

2ej  
18



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE UN AREA DE  
VALLE CHICO-SAN PEDRO MARTIR, EN  
EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A :  
MARTHA LOZANO CASTILLO

Aesor: Ing. Rubén Chávez Guillén

TESIS CON  
PALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1989



## **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.

# I N D I C E

	Página
RESUMEN -----	1
I INTRODUCCION -----	7
I.1 Objetivo del trabajo -----	8
I.2 Antecedentes -----	9
I.3 Método de trabajo -----	13
I.3.1 Trabajo de campo -----	13
I.3.2 Trabajo de gabinete -----	15
II GENERALIDADES -----	18
II.1 Localización del área de estudio -----	18
II.2 Comunicaciones -----	18
II.3 Población y cultura -----	19
III CLIMATOLOGIA -----	21
III.1 Clima y vegetación -----	21
III.2 Precipitación -----	22
III.3 Temperatura -----	23
III.4 Evaporación -----	24
IV GEOLOGIA -----	25
IV.1 Fisiografía -----	25
IV.2 Geomorfología -----	26
IV.3 Marco geológico -----	30
IV.3.1 Rocas prebatolíticas -----	30
IV.3.2 Rocas batolíticas -----	32
IV.3.3 Rocas postbatolíticas -----	33
IV.4 Geología estructural y tectónica -----	35
IV.5 Geología histórica -----	38
V HIDROGEOQUIMICA -----	43
V.1 Muestreo y análisis de agua -----	44
V.2 Características físico-químicas del agua --	45
V.2.1 Temperatura de las aguas	
subterráneas -----	45
V.2.2 Potencial Hidrógeno ( pH ) -----	46
V.2.3 Sólidos Totales Disueltos (STD) ----	46
V.2.4 Cationes -----	48
V.2.5 Aniones -----	51
V.2.6 Diagrama de Piper -----	54
V.3 Interpretación hidrogeoquímica -----	55
V.4 Calidad del agua -----	57
VI HIDROLOGIA SUBTERRANEA -----	63
VI.1 Piezometría -----	67
VI.1.1 Profundidad al nivel estático -----	68
VI.1.2 Elevaciones del nivel estático -----	69
VI.1.3 Evolución del nivel estático -----	72
VI.2 Características Hidráulicas de los	
acuíferos -----	72
VI.3 Recarga y descarga del acuífero -----	74

VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	Página
VII.1 Conclusiones -----	79
VII.2 Recomendaciones -----	81
BIBLIOGRAFIA -----	Final del texto

## P L A N O S

		ENTRE PAGINA
II.1	Piano de localización. -----	20 y 21
III.2	Isoyetas medias anuales. ----- (1947-1966)	24 y 25
IV.3	Piano geológico. -----	final del texto.
IV.1	Provincias fisiográficas. -----	42 y 43
V.1	Familias de agua. -----	final del texto.
VI.1.1	Profundidad al nivel. ----- estático (1982).	final del texto.
VI.1.2	Elevación del nivel. ----- estático (1982)	final del texto.
VI.1.3	Evolución del nivel. ----- estático (1980-1982).	final del texto.
VI.2	Secciones geofísicos. -----	final del texto.

## FIGURAS

	ENTRE PAGINA
IV.2 Diagrama esquemático de los ambientes de depósito de - una Lago Salino. -----	42 y 43
IV.3 Sección geológica esquemática. -----	42 y 43
IV.3.1 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-3. -----	42 y 43
IV.3.2 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-4. -----	42 y 43
IV.3.3 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-5. -----	42 y 43
IV.3.4 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-6. -----	42 y 43
IV.3.5 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-7. -----	42 y 43
IV.3.6 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-8. -----	42 y 43
IV.3.7 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-12. -----	42 y 43
IV.3.8 Corte litológico del pozo Valle Chico-28. -----	42 y 43
IV.3.9 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-39. -----	42 y 43
IV.3.10 Corte litológico del pozo San Pedro Mártir-41. -----	42 y 43
IV.3.11 Sección geológica A-B. -----	42 y 43
IV.3.12 Sección geológica C.-D. -----	42 y 43
IV.4 Relación estructural y fallas en el norte del Golfo de -- California.-----	
V.2.6 Diagrama triangular de Piper. -----	62 y 63
V.3 Diagrama para la clasificación de las aguas para riego.--	62 y 63
VI.1 Sección geohidrológica A-A. -----	
VI.2 Sección geohidrológica B-B. -----	78 y 79

C U A D R O S

	ENTRE PAGINA
III.2 Precipitación media anual y mensual. ----- (1971-1982)	24 y 25
III.3 Temperatura media anual y mensual (1971-1982). -----	24 y 25
III.4 Evaporación media anual y mensual (1971-1982). -----	24 y 25
VI.1 Resultados de análisis químicos. -----	62 y 63
VI.2.1 Piezometría. -----	78 y 79

## G R A F I C A S

	ENTRE PAGINA
III.2.1 Precipitación de las estaciones: Colonia Juárez, Delta, El Mayor, La Rumorosa, Mexicali, San Felipe, Santa Catarina Norte, Santa Clara y Santa Cruz. -----	24 y 25
VI.2.1 Pruebas de bombeo del pozo No.39 (etapa de abastimient). -----	
VI.2.2 Pruebas de bombeo del pozo No.39 (etapa de recuperación). -----	78 y 79
VI.2.3 Pruebas de bombeo del pozo No. 41 (etapa de abastimient). -----	78 y 79
VI.2.4 Prueba de bombeo del pozo No.41 (etapa de recuperación). -----	78 y 79



## R E S U M E N

El presente trabajo fue realizado con el fin de conocer las condiciones adecuadas para la explotación del recurso agua en una área de Valle Chico-San Pedro Mártir, Baja California.

El área de interés se encuentra limitada por las coordenadas geográficas: paralelos  $30^{\circ} 31'$  a  $31^{\circ} 25'$  de latitud norte, y meridianos  $114^{\circ} 45'$  a  $115^{\circ} 30'$  de longitud este, con una extensión de  $3,017 \text{ km.}^2$ , localizada en la porción nororiental de la Península de Baja California.

Para alcanzar los objetivos del estudio se realizaron - las siguientes actividades: recopilación de información, verificación de la fotointerpretación geológica, reconocimiento hidrogeológico, censo de los aprovechamientos del área, lectura de los niveles estáticos, hidrometría de la extracción del acuífero, muestreo del agua subterránea, construcción de planos, cuadros, gráficas y figuras y por último la elaboración del presente texto.

La zona de estudio está comprendida dentro de la provincia fisiográfica Sierra Cristalina de Baja California.

Dentro de la región en cuestión afloran rocas ígneas se  
dimentarias y metamórficas, las cuales se clasifican de  
acuerdo a sus relaciones con el intrusivo peninsular en:  
prebatolíticas, batolíticas y postbatolíticas.

Las rocas más antiguas de la región se localizan al nor  
te y al sur de la sierra de San Pedro Mártir, las cua--  
les aparecen en grandes espesores de esquisto, gneisses  
y pizarras y, en menor proporción, rocas metasedimenta-  
rias e ígneas metamorfozadas, todas ellas del Paleozoi-  
co.

Las rocas mesozoicas del intrusivo peninsular presentan  
composición variada: granito, granodiorita y tonalita,  
principalmente. Su distribución en la Península es muy  
amplia, desde Riverside hasta Los Cabos, en donde se -  
pierde. En el área en cuestión son observadas, en su ma  
yorfa, en las sierras de San Pedro Mártir y de San Feli  
pe.

Dentro de las rocas postbatolíticas se encuentran rocas -  
sedimentarias y volcánicas del Terciario, así como sedi  
mentos aluviales del Cuaternario; siendo estos últimos  
los que conforman el relleno del valle estudiado.

La historia geológica de la Península de Baja California se caracteriza por grandes perturbaciones originadas por eventos estratigráficos y tectónicos, desde el Paleozoico hasta nuestros días. Las montañas del desierto, que se encuentran entre el graben del valle de estudio y la cuenca de la costa del golfo, han experimentado una historia cenozoica complicada, donde grandes extensiones de rocas volcánicas fueron depositadas en el Mioceno, Eoceno y Plioceno. El levantamiento y la erosión ocurridos después del Mioceno temprano, rellenaron las fallas de las sierras aladañas; en el Plioceno y Pleistoceno se registraron extensas inclusiones marinas con sedimentaciones someras. Se reconocieron grandes esfuerzos de compresión en el Pleistoceno, identificados por levantamientos verticales, asociados a fallas de transurrencia. En la actualidad, la Península sigue modificándose debido a la actividad tectónica presente.

La interpretación hidrogeoquímica de la zona de interés mostró que los valores de STD varían entre los 264 y 8,270 ppm; las cantidades más bajas corresponden a la porción central del valle de San Pedro Mártir (220 a 280 ppm) y las más altas, a la porción NW del mismo valle (2,060 a 8,270 ppm).

El catión cuyo contenido predomina en dicha zona es el sodio ( $\text{Na}^+$ ), con concentraciones de 14 a 2,850 ppm: las más altas se observan en el valle de San Pedro Mártir.

El anión que predomina es el cloro ( $\text{Cl}^-$ ) con valores de 14 a 3,900 ppm, dominando en el valle de San Pedro Mártir (43 y 2,345 ppm). En la porción central del mismo valle también se presenta un alto contenido de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) con concentraciones de 19 y 2,160 ppm.

En el diagrama de Piper se ilustra el tipo de agua dominante en los dos valles de estudio: mixto-sulfatada en Valle Chico y en los flancos de la Sierra de San Pedro Mártir y sódico-clorurada en el valle del mismo nombre. Localmente, en ambos valles se encuentra el agua de tipo cálcico-sulfatada.

En cuanto a calidad del agua se refiere, el agua es apta para consumo humano en los dos valles, a excepción del área de la Laguna Saladita en San Pedro Mártir.

En los análisis del agua para uso agrícola, los tipos dominantes son  $\text{C}_2 - \text{S}_1$  y  $\text{C}_3 - \text{S}_1$  (con salinidad media y baja concentración de sodio, y con alto contenido de

sales de baja concentración de sodio, respectivamente)-

Dentro del área de estudio, los niveles del agua son - más someros en el valle de San Pedro Mártir (más de 30 m. y menos de 10 m. de profundidad), los cuales decrecen - de los bordes hacia su porción central. En el Valle Chico varía ésta, de menos de 20 a poco más de 70 m.

En el subsuelo de Valle Chico, el agua circula de sus partes altas hacia su borde sur-oriental, y en el Valle de San Pedro Mártir, parece convergir hacia el área de la laguna Saladita.

En el período 1980-1982, la evolución de los niveles estáticos presenta ascensos piezométricos en casi toda la zona estudiada, la cual varía de unos cuantos centímetros a poco más de 1 metro, de los bordes al centro de los valles.

El material que constituye a Valle Chico no es tan fino como el del valle de San Pedro Mártir, aunque en él - también se localizan formaciones areno-arcillosas al - centro del valle con una transmisividad de  $7.0 \times 10^{-3}$  M<sup>2</sup>/seg.; hacia sus extremos, el material es más grueso

y su transmisividad es alta.

El caudal específico oscila entre 1.85 y 4.81 lps./m.: los valores más bajos se presentan en el límite de los dos valles y los más altos hacia el norte del valle San Pedro Mártir.

La principal fuente de recarga en el área de estudio es el escurrimiento superficial proveniente de las sierras que circundan a los valles. La precipitación ocurre en los períodos de primavera y de invierno. La nieve es otra fuente de recarga importante, la cual ocurre en los meses de noviembre a febrero, iniciando su deshielo en primavera.

Los factores que propician la descarga en la zona en cuestión son: manantiales, evapotranspiración y bombeo.

## CAPITULO I

### I. INTRODUCCION

Por estar enclavado en la región más árida de la República Mexicana, el estado de Baja California - padece un clima adverso del cual se deriva la aguda escasez de agua que limita su desarrollo. A causa de la pobre precipitación pluvial, las corrientes superficiales de la entidad, excepción hecha - del río Colorado, no conducen escurrimientos en - cantidades suficientes para sustentar desarrollos agrícolas en gran escala o abastecer a importantes núcleos de población.

Fuera de la cuenca del río mencionado, el subsuelo es la única fuente permanente de agua, aunque también ésta tiene serias limitaciones. Por un lado, la renovación del agua subterránea es muy lenta, - ya que la mayor parte de la escasa lluvia retorna a la atmósfera y muy poca alimenta al subsuelo; - por otro, los mantos acuíferos formados en estrechos valles fluviales son relativamente delgados y, por lo mismo, de baja capacidad de almacenamiento. Como desventaja adicional casi todos los acuíferos están expuestos a la intrusión de agua marina, por

lo que su explotación debe de ser muy cuidadosa.

Dentro de este marco, la zona denominada Valle Chico-San Pedro Mártir es especialmente importante por que aloja a los mantos acuíferos de mayor tamaño, - después de los de la cuenca antes referida. A esto se debe que, a pesar de su alimentación supuesta -- mente reducida, esos acuíferos hayan sido considera dos a raíz de su descubrimiento como fuente de abas tecimiento para desarrollos agrícolas locales y aún para desarrollos turísticos emplazados fuera de esa zona.

#### I.1 Objetivo del trabajo.

Las necesidades existentes en la zona de Valle Chico-San Pedro Mártir con respecto al aprovechamiento adecuado del recurso agua, para su aplicación en actividades doméstica, agrícola, ganadera, turística, etc., tendientes a mejorar el nivel socio-económico de la región, para incorporarla al desarrollo del país, ha sido el motivo para la elaboración de esta tesis, a fin de conocer las condiciones adecuadas para su mejor explotación, requiriendo del conocimiento detallado del subsuelo, tanto de la estructura geológica que enmarca a este Valle, como la posición y naturaleza de los materiales de relleno que lo -- constituyen.



## I.2 Antecedentes

Los estudios geológicos del norte de Baja California han sido limitados en el pasado, debido a su medio inhóspito. Los trabajos realizados durante la década pasada han aportado importantes conocimientos de la región.

Entre los pioneros de la investigación geológica de la Península de Baja California destacaron: el Padre Johann Jacob Baegert (1771), quien probablemente fue el primero en suponer que en otro tiempo había estado unida a Sonora; William M. Gabb, precursor del Conocimiento Geológico Moderno, quien en 1867 la atravesó publicando sus informes en Browne (1868-69); y Flores quien, en 1913, publicó el primer mapa geológico con descripciones geológicas generales.

Desde finales del siglo pasado hasta la fecha, se han realizado diversos estudios geológicos de la región, destacando los siguientes investigadores: Lindgreen (1888), Beel (1948), -

Johns (1954), Mina (1957), Allison (1964), - Walker y Thompson (1968), Gastil, Phillips y Rodríguez Torres (1972), Gastil, Phillips y Allison (1975). Estos últimos integraron el reporte más completo hasta la fecha; sus mapas y discusiones de la geología del Estado de Baja California han venido a ser referencia para todas las investigaciones geológicas presentes en el área.

En 1975, la SARH, realizó un estudio preliminar de exploración geofísica en el área de Valle Chico-San Pedro Mártir. En base a los resultados obtenidos, tanto en las perforaciones como en los sondeos geofísicos, se concluyó que los manantiales que constituyen el relleno del valle son arenas y gravillas de diferente graduación en los primeros 160 m y arena-arcillosa a mayor profundidad.

En el mismo año, el Ing. Fernando Lozano R. presentó un estudio geológico de Baja California, en el Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Al mismo tiempo,

Phillips y Allison hicieron el estudio que lleva por nombre "Reconnaissance Geology of The State of Baja California, 1975".

Valle Chico-San Pedro Mártir estaba prácticamente abandonado, en cuanto a desarrollo económico se refiere, hasta que en 1976, la S.A.R.H. encontró acuíferos favorables, mediante estudios hidrogeológicos e hidrogeológicos de dicho valle.

En 1978, Gastil, Morgan y Krummenacher, reconstruyeron la historia mesozoica de la Península.

Investigaciones relacionadas con el fallamiento y estructuras, fueron conducidas por Anonymous, Richter y Shor (1956).

Shor, 1958, estudió la actividad de la falla de transurrencia derecha de San Miguel, que tiene orientación NW-SE.

Allen, Silver y Stehí (1960), y Krause (1962),

investigaron la falla de transcurrancia de -  
Agua Blanca.

La tectónica de Baja California ha sido estu-  
diada por Hamilton (1961), Krause (1962), --  
Gastil (1968), Bischoff (1971), Elders, Rex,  
Meiday, Robinson y Biehler (1972), Heney y -  
Bischof (1973), y Minch (1975).

Las investigaciones geofísicas del norte --  
Baja California, que comprenden a la zona ob-  
jeto del presente trabajo, han sido realiza-  
das por Kovach y Caldera (1961), Biehler, -  
Kovach y Allen (1964), Phillips y Gastil --  
1968), Thatcher y Brune (1969), Keim (1971)  
y DeLoraine (1978).

Krummenacher, Gastil, Bushee y Doupont (1975),  
y Krummenacher y Gastil (1970) ha determina-  
do radiométricamente las edades de las cade-  
nas batolíticas de la Península de Baja Cali-  
fornia (Brown, 1978).

### I.3 Método de trabajo

#### I.3.1 Trabajo de campo

Para alcanzar los objetivos del estudio, se realizaron diversas actividades de campo:

- Recopilación de información.
- Verificación de la fotointerpretación geológica.
- Reconocimiento hidrogeológico del área estudiada.
- Censo de los aprovechamientos existentes en el área.
- Lectura de los niveles estáticos.
- Hidrometría de la extracción del acuífero.
- Muestreo del agua subterránea.

En el reconocimiento geológico se verificaron los puntos seleccionados, describiendo la litología, relación estructural y características hidrogeológicas del área estudiada. Se tomaron -

muestras representativas de la misma, las cuales se describieron macroscópicamente.

Mediante el censo de aprovechamientos de aguas subterráneas, (Cuadro VI.1) se registraron 82 alumbramientos, cuyas características constructivas y uso que se le da al agua extraída se obtuvieron de la información proporcionada por los propietarios de dichas obras.

El volumen de extracción del agua subterránea se estimó recabando información sobre el uso del agua y la capacidad de extracción de los equipos. En las obras donde la medición del caudal fue posible realizarla en forma directa, se utilizó un recipiente de capacidad determinada y el tiempo empleado en llenarse éste.

Para conocer la transmisibilidad de los acuíferos, se efectuaron pruebas de bombeo en pozos distribuidos en el valle.

En envases de plástico herméticamente cerrados, se obtuvieron muestras de agua de pozos, norias y manantiales, seleccionados a lo largo de toda el área, con el fin de conocer la calidad del agua en la zona de interés.

### I.3.2 Trabajo de gabinete

En el gabinete se comenzaron los trabajos con la recopilación y análisis de estudios preexistentes, informes - inéditos, tesis, boletines, planos geológicos, topográficos, hidrológicos, etc., del área de interés y zonas circundantes. Dicha información se obtuvo en diversas Dependencias e Instituciones: SARH, DETENAL, Instituto de Geología (UNAM), PEMEX, y fue utilizada para tener una perspectiva preliminar de la zona e integrar el presente trabajo.

Con los datos obtenidos en el campo -

se procedió a la construcción de planos y gráficas.

Se elaboró un plano base, a escala - 1:100,000, donde se marcó la localización de las captaciones.

Para la fotointerpretación se contó con las fotografías aéreas interpretadas estereoscópicamente. Se seleccionaron durante ésta los puntos de verificación geológica, tomando en cuenta para ello las facilidades de acceso a los sitios por confirmar y la exposición de los afloramientos.

Con apoyo en las cartas geológicas de Gordon Gastil, así como en la interpretación y verificación de las mismas - en campo, se formó el plano geológico en el que destacan las rocas que conforman las sierras circundantes al valle, los sedimentos que lo constituyen y las características estructurales de la zona de interés.



Los resultados de los análisis químicos se procesaron en diagramas triangulares para distinguir el tipo de agua en la región con respecto a las sales disueltas que contiene. Se configuraron planos de igual contenido de sales disueltas para conocer la distribución de las mismas dentro del área y el ambiente geológico por donde circula el agua.

Con los datos relativos a los niveles estáticos se trazaron configuraciones piezométricas, planos de profundidad del nivel del agua con respecto a la superficie del terreno, y planos de evolución del nivel estático para intervalos de tiempo determinado.

Las pruebas de bombeo se graficaron en papel semilogarítmico, para deducir los valores de los coeficientes representativos de las características hidráulicas de los acuíferos.

## CAPITULO II

### II. GENERALIDADES

#### II.1 Localización del área de estudio.

El área de estudio se localiza en la parte -  
nororiental de la Península de Baja Califor-  
nia. Se encuentra limitada por las coordena-  
das geográficas siguientes: paralelos  $30^{\circ} 31'$   
a  $31^{\circ} 25'$  de latitud norte, y meridianos -  
 $114^{\circ} 45'$  a  $115^{\circ} 30'$  de longitud este. Su ex-  
tensión superficial es de  $3,017 \text{ Km}^2$ , de los  
que  $1,270 \text{ Km}^2$  corresponden al valle y  $1,747$   
 $\text{Km}^2$  a las sierras.

El valle está limitado al norte por la sierra  
de las Tinajas; al sur, por la sierra de San-  
ta Isabel; al oeste por la sierra de San Pe-  
dro Mártir; y al este, por las sierras de -  
San Felipe y Santa Roca, como se observa en  
el plano II.1.

#### II.2 Comunicaciones

La zona se comunica internamente por numerosos

caminos de terracería y brechas. La carretera de acceso principal es la que va de Ensenada a San Felipe, sigue a lo largo del tramo Ensenada-Valle de la Trinidad, continúa hasta entroncar con la carretera N° 5 Mexicali-San Felipe. Este camino cruza al área de estudio en la parte norte. Con una dirección oriente-poniente. Los accesos a Valle Chico se encuentran frecuentemente en malas condiciones, inundados o con arena profunda y suelta.

Se cuenta, en general, con servicios de comunicación deficientes.

### II.3 Población y Cultura

En 1980, Baja California registró tasas de crecimiento medio anual altas (5.6%) que superan las del país. Este crecimiento ha sido provocado por las corrientes migratorias en busca de mejores oportunidades de vida y de trabajo.

La estructura de población presenta una -

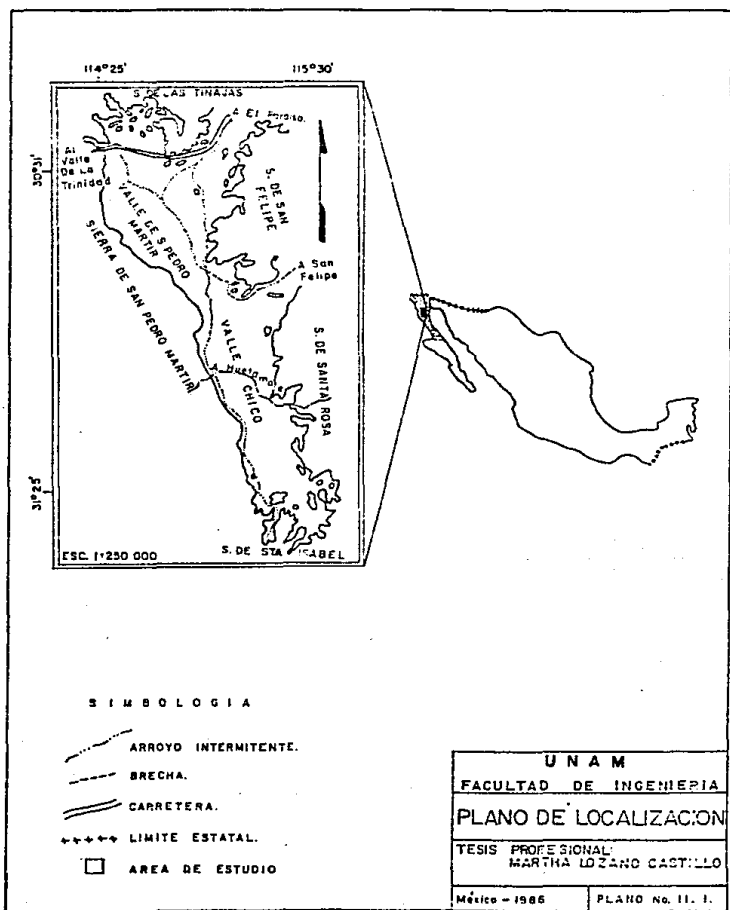
proporción predominante de jóvenes menores - de 20 años, derivada de las altas tasas de - nacimientos y de la declinación de los índices de mortalidad.

La zona de estudio está habitada por grupos reducidos de colonos, esparcidos en pequeñas áreas, con un desarrollo incipiente, tanto - en lo demográfico como en lo económico. Existen tres ejidos en el área de interés: Colonia San Pedro Mártir, Colonia Plan Nacional Agrario y Colonia Morelia.

Solamente existe una escuela de educación - primaria, localizada en el ejido Plan Nacional Agrario.

La actividad predominante en los dos valles es la agricultura.

No cuentan con servicios médicos, ni comunitarios; carecen de energía eléctrica.



## CAPITULO III

### III. CLIMATOLOGIA

En esta área, los escurrimientos superficiales son muy esporádicos y generalmente de baja magnitud; - las temperaturas son muy altas, lo cual provoca - fuerte evaporación, la que a su vez disminuye las aportaciones de agua al acuífero.

#### III.1 Clima y Vegetación

El clima que prevalece en el área de estudio, según la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García (1964), es - Bwhw (X'), que corresponde a clima seco y se micálido con lluvias en invierno.

La vegetación en esta región es muy escasa, - consiste en numerosas variedades de cactus, - abrojos, matorrales y arbustos espinosos; - existen, sin embargo, regiones boscosas, - principalmente de coníferas, localizadas en las mesetas altas de la sierra de San Pedro Mártir. En estas mesetas las temperaturas -

medias anuales son relativamente bajas -del orden de los 12° C o menos- y la altitud de aproximadamente 1,500 m.s.n.m., por lo que se producen condiciones climáticas de humedad capaces de sostener la vegetación boscosa (Síntesis Geográfica de Baja California, SPP).

### III.2 Precipitación.

Los meses de alta precipitación en el área de interés son los de noviembre a marzo, durante los cuales se precipita el 74% del total anual de la lluvia. La precipitación media anual es del orden de 160 mm/año. En el plano III.2 se muestran las láminas registradas en la estación San Felipe, con un promedio de 66 mm/año.

Las precipitaciones invernales son producto de vientos frescos que soplan del suroeste desde el océano hacia el frente peninsular. Estos vientos transportan poca humedad, lo cual hace que las lluvias, en general, no sean abundantes (Gráfica III.2).

La sierra de San Pedro Mártir recibe cerca de 400 mm. de precipitación anual, y una parte de ella ocurre como nieve en invierno, presentándose unos 20 a 40 días al año -este dato es muy variable, pues solamente en la estación ubicada en el Observatorio de la UNAM, en la parte más alta de la sierra de San Pedro Mártir, ya que las lecturas son tomadas con mayor precisión y rara vez esto es posible en algunas otras estaciones-, principalmente en los meses de noviembre a febrero. Valle Chico se encuentra situado en la zona de disminución de lluvia; en el centro, su precipitación es menor que 150 mm. anuales (Cuadro III.2).

Se puede concluir que un 78% del volumen total de lluvia se precipita sobre las sierras, y el 22% restante, sobre el valle.

### III.3 Temperatura

Las temperaturas menores se presentan en la sierra de San Pedro Mártir en los meses de diciembre y enero, con medidas mensuales de



11 y 12°C. En la porción plana, en particular hacia la costa, la máxima media mensual -en julio o agosto- es de 25 a 30°C.

En el mes de enero ocurren las temperaturas menores y en agosto las mayores (ver cuadro III.3).

#### III.4 Evaporación

La evaporación potencial que reportan las estaciones climatológicas del área de estudio, se encuentra en el rango de 1,000 mm/año. Los valores menores corresponden a las sierras; las lánimas más altas, a las estaciones localizadas en los valles (ver cuadro III.4).

PRECIPITACION MEDIA ANUAL Y MENSUAL (mm.)

ESTACION	PERIODO	ENE.	FEB.	MARZO	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
COL. JUAREZ	71-82	11.25	8.23	9.46	1.72	0.86	0.33	5.33	7.9	10.63	18.27	5.41	7.45	86.84
DELTA	71-82	11.38	13.21	7.02	3.09	1.55	0.91	3.89	10.43	11.68	20.25	2.95	7.31	93.67
EL MAYOR	77-82	3.33	7.71	1.81	2.7	0.0	0.0	5.76	10.3	5.75	40.5	2.67	1.7	82.23
LA RUHOROSA	71-82	39.28	24.44	17.96	5.25	5.5	0.64	9.09	12.38	14.87	13.55	16.36	20.42	179.74
MEXICALI	71-82	11.08	7.69	8.44	3.53	1.78	0.17	6.65	19.25	11.01	13.09	4.75	14.18	101.62
SAN JOSE	70-74	18.52	37.83	42.17	5.45	1.5	1.5	8.0	0.0	11.53	11.0	16.97	31.83	186.3
SAN FELIPE	71-82	13.70	5.56	0.22	0.67	2.0	0.0	0.78	5.69	13.92	2.63	8.48	11.55	66.00
STA. CATARINA NORTE	71-82	39.15	45.96	33.99	10.14	5.42	2.04	23.19	29.96	16.55	14.25	15.42	23.17	259.24
SANTA CLARA	71-82	5.75	1.38	9.85	0.72	0.0	0.2	17.86	32.6	25.28	30.72	3.26	12.56	140.18
SANTA CRUZ	71-82	75.33	80.95	69.4	17.02	4.36	0.0	16.34	19.51	22.26	19.60	30.38	33.35	388.5

TEMPERATURA MEDIA ANUAL Y MENSUAL (°C)

ESTACION	PERIODO	ENE.	FEB.	MARZO	ABR.	MAYO	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
COL. JUAREZ	71-82	10.31	14.06	16.25	19.18	23.18	26.46	31.9	31.14	26.95	23.14	16.26	12.7	21.3
DELTA	71-82	14.21	16.53	18.56	21.5	25.18	30.38	33.8	33.14	30.2	24.43	18.71	14.84	23.46
EL MAYOR	71-82	12.91	15.35	16.65	19.44	23.78	27.38	32.03	31.92	26.5	22.13	15.75	13.18	21.42
LA RUMGROSA	71-82	6.76	8.01	8.9	11.26	14.7	21.49	24.57	24.4	21.01	13.82	12.50	7.98	14.62
MEXICALI	71-82	12.51	15.25	17.24	20.46	24.37	24.37	33.31	37.45	29.56	23.42	16.95	12.94	21.91
SAN JOSE	70-74	10.02	11.4	10.53	12.18	16.03	19.73	24.65	24.65	21.53	16.8	13.17	9.88	15.88
SAN FELIPE	71-82	12.46	14.84	16.22	21.39	21.39	26.83	28.87	30.26	27.29	22.45	17.25	13.74	21.08
STA. CARARINA NORTE	71-82	7.98	8.49	9.4	11.81	14.82	20.2	23.28	19.23	19.98	15.96	11.29	9.3	14.31
SANTA CLARA	71-82	9.95	12.68	15.18	18.72	22.97	27.58	30.14	29.78	26.52	20.92	13.08	9.83	19.78
SANTA CRUZ	71-82	10.61	11.83	11.63	14.17	17.05	24.53	26.9	26.34	23.14	18.38	15.35	11.56	17.62

Cuadro III.3

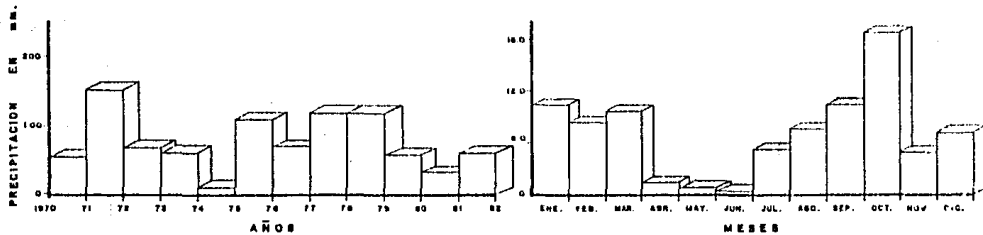
EVAPORACION MEDIA ANUAL Y MENSUAL (mm.)

ESTACION	PERIODO	ENE.	FEB.	MARZO	ABR.	MAYO	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
COL. JUAREZ	71-82	87.22	109.75	160.07	206.0	260.86	313.42	310.0	281.68	235.03	176.23	124.77	93.31	2,358.34
DELTA	71-82	83.62	111.95	152.92	211.57	262.26	281.57	305.18	315.68	236.95	175.71	127.45	98.6	2,363.46
EL MAYOR	71-82	96.88	110.39	155.43	197.85	257.17	270.45	297.61	291.30	247.87	191.53	109.55	103.25	2,329.28
LA RUMOROSA														
MEXICALI	71-82	66.21	84.56	134.72	213.16	273.91	323.29	313.67	270.33	207.4	141.38	89.92	64.14	2,202.69
SAN JOSE	70-74	60.35	78.0	104.08	143.43	194.48	228.57	252.13	249.03	170.93	127.93	87.5	52.67	1,749.1
SAN FELIPE	71-82	107.26	129.93	161.2	200.6	204.49	268.51	227.46	260.39	223.6	156.28	141.75	109.9	2,191.27
STA. CARARINA NORTE	71-82	81.35	97.40	119.85	142.13	196.36	241.75	262.69	236.43	191.43	163.52	112.05	105.39	1,950.75
SANTA CLARA	71-82	107.77	130.95	97.9	206.6	246.33	274.3	332.78	251.1	236.4	161.5	94.4	53.05	2,193.28
SANTA CRUZ														

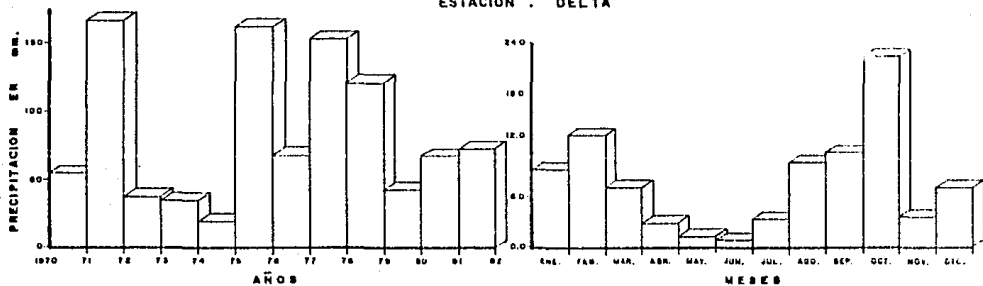
Cuadro III.4

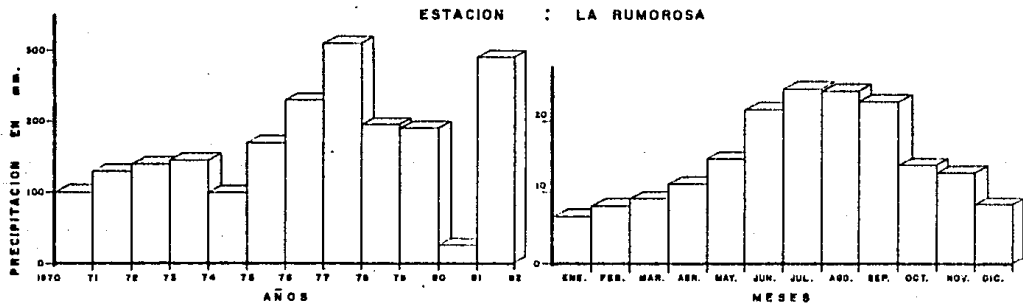
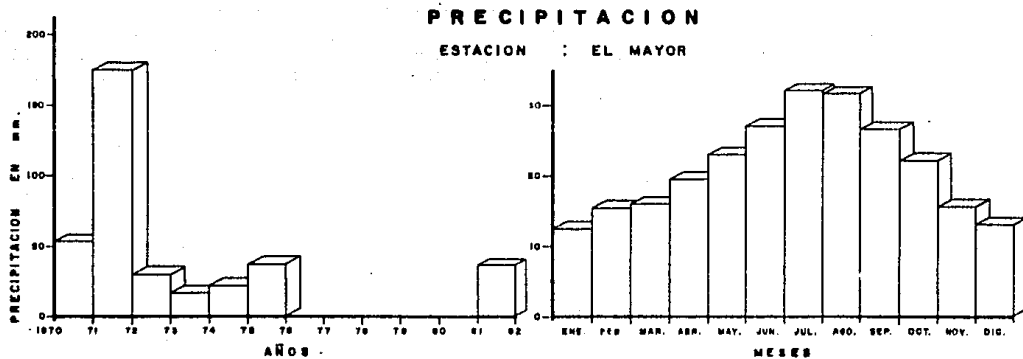
# PRECIPITACION

ESTACION : COLONIA JUAREZ



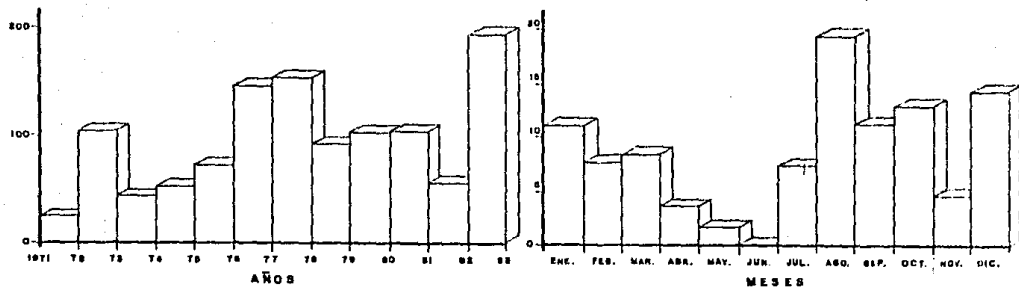
ESTACION : DELTA



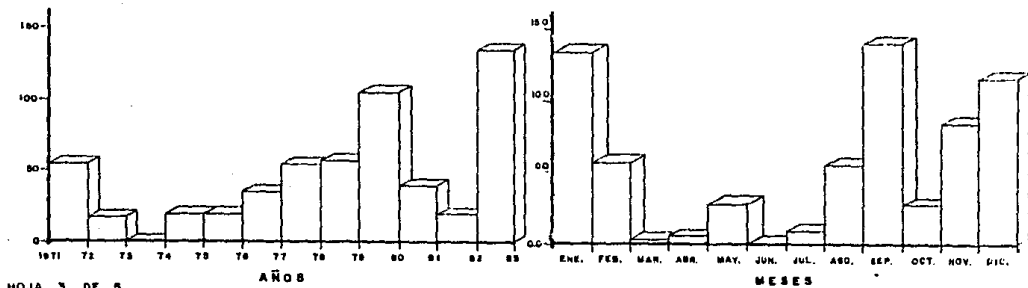


# PRECIPITACION

ESTACION : MEXICALI

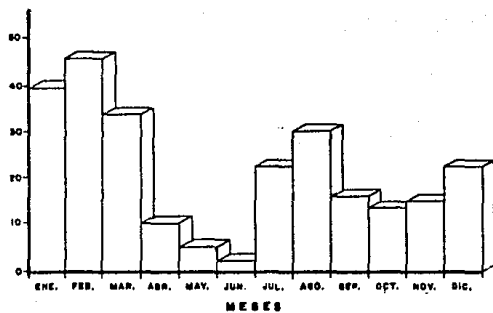
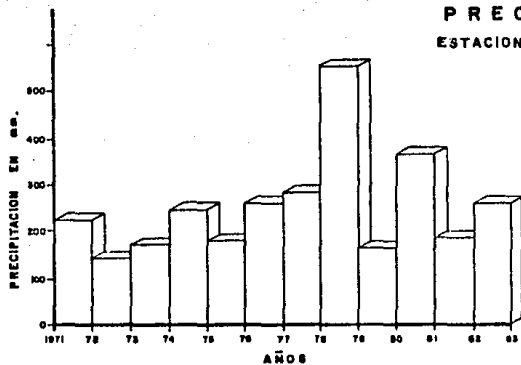


ESTACION : SAN FELIPE

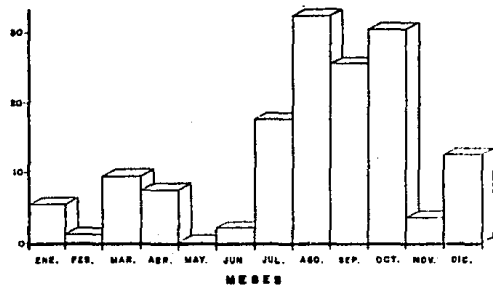
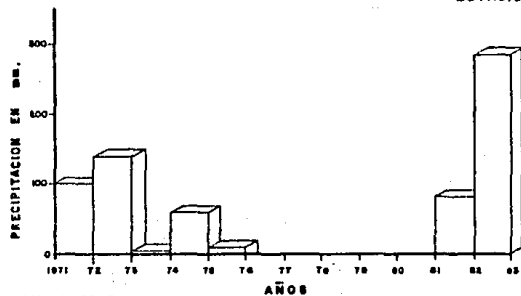


# PRECIPITACION

ESTACION : STA. CATARINA NTE.



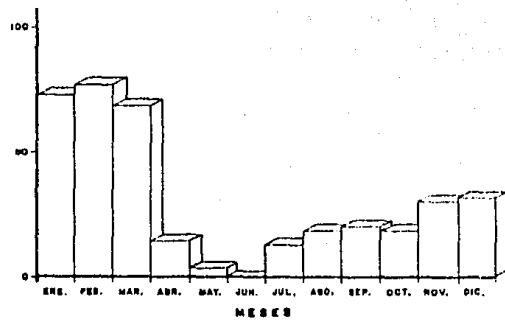
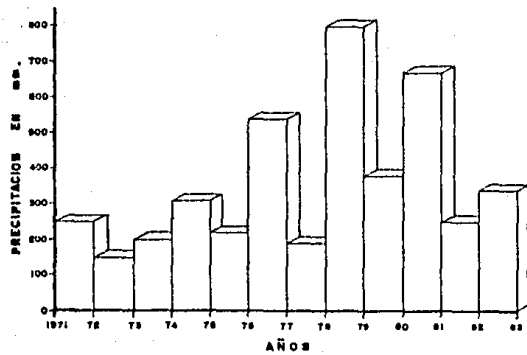
ESTACION : STA. CLARA

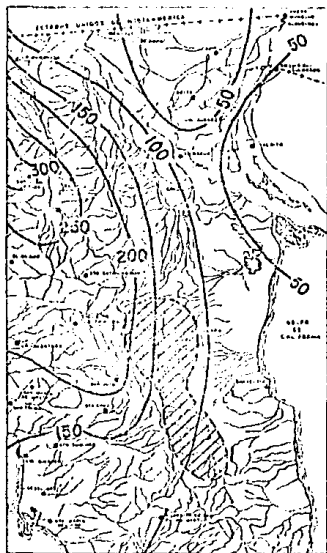




# PRECIPITACION

ESTACION : STA. CRUZ








ISOYETAS MEDIAS ANUALES  
1947 - 1966



SIMBOLOGIA

LLUVIA MENOR QUE 150 mm 

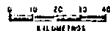
LLUVIA MAYOR QUE 150 mm 

ZONA DE INTERES 

S. A. R. H. 

S. A. R. H. Y OTRAS DEPENDENCIAS 

SUSPENDIDAS 



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
ISOYETAS MEDIAS ANUALES 1947 - 1966	
TESIS PROFESIONAL . MIRTHA LOZANO CASTILLO	
EGG-LA:	MEXICO, 1986 PLANO N° III 2

## CAPITULO IV

### IV. GEOLOGIA

#### IV.1 Fisiografía

La zona de estudio está comprendida dentro de la provincia fisiográfica denominada por Manuel Alvarez, Jr. (1966) Sierra Cristalina de Baja California (plano IV.1), la cual se encuentra limitada al norte por los Estados Unidos de América, al sur por las provincias fisiográficas de la Llanura Costera de Sebastián Vizcaíno y de Iray Purísima, al oeste por el Océano Pacífico y al este por el Golfo de California.

Topográficamente el terreno es montañoso; - sus rasgos morfológicos se inician en las - sierras de Juárez y de San Pedro Mártir, en la línea del parteaguas hidrográfico que se para las vertientes del Golfo de California con la del Océano Pacífico.

Localmente predominan las sierras de origen plutónico sobre las de origen volcánico.

El arroyo de mayor importancia en Valle Chico es el Huatamote, el cual pasa por el valle de San Felipe y logra desembocar en el Golfo de California. Su escurrimiento es esporádico.

#### IV.2 Geomorfología.

El área de interés está ubicada dentro de la provincia geológica y geomorfológica de la Cordillera Peninsular (Lozano, 1975), a la cual pertenecen las sierras de Juárez y de San Pedro Mártir, y la subprovincia de la Sierra de Juárez, que consiste en una gran área granítica montañosa, E.W. Nelson (1921) describe a las montañas de la sierra de Baja California como una prolongación del sistema montañoso al sur de California.

Las sierras de Juárez-San Pedro Mártir pueden considerarse como la prolongación meridional del Complejo Cristalino de la Sierra Nevada, ya que son muy semejantes. Este complejo es un batolito asimétrico, afallado al oriente; la inclinación de su flanco

occidental es más suave que la del oriental.

La sierra de San Pedro Mártir ocupa el eje de la Península, al sur de la falla de Agua Blanca, con una orientación NW-SE y elevaciones tan grandes como 3,100 m. (Pico del Diablo), las cuales disminuyen gradualmente desde 2,000 m. en el norte, hasta cerca de 700 m. en la parte sur de dicha sierra. - Otras cadenas montañosas menores continúan al extremo sur, hasta llegar al Cabo San Lucas. La sierra está constituida por tonalitas, granodioritas y granitos y, en menor proporción, diabasas y gabros. Estas rocas se encuentran cubiertas, en el flanco occidental, por rocas metamórficas de edad, probablemente, Mesozoica (Triásico?, Jurásico?), constituidas por gneisses y esquistos que - al aflorar forman franjas aproximadamente - paralelas al lineamiento NW-SE del núcleo - cristalino; algunas de ellas se observan en ciertas porciones de la cima de la sierra. - Este escarpe continúa hacia el sur a lo largo de 60 Km.

El suave fajamiento de montañas, de constitución granítica, está coronado por una cubierta esparcida de aluvi6n.

Hacia el este se presenta la sierra de San Felipe, formada por rocas volcánicas del Terciario y rocas sedimentarias marinas arcillo-arenosas del Terciario superior. Esta sierra es de relieve y topografía más suave que la de San Pedro Mártir, tiene una direcci6n NW-SE, paralela al batolito peninsular, con una altura máxima de 1,000 m.s.n.m.

Los valles contenidos entre las sierras de San Felipe y de San Pedro Mártir forman una depresi6n estructural a lo largo de 10 Km., paralela a la orientaci6n axial de Baja California (NW-SE). La mitad suroeste de esta depresi6n es un graben; la mitad noreste es principalmente un frente cortado a trav6s de estratos del Mioceno y Plioceno en el valle de San Pedro Mártir.

Geomorfol6gicamente, el área de estudio se encuentra en etapa de madurez temprana, con

una red de drenaje dendrítico que se inicia en la sierra de San Pedro Mártir, determinado por el fallamiento y fracturamiento de las rocas que, en términos generales, son transversales al macizo peninsular. No presenta corrientes importantes, su régimen es de tipo intermitente, casi en su totalidad, debido a la escasa precipitación pluvial (400 mm/año en la sierra y 150 mm/año en el valle. Hacia la parte central de la cuenca, la pendiente decrece hasta formar la planicie, compuesta por sedimentos de grano medio a fino como: gravas, gravillas, arenas y arcillas.

El espesor del valle fue calculado por Slyker (1975), con mediciones regionales de gravedad, siendo éste de 2,400 m.

La depositación de los sedimentos de relleno del valle de San Pedro Mártir es característica de un ambiente lacustre, afectada por una fuerte evaporación, creándose un pequeño lago salino (ver. fig. IV.2).

### IV.3 Marco Geológico

Dentro de la región estudiada tenemos afloramientos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, cuyas edades abarcan desde el Paleozoico hasta el Cuaternario (Fig.IV.3), se han clasificado de acuerdo a sus relaciones con el intrusivo peninsular (Gastil y otros, 1975) en rocas: prebatolíticas, batolíticas y postbatolíticas (ver. plano IV.3).

#### IV.3.1 Rocas Prebatolíticas

Este grupo está formado por rocas de edad relativa que van del Paleozoico al Cretácico medio, los afloramientos consisten en rocas volcánicas de composición ácida y un complejo metamórfico que consta, principalmente, de esquistos, gneisses y pizarras.

Las rocas de la porción norte fueron metamorfozadas e intrusionadas por extensas cadenas de batolitos -



(Gastil, 1975). Según su edad se -  
presentan de la siguiente manera:

Paleozoico.-Las rocas más antiguas  
de la región han sido determinadas  
con una edad del Paleozoico superior,  
localizadas en las partes noreste y  
medio-oriental de la Península.

Grandes espesores de esquistos de -  
cuarzo y gneisses de cuarzo-biotita  
bandedados, así como pizarras con -  
esquistos cálcicos se encuentran -  
presentes al norte y, principalmen-  
te, al sur de la sierra de San Pe--  
dro Mártir. Algunas de ellas son ro-  
cas metasedimentarias y rocas ígneas  
metamorfizadas, las primeras se en-  
cuentran al oeste de Agua Caliente  
y las segundas al oeste del rancho  
Algodones. Terrenos similares se lo-  
calizan en San Diego Country ---  
(Everhart, 1951; Merriam, 1959). Las  
pegmatitas son numerosas a lo largo  
de la sierra.

#### IV.3.2 Rocas Batolíticas

Mesozoico.- Se encuentran agrupadas en esta unidad, las rocas del intrusivo peninsular de composición variada, tales como: granito, granodiorita y tonalita, principalmente, emplazadas en el Cretácico tardeo. Su distribución en la Península es bastante amplia, iniciándose en Riverside (Alta California), continúa en las sierras de Juárez y San Pedro Mártir y se pierde en Los Cabos. Por su extensión de afloramientos se considera la unidad geológica más importante. Su edad es contemporánea a la despositación de las rocas volcánicas mesozoicas.

En el área estudiada se observan estas, a lo largo de la sierra de San Pedro Mártir y en la mayor parte de la sierra de San Felipe, (figura IV.3) siendo la tonalita la más abundante.

#### IV.3.3. Rocas Postbatolíticas

Dentro de este grupo se encuentran - las rocas sedimentarias y volcánicas del Terciario, así como los sedimentos aluviales del Cuaternario.

Los conglomerados y las asociaciones de arenisca-conglomerado y de lutita-arenisca, que sobreyacen a las rocas graníticas y metamórficas, son del Terciario y afloran, en gran parte, en ambas vertientes de la sierra de San Felipe; los derrames volcánicos terciarios cuya composición varía - desde ácida hasta básica (andesita, riolita y basalto) se encuentran, - también, al norte y al sur de la sierra de San Felipe y, en ocasiones, - coronando a las rocas batolíticas.

Cuaternario.- El relleno de Valle - Chico-San Pedro Mártir está constituido por arena gruesa, gravilla, grava, cuarzo, feldespatos y arcilla. Este

material proviene de las sierras circundantes al valle y en ocasiones se le encuentra arcilloso, de color café, o arena empacada en arcilla.

Los estudios geofísicos realizados en el valle, reportan un espesor de 2.4 Km. (Slyker, 1975). Recientemente se han perforado seis pozos en la parte norte del valle en cuestión, con una profundidad máxima de 300 m., cuyos cortes litológicos se ilustran al final de este capítulo (Figs. -- IV.3.1 a IV.3.6). El pozo SPM-4 (Fig. IV.3.2) se perforó en la parte media de la laguna La Saladita (Plano de geofísica), alcanzando una profundidad de 250 m.; en su corte litológico se observa arcilla de color café grisáceo con poca arena, así como escasos fragmentos de arenisca y gravilla.

Las figuras IV.3.2 y IV.3.10 indican

que el área de la Saladita es la -  
más arcillosa; alrededor de ésta se  
localizan arenas con lentes de arcí  
lla, cuyo espesor disminuye hacia -  
los bordes del valle (Figs. IV.3.4,  
IV.3.6 y IV.3.7).

En Valle Chico-San Pedro Mártir se  
depositaron los sedimentos finos en  
medio y los gruesos a los lados y -  
al pie de las sierras (Figs. IV.3.11  
y IV.3.12).

Los procesos geológicos externos -  
que destacan en la zona estudiada -  
son el intemperismo y la erosión:el  
primero origina la alteración y des  
composición de la roca "in situ" -  
-dadas las condiciones climáticas,-  
predomina el intemperismo físico-,  
en tanto que la erosión y el trans  
porte son fundamentalmente de carác  
ter eólico.

#### IV.4 Geología Estructural y Tectónica.

La interacción de las placas Pacífica y Norteamericana han producido un complejo patrón de afallamiento en el norte de Baja California y Alta California. El modelo tectónico - del área (Larson, Menard y Smith, 1968) describe movimientos en series de fallas de transformación y expansión de centros, de una parte de la placa Pacífica localizada al norte del Golfo de California (Meidav, Randal y Rey 1970).

La extensión de las fallas de Agua Blanca y de San Pedro Mártir, ha creado un graben, el cual está ocupado por Valle Chico. Este se encuentra flanqueado al oeste por la sierra de San Pedro Mártir y al este por la sierra de San Felipe.

En el lado oeste de la sierra de San Felipe se encuentra presente una falla normal, la cual fue llamada Falla del Valle de San Felipe (R. Slyker, 1975). Esta falla pasa cerca de los ranchos Fonseca y Santa Clara, continuando a lo largo de Valle Chico, con dirección N-NW, la cual no tiene expresión superfi

cial pero está indicada por mediciones de gravedad. Su extensión sur continúa bajo el centro del valle. Esta falla es consecuencia de los movimientos tectónicos que se han efectuado en la Península (Gastil, 1975). Se observa en esta zona, un patrón secundario de fallas normales, alineadas transversalmente a la citada falla y colocadas a ambos lados del valle (plano IV.3). Estas fracturas tienen una dirección E-NE y son interpretadas como fallas de tensión.

Otra falla de importancia es la de San Pedro Mártir (Fig. IV.4), que atraviesa sinuosamente y en toda su longitud a Valle Chico-San Pedro Mártir, en el borde oriental de la sierra del mismo nombre. Es una falla normal con un escarpe aparentemente jóven (Hamilton, 1971), pues se encuentra cortando los depósitos de aluvión en casi toda el área; el promedio de altura del escarpe de falla oscila entre 13 y 19 m. Presenta una dirección de alineamiento hacia el noreste, siendo una estructura regional en el área. Beal (1948) postuló que dicha

falla es una continuación de la falla de la sierra de Juárez en el norte.

La roca granítica en donde se localiza la falla, presenta pequeñas superficies estriadas que son resultados del acomodo o arreglo de los bloques. Estas estructuras secundarias están orientadas arbitrariamente y no en la dirección del movimiento a lo largo de la falla.

En la porción sureste de Valle Chico, cerca del límite sur de la falla de San Pedro Mártir, hay dos escarpes de falla separados un kilómetro por el aluvión, los cuales indican una reciente actividad tectónica. En cambio, no parece existir desplazamiento en el área de la falla del valle de San Felipe.

#### IV.5 Geología Histórica

La historia geológica de la Península de Baja California se caracteriza por grandes perturbaciones originadas por eventos estratigráficos y tectónicos, tanto regionales como locales, la cual se puede deducir, es a partir de



las rocas más antiguas que afloran, de edad - Paleozoico Superior, observadas en la Sierra Pinta, situadas en la porción nororiental de la Península.

En el Jurásico Superior se erosionaron las rocas más antiguas (basamento), las cuales se depositaron en amplias áreas de la parte occidental de Baja California.

La Orogenia Nevadiana dió origen a una tectónica de bloques, misma que propició la ausencia regional del Neocomiano en la Península - con la interrupción de la secuencia sedimentaria; se originaron las provincias de Vizcaíno y Ballenas-Iray-Magdalena. Dichos depósitos - se reanudaron durante el Aptiano hasta el Cenomaniano Superior. A profundidad se emplazaron grandes cuerpos graníticos que constituyeron, en esa misma época, al Batolito Peninsular.

En el Cenomaniano se inició una transgresión marina hasta el Maestrichtiano en el occidente de Vizcaíno. El levantamiento ---

granfítico definió las líneas de costa de la -  
porción oriental durante el Cretácico y el -  
Terciario.

Posteriormente a los efectos de movimientos -  
verticales, hubo depositación de sedimentos -  
sin interrupciones hasta el Eoceno Inferior, -  
en donde se reconocen estructuras causadas por  
una tectónica de compresión, manifestadas tan  
to en la superficie, como en el subsuelo -  
(Fig. IV.4).

Debido a estos disturbios, los cuales podrían  
relacionarse con los movimientos de plazas y  
los contemporáneos a la Revolución Laramide, -  
ocurrieron numerosas fallas normales.

Durante el Eoceno Superior fueron levantadas  
extensas áreas en la porción occidental del -  
Continente Americano, ocasionando fallamien--  
tos normales e intensa erosión regional duran  
te el Oligoceno.

Importantes transgresiones marinas enmarcadas  
por el tectonismo y el hundimiento del lado -

occidental del Pacífico dieron lugar a una gran discordancia erosiva durante el Mioceno inferior y medio.

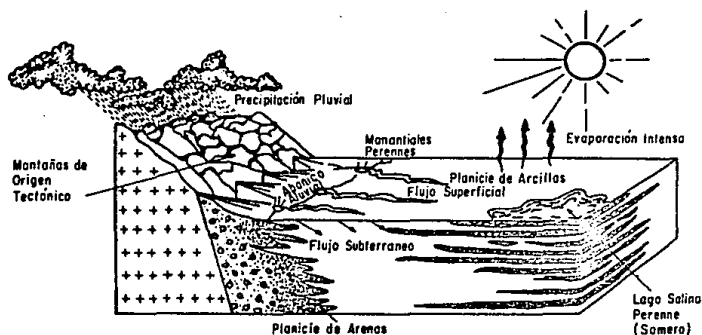
El Mioceno superior se caracterizó por un levantamiento regional acompañado de una intensa actividad volcánica (derrames lávicos y - vulcanoclastos) que culminó con la separación parcial de la Península y el Continente.

En el Plioceno se presentó una transgresión marina con sedimentación somera y registros de vulcanismo, la Separación de la Península se acentuó, desplazándose aproximadamente - 6 cm. al año, hacia el noroeste y siguiendo el sistema de fallas de San Andrés. Los fuertes movimientos produjeron fallas de trascurrencia al oeste de la Provincia de Vizcaíno.

Los mares fueron ampliamente distribuidos en el Pleistoceno, aunque su sedimentación en - Baja California fue somera y muy delgada.

Se reconocieron grandes esfuerzos de compresión en California, E.E.U.U. de edad Pleistoceno, siendo posible su repercusión en la Península, de los cuales solamente se identifican levantamientos verticales asociados con transurrencias y estructuras relacionadas, quizá, a movimientos de bloques.

**DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LOS AMBIENTES DE DEPOSITO EN UN LAGO SALINO**



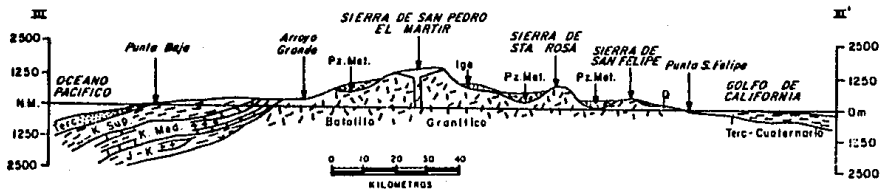
( SEGUN: H.P. EUGSTER Y L.A. HARDIE, 1978)

FUENTE: TESIS PROFESIONAL ,ELIAS OJEDA D.

*Tesis Profesional, UNAM, 1986*  
*Martha Lozano Castillo*

Fig. IV. 2.

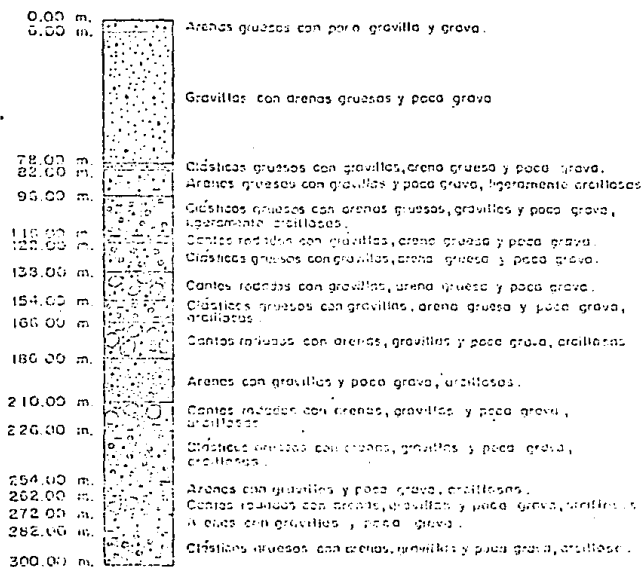
**SECCION GEOLOGICA ESQUEMATICA**  
 (FUENTE E. LOPEZ RAMOS 1978)



MARTHA LOZANO CASTILLO

TESIS PROFESIONAL, U.N.A.M., 1986  
 FIG. IV.3.

**CORTE LITOLÓGICO  
DEL POZO PBCESPM-3 SAN PEDRO MARTIR-3**



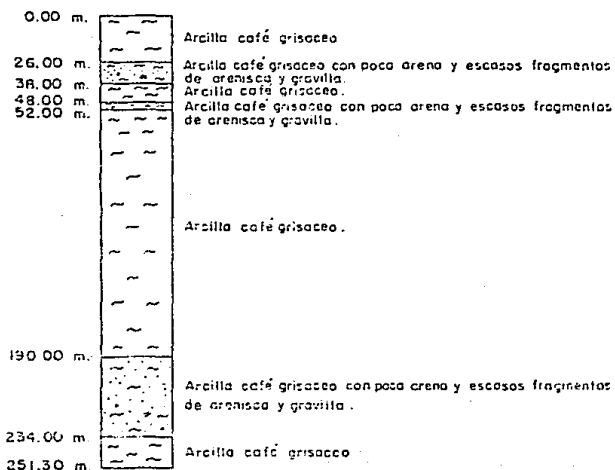
ESCALA 1:2,000

FUENTE: SARH, 1982.

FIGURA IV. 3.1.

MARTHA LOZANO CASTILLO  
TESIS PROFESIONAL, UNAM, 1986.

**CORTE LITOLÓGICO  
DEL POZO SONDEO PBCESPM-4 SAN PEDRO MARTIR-4**

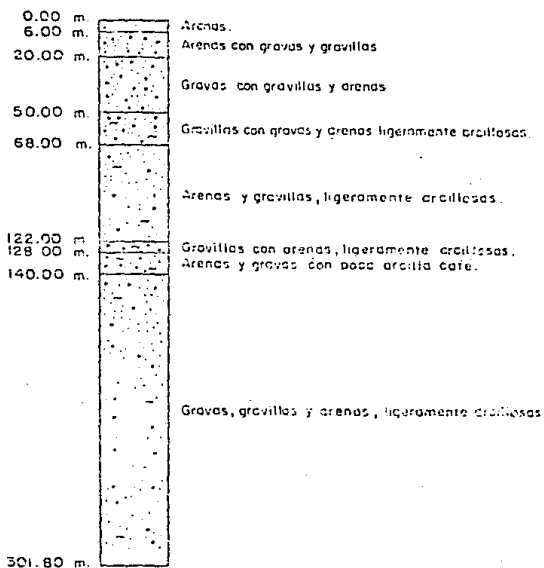


ESCALA 1: 2,000

FIGURA IV. 3.2.



**CORTE LITOLÓGICO  
DEL POZO PBCESPM-5 SAN PEDRO MARTIR -5**

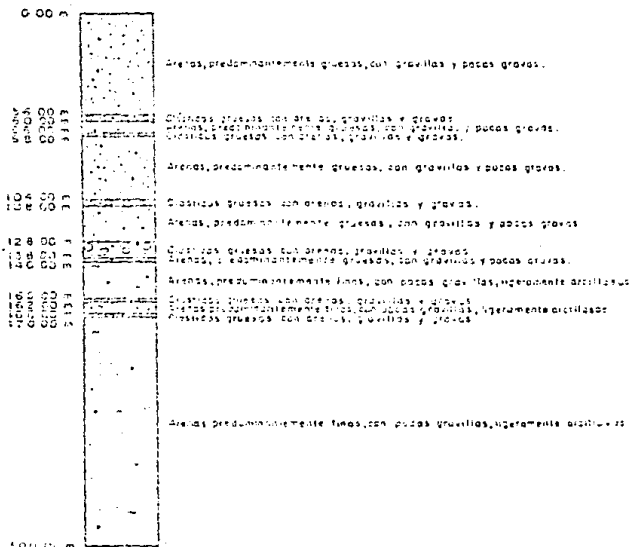


ESCALA 1:2,000

FIGURA IV.3.3.

MARTHA LOZANO CASTILLO  
TESIS PROFESIONAL, UNAM, 1986.

**CORTE LITOLÓGICO  
DEL POZO PBCESPM-6 SAN PEDRO MARTIR -6**

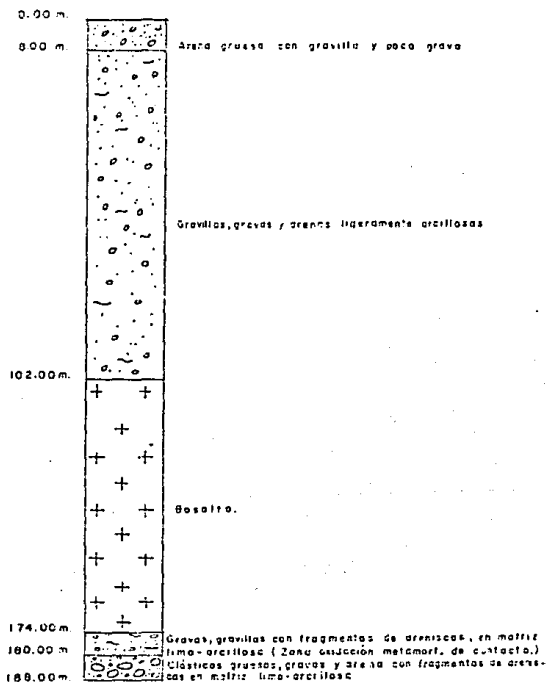


ESCALA 1:2,000

FIGURA IV. 3. 4.

MARTHA LOZANO CASTILLO  
TESIS PROFESIONAL, UNAM, 1986.

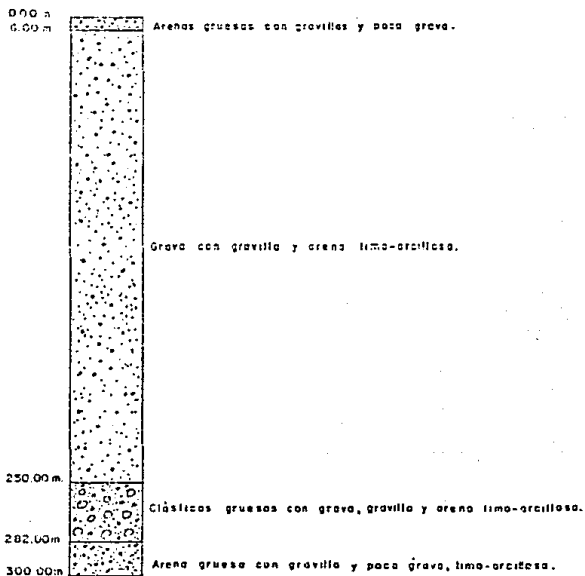
**CORTE LITOLÓGICO**  
**DEL POZO P6CESPM-7 SAN PEDRO MARTIR-7**



MARTHA LOZANO CASTILLO  
 TEGIS PROFESIONAL, UNAM, 1986.  
 ESCALA 1:1000

FIGURA IV 3 5

**CORTE LITOLÓGICO  
DEL POZO PBCESPM-8 SAN PEDRO MARTIR - 8**



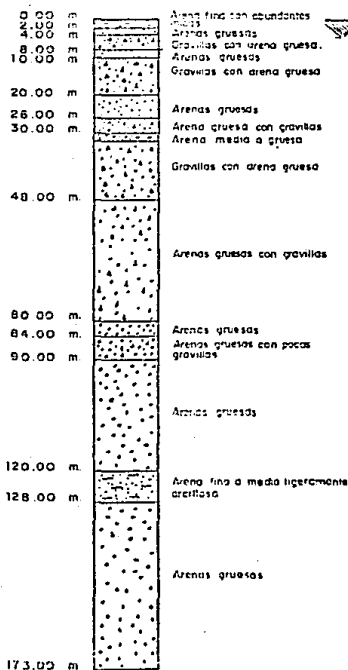
MARtha LOZANO CASTILLO  
TESIS PROFESIONAL, UNAM, 1986.

FIGURA IV.3.6.

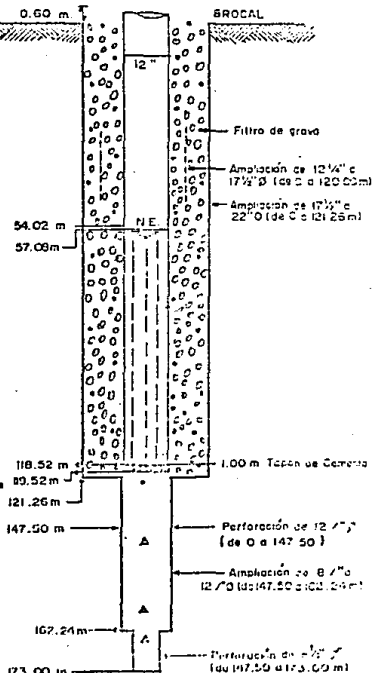
ESCALA 1:2000

## POZO No. 12 (PBCEVCH-1)

### CORTE LITOLÓGICO



### CORTE DE TERMINACION



ESCALA 1"=100'

FIGURA IV.3.7.

POZO No. 28 (PBCEVCH-3)

CORTE DE TERMINACION

CORTE LITOLÓGICO

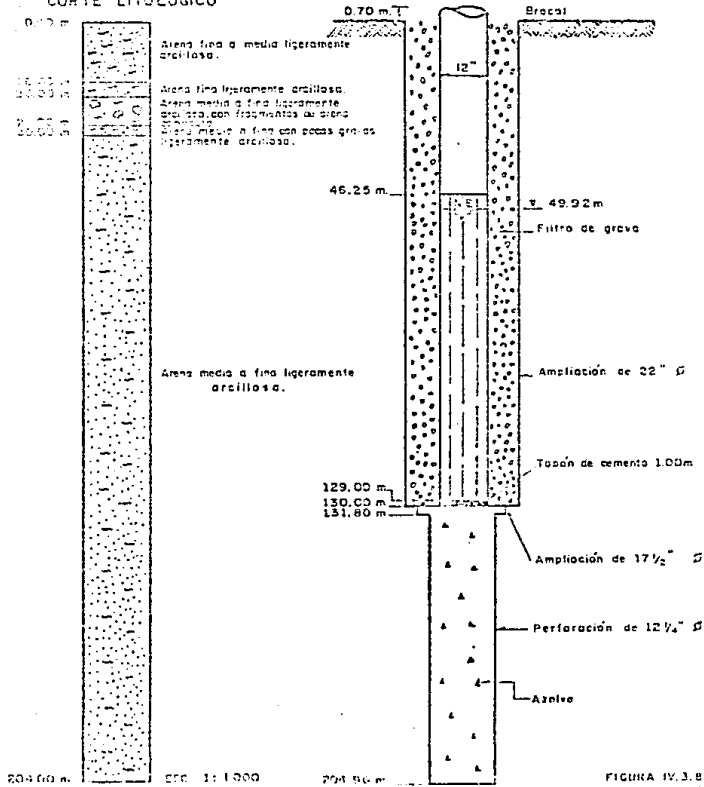
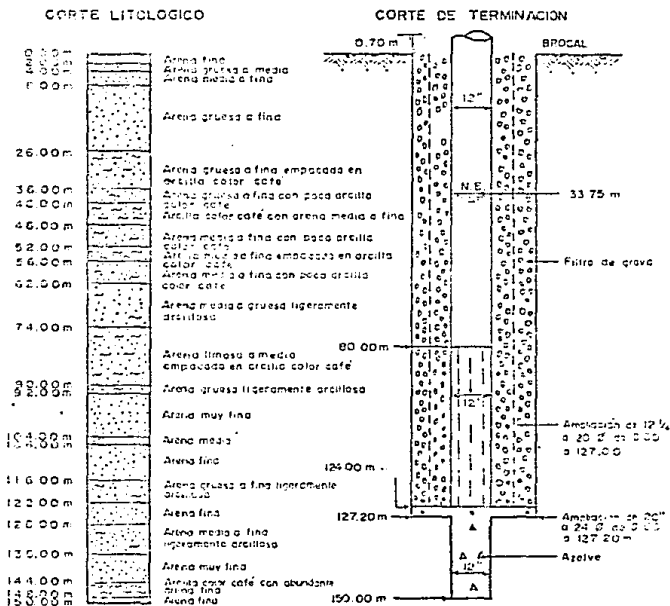


FIGURA IV.3.B.

POZO No. 39 (PBCESPM-1)



MARTHA LOZANO CASTILLO  
TESIS PROFESIONAL, UNAM, 1986.

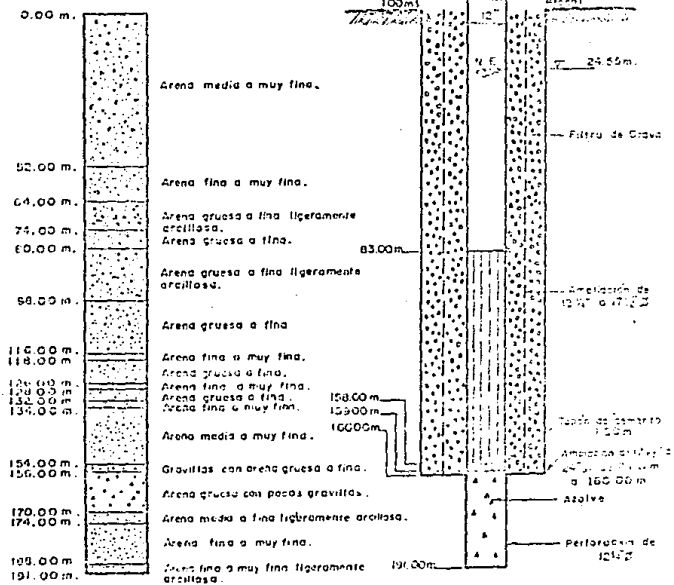
FIGURA IV.3.9.

ESCALA 1:100

POZO No. 41 (PBCESPM-2)

CORTE LITOLOGICO

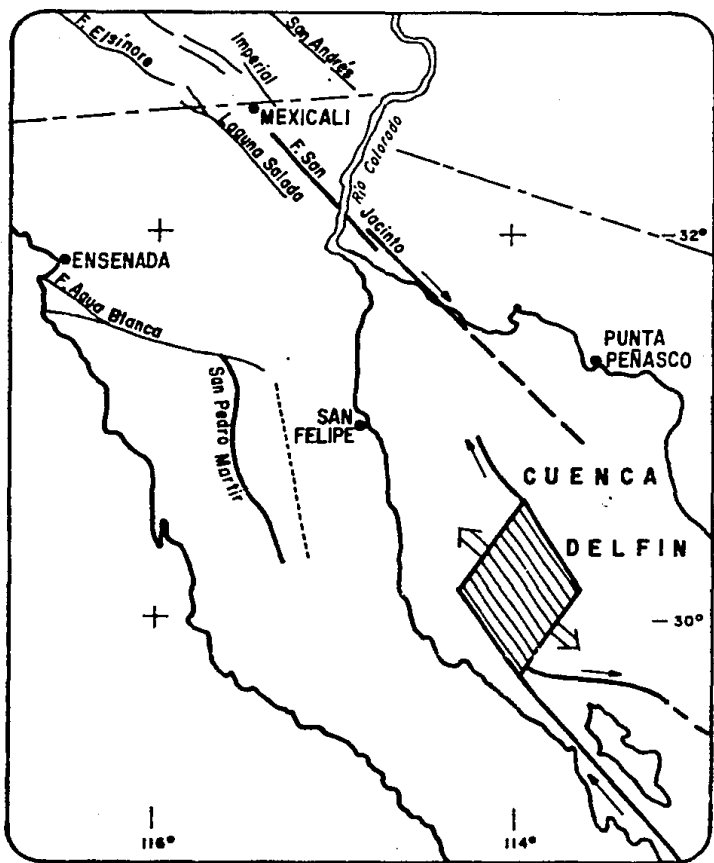
CORTE DE TERMINACION



E S C A L A 1: 1, 250

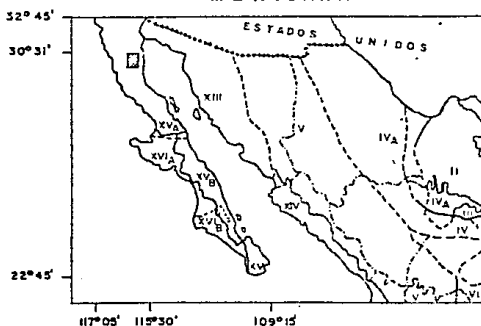






**Relación Estructural y Fallas en el Norte del Golfo de California.  
Lo Achurado Muestra un Centro de Expansión.  
Segun Henyay and Bischoff (1973)**

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE LA REPUBLICA MEXICANA



- II REGION MONTAÑOSA DE COAHUILA.
- III CUESTAS DE PARRAS.
- IV SIERRA MADRE ORIENTAL.
- A ANTIGUA ZONA LACUSTRE.
- V SIERRA MADRE OCCIDENTAL.
- VI MESETA CENTRAL.
- XIII ZONA DESERTICA DE SONORA.
- XIV LLANURA COSTERA DE SINALOA.
- XV SIERRAS DE BAJA CALIFORNIA.
- A CRISTALINA.
- B VOLCANICA.
- C DE LA PAZ (CRISTALINA).
- XVI LLANURA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA.
- A DE SEBASTIAN VIZCAINO.
- B IRAY PURISIMA.



AREA DE ESTUDIO.

TOMADO DE ALVAREZ, JR. (1969).

UNAM  
FACULTAD DE INGENIERIA

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS

TESIS PROFESIONAL:  
MARTHA LOZANO CASTILLO

México - 1986. PLANO No. IV. I

## CAPITULO V

### V. HIDROGEOQUIMICA

La interpretación hidrogeoquímica es un instrumento de apoyo, junto con la geología, hidrología y geofísica, para un mejor conocimiento del funcionamiento de los acuíferos.

La interpretación hidrogeoquímica se basa en el hecho de que la mayor parte del agua que contienen los acuíferos proviene del agua de lluvia, la cual se considera prácticamente pura debido a su baja concentración de sales.

El agua meteórica infiltrada entra en contacto con las diversas rocas, disuelve las sales minerales que las constituyen, cambiando de esta forma, su composición. Por esto, las características químicas del agua dependerán de la solubilidad y de la composición de las rocas por las que circula, y de los factores que afectan la solubilidad.

El estudio hidrogeoquímico de una zona comprende las siguientes actividades:

- a) Recolección y análisis físico-químico de muestras de agua.
- b) Ordenamiento y procesamiento analítico de los resultados.
- c) Elaboración e interpretación de diagramas de análisis químicos.

#### V.1 Muestreo y Análisis de Agua

En la zona estudiada se han efectuado varios análisis químicos del agua subterránea, en un lapso de siete años; pero no ha sido posible muestrear todas las obras de aprovechamientos del valle. Con el objeto de hacer una evaluación de la calidad del agua en esta área, se seleccionaron 20 aprovechamientos -11 pozos, 7 norias y 2 manantiales- de los que se obtuvieron muestras de agua. En el plano V.1 se observan sus localizaciones.

Las muestras se recolectaron en recipientes de polietileno de un litro de capacidad con doble tapa; éstos se etiquetaron con los datos del aprovechamiento -número, temperatura del agua y fecha, y se enviaron al Laboratorio de la Residencia de Geohidrología de la -

SARH en Mexicali, Baja California. Se realizaron los análisis físico-químicos de cada una de las muestras de agua, determinándose: aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4$  y  $\text{Cl}$ ), cationes (Ca, Mg y Na), pH, S.T.D., conductividad eléctrica y dureza total. En el cuadro V.1 se consignan los resultados de los análisis.

## V.2 Características físico-químicas del agua.

### V.2.1 Temperatura de las aguas subterráneas.

La temperatura de las aguas subterráneas se midió en la descarga de los equipos de bombeo de pozos y norias, y en los afloramientos de los manantiales existentes en el área de estudio.

Dentro de la zona de interés la temperatura varía de 12 a 37° C. Las temperaturas menores se localizan en la parte oriental del valle; las máximas, en su porción nor-oriental, frente a la sierra de San Felipe.

La temperatura promedio del agua subterránea es de 26.8° C (ver cuadro V.1).

#### V.2.2 Potencial hidrógeno (pH).

Además de las moléculas propias, el agua pura contiene iones disociados -  $H^+$  y  $OH^-$  en muy bajas concentraciones, las cuales se definen como el pH. En el área de estudio se presenta un pH promedio de 7.8, lo cual significa que el agua es un poco ácida.

#### V.2.3 Sólidos Totales Disueltos (STD).

Un indicador preliminar de la calidad del agua es su salinidad total, representada por el contenido de sólidos totales disueltos (STD); dicha salinidad es originada por la disolución de los minerales que forman los suelos y las rocas.

La salinidad del agua aumenta con el -

tiempo que ésta permanece en contacto con las rocas; a su vez, el tiempo en contacto depende de la velocidad de circulación y de la longitud de recorrido.

Por lo tanto, de la variación de la salinidad en el área, se puede inferir una idea general del esquema natural del flujo subterráneo y de la distribución espacial de la recarga.

En el cuadro V.1 se ilustran los contenidos de STD, cuyos valores varían entre los 264 y 8,270 ppm. Las cantidades más bajas corresponden a la porción central del valle de San Pedro Mártir -a lo largo del parteaguas hidrológico superficial- cuyos contenidos de sales disueltas en el agua subterránea varían de 220 a 280 ppm.

En la porción NW de la zona (SPM), los valores más altos son del orden de --



2,060 a 8,270 ppm., valores característicos de zonas áridas donde la evaporación es muy alta. El incremento del contenido de STD va de la sierra hacia el valle, el cual es indicativo de que la recarga tiene lugar en los flancos de aquella.

#### V.2.4 Cationes

##### SODIO ( $\text{Na}^+$ ).

En el área de estudio, las concentraciones tienen un rango de variación de 14 a 2,850 ppm. en los aprovechamientos y se calculó un promedio aritmético de 443 ppm. En el plano V.1 se observa que en el valle de San Pedro Mártir, la concentración de este ión varía de 46 a 2,852 ppm.

En Valle Chico los valores oscilan entre 53 ppm -al centro del valle- y 129 ppm -al pie de la sierra San Pedro Mártir- lo que confirma la presencia de

estratos poco permeables en esa zona.

El sodio proviene de la disolución de la mayoría de las rocas ígneas ácidas y los suelos, del lavado de sedimentos de origen marino y salmueras, drenajes, contaminación urbana e industrial, algunas veces de emanaciones y fenómenos relacionados con procesos magmáticos.

En esta zona, la principal fuente de origen del sodio corresponde a la disolución de horizontes de tipo evaporítico, así como a los feldespatos constituyentes de las rocas graníticas que forman la sierra de San Pedro Mártir.

#### CALCIO ( $\text{Ca}^{++}$ ).

El rango de variación del calcio en las captaciones del agua subterránea, en el área en cuestión, es de 10 a 280 ppm, - con un promedio de 110 ppm. Las concentraciones de este elemento, en la parte correspondiente al valle de San Pedro -

Mártir van de 24 a 740 ppm; en Valle - Chico, de 10 a 88 ppm.

El ión calcio procede de la disolución de calizas, dolomías, yesos y anhidritas, del ataque de feldspatos y otros silicatos cálcicos, de la disolución del cemento calcáreo de muchas rocas y de la concentración del agua de lluvia.

Su presencia en el área de estudio se debe al alto índice de evaporación, y forma parte de las costras de sal localizadas a lo largo de la laguna Saladita, al norte del valle de San Pedro - Mártir, así como de las rocas sedimentarias que se encuentran en la sierra de San Felipe.

MAGNESIO ( $Mg^{++}$ ).

La concentración de este elemento es elevada en las zonas afectadas por la

evaporación. Los valores oscilan entre 1 y 144 ppm, con un promedio de 25 ppm. En el cuadro V.1 se ilustran los contenidos de este elemento, en el que se aprecian valores bajos e insignificantes. Localmente puede deberse su presencia al ataque de silicatos magnésicos y ferromagnesianos.

#### V.2.5 ANIONES

Entre los aniones determinados se encuentran los sulfatos ( $\text{SO}_4$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), de los cuales el que predomina, en este caso, es el tercero ( $\text{Cl}^-$ ).

#### CLORUROS ( $\text{Cl}^-$ ).

Este ión tiene importancia en el estudio de las aguas subterráneas, ya que es un constituyente que aparece en todas las aguas naturales, incluso la de lluvia.

En los aprovechamientos analizados, - las concentraciones de este ión son de 14 a 3,900 ppm, y un promedio de 662 - ppm, tomando en cuenta todas las muestras.

En el Valle Chico los valores de este elemento son del orden de 32 y 128 ppm; en el valle de San Pedro Mártir, de 43 y 2,345 ppm (ver plano V.1).

La fuente principal de cloruros la - constituyen las rocas sedimentarias especialmente las evaporitas, y es muy raro que su procedencia se deba a gases y líquidos asociados a emanaciones volcánicas. Grandes cantidades de cloro aumentan el poder corrosivo del agua.

#### SULFATOS ( $\text{SO}_4^{=}$ ).

En el área de interés, el contenido de sulfato varía de 19 a 2,160 ppm, con un promedio de 325 ppm.

La concentración de sulfato en la porción central del valle de San Pedro - Mártir es de 19 ppm, y de 2,160 ppm en la noria No. 2, al NW del mismo valle. En Valle Chico el contenido de sulfatos varía de 34 a 336 ppm.

El ión sulfato debe su procedencia a la disolución de yeso y anhidrita; también al lavado de terrenos formados en condiciones de gran aridez, a actividades urbanas, industriales y en ocasiones agrícolas. En rocas sedimentarias, la concentración de sulfatos en el agua aumenta con la longitud de recorrido, mientras que en rocas ígneas no sufre alteraciones importantes.

#### BICARBONATOS ( $\text{HCO}_3^-$ ).

El bicarbonato proviene de la presencia de dióxido de carbono en el agua y la disolución de rocas carbonatadas (calizas, dolomías y otras rocas compuestas por sales de este ión). Los valores -

encontrados en las muestras analizadas son del orden de 49 a 171 ppm., y su promedio es el que se presenta en menor proporción en el área en cuestión.

El bicarbonato proviene de la presencia del bióxido de carbono en el agua y la disolución de rocas carbonatadas-calizas, dolomías y otras rocas compuestas por sales de este ión.

#### V.2.6 Diagramas de Piper

Con objeto de tipificar el agua subterránea, atendiendo a su distribución iónica, se utilizó el diagrama de Piper. Este consta de dos triángulos equiláteros y un rombo central. En uno de los triángulos se representan las concentraciones de cationes, en meq/lt., expresadas como un porcentaje de su suma; análogamente en el otro triángulo se representan los aniones. En el rombo central se correlacionan gráficamente los contenidos de aniones y cationes, quedando -

así cada muestra de agua representada por un punto. Este diagrama facilita la identificación de mezclas de agua procedentes de diferentes sitios de muestra.

En la figura V.2.6 se ilustran los diagramas de Piper correspondientes a las aguas subterráneas de la zona estudiada. En el Valle de San Pedro Mártir el tipo dominante de agua es sódico-clorurada. Agua de tipo mixto-sulfatada se encontró en varios pozos emplazados en Valle Chico y en un manantial (Nº 82) localizado en los flancos de la sierra de San Pedro Mártir. Localmente, en ambos valles se encuentra agua de tipo cálcico-sulfatada.

### V.3 Interpretación Hidrogeoquímica

Analizando la distribución espacial de la salinidad total y de los contenidos iónicos, se deduce lo siguiente:

La elevada salinidad del agua subterránea en



el Valle de San Pedro Mártir se atribuye a su lenta circulación a través de materiales poco permeables y a la presencia de evaporitas en el relleno. A pesar del escaso número de análisis químicos, se aprecia cierta tendencia - creciente de la salinidad de los bordes hacia la porción central del valle, lo cual sugiere que el agua fluye en ese sentido para escapar del acuífero por evaporación directa en el - área de la laguna Saladita, donde la superficie freática casi aflora. Los tipos sódico-clorurada y mixto-sulfatada son característicos del agua que circula a través de rocas - evaporitas, en las cuales abundan todos los - iones principales.

En Valle Chico el agua subterránea es de menor salinidad, lo que refleja circulación rápida y tiempo de permanencia más corto en el subsuelo. La baja salinidad también se atribuye a la circulación del agua a través de clás - ticos gruesos derivados de rocas cristalinas más resistentes al ataque químico del agua. - El predominio del catión sodio probablemente se debe a la disolución de los feldespatos -

sódicos constituyentes de las rocas intrusivas ácidas y de los sedimentos derivados de su erosión; otras fuentes probables de esa cación, así como del anión cloruro, son los depósitos evaporíticos comunes en toda zona árida.

#### V.4 Calidad del Agua

La calidad del agua se define en términos de sus características físicas, químicas y bacteriológicas referidas a las normas correspondientes al uso a que se destina. A continuación se hace referencia de la calidad del agua subterránea de la zona Valle Chico-San Pedro Mártir en relación con sus usos actuales o potenciales.

##### Consumo Humano

Para que el agua sea considerada como potable, sus características deben cumplir las normas de calidad establecidas por la Organización Mundial de la Salud u otras similares (SEDUE, OPS, etc.). Algunas de estas normas se indican a continuación:

### Valores Límites en la Calidad del Agua

	Concentración Máxima Aceptable	Concentración Máxima Permitida
Sólidos totales disueltos (STD)	500	1 500
Calcio (Ca)	75	200
Magnesio (Mg)	50	150
Sulfatos (So <sub>4</sub> )	200	400
Cloruros (Cl)	200	600

De la comparación de estas normas con los resultados de los análisis químicos, se deduce que el agua subterránea de la zona estudiada es potable desde el punto de vista físico-químico, con excepción de la que se encuentra en el área de la laguna Saladita. En esta área, la salinidad total y los contenidos iónicos del agua rebasan, con mucho, los límites permisibles.

No se dispone de análisis bacteriológicos del agua subterránea pero considerando que no hay fuentes de contaminación en la localidad y que los materiales granulares que constituyen el acuífero tienen un efecto filtrante natural, se

puede afirmar sin duda que también desde este punto de vista el agua es apta para consumo humano.

#### Uso Agrícola

Para definir la calidad del agua con respecto a este uso, se utilizó el criterio de Wilcox, basado en la conductividad eléctrica y en la relación de adsorción de sodio (RAS), definida por la expresión:

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

en que los contenidos están expresados por mequiv/lt.

En la Fig. V.3 se aprecia que los tipos dominantes de agua son C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> y C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>, aunque localmente se encuentran los tipos C<sub>3</sub>-S<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>-S<sub>3</sub>. A continuación se describen las características de cada uno de los tipos de agua que se encuentran en la zona estudiada:

### C2-S1

Agua con salinidad media y baja concentración de sodio, apropiada para todo tipo de suelos y todo tipo de cultivos, exceptuando las plantas sensitivas como algunos frutales que pueden acumular el sodio en cantidades nocivas. El 25% de las muestras analizadas pertenecen a este tipo.

### C2-S2

Agua con salinidad media y concentración media de sodio. Utilizable para riego de todo tipo de suelos, siempre que se apliquen lavados moderados, y para plantas de tolerancia moderada a las sales. Sólo el 7% de las muestras analizadas corresponden a este tipo.

### C3-S1

Agua con alto contenido de sales y baja concentración de sodio, adecuada para riego de plantas tolerantes a la salinidad. Es el tipo dominante en la zona estudiada, correspondiéndole el 40% de las muestras.

C<sub>3</sub>-S<sub>2</sub>

Agua de alta salinidad y concentraciones medias de sodio, no apta para usarse en suelos con drenaje deficiente; sólo utilizable con drenaje adecuado y manejo especial para control de la salinidad. El 13% de las muestras consideradas corresponden a este tipo.

C<sub>3</sub>-S<sub>3</sub>

Agua de alta salinidad y gran concentración de sodio. Sólo apta para riego de plantas muy tolerantes a la salinidad y con manejo especial. 7% de las muestras analizadas son de este tipo.

C<sub>4</sub>-S<sub>3</sub>

Agua con muy alta concentración de sales y de sodio. Utilizable para riego de plantas muy tolerantes, siempre que se lleven a cabo lavados cuidadosos y frecuentes y que los suelos sean orgánicos y muy permeables. A este tipo corresponden el 7% de las muestras.

Con base en la clasificación anterior se concluye que en términos generales el agua subterránea es apta para la agricultura en la zona estudiada, exceptuando la que se encuentra en la porción central del valle de San Pedro Mártir.

#### Abrevadero

Generalmente, el agua destinada a las granjas y a los ranchos ganaderos, debe cumplir con los mismos requisitos que para el agua potable, ya que se emplea, también, para uso doméstico.

A continuación se describen algunos de los límites máximos para variados animales.

Aves	2,860	ppm
Cerdos	4,290	ppm
Caballos	6,430	ppm
Ganado lechero	7,150	ppm
Ganado de carne	10,100	ppm
Borregos	12,900	ppm





DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER

VALLE CHICO-SAN PEDRO MARTIR

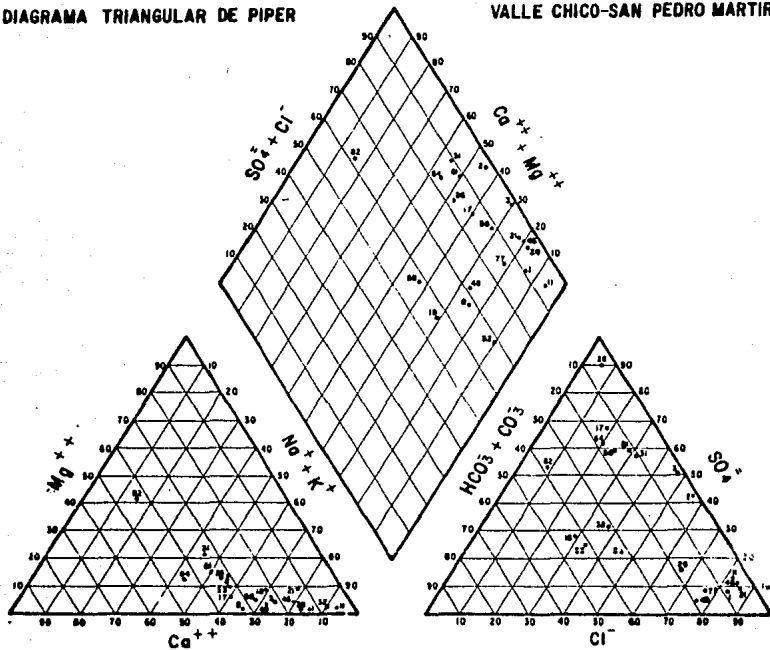


FIG. T. 2. 6.

VALLE CHICO - SAN PEDRO MARTIR

DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

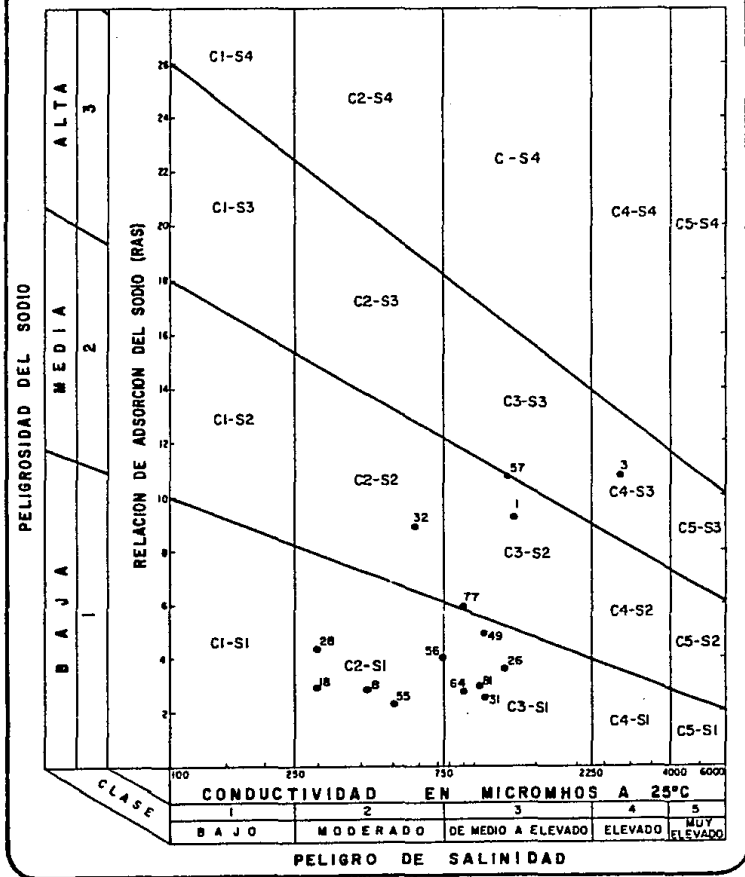


FIG. V.3.  
100

## CAPITULO VI

### VI. HIDROLOGIA SUBTERRANEA.

El comportamiento hidrogeológico y las características hidráulicas de las rocas dependen de su litología, así como de la estructura geológica.

Las rocas ígneas intrusivas son prácticamente impermeables por su estructura masiva, pero pueden ser muy permeables cuando están fracturadas o alteradas.

En la sierra de San Pedro Mártir estas rocas presentan denso fracturamiento originado por movimientos tectónicos y fuerte alteración derivada de la intensa acción del intemperismo; consecuentemente, sus afloramientos son buenos receptores de descarga. En el subsuelo del área montañosa, las rocas graníticas tienen permeabilidad variable --

dependiendo del desarrollo de las fracturas a profundidad, de la medida en que éstas han sido obstruidas por la depositación de minerales o materiales finos y del espesor de la capa impermeabilizada. Estas características estructurales determinan que el agua infiltrada circule a profundidad en el macizo montañoso, alimentando al relleno de los valles, o bien que circule a poca profundidad y aflore en el flanco de la sierra formando manantiales. Bajo la superficie freática regional, las rocas graníticas constituyen la frontera lateral y vertical del relleno de los valles.

Similares características y comportamiento tienen las rocas consolidadas ígneas y sedimentarias que forman la sierra de San Felipe. Son permeables por su denso fracturamiento, por lo cual funcionan como receptoras de recarga y transmiten el agua infiltrada hacia los valles estudiados y hacia la planicie costera de San Felipe.

El comportamiento y las características de las rocas no consolidadas dependen, principalmente,

de su granulometría y grado de compactación.- - Los depósitos coluviales y los abanicos aluviales que forman el pie de monte tienen alta capacidad de infiltración, por lo que son excelentes receptores de recarga.

Depósitos aluviales de grano grueso -gravas y arenas cuarzosas- predominan en el subsuelo de Valle Chico y en las partes altas del valle de San Pedro Mártir. Su permeabilidad decrece con el tamaño del grano, de los bordes hacia la porción central de los valles. En la zona de saturación regional, constituyen un gran acuifero de transmisividad media a alta. Desde el punto de vista hidráulico, este acuifero se comporta como "libre", aunque localmente puede estar semiconfinado por lentes de materiales limo-arcillosos, probablemente. su coeficiente de almacenamiento (numéricamente equivalente a su rendimiento específico) toma valores dentro del rango de 0.15 a 0.25 .

Aluvión de grano fino -limos y arcillas- predomina en la porción central del valle de San

Pedro Mártir, especialmente en el subsuelo - de la laguna Saladita. Los estratos de estos materiales funcionan como acuitardos que almacenan importantes cantidades de agua, -- frecuentemente salobre.

En general, la permeabilidad de los depósitos no consolidados decrece conforme aumenta la - profundidad a causa de la compactación originada por su peso propio.

Se cree que abajo de los 300-400 metros la -- permeabilidad de los depósitos ya no es favorable para la captación económica de agua.

## VI.1 Piezometría.

Datos esenciales para evaluar la potencialidad de un acuífero son los relativos a la posición y evolución de los niveles del agua subterránea.

En la zona de referencia, la SARH ha observado el comportamiento de dichos niveles durante el lapso 1975-1982. En el cuadro VI.1.1 se consignan los datos piezométricos registrados directamente, así como otros deducidos de su procesamiento.

Del procesamiento e interpretación de estos datos se derivan importantes conclusiones relativas al comportamiento del acuífero, según se describe en los siguientes incisos.

### VI.1.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad a los niveles estáticos en el año de 1982 se ilustra en el plano VI.1.1. mediante curvas de igual valor. Puede observarse que dicha profundidad varía en el área entre menos de 10 y más de 70 m. En el Valle Chico varía en el rango de menos de 20 a poco más de 70 m, decreciendo de los bordes superiores del Valle hacia sus partes bajas; los valores menores se encuentran en las inmediaciones del arroyo Huatamote.

Los niveles del agua se encuentran más someros en el valle de San Pedro Mártir. Su profundidad varía entre más de 30 m y menores de 10 m, decreciendo de sus bordes hacia su porción central.



Aunque no se dispone de apoyo piezométrico en el área ocupada por la Laguna, se infiere que la superficie freática en esa área debe de estar de 1 a 3 m de profundidad.

Esta posición de los niveles del agua con respecto a la superficie del terreno, juega un papel importante en la descarga del acuífero como se apunta posteriormente.

#### VI.1.2. Elevaciones del nivel estático.

Refiriéndose los niveles del agua a un plano horizontal, se obtuvieron los valores de la carga hidráulica

en los pozos piezométricos. Con apoyo en estos valores se trazaron configuraciones de los niveles estáticos, presentándose en el plano - VI.1.2 la correspondiente a 1982.

De configuración se refiere el esquema del flujo subterráneo, ya que teóricamente el agua circula siguiendo trayectorias normales a las equipotenciales.

En el subsuelo de Valle Chico, el agua circula de sus partes altas hacia su borde sur-oriental. La circulación del agua en el valle de San Pedro Mártir parece ser convergente hacia el área de la Laguna Saladita.

El perfil piezométrico mostrado en la figura VI.1 complementa las re-

presentaciones gráficas anteriores, mostrando la elevación y profundidad de los niveles de agua a lo largo de una sección longitudinal que muestra la influencia de la topografía sobre la profundidad a los niveles de agua, así como el gradiente hidráulico hacia las partes bajas de los valles. La sección transversal en la figura VI.2 ilustra la circulación del agua de los flancos de las sierras limítrofes hacia la porción central del valle, así como la circulación ascendente del agua en el área de descarga de la Laguna Salada acentuada por la presencia de material arcilloso proveniente de las sierras circunvecinas.

### VI.1.3 Evolución del nivel estático.

La evolución de los niveles estáti--cos para 1980-1982 (plano VI.1.3) - presenta ascensos piezométricos en - casi toda la zona estudiada, cuya --magnitud varía de unos cuantos centí metros a poco más de 1m, de los --bordes de los valles al centro de - los mismos. Cabe aclarar que los mí nimos abatimientos están definidos al NE del valle de San Felipe.

### VI.2 Características hidráulicas de los acuíferos.

Los coeficientes representativos de las ca--racterísticas hidráulicas de un acuífero son valuadas directamente mediante pruebas de bombeo.

En las gráficas Nos. VI.2.1 a VI.2.4 se muestra el procesamiento y la interpretación de las pruebas. Las transmisividades resultantes varían entre 0.004 y 0.006 m<sup>2</sup>/seg; los caudales específicos, entre 1.85 y 4.81 lps/m.

Como el reducido número de pruebas de bombeo no dan idea clara de la distribución de transmisividad de un acuífero tan extenso, se correlacionaron los resultados de las pruebas con los cortes geológicos de los pozos y con los valores de resistividad, para tener una idea cualitativa de la distribución de permeabilidad. De esta correlación se desprende que las resistividades menores que 10 m, registradas en el área de la Laguna Saladita, están asociadas con la presencia de agua salobre; resistividades de 10 a 30 ohm-m caracterizan -- el relleno de grano medio a fino, de permeabilidad media a alta; el rango de 100 a cerca de 2 000 ohm-m está asociado con materiales --

coluviales de muy alta permeabilidad, abundantes en el borde occidental de los valles, y resistividades mayores de 2 000 ohm-m son -- representativas de la roca basal.

Considerando esta distribución relativa de -- permeabilidad y la variación del espesor del relleno, se deduce que las transmisividades -- más altas del acuífero se encuentran en la -- porción central de Valle Chico y en el borde occidental de ambos valles, donde se estima -- que el coeficiente de transmisividad varía en -- tre  $3 \times 10^{-3}$  y  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/seg. En el resto de -- la zona, la transmisividad es menor que la -- primera cifra.

### VI.3 Recarga y descarga del acuífero.

La recarga del acuífero es originada por la -- infiltración de la lluvia y del escurrimiento superficial en las sierras de San Felipe y de San Pedro Mártir. La nieve que ocasionalmente cubre las montañas más elevadas, también es -- una fuente de recarga de aguas subterráneas.

Se supone que el agua infiltrada en los macizos montañosos se distribuye subterráneamente en las dos vertientes. Como en la zona estudiada el escurrimiento superficial durante la época de lluvias es poco cuantioso y no hay manantiales importantes en los flancos de las montañas, se infiere que la mayor parte del agua infiltrada circula a profundidad y alimenta subterráneamente al relleno de los valles. En estos, la recarga del acuífero es originada por infiltración de escurrimientos a lo largo de los cauces durante la temporada de lluvias. La única corriente superficial de alguna importancia es el arroyo Huatamote, aunque los datos piezométricos disponibles no lo señalan como una fuente de recarga. Probablemente, su influencia es tan pasajera que sólo podrían manifestarla los datos piezométricos obtenidos durante o poco después de las avenidas torrenciales.

El acuífero se descarga en forma natural por evaporación y por flujo subterráneo hacia la planicie costera de San Felipe. La evaporación

de agua subterránea ocurre en el área de la Laguna Saladita, pero es difícil valuar la magnitud de esta salida. El área donde los niveles freáticos se encuentran a profundidades menores de 2 m es de unos 20 Km<sup>2</sup>. Aunque el agua subterránea ascienda por capilaridad hasta la superficie del terreno, se estima que la evaporación real es notablemente menor que la potencial, porque la permeabilidad del relleno arcilloso local es muy baja. Si se supone una lámina de evaporación de 500 mm/año (25% de la evaporación real) la descarga en esa área resulta del orden de 10 millones de m<sup>3</sup>/año.

Por otra parte, el flujo subterráneo hacia la planicie costera se estima de reducida magnitud porque la sección de flujo es muy estrecha. Suponiendo una sección de 1 Km<sup>2</sup>, un gradiente hidráulico de  $3.6 \times 10^{-3}$  y una permeabilidad de  $10^{-5}$  m/seg, la salida subterránea resulta de 1.14 millones de m<sup>3</sup>/año.

Finalmente, la descarga artificial era --



incipiente en 1982; únicamente había algunos pozos de bombeo de reciente construcción en la porción sur de Valle Chico, que extraían un volumen estimado en  $5 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .

Con base en los volúmenes de descarga estimados se planteó un balance preliminar de agua para deducir la magnitud de la recarga. Suponiendo que el acuífero estaba todavía en --- equilibrio en ese año, la recarga es equivalente a la suma de las descargas naturales--- apuntadas:

$$R = B + Sh + Evt$$

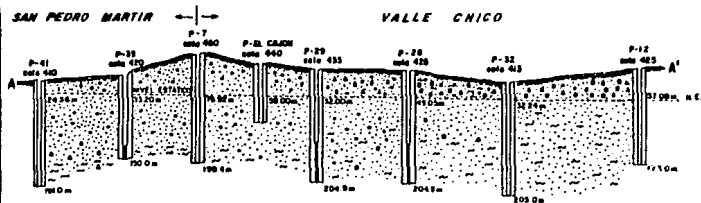
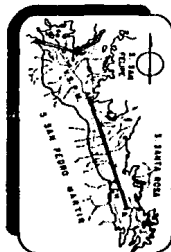
$$R = 3 + 1 + 10$$

$$R = 14 \text{ M m}^3/\text{año}.$$

La mayor parte de este volumen ingresa al -- subsuelo en el borde occidental de los valles y a lo largo del arroyo Huatamote.

Del balance anterior se desprende que la renovación del acuífero es muy pobre; no obstante, la reserva de agua dulce almacenada a profundidades relativamente reducidas es muy cuantiosa. Un cálculo conservador indica que en sus primeros 100 m de espesor saturado (a partir de los niveles estáticos) el acuífero contiene unos 7,500 M m<sup>3</sup> de agua, que puede ser captada en gran parte. Las áreas de captación recomendables son en la parte central de Valle Chico y las partes altas de San Pedro Mártir, como se indica en el plano No. VI.1.2. Observaciones periódicas del comportamiento de los niveles del agua servirían de base para definir los ajustes pertinentes del régimen de explotación.

SECCION GEONIDROLOGICA A-A'



**SIMBOLOGIA**

	Arena Medea
	Arena Gruesa
	Gravilla
	Fragmentos de Arena Compacta
	Arcilla

TESIS: PROFESIONAL, U.N.A.M., 1966  
MARTHA LOZANO CASTILLO

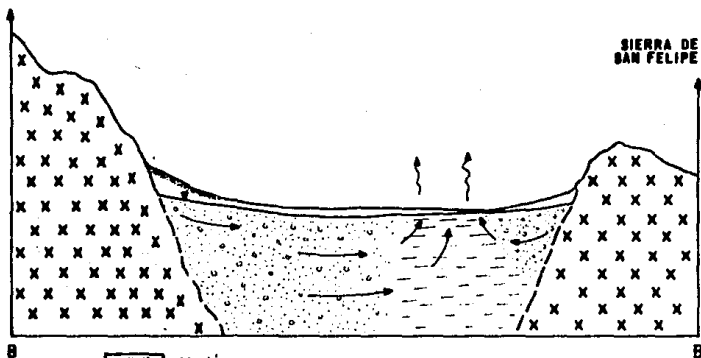
Fig. N° 21. 1

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**SECCION GEODIDROLOGICA B-B'**  
**VALLE DE SAN PEDRO MARTIR**

**SIERRA DE  
SAN PEDRO MARTIR**

**SIERRA DE  
SAN FELIPE**



-  Aluvión
-  Lacustre
-  Tonalita

TESIS: PROFESIONAL, U.N.A.M., 1986  
MARTHA LOZANO CASTILLO

# PIEZOMETRIA

Hoja 1 de 2

ESTADO		VALLE DEL CAJAMARCA											
OBRA No	COTA SOCIAL M.S.N.M.	PROFUNDIDAD (M)		ELEVACION (M)		PROFUNDIDAD (M)		ELEVACION (M)		PROFUNDIDAD (M)		ELEVACION (M)	
		1978	1979	1978	1979	1978	1979	1978	1979	1978	1979	1978	1979
1	394.25												
2	382.50												
3	370.00												
4	350.00												
5	415.00												
6	432.00												
7	458.00												
8	350.00												
9	404.00												
10	476.00												
11	415.00												
12	440.00												
13													
14	-17.00												
15	455.00												
16	427.00												
17	455.00												
18	420.00												
19	470.00												
20													
21	431.00												
22	417.00												
23													
24													
25	410.00												
26													
27													
28	381.00												
29													
30	388.00												
31	318.00												
32	375.00												
33													
34	441.00												
35	300.00												
36													
37													
38	372.00												
39	351.00												
40													
41	412.00												
42													
43	348.00												
44	470.00												
45	404.00												
46	410.00												
47	436.00												
48	462.00												
49	485.00												
50	475.00												

PROFUNDIDAD EN METROS
ELEVACION EN M. S. N. M.
ELEVACION EN METROS
NIVEL DINAMICO
Q.A. 70 17 VI. 2. 1

# PIEZOMETRIA

Hoja 1 de 1

ESTADO: 1974		VALLE CHICHO-DNO PEDR-									
ZONA: 03		ZONA: 03									
OBRA Nº	COTA BROCAL en S.N.M.	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	PROFUNDIDAD	EVOLUCION
		FEB - 1974	FEB - 1977	FEB - 1977	FEB - 1977	FEB - 1977	FEB - 1977	FEB - 1977	FEB - 1977	FEB - 1977	FEB - 1977
57	459.00										
58	452.00										
59	458.00										
60	433.00										
61	429.00										
62	461.00										
63	464.00										
64	448.00										
65	457.00										
66	443.00										
67	446.00										
68	454.00										
69	456.00										
70	446.00										
71	440.00										
72											
73	437.00										
74	414.00										
75	418.00										
76	425.00										
77	454.00										
78	418.00										
79	435.00										
80	420.00										
81	618.00										
82	745.00										

PROFUNDIDAD EN METROS

ELEVACION EN M. S. N. M.

EVOLUCION EN METROS

\* NIVEL DINAMICO

CUADRO N.º VI. 2.1

ESTADO Baja CaliforniaCARACTERÍSTICAS  
DEL APUNTAMIENTOMPIO ImperialPunto No. 39g. Desc. 1CAUDAL 53.1ZONA Valle Chicoprof. 127.20San Pedro MártirCERCA No. 33.58

LOC. O PREDIO

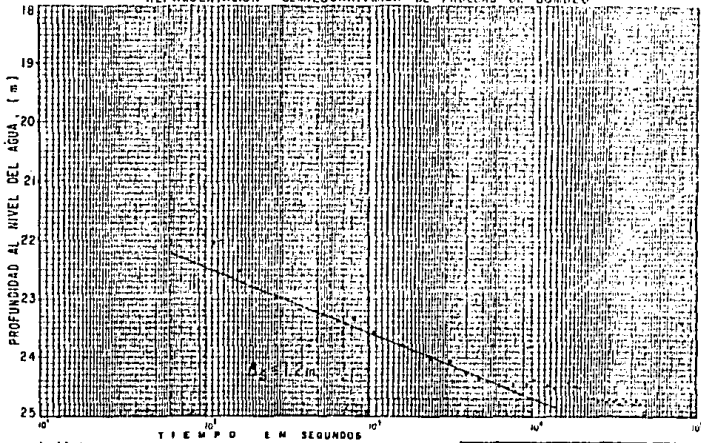
di. 6

LONG. TUB.

DE BUCC. 116FECHA: 24/ FEBRERO/1992

HORA DE LECT.	SALIDENCIA DE LA CIERRE EN MINUTOS	TIEMPO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DINÁMICO	APUNTAMIENTO
7.00		0	31.36	
		1	31.89	18.85
		2	32.03	21.06
		3	32.50	22.55
		4	33.21	23.25
		5	33.45	23.48
		6	33.43	23.27
		7	33.78	23.32
		8	33.50	23.53
		9	33.71	23.26
		10	33.25	23.33
		11	32.02	23.06
		12	32.18	23.22
		13	32.18	23.32
		14	32.50	23.53
		15	32.71	23.26
		16	32.25	23.33
		17	32.02	23.06
		18	32.18	23.22
		19	32.18	23.32
		20	32.50	23.53
		21	32.71	23.26
		22	32.25	23.33
		23	32.02	23.06
		24	32.18	23.22
		25	32.18	23.32
		26	32.50	23.53
		27	32.71	23.26
		28	32.25	23.33
		29	32.02	23.06
		30	32.18	23.22
		31	32.18	23.32
		32	32.50	23.53
		33	32.71	23.26
		34	32.25	23.33
		35	32.02	23.06
		36	32.18	23.22
		37	32.18	23.32
		38	32.50	23.53
		39	32.71	23.26
		40	32.25	23.33
		41	32.02	23.06
		42	32.18	23.22
		43	32.18	23.32
		44	32.50	23.53
		45	32.71	23.26
		46	32.25	23.33
		47	32.02	23.06
		48	32.18	23.22
		49	32.18	23.32
		50	32.50	23.53
		51	32.71	23.26
		52	32.25	23.33
		53	32.02	23.06
		54	32.18	23.22
		55	32.18	23.32
		56	32.50	23.53
		57	32.71	23.26
		58	32.25	23.33
		59	32.02	23.06
		60	32.18	23.22
		61	32.18	23.32
		62	32.50	23.53
		63	32.71	23.26
		64	32.25	23.33
		65	32.02	23.06
		66	32.18	23.22
		67	32.18	23.32
		68	32.50	23.53
		69	32.71	23.26
		70	32.25	23.33
		71	32.02	23.06
		72	32.18	23.22
		73	32.18	23.32
		74	32.50	23.53
		75	32.71	23.26
		76	32.25	23.33
		77	32.02	23.06
		78	32.18	23.22
		79	32.18	23.32
		80	32.50	23.53
		81	32.71	23.26
		82	32.25	23.33
		83	32.02	23.06
		84	32.18	23.22
		85	32.18	23.32
		86	32.50	23.53
		87	32.71	23.26
		88	32.25	23.33
		89	32.02	23.06
		90	32.18	23.22
		91	32.18	23.32
		92	32.50	23.53
		93	32.71	23.26
		94	32.25	23.33
		95	32.02	23.06
		96	32.18	23.22
		97	32.18	23.32
		98	32.50	23.53
		99	32.71	23.26
		100	32.25	23.33

## REPRESENTACION SEMILOGARITMICA DE PRUEBAS DE BOMBEO



As: 1.2 m

$$1. \frac{Q(10^3)}{4} = \frac{0.183(5)10^3}{1.85}$$

$$1. \frac{0.183(5)10^3}{1.85}$$

$$1.4 \cdot 46 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$$

NOTA: EN LA DOLERA EN CASO DE PORTAR  
LECTURAS PROYECTADAS,  $\alpha = 0.2$  ENTRENAR  
DEMAS LAS CORRIENTES.OBSERVACIONES:  $Q_0 = 183 \text{ m}^3/\text{s}$ 

\* UNIDAD DE PRES EN EL CERVO.

UNAM  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PRUEBA DE BOMBEO  
ETAPA DE ABATIMIENTO  
TESIS PROFESIONAL  
MARTHA LOZANO CASTILLO.

GRAFICA No. 01.

ESTADO Baja California

MPIO: Ensenada

ZONA Valle Chico

San Pedro Mártir

LOC. ó PREDIO

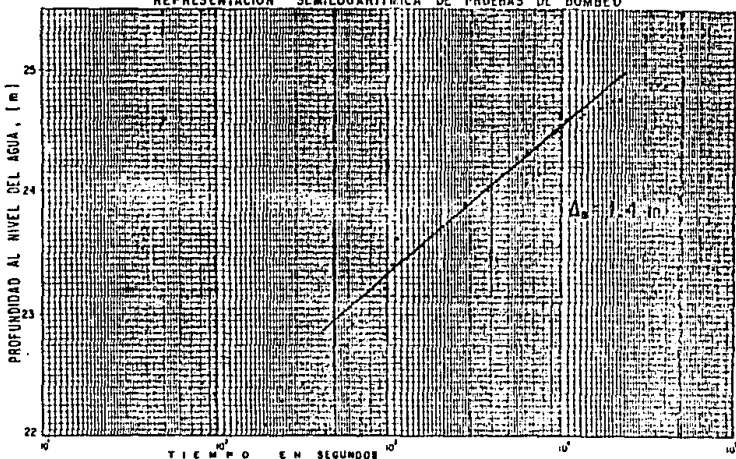
FECHA 25/ENERO/1981

CARACTERÍSTICAS  
DEL APPOVECHAMIENTO

POZ No. 25  
 Ø MESC 12 mm  
 CÁMARA 55 J l. p. s  
 ANCHO 322.20 mts  
 P. N. I. 31.38 mts  
 CENAFOS 1  
 DE 6 mts  
 LONG TUB  
 DE INCC mts

HORA DE LECT.	ALTIMETRÍA DE LAS PUNAS PROBLETA	TIEMPO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DINÁMICO	ABATIMIENTO
		0	38.70	
		15"	36.12	26.58
		1	35.57	27.13
		2	34.87	27.83
		3	34.21	28.49
		4	33.51	29.19
		5	32.79	29.91
		7	31.06	31.64
		10	30.80	31.90
		15	30.50	32.20
		20	30.32	32.38
		30	30.10	32.60
		45	29.81	32.89
		60	29.70	32.99
		75	29.57	33.13
		90	29.54	33.16
		105	29.60	33.10
		120	29.35	33.35
		150	29.25	33.45
		180	29.15	33.55
		210	29.11	33.59
		250	29.02	33.68
		270	28.94	33.76
		300	28.82	33.88
		330	28.77	33.93
		360	28.96	33.74
		420	28.90	33.80
		540	28.85	33.85
		600	28.89	33.81
		660	28.85	33.85

## REPRESENTACION SEMILOGARITMICA DE PRUEBAS DE BOMBEO



$$T_1 = \frac{0.1040}{45}$$

$$T_2 = \frac{0.182 (45) (2.310^4)}{1.4}$$

$$T_3 = 5.9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$$

NOTA: EN LA ZONA DE OLIVOS DE ENSENADA  
 SE USAN PNEUMÁTICOS Ø 12 mm  
 MEDIDA CON ESCALA

a. HORA DE PUNTA DE LA ZONA

OBSERVACIONES:

U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBA DE BOMBEO  
 ETAPA DE RECUPERACION

TESIS PROFESIONAL:  
 MARTHA LOZANO CASTILLO

MEXICO No. 122



ESTADO Baja California

MPIO Ensenada

ZONA Valle Guim

San Pedro Martir

LOC. S PIEDRO

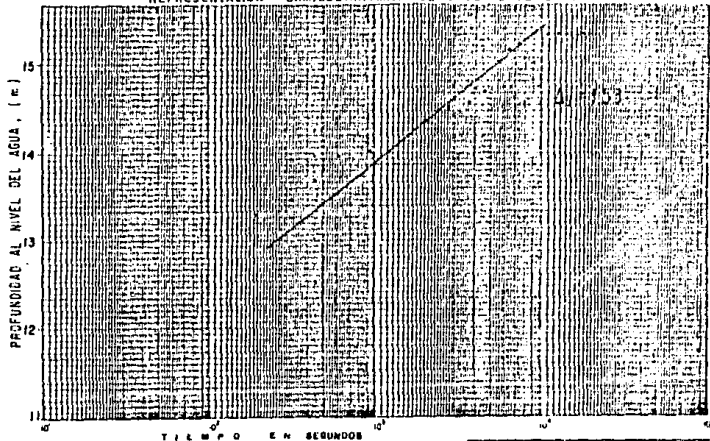
FECHA 10/MARZO/1982

CARACTERISTICAS  
DEL APPOYOCARMENTO

Pozo No. 21  
 Ø MUC. 16.0 mm  
 CAUDAL 45.0 l/s  
 PROF. 160.0 mts  
 P.M. 24.75 mts  
 CANTIDAD  
 DE  
 LITROS  
 DE SUCC.

HORA DE LECT.	MESES Y AÑOS DE LECTURA	TIEMPO EN MINUTOS	PROFUNDIDADES AL NIVEL DINAMICO	ABASTECIMIENTO
		0	29.57	11.17
		2	28.10	11.57
		4	27.00	12.24
		6	26.22	12.56
		8	25.57	13.33
		10	25.05	13.62
		12	24.58	13.85
		14	24.50	14.22
		16	24.40	14.53
		18	24.32	14.80
		20	24.22	15.08
		22	24.12	15.28
		24	24.05	15.01
		26	24.05	15.11
		28	24.01	15.16
		30	24.00	15.22
		32	24.00	15.22
		34	24.00	15.13
		36	24.00	15.13
		38	24.00	15.13
		40	24.00	15.13
		42	24.00	15.13
		44	24.00	15.13
		46	24.00	15.13
		48	24.00	15.13
		50	24.00	15.13
		52	24.00	15.13
		54	24.00	15.13
		56	24.00	15.13
		58	24.00	15.13
		60	24.00	15.13
		62	24.00	15.13
		64	24.00	15.13
		66	24.00	15.13
		68	24.00	15.13
		70	24.00	15.13
		72	24.00	15.13
		74	24.00	15.13
		76	24.00	15.13
		78	24.00	15.13
		80	24.00	15.13
		82	24.00	15.13
		84	24.00	15.13
		86	24.00	15.13
		88	24.00	15.13
		90	24.00	15.13
		92	24.00	15.13
		94	24.00	15.13
		96	24.00	15.13
		98	24.00	15.13
		100	24.00	15.13

## REPRESENTACION SEMILOGARITMICA DE PRUEBAS DE BOMBEO



1. - 0.000... 0.00000

2. - 0.000... 0.00000

3. - 0.000... 0.00000

4. - 0.000... 0.00000

5. - 0.000... 0.00000

6. - 0.000... 0.00000

7. - 0.000... 0.00000

8. - 0.000... 0.00000

9. - 0.000... 0.00000

10. - 0.000... 0.00000

11. - 0.000... 0.00000

12. - 0.000... 0.00000

13. - 0.000... 0.00000

14. - 0.000... 0.00000

15. - 0.000... 0.00000

16. - 0.000... 0.00000

17. - 0.000... 0.00000

18. - 0.000... 0.00000

19. - 0.000... 0.00000

20. - 0.000... 0.00000

21. - 0.000... 0.00000

22. - 0.000... 0.00000

23. - 0.000... 0.00000

24. - 0.000... 0.00000

25. - 0.000... 0.00000

26. - 0.000... 0.00000

27. - 0.000... 0.00000

28. - 0.000... 0.00000

29. - 0.000... 0.00000

30. - 0.000... 0.00000

OBSERVACIONES:

U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 PRUEBA DE BOMBEO  
 ETAPA DE RECUPERACION  
 TESIS PROFESIONAL  
 MARTHA LOZANO CASTILLO

NOTA: COPIA ENTREGADA EN ALFABO DE RESERVAS  
 LEGISLACION PROFESIONAL, A P.M. 8 HORAS  
 DEL DIA 20 DE ABRIL DE 1982

© DISEÑO DE BOMBEO EN EL CERVO

ANEXO AL 1.1.1.0

## CAPITULO VII

### VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### VII.1 Conclusiones

##### PRIMERA

La escasa precipitación pluvial y la elevada evaporación provocan - que el escurrimiento superficial - y la renovación de los acuíferos sean de reducida magnitud.

##### SEGUNDA

El denso fracturamiento en intrusivas, originado por tectonismo y alteración derivada de la intensa acción del intemperismo térmico, produce una alta capacidad de infiltración, induciendo el agua - infiltrada hacia la zona regional de saturación.

##### TERCERA

El valle de San Pedro Mártir es un graben relleno por depósitos no consolidados de arenas y gravas cuarzosas de permeabilidad y rendimiento elevados, con espesor de

2.4 KM.

Hidráulicamente, el acuífero se comporta como "libre" o freático, semiconfinado localmente por lentes limo-arcillosos, como en la porción norte-central del valle de San Pedro Mártir, en la laguna Saladita.

#### CUARTA

Las fuentes de recarga son: la infiltración del agua de lluvia en las sierras limitrofes, el escurrimiento superficial a lo largo de los cauces durante la temporada de lluvias y la nieve invernal que cubre las montañas más elevadas.

#### QUINTA

No existe flujo subterráneo entre Valle Chico y el valle de San Pedro Mártir, pero no hay barrera geológica entre ellos que impida la circulación de uno hacia otro bajo los efectos del bombeo.

#### SEXTA

La salinidad del agua subterránea

varía entre 400 y 700 ppm de sólidos totales disueltos, aumentando de los bordes hacia las partes bajas de los valles. La calidad del agua es apta para todo uso.

#### SEPTIMA

La recarga del acuífero es no mayor de 14 millones de  $m^3$ /año. Pero a pesar de esta pobre renovación, el acuífero reviste importancia por su considerable reserva de agua dulce almacenada a profundidades relativamente reducidas, pues contiene unos 1,905  $m^3$  de agua por cada 10 m de espesor saturado, considerando una extensión superficial de acuífero específico de --- 0.15.

#### VII.2 Recomendaciones.

##### PRIMERA

Continuar con la observación sistemática de los niveles piezométricos en los pozos existentes, con

una frecuencia semestral, así como la hidrometría de las extracciones, a fin de disponer de la información necesaria para determinar con precisión el valor del coeficiente de almacenamiento regional y la recarga anual del acuífero.

#### SEGUNDA

Incrementar la extracción de aguas subterráneas en unos 10 Mm<sup>3</sup> por años y observar el comportamiento de los niveles del agua para programar etapas subsecuentes de explotación.

#### TERCERA

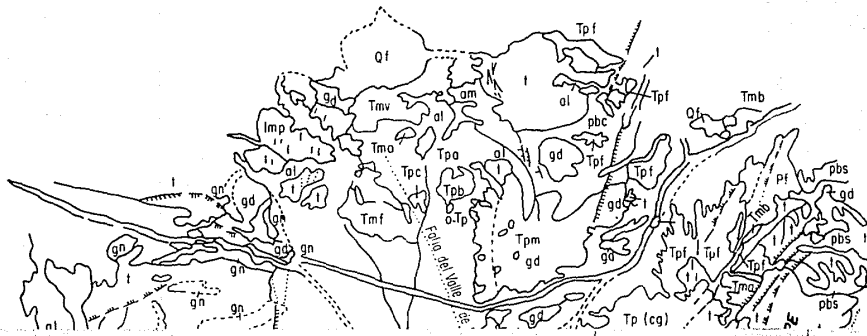
Distribuir ampliamente los nuevos aprovechamientos, descartando para ello el área de la laguna Saladita, donde predomina el relleno arcilloso y el agua de mala calidad.

## B I B L I O G R A F I A

- Allen, C. R., Silver, L. T. y Stechli, F. G., 1960, Agua Blanca Fault, a mayor transverse structure of Northern Baja California, -- México: Geol. Soc. Amer. Bull., V.71, p. 457-482.
- Allison, E.C., 1964, Geology of the areas bordering the Gulf of California, in Van Andel, T.H., and Shor, G., Eds., Marine geology of the Gulf of California: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 3, p. 3-29.
- Alvarez, M., 1966, Geología, Paleogeografía y Tectónicas de México. Apuntes.
- Beal, C. H., 1948, Reconnaissance of the geology and oil possibilities of Baja California, México: Geol. Soc. Amer. Memoir 31, 138 p.
- Bishop, C.C., 1971, Upper Cretaceous stratigraphy on the west side of -- the northern San Joaquín Counties, California: California -- Div. Mines and Geology Special Report, p. 104.
- Gastil, R.G., Krummenacher, D., Bushee, J., and Doupont, J., 1975, K-Ar -- Apparents Ages, Peninsular Range Batholith, Southern California and Baja California: Geol. Soc. of Am. Bull. V. 86, - p. 760-768.
- Gastil, R.G., Phillips, R. P. and Allison, E. C., 1975, Reconnaissance - Geology of the State of Baja California: Geol. Soc. Am. -- Men. 140.
- Hamilton, Warren, 1961, Origin of the Gulf of California: Geol. Soc. - America Bull., v. 72, No.9, p. 1307-1318.

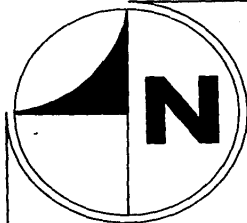
- Hamilton W., 1971, Recognition on Space Photographs of Structural Elements of Baja California, U.S. Geol. Survey Prof. Paper., No. 718, p. 5-16.
- Heney, T. L., Bischoff, J. L., 1973. Tectonic Elements of the Northern Gulf of California. Geol. Soc. Am. Bull., v. 84, p. 315-330. 14 figs.
- Krause, D. C., 1965. Tectonics, bathymetry and geomagnetism of the southern Continental Borderland west of Baja California, México: Geol. Soc. America Bull., V. 76, p. 617-649.
- LOZANO, R. F., 1975. Evaluación Petrolífera de la Península de Baja California, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos - Petroleros, vol. XXVII, nums. 4-6
- Phillips, R. P., and Gastil, R. G., 1968, Reconnaissance Bouguer gravity map of the State of Baja California, México: Trans. Amer. Geophy Union, v. 49, No. 1, p 122.

114°25'





115°30'



L E Y E N D A

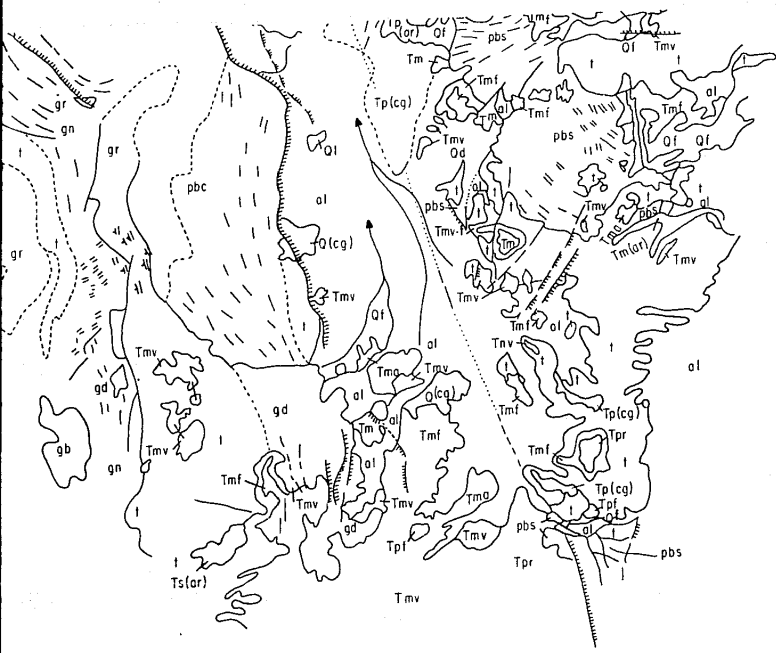
UNIDADES DE ROCA

ROCAS POST-BATOLITICAS









30°30'

115°30'

insegura

**INCLINACIONES - ESTRATIGRAFIA**

30 Medida X Observada ⊕ Horizontal

**FOLIACION**

Medida X Observada Rumbos  
Rumbo en rocas pre-batolíticas

**PLIEGUES**

Anticlinal Sinclinal

**FALLAS**

Cubierta Incierta  
Normal  
Falla de rumbo

Ranchería

Drenaje

Carretera transitable total

Carretera transitable en parte

Sendero

**UNAM**

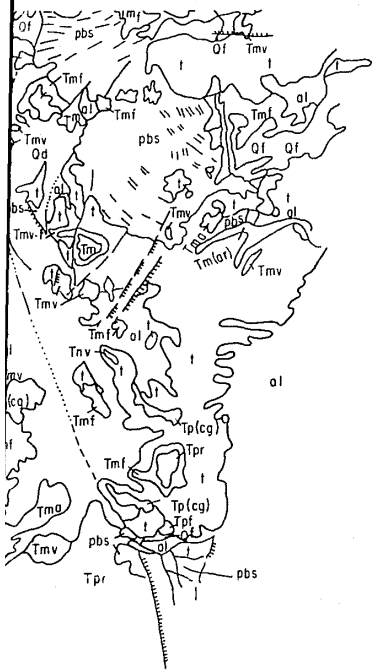
**PLANO**

TESIS PROFESIONAL:

MARTHA I.

MEXICO - 1986

ESC. I.



30°30'

115°30'

insegura

**INCLINACIONES - ESTRATIFICACION**

30 Medida X Observada ⊕ Horizontal X Vertical

**FOLIACION**

35 Medida X Observada Rumbo en rocas plutónicas  
 Rumbo en rocas pre-batolíticas

**PLIEGUES**

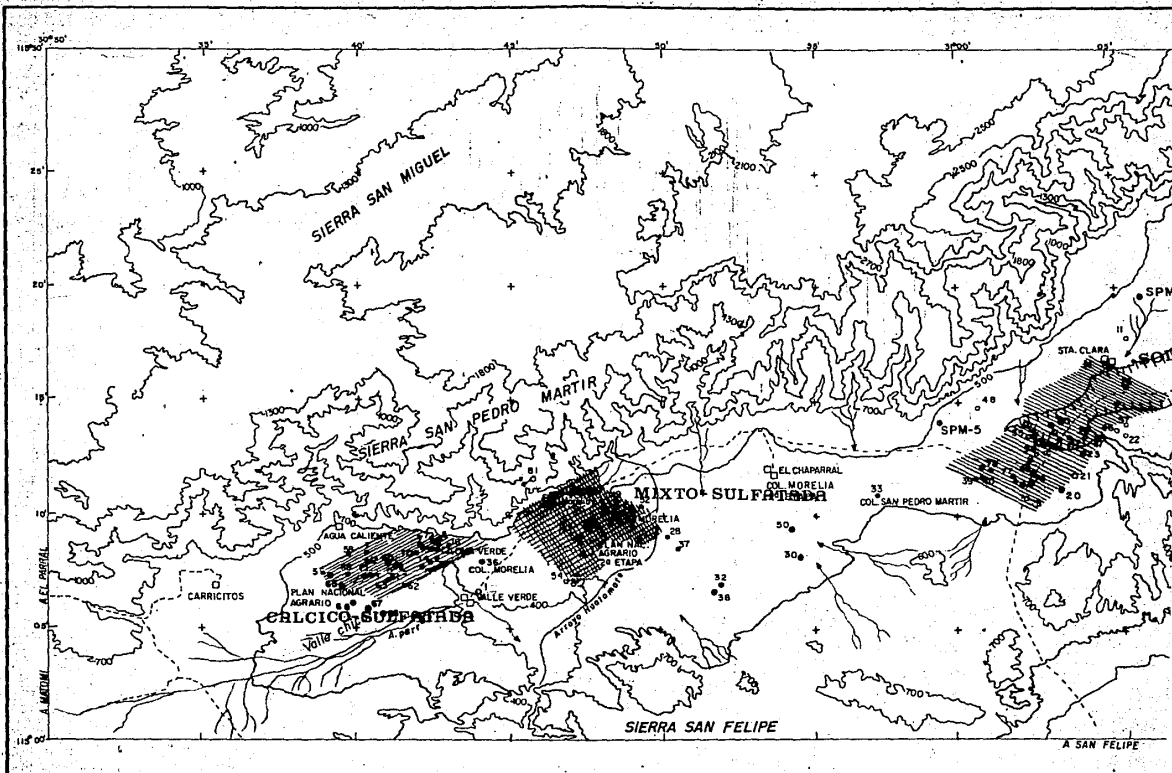
Anticlinal Sinclinal

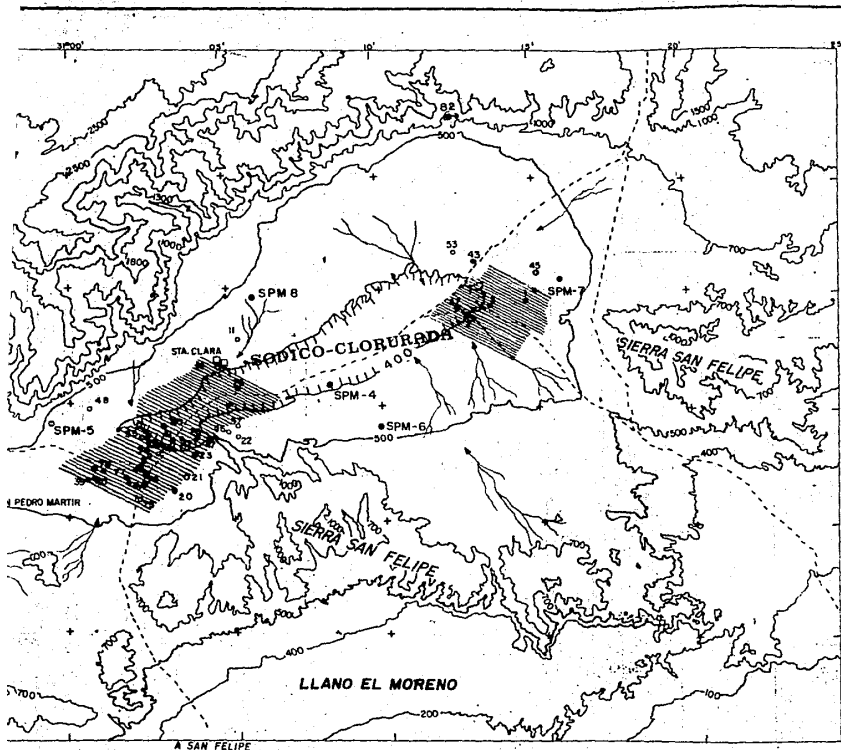
**FALLAS**

	Cubierta	Incierta	Observada
Normal	.....	--- ---	=====
Falla de rumbo	.....	-----	=====

- Ranchería
- Drenaje
- ==== Carretera transitable todo el año
- Carretera transitable en epocas de secas
- ..... Sendero

<b>UNAM</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
<b>PLANO GEOLOGICO</b>	
TESIS PROFESIONAL: <b>MARTHA LOZANO CASTILLO</b>	
MEXICO - 1986	ESC. 1: 250,000
PLANO N° IV.3	





SIMBOLOBIA

CARRETERA \_\_\_\_\_

BRECHA \_\_\_\_\_

VEREDA \_\_\_\_\_

POBLADO \_\_\_\_\_ ○○

CURVA DE NIVEL \_\_\_\_\_ 200

ARROYO \_\_\_\_\_

DEPRESION TOPOGRAFICA \_\_\_\_\_

POZO \_\_\_\_\_ •

NORIA \_\_\_\_\_ ○

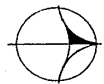
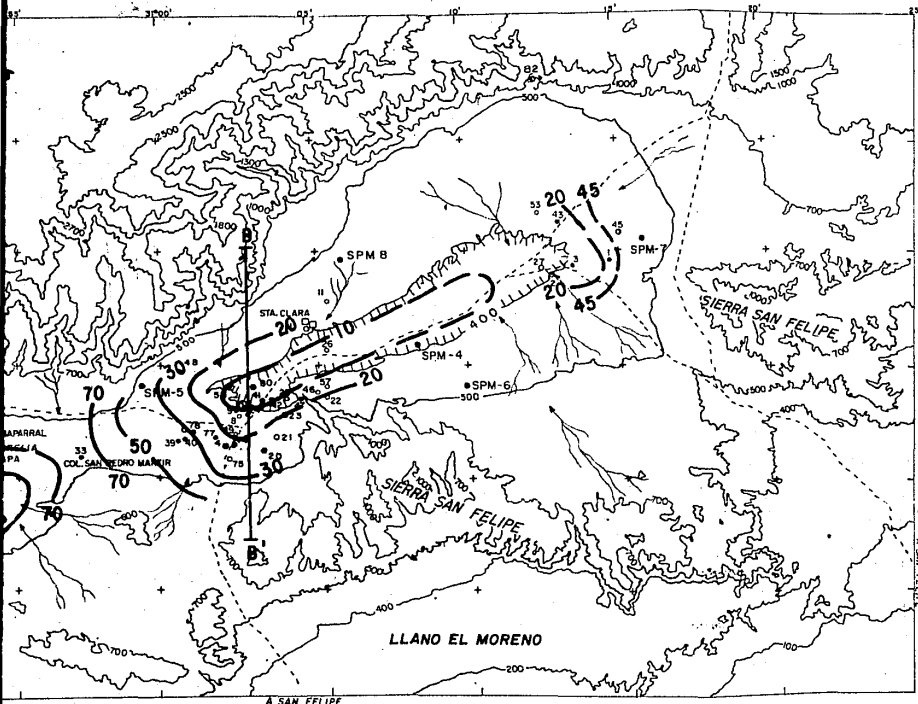
MANANTIAL \_\_\_\_\_ ⊙

ESCALA 1 : 100 000  
 ESCALA GRAFICA

<b>UNAM</b>	FACULTAD DE INGENIERIA
	ZONA DE ESTUDIO VALLE CHICO-SAN PEDRO MARTIR, B. C. N.
	FAMILIAS DE AGUA
TESIS PROFESIONAL	
MARTHA LOZANO CASTILLO	
	PLANO N°







**S I M B O L O G I A**

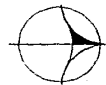
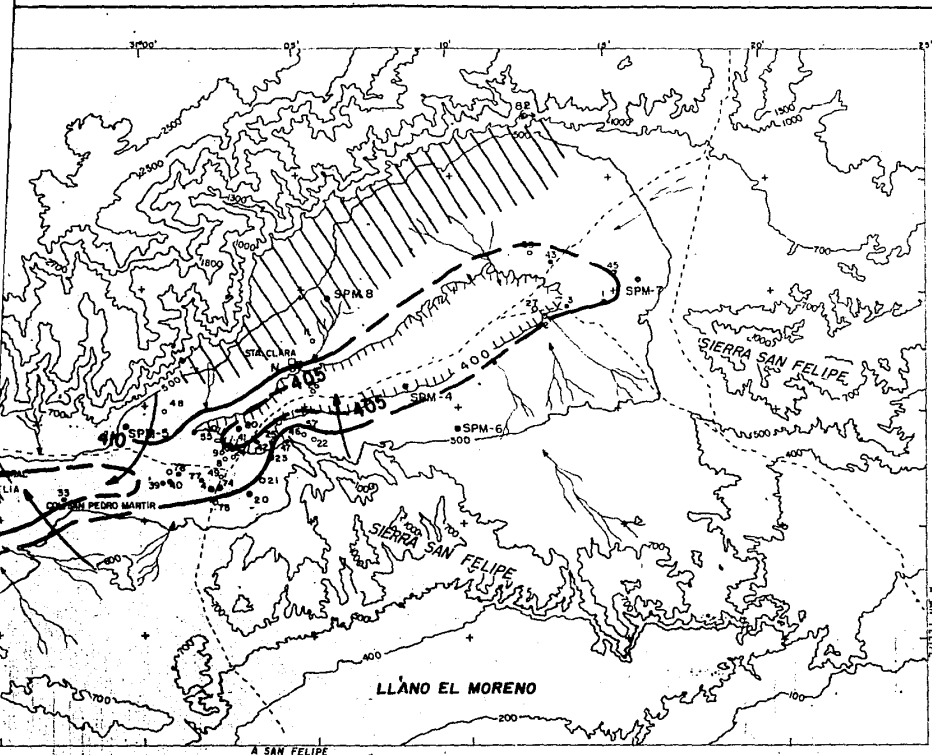
- CARRETERA
- BRECHA
- VEREDA
- POBLADO
- CURVA DE NIVEL
- ARROTO
- DEPRESION TOPOGRAFICA
- SECCION PIEZOMETRICA
- POZO
- NORIA
- MANANTIAL
- CURVA DE IGUAL PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO



<b>UNAM</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	PROF.  ESTATICO (1982)
TESIS PROFESIONAL	
MARTHA LOZANO CASTILLO	
ESC: 1 100,000	MEXICO, 1986 PLANO N°

A SAN FELIPE

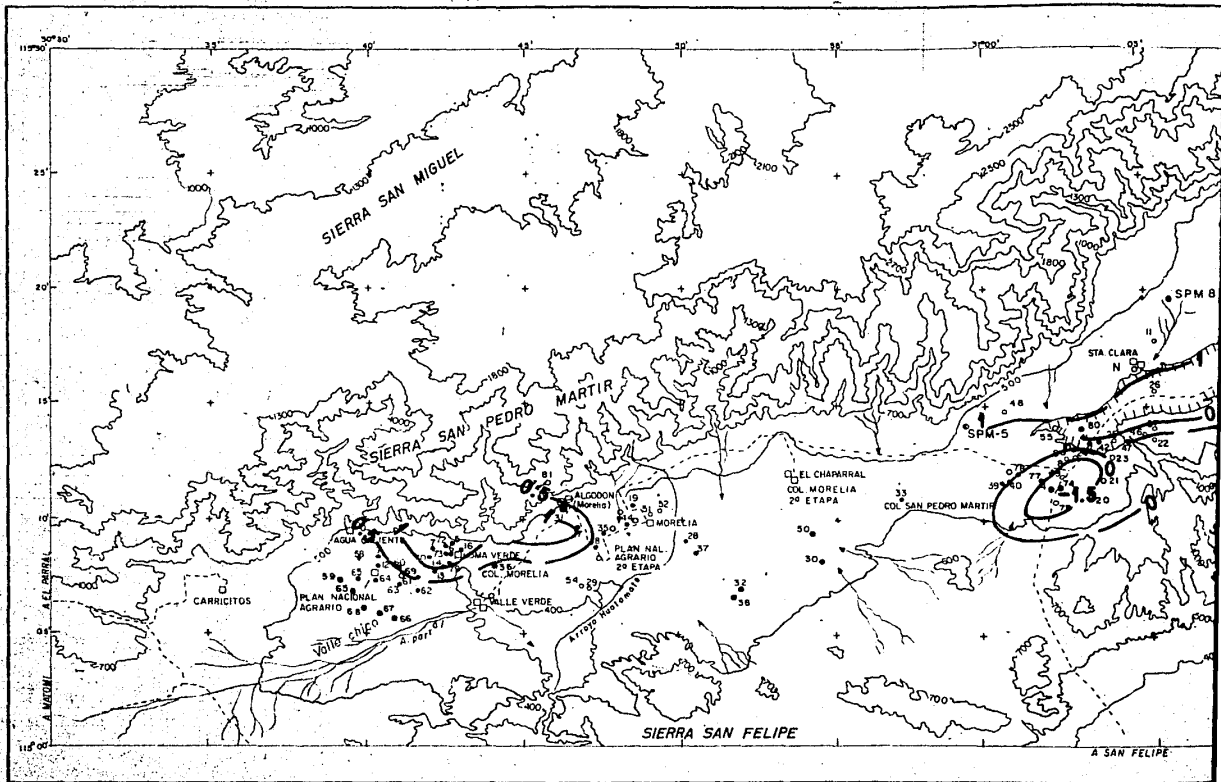


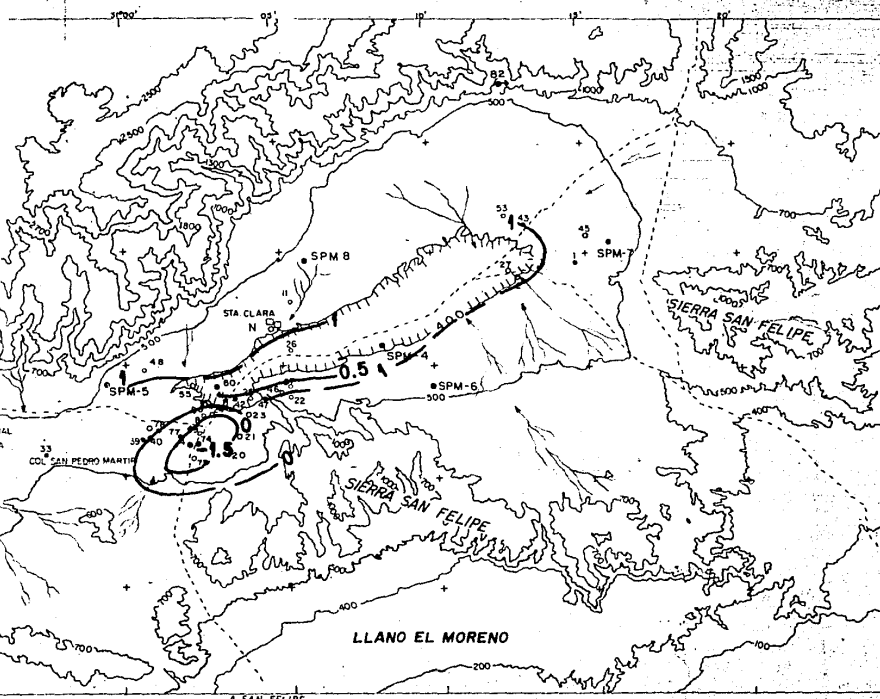


S I M B O L O G I A

- CARRERA
  - BRECHA
  - VEREDA
  - POBLADO
  - CURVA DE NIVEL
  - ARRUDO
  - DEPRESION TOPOGRAFICA
  - POZO
  - NORIA
  - MARANTIAL
  - CURVA DE IGUAL ELEVACION DEL NIVEL ESTADICO
- ESCALA 1 : 100 000
- ESCALA GRAFICA
- AREA DE CAPTACION PROPUESTA

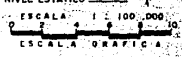
<b>UNAM</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
ELEVACION DEL NIVEL ESTADICO	
(1982)	
TESIS PROFESIONAL	
MARTHA LOZANO CASTILLO	
ESC. 1 100,000	MEXICO, 1986 PLANO N°





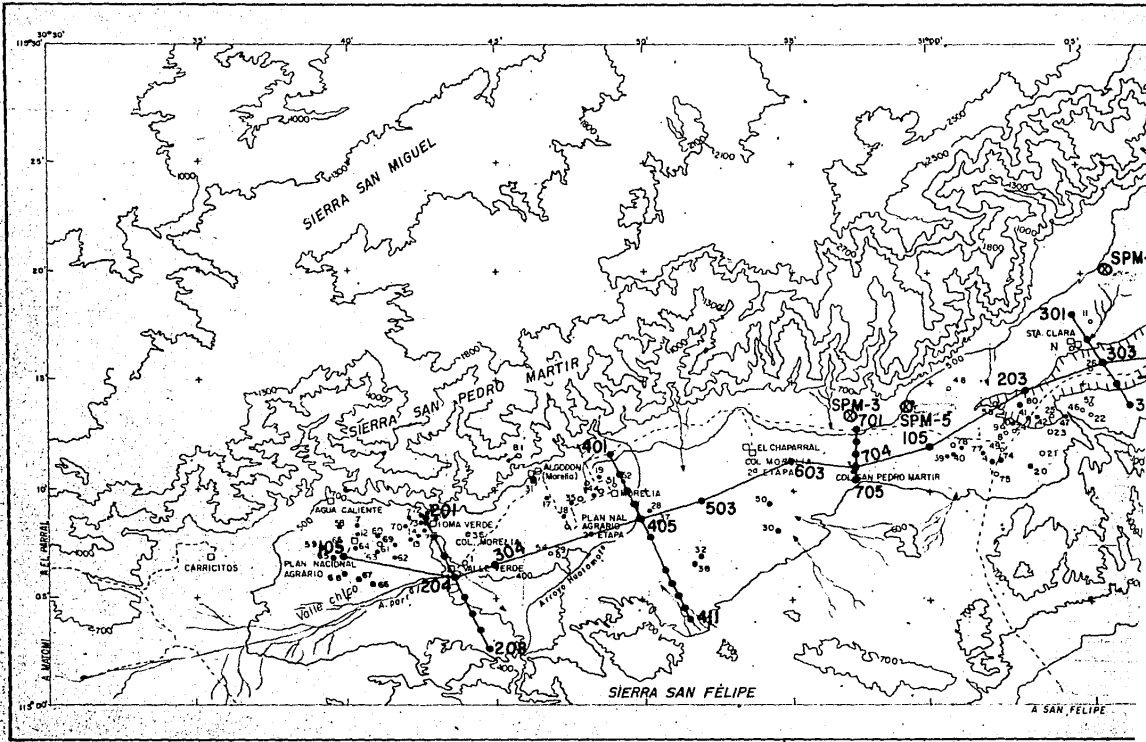
**S I M B O L O S I A**

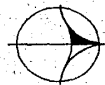
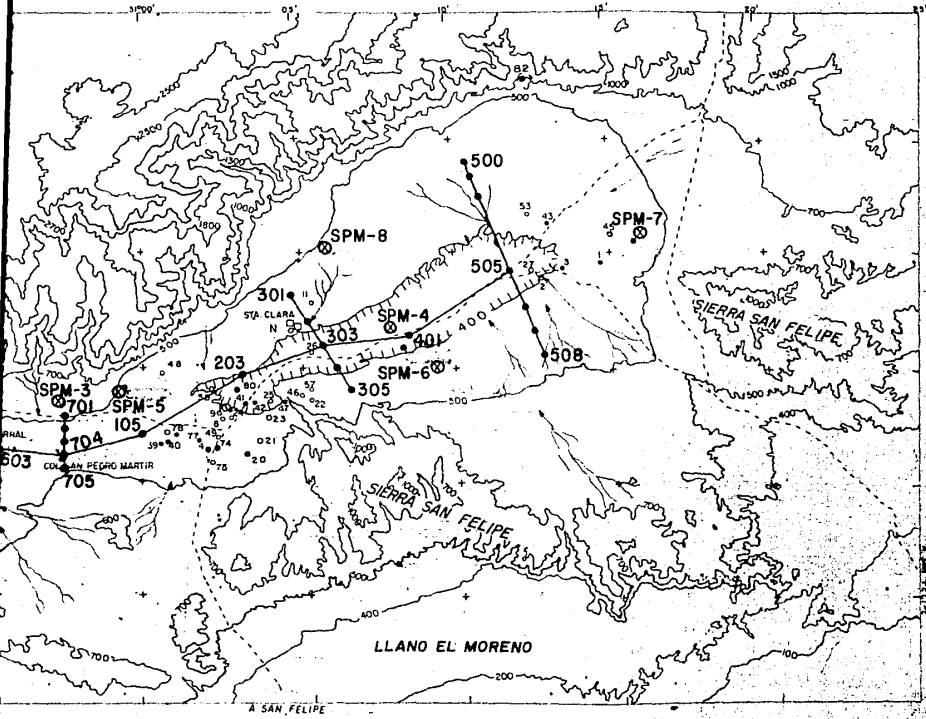
- CARRERA \_\_\_\_\_
- BRECHA \_\_\_\_\_
- VEREDA \_\_\_\_\_
- POBLADO \_\_\_\_\_
- CURVA DE NIVEL \_\_\_\_\_
- ARROYO \_\_\_\_\_
- DEPRESION TOPOGRAFICA \_\_\_\_\_
- POZO \_\_\_\_\_
- NORIA \_\_\_\_\_
- MANANTIAL \_\_\_\_\_
- CURVA DE IGUAL EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO \_\_\_\_\_



A SAN FELIPE

<b>UNAM</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO (1980-1982)
TESIS PROFESIONAL: MARTHA LOZANO CASTILLO	
ESC: 1:100,000	MEXICO, 1986 PLANO N°





S I M B O L O G I A

- CARRETERA \_\_\_\_\_
- BRECHA \_\_\_\_\_
- VEREDA \_\_\_\_\_
- POBLADO \_\_\_\_\_
- CURVA DE NIVEL \_\_\_\_\_
- ARROYO \_\_\_\_\_
- DEPRESION TOPOGRAFICA \_\_\_\_\_
- POZO \_\_\_\_\_
- MORIA \_\_\_\_\_
- MANANTIAL \_\_\_\_\_
- POZO NUEVO \_\_\_\_\_
- SECCION GEOFISICA \_\_\_\_\_



<b>UNAM</b>	FACULTAD DE INGENIERIA	
	SECCIONES GEOFISICAS	
TESIS PROFESIONAL MARTHA LOZANO CASTILLO		
ESC: 1:100,000	MEXICO, 1986	PLANO N°

A SAN FELIPE

VII