

12
2/8/85



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" HIDROGEOLOGIA DEL VALLE DE VIZCAINO, B.C.S. "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

Rosalba Esther Morales Pérez



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	PAGINA
RESUMEN.	
I. INTRODUCCION	
I.1. Antecedentes	1
I.2. Objetivos	3
I.3. Método de trabajo	4
II. MARCO GEOGRAFICO	
II.1. Localización y vías de comunicación	6
II.2. Población, economía y cultura	7
II.3. Climatología y vegetación	7
III. MARCO GEOLOGICO	
III.1. Fisiografía e hidrografía	11
III.2. Estratigrafía	13
III.3. Geología histórica	22
III.4. Tectónica	25
III.5. Unidades hidrogeológicas	28
IV. MARCO HIDROGEOLOGICO	
IV.1. Exploración geofísica y perforaciones	31
IV.2. Inventario de aprovechamientos	33
IV.3. Características físico-químicas del agua subterránea.	35
IV.4. Análisis piezométrico	41
IV.5. Características hidrodinámicas del acuífero	46
IV.6. Hipótesis del modelo conceptual de funcionamiento del sistema	47
IV.7. Balance de aguas subterráneas	49
IV.8. Consideraciones sobre la disponibilidad del recurso hídrico	54

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones 57

Recomendaciones 59

REFERENCIAS CITADAS

BIBLIOGRAFIA

R E S U M E N

El Valle de Vizcaíno está situado en la porción noroccidental del Estado de Baja California Sur y ocupa una superficie de 5,600 km². Las condiciones climáticas que prevalecen son típicas de regiones áridas y semi-áridas, caracterizadas por un clima extremoso (temperaturas extremas anuales entre 0° y 40°C), alta evaporación potencial (2,031.4mm) y baja precipitación media anual (128.28mm), no obstante la presencia de lluvias extraordinarias tiene gran importancia en la recarga de los acuíferos.

Según Raisz (1964) el área de estudio pertenece a la Provincia Fisiográfica de las Sierras de Baja California.

Hidrologicamente, la cuenca de Vizcaíno queda comprendida dentro de la Región Hidrológica No. 2 de la SARH, que pertenece a la vertiente occidental conectada al Océano Pacífico. La principal corriente superficial es el Arroyo San Pablo que conduce caudales considerables en época de lluvias.

La columna estratigráfica para el área de influencia en el sistema acuífero, está representada por rocas que van del Cretácico al Reciente.

Estructuralmente, el Valle de Vizcaíno forma parte de la cuenca del mismo nombre, la cual fue rellenada por sedimentos de origen sedimentario y volcánico, en el marco de una interacción de placas tectónicas iniciada en el Terciario.

El acuífero que se encuentra actualmente en explotación es de tipo granular, constituido por gravas, arenas, arcillas y limos, que en el centro del valle son de origen marino (probablemente de la Formación Almejas del Plioceno) y por sedimentos de edad Reciente. Aguas arriba del Arroyo San Pablo, además de sedimentos granulares del Reciente, se detectaron algunos depósitos de reducido espesor de origen volcánico como tobas y basaltos. El espesor promedio del acuífero es de 50 m aproximadamente.

Se considera que la recarga total que recibe el sistema proviene de : a) infiltración en el cauce del Arroyo San Pablo, que actúa como dren importante y que se ha clasificado como unidad altamente permeable, b) infiltración de corrientes superficiales que se originan en las partes topográficamente altas al este del valle, en lo que se ha denominado unidad hidrogeológica permeable , y c) precipitación directamente en el valle y por retornos de riego en la unidad hidrogeológica semipermeable.

Las salidas del sistema en todo el valle, tienen

lugar por: a) bombeo en los centros de explotación para uso agrícola y en menor proporción para uso potable e industrial y b) por flujo horizontal y que van a dar seguramente hacia la Laguna Ojo de Liebre.

Debido a que únicamente se contó con datos confiables para las áreas de Gustavo Díaz Ordaz y Pequeños Propietarios (centro), se efectuó un balance de agua subterránea para cada una de ellas en el período de noviembre de 1982 - diciembre de 1983.

El valor asignado al coeficiente de almacenamiento es de 0.062, el correspondiente a la transmisividad es de $19.22 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y el gradiente promedio para la zona es de 1.31 al millar.

Con los resultados de los balances efectuados se estima que el subsistema de Gustavo Díaz Ordaz recibe una recarga total de 11.20 millones de m^3 al año y existe un volumen almacenado de 93 millones de m^3 . Por lo que toca al subsistema de Pequeños Propietarios (centro) el volumen total de recarga es de 19.60 millones de m^3 al año, una descarga con valor de 18.84 millones de m^3 al año y cuenta con un volumen almacenado de 322.4 millones de m^3 .

No obstante los resultados antes mencionados la

mayor limitante para que no aumente el volumen de extracción en el valle, es la calidad del agua, pues las concentraciones de sólidos totales disueltos se han duplicado para el período de 1974 a 1982.

I. INTRODUCCION

I.1. Antecedentes

No obstante los enormes recursos naturales con que cuenta la Península de Baja California, el aprovechamiento de los mismos se ha visto limitado por la escasez de agua. La ausencia casi total de corrientes superficiales, hace que la explotación de las aguas subterráneas tenga una importancia relevante.

En el caso del Valle de Vizcaíno, la explotación de las aguas subterráneas se inició hace más de quince años, aunque no es hasta el año de 1970, cuando la Dirección de Pequeña Irrigación, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), en una primera etapa perforó 28 pozos profundos localizados en las márgenes del Arroyo San Pablo, con el fin de beneficiar 2,000 has aguas abajo del mismo. A partir de esa fecha se inicia el registro piezométrico, muestreo de agua para análisis físico-químicos, registros eléctricos y de cortes litológicos, aunque en forma irregular.

Con los resultados obtenidos por las perforaciones, la entonces Dirección de Aguas Subterráneas, SRH, llevó a cabo el primer estudio geohidrológico del área. Entre otras recomendaciones, se proponía la creación de nuevas áreas de

explotación al noroeste y sureste de la zona inicial de estudio. Así, surgieron los Nuevos Centros de Población Ejidal (NCPE), Benito Juárez y Emiliano Zapata, y el de Guerrero Negro.

En el año de 1974, La Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas, SRH, llevó a cabo el "Estudio Geohidrológico del Valle de Vizcaíno, Territorio de Baja California Sur", (1) el cual tuvo como objetivos los siguientes: conocer el funcionamiento hidráulico del acuífero; definir sus condiciones de explotación, y determinar el volumen aprovechable en las nuevas áreas de explotación.

Actualmente, se tiene conocimiento de la existencia de nuevos centros de población, no sólo en el área que constituye el Valle de Vizcaíno, sino en la zona costera que se extiende desde Punta Eugenia hasta Punta Abreojos, al oeste del área de estudio.

En 1983, la Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, SARH, contempló dentro del Plan Nacional Hidráulico de Baja California Sur, la construcción de un acueducto para el suministro de agua en bloque a la porción costera del Pacífico Norte, por tratarse de una zona pesquera muy rica. Con esta obra se pretende beneficiar a 7,200 habitantes distribuidos en cuatro localidades principalmente: Bahía de

Tortugas, Bahía Asunción, La Bocana y Punta Abreojos.

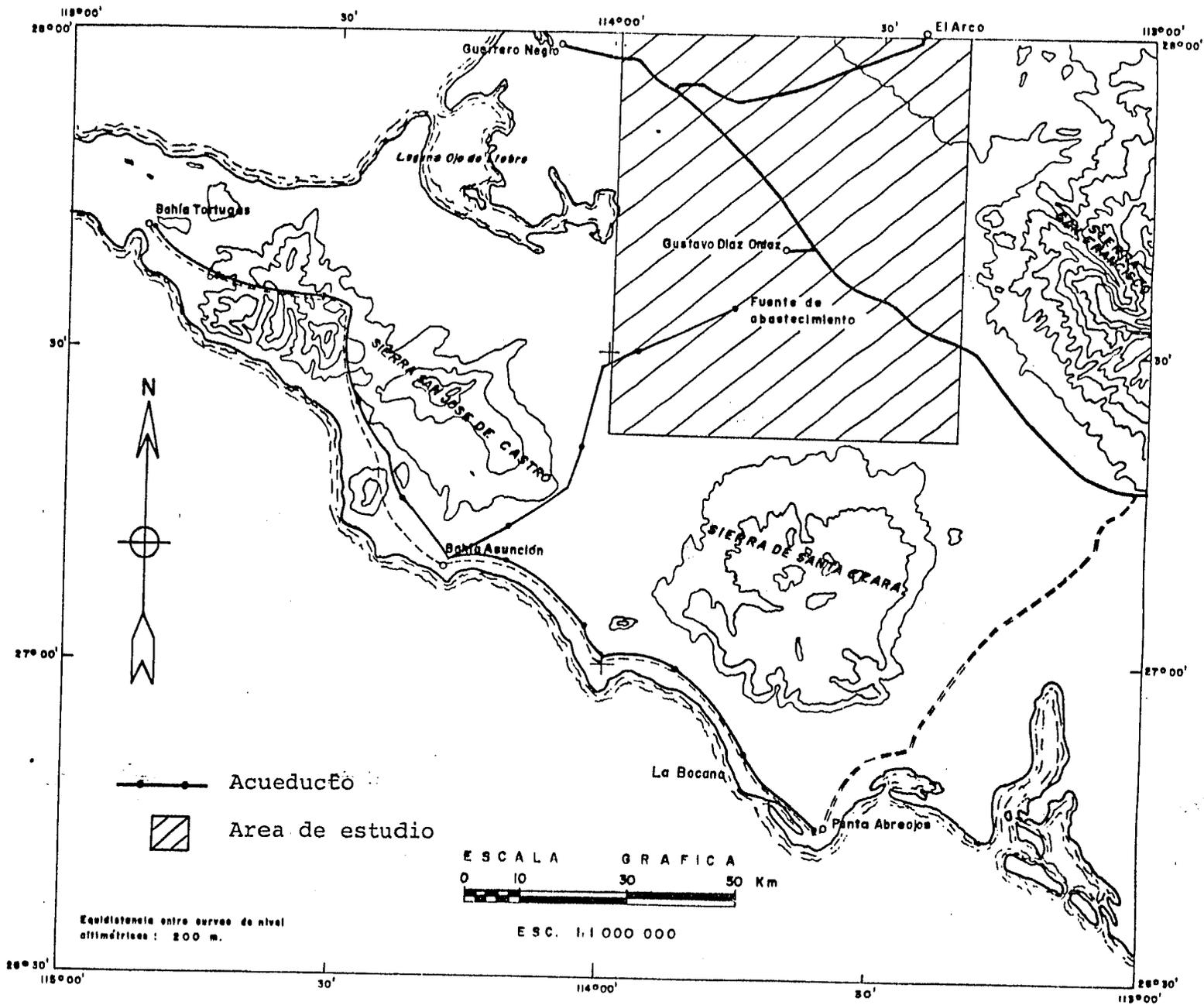
El proyecto contempla una longitud total del acueducto de 298 km con los siguientes tramos: Fuente de captación-Bahía Asunción, Bahía Asunción-Bahía de Tortugas y Bahía Asunción-La Bocana-Punta Abreojos. Se consideró que lo más viable era localizar la fuente de captación en el Valle de Vizcaíno. Fig. I.1.1.

Desafortunadamente, en los últimos años ha proliferado la perforación de nuevas captaciones por pequeños propietarios para uso agrícola. A este respecto, hay que hacer notar que aunque el país requiere de ser autosuficiente en este aspecto, en zonas áridas como Baja California, donde el recurso hidráulico subterráneo es escaso NO DEBEN INCREMENTARSE NUEVAS AREAS DE CULTIVO, por el contrario, es urgente promover el uso adecuado del agua subterránea, satisfacer los requerimientos de agua potable y dar impulso a desarrollos industriales, turísticos y pesqueros, que requieren de volúmenes de agua mucho más reducidos.

I.2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- 1) Describir el origen del marco geológico del acuífero



PROYECTO DE ACUEDUCTO

Fig. I.1.1.

del Valle de Vizcaíno;

- 2) Plantear las hipótesis sobre el funcionamiento del sistema y la cuantificación del volumen disponible en la actualidad, y
- 3) Con los resultados obtenidos, hacer las consideraciones pertinentes sobre el volumen disponible en los subsistemas evaluados.

I.3. Método de trabajo

Para cubrir los objetivos planteados, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- 1) Recopilación y depuración de la información existente del área de estudio: geográfica, geológica, hidrológica, así como toda aquella que se consideró de utilidad;
- 2) Reconocimientos hidrogeológicos en base a 13 cartas topográficas escala 1: 50 000 y provisionales escala 1: 250 000, con el fin de conocer las características de permeabilidad de las unidades de roca y suelo, y de esa manera determinar el marco hidrogeológico que rige el movimiento del agua subterránea;
- 3) Análisis de la información climatológica, geológica,

geofísica, piezométrica y registros de análisis físico-químicos de muestras de agua, con el fin de identificar el origen de las fuentes de recarga y descarga del sistema acuífero, y la localización de áreas correspondientes; así como la calidad y distribución espacial del agua subterránea en el área de estudio;

- 4) Análisis de las hipótesis del funcionamiento del sistema para establecer el modelo conceptual respectivo;
- 5) Solución de las ecuaciones de balance de aguas subterráneas, y
- 6) Análisis de los resultados obtenidos.

La transferencia de datos de campo para efectuar las configuraciones que aparecen en el texto, se elaboraron en planos a escala 1: 50 000 y 1: 100 000.

II. MARCO GEOGRAFICO

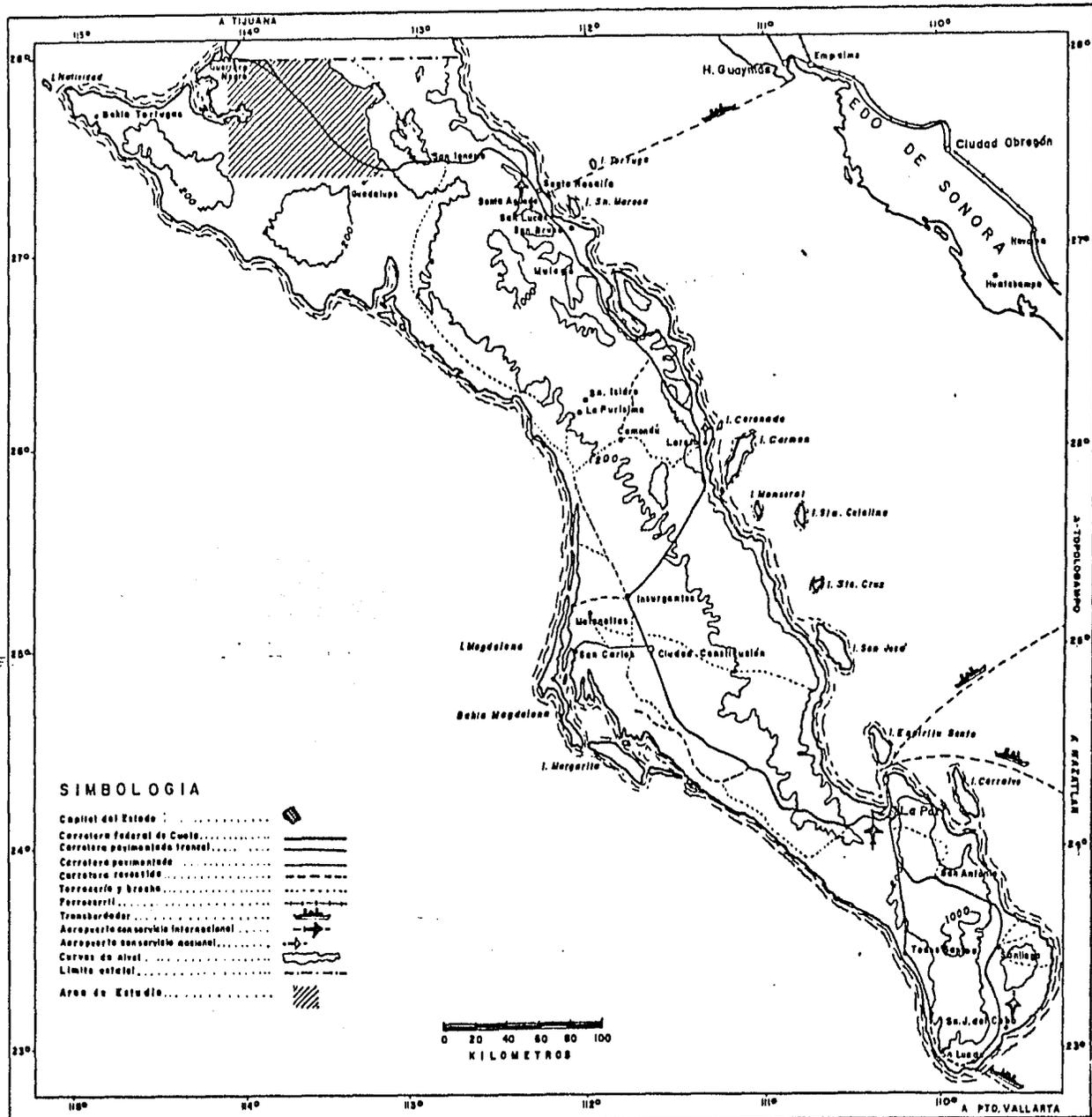
II.1. Localización y vías de comunicación

El área de estudio se localiza en la porción noroccidental del Estado de Baja California Sur. Sus coordenadas geográficas corresponden del meridiano 113° 15' 00" al 114° 00' 00" de longitud oeste y del paralelo 27° 15' 00" al 28° 00' 00" de latitud norte. Ocupa una superficie aproximada de 5,600 km².

Al norte queda limitada por el Estado de Baja California, al sur por la Sierra de Santa Clara, al este por la Sierra de San Francisco y al oeste por la Sierra de San José de Castro y la Laguna Ojo de Liebre. Fig. II.1.1.

Por vía terrestre, queda comunicada por la Carretera Federal No. 1, o Carretera Transpeninsular, de donde se desprenden ramales que comunican con los centros de población Gustavo Díaz Ordaz, Emiliano Zapata, Benito Juárez, Laguneros, Guillermo Prieto, Pequeños Propietarios y Guerrero Negro. Existe un pequeño aeropuerto local en Guerrero Negro.

La zona de estudio se encuentra aproximadamente a 750 km al noroeste de la Ciudad de La Paz, B.C.S.



LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

II.2. Población, economía y cultura

El Valle de Vizcaíno pertenece al Municipio de Mulegé, y hasta el año de 1984 (2) contaba con un total de 5,640 habitantes, distribuidos de la siguiente manera: Gustavo Díaz Ordaz, 3,890; Emiliano Zapata, 660; Pequeños Propietarios, 620; Benito Juárez, 300; Guillermo Prieto, 90 y Laguneros, 80.

La población se dedica a la agricultura, especialmente al cultivo de trigo, garbanzo, sorgo, algodón, vid, higuera, chile, alfalfa, cítricos (naranja y limón) y otros como cártamo, tomate, maíz, frijol y sandía.

Los habitantes cuentan con servicios de energía eléctrica, teléfono, telégrafo y agua.

En el valle existen cuatro Jardines de Niños, 13 Escuelas Primarias, dos Escuelas Secundarias y una Escuela Preparatoria.

II.3. Climatología y vegetación

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por E. García (1964), en el área de estudio prevalecen condiciones climáticas características de zo-

nas desérticas y semidesérticas. El clima está clasificado como BWs (e) con invierno fresco, temperatura media entre 18 y 22°C, y la del mes más frío menor de 18°C. La temperatura mínima extrema anual es de 0°C y la máxima extrema anual de 44°C (3).

Un factor muy importante que influye en la temperatura en el área, es la presencia de una corriente fría del noroeste que corre a lo largo de la Península de Baja California por la costa del Océano Pacífico y que viene desde California, EE.UU. hasta encontrarse con la corriente contraecuatorial. Debido a la existencia de la corriente fría, se crea una inversión térmica, lo que significa que al ascender topográficamente, la temperatura aumenta en lugar de disminuir. Por otra parte, ocasiona que la época más cálida se retrase a los meses de junio, julio, agosto y en ocasiones, septiembre, lo que contribuye a aumentar la aridez en la zona de estudio. (4).

Respecto a la precipitación, se analizaron los datos correspondientes a un período de 21 años (1963-1983), registrados en 12 estaciones climatológicas de la SARH distribuidas en la cuenca. Fig. II.3.1.

En la Fig. II.3.2. se presenta el Hietograma Anual para el período considerado, en el que se obtuvo una precipitación media anual de 128.28 mm, valor que se ve in-

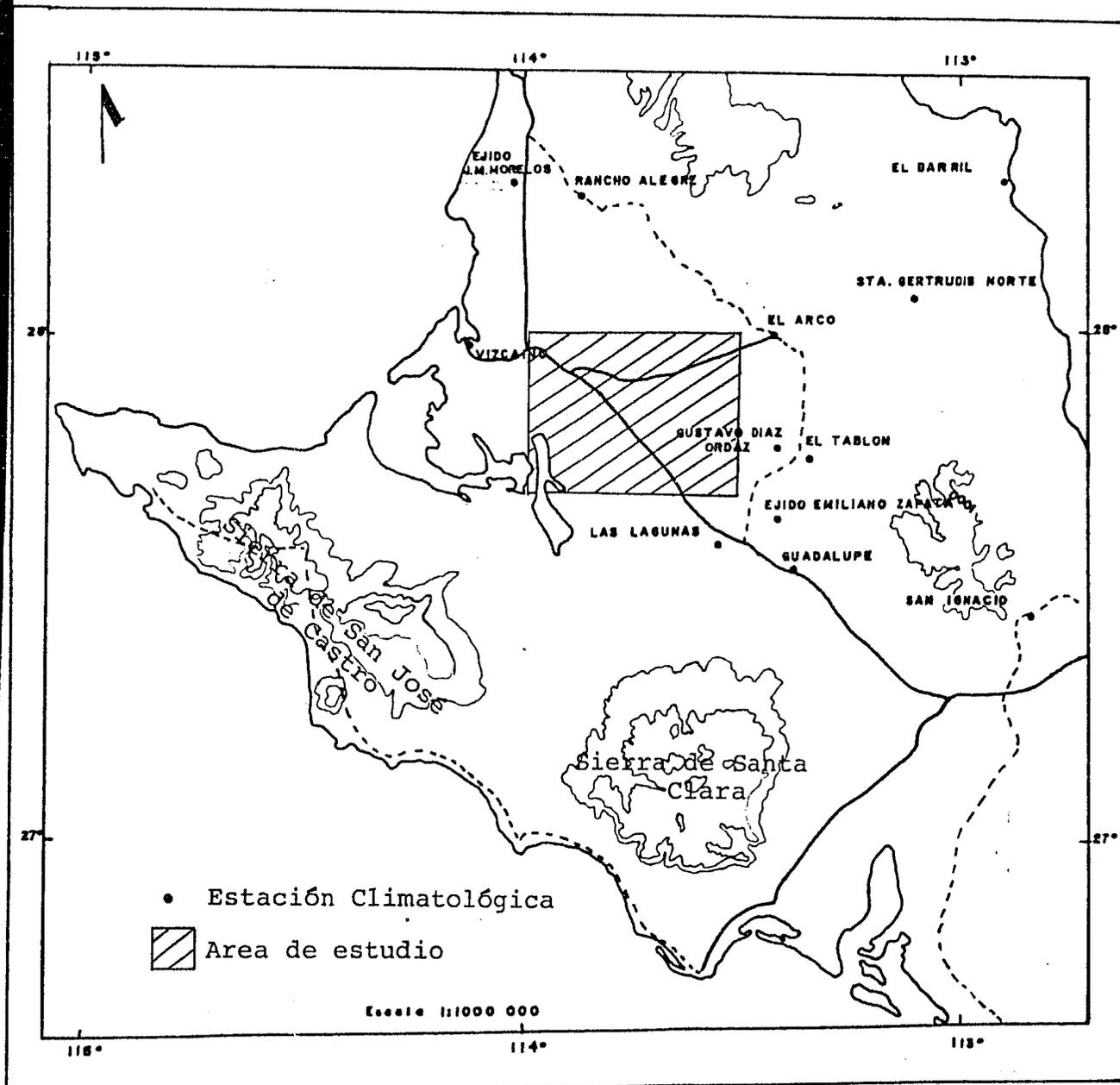
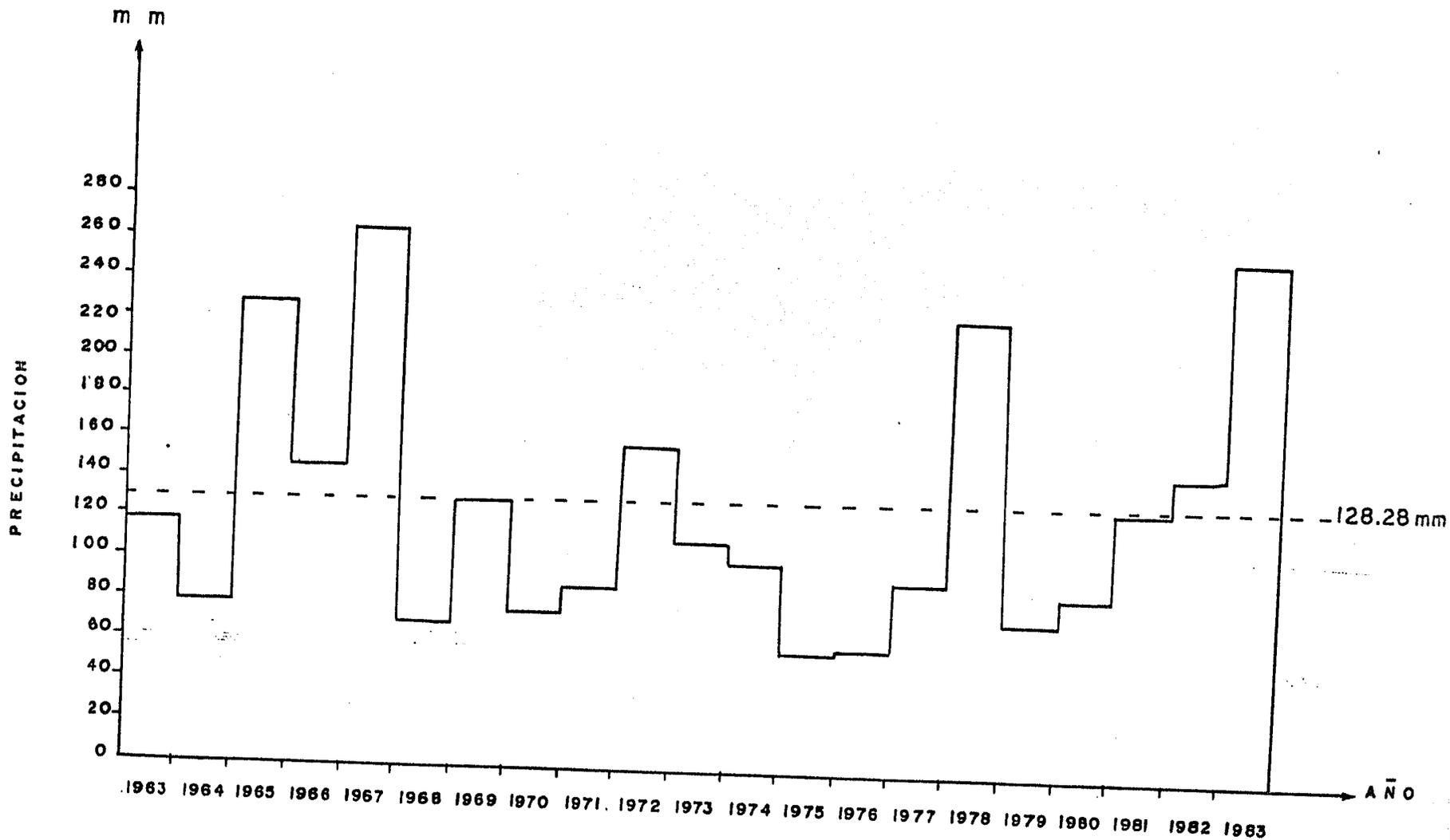


Fig. II.3.1

ESTACIONES CLIMATOLOGICAS



HIETOGRAMA ANUAL
1963-1983

fluído por las lluvias extraordinarias durante los años 1965, 1967, 1978 y 1983.

Por el Método de Polígonos de Thiessen, se evaluó la precipitación media anual para la cuenca y los resultados aparecen en la Tabla II.3.1.

Se puede observar que en las estaciones ubicadas a más de 100 msnm, como El Arco, Santa Gertrudis Norte y Rancho Alegre, la precipitación promedio anual es de 215.6 mm mientras que en las estaciones ubicadas a menos de 100 msnm, la precipitación media anual es del orden de 87.10 mm.

Del Hietograma Mensual, que se muestra en la Fig. II.3.3 se concluye que existen dos períodos de lluvias: uno en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, en donde se concentra el 50% de la precipitación anual total. El otro período se presenta en los meses de diciembre, enero y febrero, en donde se concentra un 37% del volumen total. La precipitación media mensual es de 10.13 mm.

No obstante los resultados obtenidos en esta sección, debe tenerse en cuenta que existe una evaporación potencial de 2,031.4 mm al año, según los registros climatológicos de la SARH.

CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL

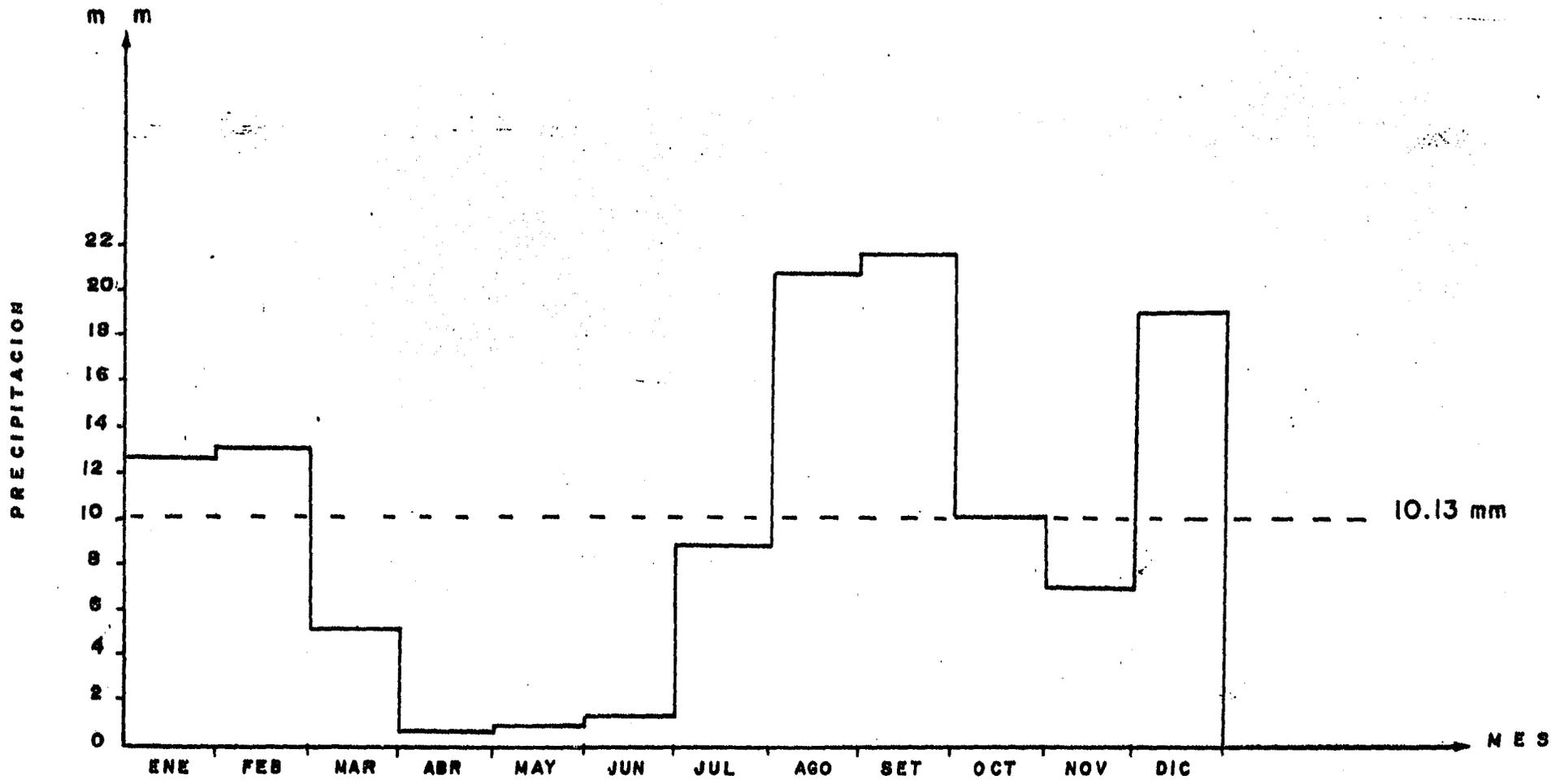
CUENCA DE VIZCAINO

(1963 - 1983)

ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)	PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL (mm)	AREA DE INFLUENCIA (km ²)	PORCIENTO DEL AREA TOTAL	PRECIP. CORRESP. (mm)
Ejido Emiliano Zapata	27°38'30"	113°25'15"	60	94.01	110	0.74	0.69
Ejido José Ma. Morelos	28°18'00"	114°01'33"	—	89.16	400	2.69	2.39
El Arco	28°00'00"	113°25'35"	300	113.08	1100	7.40	8.37
El Barril	28°18'09"	112°52'42"	32	81.18	2650	17.84	14.48
El Tablón	27°45'27"	113°20'20"	80	117.53	500	3.36	3.95
Guadalupe	27°32'30"	113°23'08"	35	72.77	800	5.38	3.92
Gustavo Díaz Ordaz	27°47'00"	113°25'15"	70	94.36	500	3.36	3.17
Las Lagunas	27°35'29"	113°33'28"	40	59.52	2000	13.45	8.00
Rancho Alegre	28°16'43"	113°52'25"	120	162.37	1300	8.75	14.21
San Ignacio	27°25'40"	112°50'18"	—	89.86	400	2.70	2.43
Sta. Gertrudis Norte	28°04'24"	113°06'12"	400	371.40	2500	16.82	62.47
Vizcaino	27°59'01"	114°07'57"	30	85.26	2600	17.51	14.93
					<u>14,860</u>	<u>100%</u>	<u>139.01</u>

Precipitación Media Anual = 139.01 mm

Tabla II.3.1.



HIETOGRAMA MENSUAL
1963 - 1983

En cuanto a la vegetación, el matorral sarcófi-
lo se encuentra distribuido uniformemente en el Valle de Viz-
caíno. Las principales especies están representadas por
Chamizo, Atriplex anibrusia y choyas Opuntia, que constituyen
un 90% de la composición botánica. (5).

III. MARCO GEOLOGICO

III.1. Fisiografía e hidrografía

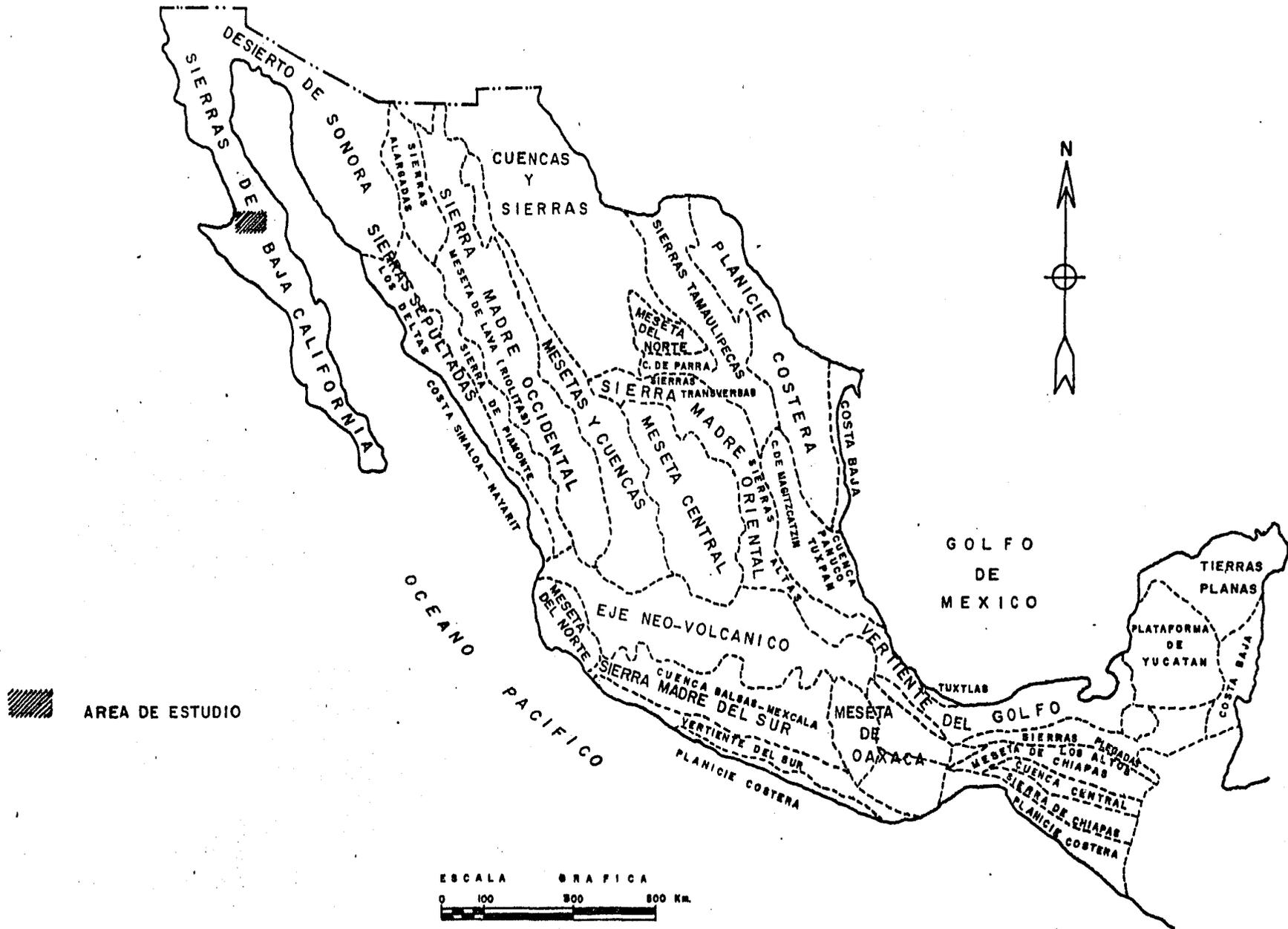
El área queda comprendida dentro de la Provincia Fisiográfica de Sierras de Baja California (Raisz, 1964).

Fig. III.1.1.

Es posible diferenciar dos formas sobresalientes de relieve: la que constituye propiamente el Valle de Vizcaíno y las sierras que se encuentran al este, oeste y sur.

El valle es una extensa planicie de superficie ondulada, con suaves pendientes y una elevación promedio de 50 msnm. Se extiende al norte y noroeste de la Laguna de San Ignacio y abarca más allá del paralelo 28° de latitud norte. Se observan médanos cuya altura no rebasa los 35 m. Presenta ramificaciones que se extienden al norte de la Laguna Ojo de Liebre y llegan hasta Guerrero Negro, en donde se ha formado un depósito evaporítico marino marginal, cuya fuente de sales es el agua de mar. Consiste de varias cuencas someras antiguas separadas por un sistema de diques. Las sales se precipitan a partir de una delgada capa de salmuera cuya fuente de aporte es la laguna (6).

El límite oriental del valle se encuentra en las estribaciones de las sierras de Los Venados, San Francisco,



PROVINCIAS FISIOGRAFICAS
(Ralsz, 1964)

Fig. III.1.1

El Serrucho, El Caracol, San Alberto y El Boleo. Al sureste, las sierras de El Culebreado y El Potrero, entre otras. Este conjunto de sierras presenta una orientación noroeste-sureste y se caracteriza por mesetas, volcanes y pequeños valles intermontanos.

Al oeste del valle está localizada la Sierra de San José de Castro, formada por un complejo ofiolítico que contrasta con la presencia de sedimentos recientes (7).

Al sur se encuentra la Sierra de Santa Clara, con elevaciones hasta de 500 msnm, formada por derrames basálticos y brechas de composición básica.

El área de estudio pertenece a la Región Hidrológica No. 2 de la SARH ubicada aproximadamente entre los paralelos 26° y 30° de latitud Norte, denominada Baja California Centro Oeste, dentro de la vertiente occidental conectada al Océano Pacífico, Fig. III.1.2. (8). En la Sierra de San Francisco nace la principal corriente que es el Arroyo San Pablo, de configuración larga y casi recta que recibe aportación de varios afluentes, entre los que se encuentran El Mezquite, La Prosperidad, Las Parras, Buenos Aires, Julio, El Tabardillo y El Cañoncito. El Arroyo San Pablo permanece seco la mayor parte del año y únicamente conduce caudales considerables cuando se presentan lluvias extraordinarias.

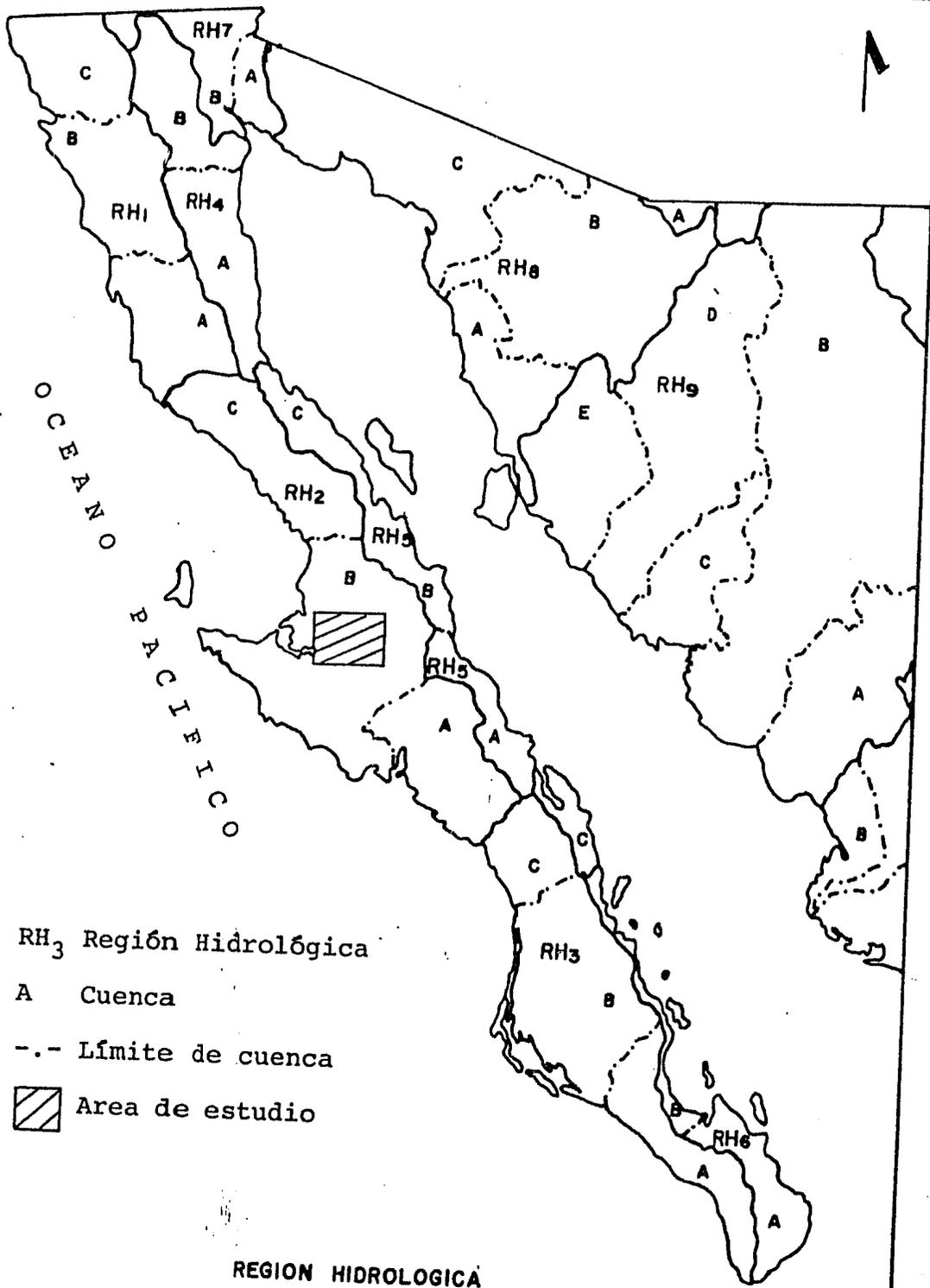


Fig.III.1.2

III.2. Estratigrafía

La columna estratigráfica está representada por rocas graníticas y metaintrusivas del Cretácico; volcánicas y sedimentarias de origen marino del Terciario; unidades volcánicas y sedimentarias de origen marino y continental del Cuaternario. A continuación se describen de la más antigua a la más reciente. Plano III.2.1.

SISTEMA CRETACICO

Rocas Graníticas K(Gr) ⁽⁹⁾

Agrupar a escasos afloramientos que se presentan en el norte del área de estudio. Son rocas de color gris claro y tonos verdosos que intemperizan a rojo oscuro; se observan minerales de biotita, cuarzo y plagioclasa sódica. Debido al diaclasamiento y el intenso fracturamiento, su morfología es suave con peñascos desprendidos. Mina (1957) incluye a estas rocas dentro del Cretácico, mientras que Darton (1924) supone que el espinazo granítico de la península es de edad Pre-Cretácica. Es probable que estas rocas sean testigos de erosión del batolito que forma el espinazo de la Península de Baja California y que está cubierto por rocas piroclásticas y efusivas de la Formación Comondú.

Rocas Metaintrusivas K (Metaintrusivo) ⁽¹⁰⁾

Los escasos afloramientos se ubican al norte del área y están representados por dioritas y sienitas de color gris verdoso, con metamorfismo incipiente (facies de esquistos verdes). Debido a la manera aislada en que afloran estas rocas, no se aprecia la relación estratigráfica que tienen con las demás rocas del área. No obstante, las dioritas y las sienitas, son rocas ígneas que se encuentran generalmente como facies marginales de plutones de granito, que en este caso, pueden relacionarse con el gran batolito granítico al norte del Estado de Baja California Norte.

SISTEMA TERCIARIO

Formación Bateque

Eoceno Inferior - Eoceno Medio

Esta formación fue estudiada y reconocida por primera vez por Mina (11) en los paredones del Rancho del Bateque, situado a 32 km al suroeste de la población de San Ignacio donde encontró una secuencia detrítica de grano fino. Cubre gran parte de la cuenca de Vizcaíno, aunque específicamente en el área de estudio aparecen escasos afloramientos en las partes topográficamente altas de las sierras, al este del valle. Está representada por areniscas calcáreas y limolitas, ambas de color gris a gris verdoso. La arenisca está formada por detritos subangulosos y subredondeados de cuarzo,

feldespato potásico y plagioclasa, además de fragmentos de roca. Presenta estratificación delgada. La limolita es de color amarillo, está silicificada y bien compactada.

En el subsuelo, esta formación se ha registrado en los pozos Lagunitas I, San Francisquito I y San Angel I, perforados por Petróleos Mexicanos (12).

De acuerdo con Mina (13) esta formación tiene un espesor promedio de 2,100 m ... "Sin embargo, en la Cuenca de Vizcaíno, no obstante, no estar representada toda la Formación Bateque por haber sido erosionada en su parte superior, hay un espesor no menor de 3,000 m, a juzgar por las perforaciones llevadas a cabo en esa cuenca" .

En cuanto a relaciones estratigráficas, cubre discordantemente a la Formación Valle y subyace a sedimentos del Mioceno y Plioceno, así como a Basaltos de Plateau y sedimentos marinos del Cuaternario.

De acuerdo con la fauna encontrada (foraminíferos) se le ha asignado una edad Eoceno Inferior -Eoceno Medio.

Con base en la litología que caracteriza a esta formación en el miembro inferior : areniscas fosilíferas, li-

molitas y coquinas, y arcillas deleznales, se concluye que se depositó en un ambiente de plataforma externa. Los foraminíferos encontrados en la parte media, son característicos de mares neríticos. En cuanto al miembro superior areniscas, limolitas, conglomerados y bancos de calizas, se concluye que el depósito es característico de facies gruesas que predominan en regiones de inestabilidad tectónica, cercano a la línea de costa.

Formación Comundú

Mioceno Superior

Heim (1922) nombró Formación Comondú a un conjunto de rocas de origen continental que forman las sierras de San Borja y Camalajué. En el área de estudio, casi la totalidad de las partes topográficamente altas de la Sierra de San Francisco están representadas por areniscas, tobas, brechas y conglomerados principalmente. La arenisca es de color gris verdoso, de estructura compacta y textura arenosa, muestra agregados angulosos y subangulosos de cuarzo, oligoclasa andesina y fragmentos de roca (andesita) detectados en el análisis petrográfico correspondiente.

Las tobas y brechas son de composición intermedia. Las primeras son de color pardo rosáceo claro, de estructura compacta y textura tobácea, en el ejemplar de mano se observan fragmentos de roca. Al microscopio se detectaron minerales de oligoclasa-andesiana, fragmentos de vidrio y roca

(andesita). La brecha es de color pardo rojizo, con clastos de composición andesítica, de tamaño variable. El conglomerado es de tipo polimíctico compuesto por fragmentos de rocas volcánicas de composición intermedia, del tamaño de la grava, redondeados y subredondeados, en matriz arenosa y semicompacto.

La Formación Comondú, cubre discordantemente a sedimentos de la Formación Bateque. De acuerdo con su posición estratigráfica, se le ha asignado una edad del Mioceno Superior. Por la litología característica de esta formación se deduce un depósito de tipo continental vulcanosedimentario durante un período de inestabilidad tectónica y bajo condiciones de intensa actividad volcánica.

Formación San Ignacio

Mioceno Medio Superior

Mina (14) la definió y designó como localidad tipo a los cortes que afloran en el Arroyo de San Ignacio en las cercanías de la población del mismo nombre. Los escasos afloramientos al suroeste del valle, consisten de areniscas verde claro y limolitas de igual color en delgadas capas y que contienen fósiles. Esta formación sobreyace discordantemente a la Formación Bateque y subyace de la misma forma a la Formación Comondú y Basaltos de Plateau. Por el contenido fosilífero se le ha determinado una edad Mioceno Medio Superior. El depósito de esta formación indica un ambiente coste

ro.

Formación Santa Clara Plioceno

Mina (15) denominó como Formación Santa Clara a una serie de aglomerados y brechas volcánicas expuestas en la Sierra de Santa Clara. En esta sierra los afloramientos son escasos, formados por brechas, aglomerados y tobas arenosas de composición intermedia y, en menor proporción básica. Cubren discordantemente a la Formación Bateque y a unidades del Cuaternario. Por su posición estratigráfica se le ha determinado una edad del Plioceno.

Formación Almejas Plioceno

Mina (16) definió bajo este nombre a los horizontes de coquina y de conglomerados fosilíferos, al sur de Bahía de Tortugas a lo largo del Arroyo Bateque, donde abundan las especies de Pecten.

En el área de estudio no aflora esta formación, no obstante, en los cortes litológicos de perforaciones en el centro del valle, se han encontrado horizontes de arena fina, arcillas y limos con gran contenido fosilífero. En el Valle de Vizcaíno, esta formación subyace a unidades del Reciente. De acuerdo con los fósiles colectados, se le atribuye una

edad del Plioceno.

Se deduce que el depósito de esta formación tuvo lugar en un ambiente marino costero, sobre una región topográficamente plana, la cual se hace abrupta hacia tierra adentro, pues los espesores aumentan hacia el centro del valle y en dirección norte.

Basaltos de Plateau Mioceno Superior - Plioceno Inferior

Carrillo (17) definió como Basaltos de Plateau, a una serie de derrames de fisura que han originado una topografía en forma de mesetas, distribuidos en la Sierra de San Francisco y en la Sierra de Santa Clara.

Son derrames de composición basáltica de color gris oscuro, con estructura compacta tipo "aa" y textura afanítica; mineralógicamente están constituidos por plagioclasas (andesina-labradorita), minerales máficos como olivino, magnetita y hematita, detectados en el análisis petrográfico correspondiente. Los afloramientos se caracterizan por un intenso fracturamiento. Se encuentran cubriendo a la Formación Comondú y a sedimentos areno-arcillosos de diferentes formaciones terciarias en forma discordante, con espesor promedio entre 15 y 30 m.

De acuerdo con análisis radiométricos se les ha

asignado una edad Mioceno Superior-Plioceno Inferior.

A estos Basaltos de Plateau se les asocia a la adhesión de la Baja California a la Placa del Pacífico.

SISTEMA CUATERNARIO

Unidad Cuaternario Volcánico Pleistoceno

Agrupar a materiales emitidos por aparatos volcánicos: derrames basálticos y andesíticos, aglomerados, brechas y productos piroclásticos, que representan las últimas manifestaciones de vulcanismo en la Península de Baja California. Esta unidad aflora en las partes topográficamente altas de las sierras. Cubre discordantemente a la Formación Comondú (18).

De acuerdo a su posición estratigráfica es posible asignar a esta unidad una edad Pleistoceno, resultado de emisiones por conductos volcánicos, en donde, la mayoría de estos, quedaron bloqueados por la alta viscosidad de dichos materiales. Tienen un origen volcánico explosivo.

Unidad Cuaternario Continental y Marino Reciente

- a) Areniscas. Arenisca de color gris verdoso claro, de estructura compacta y textura fanerítica, con tendencia a aren-

sa. Según el análisis petrográfico efectuado, se observan minerales de cuarzo, oligoclasa-andesina, magnetita y hematita, así como fragmentos de roca (andesita y granito). Los cristales son angulosos y subangulosos. En general, los afloramientos están semi-compactados.

- b) Conglomerados. Son conglomerados polimícticos de tipo continental, de color pardo grisáceo, semideleznales y de textura arenosa, con fragmentos de roca ígnea del tamaño de la grava, subredondeados a subangulosos, en matriz arenosa.
- c) Areniscas-conglomerados. Comprende depósitos marinos representados por areniscas fosilíferas de grano fino interestratificadas con conglomerados polimícticos, de origen continental.
- d) Depósitos Evaporíticos. Comprende las Salinas de la Laguna Ojo de Liebre al oeste del valle.
- e) Depósitos Lacustres. Están constituidos por la intercalación de sedimentos arcillosos y arena de grano fino, depositados en un ambiente lagunar continental. Se encuentran en planicies en pequeñas áreas de inundación cercanas a la Laguna Ojo de Liebre.

f) Depósitos Eólicos. Abarca los depósitos de arena, fragmentos líticos que cubren la planicie que constituye en sí, el Valle de Vizcaíno.

g) Depósitos Aluviales. Depósitos recientes no consolidados de origen aluvial, que ocupan el cauce del Arroyo San Pablo y otras corrientes de menor importancia. Están constituidos por gravas y arenas, principalmente.

Esta unidad cubre discordantemente a todas las formaciones del Cenozoico que afloran en el área de estudio. Son resultado del intemperismo mecánico y químico de rocas pre-existentes, así como de la acumulación de materiales marinos costeros y de acarreo provocado por el viento.

III.3. Geología histórica

A nivel regional, se tienen registros de eventos geológicos en el Triásico de la Formación San Hipólito, que aflora en Punta Prieta, Punta San Hipólito e Isla Cedros. Está formada por rocas volcánicas y sedimentarias parcialmente metamorfizadas, acumuladas en el marco de una convergencia de placas.

El segundo evento, lo representa un complejo ofiolítico que aflora en las islas de Santa Margarita y

Magdalena, que son de edad Jurásico Superior y Cretácico Inferior y que de acuerdo con Lozano (19), es posible correlacionar con aquellos que forman parte de la secuencia Franciscan. Rangin (1978) ha considerado que dicho cinturón de afloramientos ofiolíticos es el resultado de la evolución estructural que para el Mesozoico se hundía debajo de la corteza continental. Este complejo aflora en la porción oeste del Valle de Vizcaíno, en la Sierra San José de Castro.

Posteriormente, siguió el depósito de la Formación Eugenia, una secuencia de lutitas, areniscas y conglomerados intensamente fracturados, con intercalaciones de derrames lávicos. Haciendo una similitud con la fauna que contiene la Formación Bedford Canyon de California, esta formación podría ser de edad Jurásico Superior (20). Este depósito tuvo lugar en una cuenca relativamente profunda, pero cerca de un elemento que sufría fuerte tectonismo.

El Cretácico está representado por la Formación Valle, depósito clástico con características de un ambiente de depósito de plataforma que indica la fase final de un gran evento orogénico. El miembro superior más arcilloso que el superior, es indicio de un lento pero constante descenso del ritmo de la actividad tectónica durante el Cretácico Superior.

El Cenozoico forma el espesor de relleno más con

siderable en la cuenca de Vizcaíno, que se caracteriza por su poca consolidación y el carácter clástico marino. Las formaciones Santo Domingo y Malarrimo corresponden a esa época. La Formación Bateque del Eoceno, constituida principalmente por secuencias de areniscas y lutitas, indica un área marginal relativamente estable pero que recibió gran aporte de sedimentos de las tierras antiguas, formadas por zonas montañosas con volcanes de composición ácida e intermedia. Probablemente recibió aporte de las formaciones Valle y Eugenia, que ya plegadas, ocupaban parte de las tierras positivas.

A partir del depósito de esta formación, el ambiente tectónico cambia radicalmente a diferencia del intenso tectonismo anterior, pues no existen afloramientos de rocas para el Oligoceno, esto es, un período de emersión para esa época.

El Mioceno está expuesto en la cuenca de Vizcaíno y consta de rocas sedimentarias y volcánicas. En particular, en la Cuenca de Vizcaíno el Mioceno Inferior está formado por aglomerados, areniscas y arcillas de formaciones San Zacarías, Santa Clara, La Zorra y San Joaquín. La brecha San Zacarías, indica una nueva etapa de vulcanismo posiblemente antecediendo a la subducción que se llevaba a cabo hacia el oriente y que se reflejaba como vulcanismo intermedio en el continente. El Mioceno Medio se caracteriza por diversas secuencias con variaciones laterales constituidas por areniscas

tobáceas, lutitas bentoníticas y areniscas de las formaciones Isidro (Beal, 1948), San Ignacio, Tortugas y San Raymundo (Mina, 1956) que indican ambientes costeros, lagunares y de plataforma. Sobreyaciendo a esas formaciones, están la Formación Comondú, la Formación Santa Clara y los domos andesíticos de ambiente continental.

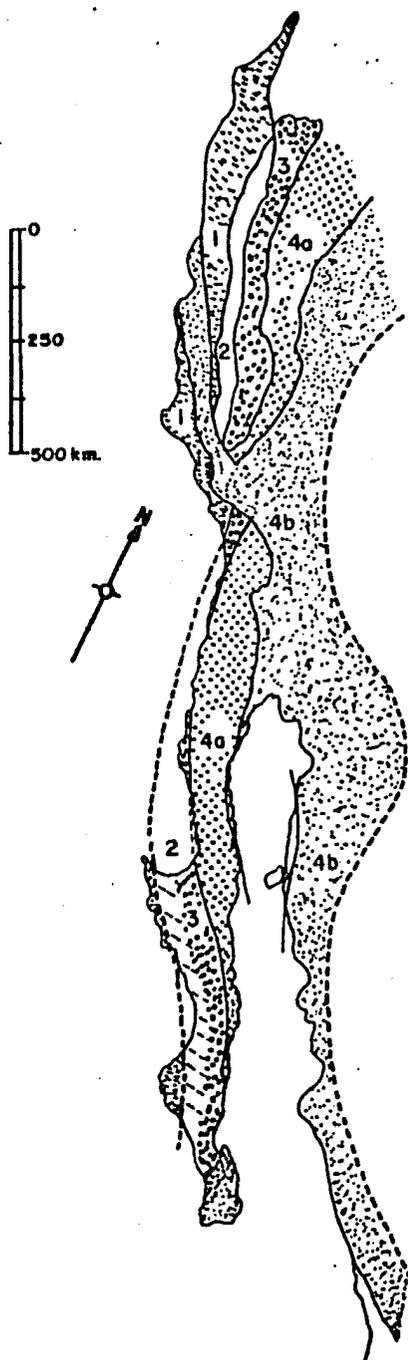
Representativos del Mioceno Superior-Plioceno Inferior, son los Basaltos de Plateau, asociados a la adhesión de la Baja California a la Placa del Pacífico.

Durante el Plioceno tiene lugar el depósito de la Formación Almejas, compuesta por argilitas arenosas con intercalaciones de conglomerados fosilíferos, en un ambiente marino costero, sobre una región de topografía casi plana que se hace abrupta hacia tierra adentro.

Finalmente, el Reciente incluye los depósitos más jóvenes producto del intemperismo mecánico y químico de las rocas pre-existentes, así como la acumulación de materiales marinos costeros y de acarreo por medio del viento.

III.4. Tectónica

Regionalmente, los eventos tectónicos de la Península de Baja California, quedan representados por los siguientes elementos representados en la Fig. III.4.1.



- 1 Asociación Franciscan
- 2 Relleno de gran espesor de la secuencia Great Valley antigua;
- 3 Relleno de gran espesor de la secuencia Great Valley joven ;
- 4a Estratos volcánicos y volcanoclásticos del Mesozoico-Paleozoico intrusionados por plutones pobres en potasio ;
- 4b Estratos carbonáticos y cuarcítics intrusionados por plutones relativamente ricos en potasio.

MARCO ESTRUCTURAL DE CALIFORNIA, U. S. A. Y BAJA CALIFORNIA

1. Un borde occidental compuesto por una serie de afloramientos aislados de complejos ofiolíticos y secuencias sedimentarias, denominado Asociación Franciscan, debido a la semejanza que presenta con la Formación Franciscan, que aparece en la Isla Cedros y Bahía de Magdalena, al igual que en la porción oeste de la Península de Vizcaino;
 2. El relleno de gran espesor de la secuencia Great Valley antigua;
 3. El relleno de gran espesor de la secuencia Great Valley joven;
 - 4a. Estratos volcánicos y vulcanoclásticos del Mesozoico-Paleozoico intrusionados por plutones pobres en Potasio, y
 - 4b. Estratos del Paleozoico, carbonáticos y cuarcíticos intrusionados por plutones relativamente ricos en potasio.
- (21).

Las rocas volcánicas y sedimentarias del Terciario al Reciente en la Península de Baja California, reflejan los eventos originados en un marco de tectónica de placas. Los depósitos anteriores a la subducción están representados por la Formación San Hipólito. En el Mesozoico, los aflora-

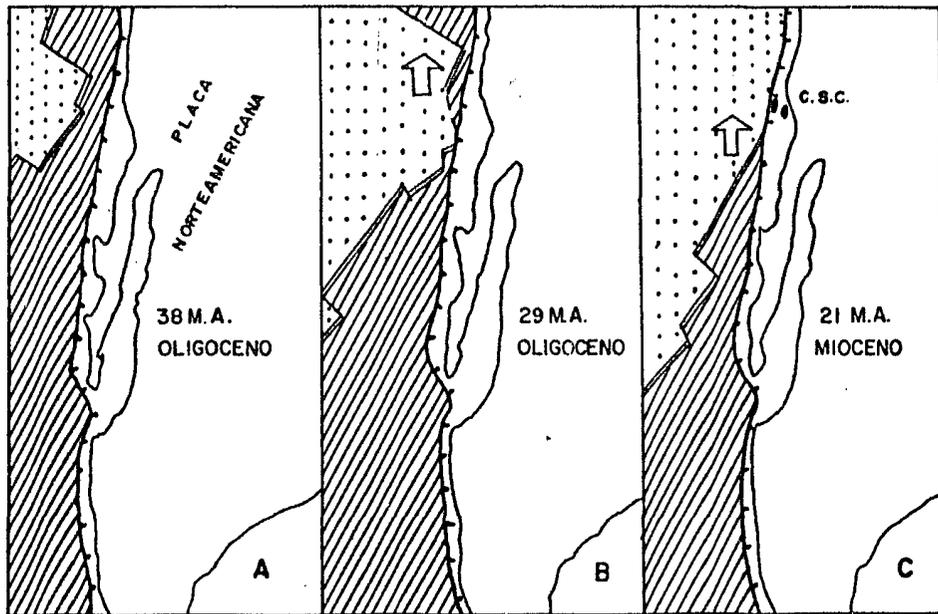
mientos ofiolíticos y metamórficos se asocian a una zona de subducción, en el borde occidental de la Península. Al consumirse la placa paleopacífica o farallón debajo de la corteza continental de México, se desarrollaron los arcos magmáticos, con la presencia de vulcanismo de tipo calco-alcalino (Demant y Robin, 1975). Para el Jurásico y Cretácico, siguió el relleno de una cuenca de tipo geosinclinal.

Durante el Cenozoico (Plioceno), cesa el fenómeno de subducción con la colisión de la cresta del Pacífico contra el borde occidental de Baja California (Anderson, 1971) y tiene lugar la adhesión de la Baja California a la actual placa del Pacífico.

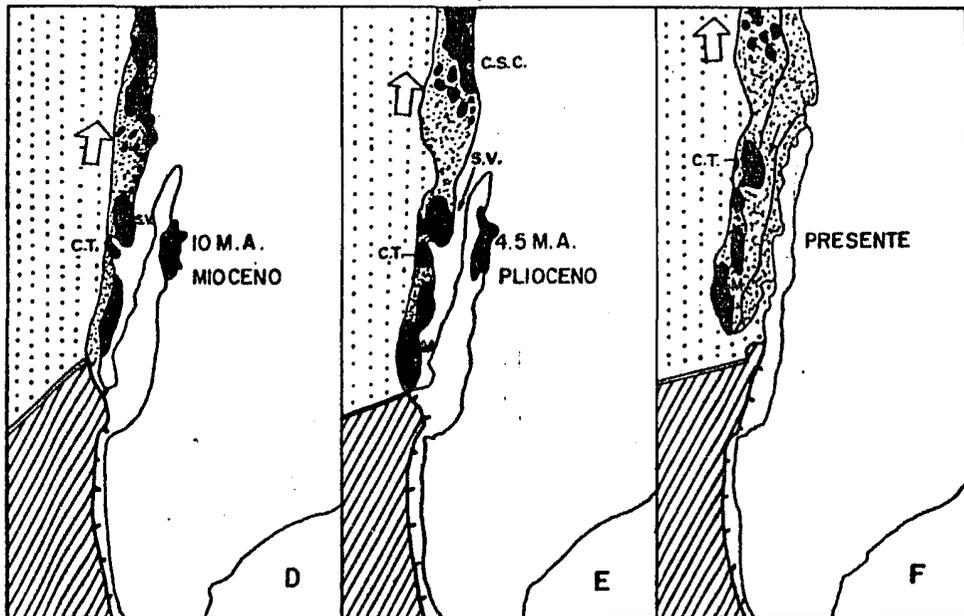
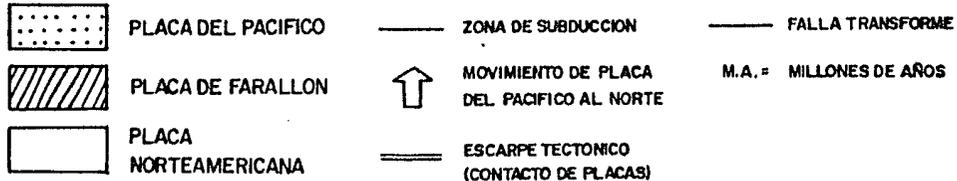
Posteriormente, se inicia la separación de Baja California de la porción continental de México, para el desarrollo de una zona de expansión de suelo oceánico en el Golfo de California, formada por crestas dislocadas por fallas de transformación. Estas se relacionan hacia el norte con el sistema de San Andrés. Fig. III.4.2.

En el Cuaternario, tienen lugar las manifestaciones de vulcanismo registrado por las Sierras de Santa Clara y Santa Lucía, en sus partes topográficamente altas.

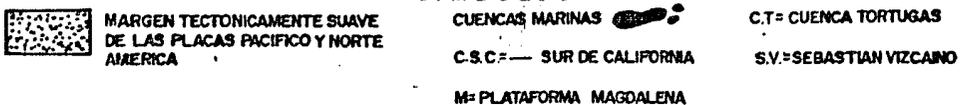
Los dos eventos tectónicos más importantes que afectan a la península de Baja California, se pueden resumir



EXPLICACION



SIMBOLOS



EVOLUCION TECTONICA ESQUEMATICA DE LAS PLACAS DEL PACIFICO FARALLON Y NORTEAMERICA (NEOGENO). Por M.C. Blake et. al. (1978)

de la siguiente forma: el plegamiento y metamorfismo de las secuencias prebatolíticas, ocurridos a principio del Cretácico Superior, que están relacionadas al inicio de los principales emplazamientos batolíticos de la región y, en segundo término, el levantamiento general de la porción continental de la península durante el Cretácico Superior (22).

III.5. Unidades hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas tienen como finalidad, agrupar a unidades de roca y suelos de acuerdo a sus características de permeabilidad, independientemente de la formación geológica y período al que pertenezcan. La importancia de efectuar esta agrupación, constituye un factor relevante para determinar las condiciones de flujo y acumulación de agua subterránea.

A continuación se describen las unidades hidrogeológicas consideradas en el área de estudio:

UNIDAD A. Agrupa a rocas graníticas y metaintrusivas que afloran al norte del área; a los afloramientos de la Formación Bateque y Formación Comondú, esta última ocupa la mayor parte de la Sierra de San Francisco; a los escasos afloramientos de la Formación San Joaquín y de la Formación Santa Clara y a las unidades volcánicas del Cuaterna-

rio. En particular, los afloramientos de Basaltos de Plateau presentan fracturamiento, lo que les confiere características de permeabilidad secundaria, no obstante, se les ha agrupado dentro de esta unidad, ya que debido a su posición estratigráfica sobreyacen a formaciones impermeables. Esta unidad constituye una zona de captación de los escurrimientos superficiales que alimentan a la zona de pie de monte.

En esta unidad se incluyen los depósitos evaporíticos de la Laguna Ojo de Liebre.

Se clasifica como UNIDAD IMPERMEABLE.

UNIDAD B. Está representada por una arenisca lítica semi-consolidada y suelta; ocasionalmente, por afloramientos de conglomerados de origen marino y continental semiconsolidados. Esta unidad ocupa la zona de transición entre la planicie y las zonas montañosas que rodean al valle. Las corrientes superficiales que se originan en las partes topográficamente altas, se infiltran en esta unidad. Se clasifica como UNIDAD PERMEABLE.

UNIDAD C. Está constituida por depósitos fluviales a lo

largo del Arroyo San Pablo y otros pequeños arroyos en la zona montañosa y de pie de monte. Abarca depósitos no consolidados cuyo rango granulométrico varía entre gravas y arenas, principalmente. Constituye la zona de más alta permeabilidad. UNIDAD ALTAMENTE PERMEABLE.

UNIDAD D. Es la de más amplia distribución y cubre en todo el valle a los depósitos Terciarios que constituyen el acuífero. Incluye depósitos eólicos y lacustres del Reciente. Se le ha clasificado como UNIDAD SEMI-PERMEABLE. Plano III.5.1.

IV. MARCO HIDROGEOLOGICO

IV.1. Exploración geofísica y perforaciones

Exploración Geofísica. De acuerdo con el estudio geofísico de resistividad efectuado por la Residencia de Geohidrología en la Cd. de La Paz, B.C.S., SARH, y que consistió en 139 Sondeo Eléctricos Verticales, (SEV) distribuidos en trece secciones en todo el valle, se detectaron los siguientes grupos que se describen de la superficie a profundidad:

Grupo 1. Presenta resistividades entre 15 y 150 Ω -m constituido por materiales de acarreo como gravas, arenas y arcillas. El espesor calculado varía entre 10 y 30 m, el valor máximo se detectó en la porción donde se ubican los ejidos Gustavo Díaz Ordaz, Benito Juárez y Emiliano Zapata acunándose hacia el centro del valle en la zona de Pequeños Propietarios. Grupo no saturado por encima del nivel estático. Se correlaciona con la unidad hidrogeológica D .

Grupo 2. Los valores de resistividad varían entre 30 y 80 Ω -m, formada por gravas, arenas y arcillas. El espesor calculado varía entre 30 y 300 m con un valor promedio de 100 m. Grupo permeable y saturado con agua de buena calidad.

Grupo 3. El rango de resistividad varía entre 20 y 30 Ω -m y el material detectado son arenas y arcillas.

El espesor calculado promedio es de 200 m. Se supone que esta unidad esta saturada con agua de menor calidad que la unidad anterior.

Grupo 4. Presenta valores de resistividad que varían entre 2 y 15 Ω -m, formado por arcillas en su mayoría con algo de arenas. Es el último grupo detectado y se le supone saturado con agua salobre.

Perforaciones. Los resultados arrojados por los SEV se correlacionaron con el análisis de 10 cortes litológicos y se concluye que por encima del nivel estático hay un horizonte de espesor variable entre 10 y 30 m de materiales de acarreo que cubren el valle en su totalidad. El acuífero que actualmente se encuentra en explotación está formado por la intercalación de gravas, arenas, arcillas y limos, con un espesor aproximado de 50 m. En los cortes localizados en los ejidos de Benito Juárez, Gustavo Díaz Ordáz y Emiliano Zapata, especialmente hacia la margen izquierda del Arroyo San Pablo, los cortes litológicos registraron basalto fracturado a partir de los 60 m de profundidad, en espesores de 5 a 10 m, así como tobas. Hacia el centro del valle, se detectó fauna marina, y en dirección norte los restos de fósiles se registran a lo largo de todo el corte litológico. También se observa que el contenido

de arcilla aumenta a profundidad.

Hay que aclarar, que los resultados que arrojan los estudios exploratorios indirectos, como es el caso de la geofísica de resistividad, son de tipo cualitativo, por lo que tales resultados deben afinarse con las exploraciones directas. En el caso que nos ocupa, en los SEV, no se detectaron los espesores de basalto fracturado y tobas.

IV.2. Inventario de aprovechamiento

En el Valle de Vizcaíno, los aprovechamientos están concentrados en siete centros de población: Pequeños Propietarios, Gustavo Díaz Ordaz, Emiliano Zapata, Laguneros, Benito Juárez, Guerrero Negro y Guillermo Prieto.

De acuerdo con el censo de aprovechamiento facilitado por la Residencia de Geohidrología de la SARH en la Cd. de La Paz, B.C.S., hasta el año de 1984 existían en el valle un total de 233 aprovechamientos, de los cuales 157 son pozos profundos y 76 son norias. La profundidad de perforación total en los primeros, varía entre 70 y 120 m, con diámetros de ademe entre 10" y 16"; los diámetros de descarga varían entre 3" y 8". El gasto promedio de extracción varía entre 12 y 70 l.p.s. en los pozos profundos y, entre 3 y 11 l.p.s. en las norias. Plano IV.2.1.

En las tablas IV.2.1. y IV.2.2. se presentan dos resúmenes: uno de inventario de aprovechamientos y el otro, con las características principales de los mismos.

El volumen que extraen los aprovechamientos, proviene de cuatro fuentes de información: a) la calculada con base en las horas bombeadas, tomando un gasto promedio por zona de explotación y considerando: 20 h de bombeo al día, 20 días de bombeo al mes y 8 meses al año. Lo anterior arroja un resultado de 3 200* h de bombeo promedio al año; b) la calculada por lámina de riego de acuerdo al cultivo y número de hectáreas beneficiadas por ciclo agrícola. En este caso el volumen de extracción corresponde al ciclo agrícola 1982-1983; c) el volumen calculado por concesión al usuario y d) el calculado en la Residencia de Geohidrología de la SARH en la Cd. de La Paz, B.C.S.

Los resultados de dichos cálculos se presentan a continuación:

*Valor que maneja para sus cálculos la Residencia de Geohidrología de la SARH en La Paz, Baja California Sur.

Estado : Baja California Sur

Area : Valle de Vizcaíno

C U A D R O R E S U M E N D E A P R O V E C H A M I E N T O S

Z O N A	Total	Pozos Perforados	Norias	Activos	Inactivos	Sin Información	U S O			
							Agrícola	Abrevadero Doméstico	Industrial	Agua Potable
Pequeños Propietarios	111	53	58	105	1	5	67	20	0	1
Gustavo Díaz Ordaz	45	45	0	37	1	7	39	0	0	4
Emiliano Zapata	15	15	0	15	1	0	13	0	0	1
Laguneros	6	6	0	5	1	0	6	0	0	0
Benito Juárez	26	26	0	10	15	0	24	0	0	1
Guerrero Negro	19	5	14	11	4	3	0	1	6	2
Guillermo Prieto	11	7	4	4	2	6	3	0	0	2
Total	233	157	76	187	24	21	152	21	6	11

Tabla IV.2.1.

Estado : Baja California Sur

Area : Valle de Vizcaíno

Z O N A	P	Ø	Z	Ø	S	Gasto [l.p.s.]	N O R I A S	
	Profundidad de Perforación [m]	Ø de ademe [pul]		Ø de descarga [pul]			Ø de descarga [pul]	Gasto [l.p.s.]
Pequeños Propietarios	80-100		10-14		4-8	30-70		
Gustavo Díaz Ordaz	80-120		10-16		8	40-70	2 y extrac.m.	
Emiliano Zapata	75		14		8	30-50		
Laguneros	70-120		10-14		3-8	45-52		
Benito Juárez	80		14		8	30-50		
Guerrero Negro			10		6-8	20-22	2-4	3-11
Guillermo Prieto	99		10-14		3-6	12-45		

Tabla IV.2.2.

Z O N A	(a)	(b)	(c)	(d)
	[millones de m ³ al año]			
Pequeños Propietarios	39.74	15.55	17.70	10.0
Gustavo Díaz Ordaz	22.81	11.09	10.32	12.7
Emiliano Zapata	6.74	3.86	4.92	4.8
Laguneros	2.30	0.69	1.44	1.2
Benito Juárez	6.91	2.30	4.32	2.2
Guerrero Negro	1.38	-	1.53	0.8
Guillermo Prieto	1.38	0.42	0.80	0.4
Agua Potable	-	-	-	0.9
TOTAL	81.26	33.91	41.03	33.0

IV.3. Características fisicoquímicas del agua subterránea.

El papel de la geoquímica en la hidrología es de suma importancia, ya que nos proporciona, entre otros datos, la distribución de calidad de aguas subterráneas, información sobre el esquema de flujo regional, del origen del agua en función de la litología por la que circula el agua y las zonas de recarga.

La interpretación de la geoquímica se basa en el hecho de que el agua al precipitarse sobre las formaciones geológicas circula superficialmente o se infiltra en el subsuelo, disolviendo las sales minerales que contienen las rocas de tal

manera que se producen cambios en la composición del agua. La química del agua dependerá de la solubilidad y composición de las rocas por las que circula y de los factores que afectan dicha solubilidad, el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, entre otros factores.

Para fines de este trabajo, se tomaron los resultados de los análisis químicos de 48 aprovechamientos muestreados en el período de marzo a junio de 1983. Los análisis se efectuaron en los laboratorios de la SARH en la Cd. de La Paz, B.C.S. Los resultados se presentan en las tablas IV.3.1. - IV.3.3. Los cationes analizados fueron: calcio, magnesio y sodio; los aniones: sulfatos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos. Además, se obtuvo el contenido de sólidos totales disueltos, el potencial de hidrógeno y la conductividad eléctrica.

Con los resultados de dichos análisis se elaboraron los diagramas triangulares y las configuraciones de sólidos totales disueltos, cloruros y sulfatos. Los diagramas triangulares muestran en forma ilustrativa la familia a la cual pertenecen las aguas del Valle de Vizcaíno, de acuerdo al anión o catión predominante. Las gráficas se elaboran con base en los porcentajes de miliequivalentes por litro de cada catión o anión analizado. Las configuraciones se efectúan de acuerdo al contenido de partes por millón del anión o catión en cuestión.

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS

Estado: Baja California Sur

Area: Valle de Vizcaino

No. Prog.	No. de Muestra	C.E. Micromhos s/cm a 25°C	pH	CATIONES			ANIONES				STD p.p.m.
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ p.p.m.	Na ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻ p.p.m.	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
Zona: Pequeños Propietarios											
1	13-B	660	7.8	20	22	87	12	159	128	0	428
2	19	1810	6.7	96	86	140	12	171	496	38	1039
3	31	590	6.8	32	43	16	12	207	78	0	388
4	41-B	2200	6.8	68	98	239	12	281	612	0	1308
5	42	2290	7.1	72	115	223	24	171	652	38	1295
6	43	1970	6.9	64	74	237	12	195	652	38	1117
7	44	1230	6.8	36	50	145	12	220	518	77	754
8	46-B	1970	7.1	60	82	228	24	220	291	0	1180
9	47	1970	6.9	48	77	251	12	220	489	77	1190
10	47-B	1820	6.8	68	70	207	24	232	496	86	1086
11	48	1810	6.9	44	62	246	12	207	447	38	1074
12	51	1970	6.9	44	34	338	24	366	503	0	1265
13	54	2270	7.2	32	74	458	24	354	440	19	1709
14	55	2560	7.2	24	36	492	24	403	709	58	1645
15	56-B	2400	7.4	40	36	437	36	293	589	77	1489
16	57	2400	7.0	28	50	423	36	342	603	0	1482
17	59	2459	6.8	48	58	398	24	329	617	38	1512
18	60	2560	7.0	60	82	363	12	268	716	19	1520
19	62	2030	7.2	48	48	320	48	366	440	19	1289
20	63	960	6.9	20	31	138	24	305	142	0	660
21	64	1550	7.2	44	55	200	24	281	333	38	975
22	66	2400	7.1	40	53	405	36	305	624	0	1463
23	67	2450	7.5	48	62	389	36	268	631	58	1492
24	68	2990	7.5	56	86	458	24	293	780	96	1793
25	73	2450	7.7	52	101	310	24	183	745	0	1415

Tabla IV.3.1.

No. Prog.	No. de Muestra	C.E. Micromhos s/cm a 25 ° C	pH	CATIONES			ANIONES				STD p.p.m.
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ p.p.m.	Na ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻ p.p.m.	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
26	74	1770	6.9	24	41	301	24	256	425	38	1109
27	75	2130	7.2	36	62	329	36	281	518	38	1300
28	105	1170	7.0	24	26	191	12	281	248	0	782
29	121	690	6.8	40	43	30	12	232	106	0	463
30	122	600	6.4	36	43	14	12	256	71	0	432
31	123	590	6.5	36	43	14	12	256	64	0	396
32	124	640	6.6	40	34	37	36	220	71	0	438
33	Las Cabezas	2740	8.5	32	46	506	24	244	702	216	1170
34	San Marcos I	2110	8.4	16	24	421	36	244	539	38	1318
35	San Rafael	1900	8.4	24	26	359	36	207	475	38	1165
36	San Marcos I	2110	8.2	24	29	402	24	256	503	96	1334
37	El Triple	3270	7.9	48	65	573	12	232	936	96	1962
38	San Marcos II	1900	8.2	24	24	363	36	244	425	77	1193
Zona: Gustavo Díaz Ordaz											
39	93	750	7.9	28	19	103	12	207	113	19	501
40	96	740	7.9	24	14	115	24	195	128	0	500
Zona: Emiliano Zapata											
41	7	470	8.2	64	63		5.9	198	64	18	300
42	8	1010	8.6	18	24		8.9	228	241	45	712
Zona: Guerrero Negro											
43	3	1840	5.4	48	65	244	0.0	207	539	0	1103
44	4	1470	6.4	36	50	200	12	207	404	0	909
45	5	1550	6.4	40	41	232	0.0	159	461	0	933

Tabla IV.3.2.

No. Prog.	No. de Muestra	C.E. Micromhos s/cm a 25°C	pH	CATIONES			ANIONES				STD p.p.m.
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
Zona: Guillermo Prieto											
46	2	650	8.2	8				208	106	31	390
Zona Benito Juárez											
47	AP-IV	1210	8.2	44	43	145	12	134	291	58	727
48	23	1070	8.1	68	46	80	24	98	255	58	629

Tabla IV.3.3.

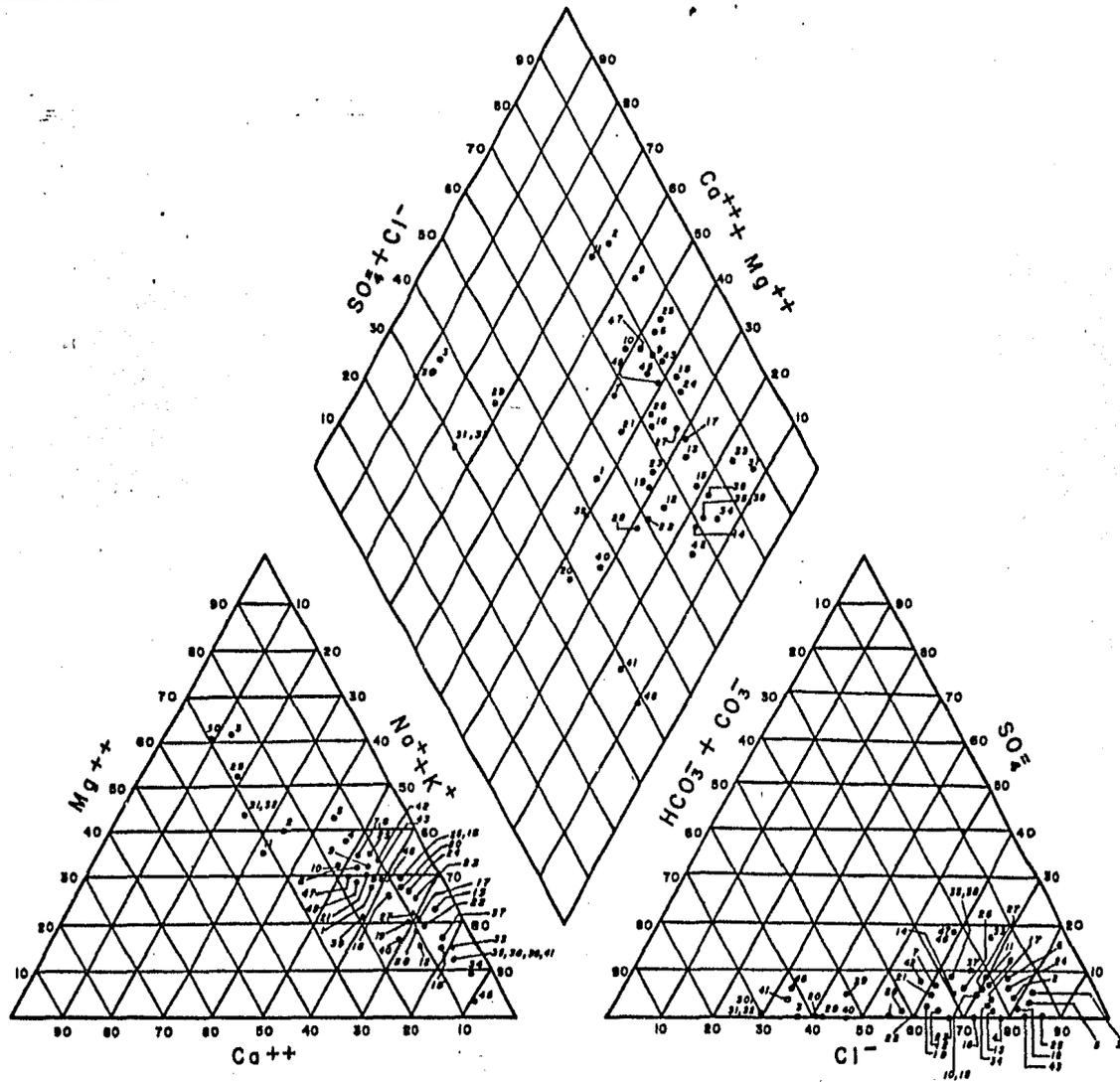
Los diagramas triangulares aparecen en la Fig. IV.3.1. en donde se observa que las aguas del valle pertenecen a la familia sódico-clorurada.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Regionalmente, las concentraciones de STD varían entre 300 y 1962 p.p.m. Los valores más bajos se ubican en el área de Emiliano Zapata (300-736), en Benito Juárez (629-727), en Gustavo Díaz Ordaz (500) y en la porción sureste de Pequeños Propietarios (396-1,039). Las concentraciones más elevadas aparecen en la zona centro (660-1,793) y oeste de Pequeños Propietarios, así como en Guerrero Negro (909-1,103). Plano IV.3.1.

La diferencia que existe en los valores, se puede explicar por el hecho de que las zonas con menores concentraciones están ubicadas cerca de la zona de recarga, por lo tanto, ha existido un menor recorrido del agua subterráneamente. Los valores altos son el resultado de un recorrido mayor del agua a través de sedimentos de origen marino, localizados al centro del valle.

A partir de las configuraciones de sólidos totales disueltos, es posible deducir una dirección de flujo general noreste-suroeste desde la Sierra de San Francisco hacia el centro del valle. Es oportuno aclarar que en las configuracioo



DIAGRAMAS TRIANGULARES PARA LA REPRESENTACION GRAFICA DE ANALISIS DE AGUA

nes correspondientes a los anteriores se corrobora esta dirección de flujo.

Respecto al ion cloruro, al igual que en los sólidos totales disueltos, las concentraciones aumentan hacia el centro y nor-noroeste del valle. Los valores máximos se registran en el área centro de Pequeños Propietarios (248-780) y en el área oeste (475-936); en Guerrero Negro (404-539) y en Benito Juárez (255-291). Los valores mínimos se observan en Gustavo Díaz Ordaz (113-128), en la zona sureste de Pequeños Propietarios (64-496) y en Emiliano Zapata (64-241). Plano IV.3.2.

El ion cloruro se encuentra presente en las aguas naturales en un rango que varía de 10 a 50 p.p.m.; es muy estable en disolución. Debido a que el agua difícilmente llega a saturarse de este ion, casi nunca precipita. Como promedio, el agua de lluvia contiene 3 p.p.m., aumentando este valor en zonas costeras.

En el área de estudio, las altas concentraciones de cloruros se deben a la disolución de sales en terrenos de origen marino, localizados en el centro y norte del área.

Sulfatos

Las concentraciones a nivel regional varían en-

tre 0 y 241 p.p.m. Los valores máximos se encuentran en Emiliano Zapata (18-241) y la zona este de Pequeños Propietarios (40-200). En las áreas restantes, el rango de variación es entre 0 y 93 p.p.m.

El ion sulfato es químicamente estable en la mayoría de los medios ambientes en los cuales se aloja el agua subterránea y difícilmente precipita. El contenido de sulfato en el agua de lluvia es menor de 1 p.p.m. y en las aguas naturales varía en un rango de 2 a 150 p.p.m. Las principales fuentes de aporte de sulfatos son las rocas sedimentarias de origen marino y las rocas ígneas. Plano IV.3.3.

En la tabla IV.3.4. se muestran las variaciones naturales y las concentraciones iónicas de las aguas subterráneas. Puede observarse que, particularmente, las concentraciones de cloruros en el área de estudio sobrepasa el valor admisible por la O.M.S.

Calidad de agua para riego

Para obtener la calidad de agua para riego, se ha utilizado la Clasificación de Wilcox (1948) en donde por medio de la Conductividad Eléctrica (CE) y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) se obtiene dicha clasificación.

VARIACIONES NATURALES DE PROPIEDADES Y CONCENTRACIONES IONICAS DE

LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Normas de Calidad

Características	Constituyentes	Variaciones Naturales [mg/l]	Normas de Potabilidad		[mg/l]		
			O.	M.	S.	MEXICO	Cuenca de Vizcaíno
			Conveniente	Admisible	Admisible		
Químicas y Físico-Químicas	Total de Sólidos Disueltos	50-1500	---	---	1000	300-1962	
Aniones	Cloruros Cl^-	10-250	200	600	250	64-936	
	Sulfatos SO_4^-	2-150	200	400	250	0-241	

Tabla IV.3.4.

La conductividad eléctrica es igual al recíproco de la resistividad y proporcional a la concentración de sólidos totales disueltos. Se expresa en mmhos/cm.

La relación de adsorción de sodio se obtiene de la siguiente forma:

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

Donde las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} están dadas en equivalentes por litro. Con esta relación se obtiene el peligro que entraña el uso del agua para riego en función de los principales cationes.

Los valores de CE y RAS, se presentan en un monograma, de tal forma, que la clase de agua para riego queda definida por los parámetros C y S, y los subíndices de cada uno de ellos.

$$C_n \quad S_n$$

En donde:

C = Salinidad

S = Contenido de Sodio

n = varía de 1 a 4

En el Valle de Vizcaíno, la salinidad varía de mo

derada a alta, en tanto el contenido de sodio varía de bajo a alto. Por orden de importancia se presentan las siguientes clases: C_2S_1 , C_3S_1 , C_3S_2 , C_3S_3 y C_4S_2 .

Las dos primeras clases, pueden usarse en terrenos arenosos y areno-arcillosos, con poco riesgo de que se acumulen sales peligrosas. La tercera y cuarta clases no deben usarse en terrenos con drenaje deficiente, pudiendo utilizarse en suelos con textura gruesa y buena permeabilidad. La última clase puede utilizarse en suelos muy permeables, con drenaje adecuado, debiendo aplicarse en exceso de agua y en suelos gruesos, debiendo seleccionarse cultivos altamente tolerantes a las sales. (23).

IV.4. Análisis Piezométrico

De acuerdo con el ciclo hidrológico, una vez infiltrada el agua en el subsuelo, ésta queda fuera del alcance de cualquier medida convencional. Por lo tanto, debe recurrirse al análisis del régimen piezométrico para determinar la dirección y sentido del flujo subterráneo, el gradiente hidráulico, y la evolución que sufre con respecto al tiempo.

Lo anterior, aunado a las características hidrodinámicas del acuífero como son transmisividad y coeficiente de almacenamiento, constituyen los elementos para el cálculo

de variaciones de caudal que entra al sistema y las fluctuaciones que sufre el almacenamiento en un período determinado.

En este trabajo, se analizó un período de registro piezométrico de 1970 a 1983. Al efectuar la depuración de la información disponible (24) se detectó que no en todas las áreas de concentración de aprovechamientos, se llevaba a cabo la medición de niveles estáticos (o dinámicos) en la misma fecha. Por otra parte, no siempre se elegían los mismos aprovechamientos para llevar a cabo esta actividad. Es así, que la principal limitante resultado de lo anterior se ve reflejada en la imposibilidad de efectuar configuraciones de evolución de nivel estático para períodos largos, por tal motivo únicamente se efectuó la evolución de nivel estático para el período de noviembre de 1982-diciembre de 1983.

Se elaboraron 39 gráficas de evolución de nivel estático de aprovechamientos distribuidos adecuadamente en todo el valle y de esta manera se obtuvo el abatimiento total para el período considerado, así como el promedio de abatimiento anual. El primer valor se tomó directamente de las gráficas ajustando una recta a los valores; en el segundo caso, se calculó la medida aritmética de dichos valores. Tablas IV.4.1. - IV.4.2. y Fig. IV.4.1. - IV.4.3. El registro piezométrico aparece en las tablas IV.4.3. - IV.4.5.

En general, de las gráficas de evolución del ni-

GRAFICAS DE EVOLUCION DE NIVEL ESTATICO

Estado: Baja California Sur

Area: Valle de Vizcaino

No. de Aprov.	Perfodo considerado	Rango Abatimiento (m)	Abatimiento Total (m)	Abatimiento Promedio anual (m)
Zona: Pequeños Propietarios				
45	1975-1983	11.44 - 14.40	-2.96	-0.33
46-B	1978-1983	12.06 - 14.50	-2.44	-0.40
51	1975-1983	11.97 - 11.49	+0.48	+0.05
58	1978-1983	9.25 - 10.20	-0.95	-0.19
60	1978-1983	12.25 - 14.16	+1.91	-0.32
63	1978-1983	12.15 - 12.00	+0.15	+0.03
66	1978-1983	10.07 - 10.59	-0.52	-0.09
67	1978-1983	10.67 - 11.70	-1.03	-0.21
74	1978-1983	10.69 - 11.41	-0.72	-0.12
			Valor promedio:	-0.17
Zona Gustavo Díaz Ordaz				
4	1970-1983	36.20 - 41.43	-5.23	-0.40
5	1970-1983	35.10 - 42.10	-7.00	-0.50
6	1970-1983	34.10 - 39.20	-5.10	-0.36
8	1970-1983	32.00 - 36.40	-4.40	-0.31
9	1970-1983	32.00 - 36.00	-4.00	-0.30
10	1970-1982	30.00 - 36.50	-6.50	-0.54
11	1970-1982	30.80 - 38.00	-7.20	-0.60
12	1970-1983	33.10 - 37.80	-4.70	-0.36
13	1970-1983	31.20 - 35.40	-4.20	-0.32
14	1970-1983	30.90 - 39.00	-8.10	-0.58
15	1970-1983	33.00 - 38.03	-5.03	-0.39
16	1970-1983	32.00 - 39.74	-7.74	-0.59
18	1970-1983	35.30 - 40.19	-4.89	-0.35
19	1970-1983	33.50 - 38.03	-4.53	-0.32
20	1970-1983	34.10 - 39.86	-5.76	-0.41
21	1980-1983	31.40 - 34.90	-3.50	-0.25

Tabla IV.4.1.

No. de Aprov.	Período considerado	Rango Abatimiento (m)	Abatimiento Total (m)	Abatimiento Promedio anual (m)
22	1970-1983	32.60 - 36.90	-4.30	-0.31
25	1970-1983	33.10 - 41.98	-8.88	-0.63
			Valor promedio:	-0.42
Zona: Emiliano Zapata				
5 (IV)	1970-1983	27.20 - 29.20	-2.00	-0.15
9	1970-1983	24.78 - 27.55	-2.77	-0.19
			Valor promedio:	-0.17
Zona: Guerrero Negro				
2	1974-1983	15.10 - 15.00	+0.10	+0.01
3	1975-1983	16.58 - 17.20	-0.62	-0.10
PB-3(II)	1974-1983	11.80 - 13.20	-1.40	-0.14
5	1976-1982	15.20 - 16.70	-1.50	-0.21
6	1977-1983	15.80 - 15.80	0.00	0.00
10	1978-1983	19.90 - 20.56	-0.66	-0.13
			Valor promedio:	-0.10
Zona: Benito Juárez				
1 (III)	1977-1983	41.11 - 41.52	-0.41	-0.06
20	1970-1983	38.60 - 40.46	-1.86	-0.13
			Valor promedio:	-0.10

Tabla IV.4.2.

G R A F I C A D E E V O L U C I O N D E L N I V E L E S T A T I C O

ESTADO: B. C. S.
 MUNICIPIO: MULEGE

AREA: GUSTAVO DIAZ ORAZ
 POZO No. 4
 ZONA: VALLE DE VIZCAINO
 COTA (m.s.n.m.): 75.75
 PROFUNDIDAD DEL POZO(m): 100
 GASTO (l.p.s.): 60

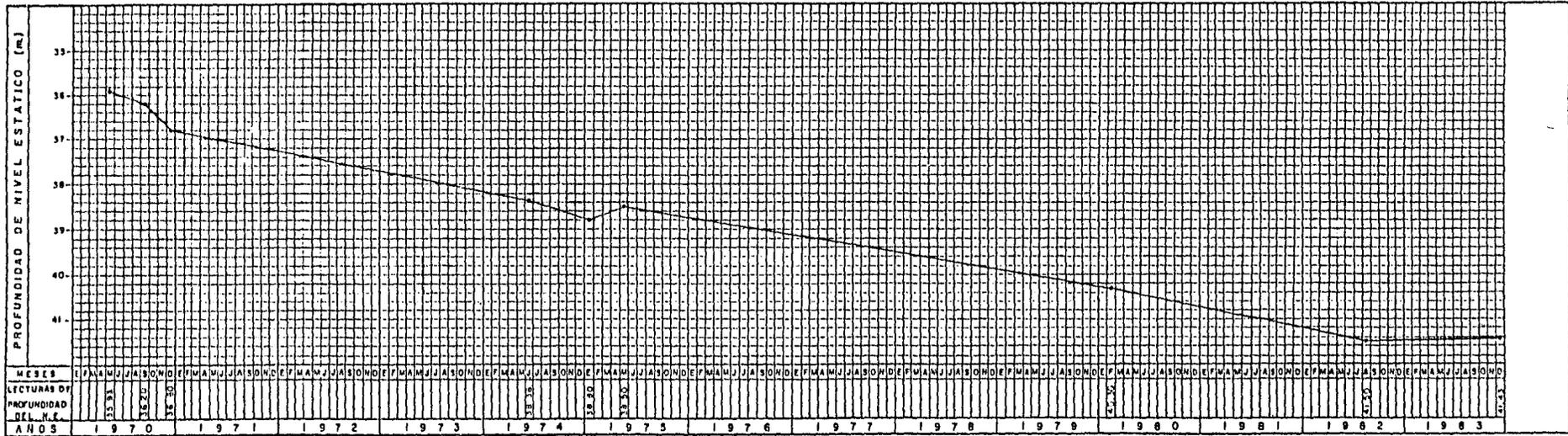


Fig. IV.4.2

P I E Z O M E T R I A

Estado : Baja California Sur

Area: Valle de Vizcaíno

No. de Aprov.	Elev. de Brocal msnm	P.N.E. (m) Noviembre	E.N.E. (m) 1982	P.N.E. (m) Diciembre	E.N.E. (m) 1983	Evolución Nov.1982- Dic.1983.
Zona: Pequeños Propietarios						
41	47.873	13.00	34.87	16.88	30.99	-3.88
42-B	51.600	20.15	31.45	19.67	31.93	+0.48
44	53.070	21.00	32.07	19.59	33.48	+1.41
47-B	44.070	15.18	28.89	15.18	28.89	0.00
48	42.590	17.00	25.59	14.00	28.59	+3.00
50	41.100	13.10	28.00	12.62	28.48	+0.48
53	37.800	13.34	24.46	10.98	26.82	+2.36
54	34.474	15.18	19.29	10.32	24.15	+4.86
61	44.500	15.50	29.00	15.36	29.14	+0.14
62	40.820	14.28	26.54	12.18	28.64	+2.10
64	43.715	14.45	29.27	14.80	28.92	-0.35
65	43.080	11.00	32.08	11.72	31.36	-0.72
66	36.610	10.52	26.09	10.59	26.02	-0.07
68	40.083	13.00	27.08	12.36	27.72	+0.63
69	44.000	16.20	27.80	13.69	30.34	-2.54
74	39.250	11.10	28.15	11.56	27.69	-0.46
85	36.696	10.00	26.70	10.34	26.36	-0.34
125	50.200	21.10	29.10	21.02	29.80	+0.76
131	46.900	16.67	30.03	16.02	30.88	+0.65
Zona: Gustavo Díaz Ordaz						
4	71.750	41.85	33.90	41.37	34.38	+0.48
9	69.590	36.36	32.23	36.60	31.99	-0.24
11	67.230	37.76	29.47	35.41	31.82	+2.35
12	72.130	35.17	36.96	40.96	31.17	-5.79
13	67.810	37.50	30.31	35.86	31.95	+1.64
14	69.440	39.35	30.09	36.94	32.50	+2.41
15	69.690	37.17	32.51	38.03	31.65	-0.86

Tabla IV.4.3.

No. de Aprov.	Elev. de Brocal msnm	P.N.E. (m) Noviembre	E.N.E. (m) 1982	P.N.E. (m) Diciembre	E.N.E. (m) 1983	Evolución Nov. 1982- Dic. 1983.
18	74.980	40.19	34.79	40.77	34.21	-0.58
19	70.320	37.34	32.98	37.64	32.68	-0.30
20	73.620	40.19	33.43	39.86	33.76	+0.33
21	68.600	38.00	30.60	34.90	33.70	+3.10
22	71.680	38.00	33.68	36.90	34.78	+1.10
90	80.844	41.78	39.06	41.80	39.04	-0.02
91	74.450	37.18	37.27	43.68	30.77	-6.50
91-B	74.450	42.83	31.62	42.92	31.53	-0.09
95	83.960	42.58	41.38	41.92	42.04	+0.66
96	83.080	38.70	43.38	41.15	40.93	-2.45
Zona: Emiliano Zapata						
1	61.020	30.00	31.02	28.10	32.92	+1.90
4-A	55.610	26.70	28.91	26.66	28.95	+0.04
6	58.110	30.98	27.13	29.62	28.49	+1.36
8	55.919	33.28	22.64	27.60	28.32	+5.68
9	56.590	30.50	26.09	27.55	29.04	+2.95
10	55.290	26.10	29.19	25.57	29.72	+0.53
11	59.320	31.80	27.52	31.05	28.27	+0.75
4	60.410	33.33	27.08	31.00	29.41	+2.33
5	61.307	34.20	27.11	32.80	28.50	+1.39
6	62.862	33.00	29.86	33.30	29.56	-0.30
Zona: Guerrero Negro						
PB-1	16.140	17.17	-1.03	17.00	-0.86	+0.17
PB-2	18.720	14.50	4.22	14.10	4.62	+0.40
PB-3	16.070	13.21	2.86	13.18	2.89	+0.03
10	20.660	21.90	-1.24	20.56	0.10	+1.25
11	19.030	22.10	-3.07	22.50	-3.47	-0.40

Tabla IV.4.4.

No. de Aprov.	Elev. de Brocal msnm	P.N.E. (m) Noviembre	E.N.E. (m) 1982	P.N.E. (m) Diciembre	E.N.E. (m) 1983	Evolución Nov. 1982- Dic. 1983.
Zona: Benito Juárez						
3(I)	52.500	33.05	19.45	38.86	13.64	-5.81
6-B	47.839	33.50	14.34	34.26	13.57	+1.74
8	58.562	39.00	19.56	42.45	16.11	-3.45
9	45.741	31.00	14.74	30.89	14.85	+0.11
11	50.519	37.40	13.12	31.26	19.26	+6.14
12	49.000	35.60	13.14	36.83	12.17	-1.23
14	45.000	30.71	14.29	32.94	12.06	-2.23
17-B	50.000	38.40	11.16	34.04	15.96	+4.36

Tabla IV.4.5.

vel estático se puede concluir que la zona que presenta mayores abatimientos es la de Gustavo Díaz Ordaz, debido a que se inició la explotación del acuífero hace quince años, y los aprovechamientos se encuentran concentrados en una área reducida. Por lo que concierne a las áreas restantes, los abatimientos son los naturales debido a la explotación.

En Pequeños Propietarios, el promedio de abatimiento anual es de 0.17 m; en Gustavo Díaz Ordaz, 0.42 m; en Emiliano Zapata, 0.17 m; en Guerrero Negro, 0.10 m y en Benito Juárez, 0.10 m.

Las configuraciones de elevación de nivel estático correspondiente a diciembre de 1983 aparecen en el Plano IV.4.1. Se observa que el flujo general sigue una dirección desde las áreas de recarga en la zona intermontana hasta la zona conocida como Pequeños Propietarios, siguiendo en forma aproximada la dirección del cauce del Arroyo San Pablo.

Debido a la ausencia de valores de elevación de nivel estático para la mayoría de los aprovechamientos en el área de Gustavo Díaz Ordaz, se presentaron dos alternativas en cuanto a la configuración de las equipotenciales. Por una parte, era posible delimitar un cono de abatimiento en la porción central del área, lo que resulta lógico dada la concentración de aprovechamientos para el período de 1970-1983. La segunda opción dió como resultado que las equipotenciales si-

guieran una distribución paralela entre sí y una dirección casi perpendicular a la que sigue el cauce del Arroyo San Pablo, con el inconveniente de no poder establecer equipotenciales más allá del valor 32 msnm, por la ausencia de datos. Esta alternativa también resulta ser válida si tomamos en cuenta que para el año de 1983 se registraron en todas las estaciones climatológicas de la cuenca, lluvias extraordinarias y en la evolución de niveles estáticos el resultado fue positivo. Tales condiciones bien pudieron modificar el funcionamiento del sistema. Este punto se ampliará en la sección IV.7.

En la zona de Guerrero Negro, se insinúa la formación de un cono de abatimiento, no obstante, la ausencia de datos, no permite confirmar tal condición. Las áreas en donde se observan salidas por flujo horizontal, probablemente hacia la Laguna Ojo de Liebre, corresponden a Benito Juárez, Emilia Zapata y Pequeños Propietarios. Los valores de los equipotenciales varían entre 12 y 43 msnm, para las áreas de Gustavo Díaz Ordaz y Pequeños Propietarios en donde se delimitaron las áreas de balance.

Para cada una de las áreas de bombeo se calcularon los gradientes hidráulicos. En Pequeños Propietarios, las elevaciones piezométricas varían entre 24 y 34 msnm, con un gradiente hidráulico de 1 al millar; en Gustavo Díaz Ordaz

las elevaciones piezométricas tienen un rango entre 32 y 35 msnm, y un gradiente hidráulico de 1.3 al millar; en Emiliano Zapata las elevaciones del nivel estático mínimas son de 28 msnm y las máximas de 30 msnm, el gradiente hidráulico es de 2 al millar; en Benito Juárez las configuraciones de nivel estático para el período analizado varían entre 12 y 15 msnm, con un gradiente hidráulico de 1 al millar y finalmente, en Guerrero Negro, la diferencia de niveles estáticos es de 3m, resultando un gradiente hidráulico de 1.25 al millar. El gradiente hidráulico regional promedio es de 1.31 al millar.

Aunque en este trabajo no se anexan los planos con las configuraciones de profundidad de niveles estáticos, éstas se han efectuado anualmente y para el período de diciembre de 1983, la variación en las profundidades de nivel estático es entre 10 y 42 m de profundidad; los valores mayores pertenecen a Gustavo Díaz Ordaz, Benito Juárez y Emiliano Zapata.

La evolución de nivel estático se elaboró con los datos para el período noviembre de 1982 - diciembre de 1983. Plano IV.4.2. Se observan recuperaciones de los niveles hasta de 0.5 m. Hay que tomar en cuenta que para efectuar las configuraciones se desecharon los valores extremos que aparecen en las tablas de piezometría. Cabe señalar que en diciembre de 1983, se registraron lluvias extraordinarias en todas

las estaciones climatológicas de la cuenca. Este hecho puede considerarse como la causa de la recuperación de los niveles que se observa en la evolución de niveles estáticos.

IV.5. Características hidrodinámicas del acuífero

Con los resultados de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos profundos ubicados en el área de Gustavo Díaz Ordaz (25), se calculó el valor de la transmisividad (T) promedio de $19.22 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Este resultado se corroboró con la relación que define a la transmisividad, como el producto del coeficiente de permeabilidad (K) y el espesor saturado del acuífero (b): $T=Kb$.

Como se menciona en la sección IV.1., el espesor saturado del acuífero se considera de 50 m y el rango de valores para el coeficiente de permeabilidad para gravas y arenas varía entre 10^{-5} y $5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (26).

Desafortunadamente, no se contó con pozos de observación durante el desarrollo de las pruebas de bombeo con el fin de calcular el coeficiente de almacenamiento, por lo que hubo necesidad de asignar a dicho parámetro el valor calculado en el estudio geohidrológico de 1974 (27) de 0.062. Dicho valor se obtuvo al resolver un sistema de nueve ecuaciones con dos incógnitas (T y S) por el método de mínimos cuadrados y considerando que únicamente existían entradas horizontales al subsistema de Gustavo Díaz Ordaz.

IV.6. Hipótesis del modelo conceptual de funcionamiento del sistema

Con base en la información que se ha detallado a lo largo de este trabajo, a continuación se presenta el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero del Valle de Vizcaíno, esto es una representación cualitativa del sistema.

El acuífero es granular formado por arenas, gravas, arcillas y limos, y algunas intercalaciones de basaltos y tobas en la porción de Gustavo Díaz Ordaz, con espesor probable saturado de 50 m y profundidades de nivel estático entre 10 y 42 m, debido a esto último se considera que no afecta en nada al sistema la alta evaporación característica del área de estudio.

De las configuraciones de elevación de nivel estático, corroborado con las configuraciones de sólidos totales disueltos, cloruros y sulfatos, la dirección de flujo subterráneo general, sigue una dirección noreste-suroeste, sensiblemente paralela a la dirección del arroyo San Pablo.

Se considera que la recarga vertical que recibe el acuífero es por concepto de precipitación, que como se analizó en la sección II.3. es de aproximadamente 87.10 mm al año en el valle, y por otra parte, los retornos de riego, puesto que el área de estudio se caracteriza por ser una zona eminentemente agrícola.

Se considera que el sistema recibe aportación por entradas horizontales, debido al carácter permeable de la zona de pie de monte entre el valle y la Sierra de San Francisco, en donde se infiltran las corrientes que nacen en las partes altas, siendo la principal el Arroyo San Pablo, cuyo cauce (altamente permeable), actúa como dren de infiltración. Probablemente, haya aportación de la zona de pie de monte al sur del valle y la Sierra de Santa Clara, pero no es posible cuantificarla debido a que no existen aprovechamientos en esa porción.

A lo largo del período analizado para la evolución de los niveles del agua (1970-1984), los abatimientos registrados son moderados y el sistema ha actuado como un gran regulador, como se observa en la evolución positiva del nivel estático para el período noviembre de 1982-diciembre de 1983, resultado de lluvias extraordinarias en 1983.

Las salidas de descarga del sistema, tienen lugar por bombeo y por salidas horizontales, como sucede en Benito Juárez, área centro de Pequeños Propietarios y Emiliano Zapata, probablemente hacia la Laguna Ojo de Liebre. En Gustavo Díaz Ordáz, no fue posible definir las salidas por flujo horizontal dadas las restricciones que se expusieron en la sección IV.4.

En la Fig. IV.6.1. se ilustra esquemáticamente el

S E C C I O N A - A'

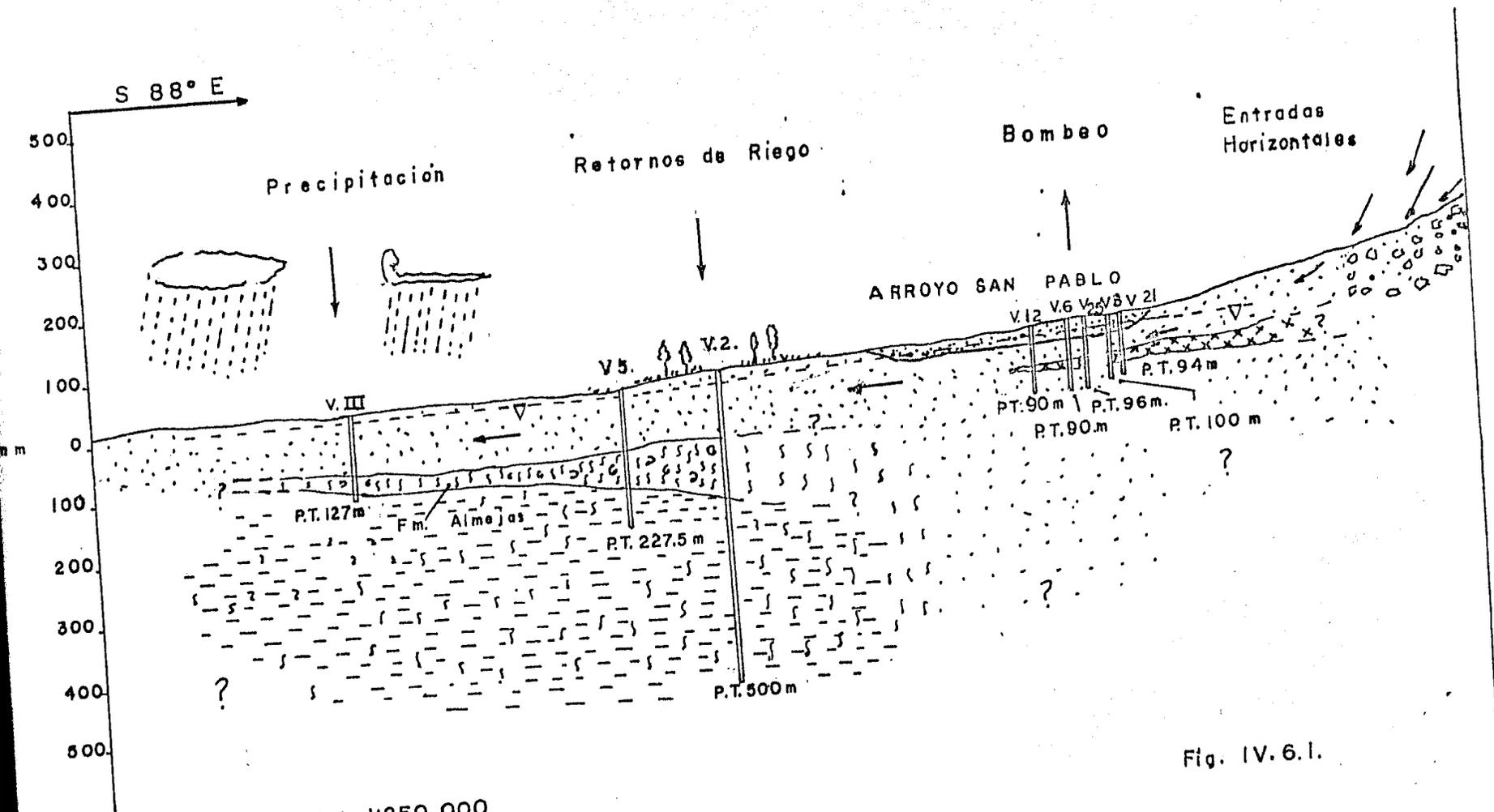


Fig. IV. 6.1.

funcionamiento del acuífero.

IV.7. Balance de aguas Subterráneas

La evaluación de la potencialidad de un acuífero se realiza por medio del "balance de aguas subterráneas" que se basa en el principio de conservación de la materia y tiene por objeto principal la determinación del volumen de recarga al acuífero (28).

A la ecuación que expresa el principio de conservación de la materia aplicada a un acuífero, se le llama "ecuación de balance de agua subterránea", que en su forma más simple puede expresarse como:

$$\text{Recarga} - \text{Descarga} = \text{Cambio de Almacenamiento}$$

Debido a que tanto la recarga como la descarga pueden ocurrir de diversas formas, de acuerdo al modelo conceptual, del caso que nos ocupa se planteó la ecuación de la siguiente manera:

$$E_h + R_v - (B + S_h) = \Delta V.S$$

Donde:

E_h = Entradas horizontales

R_v = Recarga vertical; precipitación + retornos de riego, (incógnita de la ecuación)

- B = Volumen bombeado
- Sh = Salidas horizontales
- ΔV = Cambio de volumen del acuífero
- S = Coeficiente de almacenamiento

Para el caso que nos ocupa, no fue posible efectuar un balance de aguas subterráneas para todo el Valle de Vizcaíno, debido principalmente a la carencia de datos piezométricos, valores confiables de parámetros hidrodinámicos y cortes litológicos que permitieran deducir un comportamiento homogéneo para todo el sistema. Es así, que el área de balance se restringió al Ejido Gustavo Díaz Ordaz y Pequeños Propietarios, por ser las áreas en donde se cuenta con información más confiable y continua. Dada la distancia que existe entre ambas, además de las particularidades que presentan, se optó por efectuar dos balances, con el fin de tener una idea del volumen disponible del recurso hídrico que existe en la actualidad.

Una vez seleccionadas las áreas, se procedió a la cuantificación de los términos de la ecuación.

Los volúmenes de entrada y salida de flujo subterráneo (E_h y S_h), se obtuvieron multiplicando los caudales de flujo que pasan por el perímetro del área de balance:

$$E_h = \sum_1^{ne} Q_{jt} = \sum_1^{ne} T_j \cdot B_j \cdot i_j \cdot t$$

En donde: T_j , B_j e i_j , corresponden a la transmisividad, ancho del canal de flujo y el gradiente, respectivamente, t es el intervalo de tiempo, para este caso de un año, considerado para plantear el balance y n_e , es el número de canales de flujo de entrada, definidos en la periferia del área de balance en cuestión. De la misma forma se procedió para el cálculo de salidas horizontales. Los cálculos se presentan en las Tablas IV.7.1. y IV.7.2.

Después de analizar los diferentes valores asignados al volumen de extracción se llegó a la conclusión de que el más confiable, era el valor que corresponde al calculado en el ciclo agrícola 1982-1983 proporcionado por Distritos y Unidades de Riego, SARH (Sección IV.2.).

El cambio de almacenamiento se calculó a partir de la evolución piezométrica multiplicada por el coeficiente de almacenamiento.

Como se mencionó en la sección IV.4., en la zona de Gustavo Díaz Ordaz, se contemplaron dos alternativas en cuanto al funcionamiento del subsistema y por lo tanto, en la cuantificación:

Alternativa a) Debido al cono de abatimiento que se insinuaba, se consideraron las entradas a todo lo largo de la periferia del cono, por lo cual la ecuación queda de la siguiente forma:

$$E_h + R_v - B = \Delta V.S$$

CALCULO DEL VOLUMEN POR FLUJO HORIZONTAL

Diciembre de 1983

Estado : Baja California Sur

Area: Valle de Vizcaino

GUSTAVO DIAZ ORDAZ

ENTRADAS (1)

Canal	Ancho B (m)	Gradiente (i)	Transmisividad T (m ² /s)	Gasto Q=BIT (m ³ /s)
1	500	2.5 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0240
2	500	2.5 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0240
3	500	2.5 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0240
4	500	2.2 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0211
5	550	2.0 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0211
6	500	1.6 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0153
7	510	1.6 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0127
8	500	1.8 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0172
9	520	2.0 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0199
10	500	2.5 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0240
11	320	3.3 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0204
12	320	3.3 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0204
				0.2441 =
				7'697,937 m ³ /año

Tabla IV.7.1.

ENTRADAS (2)

Canal	Ancho B (m)	Gradiente (i)	Transmisividad T (m ² /s)	Gasto Q=Bit (m ³ /s)
1	500	3.3 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0317
2	600	3.3 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0380
3	500	2.5 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0240
4	600	1.6 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0180
5	600	1.5 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0172
6	650	1.4 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0172
7	600	1.6 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0184
8	600	1.8 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0207
9	500	2.0 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0192
				0.2057

6'487,320 m³/año

PEQUEÑOS PROPIETARIOS

ENTRADAS

Canal	Ancho B (m)	Gradiente (i)	Transmisividad T (m ² /s)	Gasto Q=Bit (m ³ /s)
1	2600	1.25 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0624
2	2200	1.25 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0528
3	2500	1.42 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0682
				0.1835

5'788,464 m³/año

SALIDAS

Canal	Ancho B (m)	Gradiente (i)	Transmisividad T (m ² /s)	Gasto Q=Bit (m ³ /s)
1	1600	1.25 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0384
2	1700	1.11 x 10 ⁻³	19.22 x 10 ⁻³	0.0362
3	1700	9.09 x 10 ⁻⁴	19.22 x 10 ⁻³	0.0297
				0.1044

3'292,358 m³/año

Tabla IV.7.2.

Donde:

$$E_h = 14.90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$B = 11.09 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\Delta V = 1.88 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$S = 0.062$$

$$R_v = (\Delta V.S) - E_h + B$$

$$R_v = 0.116 - 14.19 \times 10^6 + 11.09 \times 10^6$$

$$R_v = -2.98 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Este resultado se considera ilógico, por lo que se desechó la hipótesis de que únicamente existían entradas horizontales al subsistema y la formación de un cono de abatimiento.

Alternativa b) Se consideró que no había cono de abatimiento y al no contar con datos para evaluar las salidas horizontales, se supuso que únicamente se tomarían en cuenta las entradas por flujo horizontal, así, la ecuación toma la siguiente forma:

$$E_h + R_v - B = \Delta V.S$$

Donde:

$$E_h = 7.69 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$B = 11.09 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\Delta V = 1.88 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$S = 0.062$$

$$Rv = (\Delta V.S) - Eh + B$$

$$Rv = 0.116 - 7.69 + 11.09$$

$$Rv = 3.516 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Este resultado se considera lógico, tomando en cuenta que existe una alta evaporación potencial en el área y una baja precipitación en el valle directamente.

Concluyendo, resulta que la recarga total en esta área es del orden de $11.20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, en tanto que la descarga total es del orden de $11.09 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, que resulta congruente, ya que se presentó una recuperación de niveles y posiblemente, la diferencia existente entre los valores de recarga y descarga se justifique por las salidas horizontales que no fue posible evaluar.

En el caso de Pequeños Propietarios, las entradas y salidas horizontales al subsistema, pudiendo calcularse sin problema, por lo que se planteó la siguiente ecuación:

$$Eh + Rv - (B + Sh) = \Delta V.S$$

Donde:

$$Eh = 5.788 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$B = 15.55 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Sh = 3.292 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\Delta V = 12.18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$S = 0.062$$

$$Rv = (\Delta V.S) - Eh + (B+Sh)$$

$$Rv = (0.755) - 5.788 + 15.55 + 3.292$$

$$Rv = 13.809 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Con base en este resultado, se estima que esta porción recibe una recarga total del orden de $19.60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ y está sujeta a una descarga total del orden de $18.84 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ la diferencia que existe entre los valores mencionados, al igual que en el área de Gustavo Díaz Ordaz, puede considerarse resultado de la recuperación de niveles para el período calculado.

IV.8. Consideraciones sobre la disponibilidad del recurso hídrico

Con el fin de conocer la disponibilidad del recurso hídrico en las áreas de Gustavo Díaz Ordaz y Pequeños Propietarios, se hicieron los siguientes cálculos:

- 1) Gustavo Díaz Ordaz. Se consideró un área de 30 km^2 , un espesor saturado del acuífero de 50 m y un coeficiente de almacenamiento de 0.062, con lo que se obtuvo un volumen almacenado de 93 millones de m^3 .

Los abatimientos anuales promedio se han calculado

do en 0.42 m. El volumen de recarga que recibe esta área es de 11.20 millones de m^3 al año y la descarga de 11.09 millones de m^3 al año.

2) Pequeños Propietarios. Al igual que en el caso anterior, se tomó en cuenta un área de 104 km^2 , un coeficiente de almacenamiento de 0.062 y un espesor saturado de acuífero de 50 m, con lo que se obtuvo un volumen almacenado de 322.4 millones de m^3 .

Es muy importante tener presente, que en la medida con que se cuente con registros piezométricos confiables y completos, pruebas de bombeo en las áreas de recarga y descarga, cortes litológicos, etc. el modelo conceptual de funcionamiento del sistema estará más apegado a la realidad. Por esta razón, no se cree conveniente extrapolar a otras áreas en actual explotación en el Valle de Vizcaíno, los resultados obtenidos para los subsistemas de Gustavo Díaz Ordaz y Pequeños Propietarios, ya que además, presentan condiciones muy particulares como las tratadas a lo largo de este trabajo.

No obstante los resultados ya mencionados, y que a primera instancia parecieran muy favorables, en cuanto a volumen almacenado en las porciones evaluadas, el principal problema que se presenta en el Valle de Vizcaíno es la salinidad por lo que al profundizar el nivel del agua, ésta se irá

degradando paulatinamente. En 1974, las concentraciones de sólidos totales disueltos más elevadas llegaban apenas a las 1000 p.p.m. y actualmente, casi son de 2000 p.p.m., además de las concentraciones de cloruros y sulfatos, también elevadas. Hay que tener muy presente la génesis geológica del área, pues en la porción central del valle es en donde se localizan sedimentos de origen marino, en especial la cercanía de Guerrero Negro con la Laguna Ojo de Liebre conectada al mar, hace que dicha zona sea la que más probabilidades tiene de deterioro de calidad del agua.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En el Valle de Vizcaíno existen 233 aprovechamientos de los cuales, 157 son pozos profundos y 76 son norias.
2. De acuerdo a las diversas fuentes, el volumen aproximado de extracción en todo el valle es de 40 millones de m³ al año, principalmente para uso agrícola, y en menor cantidad para uso doméstico e industrial.
3. El acuífero es de tipo granular, formado por arenas, gravas, arcillas y limos de origen marino y continental.
4. El espesor promedio del acuífero es de 50 m.
5. La zona de recarga del sistema se localiza en la porción intermontana entre el valle y la Sierra de San Francisco.
6. Las salidas o descargas del sistema tienen lugar por bombeo, y en mínima cantidad, por salidas horizontales.
7. La dirección de flujo es noreste-suroeste, paralela a la dirección del Arroyo San Pablo, cuyo cauce actúa como dren de infiltración. El gradiente hidráulico promedio es de 1.31 al millar.
8. La calidad del agua actualmente sobrepasa las 1,000 p.p.m. de STD y llega casi a las 2,000 p.p.m. de STD .

9. Los abatimientos anuales promedio varían entre 0.10 y 0.42 m , dependiendo de la zona en cuestión.
10. Con base en los resultados del balance de aguas subterráneas, el área de Gustavo Díaz Ordaz recibe una recarga total de 11.20 millones de m^3 al año, una descarga total anual de 11.09 millones de m^3 y se ha calculado un volumen almacenado de 93 millones de m^3 .
11. Con base en los resultados del balance de aguas subterráneas, el área de Pequeños Propietarios (centro) recibe una recarga total de 19.60 millones de m^3 al año, una descarga total anual de 18.84 millones de m^3 y se ha calculado un volumen almacenado de 322.4 millones de m^3 .
12. No se considera pertinente extrapolar los resultados obtenidos con base en los balances de aguas subterráneas en los subsistemas de Gustavo Díaz Ordaz y Pequeños Propietarios, a otros centros de explotación por falta de elementos que permitan dicha correlación.
13. No obstante los resultados ya mencionados, y que a primera instancia parecieran muy favorables por lo que respecta al volumen almacenado en las porciones evaluadas, el principal problema que presenta el Valle de Vizcaíno es la salinidad, por lo que al profundizar el nivel del agua, ésta se irá deteriorando paulatinamente.

Recomendaciones

1. Evitar la autorización para efectuar perforaciones con fines agrícolas.
2. Adoptar un control riguroso de los volúmenes de extracción, con el objeto de hacer un uso racional del recurso.
3. Realizar perforaciones exploratorias en las zonas donde no haya aprovechamientos, para conocer la interrelación entre los centros que actualmente están en explotación.
4. Detallar cuidadosamente los cortes litológicos producto de perforaciones, con el fin de correlacionarlos con las unidades litológicas detectadas de acuerdo a la geología y geofísica del área.
5. Establecer una numeración progresiva para los aprovechamientos en todo el valle y tener un control de los aprovechamientos que se encuentran en operación, fuera de uso, sin equipo, etc.
6. Establecer una red de pozos piloto.
7. Efectuar un muestreo sistemático de agua para análisis físico-químicos, al menos dos veces al año (en época de secas y de lluvias). Al mismo tiempo llevar a cabo la medición de niveles estáticos y dinámicos.

8. Realizar pruebas de bombeo de larga duración en aprovechamientos distribuidos homogéneamente en todo el valle.
9. Hacer una labor de concientización, para que el personal técnico realice las actividades de campo en forma cuidadosa.
10. Con lo anteriormente mencionado, seguramente podrán efectuarse análisis hidrogeológicos a nivel regional para el Valle de Vizcaíno, que lleve a la confirmación de las hipótesis aquí planteadas o a la modificación de las mismas, para un mejor conocimiento del sistema acuífero, y en consecuencia de la planeación del recurso hídrico.

REFERENCIAS CITADAS

- (1) SRH, 1974, Estudio Geohidrológico del Valle de Vizcaíno, Territorio de Baja California Sur, Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., México, p.p. 1-3 a 1-4
- (2) SARH, 1984, Valle de Vizcaíno, Archivo de la Residencia de Geohidrología, La Paz, Baja California Sur, México.
- (3) SRH, 1976, Atlas del Agua de la República Mexicana, México, p.p. 17-19
- (4) SARH, 1980, Análisis Agropecuario del Estado de Baja California Sur, Subsecretaría de Agricultura y Operación, Dirección General de Economía Agrícola, México, p. 16
- (5) Ibídem, p. 14
- (6) Phleger, B.F., 1969, " A Modern Evaporite Deposit in Mexico ", Bull., 53.824-829, Amer. Assoc. Petroleum Geologists, EE.UU.
- (7) Moore, E.T., 1979, "Geologic Summary of the Sierra de San Andres Ophiolite", Baja California Geology, Department of Geology Sciences, San Diego State University, EE.UU., p. 95
- (8) SRH, Atlas del Agua..., op. cit. p. 168

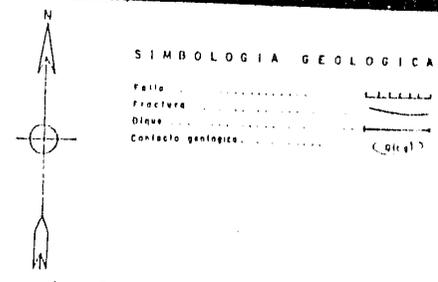
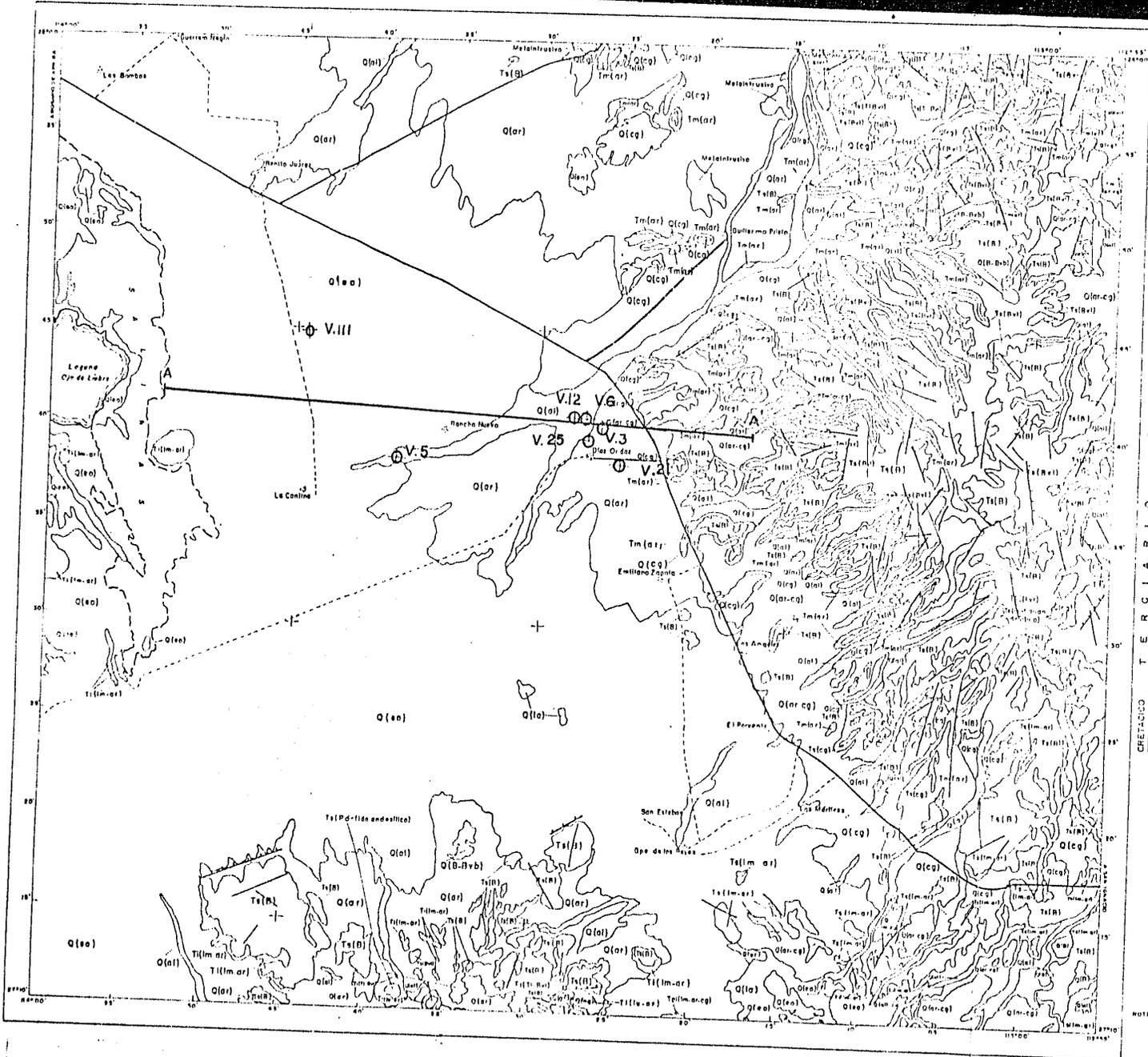
- (9) SPyP, 1984, Reporte Preliminar de la Carta Geológica Santa Rosalía, México, p. 7
- (10) Ibídem, p. 32
- (11) Mina, U.F., 1956, Bosquejo Geológico de la Parte Sur de la Península de Baja California, International Geol. Congress 20th, p. 165
- (12) López Ramos, E., 1979, Geología de México, Tomo II, 1a. Edición de la Secretaría de Educación Pública, México p. 35
- (13) Mina, U.F., Bosquejo Geológico... op. cit. p. 166
- (14) Ibídem, p. 174
- (15) Ibídem, p. 172
- (16) Ibídem, p. 178
- (17) Carrillo de Isolbi, G., 1976, Geología Regional Semidetallada del Prospecto San Ignacio Cadejé, Baja California Sur, Tesis Profesional, UNAM, México, p. 92
- (18) Serrano, A.A., 1982, Estudio Geológico de Detalle Estratigráfico de la Formación Bateque en las Hojas G12-A42, G12-A43, G12-A44, G12-A53, G12-A54, G12-A63, G12-A64, G12-A65, G12-A74, (Detenal), Estado de Baja California Sur, Tesis Profesional, UNAM, México, p. 97

- (19) Lozano R.F., 1975, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Volumen XXVII, Números 7-9 y 4-6 julio-septiembre, México, p, 128
- (20) Ibídem, p. 162
- (21) Gastil, Gordon, 1975, Reconnaissance of the State of Baja California, The Geological Society of America, INC. Memoir 140, Printed in the United States of America, EE.UU., p. 137
- (22) SPYP, _____, Geología de la Región Noroeste de México, México, p. 14
- (23) _____, 1980, "Geoquímica del Agua Subterránea", Exploración, Cuantificación y Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos Subterráneos, División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, p. 12
- (24) SARH, 1984, Registros Piezométricos del Valle de Vizcaíno, Archivo de la Residencia de Geohidrología, La Paz, Baja California Sur, México.
- (25) SARH, 1984, Pruebas de Bombeo del Valle de Vizcaíno, Archivo de la Residencia de Geohidrología, La Paz, Baja California Sur, México.

- (26) Chávez, G.R., 1981, "Conceptos Básicos Relativos al Estado del Agua Subterránea", Exploración Cuantificación, y Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos Subterráneos, División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, p. 10
- (27) SRH, Estudio Geohidrológico.... op. cit. p. VI-14
- (28) Chávez G.R., 1981, "Evaluación de Recursos de Aguas Subterránea", Exploración, Cuantificación y Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos Subterráneos, División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, pp. 3-7

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

1. Castany, G., 1971, Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas, Ediciones Omega, S.A. Casanova 220-Barcelona - 11, 672p.
2. DeWiest, Roger J.M., 1965, Geohydrology, John Wiley & Sons, Inc., New York-London-Sydney, 366p.
3. Frizzell, Virgil, A., 1984, Geology of The Baja California Península, The Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles California, U.S.A. 273 p.
4. Hamilton, Warren, 1961, "Origen of the Gulf of California", Geol. Soc. American Bull. 72, No. 9, p. 1307-1318.
5. Krauseman, G.P. y De Ridder, N.A., 1975, Análisis y Evaluación de los Datos de Ensayos de Bombeo, Boletín IIS, México, 212p.
6. Ortlieb, Luc, 1978, "Reconocimiento de las Terrazas Marinas Cuaternarias en la Parte Central de Baja California", Univ. Nal. Autón. México, Revista vol. 2, Núm. 2, Instituto de Geología UNAM, pp 200-211.

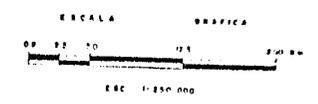


L E Y E N D A

Q(ar)	Aluvión
Q(or)	Aluvión Permeable Arenisco
Q(ar-cg)	Arenisco-conglomerado
Q(cg)	Conglomerado Permeable
Q(eo)	Esencia
Q(la)	Lacustria Semi-permeable
Q(Salinas)	Salinas
Q(B)	Basalto
Q(B-Bvb)	Basalto-Brecha volcánica bien impermeable
Ts(B-Bvb)	Tobacaterado-Brecha volcánica intemperada impermeable
Ts(B)	Basalto impermeable
Ts(lm-ar)	Limolita-gresaca impermeable
Ts(pedregal andesítico)	Pedregal andesita
Ts(Ti-B)	Tobacaterado Brecha volcánica intemperada
Ts(cg)	Conglomerado
Ts(Bv)	Brecha volcánica intemperada
Ts(ar)	Arenisco
Ts(ar-cg)	Arenisco conglomerado impermeable
Ts(lm-ar)	Limolita arenisca impermeable
M(Melantrusivo)	Melantrusivo
R(G)	Rocas Graníticas Impermeable

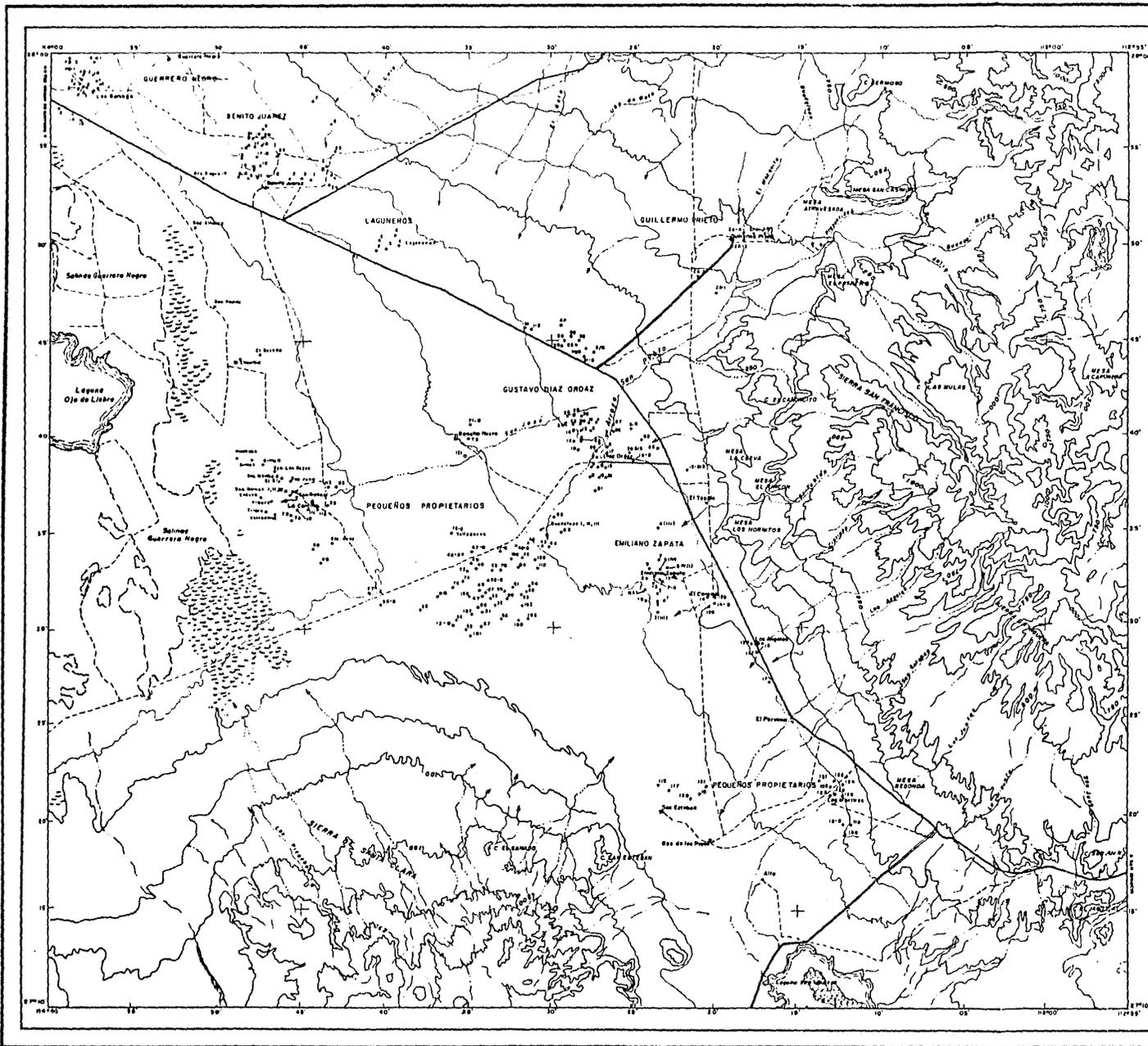
S I M B O L O G I A

Corriente Pavimentada
Brecha
Línea de Sección
Cortas Litológicas



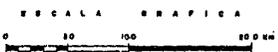
NOTA: Elaboración de este plano geológico por el Ing. José María Rodríguez y el Ing. José María Rodríguez.

FACULTAD DE INGENIERIA
U N A M
Plano Geológico
POSUBIRA E HIDRALFE 1957
1958 - HOJAS 1000 PLANO No. 1000



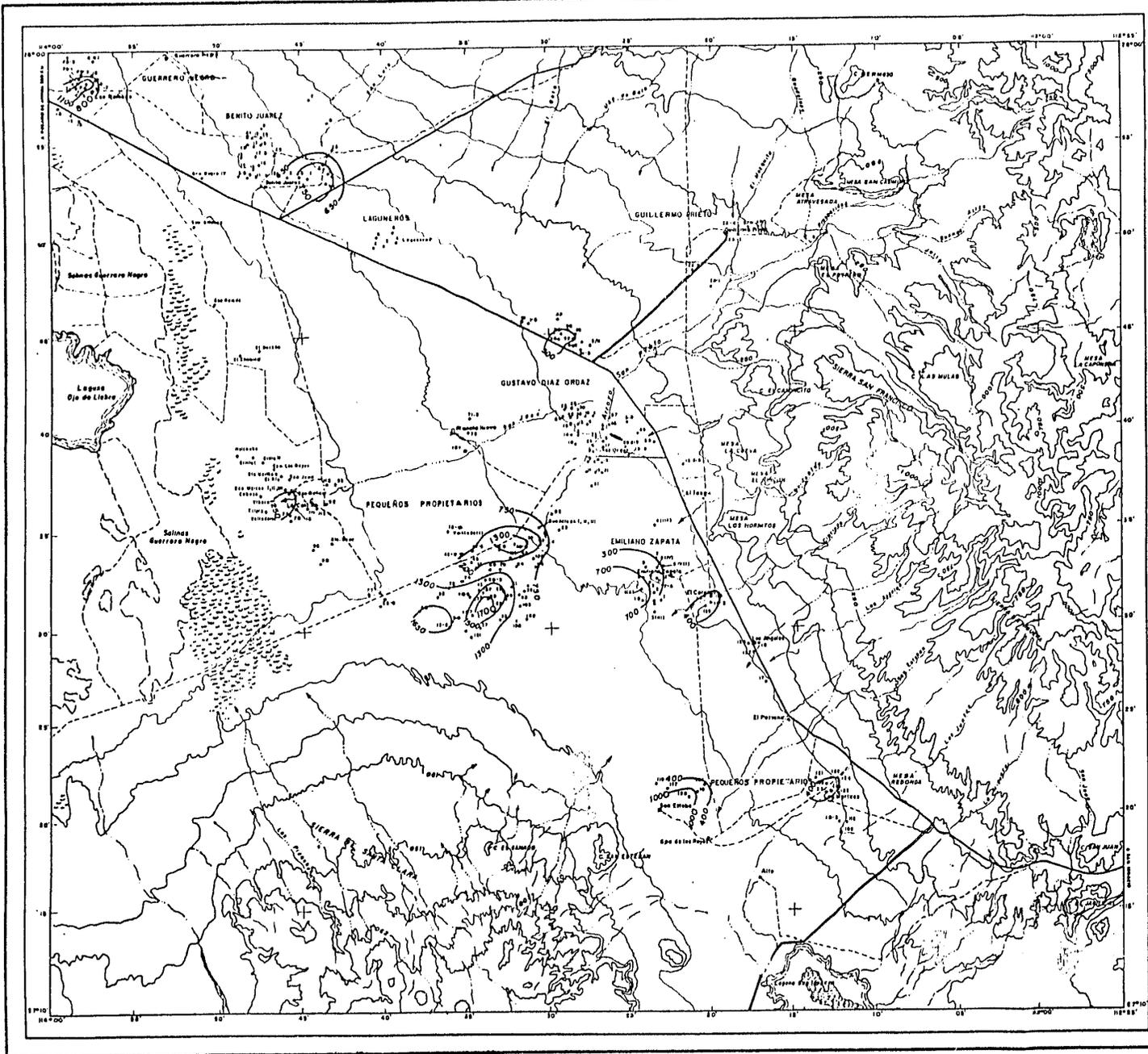
S I M B O L O G I A

- Carretera pavimentada
- Gracho
- Poblado
- Arroyo
- Dunas
- Zona de inundación
- Carre de anjal
- Pase por ferrocarril
- María



E. S. C. 1:200 000

FACULTAD DE INGENIERIA	
U N A M	
LOCALIZACIÓN DE APROVECHAMIENTOS	
ROSALBA E. MORALES PEREZ	
TESIS PROFESIONAL, 1989	PLANO No. IV.2.1.

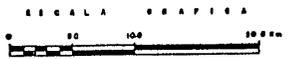


L E Y E N D A

CURVA DE IGUAL CONCENTRACION DE
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS EN
PARTES POR MILLON (STO p.p.m.) —500—

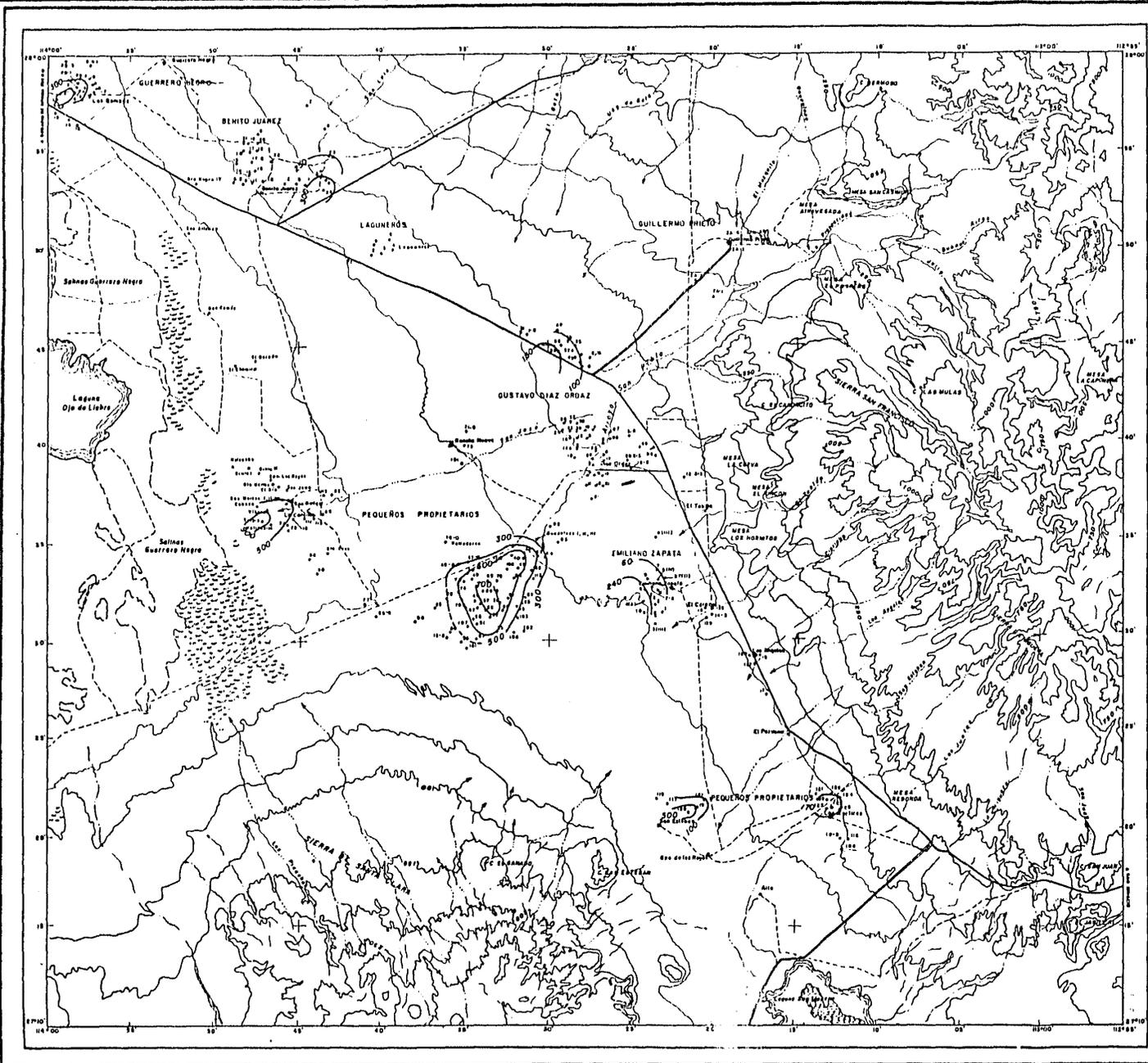
S I M B O L O G I A

- Carrilera pavimentada. ————
- Brazo. - - - - -
- Poblado. h
- Arroyo. ~~~~~
- Dunas. [Symbol]
- Zona de inundación. [Symbol]
- Curva de nivel. [Symbol]
- Pozo perforado. [Symbol]
- María. [Symbol]



E.S.G. 1:500000

FACULTAD DE INGENIERIA	
U N A M	
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS EN PARTES POR MILLON (MARZO-JUNIO 1983)	
ROSALBA E. MORALES PEREZ	
TECNOLOGIA PROFESIONAL. 1983	PLANO No. IV. 3. 1



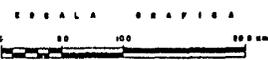
L E Y E N D A

CURVA DE IGUAL CONCENTRACION DE CLORUROS EN PARTES POR MILLON

(Cl⁻ p.p.m.) 50

S I M B O L O G I A

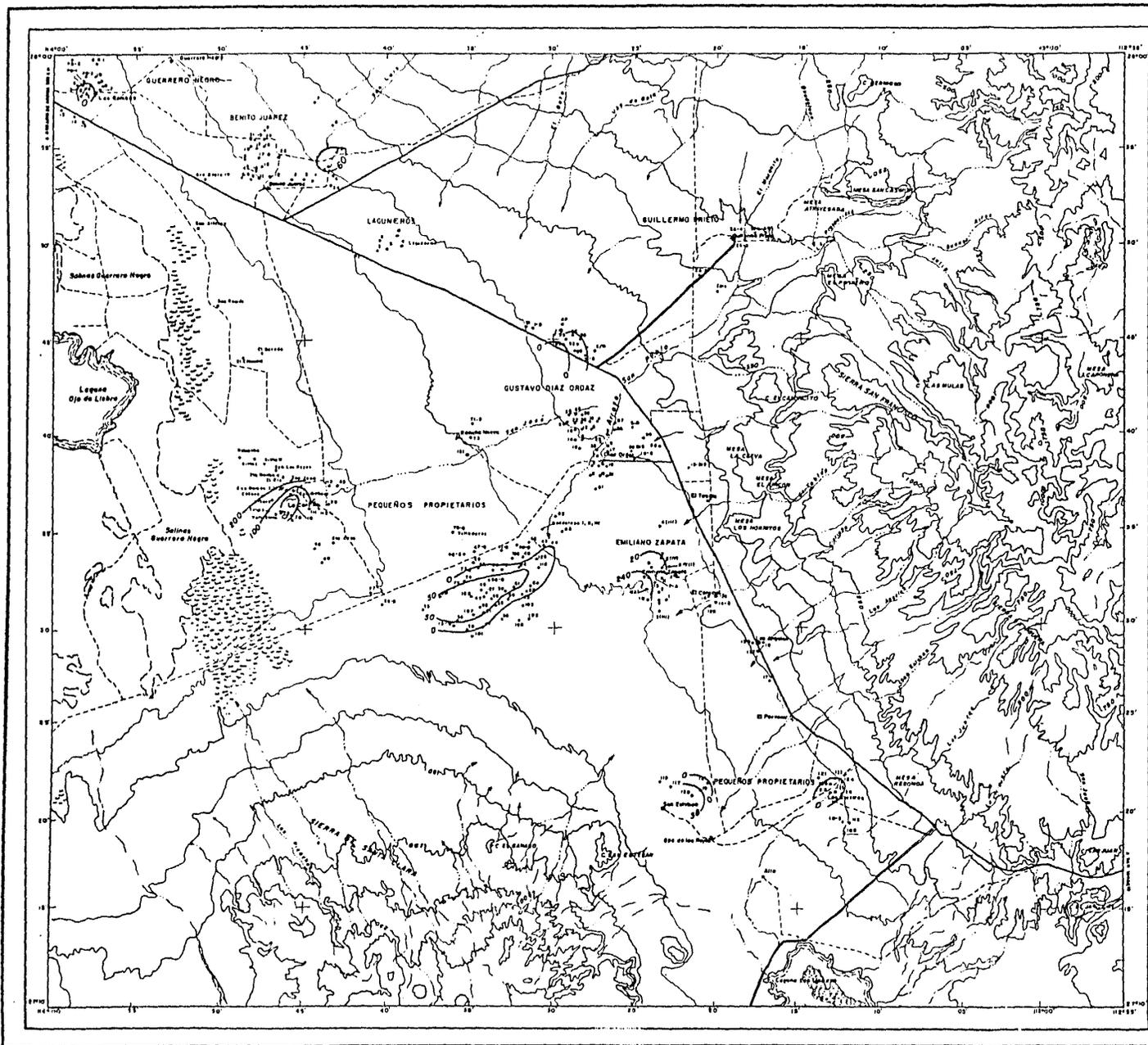
- Carretera pavimentada
- Bracho
- Poblado
- Arroyo
- Dunas
- Zona de inundación
- Corte de nivel
- Pozo perforado
- Monte



E S C A L A G R A F I C A

1:500,000

FACULTAD DE INGENIERIA	
U N A M	
CLORUROS EN PARTES POR MILLON	
(MARZO - JUNIO 1983)	
ROSALBA E. MORALES PEREZ	
1983 PROFESIONAL. 1988	PLANO N. IV 1 B

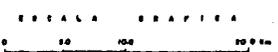


L E Y E N D A

CURVA DE IGUAL CONCENTRACION DE SULFATOS EN PARTES POR MILLON (SO₄ = P.P.M.) 40

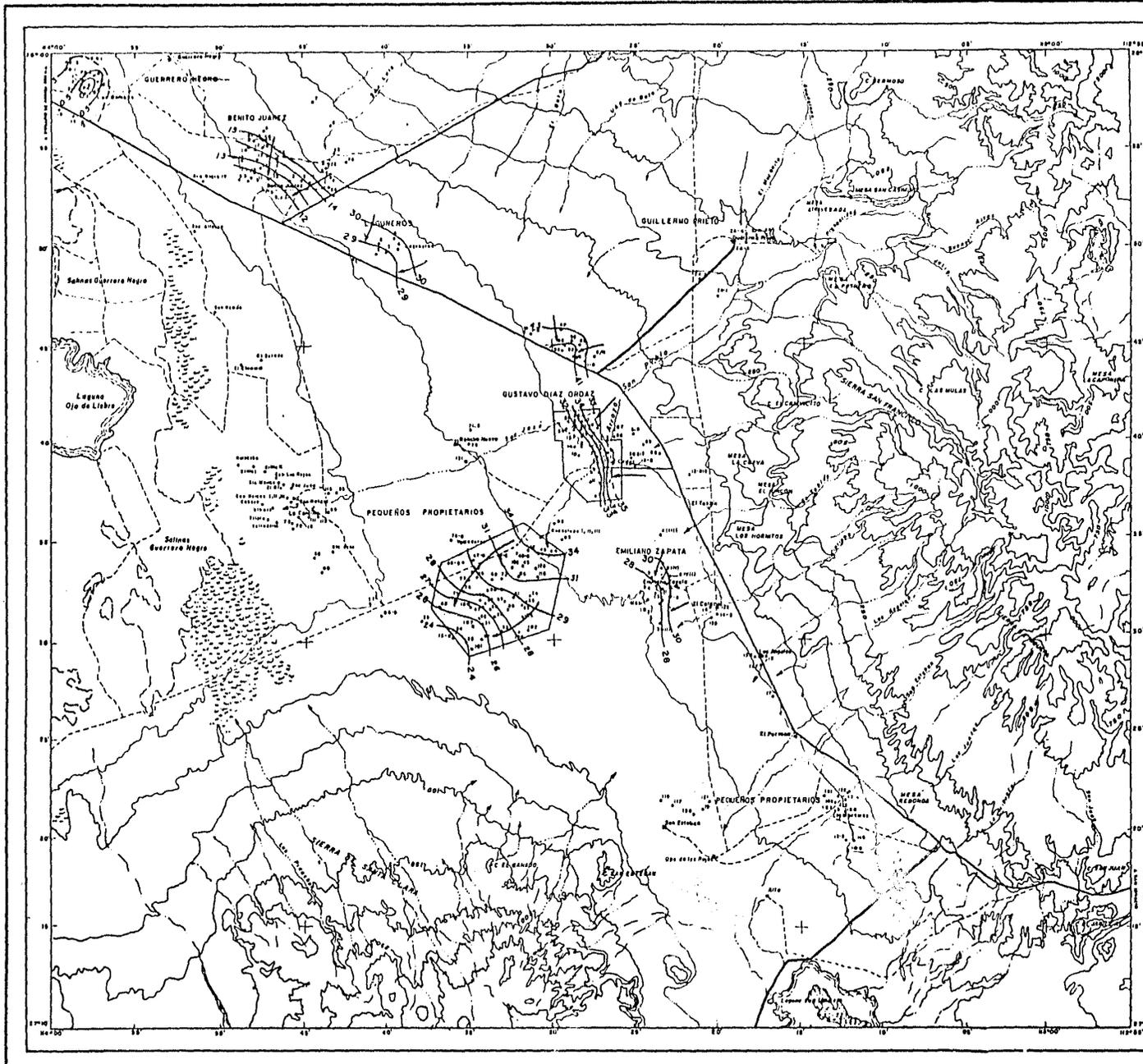
S I M B O L O G I A

- Carretera pavimentada
- Bruche
- Poblado
- Arroyo
- Dunas
- Zona de inundación
- Curva de nivel
- Pozo perforado
- María



E. S. C. 1: 250 000

FACULTAD DE INGENIERIA U N A M
SULFATOS EN PARTES POR MILLON (MARZO - JUNIO 1983)
ROSALBA E. MORALES PÉREZ
TERCER PROFESIONAL, 1986 PLANO N.º IV.3.3



L E Y E N D A

- EQUIPOTENCIAL (m s n m) 30
- DIRECCION DE FLUJO
- AREA DE BALANCE
- AREA PARA EL CALCULO DE VOLUMEN POR FLUJO HORIZONTAL

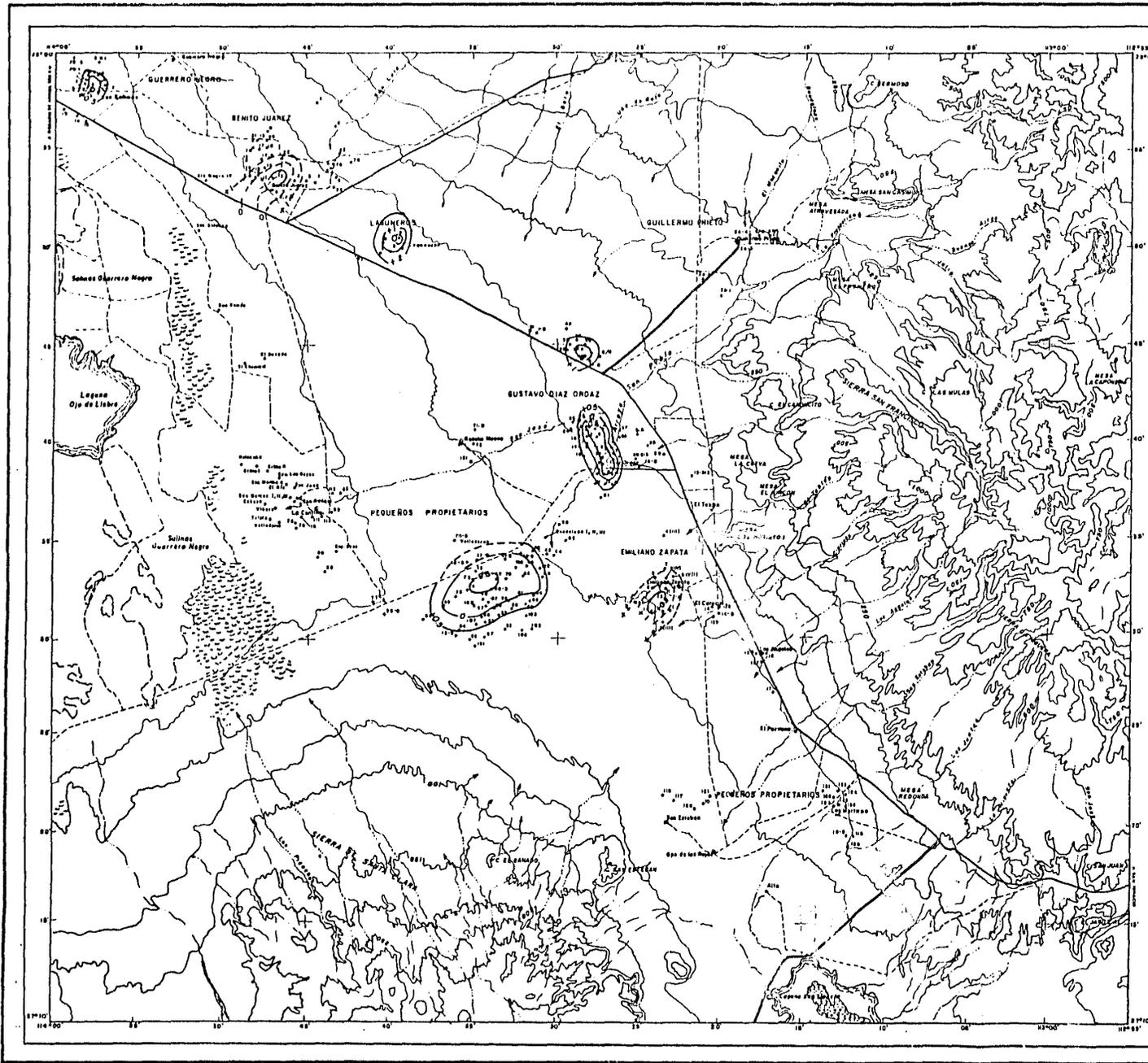
S I M B O L O G I A

- Carretera pavimentada
- Brecha
- Poblado
- Arroyo
- Dunas
- Zona de inundación
- Curva de nivel
- Pozo perforado
- María



E.S.C. 1:500,000

FACULTAD DE INGENIERIA
U N A M
ELEVACION DEL NIVEL ESTÁTICO (DICIEMBRE 1983)
ROSALBA E. MORALES PÉREZ
TÉRMINO PROFESIONAL. 1988 PLANO No. IV 4.1

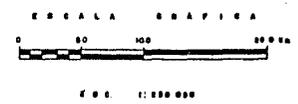


L E Y E N D A

EVOLUCION DE NIVEL ESTATICO
m a n m. — 20 —

S I M B O L O G I A

- Carretera pavimentada.....
- Brecha.....
- Poblado.....
- Arroyo.....
- Dunas.....
- Zona de inundación.....
- Curva de nivel.....
- Pozo perforado.....
- María.....



FACULTAD DE INGENIERIA U N A M
EVOLUCION DE NIVEL ESTATICO (NOVIEMBRE 1982-DICIEMBRE 1983)
ROSALBA E. MORALES PEREZ
TITULO PROFESIONAL. 1988 PLANO No. V.4.2