicamente pertenece a la Cuenca del Río Lerma y se encuentra cercana al Partaguas Continental que separa las aguas en dirección al Océano Pacífico al Oeste y hacia el Golfo de México al Este.

Topográficamente el área se encuentra entre los 1950 y los 2100 metros sobre el nivel del mar. La cota media en la Ciudad de Querétaro es de 1815 metros y la parte más alta del Cerro Cimatario es de 2,230 m.s.n.m., habiendo

un desnivel entre ambos de 415 metros.

2.4.- VIAS DE COMUNICACION.- El estado de Querétaro cuenta en general con una red de carreteras de primer orden, como el caso de la autopista de dos carriles que comunica al Estado con el Distrito Federal, la ampliación de la carretera federal No.57 a San Luis Potosí, la autopista de peaje a Colaya, la carretera San Juan del Río - Xilitla que recorre la mayor parte del Estado, así como una gran cantidad de carreteras secundarias y caminos de terracería y empedrados que son transitables en cualquier época del año. Se cuenta con vías férreas importantes como la ruta a Guadalajara y la que va a Piedras Negras Coahuila. También se cuenta en la Ciudad con un aeropuerto para avionetas.

El acceso al área se logra por la recién construida carretera Querétaro-Huimilpan que prácticamente recorre toda la zona del Parque. También se puede llegar a la parte Sur de Este por el camino empedrado que inicia en Villa -- Corregidora hacia Coroneo, Gto. y hacia Huimilpan (camino antiguo), tomando la desviación al poblado de La Noria (ver planos en los anexos).

2.5.- METODO DE TRABAJO.- Para la elaboración de Estudio Geohidrológico del Parque Nacional Cerro el Cimatarío se siguieron los siguientes pasos :

a) Se recopiló la información bibliográfica existente, como fueron estudios anteriores, planos y fotografías aéreas, los cuales aparecen mencionados en la bibliografía.

b) Se configuró el plano base para utilizarlo en el vaciado de la información de datos tomados en campo para su procesado en gabinete. Este plano se basó en las cartas topográficas de Detenal F14-C65 y F14-C75, Querétaro

y Apaseo el Alto respectivamente.

c) Se realizaron recorridos de campo para verificar la geología, para tomar muestras de agua, censar pozos y ubicar los puntos para sondeos geofísicos.

d) Con la información obtenida y el material disponible se procedió a la interpretación y elaboración del informe que se presenta, incluidas las secciones geológicas, perfil geofísico, planos y fotografías contenidas en el anexo.

CAPITULO III

FISIOGRAFIA

3.1.- FISIOGRAFIA.- El área de estudio, " Parque Nacional Cerro el Cimatario " está, regionalmente, ubicado dentro de la Provincia del Altiplano Mexicano, también denominado Mesa Central de acuerdo con las divisiones -- efectuadas por Erwin Raisz en 1964, según se muestra en la figura 3.1, don -- de se puede advertir que casi colinda con el Eje Neovolcánico y con la -- Sierra Madre Oriental en la parte correspondiente con la Subprovincia de Sierras Bajas. Debido a esta posición, sus caracteres fisiográficos com -- prenden razgos orográficos de montañas, cerros y lomas que alcanzan los - 2,200 y 2,300 m.s.n.m., como en el caso del Cerro Cimatario, objeto de es -- te trabajo.

Para las áreas bajas de valles y llanuras, se tienen elevaciones de 1800 a 1890 m.s.n.m. La ciudad de Querétaro que está situada entre los 1805 y 1850 m.s.n.m., se encuentra al Norte del Parque, alcanzando la zona urbana este límite. Los razgos se ven complementados por los derrames lávicos y las montañas en bloques con pendientes abruptas, acompañados por depósitos de píl de monte que rodean la zona del parque y por la presencia de co -- rrientes de tipo dendrítico escaso a paralelo. Aunado a esto se tiene -- que el área de estudio queda dentro de una Fosa Tectónica. Las fosas tec -- tónicas o fallas de canal son constituídas por una depresión alargada li -- mitada en sus bordes por fallas normales, o sea que también corresponde la descripción con un GRABEN, tal como se muestra en la sección geológica -- A-A' que se incluye en el anexo.

Esta estructura está definida por las fallas NW-SE que se encuentran, una en el flanco Oriente del Cimatarío y la otra al Oeste de este cerro y que casi se alinea con el Río Bravo (Ver plano No.1 en el anexo).

Regionalmente se considera al Área lugar de Fosas Tectónicas y Vulcanismo Reciente, lo cual se complementa al estar asociados a las fallas mencionadas los derrames lávicos observados, así como la presencia de masas volcánicas a lo largo de esas fallas. El Cerro Cimatarío se considera en base a esta descripción como un Cono Monogenético, esto quiere decir que fue -- producto del vulcanismo asociado a la fosa tectónica, dentro de la que se encuentra.

3.2.- HIDROGRAFIA. El sistema fluvial del área se caracteriza por su con formación dendrítica y paralela, de corrientes intermitentes, lo cual se -- debe principalmente a encontrarse en una zona de lluvias escasas y de -- ausencia de manantiales que alimentaran corrientes permanentes.

Actualmente sólo el Río Pueblito tiene agua casi todo el año, siendo la -- manifestación piezométrica más importante.

El río mencionado desemboca en el río Querétaro, este en el río La Laja -- que es afluente del río Lerma y por lo tanto, el área de estudio pertenece a la Cuenca Hidrológica de ese Río.

3.3.- CLIMATOLOGIA.- El clima es una parte muy importante y determinante en la hidrología, al influir directamente en el Ciclo Hidrológico. La Cli matología como ciencia comprende varios parámetros, como son : la radia -- ción del sol, la presión atmosférica, la insolación (horas de sol por día)

la humedad del ambiente, la velocidad del viento, la precipitación pluvial y la temperatura del medio ambiente.

La toma de datos de los parámetros mencionados dan lugar a los registros meteorológicos, y al cuantificarse y clasificarse en las diferentes zonas-climáticas, permiten tomar los resultados necesarios para ser utilizados - en los análisis particulares enfocados a los estudios hidrológicos, cuyo componente primario y esencial es el agua de lluvia.

El análisis de la precipitación pluvial y de la temperatura del medio ambiente, por medio de métodos empíricos, permiten estimar la evapotranspiración, ya que a través de ella se puede llegar a un primer valor de los -- Excedentes de lluvia que escurren o se infiltran a las zonas saturadas, y de esta manera tener una idea aproximada del volumen de agua que recarga a los acuíferos.

3.3.1.- EVAPOTRANSPIRACION.- De una forma lógica, la fuente de recarga - de los acuíferos en la zona de estudio es el agua de lluvia. Los excedentes de esta agua escurren superficialmente a través de la red hidrográfica existente, o se infiltran a través del suelo hasta encontrar las zonas de saturación recargando así a los acuíferos.

El agua de lluvia una vez que llega a la superficie de la tierra, es en -- parte evaporada y retornada directamente a la atmósfera. Este debido a -- la cantidad de calor concentrado en el suelo, producto de la insolación. Otra parte del agua de lluvia es devuelta a la atmósfera, también en forma de vapor, como resultado del proceso físico biológico de las plantas llamado transpiración.

Una tercera parte del agua de lluvia es la que se escurre y/o se infiltra, moviéndose por gravedad a través de las zonas permeables no saturadas, hasta encontrar la zona de saturación.

Como el interés de conocer estos procesos radica en llegar a la obtención de un valor aproximado del agua que se pueda infiltrar, se utilizan métodos empíricos para lograrlos pues como en la práctica resulta muy difícil separar los procesos para medirlos, se ha empleado un término que los agrupa : LA EVAPOTRANSPIRACION, a través del cual se llega a los EXCEDENTES DE LLUVIA que escurren o se infiltran.

El proceso de evapotranspiración (ETP), es mayor o menor en función de las condiciones imperantes en el medio ambiente, como son la temperatura , la intensidad de insolación y la cantidad de precipitación pluvial a lo largo del año, sin dejar de estar influido el proceso por el tipo de suelo, por la cobertura vegetal y por la profundidad del manto freático, lo que permite o no el paso del agua excedente hasta los acuíferos.

Para el conocimiento de la Evapotranspiración, existen métodos empíricos , que se basan en la suposición de condiciones ideales de humedad del suelo y del desarrollo vegetal; a través de los cuales se llega a un valor teórico de ETP Potencial, al que se le aplican las correcciones necesarias referentes a los elementos presentes en el momento del análisis para la ETP se lleve a cabo (cantidad de calor, precipitación e insolación, etc.), llegando en esta forma a un cálculo razonable del valor verdadero de ETP o Evapotranspiración Real.

La unidad de medición de la ETP es el mm de altura de agua, cuya equivalencia es : $1 \text{ mm} = 100 \text{ M}^3 / \text{Ha}$. Esta medida siempre corresponde a un lapso de tiempo determinado (una hora, un día, un mes, un año, etc.), durante el cual se efectúa la ETP. El agua que retorna a la atmósfera por este proceso debe contar con una energía necesaria para ello; esta energía es la calorífica y proviene del sol.

Como una cifra que se puede ejemplificar, es que en muchos lugares la evapotranspiración varía entre 3 y 4 mm/día, lo cual quiere decir que regresar a la atmósfera de $30 \text{ a } 40 \text{ M}^3 / \text{Ha} \cdot \text{Día}$. Se calcula que para efectuar dicha evapotranspiración se necesitan de $1,755 \text{ a } 2,340 \times 10^7 \text{ cal} / \text{Ha} \cdot \text{Día}$.

La evapotranspiración es un fenómeno microclimático, por lo cual diversos autores han tratado de observar sus parámetros a través de los componentes de la climatología y su estudio estadístico permite evaluar el orden de -- cantidades de agua evapotranspirada en una región determinada.

Para el caso del estudio del Cimatario en Querétaro, se eligió la Fórmula o Método de Thornthwaite para el cálculo de la ETP, utilizando los datos recopilados en la estación meteorológica de Querétaro que proporcionó registros de Precipitación y Temperatura.

3.3.1.- METODO DE THORNTHWAITE.- El método seleccionado toma como variable para el cálculo de la ETP potencial la media mensual de las temperaturas medias diarias del aire (Bulbo seco). Calculando primero el Índice de calor mensual (i) de la siguiente manera :

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad - 1$$

Con este valor se llega al Índice de calor anual (I), así :

$$I = \sum i \quad - 2$$

Dic
Ene

La fórmula considera meses teóricos con 30 días y 12 horas de sol y calcula la Evapotranspiración Potencial Diaria por medio de la ecuación :

$$\xi = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a \quad - 3$$

Para las fórmulas anteriores se tiene que :

t = Temperatura media diaria del mes en °C

I = Índice de calor anual en (°C)^{1.514}

a = variable calculada en función de la siguiente ecuación

$$(675 - 10^{-9} \cdot I^3) - (771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2) + (1.972 \cdot 10^{-5} \cdot I) + (0.49239) = a$$

Para concluir se toma la duración real del mes y el número máximo de horas de sol en base a la latitud del lugar y se obtiene la ETP potencial mensual con la fórmula :

$$ETP = K \cdot \xi \quad - 4$$

La variable K contiene los siguientes datos :

$$K = \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30} \cdot d \quad - \quad 5$$

donde :

N = número de horas de sol, según la latitud

d = número de días del mes.

Una vez obtenido el valor de la ETP potencial de cada mes, basta dividir ese valor entre d de cada mes correspondiente para conocer el valor diario.

3.4.- EXCEDENTES DE LLUVIA.- Ya con los valores de ETP potencial, que representan un valor teórico de un límite superior de la capacidad de agua que vuelve a la atmósfera, se procede a calcular el valor real de la evapotranspiración, lo cual se aprovecha para efectuar un cómputo de los excedentes de lluvia que pueden escurrir o infiltrarse.

Para lograrlo se toman en cuenta los datos obtenidos y el agua que efectivamente existe en el suelo, llamada reserva de agua utilizable por las -- plantas; Estas para vivir necesitan que en su zona radicular exista oxígeno libre, por lo tanto no debe estar esa zona saturada de agua pues las -- plantas sólo utilizan la que se encuentra en forma capilar suspendida o aislada.

El máximo contenido de que se dispone de esa agua se determina por la capacidad de campo (cantidad de humedad que puede contener el suelo), y el límite inferior o mínimo en el cual ya no pueden las plantas succionar agua del suelo y que se denomina punto de marchitez permanente.

Con estos conceptos se determina ΔR , reserva de agua utilizable con la siguiente fórmula :

$$\Delta R = V_r (C_c - P_m) \mu \quad - 6$$

- donde :
- C_c = Capacidad de campo
 - P_m = Punto de marchitez permanente
 - μ = Densidad aparente del suelo
 - V_r = Volumen de la zona radicular por hectárea

Para el objetivo del estudio se consideraron los siguientes datos :

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la zona radicular por hectáreas} &= 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 0.15 = \\ &= 1,500 \text{ M}^3/\text{Ha.} \end{aligned}$$

Densidad aparente del suelo = 1.4

Capacidad de campo (contenido de agua máxima en una muestra sin estar saturada) = 18 %

Punto de marchitez permanente (agua residual en la muestra anterior después de ser secada a 105°C) = 11%

Aplicando la fórmula 6 tenemos :

$$\Delta R = 1,500 \text{ M}^3/\text{Ha.} (18\% - 11\%) 1.4 = 147 \text{ M}^3/\text{Ha.}$$

$$\Delta R = 14.7 \text{ mm} \approx 15.0 \text{ mm}$$

Después de obtener los datos de ΔR , se procede a efectuar el balance hídrico correspondiente que incluye los parámetros de la fórmula :

$$P = \text{ETP real} + \text{EX} + \Delta R \quad - 7$$

donde :

P = Precipitación en mm

ETP real = Evapotranspiración real en mm

EX = Excedentes de lluvia que escurren o se infiltran

ΔR = Reserva de agua utilizable por las plantas en mm

Cumpléndose que ETP real < ETP potencial, lo cual se muestra en las tablas del inciso 3.5.

3.5.- DATOS METEOROLOGICOS.- Para el estudio y análisis climatológico del área del Parque Nacional Cerro el Cimatarío se procesó información correspondiente a Precipitación y Temperatura, tanto anual⁽³⁾ como diaria en un período que abarca de 1921 a 1983⁽⁴⁾, dentro de este período se buscó un valor promedio y se obtuvo lo siguiente :

Precipitación Media Anual	589.2 mm
Temperatura Media Anual	19.0 °C

También se buscó el año en que los datos correspondieran más apreciablemente con los valores de la media, para poder efectuar el cálculo de evapotranspiración y excedentes de lluvia más confiable para esa zona. Así se vio que el año de 1961 es el que sigue razonablemente estas condiciones.

De acuerdo con los datos contenidos en el año tipo se efectúa el cálculo de excedentes de lluvia, los cuales corresponden a los meses de Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre. Los demás meses del año no presentan excedentes por lo cual no se incluyen.

A continuación se muestran las tabulaciones realizadas que están contenidas en las tablas 3.5.1 y 3.5.2 (a, b, c, d y e), basados en la fórmula 7 del inciso 3.4.

(3) La aplicación de las fórmulas descritas en incisos anteriores se pueden aplicar para análisis anuales, mensuales o diarios, según la necesidad del estudio o del área en cuestión. Para el Cerro Cimatarío se utiliza el análisis diario.

(4) Los datos meteorológicos fueron tomados de los proporcionados por la Dirección General de Geografía y Meteorología provenientes del Observatorio de Querétaro, Qro.

TABLA 3.5.1.- CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL
 POR EL METODO DE THORNTHWAITE, ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL -
 "PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARIO", QRO.

DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
t^*	15.3	16.9	19.3	21.4	22.2	21.7	20.5	20.4	19.7	18.4	17.0	15.6

VARIABLES SEGUN
 FORMULAS 1 y 2

1) i	5.44	6.60	7.73	9.03	9.55	9.22	8.47	8.40	7.97	7.19	6.38	5.60
Dic												
2) $I = \sum i$	= 91.58 °C											
" Ene												

3) Tabla con datos t e I para obtener E :
 segun fórmula 3

ENERO	$t = 15.3$	$I = 91.58$	$E = 1.50$
FEBRERO	$t = 16.9$	$I = 91.58$	$E = 1.84$
MARZO	$t = 19.3$	$I = 91.58$	$E = 2.50$
ABRIL	$t = 21.4$	$I = 91.58$	$E = 2.92$
MAYO	$t = 22.2$	$I = 91.58$	$E = 3.15$
JUNIO	$t = 21.7$	$I = 91.58$	$E = 3.00$
JULIO	$t = 20.5$	$I = 91.58$	$E = 2.74$
AGOSTO	$t = 20.4$	$I = 91.58$	$E = 2.70$
SEPTIEMBRE	$t = 19.7$	$I = 91.58$	$E = 2.58$
OCTUBRE	$t = 18.4$	$I = 91.58$	$E = 2.18$
NOVIEMBRE	$t = 17.0$	$I = 91.58$	$E = 1.84$
DICIEMBRE	$t = 15.6$	$I = 91.58$	$E = 1.62$

4.- Tabla de valores de N (según la latitud)

ENERO	$N = 11.04$
FEBRERO	$N = 11.38$
MARZO	$N = 12.00$
ABRIL	$N = 12.64$
MAYO	$N = 13.16$
JUNIO	$N = 13.38$
JULIO	$N = 13.28$
AGOSTO	$N = 12.84$
SEPTIEMBRE	$N = 12.30$
OCTUBRE	$N = 11.68$
NOVIEMBRE	$N = 11.14$
DICIEMBRE	$N = 10.84$

* Datos tomados del promedio de la serie utilizada (1921 a 1983).

TABLA 3.5 1. CONTINUACION

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL POR EL METODO DE THORNTHWAITE. SEGUN LA FORMULA 4 Y APLICANDO K, SE TIENE

$$ETP = \frac{N \cdot d}{T^2} \cdot d$$

					MENSUAL	DIARIA
ETP	ENERO	=	$\frac{11.04}{12} \times \frac{31}{30}$	(31) (1.5)	= 42.20 mm	1.42 mm
ETP	FEBRERO	=	$\frac{11.38}{12} \times \frac{28}{30}$	(28) (1.84)	= 45.60 mm	1.62 mm
ETP	MARZO	=	$\frac{12.0}{12} \times \frac{31}{30}$	(31) (2.5)	= 80.08 mm	2.58 mm
ETP	ABRIL	=	$\frac{12.64}{12} \times \frac{30}{30}$	(30) (2.92)	= 92.27 mm	3.07 mm
ETP	MAYO	=	$\frac{13.16}{12} \times \frac{31}{30}$	(31) (3.15)	= 110.65 mm	3.56 mm
ETP	JUNIO	=	$\frac{13.38}{12} \times \frac{30}{30}$	(30) (3.0)	= 100.35 mm	3.45 mm
ETP	JULIO	=	$\frac{13.28}{12} \times \frac{31}{30}$	(31) (2.74)	= 97.13 mm	3.13 mm
ETP	AGOSTO	=	$\frac{12.84}{12} \times \frac{31}{30}$	(31) (2.7)	= 92.54 mm	7.98 mm
ETP	SEPTIEMBRE	=	$\frac{12.30}{12} \times \frac{30}{30}$	(30) (2.58)	= 79.33 mm	2.64 mm
ETP	OCTUBRE	=	$\frac{11.68}{12} \times \frac{31}{30}$	(31) (2.18)	= 67.97 mm	2.19 mm
ETP	NOVIEMBRE	=	$\frac{11.14}{12} \times \frac{30}{30}$	(30) (1.84)	= 51.24 mm	1.70 mm
ETP	DICIEMBRE	=	$\frac{10.84}{12} \times \frac{31}{30}$	(31) (1.62)	= 46.97 mm	1.51 mm

ETP POTENCIAL ANUAL = 908.23 mm

CALCULO DE EXCEDENTES DE LLUVIA DIARIOS POR EL METODO DE THORNTHWAITE
ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL "PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARIO, QRO."

MES DE: JUNIO

DIAS DEL MES	DEL MES ANT.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
PRECIPITACION (mm)		0.0	20.1	1.5	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	29.7	9.5	0.0	0.0	0.0	34.0	126.5	
ETP (MM)		3.3	3.3	3.3	-3.7	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3		
VARIACION DE LA RESERVA (MM)		0.0	+16.8	-1.8	-0.4	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-0.4	0.0	-1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	+18.7	-3.3	-3.3	-3.3	-1.8	-	0.0	+0.7	+26.5	+6.2	-3.3	-3.3	-3.3	+34.7		
RESERVA DE AGUA UTILIZABLE(15 mm)		0.0	15.0	13.2	13.6	10.3	7.0	3.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	11.7	8.4	5.1	1.8	0.0	0.0	0.7	15.0	11.7	8.4	5.1	15.0			
ETP REAL (mm)		0.0	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	0.4	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	3.3	1.8	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	64.9	
EXCEDENTES (mm)		0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	11.4	6.2	0.0	0.0	0.0	15.7	38.8	
DEFICIT (mm)		3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	1.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	1.5	3.3	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.1	

* RESULTADOS *

PRECIPITACION	126.5	mm
ETP REAL	64.9	mm
EXCEDENTES	38.8	mm
DEFICIT	32.1	mm

TABLA 3.5.2.a

CALCULO DE EXCEDENTES DE LLUVIA DIARIOS POR EL METODO DE THORNTHWAITTE
 ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL "PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARIO, QRO."

MES DE JULIO

DIAS DEL MES	DEL MES ANT.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
PRECIPITACION (mm)		24.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	10.8	4.4	8.5	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	2.5	11.2	0.0	28.6	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	133.4
ETP (MM)		3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	
VARIACION DE LA RESERVA (MM)		+20.9	+ 0.1	- 3.1	- 3.1	- 3.1	- 2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	+ 7.7	+ 1.3	+ 5.4	- 3.1	+ 4.9	- 3.1	- 3.1	- 3.1	- 3.1	- 2.6	- 1.7	- 2.5	+ 8.1	- 3.1	+ 25.5	+ 2.9	- 3.1	- 3.1	- 3.1	+ 19.5		
RESERVA DE AGUA UTILIZABLE (15 mm)	15.0	15.0	15.0	11.9	8.8	5.7	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	9.0	14.4	11.3	15.0	11.9	8.8	5.7	2.6	0.0	0.0	8.1	8.1	5.0	15.0	15.0	11.9	8.8	5.7	15.0	15.0	
ETP REAL (mm)		3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	2.6	0.0	0.0	0.0	1.9	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	2.6	1.7	2.5	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	85.7
EXCEDENTES (mm)		20.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	47.7
DEFICIT (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	3.1	3.1	3.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4

* RESULTADOS *

PRECIPITACION 133.4 mm
 ETP REAL 85.7 mm
 EXCEDENTES 47.7 mm
 DEFICIT 10.4 mm

TABLA 3.5.2.6.

CALCULO DE EXCEDENTES DE LLUVIA DIARIOS POR EL METODO DE THORNTIHWAIT
ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL "PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARIO, QRO."

MES DE AGOSTO

DIAS DEL MES	DEL MES ANT.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
PRECIPITACION (mm)		0.0	0.7	6.9	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	10.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	28.0	0.0	4.2	6.2	1.3	1.2	0.0	0.0	0.0	94.9
ETP (MM)		2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	
VARIACION DE LA RESERVA (MM)		-2.9	-2.2	+3.1	-1.3	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-0.1	+22.1	-7.3	-2.4	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	+7.1	-25.1	-2.9	+1.3	+3.3	-1.6	-1.7	-2.9	-2.9	-2.9	
RESERVA DE AGUA UTILIZABLE (15 mm)	15.0	12.1	9.9	18.0	11.7	8.8	5.9	3.0	0.1	0.0	15.0	15.0	12.6	9.7	6.8	3.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	15.0	12.1	13.4	15.0	13.4	11.7	8.8	5.9	3.0		
ETP REAL (mm)		2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	0.1	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	1.0	0.0	0.0	0.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	72.9
EXCEDENTES (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.2
DEFICIT (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	2.9	2.9	2.9	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3

* RESULTADOS *

PRECIPITACION	94.9	mm
ETP REAL	72.9	mm
EXCEDENTES	36.2	mm
DEFICIT	16.3	mm

TABLA 3.5.2. c.

CALCULO DE EXCEDENTES DE LLUVIA DIARIOS POR EL METODO DE THORNTHWAITTE
ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL "PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARTO, QRO."

MES DE SEPTIEMBRE

DIAS DEL MES	DEL MES ANT.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
PRECIPITACION (mm)		0.0	0.0	0.0	6.3	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	7.0	48.0	29.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	1.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	123.0	
ETP (MM)		2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	44.3	
VARIACION DE LA RESERVA (MM)		-2.6	-0.4	0.0	+3.7	+0.8	-2.6	-1.9	0.0	0.0	0.0	+20.4	+4.4	+45.4	+26.5	-2.6	-2.6	-2.3	-2.6	-2.6	-2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.4	-1.0	-2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
RESERVA DE AGUA UTILIZABLE (15 mm)	3.0	0.4	0.0	0.0	3.7	4.5	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	15.0	15.0	12.4	9.8	7.4	2.6	2.6	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.3	
ETP REAL (mm)		2.6	0.4	0.0	2.6	2.6	2.6	1.9	0.0	0.0	0.0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	4.9	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	1.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	81.7	
EXCEDENTES (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	4.4	45.4	26.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.4	
DEFICIT (mm)		0.0	2.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.7	2.6	2.6	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.6	2.6	2.6	0.2	1.6	0.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	0.0	

* RESULTADOS *

PRECIPITACION	123.0	mm
ETP REAL	44.3	mm
EXCEDENTES	81.7	mm
DEFICIT	33.4	mm

TABLA 3.5.2.d.

CALCULO DE EXCEDENTES DE LLUVIA DIARIOS POR EL METODO DE THORNTHWAITE
ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL "PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARIO, QRO."
MES DE OCTUBRE

DIAS DEL MES	DEL MES ANT.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
PRECIPITACION (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.0	15.7	4.8	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.1	
ETP (MM)		2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1		
VARIACION DE LA RESERVA (MM)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	-2.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	+1.9	+13.6	+2.7	+2.1	-2.1	-2.1	-2.1	-2.1	-2.1	-2.1		
RESERVA DE AGUA UTILIZABLE (15 mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	15.0	15.0	15.0	12.9	10.8	8.7	6.6	4.5			
ETP REAL (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	24.3	
EXCEDENTES (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	
DEFICIT (mm)		2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.7

* RESULTADOS *

PRECIPITACION	34.1	mm
ETP REAL	24.3	mm
EXCEDENTES	5.3	mm
DEFICIT	38.7	mm

TABLA 3.5.2.e.

3.6.- RESULTADOS CLIMATOLOGICOS .- El análisis de excedentes de lluvia diarios para la zona del Cimatarío es dada por los cinco meses representativos de la temporada de lluvias, indicándose como sigue :

<u>M E S</u>	<u>EXCEDENTES</u>
JUNIO	38.8 mm
JULIO	47.7 mm
AGOSTO	36.2 mm
SEPTIEMBRE	81.7 mm
OCTUBRE	<u>5.3 mm</u>
	209.7 mm
 Precipitación Anual	 589.2 mm
 Excedentes de lluvia que escurren o se infiltran.	 209.7 mm
 % de excedentes de llu- via sobre la precipita- ción anual.	 35.6 %

Con estos datos se puede calcular un primer valor práctico de la cantidad de agua que puede llegar a recargar los acuíferos.

Para llegar a él se considera el área aproximada de la Cuenca que se forma en la zona. El Valle de Huimilpan ó Cuenca de Villa Corregidora (para éste estudio resultan nombres sinónimos), es de 400 Km², y la infiltración es de 209.7 mm, entonces el volumen de excedentes que escurren o se infiltran a -- los acuíferos es de 83.9 HM³/ AÑO, lo cual indica que se tiene un probable - flujo de agua subterránea en el Valle de Huimilpan de 2.65 M³/SEG. La direc- ción de éste flujo es SE-NW, lo que concuerda con la orientación del Valle.

3.7.- FLORA Y FAUNA. Como resultado del tipo de clima imperante en la -
 región, clasificado como Semicálido-Semiseco (según Koepen), con lluvias en
 Verano (inciso 3.6), tiene como flora y fauna, principalmente, a la si-
 guiente relación :

a) Entre la flora más abundante

Nombre Común	Nombre Científico
Nopal	Opuntia FicusIndica
Bisnaga	Echiva Cactus
Palma	Yucca Austilis
Organo	Cereus
Chamizal	Datura

b) Entre la fauna más abundante :

Nombre común	Nombre científico
Liebre	Lepus Gaillardi
Conejo	Sylvilagus Andaboni
Coyote	Canis Latrans Depticus
Lagartija	Soloporus Microlepidotus
Aguililla	Bitio Lineatus Elegaus
Gavilán	Circus Eyaneus Hunsonius
Zopilote	Catharistes Atratos
Paloma Silvestre	Columa Linia
Coralillo	Elaps
Vibora de Cascabel	Crotolus Verdis
Alacrán	Buthus
Ardilla	Sciurus Vulgaris

Como complemento se pueden mencionar, como flora y fauna domésticos a los siguientes :

c) Flora doméstica

Sauces

Cedros

Rosales, etc.

d) Fauna doméstica

Ganado vacuno

Ganado Porcino

Conejos y aves de corral.

3.8.- FORMULAS MAS USADAS.- Va en el inciso 3.6 se describe la fórmula más conveniente para este trabajo y se mencionan otras cuya aplicación requiere de un mayor número de datos. Aquí se considerarán sólo algunas y se indicará el parámetro contenido.

a) Fórmula de Penman :

$$E = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} R_n + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

donde los datos suficientes se obtienen de las estaciones climatológicas -- completas y se deberá consultar el Tomo I de Hidrología Subterránea,⁽⁶⁾ Apartado 1.11 y el inciso 5.34. pág. 327, debido a lo extenso y complicado que -- resulta explicar la fórmula. También se pueden consultar en la bibliografía referida del estudio.

b) Fórmula de Makkink :

$$ETP = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_i - 0.12$$

(6) De la obra Hidrología Subterránea (E. Custodio - Mr. Llamas, 1976).

donde : ETP = Evapotranspiración potencial en mm/día

Δ = Pendiente de la curva de saturación para la temperatura media del aire

γ = Constante psicrométrica

R_i = Radiación global incidente expresada en mm/día de agua evaporable.

c) Fórmula de Turk :

$$ETP = 0.40 \frac{t}{t + 15} (R_i + 50)$$

aquí ETP = Evapotranspiración potencial en mm/mes

t = Temperatura media diaria del mes en °C

R_i = Radiación global incidente media diaria del mes en --
cal/cm² · día.

En febrero cambia el valor de 0.40 por 0.37 ; también cuando la humedad relativa H_r es menor del 50% se utiliza el factor de corrección y se tiene :

$$ETP = 0.40 \frac{t}{t+15} (R_i + 50) \left(1 - \frac{50-H_r}{70} \right)$$

d) Fórmula de Blaney - Criddle :

$$ETP = K_p \frac{45.7 t + 813}{100}$$

Con lo siguiente :

ETP = Evapotranspiración potencial en mm/mes

K = Coeficiente empírico, según el tipo de vegetación

t = Temperatura media del mes en $^{\circ} C$

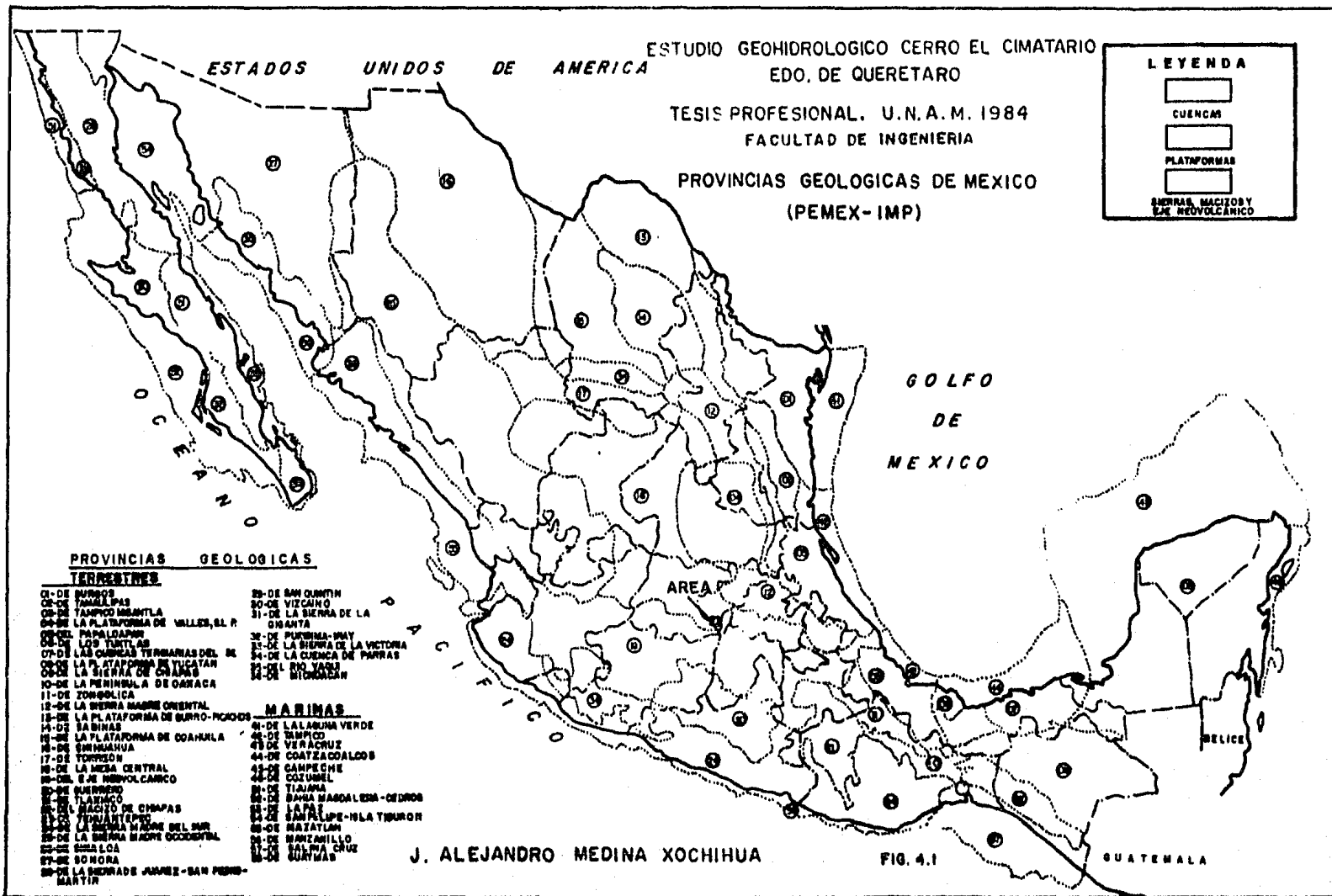
p = Porcentaje de No. máximo de horas de insolación en el mes,
respecto al total anual.

CAPITULO IV.- GEOLOGIA

4.1.- GEOLOGIA DE LA REGION .- Regionalmente el Parque Nacional Cerro el Cimatarío queda ubicado en la parte media - sur de la Mesa Central, muy -- próximo al Eje Neovolcánico, provincia de la cual se recibe una fuerte influencia atestiguada por la presencia de las rocas ígneas que cubren casi -- en su totalidad la superficie de la región, de acuerdo con la división de Provincias Geológicas de la República Mexicana, elaborada por PEMEX - IMP (fir. 4.1.).

Estructuralmente hacia el límite entre las provincias mencionadas se tiene una secuencia de bloques afallados acompañados por la extrusión de lavas y materiales piroclásticos, denominándose como zona de fosas tectónicas. El Valle de Huimilpan se configura entre dos fallas normales que tienen una -- dirección NW-SE, acompañadas por fallas perpendiculares dentro del Valle. Se encuentran asociadas a los fallamientos una gran cantidad de fracturas -- casi verticales que en general llevan un rumbo NE-SE. A lo largo de los sistemas de fallamiento se encuentran aparatos volcánicos, puntos a partir de los cuales fluyeron las emisiones lávicas que se observan en el Valle, lo cual indica claramente que en esos hundimientos de la corteza está la génesis del vulcanismo de la región.

4.2.- HISTORIA GEOLOGICA.- La sucesión de eventos geológicos ocurridos en la zona se debe iniciar desde la formación de sedimentos marinos en los mares mezozoicos que cubrían la parte central de lo que ahora es México. La sedimentación dejó calizas y lutitas principalmente, ausentes en el área, pero con evidencias claras en localidades cercanas de Guanajuato al W y de -- Querétaro al N.



Hacia finales del Cretácico y al iniciarse el Terciario se iniciaron los movimientos orogénicos de la "Revolución Laramide", entonces los sedimentos marinos se plegaron y en algunas localidades llegaron a metamorfizarse.

Hacia la post-orogenia se iniciaron las manifestaciones ígneas así como un ciclo de erosión sobre la topografía existente. Aún cuando las perturbaciones epirogénicas continuaron, fue hasta el Mioceno cuando se intensificó la actividad ígnea a través de grandes efusiones ácidas que cubrieron la antigua superficie erosionada de rocas marinas y plutónicas. Esta morfología es la que aún prevalece, ya que los materiales volcánicos del Terciario Medio consistente en tobas, brechas volcánicas y lavas ácidas se establecieron sobre el área rellenando las cañadas de los ríos obstruyendo el drenaje de aquel entonces; como resultado de ello, se formaron gran cantidad de cuencas pequeñas en las que se depositaron sedimentos lacustres, en un ambiente de aguas tranquilas y un clima semi-seco, con avenidas esporádicas, evidenciadas por la horizontalidad de los estrados y las escasas intercalaciones de horizontes de gravas pequeñas.

Probablemente a fines del Mioceno se inició una nueva etapa de erosión que durarla hasta el Plioceno. Durante este tiempo se erosionaron en gran parte los lacustres sobre todo en las zonas más elevadas, pero mantuvieron espesores considerables en las partes bajas. Un ejemplo de ello se tiene en los afloramientos al sur del Cimatarío donde confluyen los ríos Huimilpan, Florido y Bravo para formar el río Pueblito.

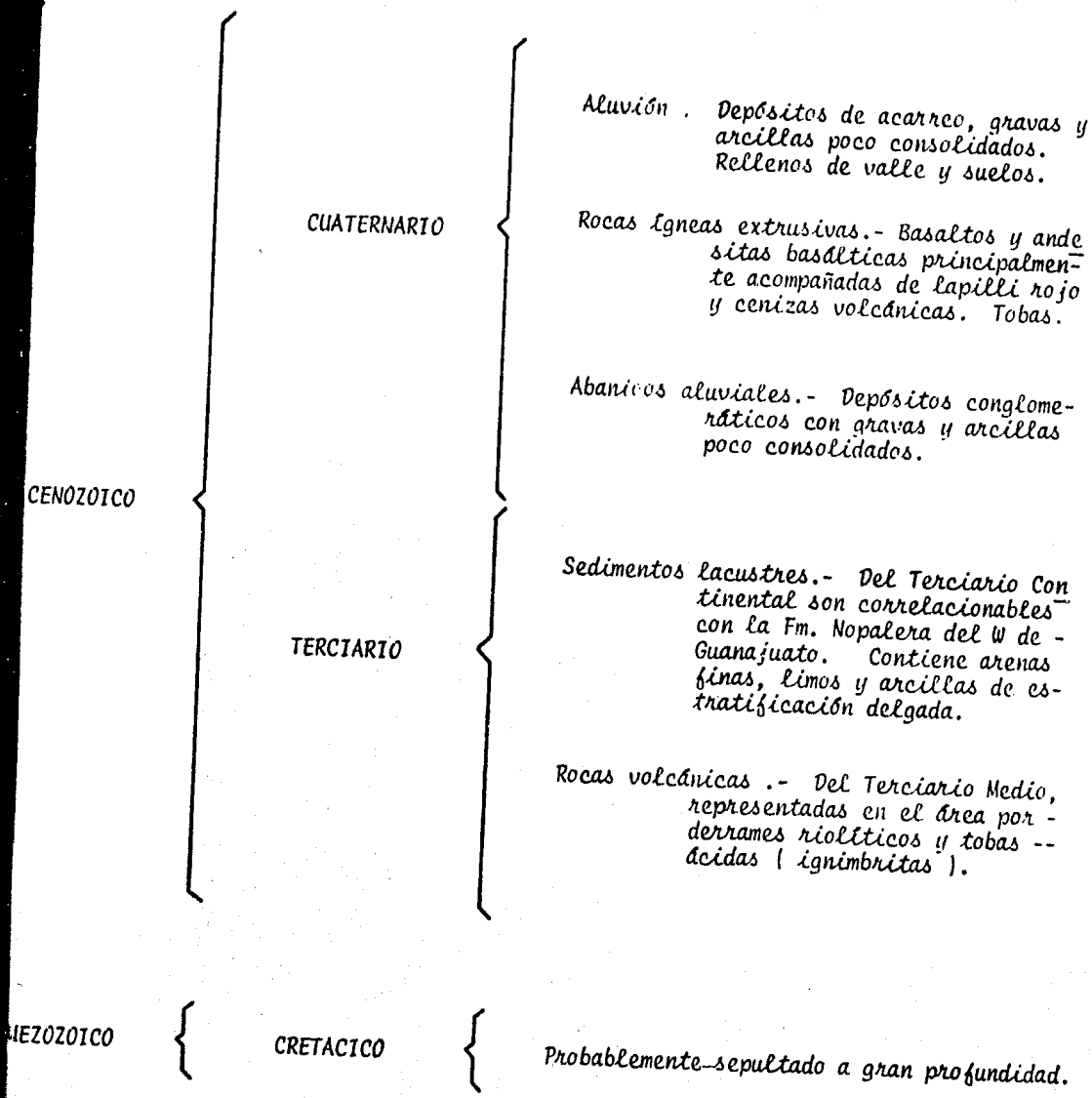
Para el Plioceno se desarrolla un vulcanismo de tipo explosivo, evidenciado por productos piroclásticos compuestos por tobas y lavas riolíticas a veces interestratificadas, observables en los afloramientos de "La Cañada" --

Parece ser que después de esta actividad existió un tiempo de quietud con un clima semi-árido con precipitaciones torrenciales que dieron origen a -- abanicos aluviales al pie de algunos cerros, como en la zona de El Batán -- donde subyacen a lavas andesíticas y cubren a sedimentos lacustres, aflorando a la altura del rancho Apapátaro.

Hacia finales del Plioceno y tal vez a principios del Cuaternario ocurrieron derrames de lavas basálticas y en algunos casos de andesitas basálticas acompañadas de lapilli rojo como en el caso del Cerro Cimatarío que en su flanco oriente manifiesta esta condición, observándose que en el sitio denominado "La Cuesta China" el lapilli cubre una secuencia de tobas a manera de anticlinorio. En este lugar se utiliza el lapilli como cantera -- de tetzontle.

Esta reseña geológica finaliza con los depósitos aluviales recientes que cubren todas las partes bajas de las llanuras del Valle de Huimilpan y del Valle de Querétaro.

4.3.- GEOLOGIA LOCAL.- Dentro del área que cubre el plano geológico se -- observan los distintos tipos de roca aflorantes en base a los cuales se -- elaboró la columna litológica tentativa para la zona de Cerro Cimatarío , que a continuación se presenta.



La descripción de la litología se efectúa enseguida :

MEZOZOICO.- De este periodo geológico representado por calizas, margas, lutitas y pizarras descritas por diversos autores para los sedimentos aflor

rantes al NE del Estado de Querétaro y al NW del Estado de Guanajuato, no se encontró evidencia alguna en el área en cuestión, pero atendiendo a la tectónica del área, basada en impulsos tectónicos y subsecuentes hundimientos de la zona Chalapa - Acambay (el Valle de Huimilpan está muy próximo esa zona), se originaron las fosas o grabens tectónicos (F. Mooser, 1975), cabe suponer que el basamento del Valle de Huimilpan sea formado por los sedimentos marinos de esa época y que éstos se encuentren a gran profundidad.

ROCAS VOLCÁNICAS.- Por su posición suprayacente, las riolitas e ignimbritas son las rocas volcánicas más antiguas que afloran en el área y de -- ellas, las segundas (tobas soldadas), predominan sensiblemente; estas tobas indican una forma de vulcanismo explosivo, de gran energía calorífica y producen nubes ardientes. Los afloramientos más representativos se encuentran al Este de " La Cañada ", donde se pueden apreciar las características físicas de las tobas soldadas: su color que varía de rosa claro a rojizo y presentan algunos fragmentos de pómez, de riolita y de rocas intermedias rodeados de una pasta vítrea. En lámina delgada se observaron biotitas, cuarzo, apatito, circon, vidrio como matriz y su textura varía de cristalina a microcristalina piroclástica. La toba soldada posee buenas características para ser utilizada como piedra cantera por lo que es ampliamente utilizada en la región.

Respecto a las riolitas, estas tienen pocos afloramientos en el área, subyaciendo a las ignimbritas en la localidad antes mencionada y predominando al Sur y SW de Huimilpan; también hay un afloramiento al NE del plano geo-

lógico en el anexo 1, donde se sitúa la ranchería de Coyotillos, encontrándose que las riolitas están intrusionadas por dos diques de porfidos daálticos.

Por lo general, la mineralogía de las rocas es similar, conteniendo cristales de cuarzo, ortoclasa, plagioclasas, biotita y hornblenda. Su textura es compacta porfídica merocrystalina; el color de rosado a café grisáceo con vivos blancos.

Este conjunto de rocas volcánicas representan el evento ígneo inicial co rrelacionable con el paquete de " Rocas Volcánicas del Cenozoico Medio " de la carta geológica del Estado de Guanajuato.

SEDIMENTOS LACUSTRES.- Esta unidad consta de horizontes areno-limosos con arcilla de color claro moteado en estratificación que varía de 6 a 30 centímetros. Los granos finos que forman los estratos, así como la gran -- horizontalidad que presenta son indicativos de que su depositación ocurrió en un ambiente lacustre y de aguas de baja energía. El afloramiento prin cipal del área se encuentra hacia el flanco sur del Cimatarío cubriendo -- una extensión aproximada de 20 Km² y en los contornos están los poblados de Obrajuelito, Apapítaro, El Milagro y La Noria.

Afloramientos similares se tienen en el camino que va a Coroneo, Gto., a la altura de la presa de Bravo; por el camino que lleva a Huimilpan si lle ga a La Cuesta, lugar donde se aprovecha a los lacustres como banco de are na.

ABANICOS ALUVIALES.- Se encuentra principalmente descubiertos en las zo - nas de cañadas, donde se les puede observar descansando discordantemente

sobre los sedimentos lacustres , como en " El Batán " y el entronque de los ríos Florido, Huimilpan y Bravo. Estos depósitos contienen grandes fragmentos de roca redondeados en una matriz que incluye gravas gruesas con arenas y arcilla con poca compactación; son de color claro a beige.

Los abanicos aluviales indican que su formación ocurrió en un período de clima semi-árido con lluvias torrenciales, lo cual originó a los depósitos, probablemente al final del Plioceno.

ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS.- Son las rocas más jóvenes del área, cubriendo la mayor parte de la superficie estudiada y cubriendo a las unidades descritas anteriormente. El Cerro Cimatarío se formó por la erupción de lavas básicas, características de este período de vulcanismo. Las rocas que lo integran son andesitas basálticas, tobas y piroclásticos, pero en el área, además, afloran basaltos y brechas volcánicas.

BASALTOS.- Estas rocas presentan vesículas en algunos afloramientos como en el cerro de " Las Campanas " en el centro de la ciudad de Querétaro y en localidades al Oeste de la carta presentada; pero también se les puede observar en estructura prismática y densa al Norte de Huimilpan. Casi siempre varían su color de gris claro a oscuro e intemperizan en tonos café. Son olivínicos principalmente.

ANDESITAS.- Son las rocas más difundidas y presentan diferencias entre sí que van de la andesita franca a la basáltica, como el caso del Cimatarío donde se pueden encontrar andesitas vesiculares oxidadas de un alto contenido de hematita, lo cual les asigna un color rojizo, para pasar gradualmente a rocas de color oscuro de textura porfídica y merocrystalina.

En ambos casos los minerales principales son plagioclasas (labradorita y andesina), augita y piroxeno y pigeonita. En el caso de la zona de La Noria, donde se encontró en las muestras magnetita y hematita oxidada, se puede hablar de una diferenciación magmática.

En el caso de las andesitas francas, sobresalen los fenocristales de las plagioclasas y los piroxenos.

TOBAS.- Un material que también puede observarse con relativa abundancia es constituido por las tobas arcillosas compuestas por ceniza volcánica muy fina, medianamente compactada de color café claro que subyace a los basaltos y andesitas y que en algunos sitios se utiliza como cantera de tepetate. Los afloramientos principales se pueden ver a lo largo del libramiento a San Luis Potosí y en la falda Norte del Cimatarío donde se construye el nuevo estadio de fútbol.

LAPILLI.- Este material aflora principalmente en el Cimatarío, donde se encuentra un afloramiento en su parte superior, donde se encuentra ceniza de color negro y rojo.

De color rojo y textura altamente vesicular se observa también hacia la "Cuesta China" donde se interestratifica con las tobas formando una especie de anticlinorio. Esta ceniza volcánica es explotada como texontle, y triturada forma la franja de acotamiento en las autopistas que convergen a Querétaro.

BRECHA VOLCANICA.- Las brechas volcánicas son de forma de colada principal-

mente y también se encuentran en los cuellos volcánicos donde se ve una mezcla de materiales piroclásticos con fragmentos andesíticos o basálticos, según la roca que los antecede. En las zonas de cizalla se puede distinguir el "jaboncillo", material deleznable de color claro característico de las trazas de falla, aunque en este caso, las brechas tienen otro origen, de carácter cataclástico.

ALUVION.- La unidad litológica más reciente está representada por depósitos clásticos de origen aluvial que cubren las planicies y que llegan a tener varios metros de espesor, como en el caso del Valle de Querétaro, donde el aluvión llega a contar con cerca de 20 metros. Este mayor depósito, -- ocurre en las riberas del río Querétaro, que actualmente funcionan como desagüe de aguas negras de la zona urbana. Las zonas aluviales favorecen a la agricultura al contener éstas la mayor cantidad de suelo aprovechable -- por los vegetales y por esta razón, la mayor cantidad de pozos se ha perforado en estos materiales, pues representa, económicamente, la mejor solución a la falta de agua para los desarrollos agrícolas.

CAPITULO V.- HIDROLOGIA

5.1.- **CONCEPTOS GENERALES.**- La investigación de las aguas subterráneas por medio de un estudio geológico se denomina Hidrogeología. El inglés Lucas - en 1880 fue el primero en usar el término y el norteamericano Mead lo incluyó en su obra HUDROLOGY en 1919, la cual fue difundida a nivel mundial. Sin embargo Meinzer, considerado por muchos como el padre de la Geohidrología Moderna, propone este nuevo término en 1939 ante la Asociación Internacional de Hidrología Científica y en su libro Hydrology de 1942 separa a la Hidrología (ciencia que se ocupa del agua que toma parte en el Ciclo Hidrológico , tanto en la atmósfera como sobre y bajo la superficie terrestre), en Hidrología superficial y en Hidrología subterránea o Geohidrología. A partir de entonces ha existido una cierta discusión sobre cual es el término más adecuado para estos estudios, pero ya sea Hidrología subterránea, Hidrogeología o Geohidrología se puede comprender de inmediato el enfoque técnico del estudio, pero siempre se deberá tener presente la definición que aprobó el Comité Coordinador del Decenio Hidrológico Internacional, patrocinado por la -- UNESCO a partir de 1965 y que indica que " La Hidrología es la ciencia que trata de las aguas terrestres, de sus maneras de aparecer , de su circulación y distribución en el globo, de sus propiedades físicas y químicas y sus interacciones con el medio físico y biológico, sin olvidar las reacciones a la acción del hombre ".

Abundando un poco más, " La Hidrogeología o Geohidrología es la parte de la Hidrología que corresponde al almacenamiento y circulación distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, --

teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre".

Es válido tomar en cuenta que a través de estos trabajos, por medio de observaciones directas, su análisis y la formulación de conceptos generalizados -- (leyes), cuya validez debe y puede ser comprobada estadísticamente es la herramienta del hombre para la utilización, control y predicción del comportamiento del agua subterránea.

5.2.- CUENCAS HIDROLÓGICAS.- En este sentido se asocia primeramente a la Cuenca de Huimilpan dentro del sistema hidrológico del río Lerma, dado que los ríos Florido, Huimilpan y Bravo al unirse se transforman en el río Pueblito, drenando a la cuenca en cuestión. Posteriormente el río descarga sus aguas en el de Querétaro, llevando las aguas al bajo hasta el río La Laja que finalmente es tributario del Lerma.

Sobre las características generales de esta cuenca en la que se encuentran corrientes intermitentes, con agua sólo durante el período de lluvias, se ha observado que durante el estiaje se produce el abatimiento del nivel freático por debajo del cauce de los ríos y debido a ello las corrientes fenecen.

Respecto al tipo de corrientes, predominan las dendríticas, siguiéndoles las paralelas o simples. El orden de las corrientes es de uno y dos; solo en el caso del río Pueblito se llega al orden tres. Este orden se establece en base al grado de bifurcación dentro de la cuenca, así orden uno es aplicable a aquella corriente que no cuenta con tributarios; el orden dos se refiere a las que tienen tributarios de orden uno, de orden tres a las que cuentan con dos o más tributarios de orden dos y así sucesivamente aumentará el número de

orden; en esta clasificación cuentan tanto las corrientes intermitentes como las perennes.

Siguiendo la configuración del parteaguas, el área de la cuenca es de 400 kilómetros cuadrados aproximadamente y de los cuales 225 Km² son zonas montañosas (56% del área total) y 175 Km² son planicies (44% de la superficie).

La cuenca presenta un gradiente de sur a norte con una pendiente de 3.6%, obtenida con la ecuación :

$$Sc = \frac{DL}{A} \quad \text{(Según el criterio de Alvord)}$$

donde D es el desnivel constante entre curvas de nivel en Km

L es la longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca en Km.

A es el área de la cuenca en Km²

$$Sc \text{ es la pendiente según los datos} \quad D = 0.05 \text{ KM}, \quad L = 288 \text{ Km}, \\ A = 400 \text{ KM}^2$$

5.3.- UNIDAS HIDROGEOLOGICAS.- Las formaciones geológicas tienen diferentes características para permitir el flujo del agua a través de ellas y proporcionarla en cantidades económicamente explotables, basadas en la porosidad y permeabilidad que presenten, y que son incrementadas por los sistemas de fracturamiento, además influye la posición topográfica y la secuencia de depósito de las unidades geológicas, por lo cual las rocas del área de estudio quedan clasificadas hidrogeológicamente como sigue :

LACUSTRES.- Estos sedimentos son de buena permeabilidad ocasionado por el contenido de materiales granulares (gravas y arenas), solo cuando el conte

nido de limos y arcilla aumenta tienden a ser algo impermeables. En el caso de los abanicos aluviales, estos son permeables, pero por su posición -- somera no presentan interés geohidrológico.

ROCAS VOLCANICAS.- Las características hidrogeológicas de este grupo se describirán por unidad geológica, de acuerdo a sus propiedades físicas y a su comportamiento cuando están bajo el nivel de saturación.

ANDESITAS.- Presentan gran fracturamiento, lo que provoca permeabilidad secundaria, siendo buenas productoras cuando llegan a constituir derrames de -- gran espesor, pero en superficie son generalmente impermeables y casi siempre descansan sobre unidades permeables. El interés hidrológico radica en detectar los puntos de mayor fracturamiento, al ser ellos los de mejores posibilidades acuíferas.

BASALTOS.- Como generalmente se presenta vesicular y altamente fracturado y asociado con brechas y cenizas, son un buen acuífero si son detectados bajo el nivel de saturación. En superficie son buenos transmisores del agua que recarga a los acuíferos, comportándose como unidad transmisora de agua. La velocidad del agua en las fracturas es rápida, ocasionando un flujo casi turbulento, caracterizándose en que las variaciones piezométricas en estos acuíferos es muy notable.

ALUVION.- Al constituir el relleno de las cuencas y contener materiales granulares de buen espesor, forman una unidad geohidrológica de gran producción,

sobre todo en el Valle de Querétaro, ya que los horizontes de boleos (cantos rodados) y gravas gruesas son de gran permeabilidad y el flujo que se presenta en estos materiales es laminar, lo cual se debe a una velocidad de flujo lenta y entonces, las variaciones piezométricas debidas a los cambios climáticos son poco notables de inmediato.

5.4.- PIEZOMETRIA.- Para llegar a la obtención de los datos piezométricos se debe contar con puntos de agua. Desde el punto de vista hidrogeológico - los puntos de agua son sitios donde se pueden tomar datos de los acuíferos o de sus manifestaciones, siendo éstos norias, pozos, manantiales, drenes, a partir de los cuales se pueden deducir las características y parámetros principales.

De los puntos de agua es posible obtener, cuando menos, datos piezométricos con sus variaciones, muestras de agua, caudales aportados, capacidades específicas y en su caso llegar a través de pruebas de bombeo a la obtención de la transmisividad y con un buen número de pruebas al coeficiente de almacenamiento y de ahí llegar al cálculo de las condiciones geométricas y de límites de recarga o barrera de los acuíferos existentes.

Los datos piezométricos se refieren a los niveles del agua subterránea, ya que puede presentar variaciones estacionales y/o los producidos por su aprovechamiento, los cuales pueden ser pequeños cuando se trata de acuíferos -- poco aprovechados y con gran almacenamiento, o bien, pueden ser muy importantes cuando se establecen extracciones de caudales grandes, mayores que la recarga y el embalse subterráneo.

También se presentan variaciones mayores cuando se realizan bombeos fuertes en acuíferos cautivos o "colgados" y el estudio de la magnitud de los descensos a través de pruebas, permite conocer el régimen en que se encuentra el acuífero. Es de gran interés conocer estas variaciones, sobre todo para conocer las posibles interferencias entre pozos cuando se establecen para su aprovechamiento.

En el plano hidrológico se muestran las curvas de igual nivel piezométrico (isopiezas) basadas en los datos que contiene la tabla 5.4, de puntos de agua.

Con las isopiezas pudo definirse el sistema de flujo que presenta la Cuenca de Huimilpan, que buza hacia el NW y se inicia desde el parteaguas sur en el cerro de La Cruz y al Este, en la meseta que forma el Cerro Pelón al descender hacia los poblados de Lagunillas y Los Cués.

El flujo viene siendo gobernado desde Huimilpan por los sistemas de fracturamiento NW-SE, siguiendo prácticamente la dirección del Valle hasta su salida. El flujo incrementa su gradiente a la altura del poblado La Cuesta y al llegar a la planicie ubicada al sur del Cimatarío suaviza su flujo considerablemente y a partir del milagro cambia su dirección hacia el W debido al obstáculo representado por el Cimatarío, que solo permite el flujo directo a través de la falla regional situada entre Este y el cerro de Tángano, así como en las fallas al Oeste del Cimatarío donde las rocas están intensamente fracturadas, sobre todo en la zona donde fue labrado el río Pueblito y que tienen el mismo rumbo NW-SE.

A partir de la confluencia de los ríos Florido, Huimilpan y Bravo el gradiente del flujo incrementa y sigue la dirección del cauce del río Pueblito,

y las aguas subterráneas prácticamente se vierten en forma subterránea al -- Valle de Querétaro en la zona entre Tejeda y Villa Corregidora.

La recarga al Valle es evidente, ya que la cota piezométrica a la entrada se manifiesta entre la 1780 y 1790 M.S.N.M., y rápidamente desciende a la 1760 M.S.N.M.

Es evidente también que el flujo del agua subterránea es gobernado por el echado de las corrientes lávicas y su fracturamiento, pues al observar las secciones geológicas se puede constatar que el agua fluye a través de las tobos, sedimentos lacustres y rocas ígneas fracturadas, apoyando la descripción de las unidades hidrogeológicas del inciso 5.2.

Es notable la posición piezométrica de los acuíferos de la cuenca de Huimilpan, que con respecto a la cuenca donde se asienta la Ciudad de Querétaro -- es muy favorable debido a la diferencia de alturas, pues en la zona más importante al sur del Cimatarío el nivel del agua fluctúa entre las cotas -- 1910 a 1940 M.S.N.M., y bajo la Ciudad de Querétaro, la posición media favorable oscila entre 1770 y 1790 M.S.N.M., por lo que la diferencia piezométrica resultante varía entre 140 y 150 metros.

La Ciudad de Querétaro se encuentra asentada entre las cotas 1815 y 1850, y la zona favorable de la cuenca de Huimilpan se desarrolla en las cotas 1950 a 2000 M.S.N.M., y por esta razón se propone construir captaciones al W del Milagro, elevando el agua de los acuíferos cuando menos a la cota 1950, lo que daría un potencial de 100 metros para ser utilizados en la conducción -- por gravedad, desde tanques reguladores, a las líneas de distribución del -- agua potable de la Ciudad.

5.5.- CAPACIDAD ESPECÍFICA.- La capacidad específica indica el caudal medio obtenido por metro de abatimiento en un pozo durante su bombeo y está en función de la eficiencia del pozo construido, de las pérdidas de carga por entrada al pozo y en el caso de acuíferos en rocas fracturadas, de las pérdidas -- de carga que se tengan por el flujo turbulento que tiene lugar al incremento en forma importante la velocidad de flujo del agua en las fracturas; así mismo depende de las características y funcionamiento del acuífero, si es libre o cautivo.

La capacidad específica q se expresa con la siguiente ecuación :

$$q = \frac{Q}{s}$$

donde Q es el gasto medido en litros por segundo

s es el abatimiento medido durante el bombeo, en metros, y se obtiene restando al valor del nivel de bombeo el nivel estático.

Las unidades que expresan la capacidad específica son l.p.s./M, pero se -- puede expresar también con múltiplos de ellas.

En los pozos observados los caudales fueron muy variables (entre 10 y 80 l.p.s.), lo mismo que los abatimientos, por lo que las capacidades específicas van de 2.8 a 25 l.p.s./M, esto indica la gran anisotropía existente en las unidades hidrogeológicas, siendo más notable en pozos construidos atravesando rocas ígneas y su productividad depende del grado de fracturamiento que tengan, del nivel piezométrico y del espesor atravesado.

En los pozos construidos en zonas aluviales, su capacidad y productividad es más uniforme y las variaciones parecen deberse a que algunos pozos son poco profundos y poco penetrantes en los acuíferos.

TABLA 5.4.- CENSO DE POZOS Y DATOS PIEZOMETRICOS Y CAPACIDAD ESPECIFICA
ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARIO

TESIS PROFESIONAL, UNAH, 1984.

POZO	NOMBRE	GASTO Q L.P.S.	NIVEL ESTATICO (MTS.)	NIVEL DINAMICO (MTS.)	PROF. POZO (MTS.)	H. P.	Ø DESC. (PUL)	VOLTA JE (VOLT)	COLUMNA (MTS.)	Ø ADEMG (PULG)	COTA BROCAL (M.S.N.M.)	COTA N.E. (M.S.N.M)	ABATIM. s (M)	CAP. ESP,q /seg/Ml
579	SAN PABLO	40.0	51.52	102.15	170	40	6"	220	120.00	12"	1805	1753.48	50.63	0.79
597	SANTA MARIA	7.0	42.00	50.00	150	60	4"	220	60.00	8"	1800	1758.00	8.00	0.88
624	LA CAPILLA No.1	70.00	45.60	50.70	230	225	10"	440	81.60	16"	1810	1764.40	5.10	13.73
626	VANEGAS	7.0	47.00	50.23	150	30	4"	220	42.00	12"	1805	1758.00	3.23	2.16
631	UNIDAD DEPORTIVA	50.0	45.50	57.30	150	175	8"	220	82.35	16"	1815	1769.50	11.80	4.24
634	CLUB CAMPESTRE	55.0	77.62	81.12	175	200	8"	440	95.00	16"	1840	1762.38	3.50	15.71
639	MANSIONES DEL VALLE	50.0	57.25	61.65	175	150	8"	440	70.00	12"	1805	1747.75	4.40	11.36
720	PARQUES RESIDENCIALES	25.0	57.70	66.75	87	200	12"	440	75.00	24"	1835	1777.30	9.05	2.76
731	CASA BLANCA	80.0	42.20	52.80	150	250	8"	440	73.20	16"	1815	1772.80	10.60	7.55
732	LA CAPILLA No.2	80.0	57.00	59.59	150	250	8"	440	67.65	16"	1815	1758.00	2.59	30.89
743	HOTEL EL MAQUES ?	9.0	40.30	46.10	100	30	3"	220	60.00	8"	1820	1779.70	5.80	1.55
745	ESC. FRAY LUIS DE LEON	7.0	64.00	64.50	100	25	3"	220	70.00	10"	1820	1756.00	0.50	14.00
746	COLONIA OBRERA	40.0	50.70	77.50	150	100	6"	440	90.00	12"	1805	1754.30	26.80	1.49
750	ZARAGOZA	15.0	61.32	80.60	110	50	4"	220	85.00	14"	1815	1753.68	19.28	0.78
752	HERCULES, LETICIA	5.0	26.00	44.00	60	30	2"	220	48.00	8"	1840	1814.00	18.00	0.28
824	CLEMENTE JAQUES	25.0	65.00	72.00	152	100	8"	440	90.00	14"	1815	1750.00	7.00	3.57
827	LA ALAMEDA	20.0	53.00	72.62	150	150	6"	440	94.00	14"	1820	1767.00	19.62	1.02
954	CONSTITUCION	36.0	60.27	62.70	94	75	8"	440	68.00	14"	1815	1754.73	2.43	14.81
955	TECNOLOGICO	30.0	77.30	82.30	200	150	8"	440	96.70	14"	1815	1737.70	5.00	6.00
962	TREMEC	17.0	70.50	71.50	93	125	8"	440	81.00	12"	1805	1734.50	1.00	17.00
965	PURINA	45.0	117.00	120.00	150	175	8"	440	133.00	14"	1805	1688.00	3.00	15.00
986	LA CARADA No. 1	80.0	9.00	24.65	50	75	10"	440	46.00	14"	1840	1831.00	15.65	5.11
988	CENTRA EXPOSITOR	46.5	83.20	90.90	196	150	8"	440	100.65	14"	1830	1746.80	7.70	6.04
996	ISSSTE No. 2	45.0	72.10	88.36	226	175	8"	440	96.00	14"	1820	1747.90	16.26	2.77
1102	LA CARADA No. 2	84.0	8.10	21.80	50	100	8"	440	40.00	14"	1840	1831.90	13.70	6.13
1321	HOTEL FLAMINGO	4.0	64.60	65.10	70	10	3"	220	70.00	8"	1820	1755.40	0.50	8.00
610	HUERTAS LA JOYA	25.0	52.00	60.25	150	100	4"	440	80.00	8"	1805	1753.00	8.25	3.03
611	LA JOYA	60.0	52.60	68.20	150	50	8"	440	75.00	14"	1805	1752.40	15.60	3.85

CAPITULO VI. GEOQUIMICA

6.1.- PRINCIPIOS GENERALES.- En términos sencillos, la Geoquímica se puede definir como la ciencia que estudia a la química de la tierra considerada en su conjunto, y de sus partes componentes. La Geoquímica se ocupa de la distribución y migración de los elementos químicos en el interior de la corteza en el espacio y en el tiempo.

Dentro de los estudios Geohidrológicos se utiliza a la Hidrogeoquímica, parte de la Geoquímica que estudia las características y comportamientos principales del agua subterránea, en base a los sucesos y fenómenos que tienen lugar durante su ocurrencia en las diferentes formaciones geológicas acuíferas -- (hidrogeológicas), de la corteza terrestre.

La composición química de las aguas subterráneas, es derivada de diferentes - fuentes de solutos, como pueden ser la disolución y precipitación de elementos provenientes de los gases y rocío de la atmósfera, del intemperismo y -- erosión de las rocas y suelo causados por las condiciones topográficas y climáticas, a la acción debida a los fenómenos bioquímicos de oxidación - reducción y de alteración de P.H., sin embargo, puede generalizarse que aunque -- existen variaciones con excepciones importantes, el tipo de iones en solución y las concentraciones que se presentan son influidas por el tipo de agua -- que recarga a los acuíferos, ya sea de lluvia o proveniente de otras fuentes pero mayormente por la solubilidad de los componentes de las rocas por las - que discurre (fluye subterráneamente), esto sin dejar de tomar en cuenta - las variaciones que imponen los fenómenos modificadores ya mencionados.

Por su gran poder de disolución, el agua puede actuar sobre muchas substan-

cias, tales como gases, líquidos o sólidos a través de fenómenos simples como la ionización, o más complejos a través de reacciones químicas. Así en las aguas subterráneas, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en forma iónica. Aunque se pueden presentar una gran diversidad de iones, sólo unos cuantos se encuentran casi siempre presentes, denominándoseles los -- Iones Fundamentales. En general el criterio de diversos autores consideran como tales a los siguientes :

<u>ANIONES</u>	<u>FORMA IONICA</u>	<u>CATIONES</u>	<u>FORMA IONICA</u>
Bicarbonato	HCO_3^-	Sodio	Na^{++}
Sulfato	SO_4^{--}	Potasio	K^+
Cloruro	Cl^-	Calcio	Ca^{++}
Nitrato	NO_3^-	Magnesio	Mg^{++}

También llega a ser frecuente que se consideren dentro de este grupo al -- anión carbonatado (CO_3^{--}) y al catión ferroso (Fe^{++}).

Entre los gases que deben considerarse como fundamentales, aunque raramente se analizan para aguas subterráneas y entre las sustancias poco ionizadas o en estado coloidal son importantes los ácidos derivados de la sílice (SiO_2). De los demás iones y sustancias disueltas, considerados como Iones Menores, normalmente se encuentran, juntos, en concentraciones de menos del 1% del contenido iónico total y elementos traza a los que, aunque presentes, están en cantidades difícilmente medibles por medios químicos usuales y de los cuales se mencionan a continuación los principales.

ANIONES : Br^- , S^{--} , PO_4^{--} , BO_3 , H_2^- , NO_2^- , OH^- , I^- .

CATIONES : Fe^{+++} , Mn^{++} , NH_4^+ , H^+ , Al^{+++} .

6.2.- ANALISIS FISICOQUIMICOS.- Esta es la denominación que se otorga a los análisis para las aguas subterráneas (o al menos, una forma de solicitar análisis de agua a un laboratorio), pues esta forma incluye características tanto físicas como químicas. Dado que los análisis químicos tienen formas y contenidos diferentes en relación al uso o aplicación que se les da para el caso de estudio de este tipo, es recomendable conocer las propiedades químicas más importantes, que se basan en los iones fundamentales. En caso de que falten los valores de algunos de ellos, se tendrá un análisis incompleto.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.- En este renglón se consideran el olor, la turbiedad, el color, la temperatura, el p.H. y la conductividad eléctrica.

La importancia del olor, el color, el sabor, la turbiedad indican en principio características de potabilidad; la temperatura indica en las aguas subterráneas variaciones muy pequeñas, las cuales siempre están en función de las temperaturas medias atmosféricas del lugar incrementado en el producto de la profundidad por el gradiente geotérmico, el cual aumenta 1° C por cada 33 M en promedio, siendo algo mayor en zonas tectónicas y algo menor en cubetas sedimentarias. La Temperatura afecta a la viscosidad del agua, a la capacidad de absorción de gases, etc., por tal motivo los laboratorios utilizan un medio de análisis a 25° C con la intención de entregar resultados confiables.

La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir la electricidad y se obtiene como la conductividad que existe entre dos electrodos paralelos de 1 cm^2 cada uno y separados 1 cm, los cuales estarán dentro del agua en un medio que se pueda considerar infinito. Las unidades utilizadas generalmente son los micromhos/cm ($\mu\text{mhos/cm}$), el Mmhos = 10^{-3} ohms. La

conductividad crece con la temperatura de referencia, la cual suele ser de -- 18°C ó de 25° C ; el crecimiento es del 2% / °C. Su variación es de aumento y mayor contenido de iones disueltos, esto quiere decir que el valor presenta do de la conductividad representa la concentración iónica y el tipo de iones (carga eléctrica, la movilidad o el estado de disociación) presentes en la muestra analizada.

El p.H. que se define como el logaritmo negativo del ión hidrógeno ($\text{pH} = - \log \text{H}^+$), tiene su importancia relacionada con la agresividad o incrustabilidad del agua. La agresividad esta en función de que un agua que tenga un pH menor al de equilibrio (para fines prácticos, se puede considerar como valor del pH de equilibrio igual a 7), podrá disolver más carbonato de calcio y se dice que es agresiva a la caliza, pero si el pH es mayor al de equi librio, entonces el agua favorece la precipitación del carbonato de calcio , llamándosele agua incrustante. Para estos casos el CO_2 disuelto también -- interviene encontrándose en mayor y menor cantidad respectivamente.

CARACTERISTICAS QUIMICAS.- En las aguas subterráneas la forma iónica de las sustancias que lleva disueltas es la más importante, ya que normalmente se presentan como iones y cationes simples y de esta manera se pueden configurar tablas que muestren de una forma sencilla las concentraciones de sustancias que contengan.

Para este trabajo se elaboró la tabla presentada de Análisis Físicoquímicos de muestras de agua en la cual se utilizan las siguientes expresiones :

ppm : Se lee partes por millón e indica una concentración de un gramo de sus tancia en un millón de gramos; esto es el miligramo por Kilogramo (mg/Kg).

Esta expresión tiene su equivalente en el miligramo por litro, o sea que --
1 ppm = 1 mg/litro.

meq/l : Se lee miliequivalentes por litro y el término se usa para comparar directamente a los iones. Se entiende como los miliequivalentes por litro de disolución y su igualdad se establece en relación a los equivalentes por millón de gramos (epm) y su valor se obtiene de la relación siguiente :

$$\text{Número de equivalentes} = \frac{\text{Peso de la sustancia}}{\text{Peso equivalente.}}$$

donde

$$\text{Peso equivalente} = \frac{\text{Peso molecular}}{\text{número de electrodos o valencias en juego.}}$$

Para obtener los resultados, se pueden consultar los valores de la table periódica o consultar la sección 4 del tratado de Hidrología subterránea -- (páginas 222 y 223 de Custodio y Llamas, 1976).

En la tabla se colocan los iones fundamentales con las equivalencias correspondientes de sus concentraciones expresadas en ppm y en meq/l, obteniéndose el porcentaje sobre la concentración de los miliequivalentes por litro -- (% meq/l). Al efectuar estas operaciones se puede apreciar el tipo de agua en función de la mayor concentración de aniones y cationes, leyendo las cantidades anotadas para cada elemento y comparando sus porcentajes.

Cuando se presenta un análisis químico completo, se debe verificar que la -- suma de meq de aniones y cationes sea igual, pero generalmente existen pequeñas diferencias, por lo cual es recomendable obtener el porcentaje de esas -- diferencias (error), lo cual puede ser originado porque la muestra analizada

contenga cantidades anormales de iones (de forma natural o contaminación por descuido), o bien por equivocación grave del analista. El dato de porcentaje de error se obtiene así :

$$\% \text{ error} = \frac{\Sigma \text{cat} - \Sigma \text{an}}{\Sigma \text{cat} + \Sigma \text{an}}$$

El porcentaje de error permitible se puede considerar conservadoramente entre 0 y 10% . Errores mayores pueden ser aceptables en función de las condiciones y procesado del análisis.

Se anotan también los sólidos totales disueltos (STD), para conocer contenido de ellos. Es la suma de los aniones y cationes disueltos. Cuando se habla de residuo seco (Rs), se puede considerar la equivalencia aproximada de que $STD = Rs + CO_2 H_2$, expresados en ppm. El Rs es el peso de lo que queda al evaporar un litro de agua y los STD son el peso de todas las sustancias disueltas en el agua.

La dureza del agua expresada en $CaCO_3$ mide la capacidad del agua para consumir jabón o para producir incrustaciones, pudiéndose clasificar las aguas en función de esta propiedad (ver inciso 6.3 siguientes). Las aguas duras -- aumentan el consumo de jabones y dificultan el cocimiento de alimentos.

Los Índices Hidrogeoquímicos son relaciones entre iones disueltos en el agua subterránea que pueden tener relación con las unidades hidrogeológicas de -- donde proceden, o bien indicar alguna característica del agua analizada. Para el estudio se utilizan sólo algunos, aclarando que se pueden realizar todas las combinaciones que se deseen, lo cual estará en función de los resul-

tados que se busquen.

La relación $n \text{ Mg} / n \text{ Cl}$, () caracteriza el cambio de bases (icb), como está en función del ión cloruro que no varía, la relación aumenta o disminuye en la proporción del Mg.

La relación $n \text{ SO}_4 / n \text{ Cl}$ es de interés obtener su valor para observar, en el sentido del flujo del agua subterránea, las variaciones en las muestras analizadas para seguir el proceso de concentración, pero no es muy útil cuando cruza por zonas con reducción de sulfatos.

La relación $n \text{ Cl} / n \text{ CO}_3 \text{ H}$ tiene el mismo interés que la anterior, pero además ayuda a determinar si el agua pasa por zonas de regadío, o bien si atraviesa zonas altamente calcáreas incrementando su valor en el sentido del flujo.

El icb (+) y el icb (-), son los índices de cambios de base o bien representan el desequilibrio existente entre cloruros y alcalinos, indicando el aumento - del icb el endurecimiento del agua y una disminución, un cambio de bases de - ablandamiento del agua. La observación debe ser realizada de la misma manera que con las relaciones. Cuando se tiene un decrecimiento en los sulfatos o en los carbonatos de calcio, o en los sulfatos de calcio, el valor del icb no se altera, pero el valor del icb (-) sí varía. Por el contrario, al aumentar la salinidad del agua, el valor del icb también aumenta.

Estos valores se obtienen con las relaciones siguientes :

$$i c b = \frac{n \text{ Cl} - n (\text{Na} + \text{K})}{n \text{ Cl}} , \quad i c b (-) = \frac{n \text{ Cl} - n (\text{Na} + \text{K})}{n (\text{SO}_4 + \text{CO}_3 \text{ H} + \text{NO}_3)}$$

!!! El símbolo n quiere decir que los iones están expresados en miliequivalentes por litros : meq/l.

El indicador Kr se utiliza para observar si existe alguna fuente contaminante, o de polución humana, en cuyo caso su valor se puede incrementar considerablemente, y su cálculo se obtiene de la ecuación :

$$Kr = n SO_4 \cdot n Ca$$

Este valor también se utiliza para verificar la disolución o precipitación de yesos, ya que es proporcional al producto de solubilidad de ese mineral.

NOTA : A continuación se presentan las tablas correspondientes, aclarando -- que los análisis son considerados como completos, pero no contienen datos sobre una gran cantidad de iones menores, los cuales se deben considerar cuando el análisis es más exhaustivo, o cuando el interés de dichos iones tiene algún enfoque especial, como puede ser la radioactividad, o se buscan trazadores que indiquen mineralizaciones.

6.3.- CLASIFICACION DEL AGUA.- El agrupar y clasificar las aguas subterráneas analizadas puede simplificarse mediante el uso de gráficas y diagramas -- pues permiten observar las variaciones y/o las relaciones entre los iones de una misma muestra, pero también resaltan la composición de esa muestra con otras aguas, que pueden ser de una misma cuenca o efectuar comparaciones con aguas de cuencas vecinas. También existe el criterio de las Clasificaciones simples, que permiten la elaboración de la tabla 6.3. basándose en las características más importantes que se desea mostrar. En general dan información

global para aplicarlas al uso urbano, industrial, agrícola y doméstico. Las CLASIFICACIONES SIMPLES (según Schoeller - Custodio, 1976), son :

a) POR EL RESIDUO SECO (STD) :

De 0 a 2000 ppm Agua dulce
 De 2000 a 5000 ppm Agua salobre
 De 5000 a 40,000 ppm Agua salada
 Más de 40,000 ppm Salmuera

b) POR LA DUREZA (Ca CO₃) :

Entre 0 y 50 ppm Agua blanda
 Hasta 120 ppm Agua algo dura
 Hasta 250 ppm Agua dura
 Más de 250 ppm Agua muy dura

c) POR LOS IONES DOMINANTES.- Se denomina al agua por el anión y catión que sobrepasa al 50% del porcentaje de la suma correspondiente; si ninguno llega a ese porcentaje, se clasifica con el nombre de los dos más abundantes, dándole el número y letra según la siguiente relación (tomada de Schoeller, 1962):

- 1 $n\text{Cl} > n\text{SO}_4 > n\text{CO}_3\text{H}$
- 2 $n\text{Cl} > n\text{CO}_3\text{H} > n\text{SO}_4$
- 3 $n\text{SO}_4 > n\text{Cl} > n\text{CO}_3\text{H}$
- 4 $n\text{SO}_4 > n\text{CO}_3\text{H} > n\text{Cl}$
- 5 $n\text{CO}_3\text{H} > n\text{Cl} > n\text{SO}_4$
- 6 $n\text{CO}_3\text{H} > n\text{SO}_4 > n\text{Cl}$

- a) $n\text{Na} > n\text{Mg} > n\text{Ca}$
- b) $n\text{Na} > n\text{Ca} > n\text{Mg}$
- c) $n\text{Mg} > n\text{Na} > n\text{Ca}$
- d) $n\text{Mg} > n\text{Ca} > n\text{Na}$
- e) $n\text{Ca} > n\text{Na} > n\text{Mg}$
- f) $n\text{Ca} > n\text{Mg} > n\text{Na}$

d) POR LA CONDUCTIVIDAD.- Para resaltar la mineralización total del agua en base a la clasificación SAR :

- C - 1 Conductividad a 25° C entre 0 y 250 $\mu\text{mohs/cm}$ (a 18° C entre 0 y 215)
- C - 2 Conductividad a 25° C entre 720 y 2250 $\mu\text{mohs/cm}$ (a 18° C entre 215 y 650).
- C - 3 Conductividad a 25° C entre 750 y 2250 $\mu\text{mohs/cm}$ (a 18° C entre 650 y 2000)

C-4 Conductividad a 25°C mayor que 2250 μ mhos/cm (a 18°C mayor a 2000)

e) CLASIFICACION SAR.- Se utiliza para aguas destinadas al riego, tomando la definición otorgada a este índice por el U.S. Salinity Laboratory Staff, según la concentración total de sales solubles expresadas en la conductividad eléctrica en micromhos/cm a 25°C y la relación de la absorción del sodio -- SAR (sodium adsorption ratio), que es dada por la fórmula:

$$SAR = \frac{n \text{ Na}}{\sqrt{\frac{n \text{ Ca} + n \text{ Mg}}{2}}}$$

donde $n = \text{meq/l}$. La clasificación se complementa situando a la muestra, por sus valores de conductividad y valor del índice SAR, en el sitio correspondiente en la figura 6.3. Por ejemplo, una agua con $C = 200$ micromhos y $SAR = 2$ tiene una clasificación C1 - S1. La simbología que contiene la tabla (C-1 a C-4 y S-1 a S-4, así como las combinaciones mostradas en la tabla 6.3 de clasificación de agua), indican que las aguas mejores son con índices pequeños (C1-S1 por ejemplo), degradándose con el aumento de salinidad, -- siendo las aguas menos recomendables para el riego las de índices C4-S4. El resultado de las clasificaciones simples se encuentra en la tabla 6.3 anexa.

6.3.1.- DIAGRAMAS HIDROQUÍMICOS.- Como representación gráfica de las características químicas de las muestras analizadas, se han utilizado los diagramas de Stiff modificados y los diagramas triangulares de Piper.

ANALISIS FISICOQUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

LUGAR DE PROCEDENCIA: CUENCA DE HUIMILPAN, QRO.

No. MUESTRA:	EL PUEBLITO			COL. E. ZAPATA			EX-HACIENDA BALVANERA			SANTA VIRGINIA		
FECHA:	16-XI-81 (P-649)			16-XI-81 (P-655)			16-XI-81 (P-657)			17-XI-81 (P-663)		
	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l.	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l
HCO ₃	307	5.03	80.9	488	8.00	85.2	315	5.17	85.0	378	6.20	86.0
PO ₄	22	0.46	7.4	29	0.60	6.4	25	0.52	8.5	24	0.50	6.9
Cl	26	0.73	11.7	28	0.79	8.4	14	0.39	6.5	18	0.50	7.1
NO ₃		0.00	0.0	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0	0	0.00	0.00
T O T A L		6.22	100.0	545	9.39	100.0	354	6.08	100.0	420	7.20	100.00
	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l
Na.	58	2.52	40.8	122	5.31	56.5	66	2.87	43.9	74	3.22	44.7
K												
Ca	50	2.50	40.5	67	3.35	35.5	42	2.10	32.1	40	2.0	27.8
Mg	14	1.16	18.7	9	0.74	7.9	19	1.37	24.0	24	1.98	27.5
T O T A L	122	6.18	100.0	198	9.40	100.0	127	6.54	100.0	138	7.20	100.0
	DATOS DE CAMPO			DATOS DE CAMPO			DATOS DE CAMPO			DATOS DE CAMPO		
Error del Análisis	0.74%			0.05%			7.28%			0.06%		
Conductividad a 25 °C, µS/cm.	490	COND.	574	590	COND	792	488	COND.	599	530	COND.	585
P.H.	7.8	TEMP	17.9	7.4	TEMP	23.0	8.1	TEMP.	27.7	7.7	TEMP.	28.4
STD (ppm)	477	P.H.	6.3	743	P.H.	6.7	6.7	P.H.	6.25	6.7	P.H.	6.35
Dureza (Ca CO ₃)	183			205			481			558		
ppm Cl	26	AGUA :		28	AGUA:		183	AGUA :		199	AGUA:	
ppm NO ₃	0	INOLORA		0	INOLORA		14	INOLORA		18	INOLORA	
r Mg/r Cl	1.58	INCOLORA		0.94	INCOLORA		0	INCOLORA		0	INCOLORA	
r SO ₄ /r Cl	0.62			0.76			3.97			3.91		
r Cl/r CO ₃ H	0.15			0.10			1.32			0.98		
r Na/r Ca	1.00			1.58			0.08			0.08		
icb	-2.44			-5.72			-1.37			-1.61		
icb (-)	-0.33			-0.52			-6.27			-5.34		
kr	4.00			6.00			-0.44			-0.40		
ppm Fe	0.41			0.41			3.83			4.25		
ppm NH ₃							0.50			0.45		
ppm SiO ₂	2.55			2.55			2.5			2.5		

ANALISIS FISICOQUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

LUGAR DE PROCEDENCIA: CUENCA DE HUIMILPAN, QRO.

No. MUESTRA:	SANTA BARBARA			LA CUESTA			RANCHO EL SALTO			EL FRESNO		
	19-XI-81 (P - 1292)			15-I-82 (P-1400)			29-XII-81 (P-1453)			12-I-82 (P - S/N)		
FECHA:	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l
HCO ₃	305	5.00	83.1	203	3.33	88.1	139	2.28	76.2	249	4.08	87.8
CO ₃	19	0.40	6.6	8	0.17	4.4	18	0.37	12.5	11	0.23	4.9
Cl	22	0.62	10.3	10	0.28	7.5	12	0.34	11.3	12	0.34	7.3
NO ₃	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0	0	0.00	0.00
TOTAL	346	6.02	100.0	221	3.78	100.0	169	2.99	100.0	272	4.65	100.0
	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l
Na ₊	50	2.18	36.4	50	2.18	57.5	23	1.00	33.2	58	2.52	54.5
K												
Ca	51	2.55	42.8	19	0.95	25.1	27	1.35	44.8	19	0.95	20.5
Mg	15	1.24	20.8	8	0.66	17.4	8	0.66	22.0	14	1.16	25.0
TOTAL	116	5.96	100.0	77	3.79	100.0	58	3.01	100.0	91	4.63	100.0
		DATOS DE CAMPO			DATOS DE CAMPO			DATOS DE CAMPO			DATOS DE CAMPO	
Error del Analisis	0.9%			0.22%			0.63%			0.46%		
Conductividad		COND	428		COND:	331		COND.	248		COND.	390
a 25 °C, µS/cm.	582	TEMP	19°	320	TEMP.	29.5	280	TEMP.	20.9	370	TEMP.	29.1
P.H.	8.0	P.H.	7.5	7.7	P.H.	6.2	6.6	P.H.	6.1	7.6	P.H.	6.3
STD (ppm)	462			298			227			363		
Dureza (Ca CO ₃)	190	AGUA:		80	AGUA:		100	AGUA:		105	AGUA:	
ppm Cl	22	INOLORA		10	INOLORA		12	INOLORA		12	INOLORA	
ppm NO ₃	0	INCOLORA		0	INCOLORA		0	INCOLORA		0	INCOLORA	
r Mg/r Cl	2.0			2.34			1.95			3.42		
r SO ₄ /r Cl	0.64			0.59			1.11			0.68		
r Cl/r CO ₃ H	0.12			0.08			0.15			0.08		
r Na/r Ca	0.85			2.29			0.74			2.65		
icb	-2.51			-6.71			-1.96			-6.45		
icb (-)	-0.29			-0.54			-0.25			-0.51		
kr	4.00			2.19			1.91			2.51		
ppm Fe	0.01			0.50			0.32			0.64		
ppm NH ₄												
ppm SiO ₂	2.74			5.5			2.68			4.87*		

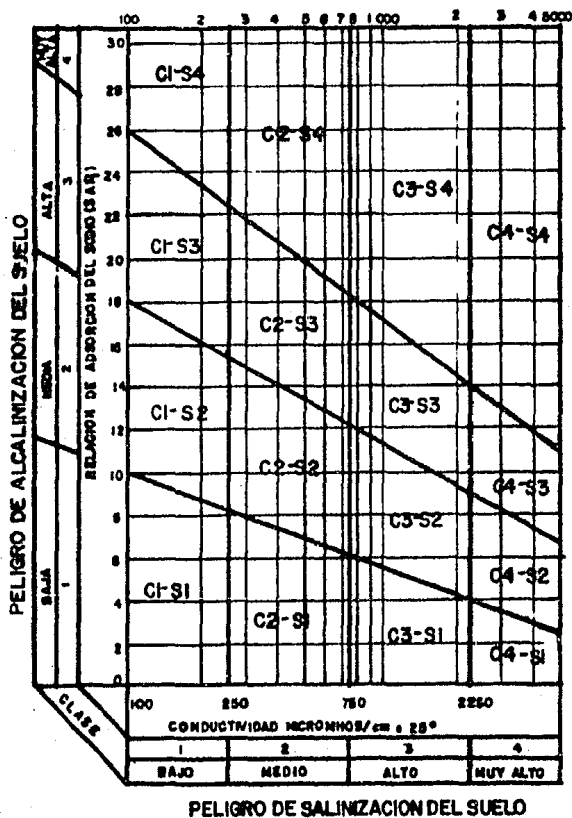
ANALISIS FISICOQUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

LUGAR DE PROCEDENCIA: CUENCA DE HUIMILPAN, QRO.

No. MUESTRA:	R. ARROYO HONDO											
FECHA:	15-XII-81 (P-1207)											
	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l
HCO ₃	244	4.00	85.4									
SO ₄	22	0.46	9.8									
Cl	8	0.23	4.8									
NO ₃	0	0.00	0.0									
T O T A L	274	4.69	100.0									
	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l	ppm	meg/l	% meg/l
Na.	61	2.65	57.3									
K												
Ca	18	0.90	19.5									
Mg	13	1.07	23.2									
T O T A L	92	4.63	100.0									
		DATOS DE CAMPO										
Error del Analisis	1.2%											
Conductividad a 25 °C, µS/cm.	485											
pH	8.0											
STD (ppm)	366											
Dureza (Ca CO ₃) ppm Cl	99											
ppm NO ₃	8											
r Mg/r Cl	0											
r SO ₄ /r Cl	4.76											
r Cl/r CO ₃ H	2.02											
r Na/r Ca	0.05											
icb	2.95											
icb (-)	-10.8											
kr	-0.55											
ppm Fe	2.4											
ppm NH ₃	0.01											
ppm SiO ₂	54											

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARQUE NACIONAL CERRO
EL CIMA ARC
TESIS PROFESIONAL

DIAGRAMA DE CLASIFICACION SAR.



GRAFICA 6.3.- Diagrama para clasificar las aguas utilizadas para riego. Tomada de Hidrología subterránea Cap. 18.13, según E. Custodio y Mr. Llamas.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARQUE NACIONAL CERRO EL CIMATARIO

TESIS PROFESIONAL, UNAM 1984

TABLA 6.3.- CLASIFICACIONES SIMPLES

<u>No. POZO</u>	<u>MUESTRA</u>	<u>TIPO DE AGUA</u>	<u>GRUPO</u>	<u>INDICE SAR</u>	<u>CLASIFICACION</u>
649	El Pueblito	Agua dulce-dura	5b - C2	1.86 - C2S1	Bicarbonatada-sódico-cálcica
655	Col. E. Zapata	Agua dulce-dura	5b - C2	3.71 - C2S1	Bicarbonatada-sódica
657	Ex-Hda. Balvanera	Agua dulce-dura	6b - C2	2.17 - C2S1	Bicarbonatada-sódico-cálcica
633	Santa Virginia	Agua dulce-dura	6b - C2	2.28 - C2S1	Bicarbonatada-sódica, cálcica y magnesiana.
668	El Cerrito	Agua dulce-dura	6b - C2	2.04 - C2S1	Bicarbonatada-sódico-cálcica
677	Huimilpan	Agua dulce-algo dura	5b - C2	5.67 - C2S1	Bicarbonatada-sódica
709	La Noria	Agua dulce-dura	6b - C2	2.21 - C2S1	Bicarbonatada-sódica
1203	R. Las Torcas	Agua dulce-Algo dura	6b - C2	3.67 - C2S1	Bicarbonatada-sódica
1292	Santa Barbara	Agua dulce-dura	5e - C2	1.58 - C2S1	Bicarbonatada-cálcico-sódica
1400	La Cuesta	Agua dulce-algo dura	5b - C2	2.42 - C2S1	Bicarbonatada-sódica
1453	El Salto	Agua dulce-algo dura	6e - C2	0.99 - C2S1	Bicarbonatada-cálcica-sódica
S/N	El Fresno	Agua dulce-algo dura	5b - C2	2.45 - C2S1	Bicarbonatada-sódica.
1207	R. A. Hondo	Agua dulce-algo dura.	6b - C2	2.67 - C2S1	Bicarbonatada-sódica.

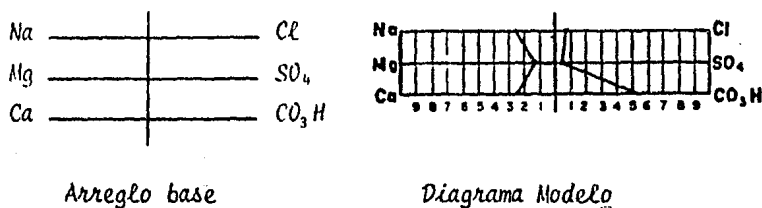
DIAGRAMAS DE PIPER.- Los diagramas triangulares son los mejores para representar tres componentes empleando los porcentajes de miliequivalentes por litro (% meq/l), siendo lo más usual representar a los cationes ($\text{Na}^{++} + \text{K}^+$), -- (Ca^{++}) y (Mg^{++}), así como a los aniones ($\text{CO}_3 \text{H}^- + \text{CO}_3^-$), (SO_4^-) y -- ($\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$). El diagrama de Piper se constituye por dos triángulos simples que grafican a los aniones y cationes, los cuales se pueden proyectar a un rombo que muestra claramente su tipo de agua, según las divisiones que se indican en la figura 6.3.1., se grafican las posiciones de las muestras de agua de este estudio en la figura 6.3.2., encontrándose que las aguas son bicarbonatadas sódicas variando un poco a cálcicas.

Para el graficado se utilizan los valores de los % de meq/l contenidos en las formas de ANALISIS FISICOQUIMICOS, obteniendo la posición en cada triángulo de los valores de las muestras y después se obtiene el punto común dentro del rombo trazando líneas paralelas a los diagonales de los triángulos y donde coinciden en el rombo, esa será su posición.

La ventaja de utilizar estos diagramas es la de representar muchos análisis - sin provocar confusión, ya que las aguas graficadas pueden quedar agrupadas - en áreas bien definidas.

DIAGRAMAS DE STIFF MODIFICADOS.- Estas gráficas son de gran ayuda para la -- configuración de planos hidrogeoquímicos, ya que la figura resultante en cada caso, formada con los valores de meq/l de las formas de ANALISIS FISICOQUIMICOS, se puede dibujar en el sitio correspondiente a la toma de la muestra, tal como estan dibujados en el Plano No.2 (HIDROLOGIA en el anexo). Consisten en tres rectas paralelas entre sí, contando con una línea normal que hace las veces de eje y origen, dando así semirectas derechas para aniones e izquierdas para cationes; la escala debe ser convencional y adecuada al tamaño que -

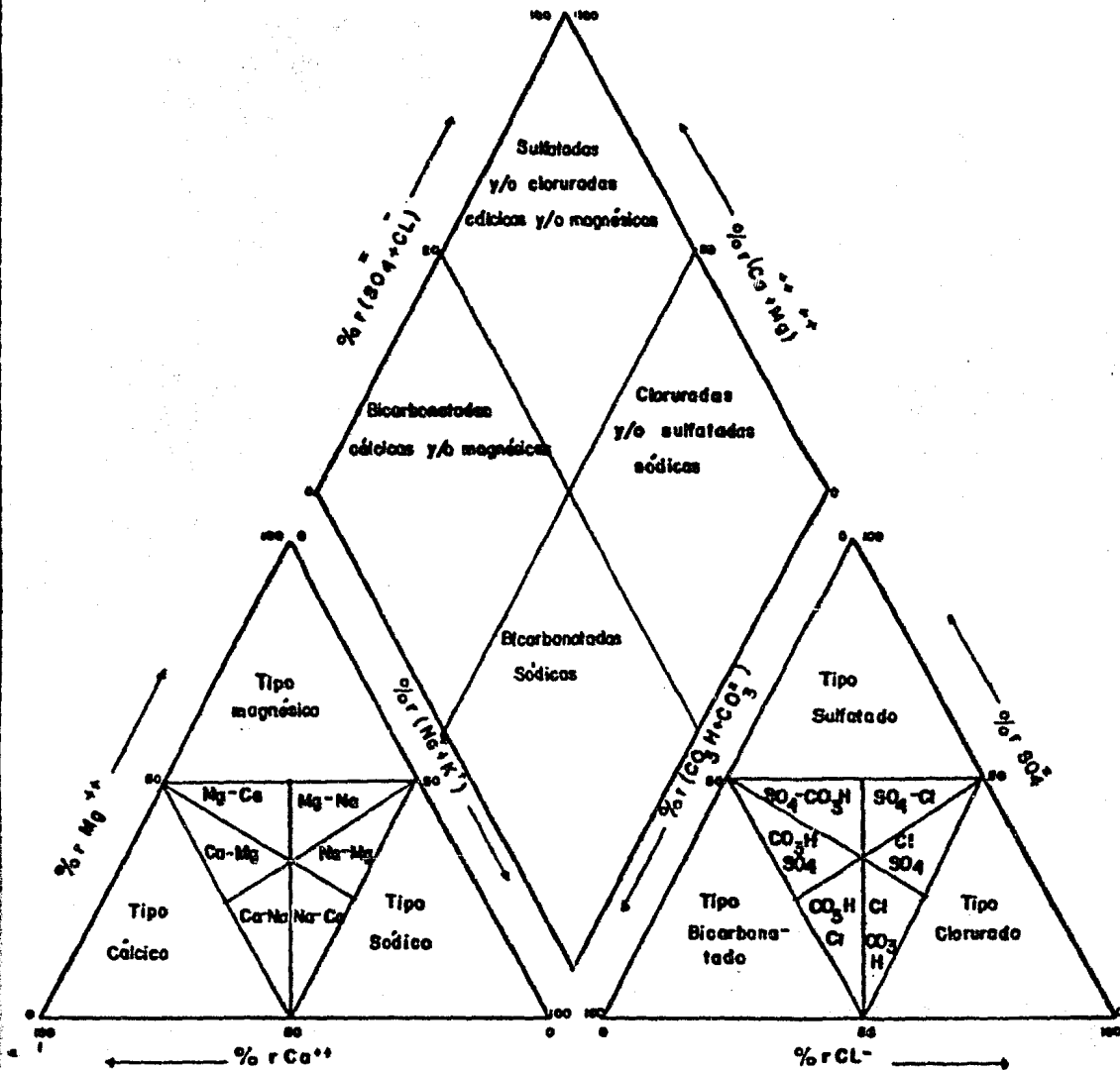
se desee representar, graficando los valores de los meq/l de cada ión correspondiente, y uniendo los puntos marcados se configura un polígono representativo. Como ejemplo se tiene la gráfica de la muestra P-649 El Pueblito, dibujada en el diagrama de Stiff (Modificado), usado para el estudio.



La escala va de 0 a 10 miliequivalentes por litro (meq/l).

6.4.- CORRELACION GEOQUIMICA.- Los minerales más abundantes como constituyentes de las rocas que contienen la cuenca de Huimilpan (basaltos , andesitas y tobas), son las plagioclasas, por esta razón, el contenido de iones disueltos en el agua debe estar relacionado con los contenidos en esos minerales. Así se observa que las aguas son bicarbonatadas sódicas y en algunos casos llegan a ser cálcicas, como resultado de la hidrólisis de los silicoaluminatos, acción que se efectúa por la presencia de aguas ácidas (que contengan CO_2), ayudadas por el pH, la presión y la temperatura del agua. Los productos del ataque a las plagioclasas son generalmente arcillas, las cuales tienden a fijar al ión K^+ , por lo cual las aguas resultantes son deficientes en ese elemento.

Los silicatos ferromagnesianos son los que aportan a los iones Mg y Fe, así como S:O_2 que en terrenos básicos no sobrepasan las 60 ppm y con frecuencia menor de 20 ppm. La relación $r\text{Na}/r\text{Ca}$ tiene variaciones entre 0.08 y 5.08 meq/l



ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARQUE NACIONAL
CERRO EL CIMATARIO, QRO.

TESIS PROFESIONAL, UNAM., 1984.

Figura 6.3.1.- Clasificaciones de agua según el diagrama triangular de Piper (Tomado de Custodio, 1976, P.1060.).

- ▲ 649 EL PUEBLITO
- ☀ 655 COL. E ZAPATA
- ◻ 657 EX-HACIENDA BALVANERA
- 633 SANTA VIRGINIA
- ⊙ 662 EL CERRITO
- 677 HUIMILPAN
- △ 709 LA NORIA
- ◻ 1203 R LAS TORCAS
- 1292 SANTA BARBARA
- ▲ 1400 LA CUESTA
- 1453 EL SALTO
- ⊗ 5N EL FRESNO
- ⊗ 1207 R. ARROYO HONDO

ESTUDIO GEOMORFOLOGICO CERRO EL CIMATARIO
EDO. DE QUERETARO

TESIS PROFESIONAL, U.N.A.M. 1984
FACULTAD DE INGENIERIA

DIAGRAMA DE PIPER CUENCA DE HUI-
MILPAN

J ALEJANDRO MEDINA XOCHIHUA

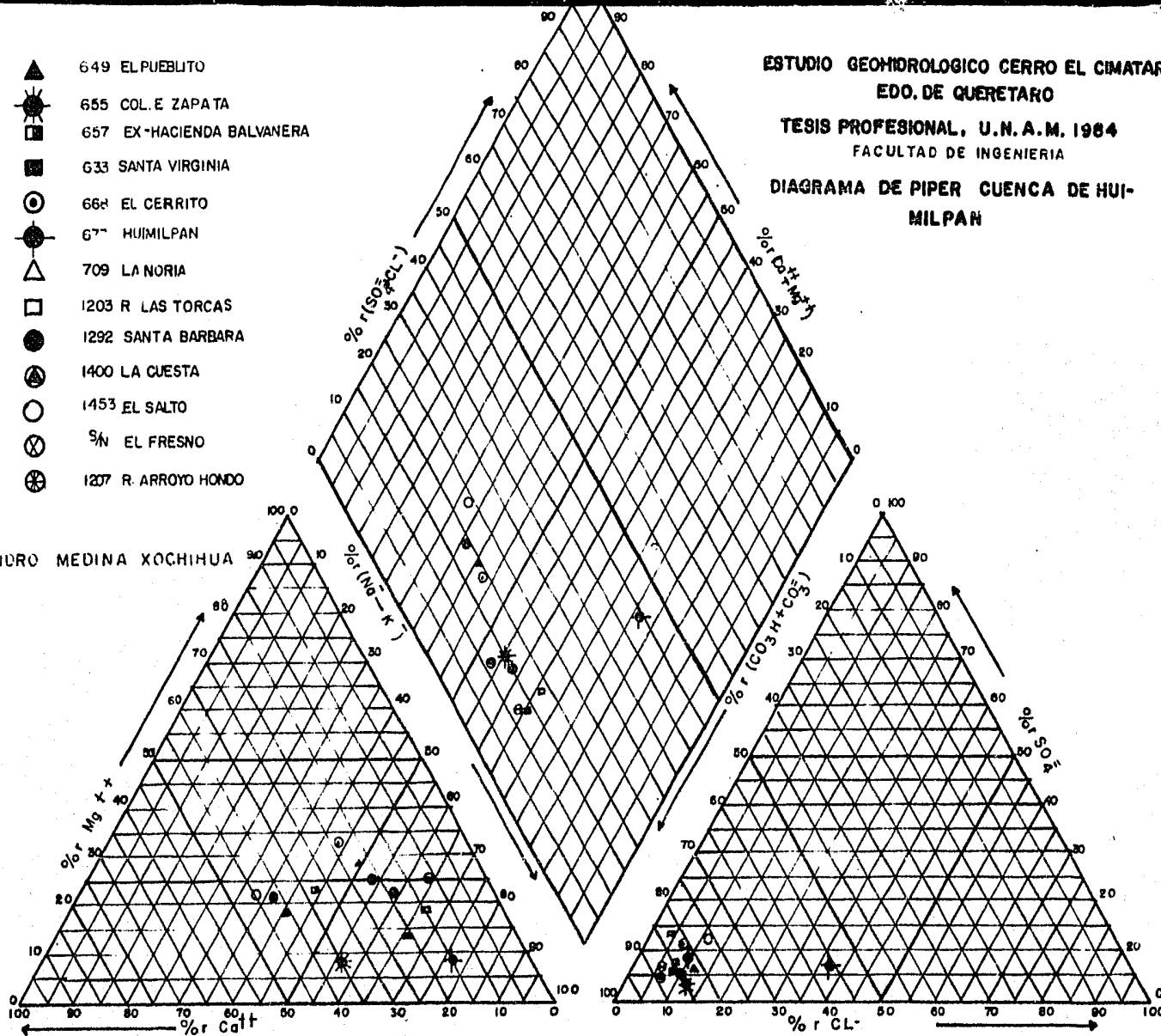


FIG. 6.3.2.

El pH es un poco alto, lo cual puede ser debido a la alteración del olivino y en general por la facilidad de alteración de las rocas que conforman la cuenca. Por lo tanto el origen del agua en la Cuenca de Huimilpan es de rocas ígneas.

6.5.- CALIDAD DEL AGUA.- En un estudio geohidrológico se debe incluir el inciso que trate de las características del agua con miras al uso y utilización que se le vaya a dar, sobre todo porque las aguas subterráneas disuelven una mayor cantidad de solutos ya que tienen, durante su flujo, mayores superficies de contacto, lenta velocidad de circulación, sometidas a presión y temperatura altas, así como facilidad de disolver el CO₂ del suelo no saturado. Por esas razones se debe efectuar un análisis sobre sus condiciones físicas refiriéndose el concepto de calidad de agua ya que ésta queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que pueden causar cada uno de los elementos que contiene, o bien los efectos de todos los elementos en conjunto; basándose en ello es como se puede decir para qué sirve el agua encontrada.

Para el caso del agua buscada en el área del Parque Nacional Cerro el Cimantario se buscan calidades de agua para riego y para consumo humano así se clasifico el agua en base al índice SAR y según las Normas Mexicanas de calidad de agua potable (Publicadas por la S.S.A. el 2 de julio de 1953 en el Diario Oficial), respectivamente. Así tenemos que las aguas analizadas son:

Agua dulce : STD menores a 500 ppm con tolerancia hasta 1000 ppm.

11 muestras tienen menos de 500 ppm

2 muestras tienen entre 500 y 1000 ppm

La dureza total en Ca CO₃ es menor de 300 ppm (NORMA)
La clasificación como agua dulce varía de algo dura a
dura.

No presentan : Turbidéz, olor, color, sedimentos, materia orgánica ni
tensoactivos (detergentes).

Las aguas representativas analizadas en la cuenca de Huimilpan son adecuadas
para el uso potable, debiendo sólo verificarse al momento de su utilización
las condiciones bacteriológicas. También son adecuadas para el uso agrícola
ya que su Índice SAR es bajo (entre 0.99 y 5.67) y por su conductividad
se clasifican como C2S1 en todos los casos lo cual significa :

C2.- Agua de salinidad media que permite el cultivo de la mayoría de vegetales
sin control de exceso de sales.

S1.- Agua baja en sodio que puede usarse en la gran mayoría de suelos de cul-
tivo sin peligro de alcanzar concentraciones elevadas de sales.

CAPITULO VII.- GEOFISICA

7.1.- **CONCEPTOS GENERALES.**- Por definición, la geofísica es la ciencia y técnica que, a partir de la medición de propiedades físicas, naturales o provocados, trata de conocer la distribución de los materiales en el subsuelo y su constitución geológica. En consecuencia, el enfoque práctico en la geohidrología gira en torno de técnicas encaminadas al estudio y reconocimiento del terreno, coordinándose con observaciones de ciencias diversas como la geología, la hidrogeología, los sondeos mecánicos o inducidos, la climatología y la geoquímica, de tal manera que se interrelacionan unas a otras para obtener un fin concreto ; solucionar la falta o manejo de agua en las diferentes aplicaciones y necesidades de ese elemento.

7.2.- **METODO ELECTRICO RESISTIVO.**- El método eléctrico resistivo es el empleado en este trabajo, usando la técnica del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), con el cual se estudia una de las propiedades intrínsecas de la materia; la RESISTIVIDAD (ρ).

Tanto la resistividad (ρ), como su inversa la conductividad (τ), son propiedades electromagnéticas de las rocas, aunados con otras dos magnitudes físicas la constante dieléctrica (ϵ) y la permeabilidad magnética (μ) constituyen el campo de investigación de los métodos geoelectrónicos.

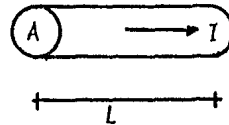
El fundamento analítico para el estudio de la resistividad se encuentra en la ley de Ohm, que establece la relación entre la corriente eléctrica (I) que pasa por un cuerpo y la caída de potencial (V) en algún punto del mismo, --

debido a la resistencia (R) que se opone al paso de dicha corriente. Matemáticamente se expresa así : $V = \bar{I} \cdot R$

Si en un terreno o cuerpo cualesquiera se introduce una corriente eléctrica , ésta se propaga de forma tal que se puede dar al terreno o material una resistencia, una capacitancia y una inductancia, y si la corriente eléctrica es -- continua, quedará la resistencia como parámetro único; entonces, si la corriente eléctrica fluye a través de un cilindro de composición homogénea en dirección de su eje, la resistencia eléctrica que presenta se manifiesta directamente proporcional a su longitud (L), e inversamente proporcional a su sección transversal (A), por lo que la resistencia eléctrica que se mida será igual a :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

siendo :



Donde : ρ es la resistencia específica o resistividad del material que -- constituye el cuerpo en cuestión.

L es la longitud del cilindro

A es la sección transversal, perpendicular a la dirección de la corriente.

Los conductores ideales son los minerales metálicos y algunas de sus sales ; entonces, el terreno debería ser un aislante o bien presentar gran resistividad, pero sin embargo se tiene que por la humedad existente en los poros del

terreno o por la presencia de mantos acuíferos, la resistividad de las rocas y del subsuelo en general disminuye grandemente. Las sales disueltas en el agua subterránea actúan como conductoras y por lo tanto, la resistividad que se mide dependerá del volumen de poros, de su distribución y de la resistencia del fluido que los rellene.

En el sondeo eléctrico vertical (SEV) se introduce corriente eléctrica al terreno y por ello el método se denomina de inducción, utilizando dos electrodos llamados de emisión (A y B), que inyectan una cierta intensidad de corriente (I), y con otros dos electrodos (M y N) llamados de recepción, se obtiene la respuesta al campo eléctrico potencial (ΔV) creado por los primeros. Al realizar un SEV se guarda una relación en la distribución y espaciamiento de los electrodos, que depende de lo que se espera encontrar en el subsuelo, así como de la profundidad que se pretenda investigar. En este estudio se aplicó el dispositivo tetraelectrónico tipo Schlumberger con aberturas máximas en las líneas de emisión (\overline{AB}), de 1300 metros. El dispositivo se ilustra en la figura 7.2.

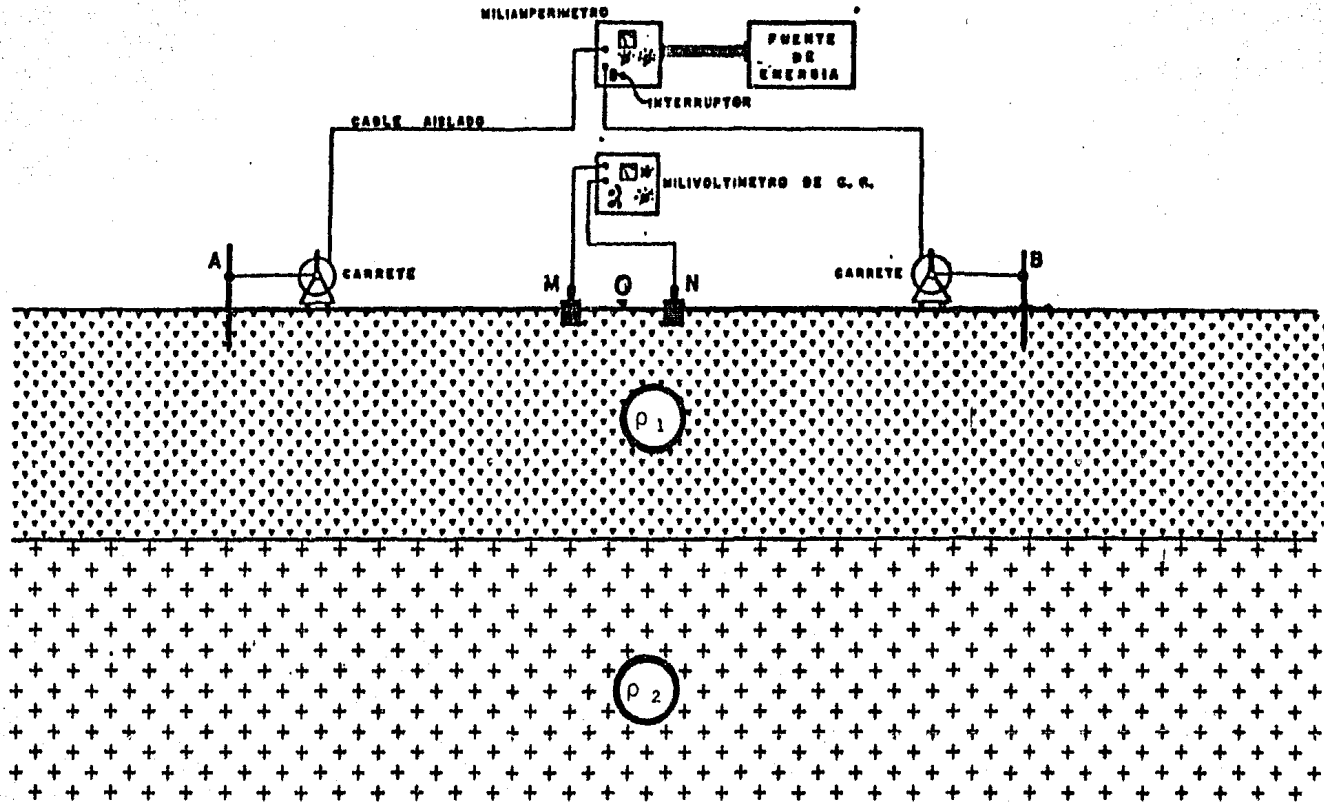
Del análisis teórico de las investigaciones geofísicas realizadas con el arreglo Schlumberger, resulta que el cálculo de la resistividad eléctrica de las rocas en cada medición se expresa por la fórmula:

$$\rho_a = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

donde se tiene que :

ρ_a , es la resistividad aparente expresada en ohms-metro ($\Omega - m$) -
que en el sistema de unidades se refiere a una sección de un --

fig. 7.2.- EQUIPO DE RESISTIVIDAD DE C.C.
Y ARREGLO ELECTRODICO TIPO SCHLUMBERGER



$AO = OB$

$AB/5 \geq MN$

conductor de 1 m^2 y longitud de 1 m , dejando pasar la intensidad de un amperio cuando se aplica en sus caras opuestas una diferencia de potencial de un voltio.

ΔV , es la diferencia de potencial leída en los electrodos MN y se expresa en milivoltios.

I , es la intensidad de corriente inyectada por AB, en miliamperios.

K es una constante que depende del arreglo de electrodos utilizados y se mide en metros. Para el dispositivo utilizado es --, igual a :

$$K = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

Se puede mencionar que el equipo utilizado consiste en un transmisor marca -- SCINTREX, modelo IPC-7, con fuente de energía de 2.5 KW y como receptor un equipo de la misma marca, modelo IPR-8, así como también los accesorios concernientes al equipo de trabajo.

7.3.- ACTIVIDADES DESARROLLADAS.- Con el objeto de comprobar el comportamiento estructural de la corteza en áreas específicas, tratando de localizar zonas y sitios favorables para la perforación exploratoria en busca de mantos acuíferos, que en el caso de obtener resultados positivos, las exploraciones se terminaran como pozos de agua. Para tal fin se aplicaron 34 SEV'S, distribuidos regionalmente, según se muestra en el Plano Geológico contenido en el anexo.

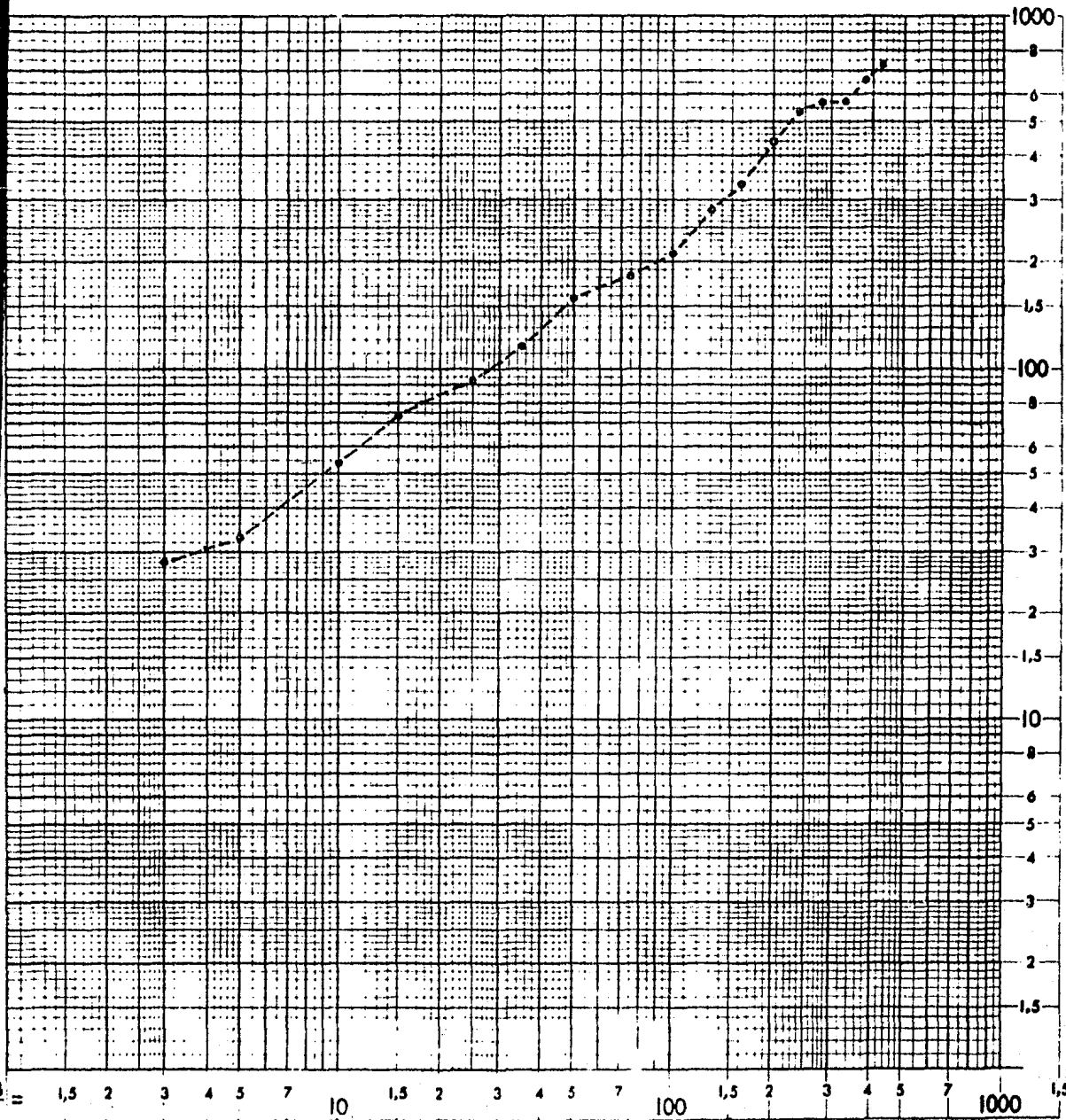
Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

Lugar Cerro Cimatarío cota s.n.m. 2130 m fecha Octubre 1981

Línea 2 ubicación Querétaro, Qro. operador _____

Número 201 observaciones Estudio Geohidrológico para el
Parque Nacional Cerro El Cimatarío.

Grafica No. 7.3.1. (Pa)



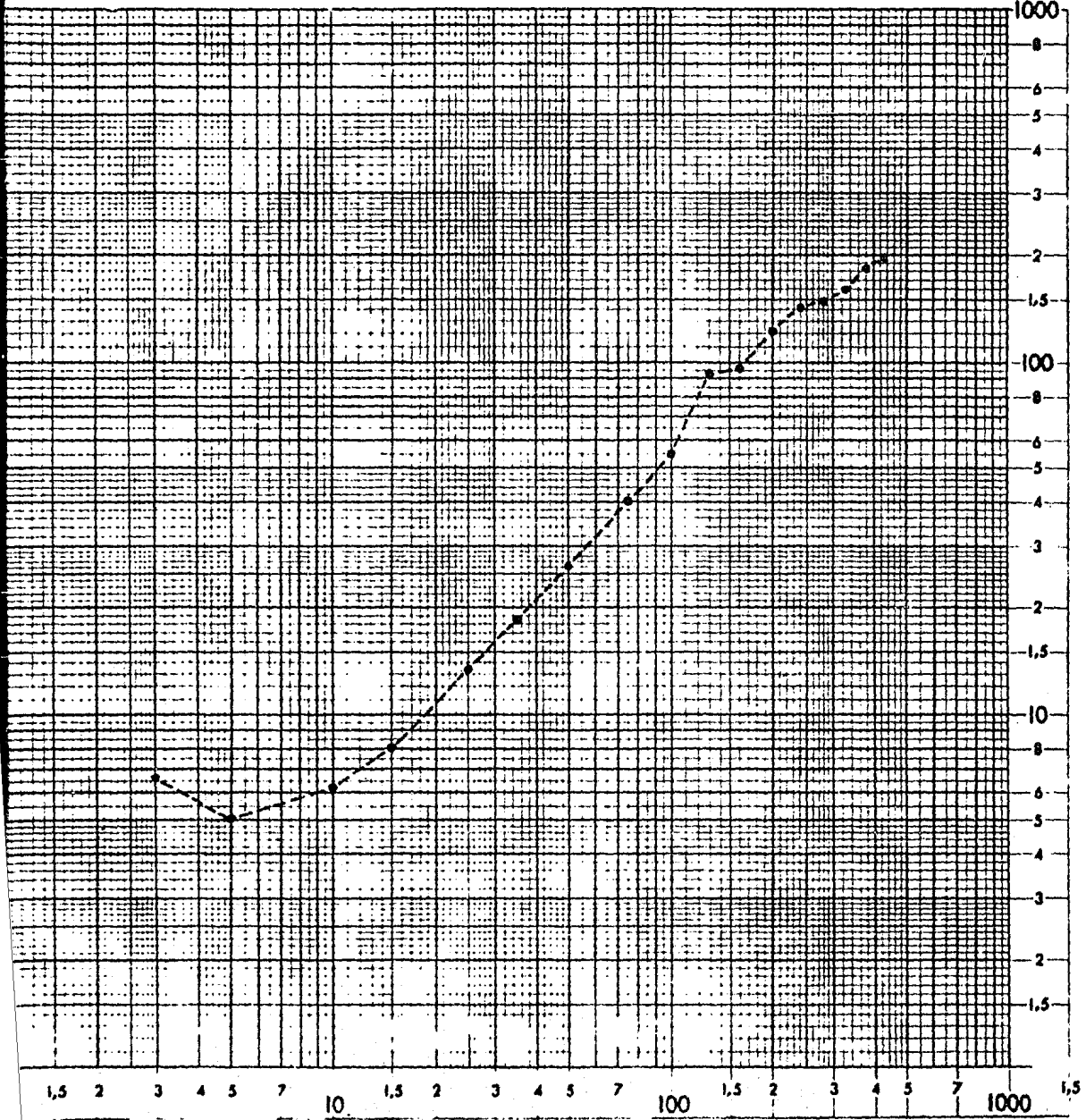
Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

Campo Cerro Cimatario cota s.n.m. 2125 m fecha Octubre 1981

línea 2 ubicación Querétaro, Qro. operador _____

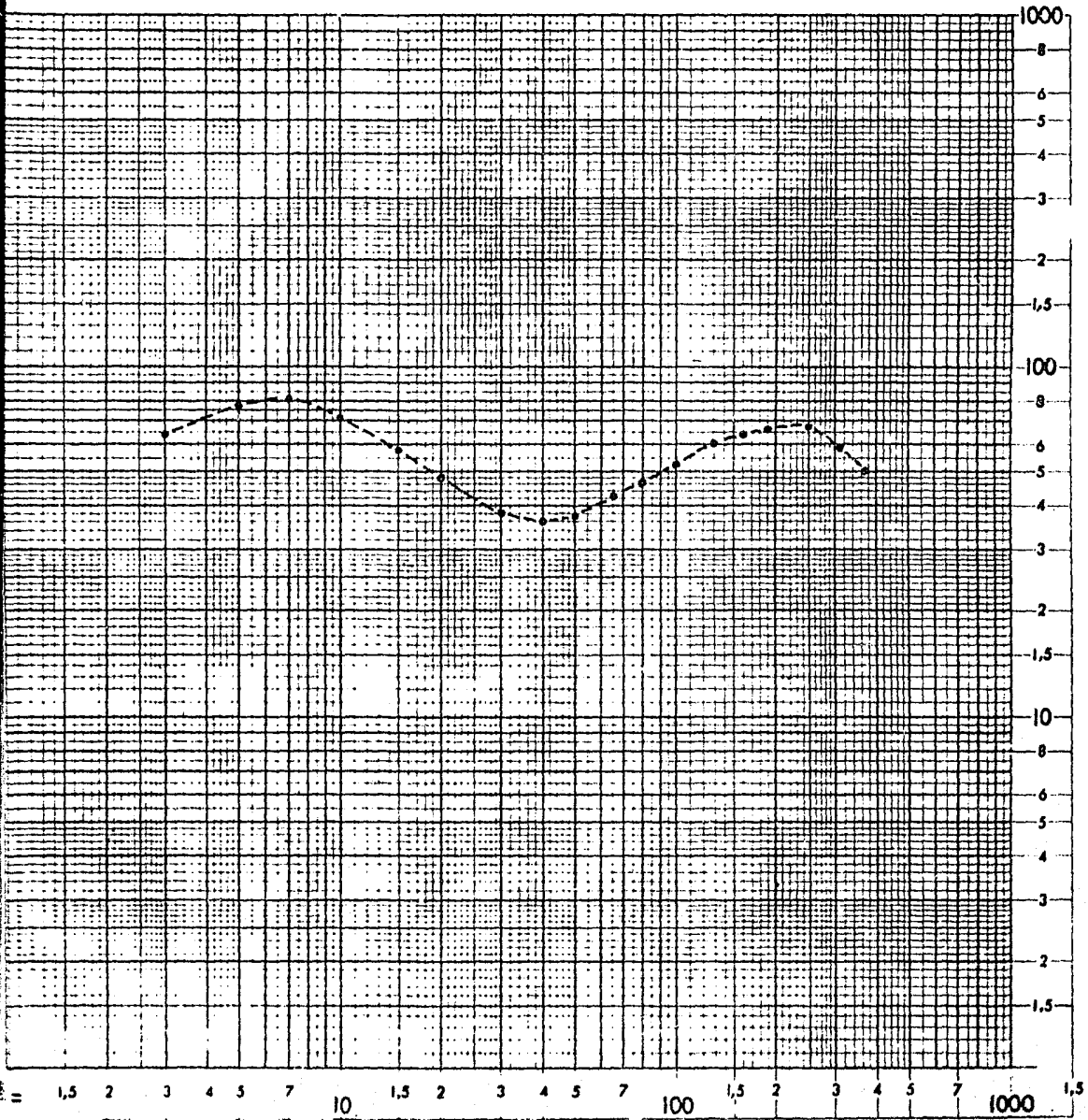
número 202 observaciones Estudio Geohidrológico para el Parque Nacional Cerro El Cimatario.

Gráfica No. 7.3.2. Pa



Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

campo Cerro Cimatario cota s.n.m. 2050 m fecha Octubre 1981
 línea 2 ubicación Querétaro, Qro. operador _____
 número 203 observaciones Estudio Geohidrológico para el Parque
Nacional Cerro El Cimatario
Gráfica No. 7.3.3.



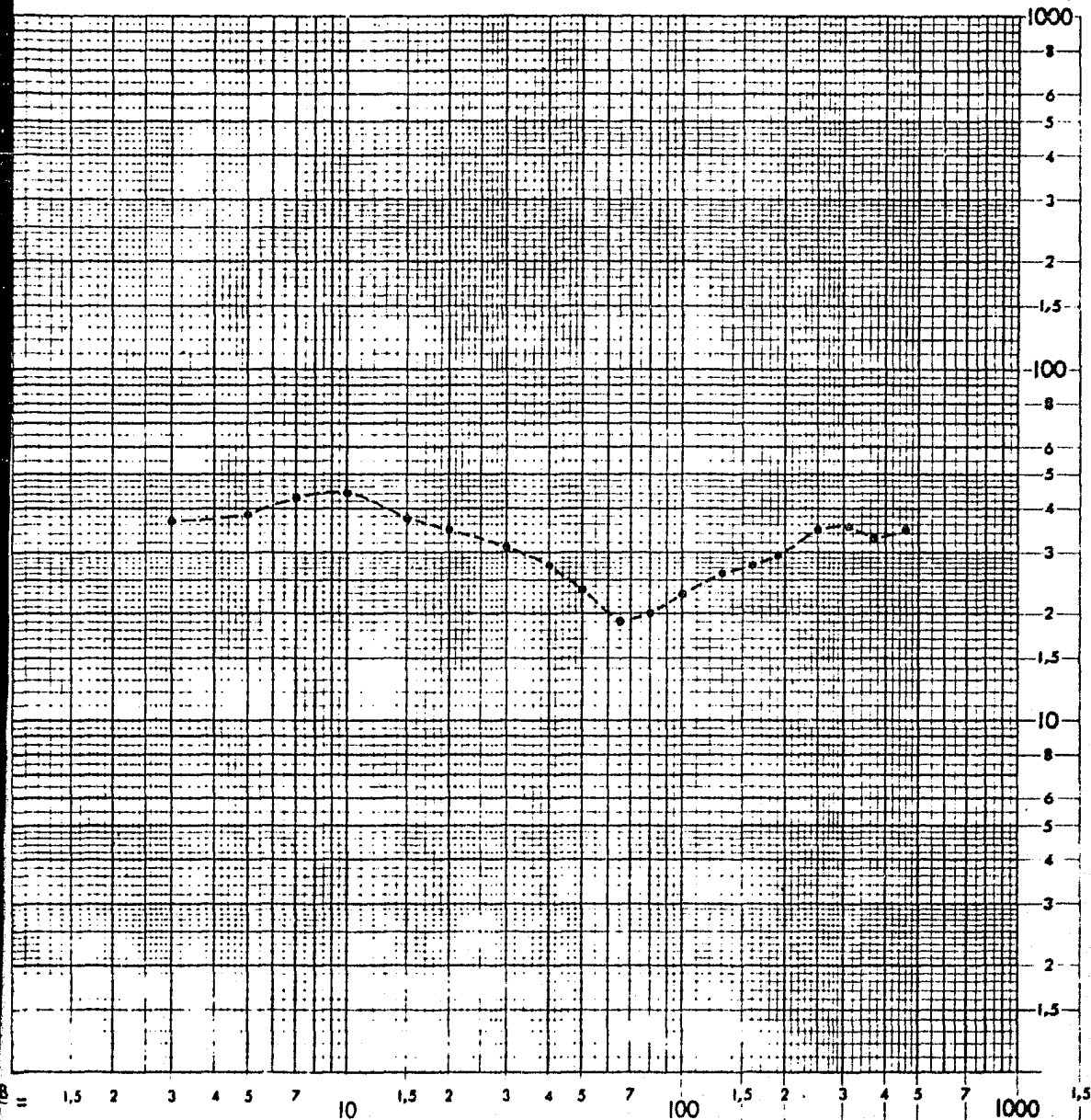
Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

campo Cerro Cimatario cota s.n.m. 2030 m fecha Octubre 1981

línea 2 ubicación Querétaro, Qro. operador _____

número 204 observaciones Estudio Geohidrológico para el Parque Nacional Cerro El Cimatario.

Gráfica No.7.3.4. (%)



En total se integraron 14 perfiles de investigación que en conjunto abarcan más de 23 kilómetros, mostrando en la tabla anexa 7.3.1. los arreglos y los valores obtenidos en campo para las curvas de los sondeos del perfil geofísico No. 2 analizado en el siguiente inciso y que se encuentra en el anexo, así como sus curvas correspondientes, necesarias para la interpretación y elaboración de la sección resultante incluidas después de la tabla.

7.4.- INTERPRETACIÓN DE DATOS.- Una vez realizado el levantamiento de campo, se procedió a realizar el análisis e interpretación de los sondeos para determinar los cortes electroestratigráficos correspondientes a cada uno de ellos e integrar de esta manera los perfiles o secciones de resultados, que sirvieron de apoyo a la interpretación hidrogeológica planteada en este trabajo. La sección No. 2 del Plano No.3 en el anexo permite visualizar el perfil de Isorresistividades y la interpretación de resultados electroestratigráficos con la correlación litológica correspondiente.

Para el procesado de los datos de cada SEV se efectuaron dos etapas de interpretación. La primera de carácter cualitativo en la que se aplica el criterio de estudiar las anomalías resistivas en las configuraciones de planos y perfiles de curvas de igual resistividad (perfil de isorresistividades en el Plano No. 3). En la segunda fase, de carácter cuantitativo, la interpretación está relacionada con el cálculo de las resistividades verdaderas de los distintos horizontes que integran el corte de cada SEV, así como el espesor de cada uno de ellos. Esta cuantificación se obtiene de aplicar el dispositivo Schlumberger para terrenos estratificados y que se puede comprender de la siguiente forma : Cuando se tuviera un terreno con dos capas horizontales

y resistividades ρ_1 y ρ_2 respectivamente y la longitud AB fuera menor que el espesor de la primera capa, el potencial eléctrico medido entre M y N sería equivalente a ρ_1 . Análogamente, si la longitud AB es mayor al espesor de la capa primera y la ubicación de M y N es la misma, la diferencia de potencial sería la equivalente a la ρ_2 de la segunda capa.

Tomando en cuenta que en la práctica los terrenos tienen más de dos capas, la resistividad medida tiende a representar una media de valores de ρ , por tal motivo se le denomina a los valores obtenidos Resistividad Aparente.

Al dibujar las resistividades aparentes en una gráfica bilogarítmica que en el eje vertical indique los valores de ρ y en el eje horizontal se represente a las distancias AB/2, se obtienen curvas como las mostradas en las gráficas Nos. 1 a 4 del inciso 7.3. De este tipo de gráficas se obtiene el espesor h de las capas o estratos, así como los valores correspondientes a cada ρ . La fórmula utilizada para el cálculo de la resistividad aparente, en el caso del dispositivo Schlumberger es :

$$\rho = \pi \frac{\Delta V}{I} \left(\frac{AO}{MN} \right)^2 - \frac{1}{4} MN$$

donde $AO = OB$ y $AB/5 > MN$ (Ver figura 7.2)

Una vez obtenida la resistividad se representan los valores de ρ contra las distancias AB/2, usando gráficas bilogarítmicas, como las mostradas (gráficas 7.3.1 a 7.3.4). Una vez vaciados los datos de las resistividades aparentes en las gráficas, se realiza la comparación de la curva de campo con curvas teóricas, maestras o patrón que previamente tienen asignados valores

reales de resistividad y espesor, sobreponiéndose hasta encontrar la coincidencia encontrando los intervalos con relación a la profundidad de los diferentes valores de ρ , que se marcan en las gráficas (ρ_1, ρ_2, ρ_3 , etc.) de cada SEV (gráficas 7.3.1. a 7.3.4.). Entonces bastará aplicar las hipótesis de cálculo o ecuaciones de la curva patrón para llegar a los resultados aplicados en el perfil de resultados, según el espesor y valor real de resistividad. En este trabajo fue utilizada la técnica descrita de superposición de curvas por el método del Punto Auxiliar por medio de la colección de Curvas Maestras de Orellana-Mooney para terrenos estratificados (Orellana-Mooney, 1966).

Después de la interpretación se calibran gran parte de los resultados obtenidos en las líneas de investigación correlacionando los datos con puntos explorados posteriormente, como en el caso que muestra la sección geofísica No. 2 mencionada anteriormente y en la cual se marca un punto como "POZO II", en el cual se hizo la recomendación de perforarlo en busca de agua y resultó que el corte litológico del pozo coincidió notablemente con las unidades descritas en la sección. El error encontrado fue de ± 5.0 metros respecto a las líneas -- que indican contactos electroestratigráficos, lo cual le da al trabajo desarrollado una gran calidad y confiabilidad. Con un procedimiento igual se marcaron los puntos marcados como pozos I, III y exploración No.1 que se encuentran en el plano No.1 de Geología; en esos puntos se obtuvieron resultados satisfactorios, pues en cada caso se encontró agua, y por lo tanto el resultado general del estudio cumplió su cometido. Los resultados para cada caso citado fueron los siguientes :

EXPLORACION No. 1	:	N.E. = 186.45 MTS	
POZO I	:	N.E. = 46.35 MTS	Q = 15 l.p.s.
POZO II	:	N.E. = 39.60 MTS	Q = 40 l.p.s.
POZO III	:	N.E. = 140.20 MTS	Q = 20 l.p.s.

*** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ***

ma principal y directa a los acuíferos de la Cuenca, de acuerdo con los resultados obtenidos en el inciso de CLIMATOLOGIA, sobre todo en la época de lluvias que abarca de Junio a Octubre.

5° De acuerdo con la piezometría configurada se observa que el flujo subterráneo tiene una dirección general de SE a NW, que coincide con el gradiente topográfico del Valle de Huimilpan hasta llegar al Valle de Querétaro, por lo cual se constituye en una recarga acuífera importante de ese Valle.

6° Geoquímicamente se comprueba el flujo mencionado, ya que las muestras analizadas en la Cuenca de Villa Corregidora aumentan su contenido de iones, hacia el poblado del mismo nombre, cuyas aguas son más viejas que las muestreadas -- hacia la población de Huimilpan, pudiéndose observar este comportamiento en -- los diagramas de Stiff Modificados que se dibujan en el plano Hidrológico -- (No. 2 del anexo).

7° El agua tiene un origen Igneo por su clasificación Físico-Química Bicarbonatada-Sódica, la cual al llegar a los aluviones o sedimentos lacustres cambia -- un poco a cálcica por el intercambio iónico que actúa sobre los materiales cal -- cáreos que contienen.

8° El agua analizada es de magnífica calidad, siendo adecuada para todos los usos (potable, industrial y agrícola), Esto desde el punto de vista Físico - Químico y será necesario, para su uso potable, verificar sus condiciones bacte -- riológicas antes de usarla.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.- Como resultado del estudio geohidrológico para el "Parque Nacional Cerro el Cimatario, Oro., se concluye lo siguiente:

1° Fue fundamental el considerar y apoyarse en las diferentes disciplinas tratadas en el estudio para llegar a conocer los aspectos más relevantes y de interés práctico de las características del agua y su aprovechamiento en el Valle de Huimilpan que contiene a la Cuenca de Villa Corregidora o Humilpan , donde se ubica el Parque Nacional Cerro el Cimatario y cuyas necesidades motivaron a la realización de este estudio.

2° Los resultados positivos de localización de zonas acuíferas, manifestadas por los gastos obtenidos en las exploraciones Pozo I, Pozo II y Pozo III, así como el nivel encontrado en la EXPLORACION No. 1, llevan a pensar que las zonas de fosas tectónicas son muy favorables para la búsqueda de recursos hídricos en beneficio del hombre, para cubrir sus necesidades actuales.

3° Los lugares donde geológicamente predominan las rocas ígneas con características geohidrológicas (permeabilidad primaria y secundaria por fracturamiento), se constituyen en los mejores acuíferos para ser explotados pues contienen los mejores tipos de agua en cuanto a calidad y menor contenido de sales minerales.

4° El alto fracturamiento de las rocas ígneas en el Valle de Huimilpan permiten un alto grado de infiltración del agua de lluvia, la cual recarga en for-

9° Los mejores sitios para efectuar exploraciones en busca de agua subterránea, son aquellos que presenten el cruce de fracturas, los que contengan contactos geológicos permeables y los que presenten asociaciones entre estas condiciones, todos bajo el nivel de saturación.

10° Con los resultados ya enunciados, el Parque Nacional Cerro el Cimatario, - Qro., resuelve sus necesidades de abastecimiento de agua y además se tiene la certeza de que la Cuenca de Huimilpan o Villa Corregidora es la fuente alterna a futuro para el abastecimiento de agua de la Ciudad de Querétaro, de acuerdo con las consideraciones siguientes :

El abastecimiento de agua potable, para fines municipales de la Ciudad de Querétaro se realiza actualmente mediante la extracción de aguas subterráneas, -- utilizando 23 pozos que se distribuyen en la zona urbana.

La capacidad instalada en dichos pozos es de 755 l.p.s.

La población actual (1981) es de 376 000 habitantes y la tasa de crecimiento del municipio es de 4.5 %.

Considerando una dotación promedio de 250 lts/habitante/día, será necesario contar con un caudal diario de 1,100 l.p.s.

Para satisfacer la demanda de agua, se deberán considerar en forma adicional las pérdidas de eficiencia en operación y en conducción, lo que representa -- cuando menos un incremento del 10% del caudal disponible (+ 110.0 l.p.s.). con lo que se tiene un primer valor del déficit en el abastecimiento actual de agua potable para la ciudad de Querétaro, de 455 litros por segundo.

Debido al crecimiento acelerado de la población del 4.5% anual, se necesitará incrementar el volumen disponible en la misma proporción (60 l.p.s. por año durante los próximos cinco años), además de reponer las captaciones que por alguna causa no trabajen con el 90% de eficiencia.

RECOMENDACIONES.- Las recomendaciones derivadas de las consideraciones obtenidas son :

1° Debido a las condiciones acuíferas favorables y a la altura de los niveles piezométricos que muestra la Cuenca de Huimilpan, cuyas cotas piezométricas se presentan entre los 1930 a 1940 M.S.N.M. y el terreno natural entre los 1970 y 1960 M.S.N.M., respectivamente; en relación con las condiciones del Valle de Querétaro y la zona urbana, cuyo nivel del terreno está entre los 1800 y 1850 M.S.N.M., y donde los niveles piezométricos oscilan entre los 1730 y 1770 M.S.N.M., se puede comprender que el abastecimiento de agua proveniente del Valle de Huimilpan puede realizarse por gravedad, lo cual significa un ahorro económico muy grande, al prescindir de bombeo adicional a la extracción de agua en los pozos directamente.

2° Se debe considerar a la Cuenca de Huimilpan como zona de reserva para el abastecimiento de agua potable de los asentamientos actuales y futuros del mismo Valle de Huimilpan y de la Ciudad de Querétaro, sin perder de vista la dotación actual del agua.

3° Continuar los estudios geohidrológicos en el Valle de Huimilpan, particularizando cada vez más en las zonas de mayor fracturamiento, apoyados en la geofísica y en una mejor descripción y clasificación geológica de los rasgos estructurales de la corteza terrestre dentro de los 300.0 metros iniciales de profundidad a partir de la superficie del terreno.

4° Hacer énfasis en que el Ingeniero Geólogo dedicado a la hidrogeología, mantenga una relación estrecha con las disciplinas y ciencias tratadas en este estudio y cuantos más pueda comprender y consultar para realizar cada vez mejores controles y recomendaciones sobre el manejo de las aguas subterráneas y su aprovechamiento.

5° Con los datos que se obtengan de nuevos pozos y estudios posteriores, se deberán verificar las conclusiones e interpretaciones del presente estudio, retroalimentando y corrigiendo el conocimiento de los acuíferos y de las zonas favorables para su aprovechamiento, según los parámetros de niveles piezométricos y geológicos que se detecten.

* A N E X O S *

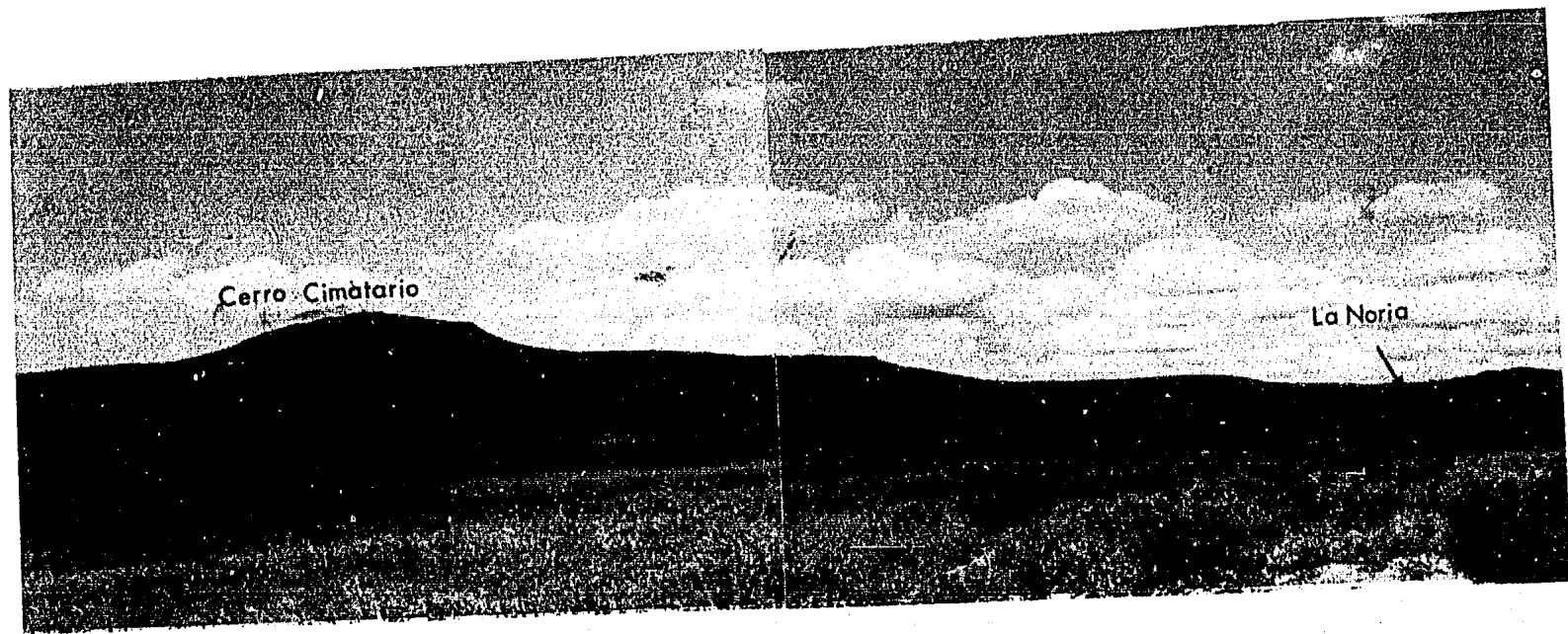


FOTO No. 1 .- Panorámica del Cerro Cimatario en su flanco Sur, viendo al Norte. Se aprecia el graben de "La Noria" y el afloramiento de lapilli en la parte superior del Cerro.

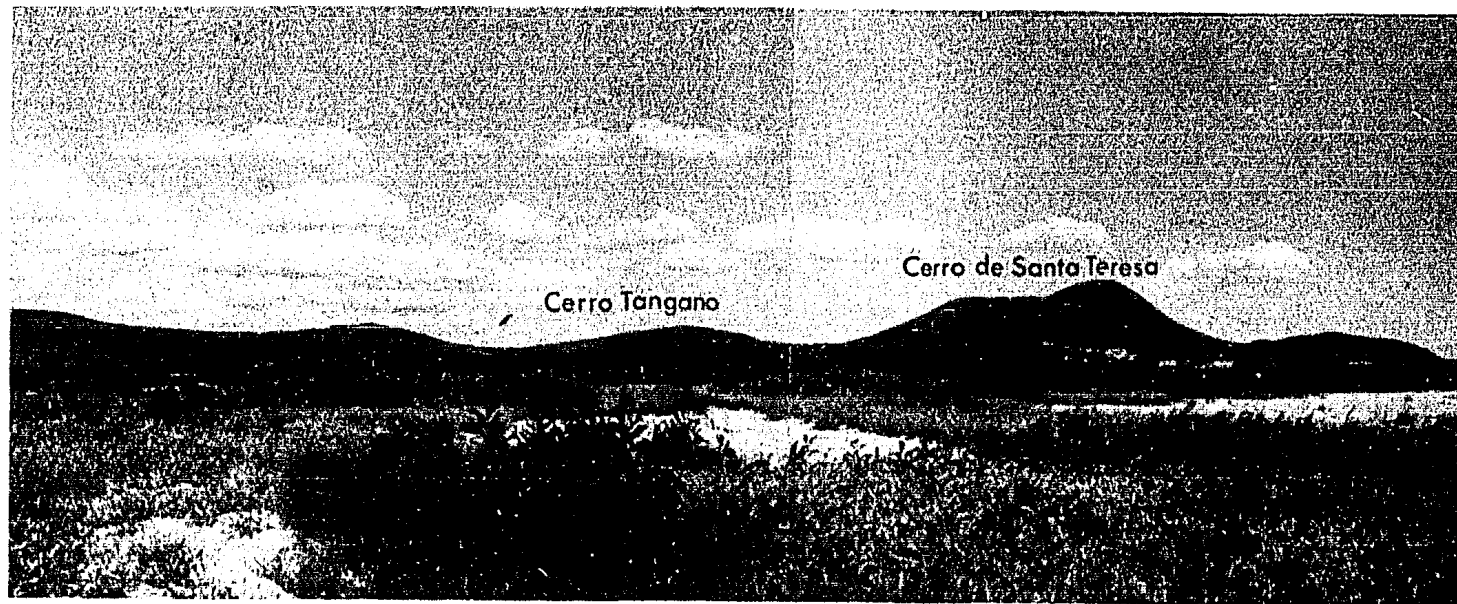


FOTO No. 2 .- Flanco Oeste del Cerro de Santa Teresa, hasta donde llega el Parque Nacional Cerro el Cimatario. Destaca la falla principal de orientación NW-SE.

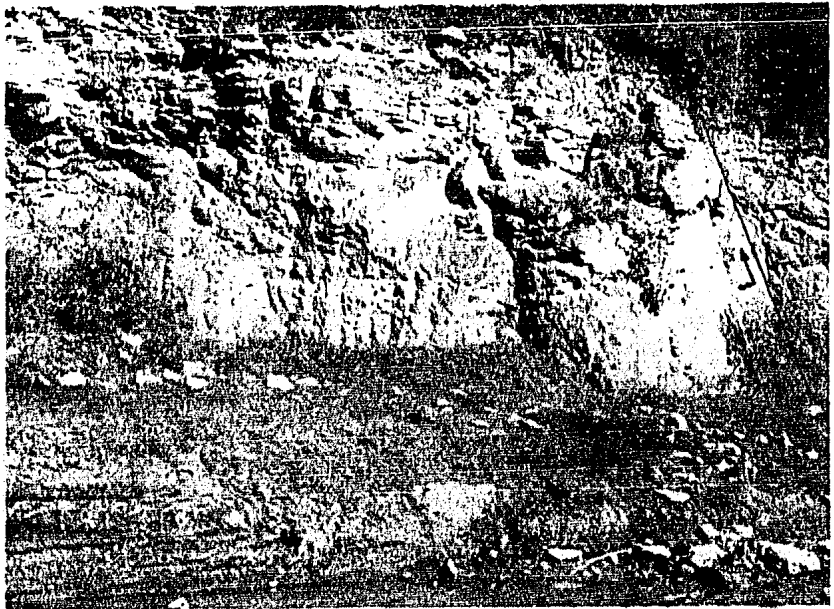


FOTO No. 3.- Contacto de toba básica sobreyacente en sedimentos lacustres; se observa la estratificación horizontal en los lacustres y una falla normal en la parte derecha. La localización es en el cruce del camino a San Rafael y el Río.



FOTO No. 4.- Abanico aluvial cercano a la confluencia de los ríos Florido y Huimilpan.



FOTO No. 5.- Graben de "La Cañada, viendo hacia el Oeste. Sobresalen los bloques afallados de la margen derecha y un bloque emergido en la parte central. Los contactos litológicos son de basaltos andesíticos en la parte superior y tobas subyacentes. Se evidencia la actividad del área de fosas tectónicas.



FOTO No. 6.- Afloramiento de toba riolítica de forma prismática. Se emplea como piedra cantonera. Zona Oriente de "La Cañada".

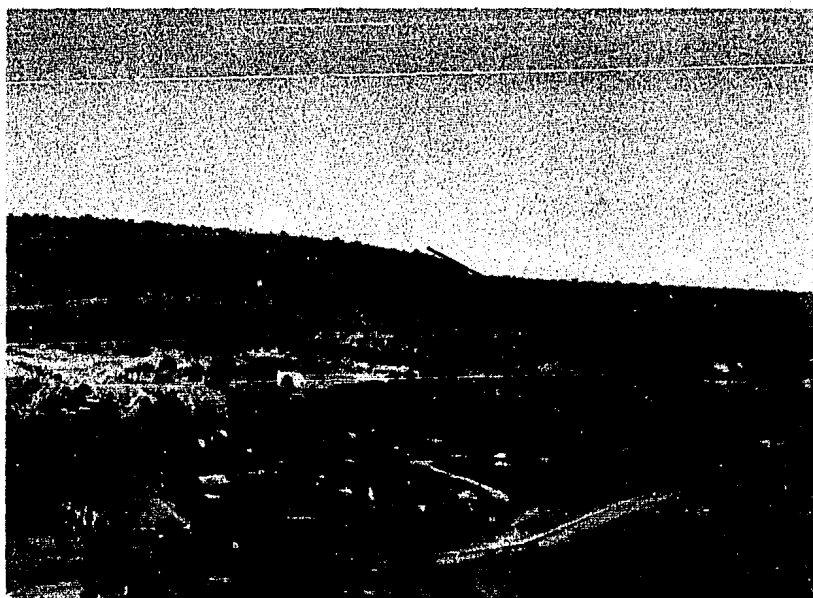


FOTO No. 7.- Corte sobre el flanco Norte de "La Cañada". Se observan las lavas basáltico-andesíticas sobre las tobas y el túnel del F.F.C.C. México-Piedras Negras.

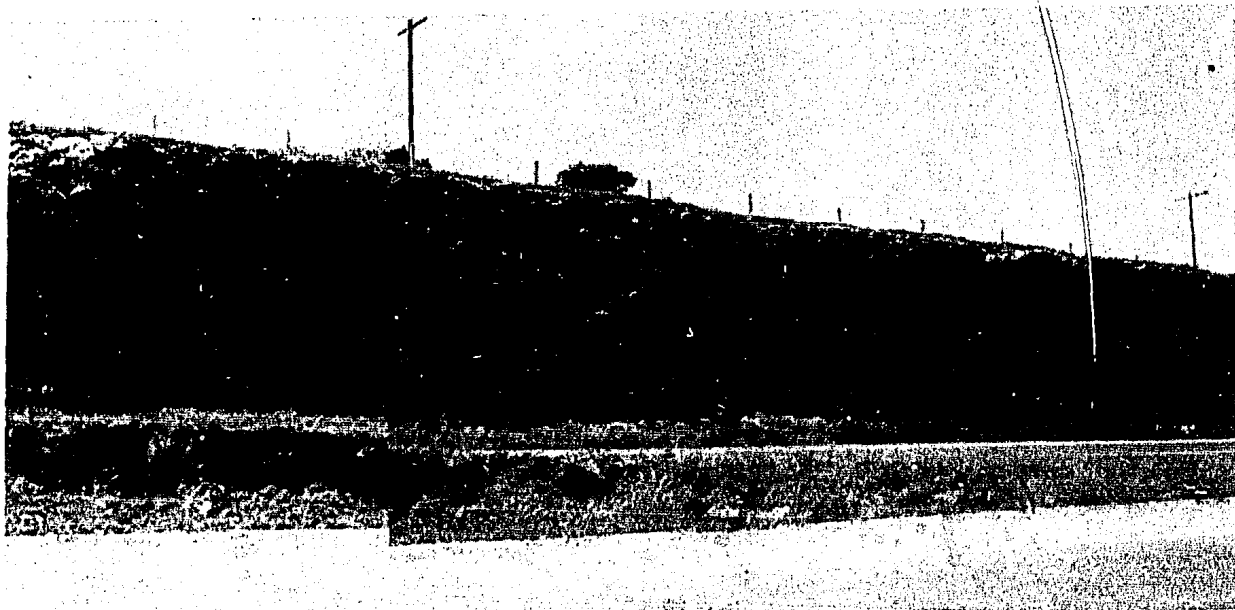
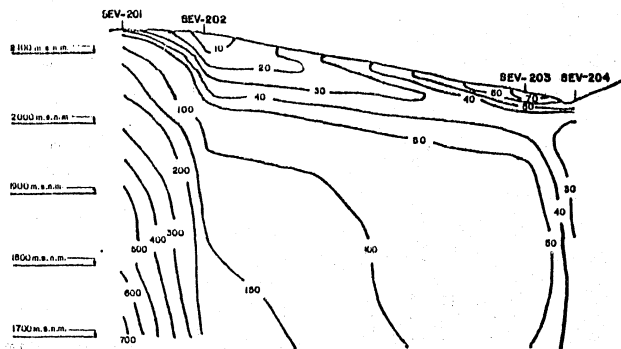


FOTO No. 8.- Afloramiento de toba y lapilli en un corte sobre la autopista México - Querétaro, en la zona denominada "La Cuesta China". La depositación ocurrió con mayor densidad de la toba sobre el lapilli, y posteriormente fueron deformados en un doble plegamiento sinclinal - anticlinal.

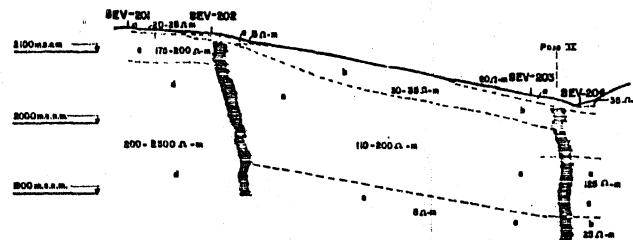
ISORRESISTIVIDADES



SIMBOLOGIA

BEV-201	SONDEO ELECTRICO VERTICAL
10	RESISTIVIDADES APARENTES
50	ISORRESISTIVIDADES APARENTES
---	CONTACTO GEOELECTRICO
↔	TRANSICION ELECTRICA
□	UNIDAD LITOLOGICA

RESULTADOS



EXPLICACION

- | | |
|---|---|
| a | RESISTIVIDADES DE 0, 20-25 Y 35 Ω-m; CORRESPONDE A LA COBERTURA SUPERFICIAL DE COMPOSICION VARIABLE, DESDE LOS FINOS HASTA LOS BOLEDES Y CANTOS RODADOS. |
| b | RESISTIVIDADES DE 25 Y 30-35 Ω-m; SE RELACIONA CON CUERPOS DE MATERIAL IGNEO DE ORIGEN PROCLASTICO, (TOBAS, TEZONTLES), Y/O TOBAS VOLCANICAS, DACITAS Y BRECHAS BASALTICAS FRACTURADAS. |
| c | RESISTIVIDADES DE 80, 110-200 Ω-m Y 175-200 Ω-m; SE RELACIONA CON CUERPOS DE MATERIAL IGNEO EXTRUSIVO, TOBAS VOLCANICAS, DACITAS Y ANDESITAS DE COMPACTAD Y PERMEABILIDAD VARIABLE. |
| d | RESISTIVIDADES DE 2000-2500 Ω-m; SE RELACIONA CON CUERPOS DE MATERIAL IGNEO, COMPACTO E IMPERMEABLE PUEDE TRATARSE DE BASALTOS Y ANDESITAS BASALTICAS. |
| e | RESISTIVIDAD DE 5 Ω-m; SE RELACIONA CON HORIZONTES DE ORIGEN SEDIMENTARIO, DEPOSITOS AGUJEROS Y/O LUTITAS - DECE. SER IMPERMEABLE. |

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARQUE NACIONAL "CERRO CIBATARO, QUERETARO.	
TESIS PROFESIONAL, 1984.	
PERFIL GEOFISICO	ESCALA: HORIZONTAL: 1:10 000 VERTICAL: 1:4000
J ALEJANDRO MEDINA MICHIMUA	PLANO No. 3

* BIBLIOGRAFIA *

DATOS BIBLIOGRAFICOS

- CARTA GEOLOGICA DEL ESTADO DE GUANAJUATO

E. López Ramos

Instituto de Geología, U.N.A.M., 1970.

LA ZONA DE VEDA DE LOS ACUIFEROS DE QUERETARO

Pérez Riveroll Ramón

Tesis Profesional

Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 1961.

BOSQUEJO GEOLOGICO DE LA ZONA DE NEUTLA, GTO.

Ledezma Guerrero Odilón

Tesis Profesional

Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 1960

- ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL VALLE DE QUERETARO

Fibela H.J.

Tesis Profesional

ESTA - IPN, 1968

- CARTAS DETENAL

F 14 C 65 Querétaro

F 14 C 66 Villa del Marquez

F 14 C 75 Apaseo el Alto

F 14 C 76 La Estancia

Escala 1:50,000 Geología y Topografía

FOTOGRAFÍAS AERÉAS DE AEROFOTO, S.A. 23 x 23 cm

VUELO	FAJA	No. FOTO	ESCALA
1959	20	12 a 18	1:30,000
P.I. Qro.	23	7 a 11	
	25	51 a 56	

- FOTOGRAFÍAS AERÉAS DE DETENAL B/N 23 x 23 cm

VUELO	ROLLO	FAJA	FOTO	ESCALA
ZONA 13A	1087	3	6 a 10	1 : 50,000
		14	102 a 112	
		15	88 97	
			40 - 50	

- HIDROLOGIA PRIMERA PARTE

Springall G. Rolando

Series del Instituto de Ingeniería , No. D-7

U.N.A.M. México 1970.

- PRINCIPIOS DE GEOQUÍMICA

Brian Mason

Ediciones Omega, S.A.

Barcelona, España, 1960

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE QUERÉTARO

Benton C. Andrés - Medina X. Alejandro

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas

México, 1982.

- **GEOLOGIA DE MEXICO TOMO III**
 E. López Ramos
 Segunda Edición
 México, 1981

- **GEOLOGIA DE MEXICO TOMO II**
 E. López Ramos
 Tercera Edición
 México, 1982.

- **VULCANOLOGIA DEL CENOZOICO**
 F. Mooser
 Sección I, Segundo Tomo
 XX Congreso Geológico Internacional
 Cd. de México, 1956
 Ed. Stylo, México, 1957

- **TABLAS Y CURVAS PATRÓN PARA SONDEOS ELECTRICOS
 VERTICALES EN TERRENOS ESTRATIFICADOS.**
 Ernesto Orellana y Harold M. Mooney
 Interciencia, Madrid 1966.

- **NORMALES CLIMATOLOGICAS.**
 Período de 1941 a 1970
 Dirección General de Geografía y Meteorología
 Servicio Meteorológico Nacional
 México, 1976

- **HIDROLOGIA SUBTERRANEA (TOMOS I, II, III)**
 E. Custodio y Mr. Llamas.
 Ediciones Omega
 Barcelona, España, 1976.

- PROSPECCION GEOELECTRICA EN CORRIENTE CONTINUA

Ernesto Orellana

Ed. Paraninfo, Madrid 1972.

- WATER WELL LOCATION BY FRACTURE TRACE MAPPING

William Sharpe & Dr. Richard Rarisek

Pennsylvania State University

University Park, P.A.

Water Well Journal No. 1979

- NUEVOS CONCEPTOS SOBRE LA INTERPRETACION DE
CURVAS S.E.V.

Ernesto Orellana y M.C. Hernández

Interciencia, Madrid 1980

- CARTA GEOHIDROLOGICA QUERETARO .

Diaz Escárcega Jesús Ing.

3ª Reunión Nacional de Perforación de Pozos

Septiembre de 1978.