

9  
2ef



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" INTEGRACION GEOLOGICA - GEOFISICA PARA LA EVALUACION  
GEOHIDROLOGICA UTILIZANDO REGISTROS GEOFISICOS  
DE POZOS EN ANGAMACUTIRO, MARAVATIO,  
PASTOR ORTIZ Y YURECUARO, MICH. "

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**INGENIERO GEOFISICO**

P R E S E N T A N :

SALVADOR RAMIREZ VALLES

ANGEL SANDOVAL ROJAS

MEXICO, D. F.



1990



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 está 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.

## INDICE

<u>TEMA</u>	<u>PAG.</u>
<b>INTRODUCCION</b> .....	2
a) Objetivo .....	2
b) Método de trabajo .....	2
Localización del Area de estudio .....	5
<b>CAPITULO I</b>	
<b>I GEOLOGIA DEL AREA</b> .....	6
I.1 Geomorfología (generalidades) .....	7
I.2 Geomorfología del Area .....	7
I.3 Geología .....	10
I.4 Estratigrafía Volcánica .....	11
I.5 Unidades Litológicas .....	13
I.6 Depósitos Recientes .....	17
<b>CAPITULO II</b>	
<b>II REGISTROS ELECTRICOS</b> .....	19
II.1 Registro de Potencial Espontáneo o Natural .....	20
II.2 Origen del SP .....	21
II.3 Potenciales Electroquímicos .....	22
II.4 Potenciales Electrocinéticos .....	22
II.5 Potencial Total .....	23
II.6 Comportamiento de la curva SP .....	24
II.7 Registros de Resistividad .....	25
II.8 Curvas Normales .....	25
II.9 Características de la Curva .....	26
II.10 Factores de Disturbio .....	27
II.11 Sonda Lateral o Inversa .....	28
II.12 Radios de Investigación .....	29
II.13 Correcciones .....	30
II.14 Forma de la Curva de Resistividad Aparente .....	30
II.15 Clasificación de las Formaciones .....	31
II.16 Registro de Resistividad .....	32
II.17 Principales usos de los Datos de Resistividad .....	34

II.18 Registro de Potencial Espontáneo .....	35
II.19 Peculiaridades de la Curva SP .....	37
II.20 Efectos de la Porosidad en el SP .....	38
II.21 Principales usos de la C. SP en pozos de Agua .	38
II.22 Estimación de la Porosidad y Permeabilidad ....	39

### CAPITULO III

III INTEGRACION GEOLOGICA GEOFISICA .....	40
III.1 Interpretación de los Perfiles de la zona de Angamacutiro-Pastor Ortiz, Michoacán .....	41
III.2 Interpretación de los Perfiles de la zona de Angamacutiro, Michoacán .....	43
III.3 Interpretación de los Perfiles de la zona de Maravatio, Michoacán .....	44
III.4 Interpretación de los Perfiles de la zona de Pastor Ortiz, Michoacán .....	48
III.5 Interpretación de los Perfiles de la zona de Yurécuaro, Michoacán .....	55

### CAPITULO IV

IV RESULTADOS .....	59
IV.1 Resultados de las Correlaciones Eléctricas en Angamacutiro-Pastor Ortiz .....	60
IV.2 Resultados de las Correlaciones Eléctricas en Maravatio .....	61
IV.3 Resultados de las Correlaciones Eléctricas en Pastor Ortiz .....	62
IV.4 Resultados de las Correlaciones Eléctricas en Yurécuaro .....	63
IV.5 Resultados de la Calidad del Agua para Riego ...	64
IV.6 Resultados de la Calidad del Agua para Consumo Humano .....	65
IV.7 Resultados de los Niveles Estáticos y Contenido de sólidos totales disueltos .....	66

### CAPITULO V

V CONCLUSIONES .....	68
----------------------	----

Bibliografía .....	73
Apéndice I .....	75
Apéndice II .....	85
Apéndice III .....	104
Apéndice IV .....	106
Apéndice V .....	107

## **INTRODUCCION**

## INTRODUCCION

En los últimos años se han realizado estudios Geohidrológicos los cuales se han basado principalmente en métodos geológicos para la determinación de flujos de carga y descarga de acuíferos en zonas factibles para la perforación de pozos. Las poblaciones han tenido un crecimiento que ha sido excesivo, al grado de presentarse una escasés del líquido por la demanda de éste.

La excesiva extracción del agua, ha propiciado que los mantos acuíferos hayan bajado su nivel freático, encontrándose cada vez a mayor profundidad y en algunos casos, los acuíferos someros se encuentran contaminados por la presencia de elementos pesados debido a desechos industriales y domésticos en la zona de descarga de los ríos cercanos a los pozos de abastecimiento de la población.

### a.- OBJETIVO.

El presente trabajo tiene como objetivo, proporcionar una localización de los posibles acuíferos existentes en las áreas de Pastor Ortiz, Angamacutiro, Yurécuaro y Maravatío, los cuales se encuentran al norte del estado de Michoacán a partir de registros eléctricos tomados en los pozos de cada área de estudio. Así como proporcionar las zonas de carga y descarga de los acuíferos y la determinación de la calidad y de la potabilidad del agua para diferentes usos.

### b.- METODO DE TRABAJO:

Para los propósitos mencionados anteriormente, se realizó el trabajo de gabinete con los informes de cada pozo de las áreas de estudio, los cuales fueron proporcionados por la Subdirección de Aguas Subterráneas de la SARH y tomándose en cuenta los trabajos geológicos previos realizados: F.I.-CFE (convenio), e informes de zonas cercanas a las áreas de estudio, los autores de dichos trabajos se citarán en su oportunidad.

A partir de la información recopilada se realizó la descripción de la geología superficial, basándose en las informaciones descritas en áreas cercanas a las del presente trabajo y con apoyo de cartas geológicas y topográficas de DETENAL, escala 1: 50,000 de cada zona en particular y los planos del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México para las áreas de Michoacán, Jalisco y Guanajuato, escala 1:500,000.

Se seleccionaron aquellos pozos cuyo informe contaban con la información más completa, sin embargo por falta de ésta, en los registros tomados no se realizaron análisis cuantitativos de los datos y sólo se da una interpretación cualitativa de los registros.

Los registros eléctricos obtenidos, se redujeron en su escala hasta 4 veces su tamaño original, para un mejor manejo, ya que se hicieron correlaciones eléctricas entre ellos para determinar la continuidad de los acuíferos en otros pozos.

No en todos los pozos se tomaron los mismos registros, pero en general se tienen los de potencial natural (SP) y resistividad (normal corta, normal larga y lateral) y en ocasiones sólo se contó con el registro de resistencia, el cual para los fines de nuestro trabajo no es útil, ya que lo afecta la geometría del arreglo utilizado.

De las electrocapas interpretadas en cada pozo por el análisis de éstas curvas, se realizaron correlaciones cuyas características y comportamientos eléctricos son similares, aunque en ocasiones, éstas no coinciden con los datos obtenidos de la perforación, contrastando en espesor y profundidad de capas y en los resultados sólo se describen aquellas electrocapas cuyas características pueden ser interpretadas como acuíferos.

Con el análisis de datos del nivel estático y de sólidos totales disueltos se realizaron las configuraciones respectivas de cada una de las zonas de estudio para identificar el posible comportamiento del movimiento subterráneo del agua y las zonas de carga y descarga.

Cabe resaltar que en la zona de Maravatío no se realizó la configuración de nivel estático por falta de datos, y en la zona de Angamacutiro no se hizo el estudio mencionado, por falta de información.

Se realizó un análisis hidrogeoquímico somero para determinar la calidad del agua para consumo humano y de riego, con base en los análisis químicos proporcionados.

La calidad del agua para cada pozo se estimó por medio de la clasificación Wilcox ó índice SAR en la que se involucran valores de conductividad eléctrica y las relaciones de los cationes Na, Ca y Mg para obtener su clasificación para riego de acuerdo a su composición química, al vaciar los resultados de cada análisis en la tabla del índice SAR se obtuvo la salinidad de cada una de las muestras.

Para consumo humano además de los anteriores elementos, se toman en cuenta el K,  $SO_4$ , Cl, pH, dureza total,  $HCO_3$  y  $CO_3$ , los

resultados son comparados contra las curvas patrón generadas en base a la tabla que publica la OMS donde se da la concentración máxima aceptable y permitida de cada uno de los elementos tomados para el estudio.



## LOCALIZACION DE LAS AREAS DE ESTUDIO.

El presente estudio se realizó en el estado de Michoacán, las zonas del estudio se encuentran localizadas entre las siguientes coordenadas geográficas:

Zona Pastor Ortiz-Angamacutiro:  $101^{\circ}28'30''$  a  $101^{\circ}45'$  LW y los paralelos  $20^{\circ}22'50''$  a  $20^{\circ}07'50''$  LN.

Zona Maravatío:  $100^{\circ}20'$  a  $100^{\circ}30'$  LW y los paralelos  $20^{\circ}00'$  a  $10^{\circ}45'$  LN.

Zona Yurécuaro:  $102^{\circ}13'$  a  $102^{\circ}33'50''$  LW y los paralelos  $20^{\circ}22'30''$  a  $20^{\circ}15'$  LN.

En general las zonas se encuentran bien comunicadas por carretera y ferrocarril. El clima predominante en las áreas es subhúmedo, característico de una región semiárida.

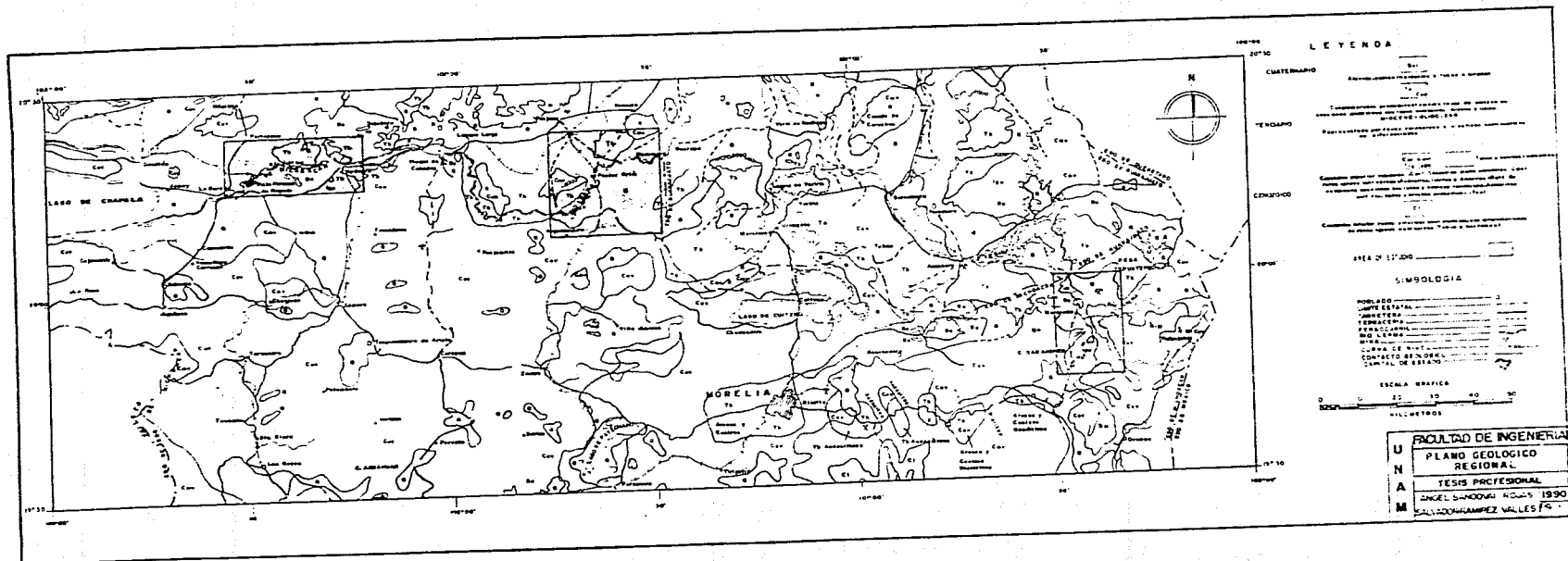
Fisiográficamente la zonas están localizadas en la provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano. Los Rasgos hidrográficos tienen un control estructural, siendo el principal colector el río Lerma.

El desarrollo estratigráfico y cronológico abarca todo el rango de unidades que desde el punto de vista geomorfológico, estructural y evolución magmática se designó a las diferentes unidades volcánicas desarrolladas, caracterizadas por litología y estructuras propias de cada una.

El vulcanismo del Eje Neovolcánico es característico de edad Pliocuaternario, con relaciones tectónicas, de nuestra área, asociadas a la subducción de la Placa de Cocos.

Nota:

Referida la zona de estudio en el PLANO GEOLOGICO REGIONAL. Fig: 1



## **CAPITULO I GEOLOGIA**

## I.1.- GEOMORFOLOGIA

### GENERALIDADES

La geomorfología es primordial para el estudio de la evolución geodinámica de cualquier porción de la corteza terrestre puesto que el relieve es el resultado de la combinación de procesos destructivos y constructivos. La importancia de su estudio se acrecenta cuando consideramos que la morfología influye en el habitat y distribución de los seres vivientes, y viceversa la actividad de ciertos seres vivientes, casi siempre el hombre, modifican constantemente y a corto plazo la forma de la superficie, convirtiéndose en uno de los agentes más degradantes del relieve terrestre.

En el area de estudio han interactuado los tres tipos principales de procesos formadores del relieve, como son los endógenos, los exógenos y los exógenos modeladores. Los primeros y más importantes se manifiestan por la actividad volcánica subclasificada como efusiva, extrusiva y explosiva, combinada con movimientos de carácter tectónico, el segundo tipo de relieve, está representado por depósitos lacustres, fluviales y aluviales. El relieve exógeno-modelador se caracteriza por presentar estructuras volcánicas modificadas por los agentes erosivos, particularmente reconocibles en las rocas Terciarias que son las más antiguas, y en las rocas Cuaternarias.

### I.2.- GEOMORFOLOGIA DEL AREA.

En la zona se pueden distinguir tres zonas geomorfológicas claramente diferenciables entre sí:

1.-La zona más distinguible y la que ha jugado el papel principal en el configurado topográfico de la región, es la originada por la actividad ígnea extrusiva, la cual forma parte de la Franja Volcánica Mexicana, como lo es el cinturón de fuego circumpacífico. Se considera al vulcanismo como un proceso geomórfico de tipo constructivo originado por fuerzas endogenéticas que junto con el diastrofismo son los encargados de elevar áreas de corteza terrestre. Localmente el vulcanismo presenta una topografía característica que se manifiesta en prominencias aisladas, sobrepuestas y en conjunto o sierras, cuyo origen y desarrollo pueden ser inferidos en base a observaciones

de erupciones volcánicas recientes como la del Parícutín en 1943 al sur del área.

El relieve endógeno volcánico explosivo está compuesto de ceniza, lapilli, escoria, bombas y bloques que representan laderas de piroclastos, pequeñas planicies, cráteres de explosión y algunos conos cineríticos. En realidad este tipo de conos están poco distribuidos en la zona, son de baja altura, algunos se asocian con pequeñas coladas y en general son jóvenes, los representan los cerros Gacho, Pelón, de los Ortiz y algunos otros carentes de nombre propio. El relieve volcánico extrusivo está dado por estructuras lávicas formadas por bloques originados dentro del cráter y que fueron expulsados sobre el terreno cuando ocurrieron los eventos volcánicos en el Cerro El Platanar. Otro relieve volcánico efusivo lo constituyen lavas, coladas y mesas, que junto con los estratovolcanes formados por la combinación de procesos efusivos y explosivos, constituyen las estructuras más sobresalientes y espectaculares como son; Los Cerros El Grande, El Grande II, El Grande III, el Muerto, El Encinal, Tacari, Las Gallinas, Blanco y otros.

Otro proceso endógeno que ha contribuido a modificar sustancialmente el relieve es el llamado tectónico, el cual le da al paisaje un aspecto escalonado por las grandes fallas normales emplazadas debido a tres diferentes fases distensivas ocurridas en distintas épocas.

Todas las formas originales del relieve endógeno han sido transformadas, entre otras cosas, por el intemperismo; el clima y la fracturación, acción de las cuales es más notoria en las rocas más antiguas.

Dentro de la zona volcánica, la acción de los procesos exógenos destructivos sólo ha sido de tipo fluvial, así tenemos que las corrientes intermitentes han desarrollado barrancos y han colaborado fuertemente para la destrucción de los conos cineríticos principalmente. Estas corrientes presentan dos patrones de drenaje característicos, pero nunca integran una red fluvial bien definida. Los patrones referidos incluyen el radial, con ocurrencias en los conos volcánicos y el subparalelo, de menor importancia y con desarrollo en los escalones de origen tectónico.

2.- Otra zona geomorfológica distinguible, la constituyen valles inter-montañas originados por antiguas cuencas exorréicas convertidas a endorréicas cuando fueron formados los grandes aparatos volcánicos, que incluyen acumulaciones de materiales piroclásticos finos y en ciertos lugares, son producto de procesos

exógenos agradacionales como aluviales.

3.-Otra zona geomorfológica importante en el configurado topográfico regional la constituyen unas planicies originadas por procesos exógenos constructivos de tipo lacustre. Grandes lagos se originaron a partir del Terciario Superior, ya sea porque la actividad volcánica actuó como barrera para cerrar cuencas y formar vasos, como ocurre en la planicie al este de la Piedad de Cabadas, en el norte de la ciudad de Zamora y en Colesio; o bien por estar íntimamente ligadas a los procesos tectónicos, como el graben que dió origen al lago de Chapala, representado en la zona de Pajacuarán-Venustiano Carranza por la Ciénega de Chapala.

Los sedimentos de origen lacustre incluyen intercalaciones de tobas y depósitos aluviales del Cuaternario llegando a formar planicies que constituyen el nivel de base local y que está limitado por grandes escarpes de falla que lo hace contrastar con la topografía alta de los aparatos volcánicos; también colindan transicionalmente con algunos depósitos de piedemonte y abruptamente con derrames emplazados posteriormente a la formación de los lagos de la región.

### I. 3. - GEOLOGIA

Rocas que componen la columna litológica de Yurecuaro.

#### INTRODUCCION:

En el área motivo de este estudio se identificaron 7 unidades litoestratigráficas informales Cenozoicas y unidades de depósitos recientes, todas ellas representan un lapso que se puede remontar desde el Reciente hasta el Mioceno Superior.

La información de las unidades estratigráficas para Angamacutiro, Maravatío y Pastor Ortiz que aquí se establecen es en algunos casos muy general obtenida de las cartas Geológicas de Detenal escala 1:50000 (Angamacutiro E14A15, Puruándiro F14D82, Abasolo F14D72 y Maravatío E14A15) y de estudios realizados en esta parte del Eje Neovolcánico, cuyas referencias bibliográficas se citan en su oportunidad.

De estas unidades, (6) son de carácter volcánico y la otra son depósitos recientes (que incluyen sedimentos lacustres desde el Plioceno Superior al Reciente, residuales producto del intemperismo Químico y Físico de las rocas volcánicas, piedemonte, palustres y aluviales propiamente dicho), que en ciertas áreas cubren discordantemente a las unidades Igneas y en otras son los productos volcánicos los que cubren parcialmente a estas unidades sedimentarias.

Estas rocas volcánicas expuestas en el área fueron agrupadas en 6 categorías de edad relativa, con base en sus características morfológicas y en las relaciones estratigráficas que presentan, dichas categorías se designaron como unidades de edad relativa A, B, C, D, E, F y G (unidad A es la más antigua y la unidad G la más reciente).

Se identificaron diversas estructuras volcánicas, las más numerosas son del tipo de conos cineríticos que aparecen acompañados por derrames; también se identificaron estratovolcanes, volcanes de escudos, domos y derrames aislados.

Los conos cineríticos y estrato volcanes, estructuras volcánicas cuya edad relativa es posible calcular a partir de mapas topográficos, con la base de que aparatos volcánicos muestran diferentes estados de degradación los que son un reflejo directo de su edad, así por Ej. los conos antiguos presentan al contrario de los jóvenes un pequeño ángulo de pendiente, barrancos largos y profundos desarrollando suelos residuales a partir de material volcánico.

Conocidos algunos fechamientos por carbono 14 de ciertos conos cineríticos y los resultados morfológicos obtenidos (Hasanaka y Carmichael 1985) se propone una columna estratigráfica (Fig.I.1) que muestra en forma tabular la posición estratigráfica de las unidades geológicas.

La clasificación de estas rocas se tomaron basándose en estudios petrográficos realizados en el convenio C.F.E.-U.N.A.M. 1985. Como los de Alor-Urbe 1986.

#### I.4.- ESTRATIGRAFIA VOLCANICA

Las rocas que afloran en el área de estudio representan un registro desde el Mioceno Superior al Reciente; las más antiguas son las rocas ígneas extrusivas de carácter ácido que afloran en la parte sur de la Piedad de Cabadas, fuera de la zona de estudio mientras que las más jóvenes son basaltos andesíticos del Holoceno. A partir del Plioceno Inferior la Actividad volcánica se manifestó de manera constante hasta el Reciente lo que formó coladas, mantos, estratovolcanes y conos cineríticos compuestos tanto de andesitas como de basaltos.

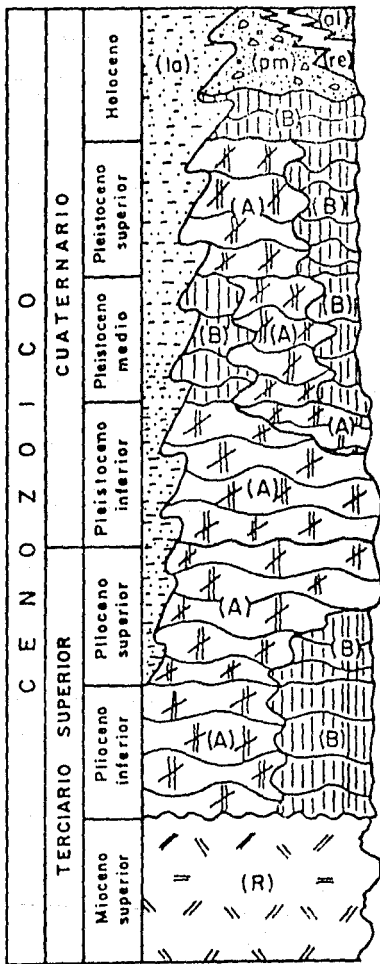
En ciertas áreas estas rocas se encuentran cubiertas por acumulaciones sedimentarias y en otras, son los productos volcánicos los que cubren parcialmente a depósitos de antiguos lagos: Las unidades sedimentarias que cubren a las ígneas consisten en depósitos lacustres, palustres, aluviales, suelos residuales y depósitos de piedemonte muy recientes y ampliamente distribuidos en el área, todas estas unidades se cartografiaron como sedimentos aluviales.

Los conos cineríticos y estratovolcanes de esta región del Estado de Michoacán son estructuras volcánicas cuya edad relativa es posible calcular con ciertas características mensurables a partir de mapas topográficos, con la base de que los aparatos volcánicos muestran diferentes estados de degradación los que son un reflejo directo de su edad. Así por ejemplo los conos antiguos presentan, al contrario de los jóvenes, un pequeño ángulo de pendiente, barrancos largos y profundos y desarrollan suelos residuales a partir de materiales volcánicos muy oxidados.

Las medidas de los conos pueden obtenerse de los mapas topográficos.

Las rocas volcánicas han estado bajo la acción de esfuerzos tectónicos ocurridos a partir del Plioceno, sin embargo la

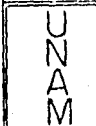




aluvial , residual  
 piedemonte , lacustre , palustre  
 Basaltos andesíticos de augita  
 Andesitas de olivino e hiperstena  
 Basaltos de olivino  
 Basaltos de olivino  
 Andesitas basálticas de olivino  
 Basaltos andesíticos de hornblenda  
 Andesitas basálticas de hiperstena  
 Andesitas de hornblenda  
 Andesitas basálticas de olivino  
 Basaltos andesíticos de olivino  
 Andesitas de hiperstena y olivino  
 Basaltos andesíticos de olivino  
 Vitrófidos riolíticos

NOTA:

COLUMNA ESTRATIGRAFICA  
 TOMADA DE LA TESIS  
 PROFESIONAL DE  
 IVÁN ALOR O.  
 JESUS URIBE L. 1986

	FACULTAD DE INGENIERIA	
	Columna estratigráfica	
	TESIS PROFESIONAL	ANGEL SARDUYAL R. SALVADOR R.V.
	1990	Fig. I. 1

deformación ocurrida en ésta región no ha modificado notablemente la posición original de las estructuras por lo que es posible reconocer la relación entre algunos derrames y conos con la consiguiente determinación de su posición estratigráfica, apoyándose además en fechamientos por carbono 14 de ciertos conos cineríticos (Haseneka y Carmichael en Alor-Urbe 1986).

Con el fin de asignar una posición estratigráfica a estas rocas, se agruparon en 6 categorías de edad relativa (A, B, C, D, E y F) que permiten representar con claves a las distintas unidades litológicas en un mapa geológico, se recurrió a los criterios de morfometría y a los estudios petrográficos realizados por Alor y Uribe 1986, convenio C.F.E.-U.N.A.M 1985, además de informaciones obtenidas de las cartas Geológicas de Detenal escala 1:50000 (La Barca F13d78, Angamacutiro E14A15, Puruándiro F14DB2, Abasolo F14D72 y Maravatio E14A15).

## I.5. - UNIDADES LITOLÓGICAS

### ROCAS IGNEAS.

Terciario.

Mioceno Superior.

Riolita.- esta unidad está constituida por rocas de carácter extrusivo ácido que afloran únicamente al sur de Piedad de Cabadas y al noreste de la población Churintzio, (fuera del área de estudio) presentan la forma de un típico domo riolítico que aflora como una ventana litológica o bien como una topografía exhumada. Su estructura es fluidal con intenso fracturamiento. En los cerros Churintzio y Cercado se encuentra muy erosionada e intemperizada. El carácter ácido, la edad relativa de las rocas, así como su ubicación restringida dentro de la región volcánica de Michoacán permite considerarlas como una unidad que no forma parte de la Cordillera Volcánica Mexicana y que por lo tanto constituye la roca basal sobre la cual están edificadas las rocas de la región (Robin, 1981).

Petrográficamente presentan un aspecto fluidal de textura vítrea hipocristalina con pequeños cristales diseminados; al microscopio se identificaron como minerales primarios, sanidina, tridimita, biotita y oligoclasa que forman bandas de color gris claro y gris oscuro. Como minerales accesorios se identificaron magnetita, apatito y perlita; como secundarios, hematita y sericita, (reporte petrográfico de Alor-Urbe, 1986).

Esta unidad se ha cartografiado como Riolita (Alor-Urbe, 1986), aunque la mineralogía y las texturas permiten clasificar a la roca como vitrófido riolítico ya que la matriz es vítrea cripto cristalina con fracturas concéntricas de tipo perlítico. Estas rocas se encuentran muy fracturadas y afectadas por la falla Churintzio del Plioceno Inferior lo que hace suponer que dicha estructura es un primitivo escalón de las primeras fases distensivas que dieron origen al graben de Chapala en su parte más oriental.

Unidad A.

Plioceno Inferior.

Andesita Tpli(A).- Las rocas que conforman esta unidad son de tipo intermedio y afloran principalmente al W de Yurécuaro, sobreyace a Riolitas del Mioceno superior y se encuentra muy fracturada, afectada por grandes fallas normales y ampliamente disectada por profundos barrancos de geometría radial.

La mayoría de estas andesitas forman parte de grandes volcanes

como los denominados Grande, Prieto, El Muerto y La bolita que a pesar de su alto grado de erosión y disección aún se reconocen estructuras cónicas y derrames lavicos.

A las muestras estudiadas petrográficamente (Alor-Urbe, 1986) se les observó fenocristales ferromagnesianos incluidos en una textura afanítica que varía de traquítica a subofítica y pilotaxítica con una matriz de plagioclasas, piroxenos y vidrio. Los minerales primarios son: andesina, labradorita en baja proporción, augita y hornblenda. La presencia de los minerales como la hiperstena y olivino, permite diferenciar dos clases de andesitas pues aunque algunas veces se encuentran los dos juntos, uno se presenta en mayor proporción que otro. Como minerales accesorios se encuentran, la magnetita, apatito y lamprobolita; como secundarios, hematita y sericita.

Estas rocas se presentan muy fracturadas, muy intemperizadas desarrollando suelos residuales y grandes bloques que en ocasiones se acumulan como depósitos de piedemonte.

#### Unidad B.

##### Plioceno Superior.

Andesita Tpis(A).- Estas rocas se encuentran aflorando principalmente en la parte Noreste de la zona de Yurécuaro y probablemente la unidad que cubre mayor superficie lo que da mayor importancia a los eventos volcánicos de esta época.

Los centros de emisión más importantes de estas lavas son los volcanes que se encuentran al norte y oriente de Yurécuaro, los del suroeste de Piedad de Cabadas y las Cuevas, al norte de Ixtlán de los Herbores. A estos derrames los complementan otros de menor importancia como los pequeños cerros ubicados aisladamente sobre la Ciénega de Cahapala. Por lo general estos derrames ocurren en bloques, muy compactos, vesiculares y se asocian con tobas y brechas volcánicas también compactas y muy fracturadas. Esta unidad intemperiza en bloques con desarrollo de suelo tipo residual.

Hacia la parte norte fuera del área de estudio, las andesitas se encuentran en contacto con derrames riolíticos y tobas ácidas que probablemente corresponden a las manifestaciones ígneas extrusivas más australes de la Sierra Madre Occidental, como son aquellas expuestas al noreste de Piedad de Cabadas, en los límites de los estados de Michoacán y Jalisco, (Alor-Urbe 1986).

En muestra de mano, presenta una textura porfídica con fenocristales de plagiocalsas y ferromagnesianos, y con aspecto vesicular.

Las rocas de esta unidad se han cartografiado como andesitas pero petrográficamente se han clasificado como andesitas basálticas de olivino con textura traquítica y subofítica. Sus minerales primarios son: Andesina, labradorita, olivino, augita y hornblenda, como minerales accesorios presenta opacos, apatito y vidrio, como minerales secundarios iddingsita y hematita (de Alor-Urbe 1986).

#### UNIDAD C.

Andesita-brecha volcánica andesítica Tpls(A-bvan).- Las rocas que componen esta unidad se localizan en la Sierra de Pajacuarán (fuera del área de Pajuarán) y sobreyacen a las andesitas del Plioceno Inferior que componen al Cerro grande. Se trata de un pequeño estratovolcán desarrollado probablemente en relación a las fallas que afectan esa zona. También se encuentran en el Cerro González al oeste de Tanhuato de Guerrero.

#### UNIDAD D.

Basalto Tpls(B).-A esta unidad corresponden emanaciones muy difundidas que lo mismo incluyen conos cineríticos, estratovolcanes y coladas de gran extensión que al parecer se han desarrollado con actitud alineada NW-SE poco clara, por lo que se cree aprovecharon fracturas o fallas con tal orientación que permitieron la extrusión de magmas durante el Plioceno.

Las principales estructuras basálticas del Plioceno Superior se localizan al SW de Vista Hermosa de Negrete (gran parte fuera del área de estudio).

Las rocas de esta unidad han sido cartografiadas como basaltos y clasificadas petrográficamente como basaltos andesíticos. Al microscopio presentan texturas subofíticas con matriz de piroxenos, sus minerales primarios son labradorita, andesina en igual proporción y olivino, los minerales accesorios son opacos y piroxenos y los secundarios son iddingsita y hematita, (Alor-Urbe 1986).

#### UNIDAD E.

Toba Andesítica Qploi(tan).- Esta unidad corresponde a los depósitos piroclásticos producidos durante la emisión de las andesitas, localizadas solo en algunos lugares, como la que se encuentra al SW de Tanhuato de Guerrero y otros sin nombre propio junto a Fco. J. Mújica.

#### UNIDAD F.

Andesita Qpilos(A).- A esta unidad corresponden rocas de tipo intermedio escasamente difundidas por las cartas que comprenden la zona de estudio. Dentro de estas manifestaciones volcánicas del Pleistoceno se pueden mencionar las que conforman los cerros Prieto y la Ceniza, al SE de Tanhuato y algunos pequeños cerros ubicados sobre la Sierra de Pajacuarán, en los alrededores de el Platanal, el Cometa y la Estanzuela; estos últimos incluyen en su estructura un alto porcentaje de piroclastos y tobas. También se clasificaron como andesitas del Pleistoceno Superior (Alor- Uribe 1986) a las rocas que conforman el cono de la localidad de Chilchota, fuera del área cartografiada, son rocas compactas, algo vesiculares, poco fracturadas y con desarrollo de escaso suelo. En muestra de mano presentan un color gris oscuro, textura afanítica con fenocristales de ferromagnesianos y óxidos. En estudios petrográficos de acuerdo con Alor-Urbe 1986, presentan texturas hialopilitica y traquítica con matriz vítrea, como minerales esenciales tenemos plagioclasas (oligoclasa, andesina y labradorita), olivino e hiperstena, como accesorios minerales opacos, vidrio y apatito.

#### UNIDAD G.

Basalto Qpilos(B).- A esta unidad corresponden las rocas de los últimos eventos volcánicos del Pleistoceno, dentro del área. Estas se encuentran aflorando al noreste de Villa Chavinda, al sur de la Luz, al noreste de Ixtlán, al suroeste de Tanhuato, en el Cometa, la Cuestita y en la Providencia; los últimos tres mencionados están asociados en gran medida con tobas y piroclastos basálticos. Se presentan compactas en estructura de derrame, con escaso fracturamiento, de color gris oscuro y con fenocristales de plagioclasas.

De acuerdo con los estudios petrográficos realizados por Alor-Urbe presentan textura hialofítica y subofítica con matriz vítrea con plagioclasa y piroxenos. Los minerales primarios son labradorita, andesina, augita y olivino; y como accesorios la pigeonita y minerales opacos.

## I.6. -DEPOSITOS RECIENTES

En el área se encuentran depósitos recientes que por lo general ocupan las partes bajas, los depósitos lacustres consisten principalmente de arenas finas y arcillas.

También se encuentran depósitos de piedemonte acumulados al pie de las estructuras mayores, se delimitaron las arenas de acumulación aluvial, aquellas zonas que presentaron intemperismo químico avanzado, se cartografiaron como depósitos aluviales, mismos que se desarrollaron principalmente a partir de las rocas basálticas lávicas o piroclásticas.

Depósitos Lacustres.- Esta unidad esta compuesta por depósitos lacustres (lagos) que han sido acumulados probablemente desde el Plioceno Superior hasta el Reciente aprovechando las depresiones formadas por los sistemas de escalones de fallas normales.

Estos depósitos son de mayor importancia debido a la extensión territorial que poseen, sin embargo las áreas más importantes se sitúan en los alrededores de las Ciudades y Poblados como son la Barca, Pajacuarán, Villamar, Arío de Rayón, Yurécuaro, Ecuandoreo y Churintzio.

En su base, según lo muestran perforaciones hechas en la zona de los Negritos e Ixtlán, están presentes capas de limonitas, arenas, diatomitas y gravas intercaladas con derrames basálticos, tobas y brechas volcánicas del Plioceno hacia su cima están presentes limonitas, tobas, arenas, gravas y depósitos de piedemonte y palustres intercalados con derrames lávicos del Cuaternario el máximo espesor aproximado de estos depósitos es de 500m. (Guerrero 1978, Macías 1981 y Alor-Urbe 1986).

Las características sedimentológicas y estructurales de estos depósitos permiten considerarlos como roca sello de las emanaciones de fluidos termales presentes en sitios térmicos del occidente de Yurécuaro y son utilizados actualmente como campos de cultivo de temporal de gran importancia para la región.

Residual.- Esta unidad esta constituida de suelos de tipo residual producto del intemperismo químico y físico de las rocas expuestas en la región ya sean derrames lávicos o bien tobas y brechas volcánicas. Los suelos de esta unidad se componen de arcilla y están ampliamente distribuidos, como ejemplo se puede citar a los del Suroeste de la Piedad de Cabadas o los del Sur de Vista Hermosa. Estos últimos son utilizados para cultivo de riego, así como áreas de pastizal para la ganadería.

**Piedemonte.**- Esta unidad esta formada por depósitos de piedemonte acumulados en los cambios de pendiente en valles inter-montañosos y en la periferia de las planicies lacustres.

Esta constituida de arenas, gravas y bloques, productos de intemperismo físico de las rocas y acumulados por la acción de la gravedad y en menor proporción por la acción de corrientes fluviales intermitentes.

Su extensión superficial es restringida, así como su composición granulométrica no permite el desarrollo de buenos suelos por lo que se utilizan parcialmente como zonas de pastoreo o para cultivos nómadas.

**Palustre.**- Estos depósitos son de extensión muy restringida y sólo se les encuentra en las inmediaciones de las presas del noroccidente del área como son las presas de Gonzálo, Grande y Palo Dulce entre otras, su granulometría consiste de arcilla, limo y arenas finas característicamente de ambientes de pantanos.

**Aluvial.**- Las acumulaciones sedimentarias que conforman esta unidad son gravas finas, arenas y limos depositados por corrientes fluviales intermitentes y perennes de las que son de mayor importancia los Ríos Duero y Lerma al Norte y Noroeste del área.

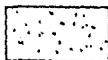
**Nota:** Las Unidades Litológicas que aparecen en este estudio fueron cartografiados anteriormente en otro trabajo de tesis para la zona de Yurécuaro, las cuales estan localizadas en la Fig. I.2.

Las zonas de Angamacutiro-Pastor Ortiz y Maravatio no se realizo una descripción a detalle, ya que no es el objetivo de este estudio, las Unidades Litológicas son similares y estan localizadas en las Fig. I.3 y I.4.

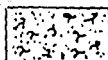


# SIMBOLOGIA GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.

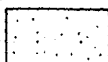
ARENA



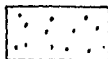
ARENA CUARSOSA



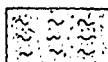
ARENA FINA



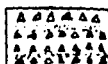
ARENA GRUESA



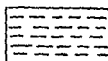
ARENA LIMOSA



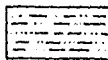
AGLOMERADO



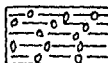
ARCILLA



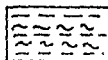
ARCILLA ARENOSA



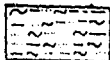
ARCILLA CON GRAVA



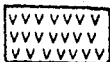
ARCILLA LIMOSA



ARCILLA LIMO ARENOSA



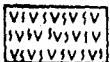
BASALTO



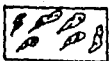
BASALTO ALTERADO



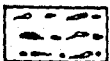
BASALTO FRACTURADO



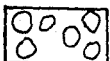
BASALTO VESICULAR



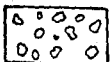
CALCEDONEA Y PEDERNAL



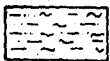
CONGLOMERADO



GRAVA



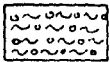
GRAVA ARCILLOSA-LIMOSA  
CON ARENA



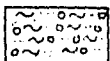
GRAVA Y ARENA



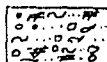
GRAVA LIMOSA



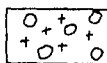
GRAVA LIMO ARENOSA



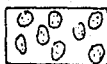
GRAVA LIMO-ARENOSA  
CON INTERCALACIONES  
DE DIATOMITAS



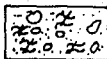
GRAVA CON OBSIDIANA



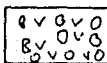
GRAVA PUMICITICA



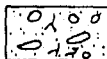
GRAVA RIOLITICA



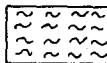
GRAVA DE ROCA IGNEA  
EXTRUCIVA



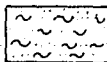
GRAVA DE ROCA IGNEA  
PEDERNAL Y CUARZO



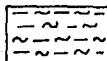
LIMO



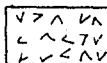
LIMO ARENOSO



LIMO ARCILLOSO



MATERIAL PIROCLASTICO



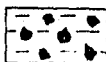
TOBA



TOBA ARENOSA



TOBA ARCILLOSA



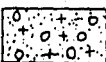
TOBA ARCILLOSA ARENOSA



TOBA CON GRAVA



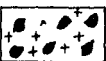
TOBA LITICA



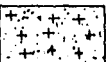
TOBA CON POMEZ



TOBA RIOLITICA



VIDRIO VOLCANICO



**CAPITULO II**  
**REGISTROS ELECTRICOS**

## REGISTROS ELECTRICOS

### HERRAMIENTAS: PRINCIPIOS BASICOS.

#### II.1.- REGISTRO DE POTENCIAL ESPONTANEO o NATURAL.

El registro de potencial espontáneo o SP es usado ampliamente para la localización de capas porosas y permeables atravezadas por un pozo, sin embargo, no se obtienen valores de éstos parámetros directamente del registro.

Este registro se presenta generalmente con el registro eléctrico y aparece en el primer carril.

Usualmente el registro SP tiene de una línea base, más o menos recta o constante en tramos grandes. Se ha comprobado que esta línea base frecuentemente corresponde a capas impermeables (potencial de las lutitas), además no tiene una localización definitiva en el registro, algunas veces cambia abruptamente mientras que en otros la deriva gradual es aparente, y es a partir de esta línea de referencia, que se hacen las lecturas del potencial frente capas porosas y permeables, es decir, que la escala del SP en el registro no tiene cero. El potencial puede ser negativo o positivo según la curva se desplace hacia la izquierda o hacia la derecha de la línea base de lutitas.

El potencial espontáneo de la formaciones en un pozo se define como la diferencia de potencial que existe entre un electrodo colocado en la superficie del suelo y otro electrodo móvil en el lodo dentro del pozo. En forma práctica, la medida del SP se obtiene mediante un electrodo que va en la misma sonda, con la cual se obtienen simultáneamente otros registros y un electrodo colocado en la superficie en un medio húmedo que bien puede ser la presa del lodo de perforación o un agujero en la vecindad del camión de registros. Se coloca un circuito potenciométrico como se muestra en la fig. II.1 entre el electrodo móvil (M) y el fijo (N). La grabación registra las deflexiones de los potenciales originados, por medio de un galvanómetro, que responde a las variaciones del flujo de corrientes que en el momento atraviezan el circuito.

En los pozos en los cuales son grabados los registros de SP siempre se deben utilizar lodos con base agua y debe de existir una diferencia de salinidad entre el pozo y la formación para que pueda operar. La densidad del lodo es tal que para cada profundidad, la presión hidrostática en el agujero es mayor que en las formaciones; como resultado, el fluido que contienen las capas permeables no puede contaminar el lodo que está en constante circulación durante la perforación.

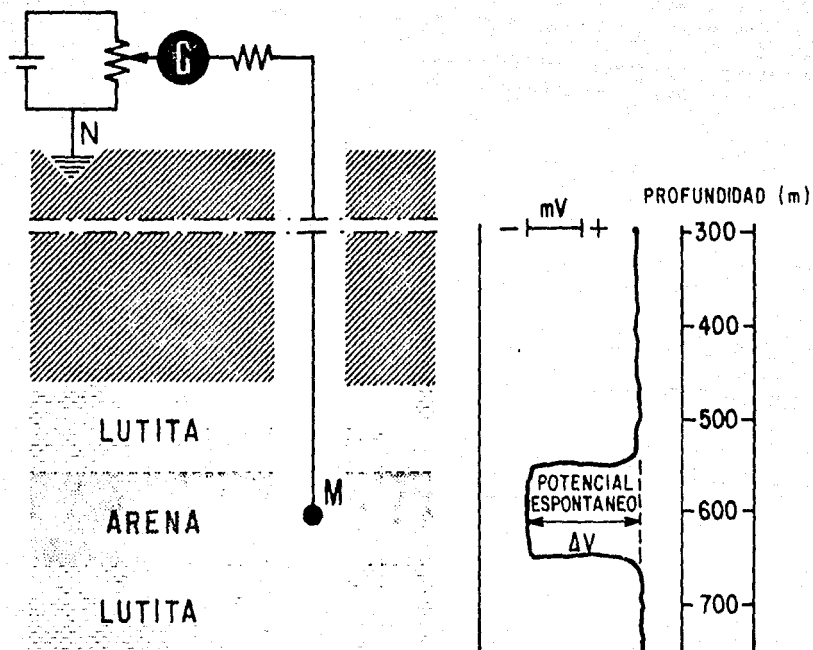


FIG. II.1 PRINCIPIO DE MEDICION DEL SP

## II.2. - Origen del SP

Las deflexiones en la curva SP son resultado del flujo de corrientes eléctricas producidas por el contacto entre fluidos de diferente salinidad, en el pozo.

Las deflexiones que se producen a partir de la línea base se deben al contraste de salinidades, las cuales pueden ser positivas o negativas, esto es si el fluido que existe en la roca contiene mas salinidad que el fluido de perforación, se generará en el registro una deflexión hacia la izquierda y viceversa en el caso de que el fluido de perforación sea más salado que el agua de la roca. La unidad de medida del SP es el milivolt (mV) y los valores de la escala son normalmente de 10 a 20 mV. por escala de división.

Con lodos ordinarios ( $R_{mf} \gg R_v$ ), la curva de potencial espontáneo se usa para:

- 1.- Localización de capas permeables.
- 2.- Determinación de límites de capas.
- 3.- Correlación de capas.
- 4.- Determinación de la resistividad del agua intersticial de las formaciones ( $R_w$ ).

5.- Conocer cuantitativamente el contenido de lutita en una capa.

Estas "corrientes SP" son causadas por fuerzas electromotrices en las formaciones las cuales son de origen electroquímico y electrocinético, estas se muestran en la figura II.2, II.2.1.

Para el caso de este trabajo es deseable que  $R_v \gg R_{mf}$  por la sencilla razón que se busca para fines de consumo humano y riego.

Hay que considerar también que estas definiciones

involucran únicamente iones de  $Na^+$  y  $Cl^-$ , no muy comunes a poca profundidad, los estudios y trabajos realizados hasta ahora para fines geohidrológicos requieren de un análisis de la muestra para determinar el equivalente en NaCl.

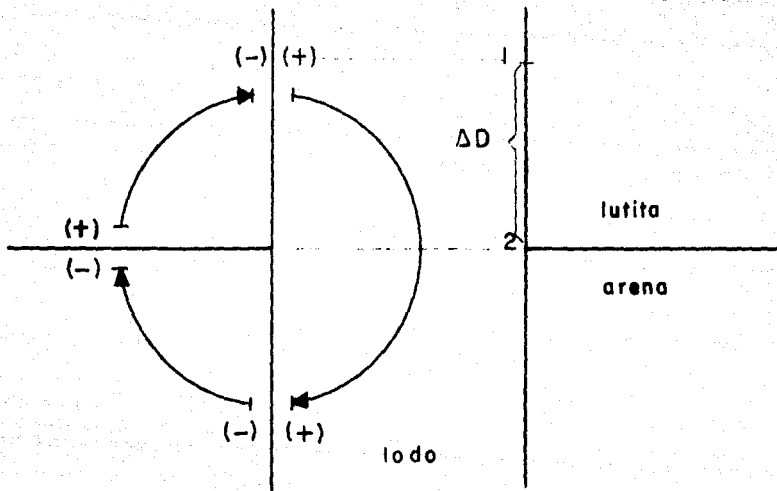
Los potenciales que dan origen al Potencial Espontáneo pueden ser: (fig. II.3).

a.- Un potencial Electroquímico ( $E_{ah}$ ), existente entre la lutita impermeable, su interfase horizontal con la zona permeable y la interfase vertical con el agujero.

b.- Un potencial Electroquímico ( $E_d$ ), existente através de la transición entre la zona invadida y no invadida en la capa permeable.



a)



$R_m$  = RESISTIVIDAD DEL LODO.

$R_s$  = RESISTIVIDAD DEL SISTEMA ARENA - AGUA.

$R_{sh}$  = RESISTIVIDAD DE LA LUTITA.

b)

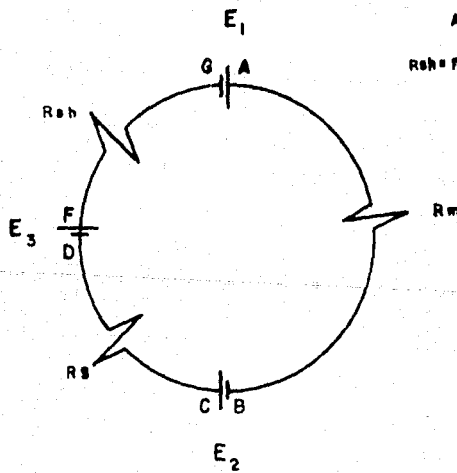
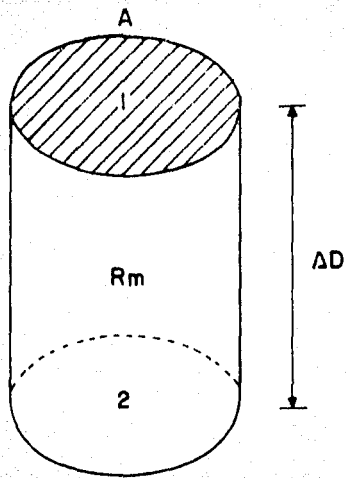


FIG. 11.2

a) CIRCUITO TEORICO EQUIVALENTE AL REAL

b) MODELO EQUIVALENTE A (a)



$\Delta D$  = LONGITUD DEL CILINDRO.

$A$  = AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL AGUJERO.

$R_m$  = RESISTIVIDAD DEL LODO.

FIG. II.2.1 RESISTENCIA ELECTRICA EQUIVALENTE AL TRAMO.

1-2 DE LA FIG. II.2

c.- Un potencial Electrocinético ( $E_{mc}$ ), existente entre el enjarre.

d.- Un potencial Electrocinético ( $E_{ab}$ ), existente entre una capa delgada de lutita junto al agujero.

### II.3.- Potenciales Electroquímicos.

El potencial  $E_{ah}$ , es un potencial de membrana asociado con el paso selectivo de iones en la lutita. Debido a la estructura laminar de la arcilla y de las cargas en las capas, el ión  $Na^+$  pasa, el ión  $Cl^-$  se retiene, cuando la lutita separa soluciones de cloruro de sodio de diferente concentración, los iones de  $Na^+$  se mueven através de la lutita, de la solución más concentrada (generalmente el agua de la formación) a la solución menos concentrada (lodo). Esto constituye un flujo de corriente, la magnitud del potencial que causa este flujo es función de las actividades iónicas de las dos soluciones.

El potencial  $E_d$  conocido como de difusión, existe entre la interfase de soluciones de diferente salinidad. Los iones  $Cl^-$  tienen mayor movilidad que los  $Na^+$ , por lo tanto es un flujo neto de cargas negativas, del agua de formación de mayor concentración al filtrado de lodo. Esto es equivalente a un flujo de corriente en dirección opuesta.

La combinación de estos potenciales da el potencial electroquímico total.

$$E_{ec} = -K \log (R_{mfe} / R_{ve})$$

donde K es una constante que depende de la temperatura.

$$K = 60 + 0.13 T \text{ (en grados Farenheit).}$$

$$K = 64 + 0.24 T \text{ (en grados centígrados).}$$

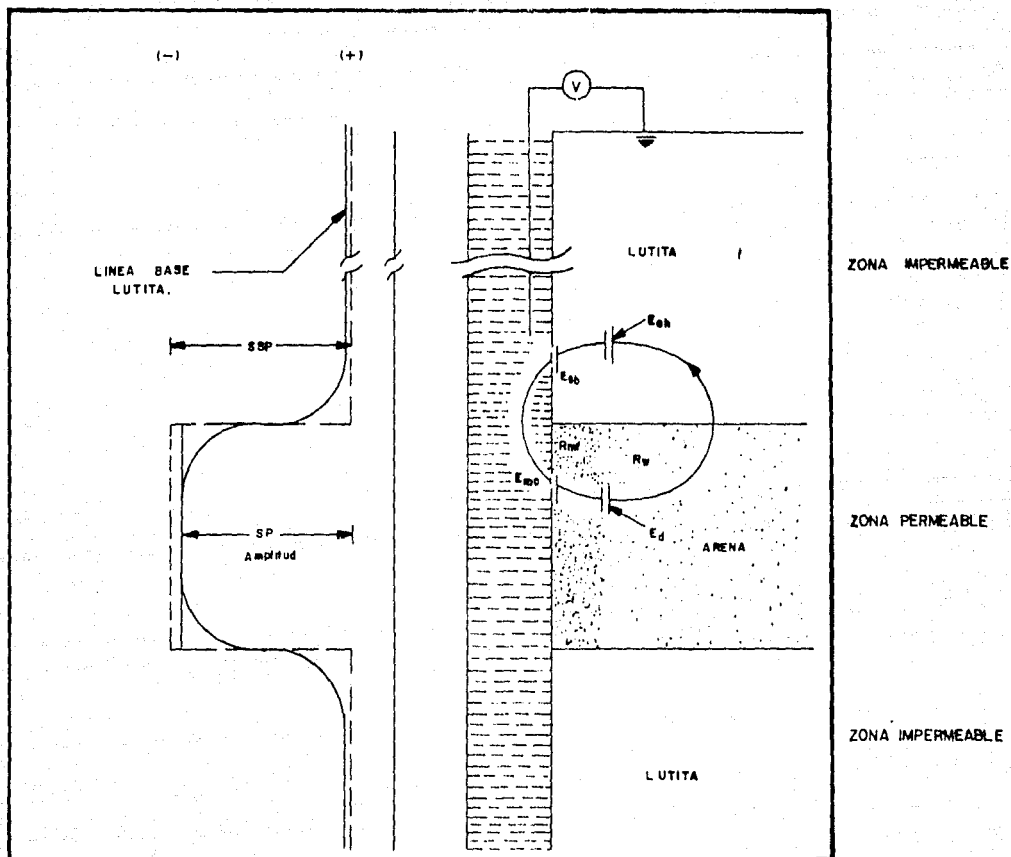
$R_{mfe}$  = Resistividad del filtrado del lodo equivalente.

$R_{ve}$  = Resistividad del agua equivalente.

Típicamente,  $E_{ec}$  varía de 70 a 100 mv para lodos dulces y formaciones con agua salada.

### II.4.- Potenciales de Electrofiltración ó Electrocinéticos.

El potencial  $E_{mc}$  através del enjarre es de diferente naturaleza, es un potencial que produce el flujo del electrolito, filtrado del lodo, através del medio poroso del enjarre. La magnitud no se puede predecir con exactitud, sin embargo una relación aproximada



- $R_w$  : RESISTIVIDAD DEL AGUA.  
 $R_{mf}$  : RESISTIVIDAD DEL FILTRADO DEL LODO.  
 SSP : POTENCIAL ESPONTANEO ESTADICO.  
 SP : POTENCIAL NATURAL.  
 $E_d$  : POTENCIAL ELECTROQUIMICO.  
 $E_{sh}$  : POTENCIAL ELECTROQUIMICO.  
 $E_{mc}$  : POTENCIAL ELECTROKINETICO.  
 $E_{ob}$  : POTENCIAL ELECTROKINETICO.

FIG. 11.3

POTENCIALES ELECTRICOS QUE ORIGINAN EL SP. ( $R_{mf} \gg R_w$ )

para este valor en mv, esta dada por:

$$E_{mc} = 0.04 (R_{mc} * h_{mc} * f)^{1/2} \Delta P$$

donde:

$\Delta P$  = Presión diferencial entre el agujero y la formación, psi.

$R_{mc}$  = Resistividad del enjarre, ohm-m.

$h_{mc}$  = Espesor del enjarre, pulgadas.

$f$  = Pérdida de agua del lodo, cc / 30 mm / 100 psi,  $d = 9$  cm.

Este potencial genera muy pocos milivolts que se agregarían a  $E_{oc}$ , para el caso en que  $R_{mf} > R_v$ , el potencial de electrofiltración es muy pequeño.

**II.5. - Potencial Total.** - La contribución electroquímica es la que se considera para obtener el Potencial Natural ya que el potencial electrocinético es insignificante y a éste potencial se le denota Potencial Espontáneo Estático (SSP).

$$SSP = - K \log (R_{mf} / R_v)$$

Esta es la ecuación fundamental del SP y es una relación importante ya que podemos obtener  $R_v$  de valores medidos de SSP y  $R_{mf}$ .

El contacto entre formaciones de diferente mineralogía así como las diferentes salinidades entre los líquidos de las formaciones y el lodo de perforación, genera un potencial espontáneo.

Las sales disueltas se mueven de una solución relativamente concentrada a una solución menos concentrada a partir del lodo de perforación a las formaciones, los iones tienen diferentes velocidades, esto nos da un déficit de cargas eléctricas (de signo positivo o negativo) en el agujero con respecto a la formación.

La magnitud de éste déficit, el potencial de difusión, puede tener el máximo valor dado en la siguiente fórmula:

$$E_d = \frac{v - u}{v + u} \frac{RT}{nF} \ln C_m / C_v + K_d \log R_v / R_m \quad (1)$$

$v$  = movilidad del anión

$u$  = movilidad del catión

$C_m, R_m$  = salinidad, resistividad del lodo

$C_v, R_v$  = salinidad del agua de la formación, resistividad

$R$  = constante universal del gas (= 8,314 Joule / Kg \* mol \* °K)

$T$  = temperatura absoluta en grados Kelvin (°K)

$F$  = constante de Faraday (=  $9.65 \times 10^3$  Coulomb / Kg \* aeq)

$n$  = valencia del ión

Frente a la capa de arcilla, ocurre otro fenómeno en el agujero,

como las partículas de arcilla producen cargas eléctricas negativas, ésta funciona como una membrana que es más o menos impermeable a los aniones. Esto genera un potencial de membrana, que se deriva de la fórmula (1), considerando  $v=0$ :

$$E_m = - \frac{RT}{nF} \ln C_m / C_v \approx - K_m \log R_v / R_m \quad (2)$$

Para las soluciones de NaCl, la constante  $K_d$  es aproximadamente el 20 % de  $K_m$  a la temperatura de la profundidad del medio.

La necesaria sobrepresión del lodo causa invasión del filtrado de lodo en las formaciones; esto produce un potencial electrocinético. A profundidades relativamente someras alcanzadas en investigaciones geohidrológicas, este potencial es insignificante.

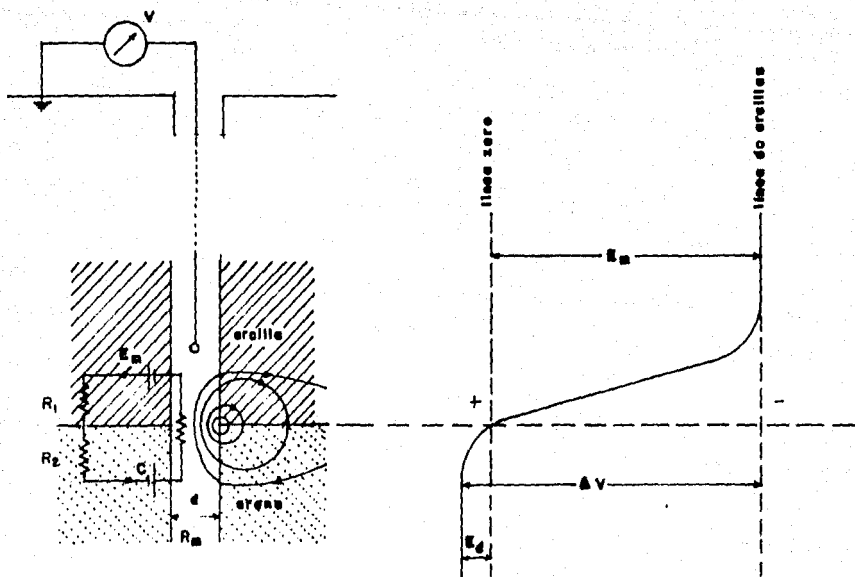
El principal es el efecto combinado de los potenciales de difusión y membrana de (1) y (2), fig.II.4. El máximo potencial se crea en el lodo en la interfase entre una capa arenosa y una capa de arcilla que contienen agua en los poros con igual resistividad, por lo tanto:

$$\Delta V = E_d - E_m \approx (K_d + K_m) \log R_v / R_m = K \log R_v / R_m \quad (3)$$

Si el agua de los poros contiene únicamente NaCl, el valor teórico de  $K$  es 70 mV a 24°C. La ocurrencia de varios iones con diferentes valores hacen complicada la descripción cuantitativa del SP, de hecho, el máximo efecto no puede ser medido ya que la columna de lodo crea un corto circuito. La parte medible depende de las resistencias en el circuito de corriente que forman la capa de arena, arcilla y la columna de lodo, es decir por las formaciones, resistividad del lodo y diámetro del agujero. Sobre todo los espesores de las capas influyen en el potencial, si se encuentran capas delgadas de arena o arcilla, se generan menores desviaciones que estratos con dimensiones mayores.

## II.6.- Comportamiento de la curva SP

El SP se vuelve cero cuando  $R_{mf} = R_v$  y positivo cuando  $R_{mf} < R_v$ . En un pozo típico con agua dulce, se pueden observar los siguientes comportamientos: A profundidades muy someras donde el agua de formación es dulce, el SP es positivo, alrededor de los 300 mV; el SP tiende a cero a medida que se profundiza, el agua de formación gradualmente se vuelve más salada y el SP aumenta en magnitud (negativamente). A profundidades mayores el agua



$E_m$  : POTENCIAL DE MEMBRANA.

$R_m$  : RESISTIVIDAD DEL LODO.

$E_d$  : POTENCIAL DE DIFUSION.

$R_1 / R_2$  RESISTIVIDAD DE LA CAPA 1,2

$d$  : DIAMETRO DEL AGUERO.

$\Delta V$  : MAXIMO POTENCIAL GENERADO.

Fig.11.4 REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL POTENCIAL ESPONTANEO

congénita disminuye la salinidad, especialmente cuando las formaciones están sobrepresionadas. En tal caso el SP reduce su magnitud, en casos poco comunes puede volverse positivo.

## II.7.- Registros de Resistividad.

La resistividad es una propiedad de uso muy frecuente tanto en la interpretación cualitativa como en la interpretación cuantitativa de los registros eléctricos de pozos. La medición de esta propiedad se logra mediante un sistema de electrodos que se introducen al pozo, siendo el lodo el medio conductor que liga los electrodos con las formaciones.

Los electrodos van montados en una sonda y dependiendo del arreglo de los electrodos emisores de corriente y los de medida, los arreglos que se utilizan son normal y lateral.

Los valores de resistividad de las formaciones son sumamente variables ya que dependen no solo del tipo de roca de que se trate sino también del tipo y distribución de los fluidos que la saturan. La unidad de medida de la resistividad es el Ohm-m.

## II.8.- Curvas Normales.

Muchos arreglos de electrodos han sido usados en registros de resistividad y éstos se han generalizado a 16 pulgadas de espaciamento llamado normal corta ( $AM = 16''$ ) y a 64 pulgadas llamado normal larga ( $AM' = 64''$ ).

Principios de medida:

Se tiene 2 electrodos de corriente A y B y dos electrodos de potencial M y N.

El potencial (V) transmitido del electrodo A al electrodo M está dado por  $V = RI / 4\pi (AM)$  donde R es la resistividad de un medio homogéneo, I es la intensidad de corriente constante que viene de A y (AM) es el espaciamento de electrodos. Es evidente que si A y M tienen un espaciamento cerrado, B y N estarán apartadas para que no afecten el arreglo y el potencial transmitido desde A a M sea el único existente.

Objetivo y medida de propiedades:

- 1.- Para la normal corta ( $AM=16''$ ) el objetivo es la resistividad de la zona invadida ( $Ri$ ).
- 2.- Para la normal larga ( $64''$ ) el objetivo es una resistividad intermedia.
- 3.- En trabajos de correlación geológica, la normal corta es



muy usada ya que responde a la litología.

## II.9. - Características de la curva:

Una característica de este registro es la simetría de la curva, por el arreglo de los electrodos.

Radio de investigación (RI):

Es el radio de una esfera hipotética cuyo efecto en la curva es el mismo en el resto de las formaciones en el exterior de esta esfera. Para las curvas normales (RI) es aproximadamente dos veces el espaciamiento de electrodos.

La figura II.5, muestra un esquema del arreglo teórico de este tipo de sonda. Consiste de un electrodo A por el cual se emite una corriente alterna o pulsante de baja frecuencia, cuya fuente se encuentra en la superficie. El circuito se cierra en un electrodo B muy alejado de los electrodos A y M.

En el punto M se coloca otro electrodo, que dista 0.40 m (16") ó 1.60 m (64") de A, en donde se mide la diferencia de potencial entre M y un electrodo N muy lejano.

La diferencia o caída de potencial entre los electrodos M y N de medida, es proporcional a la resistividad R del medio ambiente que los separa.

Para demostrar esto, suponemos que el electrodo A, emisor de la corriente I se encuentra en un medio homogéneo e isotrópico.

En estas condiciones se generará un campo eléctrico alrededor del electrodo A, en el cual el potencial a una distancia r cualquiera y en cualquier dirección del mismo. Por lo tanto, la diferencia de potencial dP entre dos esferas de radios r y r+dr será según la ley de Ohm:

$$dP = \frac{RI}{4\pi r^2} dr$$

integrando de r = AM a r = AN:

$$\Delta P_{MN} = \frac{RI}{4\pi} \int_{AM}^{AN} \frac{dr}{r^2} = \frac{RI}{4\pi} \left[ -\frac{1}{r} \right]_{AM}^{AN}$$

$$\Delta P_{MN} = \frac{RI}{4\pi} \left[ -\frac{1}{AN} + \frac{1}{AM} \right]$$

en la práctica  $1/AN$  es muy pequeño con respecto a  $1/AM$  entonces:

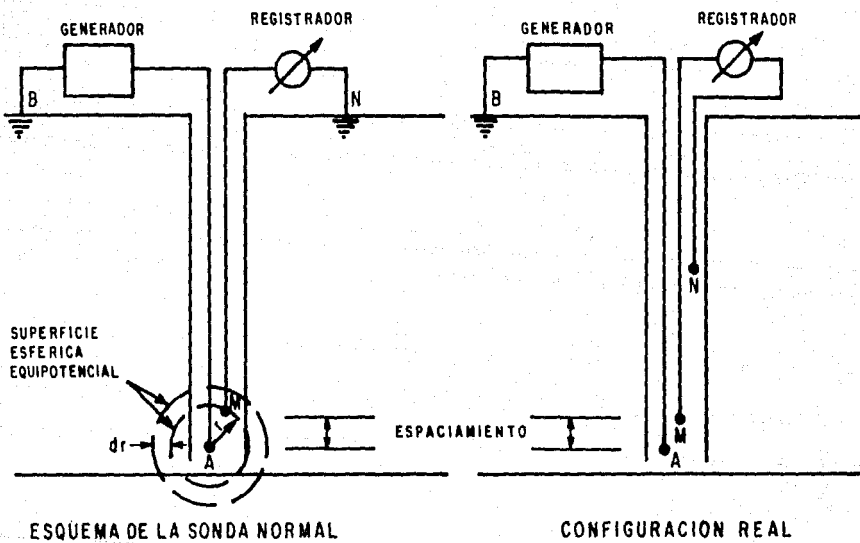


FIG.II.5 CONFIGURACION DE LA CURVA NORMAL

$$\Delta P_{MN} = \frac{RI}{4\pi} \frac{1}{AM} \quad (a)$$

puesto que I y AM son constante también en la práctica se demuestra lo mencionado anteriormente.

$$R = K \Delta P_{MN}$$

donde:

$$K = \frac{4\pi AM}{I} \quad k = \text{es la constante de la sonda.}$$

Un registro de resistividad en un medio como el que teóricamente se ha supuesto para llegar a la ecuación (a), sería una línea recta paralela al eje de profundidades. Como realmente la sonda va atravesando medios heterogéneos lo que se obtiene es una curva. Las curvas de resistividad obtenidas con este arreglo de electrodos en la sonda, se llaman curvas normales.

Si el espaciamento entre el electrodo de corriente A y el de medida M es de  $AM = 0.4 \text{ m (16")}$  se llama normal corta. Si el espaciamento AM es igual a  $1.60 \text{ m (64")}$ , se llama normal larga.

## II.10.- Factores de Disturbio:

### 1.- Efectos de Agujero.

Díametro de agujero (dh).- La definición y agudeza de las curvas normales decrece con el incremento del tamaño del agujero.

Resistividad del lodo ( $R_m$ ).- La definición y agudeza de las curvas normales decrece con la disminución y aumento excesivo de la resistividad del lodo.

Distorsión en el fondo del agujero.- Las curvas normales tienden a leer valores altos cuando el agujero es terminado en formaciones de resistividad baja y viceversa, la corrección de esta se realiza por medio de las graficas fig.II.6. y II.7.

### 2.- Efectos de la capa adyacente.

El registro presenta un comportamiento normal (entre capas gruesas o delgadas), si la capa es mucho más resistiva que las formaciones adyacentes. Las curvas son simétricas. Los espesores aparentes de las capas son mayores que los espesores reales. La corrección de este factor se realiza por medio de la gráfica de la fig.II.7.

### 3.- Efectos del espesor de la capa.

Se presentan varios casos:

Si la curva presenta una desviación normal y la resistividad de la capa es mayor que las formaciones adyacentes:

# CARTAS DE CORRECCION PARA LA NORMAL CORTA (16")

CAPAS DELGADAS INVADIDAS

$$dh = 8''$$

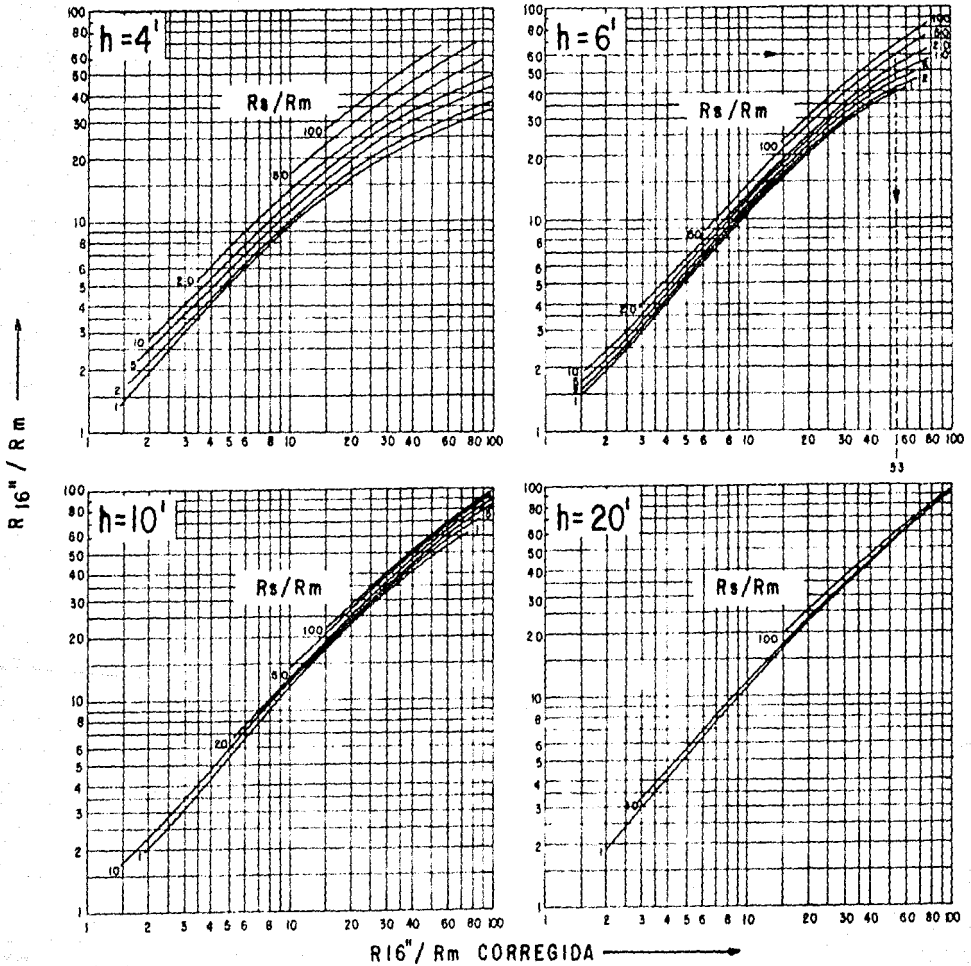


FIG. II.6

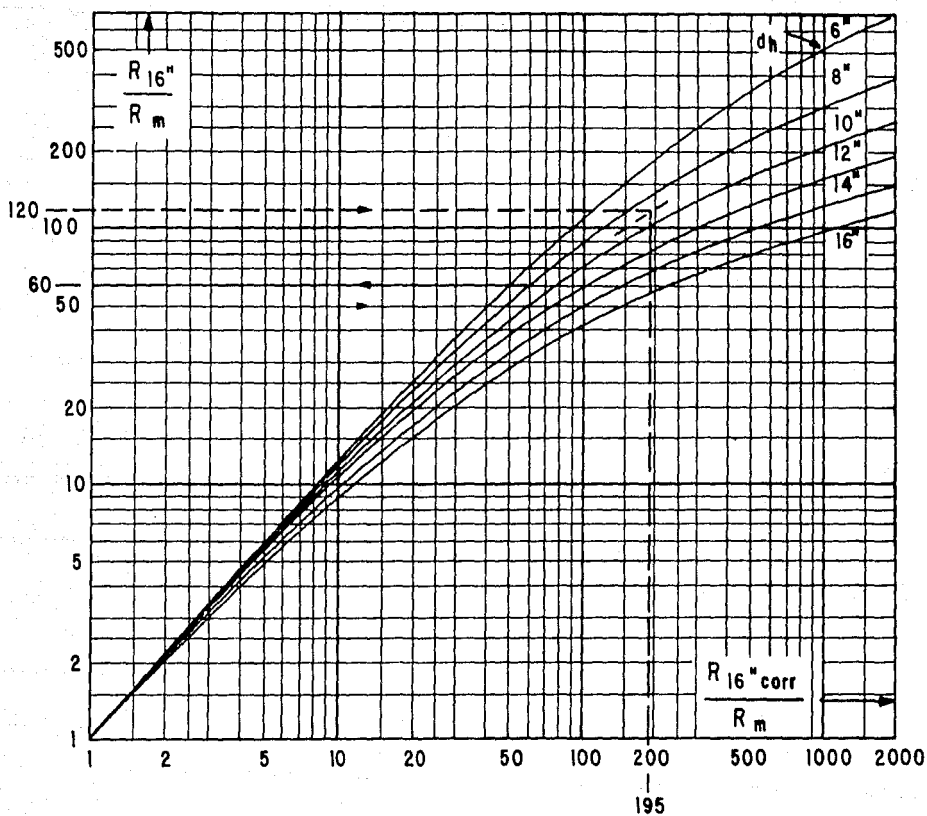


FIG. II.7 REGISTRADA CON ELECTRICO  
 CORRECCION POR EFECTO DE AGUJERO PARA  
 LA NORMAL CORTA (16")

a) Caso en que la capa tiene un espesor mayor que la separación de los electrodos ( $h=10 AM$ ):

La curva es simétrica, observando un máximo al centro de la capa, donde la curva es igual a  $R_i$  (si no existe invasión).

El espesor aparente de la capa en la curva normal es menor que el real en una cantidad igual al espaciamento de electrodos.

b) Cuando la capa tiene un espesor menor que el espaciamento, la curva sigue siendo simétrica, presentando un mínimo, más bajo que la resistividad de la formación que la rodea y opuesto a la capa, además se tienen 2 picos simétricos en los extremos de la curva cuya distancia entre ellos es igual al espesor de la capa, más el espaciamento de la normal.

#### 4.- Efectos de invasión del filtrado de lodo.

La respuesta de las curvas normales dependen de las condiciones de invasión, la cual es normalmente somera en capas porosas y profunda en rocas de porosidad baja.

En los registros convencionales de resistividad, las corrientes pasan através de la formación por medio de los electrodos y los voltajes entre ellos son medidos, esta medida de voltaje nos determina la resistividad.

En la práctica la resistividad aparente,  $R_a$  grabada puede ser afectada por las resistividades y dimensiones geométricas del medio (agujero, zonas invadidas y no contaminadas así como capas adyacentes).

#### II.11.- Sonda Lateral o Inversa.

En su configuración se necesitan dos electrodos de corriente A y B y dos electrodos de potencial, M y N (fig. II.8).

Los electrodos M y N están muy cercanos (32") y el electrodo A se encuentra a 18'8" del punto O en el centro de MN. O es el nivel de referencia para las mediciones (en el área de geohidrología comunmente se ocupa el espaciamento de 5'), el electrodo B se encuentra muy alejado y prácticamente no afecta.

La diferencia de voltaje ( $\Delta V$ ) transmitida a MN se deriva de la siguiente forma:

$$V_M = \frac{RI}{4\pi AM} \qquad V_N = \frac{RI}{4\pi AN}$$

$V_M$  es potencial en el electrodo M

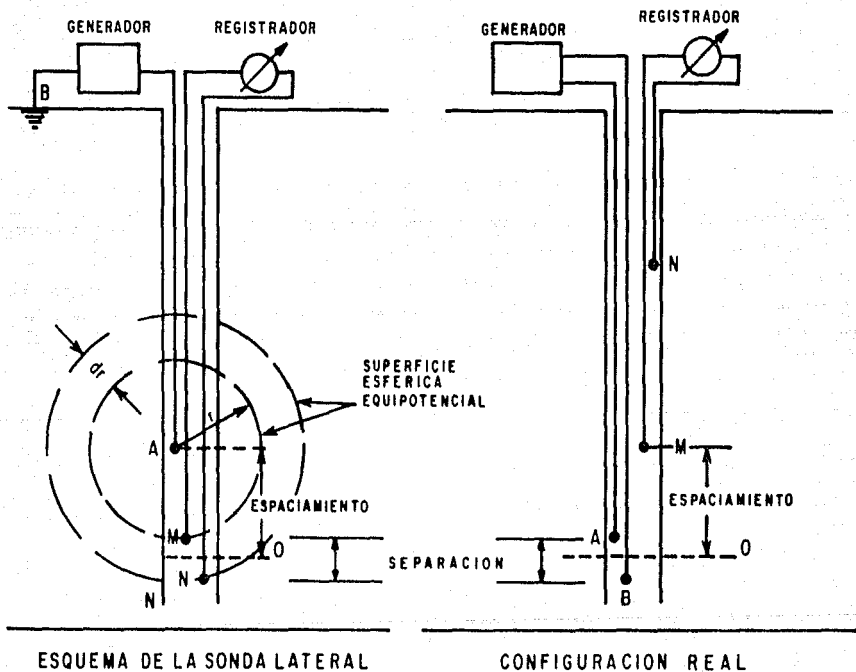


FIG. 11.8 CONFIGURACION DE LA CURVA LATERAL

$V_N$  es el potencial en el electrodo N

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{RI}{4\pi} \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right]$$

$$\Delta V = RI \frac{MN}{4\pi AM AN}$$

La constante  $4\pi AM AN / MN$  es el coeficiente  $K_L$  para la sonda lateral así:

$$R = K_L \frac{\Delta V}{I}$$

La resistividad de la formación  $R$  es proporcional a  $\Delta V$  si la corriente es constante.

En la práctica son intercambiados los electrodos de potencial por los de corriente y esto tiene como base el principio de reciprocidad, aplicable al caso de cuatro electrodos, esto no produce efectos en la grabación de la curva.

Comportamiento de la Corriente.

La resistividad medida no es exactamente la de la formación virgen ya que no hay homogeneidad. Las heterogeneidades son debidas a la presencia de fluidos en el agujero, la zona invadida y las formaciones adyacentes.

Existe una relación  $R_a = K (V'/I)$ , donde  $R_a$  es la resistividad (medida) aparente;  $V'$  es igual a  $V$  para el arreglo normal,  $\Delta V$  para la lateral y  $K$  es un coeficiente geométrico del espaciamiento y configuración usada.

Después de la corrección por efectos de agujero una buena aproximación de  $R_t$  se puede obtener del concepto de pseudofactor geométrico ( $J$ ) considerando las zonas virgen e invadida:

$$(R_a)_c = J_i R_{x_0} + (1 - J_i) R_t$$

$(R_a)_c$  es la corrección por agujero de la resistividad medida.

$J_i$  es el pseudo factor geométrico correspondiente a la profundidad de invasión.

## II.12.- Radios de Investigación.

El radio de investigación es la distancia radial medida a partir del electrodo A de corriente, a la cual ocurre el 50% de la caída de potencial total desde el electrodo M hasta el electrodo N. Para



las curvas normales esta distancia es igual a dos veces el espaciamento AM, similarmente a la resolución vertical es 2AM. Para la curva lateral el radio de investigación es aproximadamente igual a la distancia A0.

Como realmente el medio que rodea la sonda no es homogéneo la situación no puede definirse en términos de esferas simples. El volumen de material que contribuye a la señal depende mucho de la geometría, la resistividad de las zonas de homogeneidad del pozo, el enjarre, la zona virgen y la invadida.

#### II.13.- Correcciones.

La resistividad aparente medida ( $R_a$ ) es función de varios factores:

$$R_a = f(R_m, d_h, R_{mc}, h_{mc}, R_{x0}, d_i, R_l, h, R_s)$$

Para obtener  $R_l$  es necesaria la corrección de  $R_a$ . Esto puede hacerse usando cartas o las relaciones pertinentes y así realizar una interpretación cuantitativa (fig. nomogramas, II.6, II.7 y II.9).

Después de la determinación de las resistividades verdaderas de la formación ( $R_l$ ) de los registros, la interpretación física-matemática esta lista para la interpretación geohidrológica.

#### II.14.- Forma de la curva de resistividad aparente.

La forma de la curva de resistividad aparente es afectada por factores ambientales así como por los distintos espesores de las capas.

Para las normales:

Capas gruesas resistivas ( $h > AM$ ).

la curva es simétrica hacia la mitad de la capas, los puntos de inflexión en las pendientes dan un espesor aparente de la capa menor que el verdadero para una distancia igual a AM. El valor pico de  $R_a$  dependerá de los efectos de invasión.

Capas resistivas delgadas ( $h < AM$ ).

La respuestas nos da una capa aparentemente conductiva con 2 pequeñas deflexiones resistivas. Esta respuesta invertida es mayor para resistividades muy altas.

Capas gruesas muy resistivas ( $h > AM$ ).

La respuesta es en forma de campana y simétrica.

Capas conductivas.

El espesor aparente de la capa (puntos de inflexión) es  $h + AM$ . La respuesta es simétrica.

# CORRECCION POR EFECTO DE AGUJERO PARA LA LATERAL ( 18' 8" )

REGISTRADA CON ELECTRICO

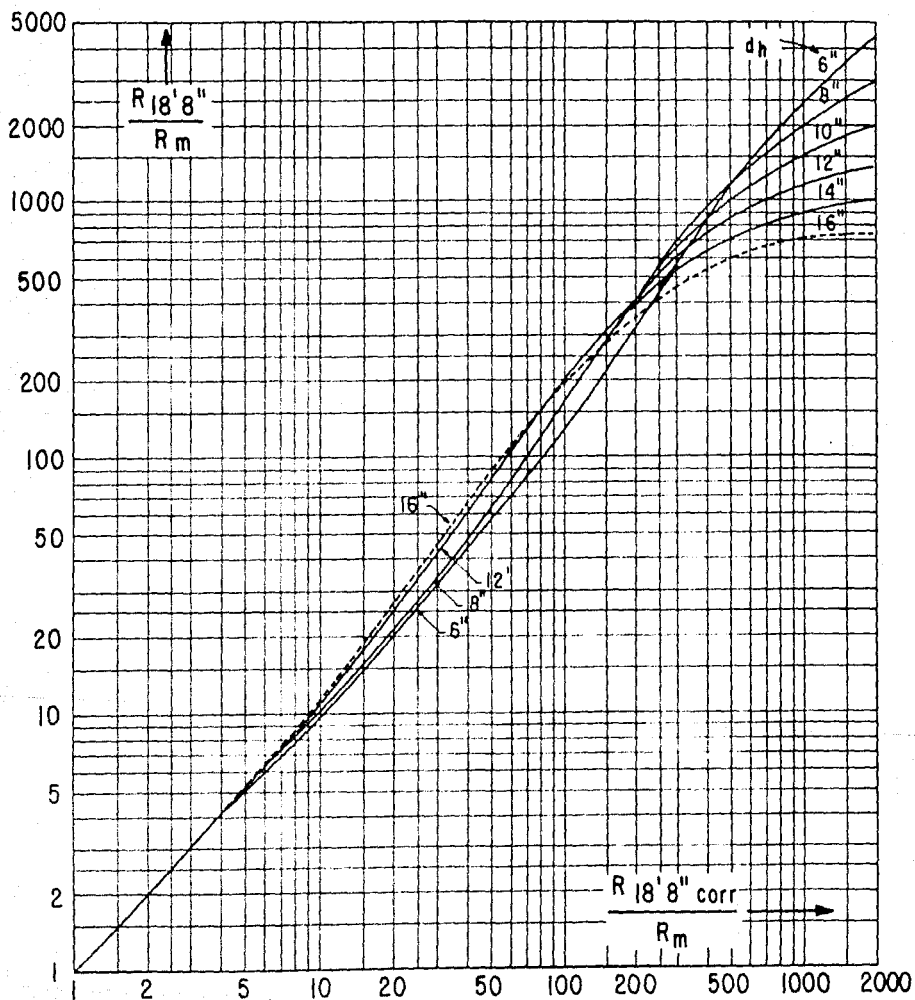


FIG. II.9

Para la lateral:

Capas resistivas gruesas ( $h > A0$ ).

La curva no es simétrica con respecto a la capa y puede tomar varias formas complejas. Cuando M y N se encuentran dentro de los límites de la capa únicamente se mide una pequeña diferencia de potencial porque la mayor parte de la corriente es reflejada y esta decae rápidamente. En ocasiones la respuesta asimétrica es triangular cuando la capa es muy resistiva.

Capas resistivas delgadas ( $h < A0$ ).

La respuesta no es simétrica y la resistividad verdadera nunca se obtiene exactamente. La máxima lectura se registra cuando N se aproxima al límite inferior de la capa.

Capas Conductivas.

La respuesta es asimétrica y produce un espesor de capa aparente mayor que la distancia A0.

Por todo lo anterior se puede apreciar la dificultad para delinear los límites de capas con precisión usando las herramientas convencionales de resistividad.

## II.15.- CLASIFICACION DE LAS FORMACIONES.

Los problemas encontrados en trabajos para localización de acuíferos son muchos, y los registros geofísicos pueden resolverlos, o ayudar a solucionar parte de éstos. Un registro puede ser una herramienta valiosa en una localidad, pero inútil en otra porque el agua puede encontrarse en diferentes tipos de rocas y con diferentes concentraciones salinas. Para propósitos de interpretación de registros, es conveniente clasificar las formaciones en alguno de los siguientes grupos:

- 1.- Acuíferos granulares limpios.- Incluye gravas, arenas y rocas carbonatadas que tengan únicamente porosidad del tipo granular.
- 2.- Acuíferos granulares arcillosos.- Este grupo incluye cualquier acuífero granular o que contenga material arcilloso en un porcentaje mayor al 15% de su volumen total. Los sedimentos deben agregarse a este grupo siempre y cuando no este compuesto de minerales arcillosos.
- 3.- Acuíferos fracturados.- Representados por rocas carbonatadas o ígneas fracturadas o con empalmes y que tienen poca o ningún tipo de porosidad granular.
- 4.- Formaciones densas.- Son rocas que tienen poca porosidad efectiva y de las cuales no se puede obtener agua. Junto con algunas rocas carbonatadas, se incluyen la anhidrita, el yeso, la

sal, así como muchas rocas de tipo ígneo y metamórfico.

5.- Arcillas.- Este grupo incluye todas las formaciones arcillosas y lutitas, que consisten de partículas muy finas. Contienen grandes cantidades de agua en su superficie pero no tienen permeabilidad.

## II.16. - REGISTRO DE RESISTIVIDAD.

Resistividad de acuíferos limpios.- Un acuífero limpio es una roca cuya armazón o esqueleto no es conductivo y que contiene agua. Su resistividad está determinada por:

- 1.- La resistividad del agua (la salinidad del agua).
- 2.- La cantidad de agua que contiene la roca (porosidad de la roca).
- 3.- La distribución y continuidad del agua dentro del espacio poroso.

Se puede encontrar que la resistividad,  $R_t$ , de un acuífero limpio se expresa como sigue:

$$R_t = F * R_w \dots\dots\dots(1)$$

donde  $R_w$  es la resistividad del agua y  $F$  una constante que representa el efecto del espacio poroso (Archie, 1942).

Esta constante, llamada Factor de Formación está dado por la siguiente fórmula:

$$F = A / \phi^m \dots\dots\dots(2)$$

donde  $\phi$  es la porosidad efectiva (fracción del volumen total),  $A$  y  $m$  son números adimensionales que representan el efecto de la distribución de porosidad y la continuidad.  $A$  y  $m$  varían de roca a roca y sus valores pueden ser determinados exactamente por medidas de laboratorio.

La resistividad del agua,  $R_w$ , decrece cuando se incrementa la salinidad. A una temperatura dada, la resistividad del agua se relaciona al contenido de sólidos disueltos, en partes por millón (ppm), por la expresión:

$$R_w = K / \text{ppm} \dots\dots\dots(3)$$

donde  $K$  es un factor que es casi un valor constante para una salinidad dada. Para valores usuales de aguas de baja salinidad,  $K$  tiene un promedio de 6500 a 25° C. La resistividad del agua decrece cuando se incrementa la temperatura, pero este efecto es pequeño ( 2% por grado mayor a 25° C.).

Acuíferos granulares limpios.- Para rocas granulares limpias con una porosidad mayor del 10 %,  $A$  y  $m$  tienen los siguientes valores

promedio:

rocas con poca o ninguna cementación:  $A=0.62$ ,  $m=2.15$ .

rocas que están más cementadas:  $A=1$ ,  $m=2$ .

La geometría y continuidad del espacio poroso en rocas granulares de baja porosidad es muy irregular y no es posible asignar los parámetros  $A$  y  $m$ . Los demás factores son constantes:

- 1.- Al aumentar la porosidad, disminuye la resistividad del acuífero.
- 2.- Al disminuir la salinidad del agua, aumenta la resistividad del acuífero.

Acuíferos no granulares.- El espacio poroso de estos acuíferos es tan variable y su distribución tan irregular que es ilusorio buscar una expresión o establecer un nomograma que relacione resistividad y porosidad. Lo que se puede decir, con sus reservas, es que la resistividad decrece cuando la porosidad o la salinidad del agua se incrementan.

Rocas Densas.- Son rocas que no tienen porosidad efectiva y tienen resistividades extremadamente altas.

Arcillas.- Las arcillas pueden considerarse como un material granular cuyo espacio poroso tiene una geometría muy particular. Las arcillas tienen una alta porosidad (las arcillas marinas tienen menos) y generalmente contienen agua salobre, dos hechos que dan como consecuencia sus bajas resistividades. Su rango de resistividades es menor que el de los acuíferos de agua dulce, a los cuales están asociados.

Acuíferos granulares arcillosos.- La arcilla diseminada dentro del espacio poroso reduce la resistividad de los acuíferos de agua dulce. Si la arcilla está distribuida aleatoriamente, dos curvas probablemente nos den con mayor exactitud la reducción de la resistividad.

Resistividades bastante exactas pueden obtenerse de los registros de las curvas normales de resistividad si se siguen las siguientes condiciones:

- 1.- La resistividad del acuífero no es muy grande; esto requiere que la porosidad no sea bastante alta y el contenido de sólidos disueltos del agua no sea menor que 100 ppm.
- 2.- El acuífero sea menor de 15 pies de espesor ( 5m ) y razonablemente con textura uniforme; en particular no debe contener arcillas o capas densas.
- 3.- La invasión de lodo sea pequeña.
- 4.- El diámetro del agujero sea menor de 10 pulgadas y la resistividad del lodo mayor que 1 ohm-m.

Los registros actuales tienen una forma más irregular porque las curvas reflejan la falta de uniformidad comúnmente exhibida por las rocas. En las curvas mostradas en las figuras (II.10 y II.11) se muestran algunas respuestas eléctricas para varios tipos de formaciones, no hay escalas se muestran, valores de resistividades aparentes ya que los valores dependen de muchos factores tales como porosidad, salinidad del agua, resistividad del lodo, etc.

Las curvas ilustradas muestran las siguientes características:

1.- Los acuíferos con agua dulce y las rocas densas tienen resistividades mucho más altas que otras formaciones.

2.- Las resistividades aparentes de los acuíferos de agua dulce con porosidad baja son del mismo orden que las de rocas densas. En la práctica éstas pueden diferenciarse por el tipo de barrenación, el carácter de los cortes o por la curva SP.

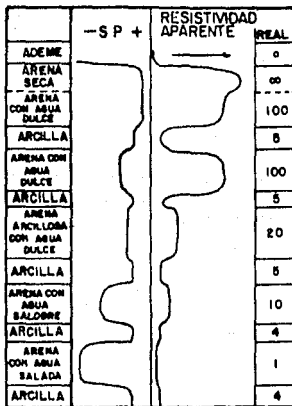
3.- Los acuíferos que contienen agua altamente salina, tienen resistividades muy parecidas a las arcillas. En la práctica se pueden diferenciar de las arcillas usando la curva SP.

4.- Profundidades de capa y espesores, pueden generalmente determinarse de la curva de resistividad, pero no así el tamaño de los fragmentos individuales en rocas consolidadas.

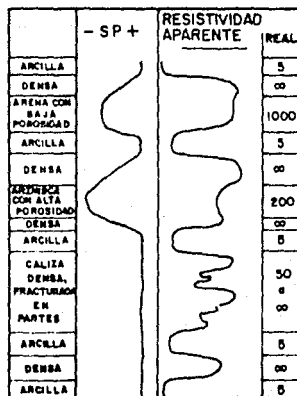
Cuando se presenta poca invasión del filtrado de lodo, la resistividad aparente de una arena con agua salada es menor que la de las arcillas adyacentes. La resistividad aparente es mayor cuando la invasión es importante.

II.17.- Principales usos de los datos de resistividad .- Para un pozo perforado para agua los beneficios tangibles que se pueden derivar de un registro se pueden ver en una simple inspección gráfica. A este respecto, la curva de resistividad, es la gráfica menos costosa de un equipo de registro de pozos y la que más lo recompensa. Observando el registro, se puede determinar la profundidad y espesor de cada capa, excepto las más delgadas. Adicionando el registro con muestras de la perforación o de la geología del área, el registro nos dirá, si no de todos, de que capas se trata; esto permitirá formular un óptimo programa de pruebas. Si el pozo atraviesa una zona con agua salobre, el registro encontrará el decremento en resistividad; si la poca penetración es esencialmente la misma para todos los acuíferos registrados, se puede asumir que sus porosidades son del mismo orden y se puede interpretar un decremento en la resistividad aparente como índice de un incremento de salinidad.

Contrariamente, cuando se conoce que la calidad del agua es casi la misma para todos los acuíferos penetrados, los cambios en



**FIG. II.10 REGISTROS ELECTRICOS ARTIFICIALES, SE ASEMEJAN A LA APARIENCIA REAL DE UN REGISTRO EN UNA SECUENCIA DE CAPAS ARCILLOSAS Y ACUIFEROS GRANULARES CON BUENA POROSIDAD**



**FIG. 11.11** REGISTROS ELECTRICOS ARTIFICIALES, SE ASEMEJAN A LA APARIENCIA REAL QUE TENDRIA EL REGISTRO EN UNA SECUENCIA DE CAPAS ARCILLOSAS Y VARIOS TIPOS DE ROCAS SE ASUME QUE EL AGUA EN LOS ACUIFEROS ES DULCE.



resistividad pueden generalmente interpretarse como causas en cambios de porosidad, o por condiciones de arcillosidad.

El uso simultáneo del SP, permitirá generalmente determinar cual de estas situaciones existe.

En la práctica, las interpretaciones del registro no solo se hacen con la curva de resistividad; se analizan el SP y otros datos obtenidos de la perforación en forma simultánea.

#### II.18. -Registro de Potencial Espontáneo

La curva de potencial espontáneo (SP), como se mencionó anteriormente es una gráfica de los potenciales naturales que ocurren en un agujero. Cuando la formación contiene capas arcillosas, se observa generalmente que estas capas tienen aproximadamente el mismo potencial; en la curva SP este potencial se define en una línea vertical y recta llamada línea base de arcillas (o lutitas), desde la cual se miden las deflexiones del SP en otras capas.

Estos potenciales naturales son provocados primeramente por reacciones electroquímicas entre el lodo, el agua de la formación y la arcilla. A menos que se especifique otra cosa, se asumirá que no hay otra fuente de potencial.

Acuíferos granulares limpios intercalados con formaciones arcillosas.

Si el agua en los acuíferos son mucho más salinas que el lodo de perforación, generalmente el SP es más negativo en los acuíferos que en las arcillas adyacentes, y si el agua es mucho menos salina que el lodo, el SP generalmente es más positivo en los acuíferos que en las arcillas adyacentes.

En casos extremos, el potencial electroquímico, expresado en milivolts esta dado por la siguiente expresión:

$$SP = - k \log_{10} \frac{R_{mf}}{R_w} \quad (A)$$

$R_w$  es la resistividad del agua de la formación,  $R_{mf}$  resistividad del filtrado del lodo y  $k$  un factor cuyo valor es igual 71 a profundidades someras. Con la fórmula anterior se puede obtener de la curva SP un valor aproximado de la resistividad del agua de la formación.

Debido a que es posible estimar salinidades de la resistividad del agua (especialmente si se conoce el tipo de agua) el SP es una herramienta muy útil para investigación de acuíferos. Sin embargo, se puede tener una gran desilusión a este respecto. La razón principal es que la fórmula anterior es una aproximación que es permisible únicamente, si hay una notable diferencia de salinidad

entre el agua de la formación y el lodo. En la practica, para pozos de agua es aplicable únicamente cuando el agua de formación es salobre o salada. Esto no se cumple cuando el agua contiene menos de 15000 ppm de sólidos disueltos y se debe considerar preferentemente otra expresión, que se basa en las actividades del agua de la formación y el fluido del agujero y es más complicado. Para soluciones de salinidad baja cuyos iones son el sodio, calcio y magnesio se tiene la siguiente expresión.

$$SP = -k \log_{10} \frac{(a_{Na} + \sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}})^w}{(a_{Na} + \sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}})^{mf}} \quad (B)$$

El numerador de la fracción se refiere al agua de la formación y el denominador al filtrado de lodo, las letras "a", denotan las actividades de los iones especificados por el sufijo. La porción de la actividad, de un ión en particular, es aproximadamente proporcional a la concentración de ése ión, pero el coeficiente de proporcionalidad puede variar gradualmente con el tipo de ión, aunque las valencias son tomadas en cuenta.

La fórmula debe usarse, pero no es posible en la practica porque todas las mediciones de campo nos pueden dar la cantidad  $(a_{Na} +$

$\sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}})^w$  de la cual no se puede derivar la salinidad a menos que se conozcan las actividades o que se realice un análisis completo del agua. Se alcanzan las mismas conclusiones sin hacer caso del tipo de iones y concentraciones.

La única posibilidad de usar los datos de SP para determinaciones cuantitativas de salinidad en formaciones que contengan agua dulce es establecer datos empíricos de aguas en un área y usar una fórmula o carta apropiada. Desafortunadamente las dificultades son considerablemente más numerosas para el SP:

1.- El valor numérico del factor k en la fórmula A puede calcularse con exactitud únicamente cuando la formación arcillosa que limita el acuífero es una membrana permeable perfectamente catiónica. Los valores actuales de k se pueden determinar sólo de medidas de laboratorio.

2.- La composición química del fluido del agujero se haga exactamente.

3.- Usualmente se sobreponen corrientes de potencial al potencial electroquímico, aunque es muy pequeño a profundidades someras, su valor relativo no se puede distinguir en pozos de agua profundos, donde la amplitud del SP es baja, y es difícil acertar este hecho.

4.- Aunque no existan corrientes de potencial, la medida del SP es

solo una parte del potencial electroquímico desarrollado en la tierra. La reducción, es función de varios factores, en particular los acuíferos resistivos y gruesos.

La curva SP no debe ser aplicada para determinaciones cuantitativas de la salinidad de aguas dulces, excepto con restricciones apropiadas puede usarse cualitativamente siguiendo las presentes reglas:

- 1.- Los acuíferos que exhiben un SP positivo, invariablemente contienen aguas de baja salinidad, si el fluido del pozo tiene una resistividad mayor que 5 ohm-m.
- 2.- En los intervalos donde la amplitud del SP, en los acuíferos es casi constante con la profundidad, todas las aguas de la formación tienen la misma salinidad.
- 3.- Si el SP de los acuíferos penetrados por el pozo es cada vez más y más negativo con la profundidad, la salinidad de los acuíferos probablemente incrementa con la profundidad. Si simultáneamente la resistividad del acuífero decrece con la profundidad la evidencia es considerablemente fuerte.
- 4.- Los acuíferos que exhiben un SP negativo bastante largo, generalmente contienen aguas que son mucho más salinas que donde el SP tiene amplitud baja o es positivo.
- 5.- Los cambios erróneos en la polaridad del SP hace que la amplitud del SP sea pequeña (menor que 25 mV), que pueden o no corresponder a cambios a cambios significativos en la salinidad del agua.

#### II.19.- Peculiaridades de la curva SP:

- 1.- Deriva de la línea base de arcilla.- Comúnmente esta línea base es recta y vertical, específicamente bajo unos pocos de cientos de pies. Pero en ciertos pozos a profundidades someras la curva SP deriva gradualmente toda la curva ó únicamente en los materiales arcillosos y generalmente a la izquierda cuando la profundidad decrece. No hay una explicación satisfactoria para la ocurrencia de este fenómeno pero prevalece en zonas áridas.
- 2.- Cambio en la línea base de arcillas.- Esto se observa frecuentemente cuando ocurre un cambio rápido en la salinidad de las aguas de la formación.
- 3.- SP inestable.- Es visible en la parte superior de los pozos en los cuales hay un movimiento apreciable de agua, como en pozos artesianos o zonas altas: la señal cambia constantemente si el electrodo de registro se mantiene estacionario. La inestabilidad

desaparece bajo la zona de movimiento de agua.

4.- Inversión de polaridad.- Numerosas inversiones de polaridad en los acuíferos de un pozo dado se puede notar en aguas que tienen salinidades del mismo orden. Estas inversiones son debidos usualmente a cambios en el tipo de iones ó en la cantidad de algunos de éstos.

#### II.20.- Efectos de la porosidad en el SP:

El potencial electroquímico, no esta influenciado por la porosidad, la amplitud de la curva SP esta afectada indirectamente por cambios en porosidad. De hecho, un decremento en porosidad incrementa la resistividad de la roca y esto en cambio, reduce la amplitud del SP. En particular, capas densas localizadas en arcillas exhiben deflexiones no medibles de SP.

Acuíferos granulares intercalados con arcillas y rocas densas:

En este tipo de formación la forma y la amplitud del SP son diferentes de las obtenidas en acuíferos granulares. La curva esta generalmente distorsionada y es difícil el uso de esta curva sola, cada límite de capa no puede identificarse con certeza, en la práctica la curva será más confusa si existen inversiones en la polaridad del SP.

Acuíferos arcillosos.- La arcilla o materiales similares diseminados dentro del espacio poroso de un acuífero, reduce el SP del acuífero.

Acuíferos y rocas densas sin intercalación de formaciones.

Arcillosas.- Cuando no hay capas arcillosas asociadas con un acuífero, el potencial electroquímico prácticamente desaparece y si no hay otra fuente de potencial la curva SP es casi una línea vertical. Muchos registros exhiben este comportamiento pero otros muestran algunas deflexiones lo que significa que existen otras fuentes de potencial.

#### II.21.- Principales usos de la curva SP en pozos de agua:

La curva SP es apropiada para identificar formaciones arcillosas y acuíferos granulares, especialmente a pocos cientos de pies.

Para propósitos de interpretación se usa la curva SP simultáneamente con las curvas de resistividad y todos los datos posibles.

Donde las aguas de la formación son mucho más salinas que el lodo

de perforación, el SP es igualmente más negativo en los acuíferos que en las arcillas adyacentes; esto permite usar la curva para identificación de formaciones, con propósitos de correlación y para determinar la profundidad y espesor de ciertas capas. Si se adiciona una curva de resistividad, el SP indica donde la formación cambia en el tipo de agua, de dulce a salobre. El SP generalmente no tiene sentido cuando no hay formaciones arcillosas en la secuencia de capas penetradas por el pozo de interés.

#### II.22.- Estimación de la porosidad y permeabilidad:

Aunque la presencia de rocas permeables con porosidad intergranular y situadas entre capas arcillosas, pueden inferirse generalmente de la forma de la curva SP, ni la forma de la curva, ni la amplitud, nos da una base para calculos directos de porosidad o permeabilidad.

Cuando los cambios en la permeabilidad de una roca son originados por la presencia de material arcilloso dentro del espacio poroso, esto puede estimarse cuantitativamente de los cambios en amplitud del SP usando datos empíricos.

Obviamente el método se aplica únicamente si no hay cambios en la composición del agua dentro de la formación de interés.

Esto tiene como propósito estimar la permeabilidad del flujo por medidas de potencial hechos bajo diferentes presiones, en pozos donde la pared de la formación esta libre de enjarre, por ejemplo en pozos donde hay operaciones de bombeo.

Los resultados de este simple concenso indican si una formación es permeable o impermeable.

**CAPITULO III**  
**INTEGRACION GEOLOGICA-GEOFISICA**

### III.1.- INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA ANGAMACUTIRO-PASTOR ORTIZ, MICH.

#### PERFIL 1: 1A-6A-1PO-2PO. (Fig.1)

A.- Electrocapa superficial con SP negativo y que hacia el pozo 1 de Pastor Ortiz se aproxima mucho a la línea base, lo que indica el aumento en el contenido de material arcilloso, aunque el aumento de la resistividad hacia el pozo 2 de Pastor Ortiz nos muestra que el agua que posiblemente se encuentre, sea más dulce que en la parte SW de éste en la zona de Angamacutiro.

1.- Electrocapa permeable en los pozos 1 y 6 de Angamacutiro, pero que hacia los pozos de Pastor Ortiz 1 y 2 hay un cambio en la respuesta del registro SP que nos indica una roca compacta e impermeable, el espesor de esta electrocapa es de 0 m en los pozos 1 y 6 de Angamacutiro y de 8 m en los pozos 1 y 2 de Pastor Ortiz. Esta electrocapa buza ligeramente al SW del pozo 2 de P.O. y tiene una profundidad, que va de 24 a 30 m en el pozo 6 de Angamacutiro a los 14 y 20 m en el pozo 1 Angamacutiro.

2.- Electrocapa impermeable en cuya parte somera, el registro nos indica la presencia de una roca compacta de 0 m de espesor y posteriormente una roca impermeable de grano fino. El espesor promedio de esta electrocapa es de 25 m y se encuentra a una profundidad máxima de 56m en el pozo 6 de Angamacutiro y mínima de 20m en el pozo 1 de Angamacutiro.

3.-Horizonte compacto con un espesor de 2 a 5 m y a una profundidad de 48 a 52 m en el pozo 1 de P.O. y de 56 a 59 m en el pozo 6 Angamacutiro.

4.- Electrocapa permeable, el registro nos indica el posible contenido de agua dulce, el espesor de esta capa permeable es de 20 m y se encuentra de los 80 a los 100 m de profundidad en el pozo 6 Angamacutiro y de 60 a 80 m en el pozo 2 de P.O.

5.-Electrocapa impermeable, el registro nos indica la posible presencia de una roca compacta, el espesor aumenta en el pozo 1 de Angamacutiro y en el pozo 2 de P.O. de 37 m y 33m, y es en este pozo donde se encuentra a menos profundidad, de los 80 a los 113 m y en el pozo 1 de Angamacutiro, de los 98 a los 135 m, ésta

electrocapa buza al SW del pozo 2 de P.O.



### III.2. - INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE ANGAMACUTIRO, MICH.

#### PERFIL 2: 1-6-10. (Fig. 2)

A.- Electrocapa superficial con SP negativo y pequeñas deflexiones hacia la línea base, lo que indica una capa permeable con presencia de arcilla, hacia el pozo 10 se observa un aumento de ésta, las resistividades obtenidas disminuyen, lo que indica que el contenido posible de agua, sea con aumento de salinidad. El espesor de esta electrocapa varía de 15m en el pozo 1 a 24m en el pozo 6.

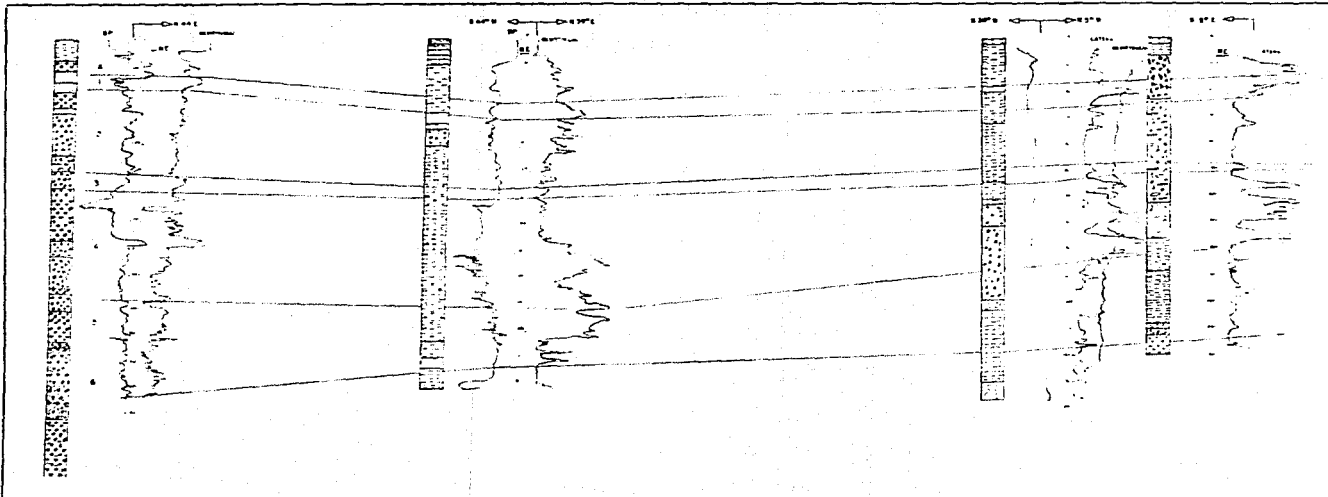
1.- Electrocapa permeable que se continúa en dirección al pozo 10 Angamacutiro y cuyo espesor es de 6 m, encontrándose a una profundidad de 14 a 20 m en el pozo 1 y de 24 a 30 m en el pozo 6.

2.- Electrocapa impermeable que continúa en el pozo 10, tiene un espesor promedio de 30 m en los pozos 1 y 10, adelgazándose en el pozo 6 a 25 m, la profundidad a la que se localiza es de los 30 a los 55 m en el pozo 6 y de 21 a 55 m en el pozo 10.

3.- Horizonte compacto con un espesor de 4 m y que esta a una profundidad que aumenta hacia el NE del pozo 1 en dirección al pozo 10, de 53 a 58 m en promedio.

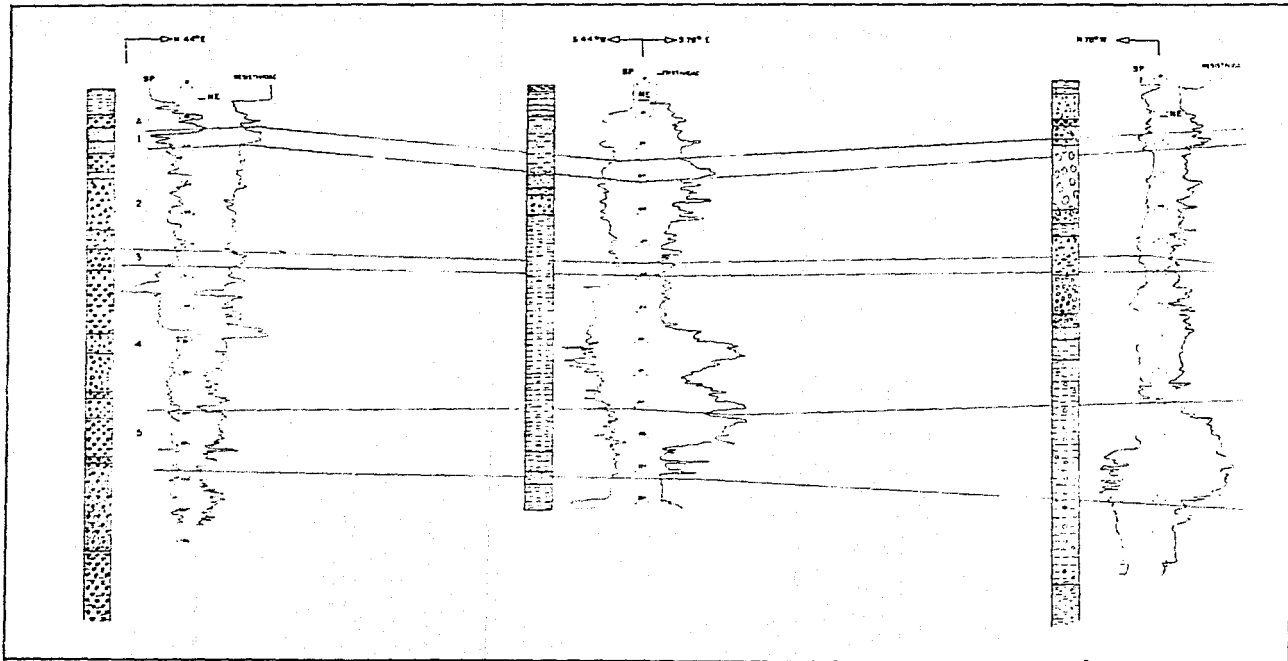
4.- Electrocapa permeable que al parecer continúa en el pozo 10, al SE de los pozos 1 y 2 de P.O. teniendo posibilidad de contener agua dulce, la capa permeable tiene un espesor de 10 m en el pozo 10 y se encuentra a una profundidad de 62 a 72 m.

5.- Electrocapa impermeable, el registro de SP y  $\rho$  nos indica que se trata posiblemente de una roca compacta. El espesor de esta capa aumenta en el pozo 10, teniendo hasta 30 m en éste y un máximo de 37 m en el pozo 1, lo mismo que su profundidad, hacia el pozo 10 se encuentra de 100 a 130 m y en el pozo 1, de 98 a 135 m.



ESC. 20166  
 ESC. 20166

C O L E G I O	FACULTAD DE INGENIERIA	
	Sección de Ingeniería Ingeniería Mecánica de Maquinaria Av. Luis Donaldo Colón 112000, P.R. 00926	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	Saraiva Roberto Valle	1990
	Angel Enriquez Rojas	1991



ESC H 20,000

ESC V 350

UNIVERSIDAD

FACULTAD DE INGENIERIA	
Sección de correlación Geológica - Geofísica de los Datos 1.6 v. Zona ANGAMAZO	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
Salvador Ramírez Valles	1990
Angélica Sandoval Rojas	1990

### III.3.- INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE MARAYATIO, MICH.

#### PERFIL 1: 3-4-12-6-8-9-10. (Fig.1)

A.- Electrocapa superficial con características permeables dadas por la deflexiones en las curvas SP y con resistividades medias en la mayoría de los pozos, aumentando estas hacia el centro de la sección en los pozos 4 y 8, lo que indica posiblemente que el contenido de salinidad sea menor. El espesor de esta electrocapa varía de 17m en el pozo 8 a 30m en el pozo 10.

1.- Electrocapa cuyo registro indica una capa permeable entre dos capas impermeables, esta capa permeable tiene un espesor comprendido entre los 3 m (en los pozos 4 y 10) y a los 8 m en el pozo 9 y cuya profundidad promedio a la que se encuentra es a los 25 m en los pozos 3, 4, 12, 6 y 8 y a 35 m en los pozos 9 y 10, en esta capa permeable es posible encontrar agua dulce, esto lo indican las curvas de SP y  $\rho$  del registro.

2.- El registro nos indica que en esta electrocapa existen 2 capas permeables y una capa impermeable entre ellas, las capas permeables pueden contener agua dulce. El espesor de la capa permeable mas superficial va de los 3m en el pozo 3, hasta los 6m en los pozos 8 y 9, la profundidad a la que se encuentra localizada va aumentando hacia el E, de los 30m en los pozos 3 y 4 a los 40 y 50m en los pozos 8 y 10 respectivamente. La segunda capa permeable tiene una menor respuesta eléctrica en el registro que la anterior, esto puede indicar un cambio en la calidad de su contenido de agua haciéndose menos dulce, su espesor varía desde los 2m en el pozo 3 aumentando hacia el E hasta 4m en los pozos 8 y 9, la profundidad a la que se encuentra varía de los 35m en el pozo 3 y se adentra en dirección E hasta los 50m en el pozo 9.

3.- Electrocapa poco permeable la respuesta de los registros SP y  $\rho$  son bajas, lo que indica un aumento de material de grano fino hacia el E del pozo 3, en el cual se observa una respuesta mayor de  $\rho$  que en los otros. El espesor de esta capa varía de 7m en el pozo 10, a 13m en el pozo 8 y la profundidad a la que se encuentra está comprendida entre los 36 y 48m en el pozo 3 y los 50 y 63m en el pozo 8.

4.- Electrocapa permeable la cual puede contener agua dulce ya que

su respuesta de potencial y la curva lateral aumentan sus deflexiones, el espesor de esta capa va de 5m en el pozo 10 a los 12m en el pozo 4, la profundidad a la cual se encuentra va de 48 y 56m en el pozo 3 a los 66 y 78m en el pozo 9.

5.- Electrocapa permeable, la disminución en la respuesta de la curva lateral nos indica que el agua que puede contener la capa se hace más salobre en dirección E del pozo 3. El espesor de esta capa va de los 15m en el pozo 9 a los 20m en los pozos 8 y 10 se encuentra a una profundidad de 57 y 74m en el pozo 3, a 73m y 92m en los pozos 8 y 10. Tiene un intervalo que puede contener agua dulce, de 4m de espesor promedio y a una profundidad de 65 a 70m en los pozos 3 y 4 hasta 73 y 78m en el pozo 10.

6.- Electrocapa permeable, el registro nos indica que hay una zona que puede contener agua dulce dentro de esta capa con un espesor promedio de 5m y a una profundidad que va de los 85 y 90m en el pozo 3 y a los 100 y 105m en los pozos 8,9 y 10.

7.- Electrocapa impermeable, sus resistividades nos indican la posible existencia de una roca compacta, tiene un espesor promedio de 13m y se encuentra a una profundidad de 106 y 122m en el pozo 3 hasta los 109 y 125m en el pozo 8.

8.- Esta electrocapa es permeable y el registro indica una zona con resistividades más altas y mayor deflexión del SP en sentido negativo, se infiere que puede contener agua dulce, un espesor promedio de 4m y se encuentra a una profundidad de 108 a 112m en el pozo 3 y 127 a 131m en el pozo 8.

9.- Electrocapa impermeable por sus resistividades bajas en el pozo 9, la capa impermeable es muy resistiva, lo que nos indica la existencia de una capa dura. La profundidad a la que se encuentra oscila entre los 122m en el pozo 3 y los 135m en el pozo 8.

## INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE MARAVATIO, MICH.

### PERFIL 2: 5-12-11. (Fig. 2)

A.- Electrocapa superficial con SP negativo y baja resistividad, lo que indica probablemente que sea una capa permeable, pero el agua que contiene, presenta una salinidad mayor hacia los pozos 5 y 11. El espesor de esta electrocapa es de 18m y 22m en los pozos 5 y 11 respectivamente.

1.- La electrocapa permeable presente en el perfil 1, se continúa al NE y SW del pozo 12, el registro nos indica la posible presencia de agua dulce por el comportamiento de las curvas de resistividad, tanto lateral como normal corta. El espesor aumenta al SW del pozo 11 de 7 a 9m, se encuentra a una profundidad, que disminuye en la misma dirección, en el pozo 5, de 18 a 27m y en el pozo 11 va de los 24 a los 31m.

2.- Al NE y SW del pozo 12 se observa que la capa impermeable existente en el perfil 1 es predominante en esta sección, lo que nos indica que una disminución en el tamaño de grano se presenta, el espesor promedio de esta electrocapa es de 10m, aumentando hacia el NE del pozo 5, lo cual también sucede con la profundidad, en el pozo 5 va de los 28m a los 43m y en el pozo 11, de 32 a 50m.

3.- Se presenta un nuevo cambio de facie en los pozos 5 y 11 indicándose una capa permeable de 4m de espesor y a una profundidad de 50 a 54m, aunque la falta del registro SP en el pozo 11 hace poco resolutivo este registro.

4.- Hacia el NE del pozo 12 la electrocapa conserva sus características en el registro y éste nos indica una capa permeable de 5m de espesor y a una profundidad de 65 a 70m, pero en dirección al pozo 5 hay un cambio en sus características y la capa nos da la respuesta de una capa impermeable de 7m de espesor y a una profundidad de 53 a 60m.

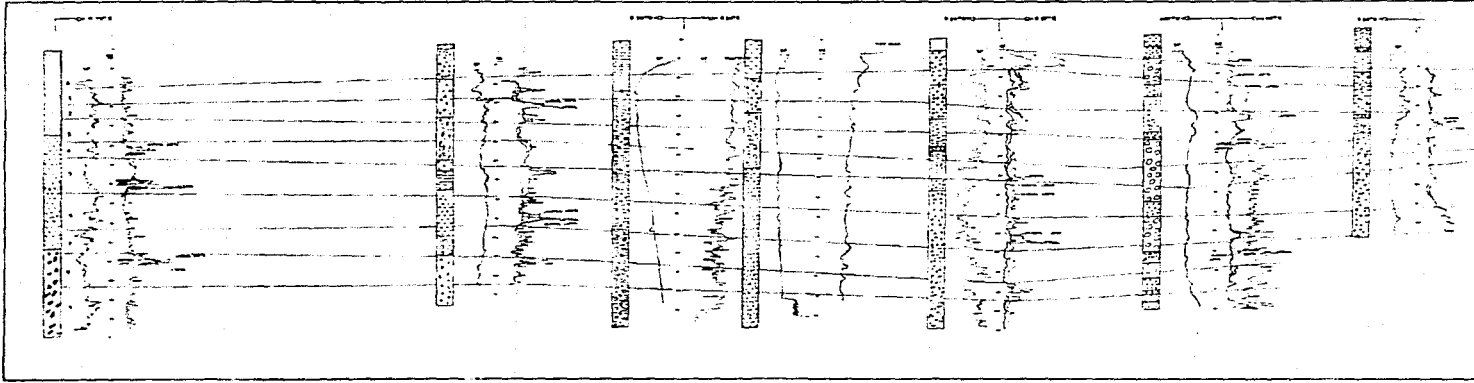
5.- En esta electrocapa sucede el mismo comportamiento, hacia el pozo 5 la respuesta del registro nos indica una capa impermeable de 23m de espesor y a una profundidad de 60 a 83m. Hacia el NE del pozo 12, en el pozo 11, se continúa la capa permeable y el posible contenido de agua dulce encontrándose de 70 a 77m de profundidad con un espesor de 7m.

6.- En la electrocapa se presenta una zona impermeable de 9m de espesor hacia la parte más somera de ésta y una capa permeable con posible contenido de agua dulce y que parece ser continuación del perfil 1, su espesor es de 0m y se encuentra de 94 a 100m de profundidad en los pozos 5 y 11.

7.- Hay una continuación de la electrocapa impermeable en dirección al pozo 11 y hacia el pozo 5, el registro nos indica la posible existencia de una roca compacta, el espesor de esta electrocapa es de 17m y en el pozo 11 tiene una profundidad de 103 a 120m.

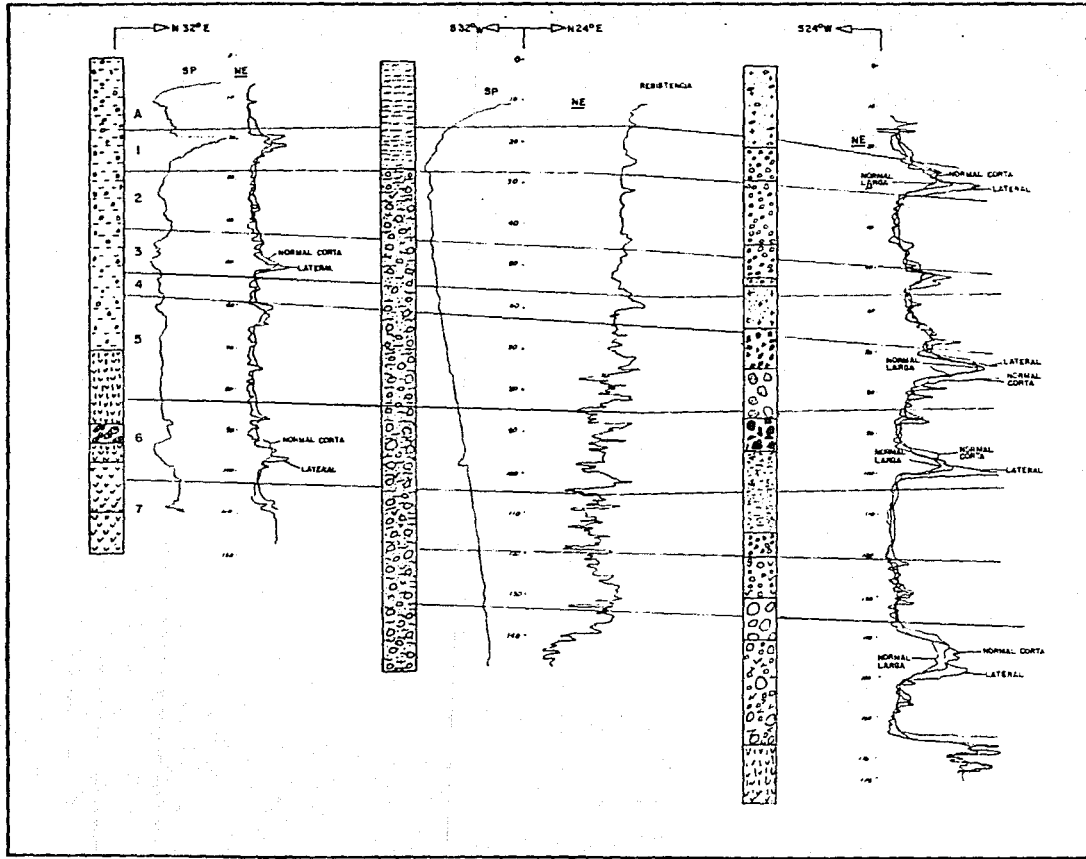
8.- En dirección al pozo 11, la electrocapa aumenta un poco su respuesta de resistividad pero continúa siendo impermeable, aunque falta el registro SP para dar una mejor interpretación, el espesor de la electrocapa es de 15m en el pozo 11 y se encuentra a una profundidad de 120 a 135m.

9.- Debido a que no se tiene respuesta de la curva SP no se puede interpretar muy bien, aunque por correlación con el perfil 1 y las altas resistividades del registro se puede decir que se trata de una electrocapa impermeable formada por roca compacta y por rocas de grano muy fino, su profundidad es mayor a los 135m.



11 FACULTAD DE INGENIERIA  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100





ESC. H.  $\frac{1}{25,000}$

ESC. V.  $\frac{1}{325}$

UNAM	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
	Sección de correlación Geológica - Geofísica de los pozos:	
	5, 12 y 11 Zona MARAVATIO	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
Salvador Ramirez Valles		1990
Angel Sandoval Rojas		fig no. 2

### III.4. - INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE PASTOR ORTIZ, MICH.

#### PERFIL 1: 2-3-7-8-9. (Fig.1)

A.- En la electrocapa superficial la respuesta eléctrica varía en dirección NE del pozo 2, donde presenta características eléctricas, de resistividades altas a muy bajas, lo que nos hace pensar en un cambio de facie en dirección al pozo 9. El contenido de agua en esta electrocapa no es muy evidente excepto hacia el pozo 2, donde posiblemente haya agua dulce, ya que se tienen altas resistividades y un SP negativo. El espesor varía de 10 hasta 25m en los pozos 9 y 3 respectivamente.

En esta sección se infiere una falla inversa, localizada entre los pozos 3 y 7 y de aproximadamente 20m de salto. El buzamiento de las electrocapas es hacia el SW.

1.- Electrocapa impermeable y cuyo buzamiento es al SW del pozo 9, tiene un espesor que varía de los 7m en el pozo 9 alcanzando un máximo de 14m en el pozo 7, la profundidad a la que se encuentra es distinta, siendo más somera al SW de la falla. En el pozo 3 alcanza una profundidad de 15 a 25m y en el pozo 7 de 24 a 38m.

2.- Electrocapa impermeable, en la parte somera de ésta el registro nos indica una roca muy compacta, el SP disminuye casi a cero y la resistividad aumenta, esta roca compacta tiene un espesor promedio de 5m y se encuentra, en su parte más somera (pozo 3), de 26 a 31m y de 39 a 40m de profundidad en el pozo 7. El espesor promedio de la electrocapa es de 21m.

3.- Electrocapa que nos indica en el registro un posible horizonte compacto de 2 a 5m de espesor a una profundidad promedio, al SW de la falla, de 50m y al NE de ésta de 55m, siendo en el pozo 7 su máxima profundidad 63m.

4.- Electrocapa permeable, la deflexión positiva del registro SP en el pozo 7 así como la respuesta de la curva lateral en los demás, indican la posible existencia de agua dulce, el espesor de esta electrocapa varía de los 17m en el pozo 7 hasta los 25m en el pozo 2 encontrándose a una profundidad de 53 a 80m en éste y de 64 a 81m en el pozo 7.

5.- Electrocapa impermeable, el registro nos indica un espesor que va de los 43m en el pozo 7 y donde alcanza su máxima profundidad de 81 a 24m, a los 28m en el pozo 9, de 74 a 102m de profundidad.

6.- El registro nos indica la presencia de una roca compacta ya que el SP es aproximadamente cero y la curva de resistividad grafica valores altos, su profundidad es mayor a los 124m en el pozo 7, siendo somera en el pozo 9 (mayor a 103m), el espesor tentativo de ésta es de 30m y sólo se observa en el pozo 8.

## INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE PASTOR ORTIZ MICH.

### PERFIL 2: 9-10-13-14. (FIG.2)

Los registros de esta sección nos indican la presencia de una falla inversa entre los pozos 10 y 13 con un salto de aproximadamente 28m.

A.- Electrocapa poco permeable que sufre un probable cambio de facie hacia el pozo 14, donde la respuesta de SP es negativa y aumenta la resistividad, probablemente existe agua dulce. El espesor de esta electrocapa varía de 10m en el pozo 9, hasta 40m en el pozo 13.

1.- Electrocapa impermeable con buzamiento hacia el SW al E de la falla en los pozos 13 y 14, su espesor es de 8m en el pozo 9 aumentando hacia el pozo 14 hasta alcanzar un máximo de 16m. La profundidad de esta electrocapa es mayor al E de la falla, alcanzando los 53m en el pozo 13. Al W de la falla es más somera encontrándose de 10 a 18m de profundidad. En el pozo 14 se tiene la respuesta de una roca compacta pero también impermeable.

2.- La electrocapa nos da una respuesta en el registro, de ser impermeable, pero hacia el pozo 14 existe un cambio en las deflexiones de SP y  $\rho$  que nos indica una electrocapa con permeabilidad posiblemente mayor, debido tal vez a la cercanía del río. El espesor de ésta electrocapa aumenta al E de la falla, de 26m en el pozo 9, hasta 54m en el pozo 14 lo mismo que la profundidad a que se encuentra, que va de los 18 a los 44m en el pozo 9 y de 54 a 93m en el pozo 13.

3.- Electrocapa impermeable cuyo espesor aumenta al E de la falla así como su profundidad. El espesor varía de 10m en el pozo 9 hasta 24m en el pozo 14 y su profundidad de 44 a 54m en el pozo 9 y 87 a 111m en el pozo 14.

4.- Las características del SP y de las curvas de resistividad, nos indican que la electrocapa continúa siendo impermeable, aunque la respuesta en el registro del pozo 10 es muy pobre. El espesor varía de 20m en los pozos 9 y 10 a 26m en el pozo 14, siendo su profundidad, mayor al E de la falla, de 55 a 75m en el pozo 9 a 111 y 137m en el pozo 14.

5.- Electrocapa impermeable, aunque en el pozo 14 existe un cambio de facie, pues la respuesta del registro indica una capa permeable pero que puede ser debido a la cercanía del río Lerma. Tiene un espesor esta electrocapa, de 24m en el pozo 9 hasta 28m en el pozo 14 y la profundidad va de los 75 a 99m en el pozo 9 y de 138 a 166m en el pozo 14.

6.- La respuesta eléctrica del registro nos indica la posible presencia de una roca compacta impermeable, con un espesor promedio de 22m y cuya profundidad es mayor a los 99m en los pozos 9 y 10 y mayor a los 167m en los pozos 13 y 14.

## INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE PASTOR ORTIZ, MICH.

### PERFIL 3: 11-15-14. (Fig.3)

En esta sección se observa que las electrocapas buzan hacia el SE.

A.- Electrocapa poco permeable, con respuesta casi cero de SP y resistividad, no siendo así en el pozo 14 hacia donde posiblemente se presenta un cambio de facie, ya que aumenta la resistividad y el SP se vuelve negativo, lo que indica que probablemente haya una zona con mayor permeabilidad y con agua dulce, el espesor de esta electrocapa es de 7 a 22m.

1.- Electrocapa impermeable cuyo espesor aumenta al NE del pozo 11, de 4m hasta 18m en el pozo 14 y cuya profundidad va de 1 a 5m en el pozo 11 a 22 y 40m en el pozo 14.

2.- Electrocapa cuya respuesta de SP y resistividad nos indican que se trata posiblemente de una zona permeable cuyo espesor varía de 10m en el pozo 11, a 50m en el pozo 14 y cuya profundidad aumenta en la misma dirección, siendo de 5 a 21m en el pozo 11 y de 40 a 90m en el pozo 14.

3.- Electrocapa impermeable con un espesor de 8m en el pozo 11 y un máximo de 25m en el pozo 14, encontrándose a una profundidad en el primero de 22 a 30m y en el segundo de 90 a 115m.

4.- Electrocapa impermeable con un espesor de 18m en el pozo 11 aumentando a 20m en el pozo 14, su profundidad aumenta en dirección del pozo 14, encontrándose en éste, de los 110 a los 130m.

5.- Electrocapa permeable en los pozos 11 y 15, hacia el pozo 14 los registros nos indican la posible existencia de un cambio de facie, haciéndose más permeable la capa, ya que aumenta su respuesta, de resistividad esto puede deberse al aumento en la cantidad de clastos gruesos.

Tiene un espesor promedio de 18m y una profundidad de 47 a 65m en la parte más somera que se encuentra en el pozo 11 y de 130 a 155m en el pozo 14.

6.- Los registros de SP y resistividad nos indican que se trata posiblemente de una electrocapa compacta e impermeable hacia el

pozo 14 cuyo espesor no esta bien determinado, ya que en el registro parece continuar hacia abajo y su profundidad es mayor a los 65m en el pozo 11 y mayor a los 100m en el pozo 14. En dirección a los pozos 11 y 15 la electrocapa presenta características de rocas permeables, con un SP positivo y altas resistividades, con posibilidades de contener agua dulce.

## INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE PASTOR ORTIZ, MICH.

### PERFIL 4: 20-13-12. (Fig.4)

A.- Electrocapa poco permeable, ya que su respuesta en SP y resistividad es casi cero. Tiene un espesor que varía de 12 a 25m en los pozos 20 y 12 respectivamente.

1.- Electrocapa impermeable que disminuye de espesor al NE del pozo 20, de 26m en éste a 14m en el pozo 12, y su profundidad aumenta en la misma dirección, en el pozo 20 va de los 12 a los 38m y en el pozo 12 de 41 a 55m.

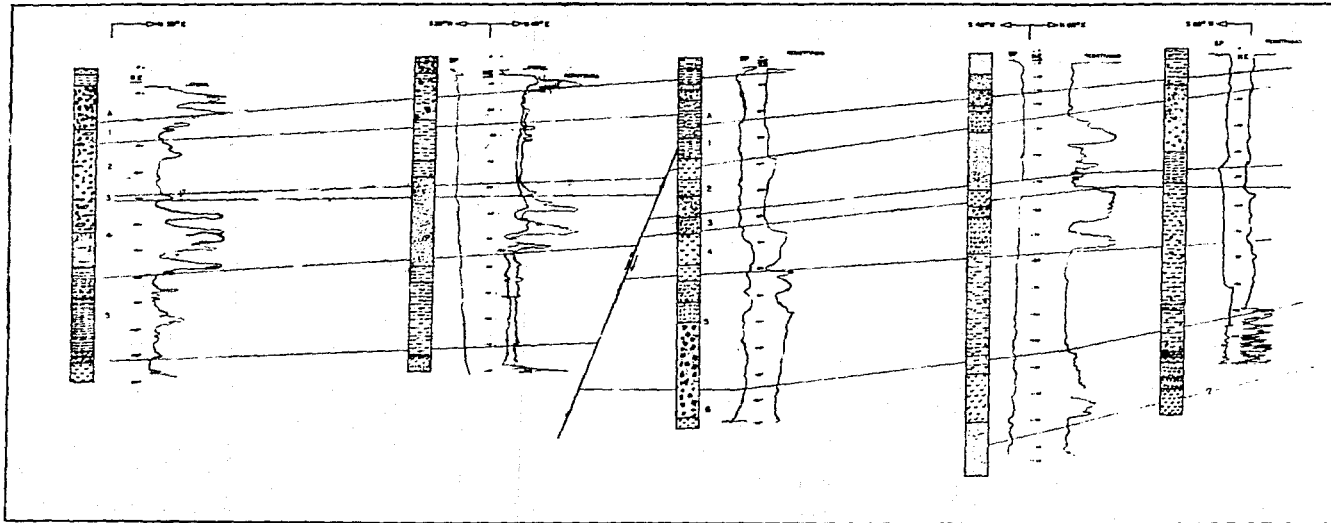
2.- Electrocapa impermeable, sin embargo hacia el pozo 12 los registros SP y resistividad nos indican un cambio en el tipo de grano, y se tiene una zona permeable con posible contenido de agua dulce, esto puede deberse a la cercanía del río Lerma. El espesor de ésta electrocapa varía de los 32m en el pozo 20, a los 36m en el pozo 12 lo mismo que la profundidad a la que se encuentra, siendo mayor en dirección al pozo 12, de 55 a 91m en éste y de 38 a 70m en el pozo 20.

3.- Electrocapa impermeable cuyo espesor disminuye hacia el pozo 12, de 35m en el pozo 20 a 12m en el pozo 12 y su profundidad varía de los 70 y 105m en el pozo 20 y los 91 y 113m en el pozo 12.

4.- Electrocapa que nos da una repuesta en los registros de una zona permeable y cuyo espesor aumenta en dirección del pozo 12, de 15m en el pozo 20 a 27m en el pozo 12, encontrándose a una profundidad que va de los 105 a 120m en el pozo 20 y de 113 a 140m en el pozo 12.

5.- Electrocapa impermeable ya que los registros SP y resistividad de los pozos 20 y 13, indican grano fino, su espesor varía de 20 a 28m en los pozos 20 y 13 respectivamente y cuya profundidad es de 120 a 140m en el pozo 20 y de 138 a 166m en el pozo 13.





ESCH  $\frac{1}{20000}$

ESC.V.  $\frac{1}{385}$

U  
N  
A  
M

FACULTAD DE INGENIERIA

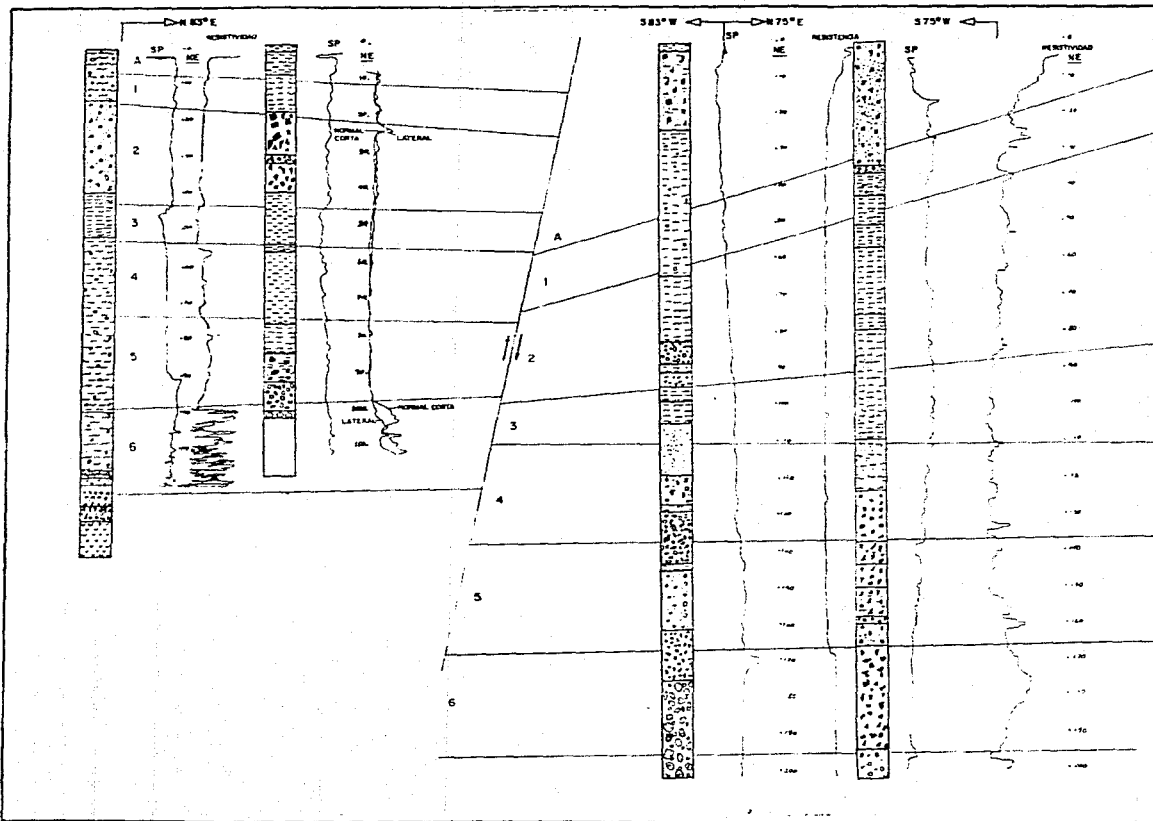
Sección de Correlación  
Geológica — Geofísica de los pozos:  
2, 3, 7, 8 y 9 Zona PASTOR ORTIZ

TESIS PROFESIONAL

Salvador Ramirez Vales  
Angel Sandoval Rojas

1990

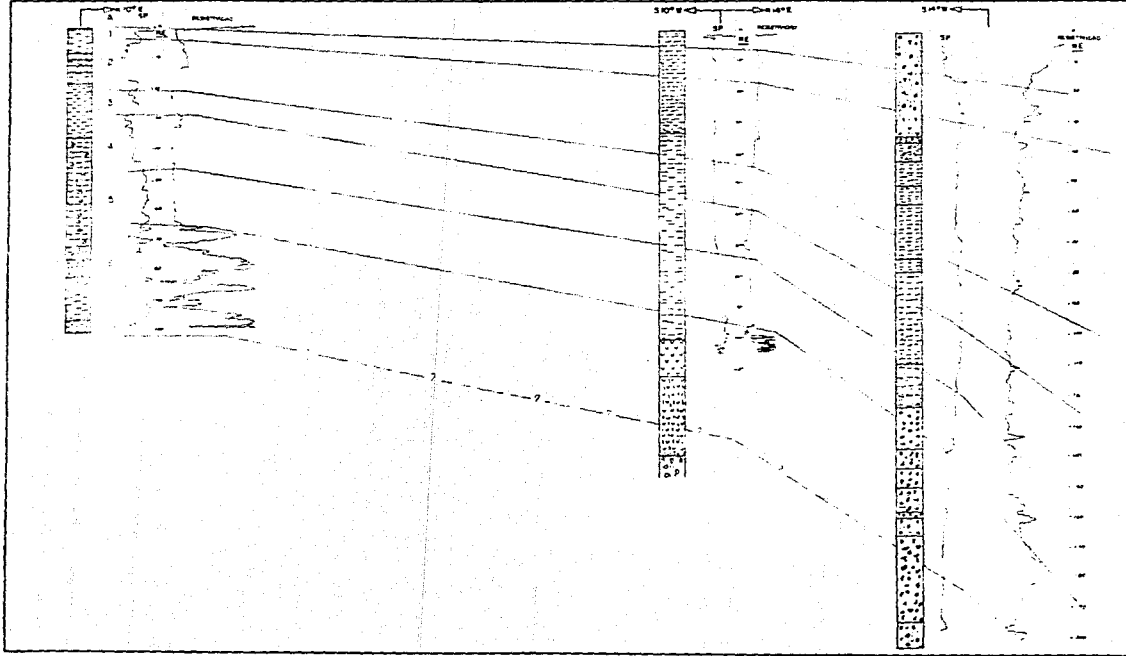
Fig. No.  
1



ESC. H.  $\frac{1}{20,000}$

ESC. V.  $\frac{1}{385}$

UNAM	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
	Sección de Correlación Geológica — Geofísica de los pozos: 9, 10, 13 y 14 Zona: PASTOR ORTIZ	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	Salvador Ramirez Vailes	1990
	Angel Sandoval Rojas	fig no 2



ESC. H.  $\frac{1}{20,000}$

ESC. V.  $\frac{1}{385}$

U  
N  
A  
M  
C

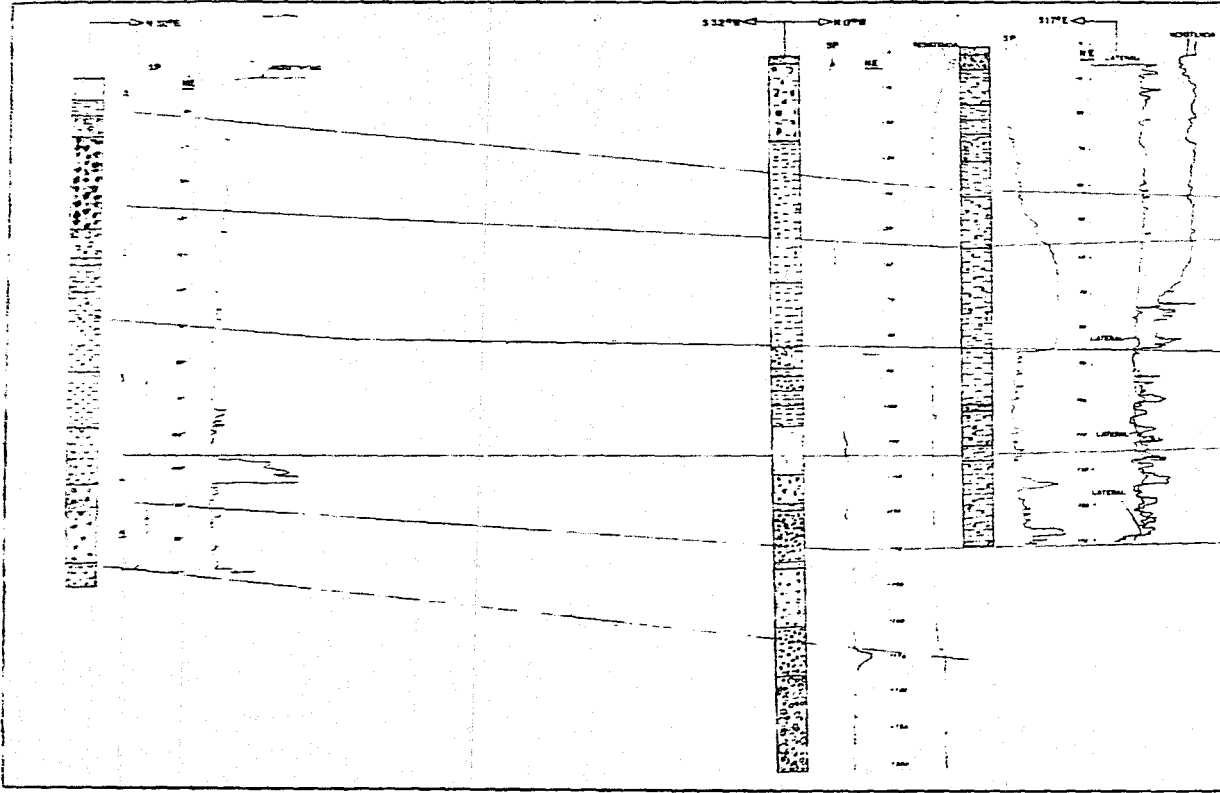
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Sección de Correlación  
Geológica—Geofísica de los pozos  
II, 15 y 14 zona PASTOR ORTIZ

**TESIS PROFESIONAL**

Salvador Ramirez Valles  
Angel Sandova! Rojas

1990
ño
3



ESC. H.  $\frac{1}{10,000}$

ESC. V.  $\frac{1}{385}$

U N A M	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
	Sección de Correlación Geológica - Geofísica de las pozos. 20, 13 y 12 zona: PASTOR ORTIZ	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	Salvador Ramirez Valles	1990
Angel Sandoval Rojas	fig. no. 4	

### III.5. - INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE YURECUARO, MICH.

#### PERFIL 1: 2-4-10 (Fig.1)

A. - Electrocapa superficial con SP negativo y resistividades altas en la parte más profunda, que posiblemente contenga agua dulce y con un espesor entre 8 y 10m; en dirección al pozo 10, esta capa se encuentra a mayor profundidad y en su parte menos profunda aumenta el contenido de material arcilloso y el agua que contiene aumenta en salinidad, observándose ésto, por la disminución de la resistividad y el SP está muy próximo a la línea base.

1. - Electrocapa cuyo espesor es de aproximadamente 7m (pozo 2) adelgazándose hacia el NE hasta un espesor de aproximadamente 3m (pozo 10), se puede deducir que no es permeable por el comportamiento de las curvas SP y de resistividad (normal corta y lateral).

2. - Electrocapa que presenta 2 partes permeables, aunque la respuesta de los registros hacia el NE se manifiesta en menor proporción, lo cual indica que las capas se vuelven menos permeables en esta dirección posiblemente por el aumento en el contenido de limo. Las profundidades a las que se encuentran las zonas permeables varían de pozo a pozo y se encuentran, a una profundidad de 30 y 40m en los pozos 2 y 4, y a 35 y 43m en el pozo 10, existe una capa impermeable entre ellas y otra en la base de la segunda capa permeable a una profundidad de 42 metros en los pozos 2 y 4 y a 40 m en el pozo 10. Los espesores de las capas permeables son (en dirección descendente del pozo):

La primera tiene un espesor de 5 metros en el pozo 2 (de 26 a 31 m de profundidad), aumentando en el pozo 4 a 8 m (de 22 a 30 m de profundidad) y adelgazándose en el pozo 10 a 4 m (de 34 a 38 m de profundidad) y el agua que contiene probablemente es dulce.

La segunda tiene un espesor en el pozo 2, de 4 m (de 36 a 40 m de prof.), en el pozo 4 de 6 m (de 33 a 39 m de prof.) y en el pozo 10 un espesor de 4 m (de 40 a 44 m de prof.) y también presenta respuesta en las curvas de posible contenido de agua dulce.

3. - Electrocapa que representa una capa permeable, pero las respuestas de los registros de SP y  $\rho$  hacia el NE se empobrece lo cual indica un incremento en material arcilloso en esta dirección. En el pozo 2 el espesor de esta capa es de 6 m (de 44 a 50 m de

prof.) aumentando en el pozo 4 a 11 m ( de 42 a 53 m de prof.). En el pozo 10 la capa no es muy permeable y su espesor es de 14 m (de 50 a 64 m de prof.).

4.- Electrocapa impermeable cuyo espesor va de 4 a 6 m, del pozo 2 al 10 ( de 50 a 54 m en pozo 4 y de 64 a 72 m en el pozo 10).

5.- Electrocapa que representa una capa permeable, posiblemente una formación de grano grueso y medio pero que hacia el NE presenta un cambio en el comportamiento de las curvas SP y de resistividad, mostrandonos una capa impermeable. lo que nos indica que existe un cambio de facie del pozo 4 al 10. El espesor de esta capa es de 24 m en el pozo 2 ( de 54 a 78 m de prof.), de 20 m en el pozo 4 (de 60 a 80 m de prof.) aunque puede presentar una permeabilidad menor en el intervalo de 60 a 70 m de profundidad y en el pozo 10 disminuye a 14 m (de 72 a 86 m de prof.).

6.- En esta electrocapa se presenta el mismo cambio de facie que en la anterior, en los pozos 2 y 4 se tiene una capa permeable cuyo espesor es de 20 m en ambos y que puede contener agua dulce debido al comportamiento de las curvas de resistividad, la profundidad a la que se encuentra en el pozo 2 es de 78 a 98 m y de 80 a 100 m en el pozo 4; en el pozo 10 las curvas nos indican una capa impermeable con un espesor de 10 m (de 86 a 102 m de profundidad).

7.- Electrocapa que presenta un área permeable al principio de ésta a menor profundidad, en el pozo 2 tiene un espesor de 6 m ( de 98 a 104 m de prof.), en el pozo 4 un espesor de 8 m ( de 102 a 110 m de prof.) y en el pozo 10 de 6 m ( de 102 a 108 m de prof.) posiblemente, por el comportamiento de las curvas SP y  $\rho$ , exista agua dulce. Después de estas profundidades, en los pozos 2 y 10 las curvas indican una capa impermeable y solo en el pozo 4 se indica la presencia de una zona permeable pero que no es correlacionable con los otros pozos.

## INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE YURECUARO, MICH.

### PERFIL 2: 3-4. (Fig.2)

A.- Electrocapa superficial cuyo SP negativo y sus resistividades altas indican que posiblemente sea permeable y que contenga agua dulce. El espesor de esta electrocapa es de 12m.

1.- Electrocapa impermeable cuyo espesor aumenta hacia el NW de 3 m en pozo 4 a 6 m en el pozo 3.

2.- Al igual que la sección Yurécuaro 1, se sigue presentando hacia el NW el mismo comportamiento de las curvas SP y  $\rho$  indicándonos las mismas unidades, en el pozo 3 la zona permeable más somera se encuentra de los 20 a 26 m de profundidad con un espesor de 6 m y la más profunda de los 32 a los 35 m de profundidad con un espesor de 3 m.

3.- La electrocapa permeable de la sección Yurécuaro 1, se continúa hacia el NW con un espesor de 10 m a una profundidad de 40 a 50 m.

4.- Electrocapa impermeable, se observa que se continúa correlacionando con la sección Yurécuaro 1, su espesor es de 9 m y está a una profundidad de 50 a 59 m.

5.- Hacia el NW la electrocapa continúa siendo permeable aunque el contenido de arcillosidad parece aumentar ya que las curvas SP y  $\rho$  disminuyen su respuesta, su espesor es de 13 m (de 60 a 73 m de prof.).

6.- El cambio de facie se vuelve a presentar en esta electrocapa, pero ahora hacia el NW del pozo 4, en el pozo 3 se presenta una respuesta en los registros, de una capa impermeable, no siendo así en el pozo 4, su espesor es de 24 m (de 74 a 100 m de prof.).

7.- En esta electrocapa la zona impermeable continúa desde la profundidad de 100 m hasta el final del pozo 3 (128 m), lo que nos indica también la continuación del cambio de facie pero ahora al NW del pozo 4.

## INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE LA ZONA DE YURECUARO, MICH.

### PERFIL 3: 10-11. (Fig.3)

A. - Electrocapa superficial que en su parte más profunda presenta un SP negativo y resistividades altas, lo que indica la presencia de una zona permeable y con posible contenido de agua dulce, con un espesor de 10m. Hacia la parte más somera, ésta electrocapa presenta características de ser impermeable, aunque no completamente pero el aumento de material fino es claro. El espesor de la electrocapa varía de 28 a 31m.

1. - Electrocapa impermeable de 2 m de espesor que continúa en el pozo 11 al SE del pozo 10.

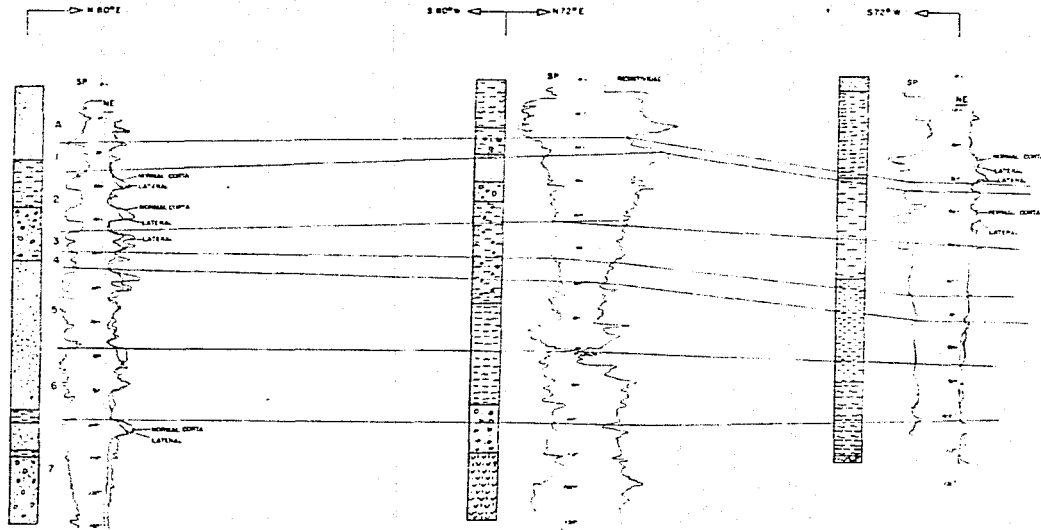
2. - Existe un cambio de facie del pozo 10 al 11 ya que las áreas permeables que se presentan en el pozo 10 no se detectan en el pozo 11, indicándonos una disminución de granos gruesos, el espesor de esta electrocapa es de 18 m (de 30 a 48 m de prof.).

3. - Electrocapa impermeable, el cambio de una zona poco permeable del pozo 10 a una impermeable en el pozo 11 es evidente en el registro, el espesor de ésta capa es en el pozo 11 de 10 m (de 48 a 58 m de prof.).

4. - Electrocapa impermeable de 7 m de espesor ( de 58 a 65 m de prof. ).

5. - Cambio de facie del pozo 10 al 11, en éste las curvas nos indican una capa permeable cuyo espesor no se puede determinar ya que el registro resistivo está incompleto.

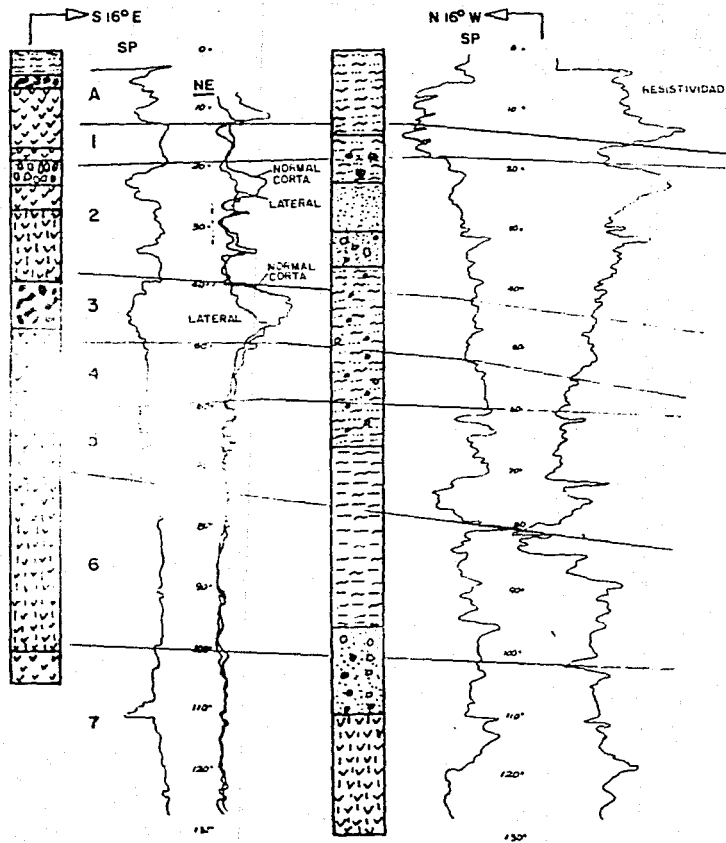




ESC H  $\frac{1}{35,000}$

ESC V  $\frac{1}{365}$

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
	Sección de correlación Geológica - Geofísica de los pozos: 2,4 y 10 Zona: YURECUARO	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	Salvador Ramirez Vafes Angel Sandoval Rojas	1990 fig n° 1



ESC. H.  $\frac{1}{35,000}$

ESC. V.  $\frac{1}{385}$

U  
N  
A  
M

FACULTAD DE INGENIERIA

Sección de Correlación  
Geológica - Geofísica de los pozos:  
3 y 4 zona: YURECUARO

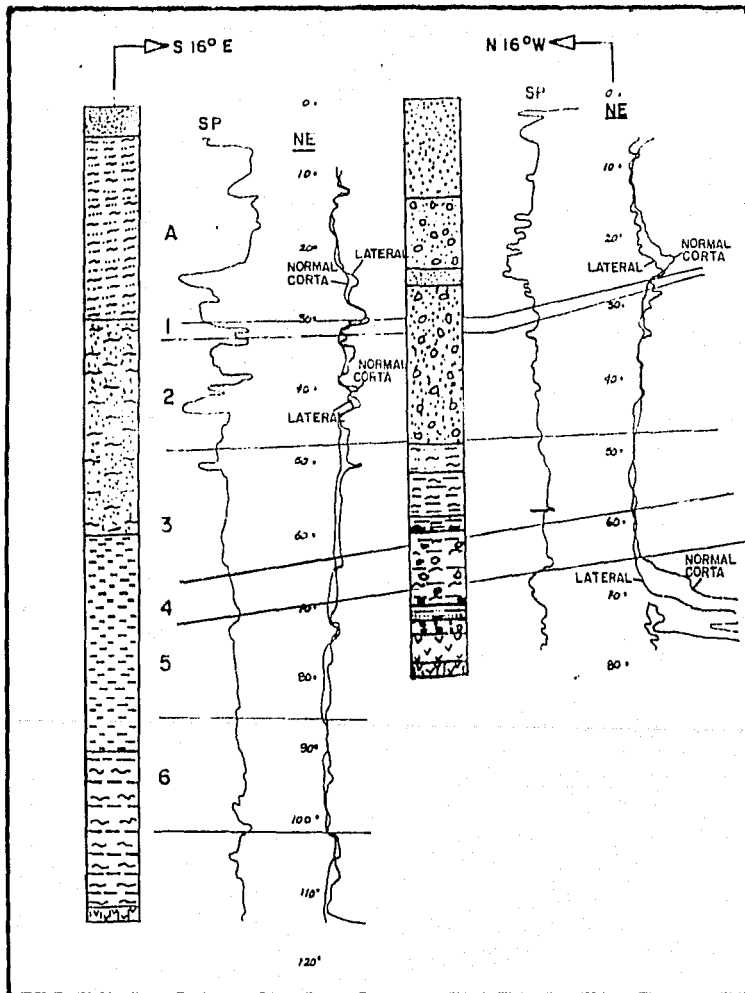
TESIS PROFESIONAL

Salvador Ramirez Valles  
Angel Sandoval Rojas

1990

fig.no.

2



ESC. H.  $\frac{1}{35,000}$

ESC. V.  $\frac{1}{385}$

U  
N  
A  
M

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Sección de Correlación  
Geológica - Geofísica de los pozos:  
10 y 11 zona: YURECUARO

**TESIS PROFESIONAL**

Salvador Ramirez Valles  
Angel Sandoval Rojas

1990

fig. no.

3

## **CAPITULO IV RESULTADOS**

#### **IV.1.- RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES ELECTRICAS EN: ANGAMACUTIRO-PASTOR ORTIZ:**

La electrocapa superficial presenta características de ser permeable, aunque el agua que posiblemente contenga, presenta una salinidad mayor, observándose en la disminución de la resistividad. Hacia el pozo 2 de Pastor Ortiz el agua es más dulce y en dirección al pozo 10 de Angamacutiro aumenta el contenido de arcilla, el espesor varía de 12 a 24m en los pozos 1 y 6 de Angamacutiro respectivamente.

Debido a la falta de información no se realizó la determinación del flujo del acuífero.

En esta zona existen 2 electrocapas cuyas características eléctricas son de un posible acuífero.

La primera es la electrocapa 1 con un espesor de 5m, aunque sólo se cuenta con una curva de resistividad somera, las deflexiones del SP y resistividad nos indican que posiblemente se trata de agua dulce.

La segunda es la electrocapa 4 que es una capa permeable con un nivel que puede contener agua dulce de un espesor aproximado de 10m y cuya profundidad varía de pozo a pozo, pero que oscila entre los 80 y 90m en el pozo 6 y los 62 y 72m en el pozo 10. En la misma electrocapa es posible que también se encuentra agua con mayor grado de sólidos disueltos hacia la parte más somera de ésta.

#### IV.2. - RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES ELECTRICAS EN: MARAYATIO:

La electrocapa superficial constituida por aluvión, presenta características de una roca permeable por la deflexión de la curva SP y con resistividades altas al centro del área en los pozos 4 y 8, que disminuyen hacia los pozos 9, 10, 5 y 11, lo que puede indicarnos un aumento en la salinidad del agua de estos pozos; el espesor oscila entre los 17m en el pozo 8 y los 30m en el pozo 10.

En esta zona se tienen varios niveles dentro de las electrocapas cuyas características eléctricas son de capas con posibilidades de ser acuíferos.

Las electrocapas 1 y 2 tienen niveles, de características similares en SP y resistividad y por el comportamiento de la curva lateral, el agua puede contener menor cantidad de sólidos disueltos. Aunque en los pozos 5 y 11 lo anterior no se cumple, teniéndose una electrocapa impermeable. El espesor del probable acuífero es de 20 a 25m.

La electrocapa 4 nos da una respuesta con buenas características eléctricas y con posibilidades de contener agua dulce y con un espesor aproximado de 10m, pero en el pozo 5 hay un cambio de facie, teniéndose una zona impermeable.

La electrocapa 5 también da respuesta de una capa permeable, aunque la curva de resistividad lateral tiene valores menores lo que posiblemente es debido al aumento de sólidos disueltos. El espesor de esta electrocapa es de 15 a 20m. En el pozo 5 el cambio de facie continúa y se tiene una electrocapa impermeable.

La electrocapa 6 es permeable y su respuesta de resistividad lateral nos indica que posiblemente contenga agua dulce, ésta respuesta se presenta también hacia los pozos 5 y 11. El espesor promedio del acuífero es de 7m.

Dentro de la electrocapa 8 hay un nivel que puede contener agua dulce con un espesor promedio de 4m.

#### IV. 3. - RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES ELECTRICAS EN: PASTOR ORTIZ:

En la electrocapa superficial se presenta una respuesta eléctrica que nos define una capa impermeable constituida probablemente por material de grano fino con deflexiones casi cero de la curva SP y resistividades muy cercanas al cero a excepción de los pozos 2, 3 y 14 de Pastor Ortiz, donde probablemente haya un cambio de facie ya que aumenta posiblemente el contenido de material de grano grueso, observandose un aumento en las resistividades con un SP negativo y donde posiblemente haya agua dulce, teniéndose un espesor que varía de 9 a 25m.

Hacia la parte oriental de esta zona se tienen 2 electrocapas con características de capas permeables, las 2 electrocapas buzan hacia el NE.

La primera, es la electrocapa 2 cuyas respuestas de potencial y resistividad, son mayores en dirección al pozo 11 que nos indica un posible aumento en el tamaño de grano que forma la roca. El hecho de contar solo con una curva de resistividad no permite un mayor análisis de las curvas, sin embargo es posible que el agua que contenga el acuífero sea dulce. El espesor de esta electrocapa aumenta hacia el NE de 18m a 50m en el pozo 14, en donde el contenido de arcilla aumenta.

La segunda electrocapa es la 6 en la cual se presentan potenciales positivos y altas resistividades lo que nos indica la probable presencia de una capa permeable y con agua dulce, cuyo espesor no está bien determinado ya que la respuesta parece continuar hacia abajo, a mayor profundidad. En dirección al pozo 14, esta electrocapa sufre un cambio de facie, dándonos la respuesta eléctrica de una roca que probablemente sea compacta e impermeable. Se encuentra a una profundidad mayor a los 65m.

Hacia los pozos 9, 10, 13 y 20 no se encuentran respuestas eléctricas de estas electrocapas permeables.

En la parte occidental del área sólo una electrocapa nos da una respuesta eléctrica para considerarla como posible acuífero. La electrocapa 4 con un espesor promedio de 20m, presenta características de SP positivo y altas resistividades, lo que implica que posiblemente sea permeable y contenga agua dulce, la continuidad de éste acuífero se ve afectado por la existencia de una falla inversa entre los pozos 3 y 7. En dirección NE, hacia los pozos 8 y 9 la posible presencia de roca compacta e impermeable en un cambio de facie es posible.

#### IV.4. - RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES ELECTRICAS EN: YURECUARO

A partir de las correlaciones eléctricas realizadas en las secciones de esta área, así como de la dirección de flujo del agua subterránea y calidad del agua se tienen los siguientes resultados.

En la electrocapa superficial se encuentra una región permeable hacia la parte menos somera de ésta con posible contenido de agua dulce y con un espesor que varía de 8 a 12m en las secciones.

Existen varios niveles, los cuales se pueden considerar como acuíferos. De menor a mayor profundidad, los niveles o electrocapas 2 y 3 presentan características similares de resistividad y de potencial natural con un espesor de 25 a 30m aunque en los pozos 10 y 11 los niveles sufren un cambio de facie, teniéndose niveles impermeables debido posiblemente al aumento en el contenido de grano fino.

A mayor profundidad, las electrocapas 5 y 6 así como los primeros 5m de la electrocapa 7 tienen niveles cuyas características eléctricas son de capas permeables, teniéndose un espesor de 35 a 40m, sin embargo esto no sucede en los pozos 3, 10 y 11 en los cuales el posible aumento de material arcilloso o de grano fino aumenta, así como la presencia de material duro y compacto.

De acuerdo a las curvas de resistividad en las que se observa un aumento de su valor hacia los niveles 5 y 6 podemos decir que cualitativamente contiene mayor cantidad de sólidos disueltos que en los niveles 2 y 3 esto nos da un indicio de que el agua en los niveles 5 y 6 es menos dulce que el agua de los niveles 2 y 3.

#### Nota:

Las profundidades de los niveles mencionados son variables y pueden verse en las secciones correspondientes para cada zona en particular.



#### IV.5. - RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO.

Según la clasificación de Wilcox basada en la relación del índice SAR, con la conductividad eléctrica (ver los valores de estos parámetros en las tablas del Apéndice I), se determinó la calidad del agua que puede ser usada para riego en nuestra región de estudio; las clasificaciones respectivas para las muestras de agua se establecen en el Apéndice I. Asimismo, se describen los resultados a continuación.

a) En la Zona de Angamacutiro todas las muestras de agua quedaron ubicadas en el campo C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> (Apéndice III), de igual manera las muestras de agua de la Zona de Pastor Ortiz y la Zona de Maravatío, quedaron situadas en el mismo campo a excepción de las muestras P<sub>1</sub> y P<sub>12</sub>, de la Zona de Pastor Ortiz.

La salinidad media (expresada por la conductividad eléctrica) de este conjunto de muestras así como el bajo contenido de sodio en ellas, nos indica que para cultivar no es necesario un control excesivo de la salinidad del agua y por lo tanto se puede usar en la mayoría de los suelos con posibilidad de alcanzar concentraciones de sodio intercambiable.

b) La muestra P<sub>1</sub> de la Zona de Pastor Ortiz se encuentra ubicada en el campo C<sub>2</sub>S<sub>2</sub>, lo que nos indica que no es necesario llevar un control excesivo de la salinidad del agua, sin embargo puede presentar un peligro en condiciones de lavado deficiente, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico.

De la Zona anterior la muestra P<sub>12</sub> pertenece al campo C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> y nos determina un agua altamente salina de acuerdo con el valor de la conductividad eléctrica de este pozo, por lo tanto el uso de esta agua para riego no debe realizarse en suelos de drenaje deficientes al mismo tiempo que la selección de plantas a sembrar deben ser tolerantes a las sales; en cuanto al sodio contenido en el agua no existe problema alguno por las bajas concentraciones de este elemento.

c) La Zona de Yurécuaro quedó situada en el campo C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, indicando una salinidad alta, es decir no se puede usar en suelos de drenaje deficiente, se tiene que hacer una selección de plantas que sean tolerantes a las sales y tener un control de la salinidad del suelo, aún con un drenaje adecuado; con respecto al sodio contenido en el agua no presenta ningún problema por las bajas cantidades de este elemento.

#### IV.6. - RESULTADOS DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

El método utilizado para detectar el elemento presente en exceso en el agua consiste en sobreponer dos gráficas semilogarítmicas de Schoeller-Berkaloff, en donde en una de ellas se tiene la gráfica del análisis químico en cuestión y en la otra la gráfica de los valores de la norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para cada uno de los elementos químicos involucrados (figuras del Apéndice I y II).

El análisis realizado en este método nos indica que el Potasio (K) es el único elemento presente en exceso de acuerdo a los límites de la citada norma.

El Potasio es un elemento químico cuya presencia en el agua subterránea se debe principalmente a la disolución química que ésta ocasiona a los feldespatos.

Los efectos que este elemento provoca en el organismo humano son nulos excepto, claro está, para aquellas personas que clínicamente se les ha limitado su consumo (Catalan Lafuente, 1981).

Por lo tanto, se puede concluir que el agua subterránea de la región estudiada es de buena calidad para el consumo humano ya que no existe, desde el punto de vista químico de los iones mayores, peligro alguno de ingerirla.

#### IV.7. - RESULTADOS DE LOS NIVELES ESTATICOS Y CONTENIDO DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

##### ZONA MARAVATIO:

Unicamente se emplean como indice determinativo, los valores de los sólidos totales disueltos (S.T.D.) debido a la falta de datos del nivel piezométrico (N.P.) de las obras de captación, Fig.1.

El análisis de la configuración muestra que la dirección de flujo es en términos generales de Norte a Sur, tal y como si descargara en la Laguna el Salitre, alimentándola.

Otra evidencia del comportamiento del flujo es la topografía de la zona, ya que el nivel del río es topográficamente más alta que la laguna.

##### ZONA PASTOR ORTIZ:

Con el procedimiento mencionado en el apéndice se tiene, en la parte central del Valle una dirección general de flujo Sur a Norte, corroborado tanto por los datos de salinidad del agua como por los de las alturas de nivel estático Fig.2, de tal manera que las aguas del acuífero que no fueron captados son drenados por el Río Lerma.

Por el contrario en la porción oriental de esta zona, se establece nuevamente la diferencia de resultados entre los métodos aquí aplicados. Los valores de sólidos totales disueltos Fig.3, nos delatan una dirección de flujo E-W, cuya agua es drenada por el Río Lerma; en cambio el análisis de los datos del nivel piezométrico tiene un movimiento general de flujo en dirección NE-SW, establecido posiblemente al igual que el bombeo de la zona anterior, pocos instantes antes de tener las mediciones de los niveles.

##### ZONA YURECUARO:

Los resultados obtenidos de la configuración de sólidos totales disueltos y del nivel piezométrico, tienen grandes diferencias en una porción de esta zona.

Así, la configuración de la salinidad que nos determina la dirección general del flujo es de Sur a Norte Fig.4, se observa claramente que el Río Lerma drena el agua del acuífero, así como también es posible que la Presa Gonzalo, enclavada en el centro de esta zona, transmita agua al acuífero como producto de las

infiltraciones en el terreno de su embalse.

Sin embargo, los datos del nivel piezométrico Fig.5, expresa el comportamiento anterior únicamente en la porción oriental de esta zona, ya que en la parte restante, el movimiento del flujo es en dirección Este-Oeste, posiblemente por la puesta en marcha de las bombas de los pozos de ésta porción, de tal manera que el flujo esté obligado a buscar las zonas de menor presión originados por el bombeo.

Nota: Ver la configuración de los planos en el Apéndice V.

**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

1.- Después de hacer varios registros eléctricos en una área y preparar secciones, se puede predecir el espesor neto de las capas permeables de cada zona de estudio y con esta información adicionada con pruebas de bombeo y producción de los pozos se puede predecir la profundidad a la cual otros pozos perforados serán productores. Esto es de gran importancia práctica porque se puede estimar el costo de perforación exactamente, en términos de cantidad de agua deseada siempre y cuando se tenga toda la información necesaria y correcta para el estudio.

2.- Generalmente la composición del agua de una formación dada es relativamente uniforme sobre un área extensa, entonces es posible calibrar, para cada área las lecturas del registro eléctrico en términos de la salinidad del agua y si es posible tener un registro eléctrico y muestras de agua en una prueba de pozo, se podrá determinar los límites de resistividad y valores de potencial para los cuales el agua puede usarse para propósitos domésticos o industriales.

3.- Existen fallas en la descripción de los cortes litológicos, debido a que no los realiza el personal capacitado, que puede tener un mejor control de las formaciones atravezadas en la perforación.

4.- Las profundidades litológicas no coinciden con las profundidades de las electrocapas, esto se debe al uso de perforación rotaria, donde las muestras tomadas contienen cortes de varios metros del agujero y fragmentos que son resultado de la erosión de las formaciones expuestas al flujo del lodo.

5.- No existe una compatibilidad en los resultados de los registros, debido a que fueron hechos con equipos diferentes. Al realizar algún trabajo de registros para localización de acuíferos deberían cumplirse ciertos requisitos o normas para estandarizar la información.

6.- Los registros realizados no pudieron corregirse debido a que éstos carecían de los datos básicos para éste propósito y sólo se pudo obtener una interpretación cualitativa de ellos.

7.- Se careció de datos elementales en varias de las fuentes de información, como lo fueron: Localización y diseño del pozo, litológico, , número de registro, análisis químico, Niveles Estáticos y de Solidos Totales Disueltos, información incompleta en los registros, como son el tipo de curva de resistividad o el encabezado del registro, que en determinado momento su ausencia limita el alcance del estudio.

8.- En los análisis de agua subterránea, desde el punto de vista de potabilidad, el agua es de buena calidad y apropiada para su consumo ya que los elementos analizados se encuentran dentro de los rangos permitidos.

En 34 de las muestras, el Potasio (K) se sale del rango permitido por la OMS siendo poco significativo en la determinación de la calidad del agua.

Para el riego de cultivos las aguas se clasificaron como de buena calidad y apropiada para este fin a excepción del pozo 1 de Pastor Ortiz que tiene una clasificación C2S2 y la cual nos indica que si no se lleva un control de la salinidad del agua, puede representar un peligro en condiciones de lavado deficiente en terrenos de textura fina, con elevada capacidad de cambio catiónico.

El pozo 12 de Pastor Ortiz se encuentra en la clasificación C3S1 la cual nos muestra una alta salinidad de acuerdo con los valores de la conductividad eléctrica del agua del pozo, por lo tanto el uso de ésta para riego, no debe realizarse en suelos de drenaje deficiente y seleccionar las plantas o frutales tolerantes a las sales.

La zona de Yurécuaro se encuentra dentro de la clasificación C3S1, lo que nos indica una alta concentración de sales y no debe usarse en suelos de drenaje deficiente y hacer una selección de plantas tolerantes a la salinidad.

9.- Angamacutiro-Pastor Ortiz:

El análisis de registros eléctricos nos da bases para recomendar la perforación de otros pozos al NE de Angamacutiro con dirección de los pozos 1 y 6 de Angamacutiro y 1 y 2 de Pastor Ortiz a una profundidad media. Por los análisis químicos, la calidad del agua es buena tanto para consumo humano como para riego.

#### 10.- Maravatío:

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se observó una buena respuesta eléctrica en las electrocapas 1, 2, 4, 5 y 6, lo que nos indica la posible presencia de zonas de explotación del acuífero a diferentes profundidades\*. Existe una tendencia de flujo de Norte a Sur y se propone un área propicia para la perforación de pozos para la extracción, localizada al E de Maravatío entre los pozos 3, 4, 6, 8 y 9 en la cual se observa una zona de recarga y donde posiblemente el principal aportador de esta zona sea el río Lerma. Al Sur del poblado de Tungareo se observa una convergencia de flujos de agua subterránea, comprobándose con la respuesta de las curvas de los registros de los pozos 8 y 9, en ésta zona es posible tener una buena explotación del acuífero.

El agua, es buena para potabilidad y riego ya que cumple los rangos permitidos por la OMS y sus valores están ubicados en el rango C2S1.

\* Se observa un cambio de facie en la electrocapa 5 en dirección a los pozos 5 y 11 con un alto contenido de material arcilloso, lo que la hace impermeable.

#### 11.- Pastor Ortiz:

En la parte Oriental de Pastor Ortiz no es recomendable la perforación de pozos ya que las respuestas que se tienen de los registros nos indican la presencia de un paquete arcilloso en forma general, poco permeable y sólo en los pozos 11 y 12 se tiene la posibilidad de que exista una capa permeable a una profundidad somera. Se tiene una zona de recarga al NE de Pastor Ortiz por lo que si se perfora también se recomienda, sea en las cercanías del pozo 12 y a una profundidad somera.

Con respecto a la parte Occidental, se recomienda la perforación de pozos al SW de Pastor Ortiz en las cercanías de los pozos perforados, a una profundidad somera. Además la zona de recarga tiene una dirección perpendicular a los pozos y se tiene una continuación con los acuíferos de Angamacutiro.

En general, en toda la zona el agua es de buena calidad, exceptuando los pozos 1 y 12 donde aumenta la cantidad de sales, obteniéndose también una deficiencia de drenaje en el suelo.

#### 12.- Yurécuaro:

En la zona de Yurécuaro se recomienda la perforación de pozos para la explotación de acuíferos, en el área comprendida entre los pozos 2 y 4 y a una profundidad somera debido a que la respuesta de las curvas de los registros nos indican la posible presencia de



capas permeables en los niveles 2 y 3 y cuya calidad de agua es aceptable para consumo humano, aunque en esta zona, en forma general, los análisis químicos de calidad de agua indican una alta salinidad y un deficiente drenaje en el suelo. Esto es apreciable en las electrocapas 5 y 6 donde las curvas disminuyen su valor haciéndose menos resistivas. Además existe una zona de recarga con dirección SW respecto al pozo 4.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASQUITH GEORGE, CHARLES GIBSON; "BASIC WELL LOG ANALYSIS FOR GEOLOGISTS", THE AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS, 1982.
- 2.- ASTIER J.L.; "GEOFISICA APLICADA A LA HIDROLOGIA", PARANINFO, MADRID, ESP. 1975.
- 3.- ARROYO CARRASCO F.A.; "APUNTES DE REGISTROS GEOFISICOS DE POZOS" DEPARTAMENTO DE GEOFISICA, FAC. DE INGENIERIA, U.N.A.M. 1985.
- 4.- DESBRANDES ROBERT; "ENCYCLOPEDIA OF WELL LOGGING", INSTITUT FRANCEIS DU PETROLE PUBLICATIONS EDITIONS TECHIUP, 1985.
- 5.- DEWAN JOHN T.; "ESSENTIALS OF MODERN OPEN HOLE LOG INTERPRETATION ", PENN WELL PUBLISHING COMPANY TULSA, OKLAHOMA, 1983.
- 6.- HILCHI DOUGLAS W.; "ADVANCED WELL LOG INTERPRETATION" 1982.
- 7.- HUBERT GUYOD; "INTERPRETATION OF ELECTRIC AND GAMMA RAY LOGS IN WATER WELLS" GEARHART-OWEN, FORT WORTH, TEXAS 1966.
- 8.- CUSTODIO E., LLAMAS M.R.; "HIDROLOGIA SUBTERRANEA" VOL. II, SEGUNDA EDICION, OMEGA, 1983.
- 9.- GOMEZ RIVERO ORLANDO; "REGISTROS DE POZOS" PARTE I TEORIA E INTERPRETACION, 1975.
- 10.- LARA GUERRERO FERNANDO; TESIS PROFESIONAL "LOS REGISTROS DE POZOS EN LA GEOHIDROLOGIA", (INEDITA), 1985.
- 11.- "GEOPHYSICAL WELL LOGGIN FOR GEOHIDROLOGICAL PURPOSES IN UNCONSOLIDATED FORMATIONS", GROUND WATER, SURVEY TNO, TECHNICAL INFORMATION SERVICE, U.S. 1985.
- 12.- "GLOSSARY OF TERMS & EXPRESSIONS USED IN WELL LOGGING", SECOND EDITION, SPWLA, 1985.
- 13.- SERRA O.; "ADVANCED INTERPRETATION OF WIRELINE LOGS", SCHLUMBERGER, 1986.

- 14.- SCHLUMBERGER; "LOG INTERPRETATION " VOL. I, PRINCIPLES, 1972,
- 15.- SCHLUMBERGER; "LOG INTERPRETATION CHARTS" VOL. I, PRINCIPLES, 1985.
- 16.- PIRSON J. SYLVAIN; "GEOLOGIC WELL LOG ANALYSIS" SECOND EDITION, G.P.C., HOUSTON BOOK DIVISION, 1981.
- 17.- PIRSON J. SYLVAIN; "HANDBOOK OF WELL LOG ANALYSIS FOR OIL AND FORMATION EVALUATION" PETROLEUM ENGINEERINES DEPARTMENT THE UNIVERSITY OF TEXAS, PRINTICE-HALL, INC. ENGLEWOOD CLIFFS, N.J. 1963.
- 18.- "WELL LOGGING" SPE REPRINT SERIES No.1, ED. 1971.

**APENDICE I**  
**CALIDAD DEL AGUA**

## INTRODUCCION:

Entre las actividades de un estudio geohidrológico, además de los registros geofísicos de pozos estudiados aquí, se tiene la determinación de la calidad de agua con el fin de establecer si ésta requiere de tratamientos previos al abastecimiento de una población, o bien, si se requiere utilizar otros mecanismos que satisfagan las necesidades humanas.

Tomando en cuenta lo anterior, en este estudio geofísico surge la necesidad de desviar nuestra atención en los aspectos de la calidad del agua de la región.

Los análisis químicos de las muestras de agua que sirvieron de apoyo para la realizar esta tarea fueron determinados en 1980 por la Residencia General de Geohidrología y de Zonas Áridas del Estado de San Luis Potosí (SARH).

## CALIDAD DEL AGUA

Concepto de calidad del agua.

Entre los líquidos comunes el agua es el disolvente más universal, por lo cual es imposible encontrar este líquido químicamente puro en la naturaleza. El tipo y cantidad de materia disuelta dependerá de la etapa en que se encuentre el agua dentro del ciclo hidrológico y de las características propias del lugar. Los sólidos totales disueltos varían a lo largo de este recorrido, aumentando en algunas etapas y disminuyendo en otras.

La capacidad del agua para disolver sustancias en las rocas del subsuelo depende de:

- la superficie de contacto agua-roca.
- la velocidad de circulación del agua.
- la presión y temperatura.
- el tiempo de contacto con las rocas.

Estos factores contribuyen a que, por lo general, la concentración salina sea mayor en las aguas subterráneas que en las superficiales, en cambio la materia orgánica y los microorganismos disminuyen rápidamente con la profundidad, al grado que en terrenos granulares y finos bastan dos o tres metros para su eliminación.

La calidad del agua es un concepto relativo, el calificativo de buena o mala se dará en función del uso al que se destine. Su composición y el conocimiento de los efectos que pueda causar cada uno de sus componentes, permitirá establecer su posible utilización.

Reglamentación de los requisitos de calidad del agua.

El uso principal de las aguas subterráneas es para consumo humano, agrícola o industrial.

En cuanto a normas de calidad se refiere, la Organización Mundial de la Salud (OMS) es la máxima autoridad, (tabla 1) pero también la mayoría de los países tienen sus propias normas, generalmente muy similares a las de la OMS. Los valores de las normas de calidad en México se muestra en la tabla 1.

## CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

Para determinar la calidad del agua para riego se utilizó la clasificación de la U.S. Salinity Laboratory Staff, también conocida como clasificación de Wilcox mejor conocida con el nombre de Índice SAR. (Sodium Absorption Ratio), la cual involucra valores de conductividad eléctrica y las relaciones de los cationes Na, Ca y Mg y así obtener una clasificación del agua de acuerdo a su composición química. Así pues, esta clasificación se basa en las siguientes características:

1) La concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica en micromhos por cm a 25<sup>o</sup>C.

2) La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada índice SAR, cuya relación se obtiene con la siguiente ecuación :

$$\text{SAR} = \frac{r\text{Na}}{\sqrt{\frac{r\text{Ca} + r\text{Mg}}{2}}} \quad ; \quad r = \text{meq/lit}$$

Para que este índice sea representativo, no deben producirse precipitaciones de las sales cálcicas o magnésicas como consecuencia de la evapotranspiración.

A las aguas de un SAR constante se les atribuye un mayor peligro de alcalinización del suelo cuanto mayor es la concentración total.

En la figura 1 pueden apreciarse las 10 categorías del agua establecidas al combinar las distintas clases de las características de conductividad (C) y peligro de alcalinización del suelo (S).

SAR = Sodium absorption ratio.

G-1. Agua de baja salinidad. Conductividad entre 100 y 250 micromhos/cm a 25<sup>o</sup>C que corresponde aproximadamente a 04-160 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de que desarrolle salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra normalmente con el riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

C-2. Agua de salinidad media. Conductividad entre 250 y 750 micromhos/cm a 25°C correspondiendo aproximadamente a 160-480 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar, en la mayoría de los casos, las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

C-3. Agua altamente salina. Conductividad entre 750 y 2250 micromhos/cm a 25°C, correspondiendo aproximadamente a 480-1440 mg/l de sólidos disueltos. No se puede usar en suelos de drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de la salinidad del suelo, aun con drenaje adecuado.

C-4. Agua muy altamente salina. Conductividad superior a 2250 micromhos/cm a 25°C (aproximadamente 1440 mg/l de sólidos disueltos). No es apropiada en condiciones ordinarias para el riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.

S-1. Agua baja en sodio. Puede usarse en la mayoría de los suelos con posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles, como los frutales, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

S-2. Agua media en sodio. Puede representar un peligro en condiciones de lavado deficiente, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico, si no contiene yeso.

S-3. Agua alta en sodio. En la mayor parte de los suelos pueden alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable, por lo que es preciso un buen drenaje, lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.

S-4. Agua muy alta en sodio. En general inadecuada para riego, excepto con salinidades bajas o medias, siempre que se pueda posibilitar su empleo con la disolución del calcio del suelo, el uso del yeso o de otros elementos.

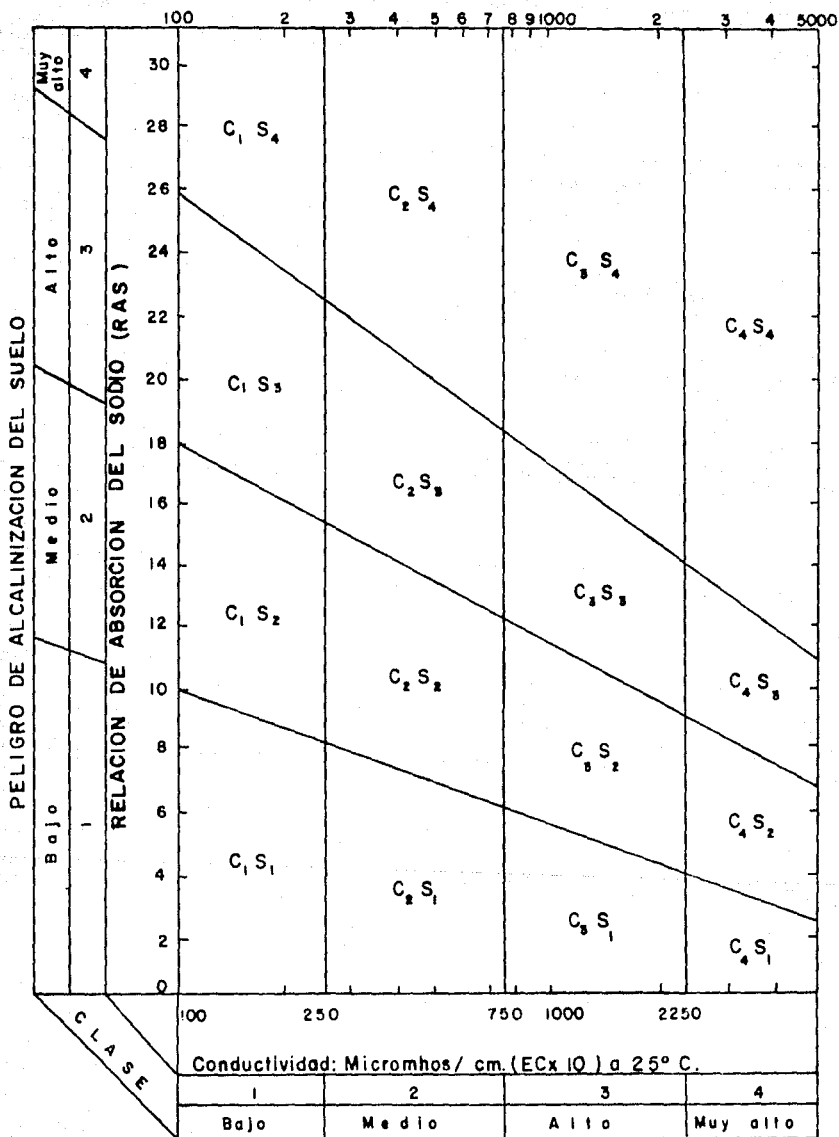
Con respecto a los tipos de cultivos en relación a la salinidad del agua puede establecerse la siguiente clasificación (Davis y de Wiest, 1960, State of California (Circular)):



a) Cultivos medianamente tolerantes: pera, manzana, naranja, almendra, ciruela, melocotón, chabacano, limón, mora, apio, rabano, etc.

b) Cultivos poco tolerantes: uva, aceituna, granada, tomate, coliflor, lechuga, maíz, zanahoria, cebolla, chícharos alfalfa, trigo, centeno, avena, arroz, girasol, higo, col, papas, etc.

c) Cultivos muy tolerantes: dátil, remolacha, espárrago, espinaca, algodón, cebada, etc.



PELIGRO DE SALINIZACION DEL SUELO  
FIG. 1

Diagrama para la clasificación de las aguas para riego, según procedimiento del U. S. Salinity Laboratory Staff

En la siguiente tabla se enlistan algunos cultivos de acuerdo a su tolerancia a las sales.

Tolerancia relativa de diferentes cultivos a las sales.

FRUTALES

Muy tolerantes	Medianamente tolerantes	Poco tolerantes
Palma datilera	Granada Higuera Olivo Vid Melón	Peral Manzano Naranja Toronja Ciruela Almendro Chabacano Durazno Limonero Aguate

HORTALIZAS

Betabel Espárragos Espinacas	Jitomate Brócoli Col Coliflor Lechuga Papas Zanahoria Cebolla Chicharos Calabaza Pepinos	Rabano Apio Ejotes
------------------------------------	--	--------------------------

CULTIVOS COMUNES

Cebada Remolacha azucarera Algodón	Centeno (grano) Trigo (grano) Arroz Sorgo (grano) Girasol Higuerilla	Alubias
--	---	---------

## CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Se dice que un agua es potable, cuando puede ser bebida por el hombre sin peligro alguno para su salud.

Para conocer la calidad de cierta agua destinada al consumo humano, se comparan los resultados de los analisis químicos con los límites que permitan las normas que hayamos adoptado como patrón.

La organización Mundial de la Salud (OMS) en sus "International Standars for Drinking Water" (1963), adopta el criterio de dividir en cuatro grupos las características que afectan la calidad del agua, estas son:

- a) Características químicas y físicas.
  - aa. Sustancias químicas que afectan a la potabilidad del agua.
  - ab. Sustancias químicas que pueden afectar a la salud.
  - ac. Sustancias tóxicas.
  - ad. Indicadores químicos de contaminación.
- b) Características bacteriológicas.
- c) Características biológicas.
- d) Características radioactivas.

En el presente trabajo únicamente se determinara la potabilidad del agua de acuerdo a los criterios de las características químicas.

En Mexico, la institución encargada de normar los requisitos de calidad que debe cumplir el agua, es la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE); la cual en 1982 publico las normas que a la fecha están vigentes (tabla 1).

Desafortunadamente en nuestro país no siempre es posible cumplir con los requisitos que marcan las normas, sobre todo en el medio rural por lo difícil que resulta abastecer de agua potable a la población dispersa, lo cual trae como consecuencia que se tenga que consumir el agua de bordos, jagueyes o ríos sin previo tratamiento; en este tipo de aprovechamientos es comun encontrar contenidos de Sólidos Totales Disueltos (S.T.D.) por encima de las 1000 ppm. En estos casos el límite de aceptación lo fijara la

propia tolerancia del consumidor.

Ingerir agua con más de 1000 ppm. normalmente no causa problemas a la salud, siempre y cuando no se encuentren en exceso algunos elementos críticos, como Arsénico, Selenio, Cromo, Cobre, Zinc, Hierro y Manganeseo.

Tabla 1.- Características químicas que afectan la potabilidad del agua..

Características químicas	O.M.S. (1971)		S.S.A. * (Mexico, 1953)
	Concentración maxima aceptable (ppm)	Concentración maxima permitida (ppm)	Concentración maxima permitida (ppm)
pH &	7 a 8.5	6.5 a 9.2	-----
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	-----	-----	300
S.T.D.	500	1500	1000
Sodio (Na) **	20	175	-----
Potasio (K) **	10	12	-----
Calcio (Ca)	75	200	-----
Magnesio (Mg)	50	150	125
Hierro (Fe)	0.3	1	0.3
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	200	400	250
Cloruros (Cl)	200	600	250
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	-----	45	5

& Sus unidades son adimensionales.

\*\* Los límites de estos elementos son incluidos en las normas de la Comunidad Económica Europea (CEE).

\* Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), actualmente denominada Secretaría de Salud (SS).

\* SEDUE 1982

**APENDICE II**  
**ANALISIS QUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA**

**(RESIDENCIA GENERAL DE GEOHIDROLOGIA Y DE ZONAS ARIDAS, SAN LUIS  
POTOSI, SARH; 1980).**

**RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA DE LOS POZOS DE LA ZONA DE ANGAMACUTIRO, MICH.**

**POZO # 1.**

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Con. de NaCl
POTASIO K	1.5	58.65	0.93	54.54
SODIO Na	3.1	71.30	1.00	71.30
MAGNESIO Mg	0.8	9.72	1.87	18.17
CALCIO Ca	1.6	32.06	1.28	41.03
TOTAL	7.0	171.73	5.08	185.04

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Con. de NaCl
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.6	18.00	1.20	21.60
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.0	122.00	0.36	43.92
CLORUROS Cl	1.2	85.08	1.00	85.08
SULFATOS SO <sub>4</sub>	1.2	57.64	0.74	42.65
TOTAL	7.0	282.72	3.30	193.25

SOL. TOT. DIS. 320 P.P.M

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl = 378.29

CONDUCTIVIDAD 500 Mms/cm

INDICE SAR = 2.84

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

**POZO # 2.**

Nº CATIONES	meq/LT	P.P.M	Mult.	Con. de NaCl
POTASIO K	1.4	54.74	0.93	50.90
SODIO Na	2.5	57.50	1.00	57.50
MAGNESIO Mg	2.0	24.31	1.84	44.73
CALCIO Ca	2.0	52.10	1.27	66.16
TOTAL	8.5	188.65	5.04	219.29

Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M	Mult.	Con. de NaCl
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	6.60	201.30	0.37	74.48
CLORUROS Cl	0.70	49.63	1.00	49.63
SULFATOS SO <sub>4</sub>	1.20	57.64	0.75	43.23
TOTAL	8.50	308.57	2.12	167.34

DIS. TOT. DIS. 320 P.P.M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl = 386.63

CONDUCTIVIDAD 500 Mms/cm

INDICE SAR = 1.65

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1



POZO # 6

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Con. de NaCl
POTASIO K	0.50	19.55	0.95	18.57
SODIO Na	3.00	69.00	1.00	69.00
MAGNESIO Mg	0.80	9.72	1.83	17.78
CALCIO Ca	4.80	96.19	1.28	123.12
TOTAL	9.10	194.46	5.06	228.47

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Con. de NaCl
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.00	244.00	0.37	90.28
CLORUROS Cl	0.70	24.81	1.00	24.81
SULFATOS SO <sub>4</sub>	4.40	211.37	0.75	158.52
TOTAL	9.10	480.18	2.12	273.61

SOL. TOT. DIS. 224 P.P.M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl = 502.08

CONDUCTIVIDAD 350 Mms/cm

INDICE SAR = 1.79

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 10

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Con. de NaCl
POTASIO K	2.00	78.20	0.96	75.07
SODIO Na	5.40	124.20	1.00	124.20
MAGNESIO Mg	1.60	19.44	1.81	35.18
CALCIO Ca	2.40	44.09	1.28	56.43
TOTAL	11.40	265.93	5.05	290.88

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Con. de NaCl
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	5.2	217.20	0.37	80.36
CLORUROS Cl	1.4	49.63	1.00	49.63
SULFATOS SO <sub>4</sub>	4.8	230.59	0.75	172.94
TOTAL	11.4	497.42	2.12	302.93

SOL. TOT. DIS. 284 P.P.M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl = 593.81

CONDUCTIVIDAD 445 Mms/cm

INDICE SAR = 5.40

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

**RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA DE LOS POZOS DE LA ZONA DE MARAYATIO, MICH.**

**POZO # 3**

Nº CATIONES	meq/Lt.	P. P. M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.20	46.92	0.97	45.51
SODIO Na	5.00	115.00	1.00	115.00
MAGNESIO Mg	1.80	21.87	1.80	39.36
CALCIO Ca	4.20	84.16	1.27	106.88
TOTAL	12.20	267.95	5.04	306.75

Nº ANIONES	meq/Lt.	P. P. M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	5.80	176.90	0.36	63.68
CLORUROS Cl	0.70	49.63	1.00	49.63
SULFATOS SO <sub>4</sub>	6.00	288.24	0.73	210.41
TOTAL	12.50	514.77	2.09	323.72

SOL. TOT. DIS. 280 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl = 630.47

CONDUCTIVIDAD 437.50 Mms/cm

INDICE SAR = 2.89

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

**POZO # 4**

Nº CATIONES	meq/Lt.	P. P. M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.90	35.19	0.96	33.78
SODIO Na	5.00	115.00	1.00	115.00
MAGNESIO Mg	2.00	24.31	1.82	44.24
CALCIO Ca	2.40	48.09	1.28	61.55
TOTAL	10.30	222.59	5.06	254.57

Nº ANIONES	meq/Lt.	P. P. M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	6.00	183.00	0.36	65.88
CLORUROS Cl	1.70	120.53	1.00	120.53
SULFATOS SO <sub>4</sub>	2.60	124.90	0.73	91.17
TOTAL	10.30	428.43	2.09	277.58

SOL. TOT. DIS. 332 P.P.M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl = 532.15

CONDUCTIVIDAD 520.00 Mms/cm

INDICE SAR = 3.37

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 5

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.50	58.65	0.96	56.30
SODIO NA	4.00	92.00	1.00	92.00
MAGNESIO Mg	1.60	19.44	1.82	35.38
CALCIO CA	1.60	32.06	1.27	40.71
TOTAL	8.70	202.15	5.05	224.39

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.96	56.30
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	6.00	183.00	1.00	92.00
CLORUROS Cl	2.30	163.00	1.82	35.38
SULFATOS SO <sub>4</sub>	0.40	19.20	1.27	40.71
TOTAL	8.70	365.20	5.05	224.39

SOL. TOT. DIS. 454 P.P.M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl = 467.47

CONDUCTIVIDAD 710.00 Mms/cm

INDICE SAR = 3.17

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 6

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.40	54.74	0.97	53.09
SODIO Na	3.50	80.50	1.00	80.50
MAGNESIO Mg	3.40	41.32	1.80	74.37
CALCIO Ca	4.00	80.16	1.27	101.80
TOTAL	12.30	256.72	5.04	309.76

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	8.00	244.00	0.36	87.84
CLORUROS Cl	1.70	120.50	1.00	120.50
SULFATOS SO <sub>4</sub>	2.60	124.90	0.72	89.92
TOTAL	12.30	489.40	2.08	298.26

SOL. TOT. DIS. 448 P.P.M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl. = 608.02

CONDUCTIVIDAD 700.00 Mms/cm

INDICE SAR = 1.82

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 8

Nº CATIONES	meq/Lt	P. P. M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.90	35.19	0.95	33.43
SODIO Na	2.10	48.30	1.00	48.30
MAGNESIO Mg	2.40	29.17	1.88	54.83
CALCIO Ca	2.60	52.10	1.28	66.68
TOTAL	8.00	164.76	5.11	203.24

Nº ANIONES	meq/Lt	P. P. M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	5.20	158.60	0.36	57.09
CLORUROS Cl	2.20	155.90	1.00	155.90
SULFATOS SO <sub>4</sub>	0.60	28.80	0.74	21.31
TOTAL	8.00	343.30	2.10	234.30

SOL. TOT. DIS. 400 P. P. M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl. = 437.54

CONDUCTIVIDAD 625.00 Mms/cm

INDICE SAR = 1.32

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 9

Nº CATIONES	meq/Lt	P. P. M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.50	19.55	0.97	18.96
SODIO Na	1.00	23.00	1.00	23.00
MAGNESIO Mg	4.00	48.62	1.82	88.48
CALCIO Ca	6.40	128.25	1.27	162.87
TOTAL	11.90	219.42	5.06	293.31

Nº ANIONES	meq/Lt	P. P. M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	7.00	213.50	0.36	76.86
CLORUROS Cl	0.90	63.81	1.00	63.81
SULFATOS SO <sub>4</sub>	4.00	192.16	0.72	138.35
TOTAL	11.90	469.47	2.08	279.02

SOL. TOT. DIS. 320 P. P. M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 572.33

CONDUCTIVIDAD 500.00 Mms/cm

INDICE SAR = 0.438

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 11

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.20	7.82	0.94	7.35
SODIO Na	1.60	36.80	1.00	36.80
MAGNESIO Mg	2.20	26.74	1.89	50.53
CALCIO Ca	2.80	56.10	1.29	72.36
TOTAL	6.80	127.46	5.12	167.04

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.00	122.00	0.36	43.92
CLORUROS Cl	0.80	56.70	1.00	56.70
SULFATOS SO <sub>4</sub>	2.00	96.00	0.76	72.96
TOTAL	6.80	274.70	2.12	173.58

SOL. TOT. DIS. 281 P.P.M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl. = 340.62

CONDUCTIVIDAD 440.00 Mms/cm

INDICE SAR = 1.01

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: G2-S1

POZO # 12

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.10	43.01	0.97	41.71
SODIO Na	6.00	138.00	1.00	138.00
MAGNESIO Mg	1.80	21.87	1.80	39.36
CALCIO Ca	3.60	72.14	1.25	90.17
TOTAL	12.50	275.02	5.02	309.24

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	9.20	250.10	0.36	90.03
CLORUROS Cl	0.90	63.80	1.00	63.80
SULFATOS SO <sub>4</sub>	2.40	115.20	0.72	82.94
TOTAL	12.50	429.10	2.08	236.77

SOL. TOT. DIS. 224 P.P.M.

CONCENTRACION TOTAL DE NaCl. = 546.01

CONDUCTIVIDAD 350.00 Mms/cm

INDICE SAR = 3.65

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: G2-S1

**RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA DE LOS POZOS DE LA ZONA DE PASTOR ORTIZ, MICH.**

**POZO # 1**

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	2.70	105.57	0.97	102.40
SODIO Na	8.00	184.00	1.00	184.00
MAGNESIO Mg	0.80	9.72	1.78	17.30
CALCIO Ca	1.20	24.04	1.24	29.80
TOTAL	12.70	323.33	4.99	333.50

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	5.80	176.90	0.36	63.68
CLORUROS CL	1.30	92.10	1.00	92.10
SULFATOS SO <sub>4</sub>	5.60	269.00	0.71	190.99
TOTAL	12.70	538.00	2.07	346.77

SOL. TOT. DIS. 211.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 680.27

CONDUCTIVIDAD 330.00 Mms/cm

INDICE SAR = 8.00

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

**POZO # 2**

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	2.90	113.39	0.97	109.98
SODIO Na	6.00	138.00	1.00	138.00
MAGNESIO Mg	0.80	9.72	1.78	17.30
CALCIO Ca	3.00	60.12	1.24	74.54
TOTAL	12.70	321.23	4.99	339.82

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.20	128.10	0.36	46.11
CLORUROS CL	4.50	319.05	1.00	319.05
SULFATOS SO <sub>4</sub>	4.00	192.16	0.70	134.51
TOTAL	12.70	639.31	2.06	499.67

SOL. TOT. DIS. 217.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 839.49

CONDUCTIVIDAD 340.00 Mms/cm

INDICE SAR = 4.37

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 3

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.40	54.74	0.96	52.55
SODIO Na	3.00	69.00	1.00	69.00
MAGNESIO Mg	2.20	26.74	1.82	48.66
CALCIO Ca	3.40	68.13	1.27	86.52
TOTAL	10.00	218.61	5.05	256.73

Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	5.20	158.60	0.36	57.09
CLORUROS Cl	0.60	42.50	1.00	42.50
SULFATOS SO <sub>4</sub>	4.20	201.70	0.72	145.22
TOTAL	10.00	402.80	2.08	244.81

SOL. TOT. DIS. 211.20 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 501.54

CONDUCTIVIDAD 330.00 Mms/cm

INDICE SAR = 1.79

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 4

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.50	58.60	0.96	56.25
SODIO Na	2.00	46.00	1.00	46.00
MAGNESIO Mg	1.00	12.50	1.87	23.37
CALCIO Ca	2.00	40.00	1.28	51.20
TOTAL	6.50	157.10	5.11	176.82
Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.00	122.00	0.36	43.92
CLORUROS Cl	1.50	106.30	1.00	106.30
SULFATOS SO <sub>4</sub>	1.00	48.00	0.75	36.00
TOTAL	6.50	276.30	2.11	186.22

SOL. TOT. DIS. 345 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 363.04

CONDUCTIVIDAD 540.00 Mms/cm

INDICE SAR = 1.63

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 5

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.50	19.55	0.94	18.37
SODIO Na	1.50	34.50	1.00	34.50
MAGNESIO Mg	0.60	7.29	1.87	13.63
CALCIO Ca	4.20	84.16	1.29	108.56
TOTAL	6.80	145.50	5.10	175.06

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.80	146.40	0.36	52.70
CLORUROS Cl	0.80	14.18	1.00	14.18
SULFATOS SO <sub>4</sub>	1.20	57.64	0.74	42.65
TOTAL	6.80	218.22	2.10	109.53

SOL. TOT. DIS. 262 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 284.59

CONDUCTIVIDAD 410.00 Mms/cm

INDICE SAR = 0.974

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 6

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Con. de NaCl.
POTASIO K	1.50	58.65	0.96	56.30
SODIO Na	4.00	92.00	1.00	92.00
MAGNESIO Mg	1.20	14.58	1.82	26.53
CALCIO Ca	2.00	40.08	1.28	51.30
TOTAL	8.70	205.31	5.06	226.13

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Con. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.00	122.00	0.36	43.92
CLORUROS Cl	0.70	49.63	1.00	49.63
SULFATOS SO <sub>4</sub>	4.00	192.16	0.73	140.27
TOTAL	8.70	363.79	2.09	233.82

SOL. TOT. DIS. 284.8 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 459.95

CONDUCTIVIDAD 445.00 Mms/cm

INDICE SAR = 3.17

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1



POZO # 7

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.30	11.73	0.96	11.26
SODIO Na	4.00	92.00	1.00	92.00
MAGNESIO Mg	1.40	17.01	1.83	31.12
CALCIO Ca	3.40	69.14	1.28	88.49
TOTAL	9.10	189.88	5.07	222.87

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	5.20	317.20	0.36	114.19
CLORUROS Cl	1.50	53.17	1.00	53.17
SULFATOS SO <sub>4</sub>	2.40	115.29	0.73	84.16
TOTAL	9.10	485.66	2.09	251.52

SOL. TOT. DIS. 192 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 474.39

CONDUCTIVIDAD 300.00 Mms/cm

INDICE SAR = 2.59

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 8

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.80	31.28	0.96	30.02
SODIO Na	4.00	92.00	1.00	92.00
MAGNESIO Mg	0.80	9.72	1.82	17.09
CALCIO Ca	3.60	72.14	1.27	91.61
TOTAL	9.20	205.14	5.05	231.32

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.40	268.40	0.36	96.62
CLORUROS Cl	0.80	28.36	1.00	28.36
SULFATOS SO <sub>4</sub>	4.00	192.16	0.73	140.27
TOTAL	9.20	488.92	2.09	265.25

SOL. TOT. DIS. 192 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 496.57

CONDUCTIVIDAD 300.00 Mms/cm

INDICE SAR = 2.70

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 9

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	2.90	113.39	0.98	111.12
SODIO Na	10.00	230.00	1.00	230.00
MAGNESIO Mg	0.20	2.41	1.73	4.10
CALCIO Ca	4.60	92.19	1.21	111.54
TOTAL	17.70	437.99	4.92	456.82

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	8.00	244.00	0.36	87.84
CLORUROS Cl	2.10	148.89	1.00	148.89
SULFATOS SO <sub>4</sub>	7.60	365.10	0.71	259.22
TOTAL	17.70	757.99	2.07	495.95

SOL. TOT. DIS. 340.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 952.77

CONDUCTIVIDAD 531.35 Mms/cm

INDICE SAR = 6.49

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 10

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.60	23.40	0.96	22.52
SODIO Na	4.00	92.00	1.00	92.00
MAGNESIO Mg	1.00	12.15	1.83	22.23
CALCIO Ca	2.60	52.10	1.29	67.20
TOTAL	8.20	179.71	5.08	203.95

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.80	292.80	0.36	105.40
CLORUROS Cl	1.00	35.45	1.00	35.45
SULFATOS SO <sub>4</sub>	2.40	115.29	0.72	83.00
TOTAL	8.20	443.54	2.08	223.85

SOL. TOT. DIS. 304.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 427.80

CONDUCTIVIDAD 475.00 Mms/cm

INDICE SAR = 2.98

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 11

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	2.00	78.20	0.96	75.07
SODIO Na	3.40	78.20	1.00	78.20
MAGNESIO Mg	1.40	17.01	1.81	30.78
CALCIO Ca	2.60	52.10	1.27	66.16
TOTAL	9.40	225.51	5.04	250.21

Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	6.00	366.00	0.36	131.76
CLORUROS Cl	1.00	35.45	1.00	35.45
SULFATOS SO <sub>4</sub>	2.40	115.20	0.72	82.94
TOTAL	9.40	516.65	2.08	250.15

SOL. TOT. DIS. 224.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 500.36

CONDUCTIVIDAD 350.00 Mms/cm

INDICE SAR = 2.41

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 12

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.60	23.40	0.94	21.99
SODIO Na	1.30	29.90	1.00	29.90
MAGNESIO Mg	0.60	7.20	1.88	13.53
CALCIO Ca	2.00	40.00	1.29	51.60
TOTAL	4.50	100.50	5.11	117.02

Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	2.60	79.30	0.36	28.54
CLORUROS Cl	0.90	63.80	1.00	63.80
SULFATOS SO <sub>4</sub>	1.00	48.00	0.75	36.00
TOTAL	4.50	191.10	2.11	128.34

SOL. TOT. DIS. 524.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 245.36

CONDUCTIVIDAD 820.00 Mms/cm

INDICE SAR = 1.14

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C3-S1

POZO # 13

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.00	39.10	0.95	37.14
SODIO Na	2.00	46.00	1.00	46.00
MAGNESIO Mg	0.80	9.72	1.88	18.27
CALCIO Ca	1.60	32.06	1.29	41.35
TOTAL	5.40	126.88	5.12	142.76

Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.20	128.10	0.36	46.11
CLORUROS Cl	0.60	42.50	1.00	42.50
SULFATOS SO <sub>4</sub>	0.60	28.80	0.74	21.31
TOTAL	5.40	199.40	2.10	109.92

SOL. TOT. DIS. 364.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 252.68

CONDUCTIVIDAD 570.00 Mms/cm

INDICE SAR = 1.83

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 14

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.50	58.65	0.95	55.71
SODIO Na	3.50	80.50	1.00	80.50
MAGNESIO Mg	0.40	4.86	1.85	8.99
CALCIO Ca	1.20	24.04	1.28	30.77
TOTAL	6.60	168.05	5.08	175.97

Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.60	18.00	1.20	21.60
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.00	122.00	0.36	43.92
CLORUROS Cl	1.00	70.90	1.00	70.90
SULFATOS SO <sub>4</sub>	1.00	48.00	0.75	36.00
TOTAL	6.60	258.90	3.31	172.42

SOL. TOT. DIS. 320.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 348.39

CONDUCTIVIDAD 500.00 Mms/cm

INDICE SAR = 3.93

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 15

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.90	35.19	0.97	34.13
SODIO Na	4.00	92.00	1.00	92.00
MAGNESIO Mg	0.60	7.29	1.81	13.19
CALCIO Ca	3.80	76.15	1.27	96.71
TOTAL	9.30	210.63	5.05	236.03

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	5.60	109.80	0.36	39.52
CLORUROS Cl	0.90	63.80	1.00	63.80
SULFATOS SO <sub>4</sub>	2.80	134.50	0.74	99.53
TOTAL	9.30	308.10	2.10	202.85

SOL. TOT. DIS. 256.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 438.88

CONDUCTIVIDAD 400.00 Mms/cm

INDICE SAR = 2.70

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 16

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont de NaCl.
POTASIO K	0.10	3.91	0.95	3.71
SODIO Na	1.60	18.40	1.00	18.40
MAGNESIO Mg	1.00	12.15	1.88	22.84
CALCIO Ca	4.20	84.16	1.28	107.72
TOTAL	6.90	118.62	5.11	152.67

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	4.40	134.20	0.36	48.31
CLORUROS Cl	1.30	92.17	1.00	92.17
SULFATOS SO <sub>4</sub>	1.20	57.64	0.74	42.65
TOTAL	6.90	284.01	2.10	183.13

SOL. TOT. DIS. 345.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 335.80

CONDUCTIVIDAD 540.00 Mms/cm

INDICE SAR = 0.993

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

POZO # 20

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	0.60	23.46	0.95	22.28
SODIO Na	3.50	80.50	1.00	80.80
MAGNESIO Mg	0.80	9.72	1.82	17.69
CALCIO Ca	4.60	92.19	1.26	110.15
TOTAL	9.50	205.87	5.03	236.62

Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS CO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCO <sub>3</sub>	7.20	219.60	0.36	79.05
CLORUROS Cl	1.10	76.99	1.00	76.99
SULFATOS SO <sub>4</sub>	1.20	57.64	0.73	42.07
TOTAL	9.50	354.23	2.09	198.11

SOL. TOT. DIS. 332.00 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl. = 434.73

CONDUCTIVIDAD 520.00 Mms/cm

INDICE SAR = 2.13

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C2-S1

**RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA DE LOS POZOS DE LA ZONA DE YURECUARO, MICH.**

**POZO # 2**

Nº CATIONES	meq/LT	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl
POTASIO K	2.9	113.39	0.97	109.98
SODIO Na	7.0	161.00	1.00	161.00
MAGNESIO Mg	0.8	9.72	1.78	17.30
CALCIO Ca	3.0	60.12	1.23	73.94
TOTAL	13.7	344.23	4.98	362.22

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS $Co_3$	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS $HCo_3$	9.8	298.90	0.36	107.60
CLORUROS Cl	1.5	106.30	1.00	106.30
SULFATOS $So_4$	2.4	115.20	0.72	82.94
TOTAL	13.7	520.40	2.08	296.84

SOL. TOT. DIS. 581 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl = 659.06

CONDUCTIVIDAD 909.00 Mms/cm

INDICE SAR = 5.10

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C3-S1

**POZO # 3**

Nº CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	2.90	113.39	0.98	111.12
SODIO NA	5.00	115.00	1.00	115.00
MAGNESIO Mg	0.60	7.29	1.79	13.04
CALCIO Ca	3.20	64.12	1.24	79.50
TOTAL	11.70	299.80	5.01	318.66

Nº ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS $Co_3$	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS $HCo_3$	6.40	390.40	0.36	140.54
CLORUROS Cl	2.50	88.62	1.00	88.62
SULFATOS $So_4$	2.80	134.51	0.71	95.50
TOTAL	11.70	613.53	2.07	324.66

SOL. TOT. DIS. 617 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl = 643.32

CONDUCTIVIDAD 965.00 Mms/cm

INDICE SAR = 3.64

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C3-S1

POZO # 10

N <sup>o</sup> CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.80	70.38	0.97	68.26
SODIO Na	4.00	92.00	1.00	92.00
MAGNESIO Mg	1.20	14.58	1.79	26.09
CALCIO Ca	5.20	104.20	1.26	131.29
TOTAL	12.20	281.16	5.02	317.64

N <sup>o</sup> ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS Co <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCo <sub>3</sub>	6.00	183.00	0.36	65.88
CLORUROS Cl	1.20	21.20	1.00	21.20
SULFATOS So <sub>4</sub>	6.00	288.20	0.72	207.50
TOTAL	13.20	492.40	2.08	294.58

SOL. TOT. DIS. 576 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl = 612.22

CONDUCTIVIDAD 900.00 Mms/cm

INDICE SAR = 2.24

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C3-S1

POZO # 11

N <sup>o</sup> CATIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	1.50	58.65	0.97	56.89
SODIO Na	4.00	92.00	1.00	92.00
MAGNESIO Mg	4.00	48.68	1.78	86.65
CALCIO Ca	6.00	120.24	1.25	150.30
TOTAL	15.50	319.57	5.00	385.84

N <sup>o</sup> ANIONES	meq/Lt	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS Co <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
BICARBONATOS HCo <sub>3</sub>	8.00	244.00	0.36	87.84
CLORUROS Cl	1.50	106.30	1.00	106.30
SULFATOS So <sub>4</sub>	6.00	288.20	0.71	204.62
TOTAL	15.50	638.50	2.07	398.76

SOL. TOT. DIS. 896 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl = 784.60

CONDUCTIVIDAD 1400.00 Mms/cm

INDICE SAR = 1.79

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C3-S1



POZO # 12

Nº CATIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
POTASIO K	2.40	93.84	0.97	91.02
SODIO Na	5.60	128.80	1.00	128.80
MAGNESIO Mg	2.00	24.31	1.78	43.27
CALCIO Ca	3.00	60.12	1.25	75.15
TOTAL	13.00	307.07	5.00	338.24

Nº ANIONES	meq/Lt.	P.P.M.	Mult.	Cont. de NaCl.
CARBONATOS $\text{Co}_3$	0.40	12.00	1.00	12.00
BICARBONATOS $\text{HCo}_3$	10.00	305.00	0.36	109.80
CLORUROS Cl	1.00	113.40	1.00	113.40
SULFATOS $\text{So}_4$	1.00	48.00	0.72	34.56
TOTAL	13.00	478.40	3.08	269.76

SOL. TOT. DIS. 576 P.P.M.

CONTENIDO TOTAL DE NaCl = 608.00

CONDUCTIVIDAD 800.00 Mms/cm

INDICE SAR = 3.54

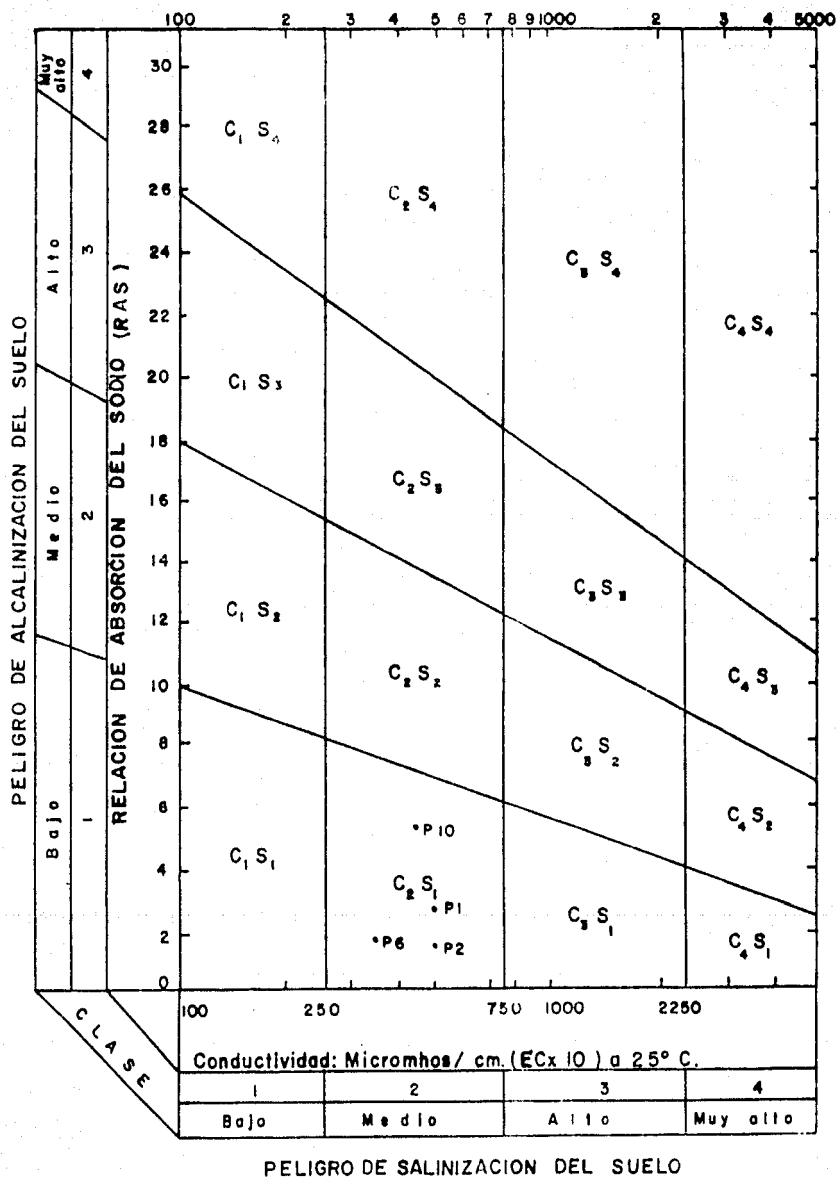
CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO: C3-S1

**APENDICE III**  
**GRAFICAS DE CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO**

TARIFA DE CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO.

No.	Muestra	Zona	Clasificación
P1		Angamacutiro	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P2		Angamacutiro	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P6		Angamacutiro	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P10		Angamacutiro	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P3		Maravatio	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P4		Maravatio	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P5		Maravatio	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P6		Maravatio	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P8		Maravatio	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P9		Maravatio	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P11		Maravatio	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P12		Maravatio	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P2		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P3		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P4		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P5		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P6		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P7		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P8		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P9		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P10		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P11		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P13		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P14		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P15		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P16		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P20		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>1</sub>
P2		Yurécuaro	C <sub>3</sub> U <sub>1</sub>
P3		Yurécuaro	C <sub>3</sub> U <sub>1</sub>
P10		Yurécuaro	C <sub>3</sub> U <sub>1</sub>
P11		Yurécuaro	C <sub>3</sub> U <sub>1</sub>
P12		Yurécuaro	C <sub>3</sub> U <sub>1</sub>
P12		Pastor Ortíz	C <sub>3</sub> U <sub>1</sub>
P1		Pastor Ortíz	C <sub>2</sub> U <sub>2</sub>

# CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO ZONA: ANGAMACUTIRO



# CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO ZONA: MARAVATIO

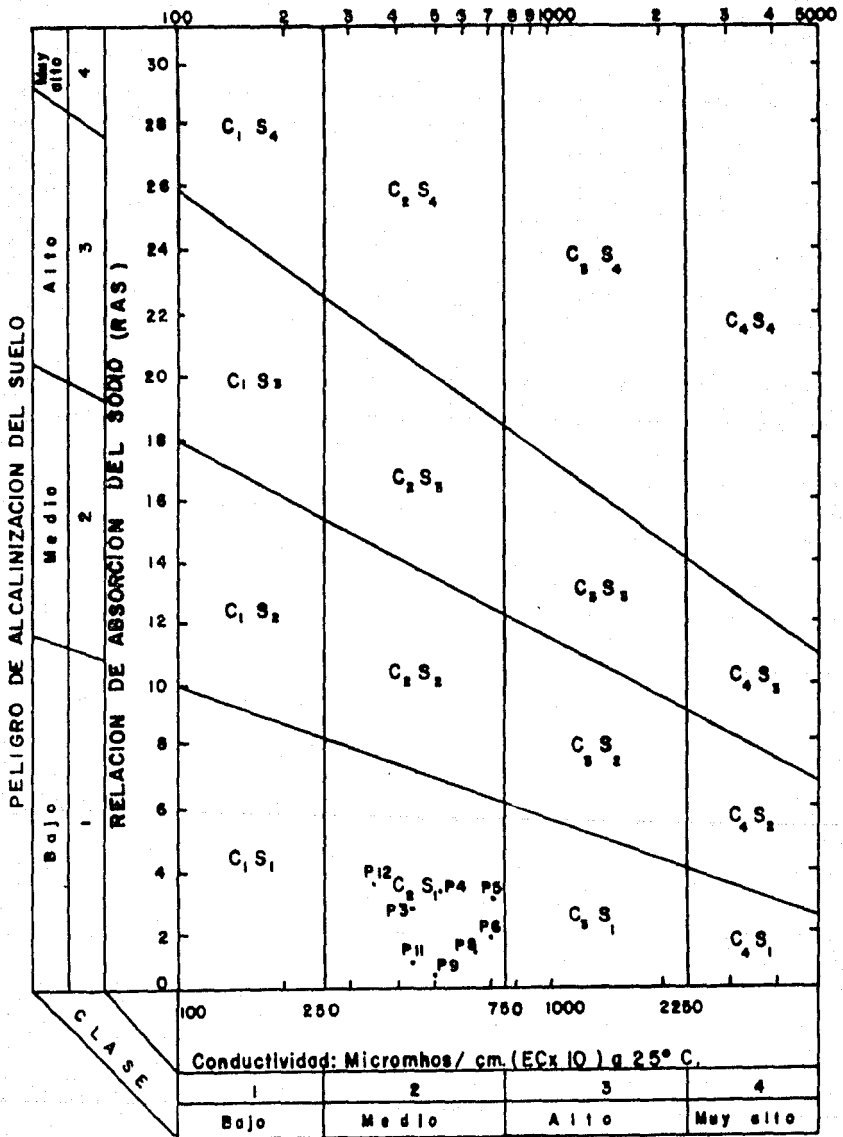
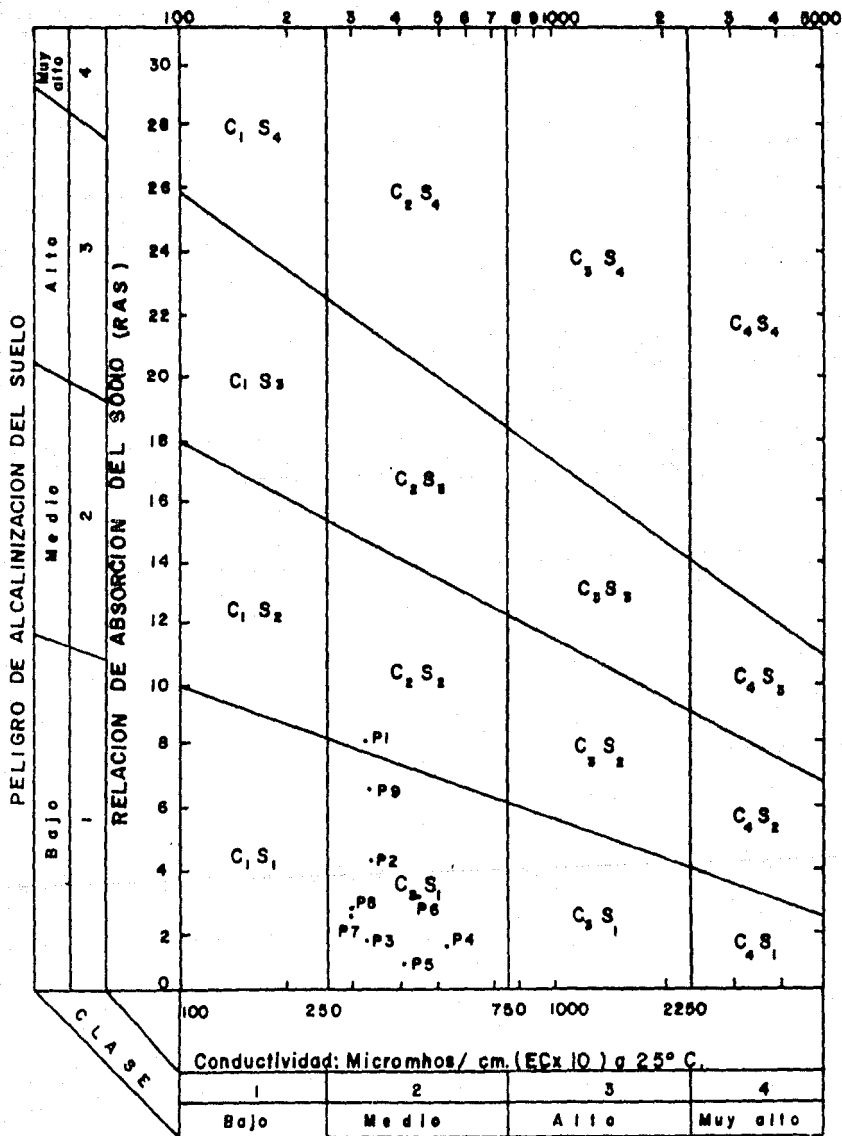


Diagrama para la clasificación de los aguas para riego, según procedimiento del U. S. Salinity Laboratory Staff

# CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO ZONA: PASTOR ORTIZ



PELIGRO DE SALINIZACION DEL SUELO

# CALIDAD DEL AGUA

## PARA RIEGO

ZONA: PASTOR ORTIZ

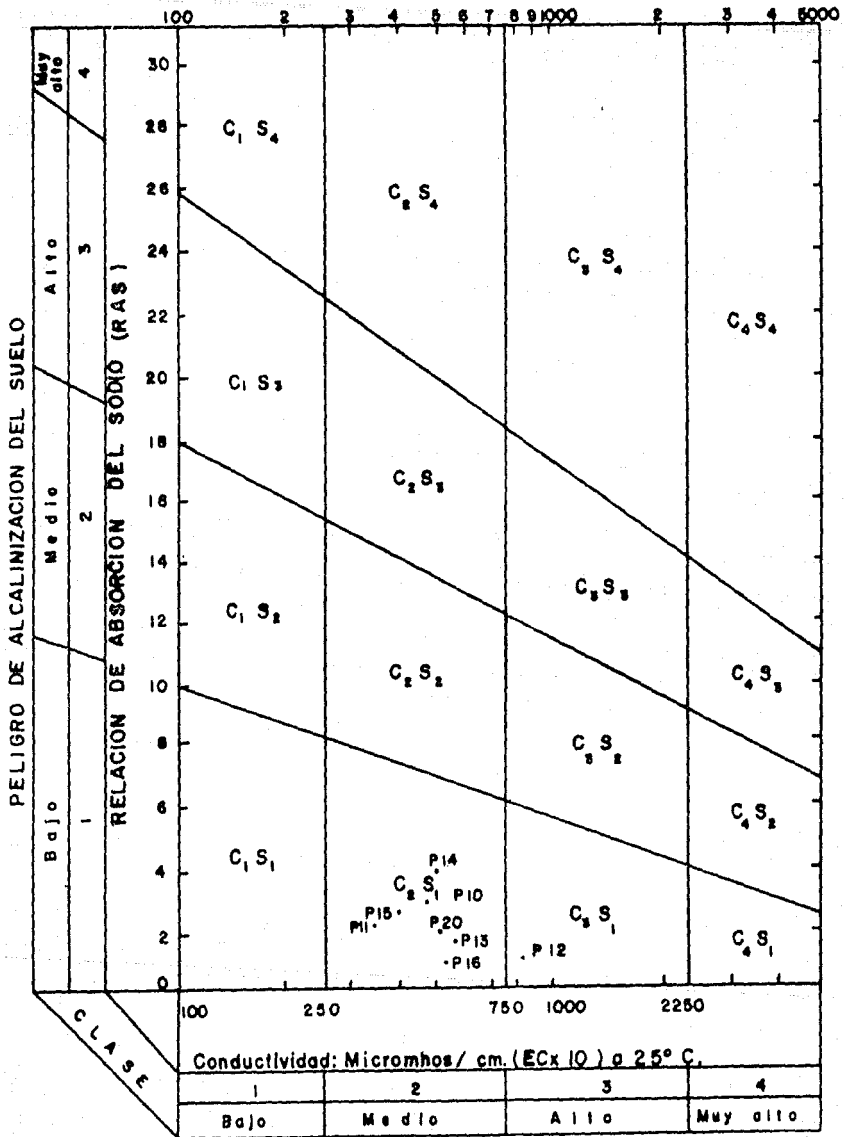
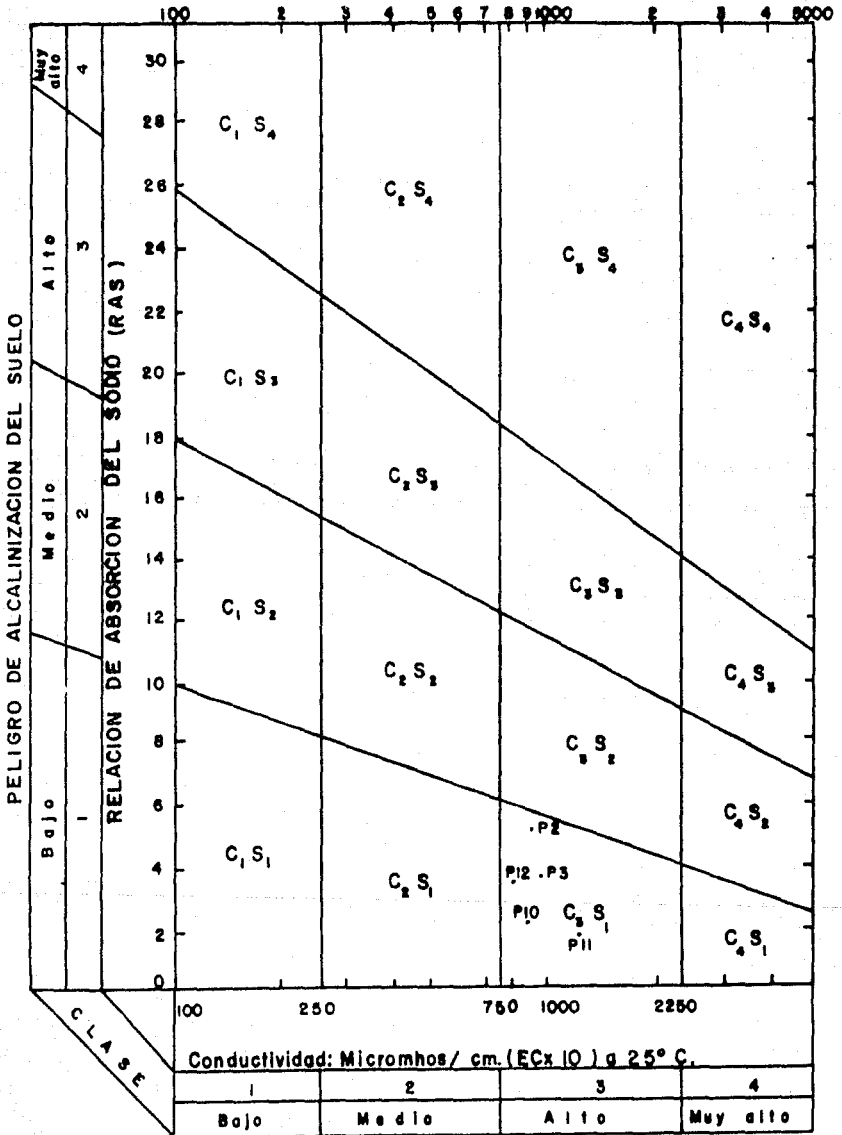


Diagrama para la clasificación de las aguas para riego, según procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff

# PARA RIEGO ZONA: YURECUARO



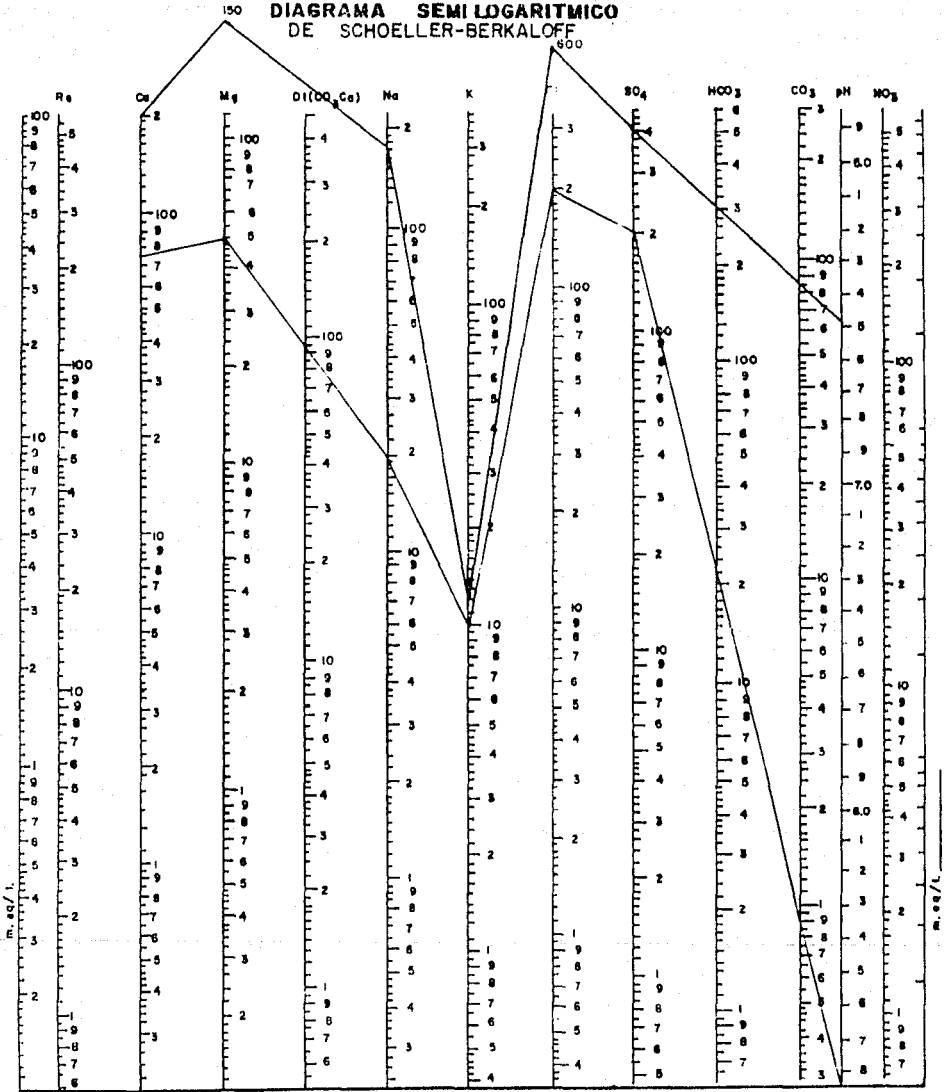
PELIGRO DE SALINIZACION DEL SUELO

Diagrama para la clasificación de las aguas para riego, según procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff



**APENDICE IV**  
**GRAFICAS DE RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**  
**(Las gráficas están ordenadas en orden alfabético)**

# DIAGRAMA SEMI LOGARITMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF



No. DE OBRA	REPRESENTACION
_____	CONCENTRACION MAXIMA ACEPTABLE
_____	CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA.

**OBSERVACIONES**

\_\_\_\_\_

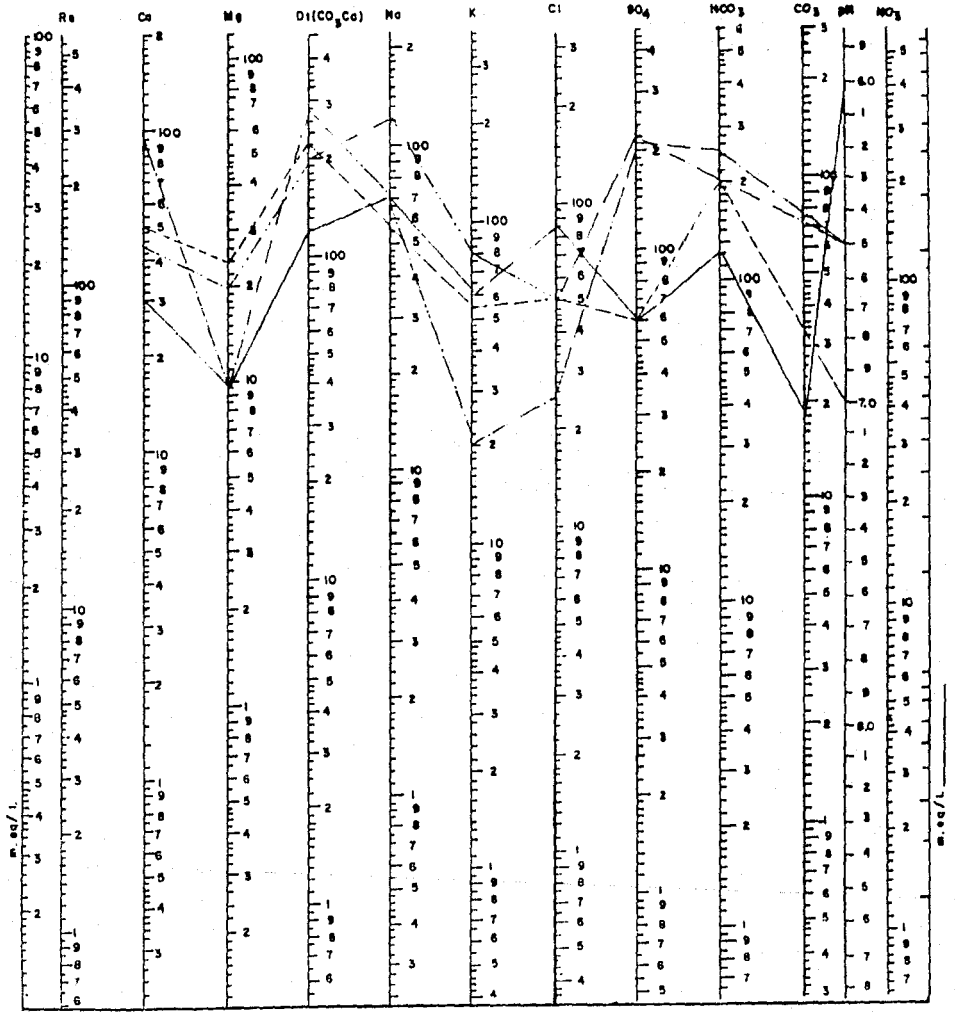
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DIAGRAMA SEMI LOGARITMICO  
DE SCHOELLER-BERKALOFF**



No.DE OBRA	REPRESENTACION
PA 1	_____
PA 2	_____
PA 6	_____
PA 10	_____

**OBSERVACIONES**

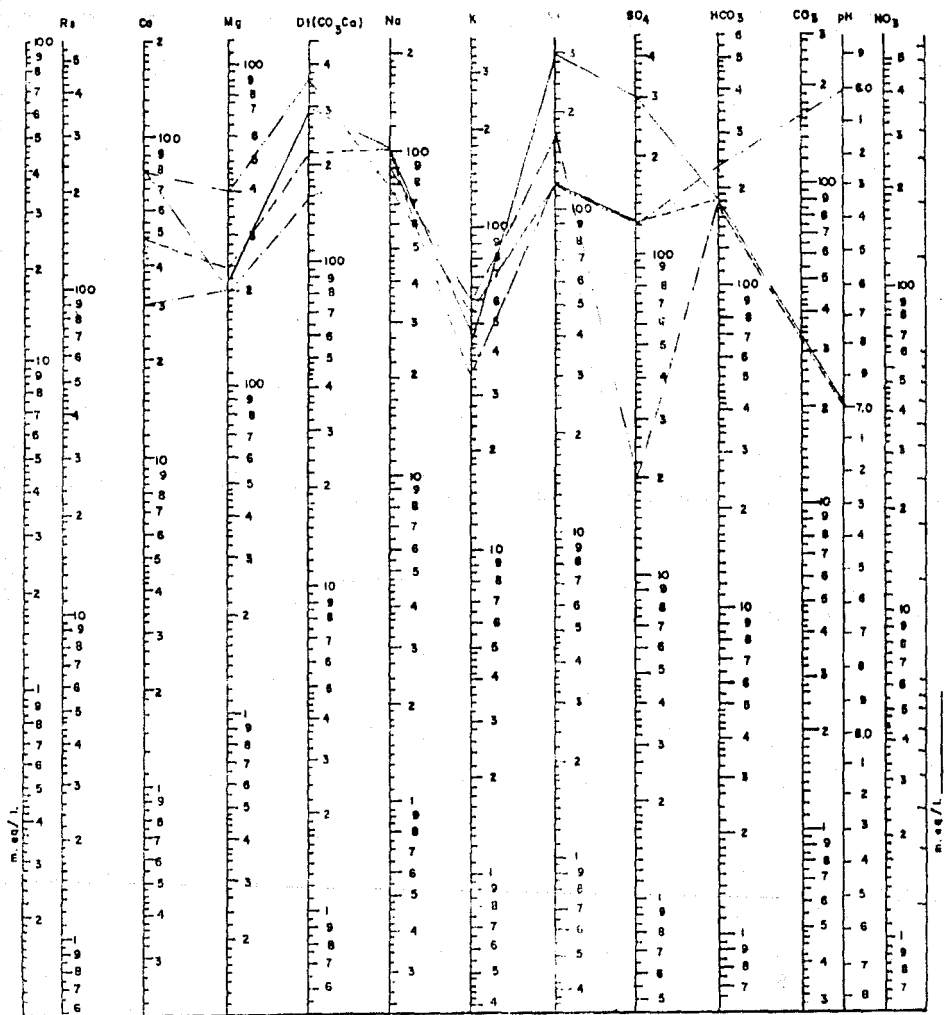
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

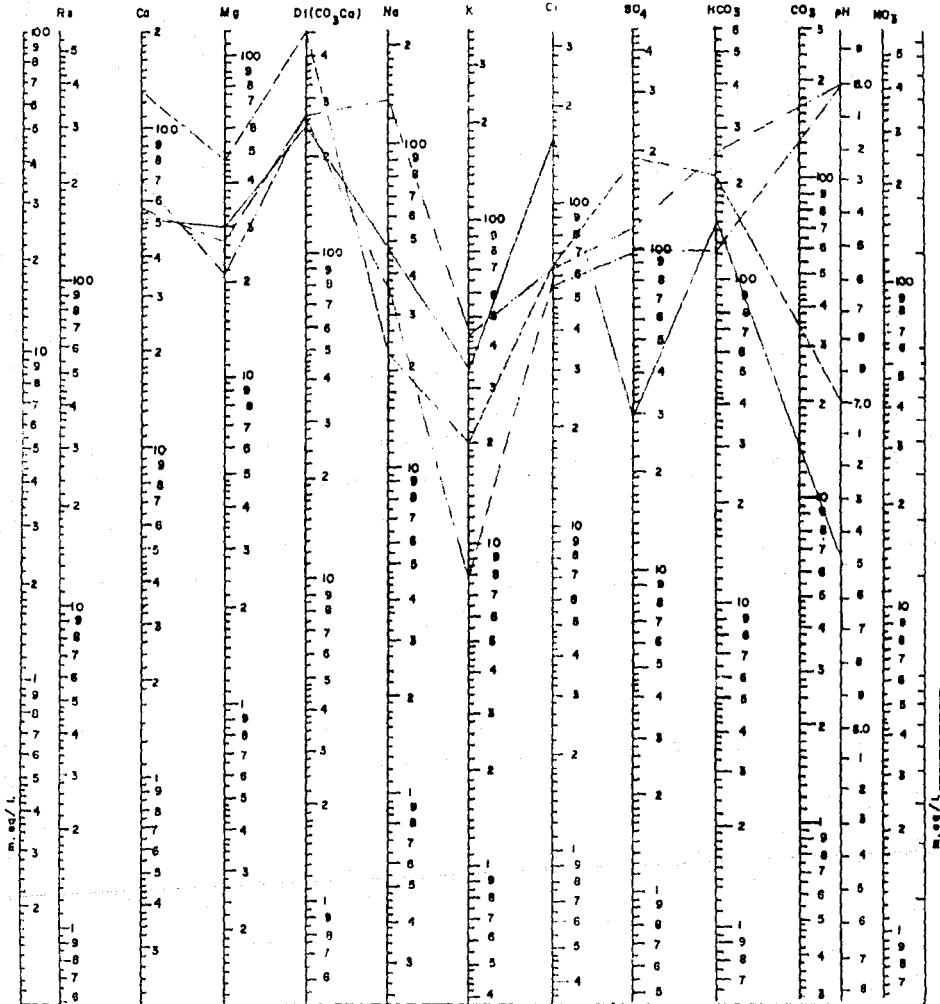
**DIAGRAMA SEMI LOGARITMICO  
DE SCHOELLER-BERKALOFF**



No. DE OBRA	REPRESENTACION
PM 3	—————
PM 4	- - - - -
PM 5	· · · · ·
PM 6	— · — · —

OBSERVACIONES

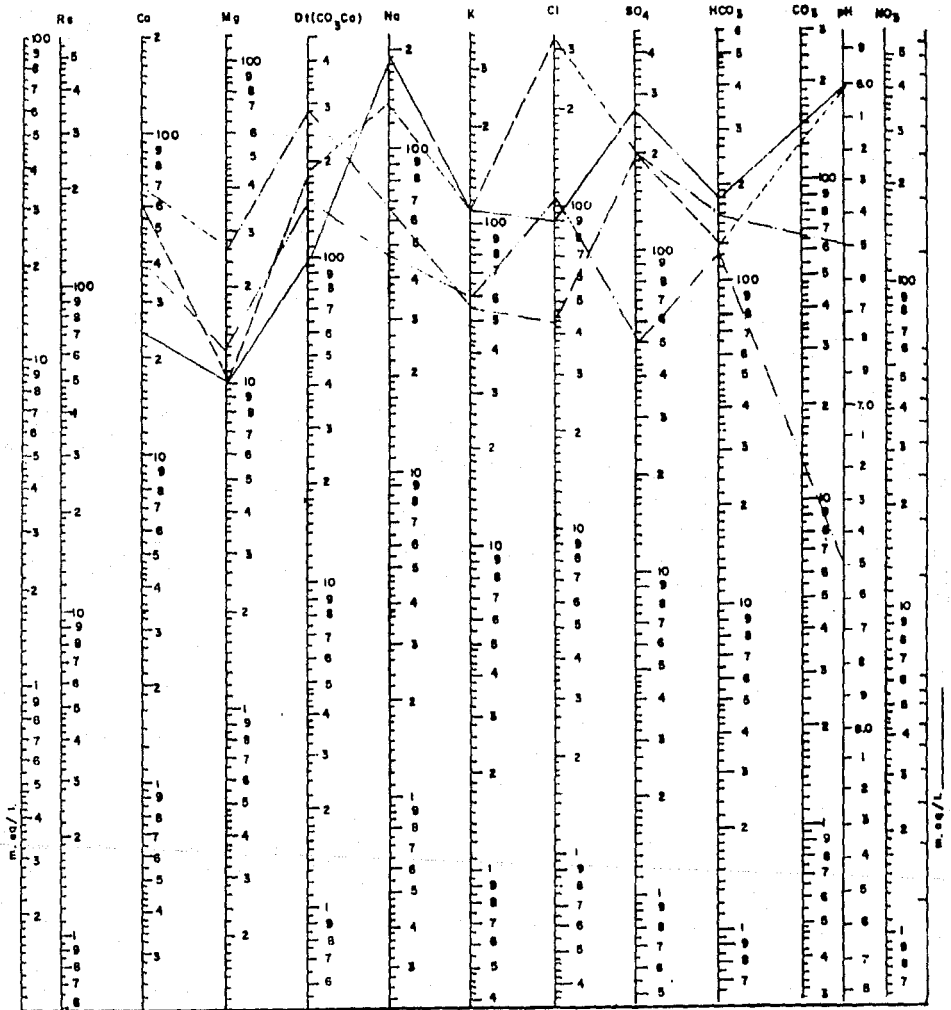
## DIAGRAMA SEMILOGARITMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF



No. DE OBRA	REPRESENTACION
PM 8	_____
PM 9	_____
PM 11	_____
PM 12	_____

OBSERVACIONES
_____
_____
_____
_____

## DIAGRAMA SEMI LOGARITMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF



No. DE OBRA	REPRESENTACION
PPO 1	_____
PPO 2	_____
PPO 3	_____
PPO 4	_____

**OBSERVACIONES**

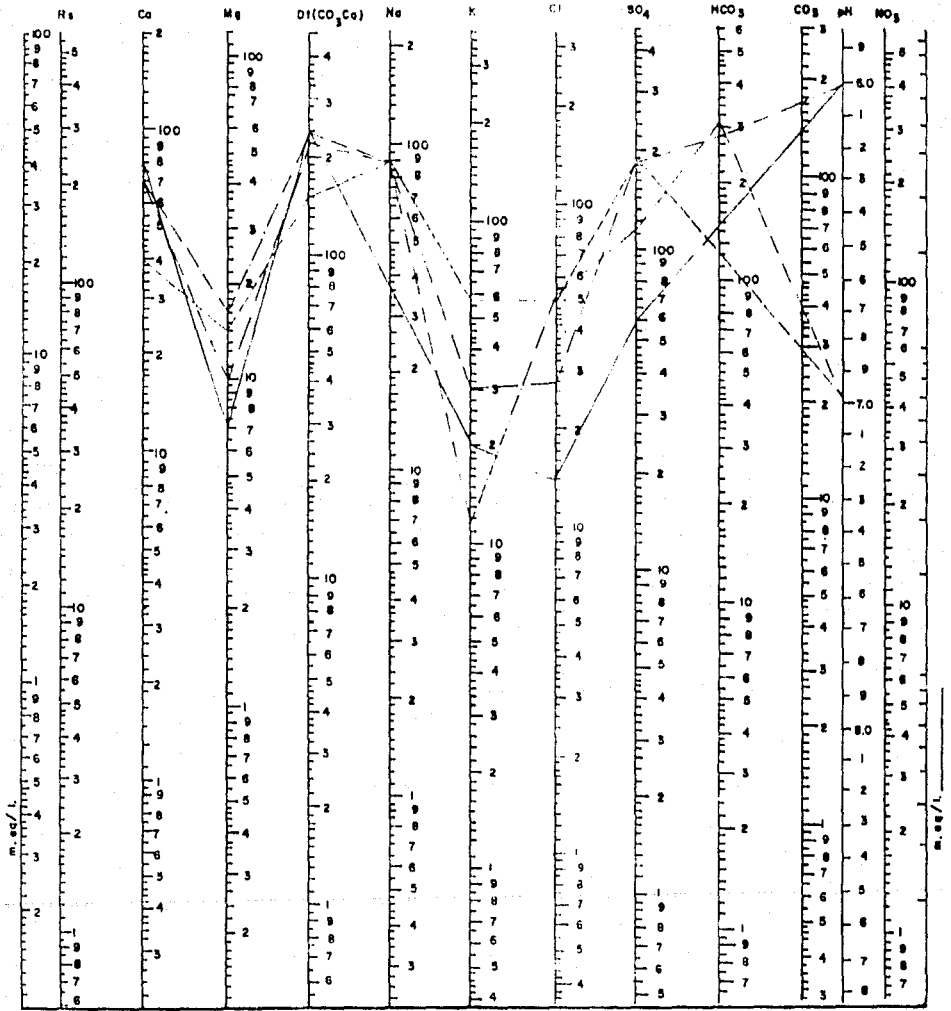
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

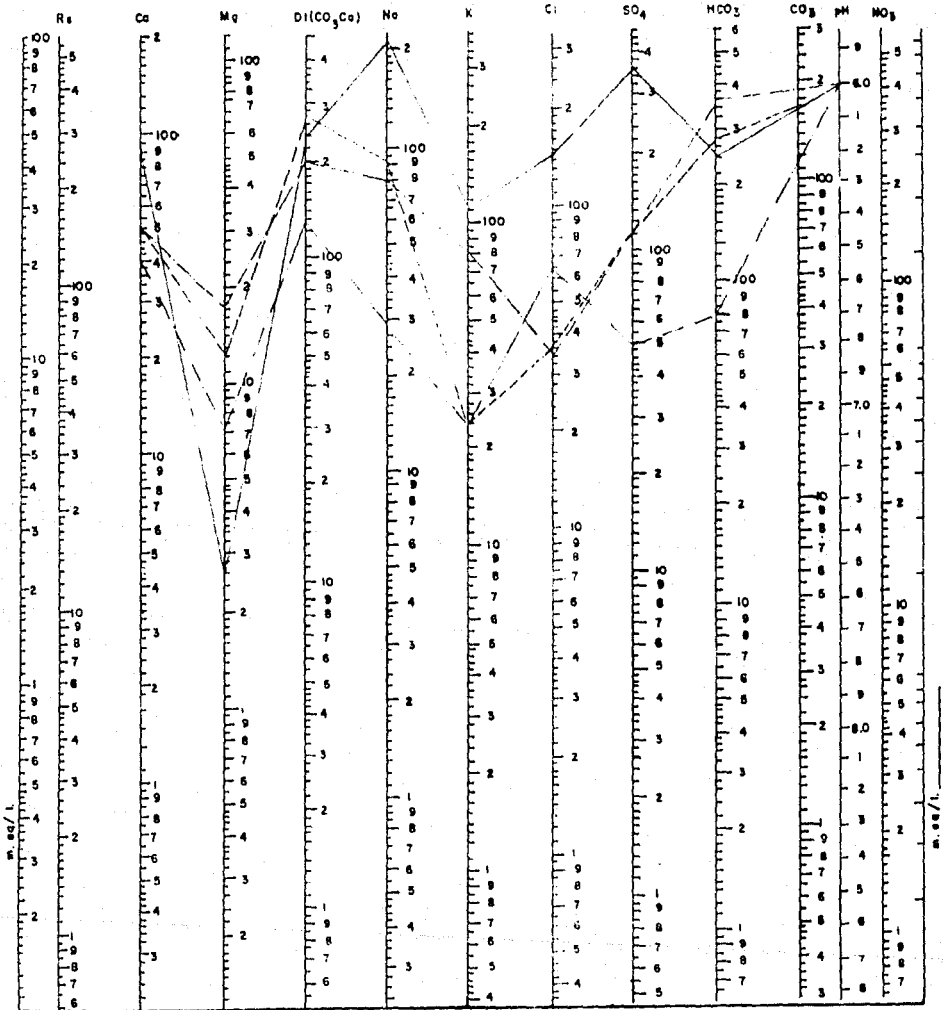
**DIAGRAMA SEMI LOGARITMICO  
DE SCHOELLER-BERKALOFF**



No. DE OBRA	REPRESENTACION
PPO 5	—————
PPO 6	- - - - -
PPO 7	- · - · -
PPO 8	· · · · ·

OBSERVACIONES

# DIAGRAMA SEMI LOGARITMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

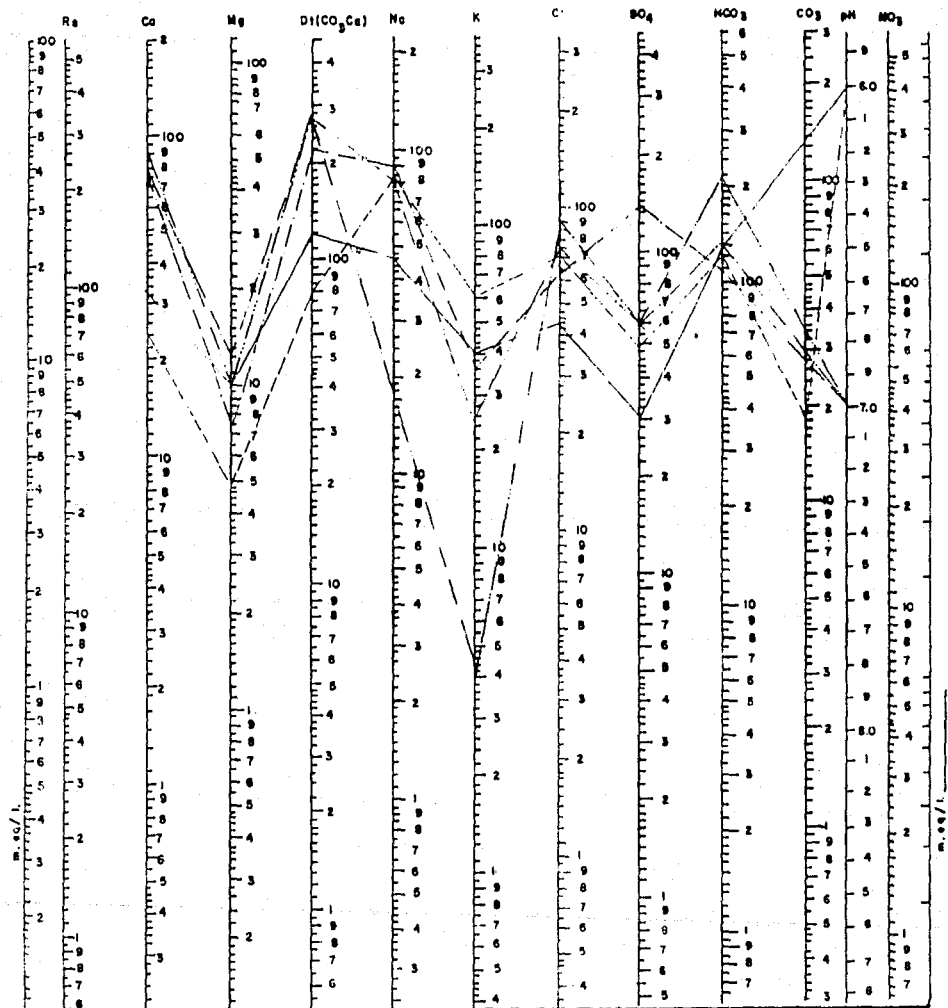


No. DE OBRA	REPRESENTACION
PPO 9	_____
PPO 10	_____
PPO 11	_____
PPO 12	_____

OBSERVACIONES
_____
_____
_____
_____



**DIAGRAMA SEMI LOGARITMICO  
DE SCHOELLER-BERKALOFF**



No. DE OBRA	REPRESENTACION
PPO 13	_____
PPO 14	_____
PPO 15	_____
PPO 16	_____
PPO 20	_____

**OBSERVACIONES**

---



---



---

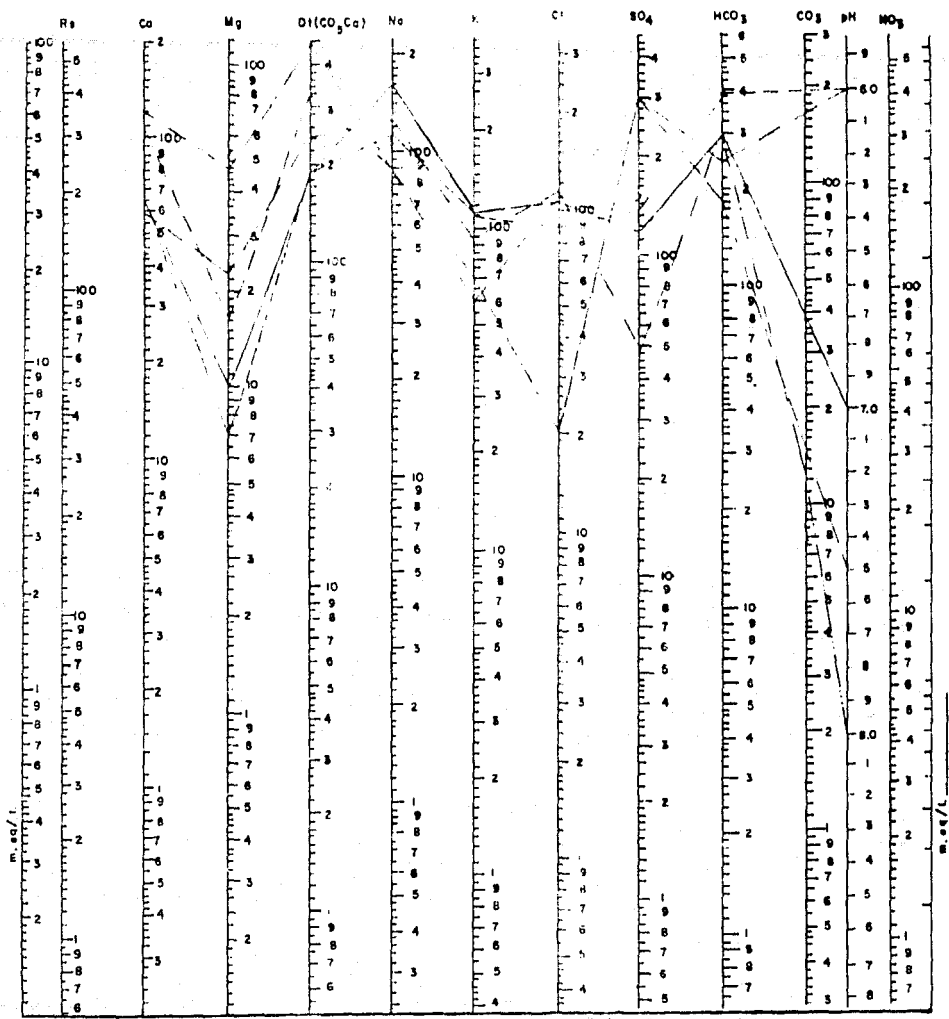


---



---

# DIAGRAMA SEMILOGARITMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF



No. DE OBRA	REPRESENTACION
PY 2	_____
PY 3	_____
PY 10	_____
PY 11	_____
PY 12	_____

**OBSERVACIONES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**APENDICE V**  
**MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA**  
**PLANOS DE NIVEL ESTATICOS Y DE CONTENIDO DE SOLIDOS TOTALES**

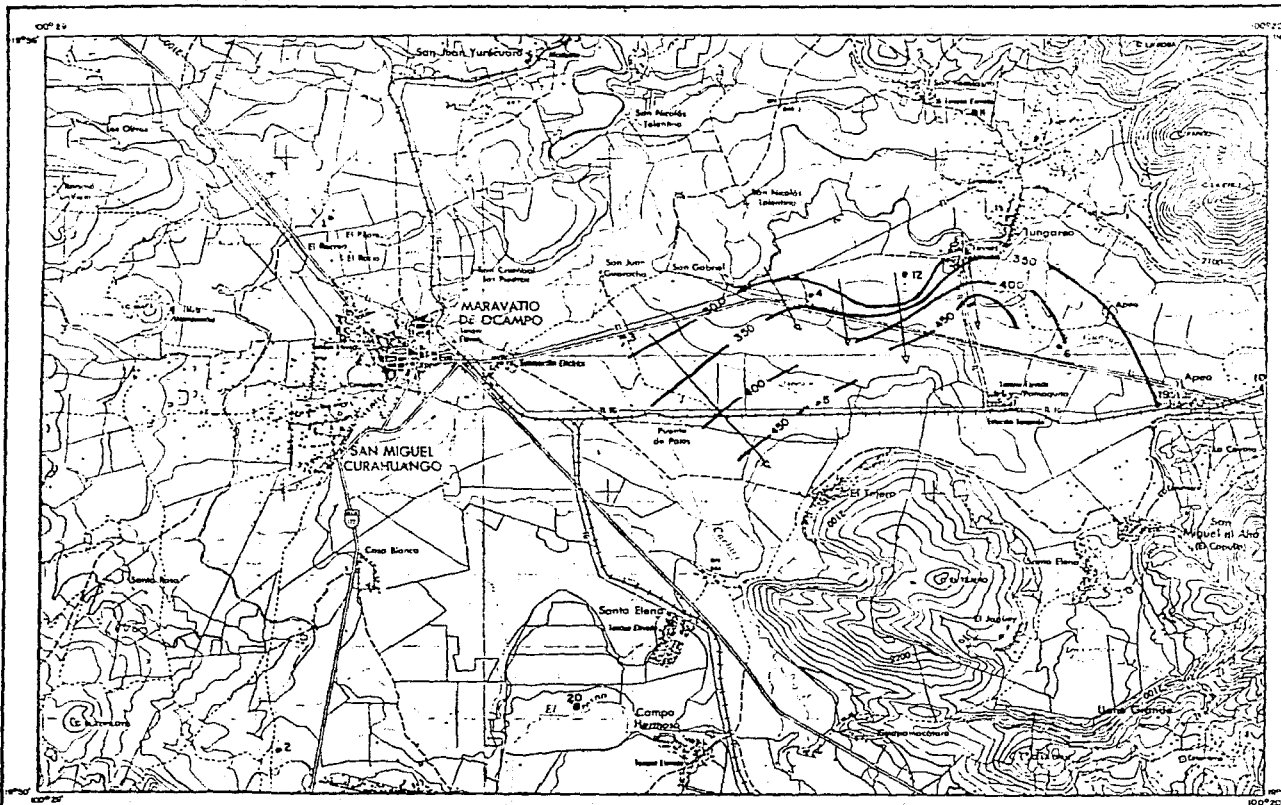
## DETERMINACION DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA.

En este trabajo se intenta determinar la dirección de flujo del agua subterránea del acuífero de las zonas de estudio, apartir del análisis de los datos del nivel estático y el contenido de sólidos totales disueltos en el agua.

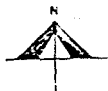
Como se sabe, el contenido de iones disueltos en el agua es directamente proporcional a su espacio recorrido en el subsuelo, es decir que el agua conforme avanza incrementa su salinidad; por esta razón, los sólidos totales disueltos determinados en los análisis químicos, de cada una de las muestras representativas de una obra de captación del agua del acuífero, se emplea como índice de la dirección de flujo.

La práctica del uso de la salinidad del agua como indicador de la dirección de su movimiento, consiste en ubicar en un plano del area de estudio, las obras (pozos) muestreadas con sus respectivos valores de sólidos disueltos y mediante interpolación de éstos, se determinan los puntos de igual valor que posteriormente se grafican como curvas.

Con el fin de tener mayor evidencia en la determinación de la dirección de flujo, se aplica el método de análisis del Nivel Piezométrico, que como ya se sabe, consiste primero en el trazado de las líneas equipotenciales, o sea líneas que nos marcan los niveles de agua sometidos a la misma presión y que equivalen a los niveles de agua de un acuífero localizados a la misma altura con respecto al nivel del mar; una vez hecho esto, se configuran las líneas decorriente o de dirección de flujo, que deben ser perpendiculares a las líneas equipotenciales.



**ZONA MARAVATIO**

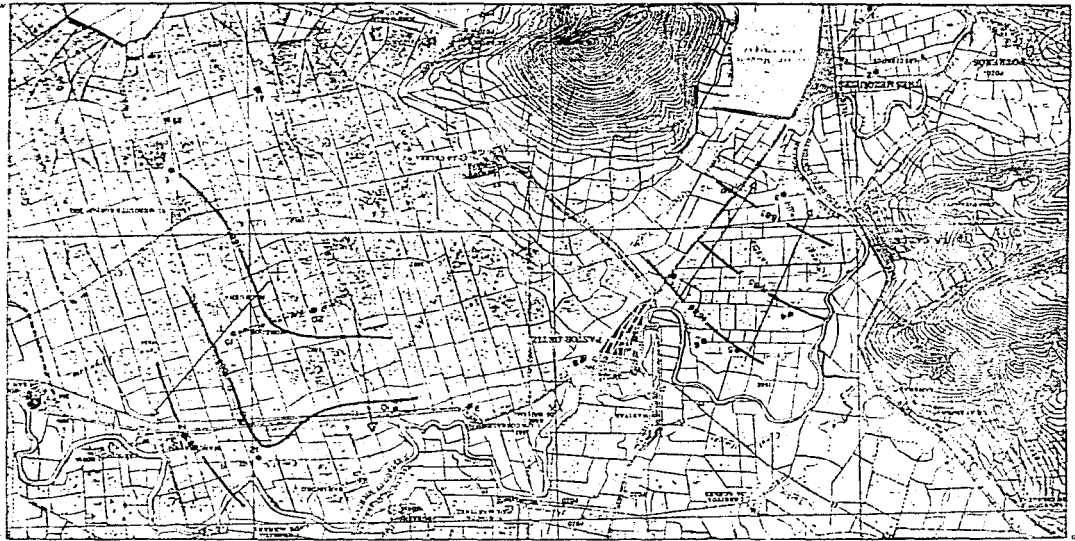


**SIMBOLOGIA**

- POBLADO
- LIMITE ESTATAL
- CARRETERA
- TERRACERIA
- FERROCARRIL
- LINEA DE CONDUCCION TELEFONICA
- POZO
- CURVA DE NIVEL
- CURVAS DE IGUAL CONCENTRACION DE S.T.D.

ESCALA 1 : 50 000

UNAM	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
	<i>CURVAS DE IGUAL CONCENTRACION DE S.T.D.</i>	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	ANGEL SANDOVAL ROJAS	1990
		SALVADOR RAMIREZ VALLES <small>fig 1</small>



**U  
N  
A**

**ESCUELA DE INGENIERIA**  
CURSO DE IGUAL ELEVACION  
DEL NIVEL ESTÁTICO

**TESIS PROFESIONAL**  
INGENIERO SANDOVAL ROSAS  
1990

**SOJADOR RAMIREZ VILLES**  
Fig. 2

ESCALA 1:50000

- POBLADO
- LIMITE ESTADAL
- CARRETERA
- TERMINAL
- FERRO CARRIL
- LINEA DE COMUNICACION TELEFONICA
- POZO
- RIO
- CURVA DE NIVEL
- ELEVACION DE NIVEL ESTÁTICO



SIMBOLÓGICA

**ZONA PASTOR ORTIZ**



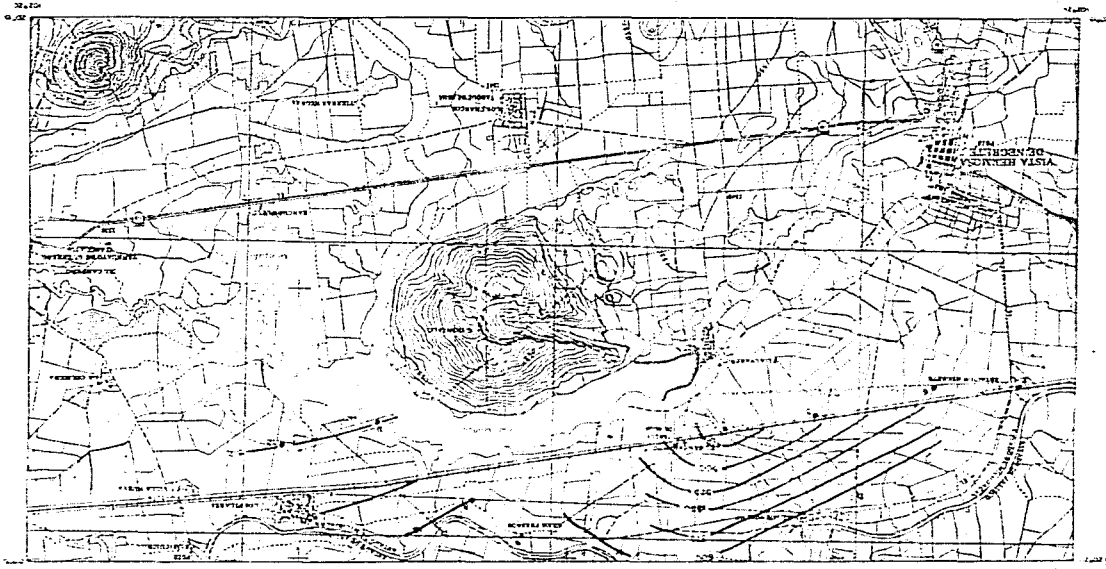
## ZONA PASTOR ORTIZ



### SIMBOLOGIA

POBLADO	_____	==
LINEA ESTATAL	_____	==
CARRETERA	_____	==
TERRACERA	_____	==
FERROCARRIL	_____	==
LINEA DE CONEXION TELEFONICA	_____	==
POZO	_____	○
RIO	_____	~
CURVA DE NIVEL	_____	~
CURVAS DE IGUAL CONCENTRACION DE S.T.D.	_____	~

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<i>CURVAS DE IGUAL CONCENTRACION DE S.T.D.</i>
	TESIS PROFESIONAL
	ANGEL SANDOVAL ROJAS 1990 SALVADOR RAMIREZ VALLES 1990



**UNAM**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CURSOS DE : GUAL  
 CONCENTRACION DE STD  
 TESIS PROFESIONAL  
 ANGEL SANDOVAL ROJAS  
 1990  
 SALVADOR RAMIREZ VALLES '9

ESCALA 1:50 000

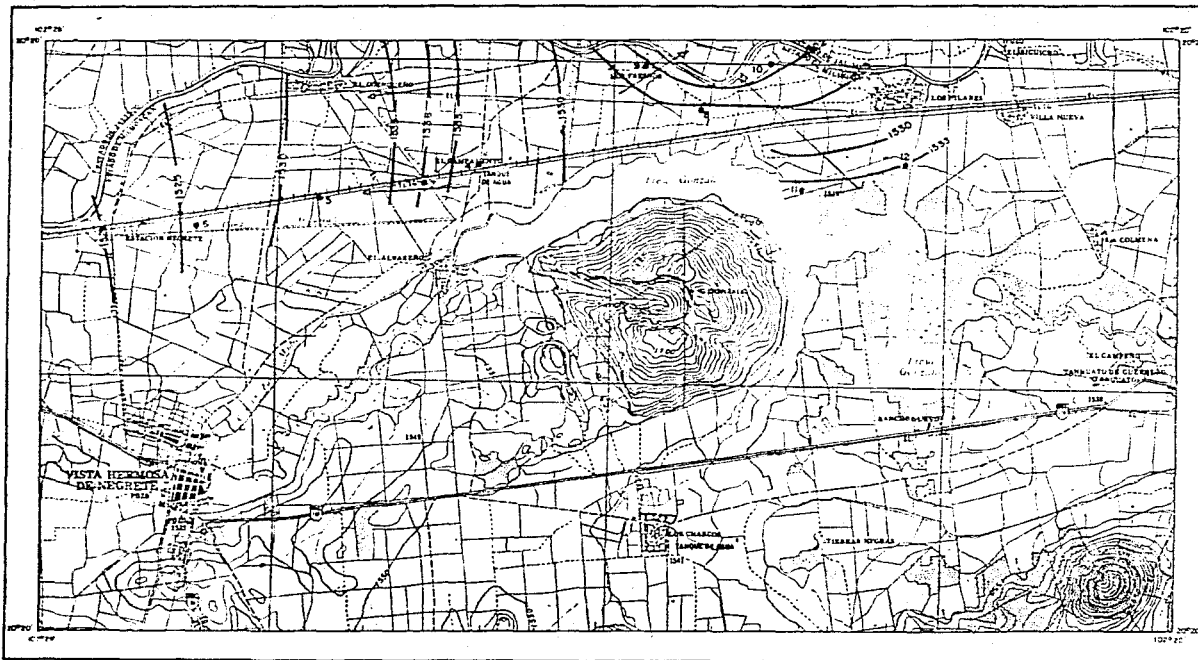
DE S.T.D.  
 CURVA DE NIVEL CONCENTRACION  
 RIO  
 MZO  
 LINEA DE CONDUCTOR TELEFONICA  
 FERRICARRIL  
 CARRETERA  
 TERRESTRIA  
 LIMITE ESTAD.  
 POBLADO

SIMBOLOGIA

ZONA YURECUARO

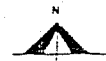






**ZONA YURECUARO**

**SIMBOLOGIA**



- POBLADO
- LIMITE ESTATAL
- CARRETERA
- TERRACERIA
- FERROCARRIL
- LINEA DE CONDUCTOR TELEFONICA
- POZO
- POZO
- CURVA DE NIVEL
- ELEVACION .DE . NIVEL- ESTATICO

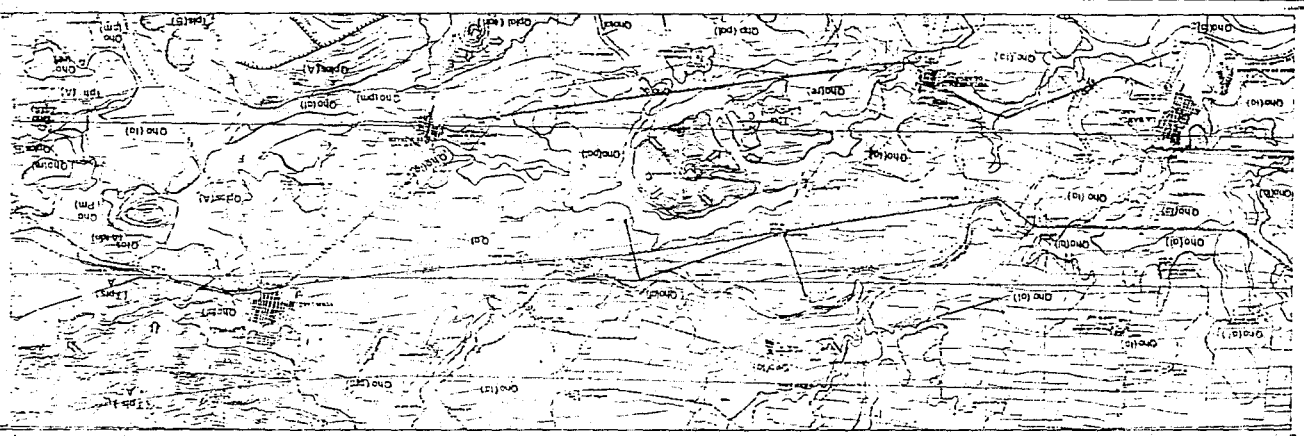
ESCALA 1:50 000

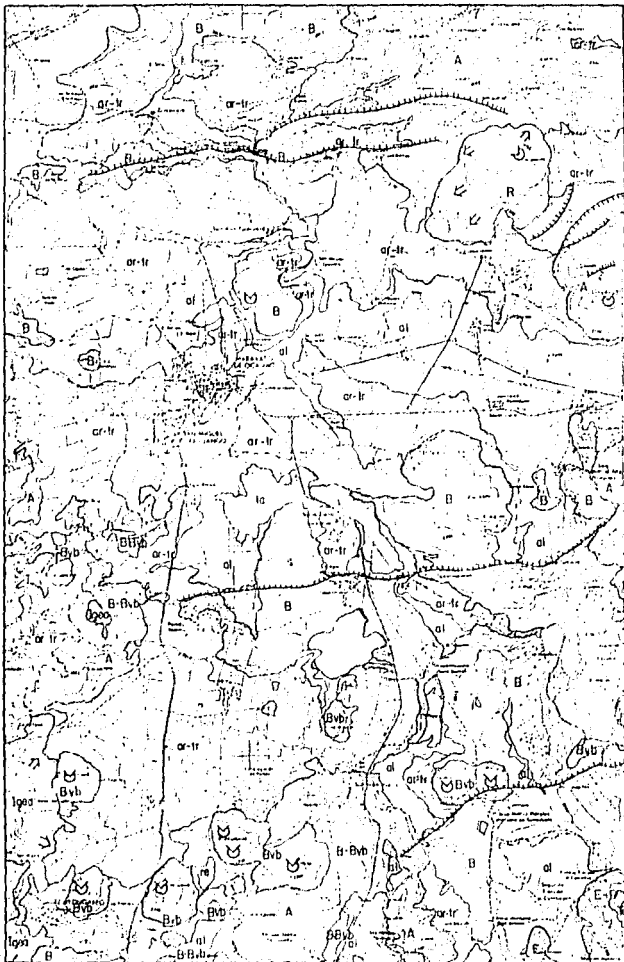
Z A M	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<i>CURVA DE IGUAL ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO</i>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	ANGEL SANDOVAL ROJAS 1990 SALVADOR RAMIREZ VALLES fig. 5

**PLANOS GEOLOGICOS**

M  
 Y  
 N  
 U  
 M  
 B  
 E  
 R  
 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  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

101  
 102  
 103  
 104  
 105  
 106  
 107  
 108  
 109  
 110  
 111  
 112  
 113  
 114  
 115  
 116  
 117  
 118  
 119  
 120  
 121  
 122  
 123  
 124  
 125  
 126  
 127  
 128  
 129  
 130  
 131  
 132  
 133  
 134  
 135  
 136  
 137  
 138  
 139  
 140  
 141  
 142  
 143  
 144  
 145  
 146  
 147  
 148  
 149  
 150  
 151  
 152  
 153  
 154  
 155  
 156  
 157  
 158  
 159  
 160  
 161  
 162  
 163  
 164  
 165  
 166  
 167  
 168  
 169  
 170  
 171  
 172  
 173  
 174  
 175  
 176  
 177  
 178  
 179  
 180  
 181  
 182  
 183  
 184  
 185  
 186  
 187  
 188  
 189  
 190  
 191  
 192  
 193  
 194  
 195  
 196  
 197  
 198  
 199  
 200





### SIMBOLOGIA

ol	ALUVION
Bvb	BIENITA VOLCANICA BASALTICA
B	BASALTO
IBvb	BASALTO BIENITA VOLCANICA
R	ROSETA
Iqoo	LONEA EXTRUSIVA ACIDA
or-lr	ARENISCA FLUVA ACIDA
A	ANDEGITA
T o	TORBA ANGELICA
E	ESQUISTO
E-P	ESQUISTO PIZARRA

ESC 1 50 000

Información tomada de CATEL

	FALDA
	PERFIL DE CERRAJE PARA EL REGISTRO
	ORIFICIOS DE FOTOS
	CONTORNOS GEOMORFOLÓGICOS
	POZOS
	POZOS DE ESTUDIO
	RIO
	CARRERA
	FERROCARRIL
	QUEMOS DE AGUA
	DIRECCION DE FLUJO DE LAVA
	APARATO VOLCANICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PLANO GEOLOGICO  
ZONA MARAWATIO

TESIS PROFESIONAL

Solovaya Ramirez Valdes  
Angel Sigurdson Rojas

1996  
1997



**SIMBOLÓGIA**

- ALLEN
- LENCIL MERRILL
- JENSEN + CHALMERS
- T. J. J. J.
- JENSEN ESTERRELLA
- MESA PALLASCA
- MERRILL

ESC. 1:50,000

- PASE
- CANAL DE DERRAMA
- PUNTA
- PUENTE DE DERRAMA
- R. C.
- CANCHERO
- FERRICARRIL
- CUBIERTA DE AGUA
- CIMENTACION DE LA CAJA
- APARATO MECANICO
- FERRICARRIL CANALIZADO EN EL TERRENO

REFERENCIA: PLANOS DE LA OFICINA DE OBRAS.

U	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
ES	PLAN DE GEOLOGIA
A	JUAN WALTER SMITH ANZAMACUI JR.
BS	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	Geología y Minería Valdivia
	1990
	1214