

18
Zej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Escuela Nacional de Estudios Profesionales
" Acatlán "

ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA EL
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
AL DESARROLLO PALMIRA LA PAZ, B.C.S.

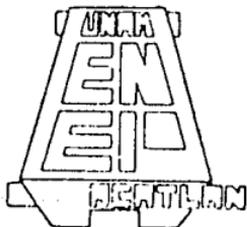
T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

present

ZEUS DAVID MUÑOZ LUNA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México 1990



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

PAGS.

CAPITULO I

INTRODUCCION

A.- Antecedentes	1
B.- Objetivos	2
C.- Localización y vías de comunicación	2
D.- Descripción de actividades	3
D.1 Recopilación e interpretación de la información disponible	3
D.2 Actualización del censo de aprovechamientos de agua subterránea	5
D.3 Reconocimientos geohidrológicos de campo	5
D.4 Análisis químicos	5
D.5 Procesamiento e interpretación de resultados...	6

CAPITULO II

HIDROGEOLOGIA

Introducción	7
A.- Materiales granulares semicompactos y compactos, -- impermeables	7
B.- Aluviones permeables	8
C.- Materiales volcánicos impermeables	9

D.- Granitos y rocas metamórficas impermeables	9
--	---

CAPITULO III

GEOQUIMICA

Introducción	10
A.- Muestreo y análisis de agua subterránea	10
B.- Sólidos totales disueltos	11
C.- Evolución de la salinidad del agua	13
D.- Calidad de agua	14

CAPITULO IV

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

A.- Funcionamiento del acuífero	16
B.- Profundidad al nivel estático	17
C.- Abatimiento medio anual	17
D.- Elevación del nivel estático	18
E.- Extracción de agua subterránea	19
F.- Parámetros hidráulicos del acuífero	20
G.- Balance de agua subterránea	21

CAPITULO V

SELECCION DE SITIOS PARA PERFORACION DE POZOS

A.- Localización	24
B.- Demandas de agua potable	25

	PAGS.
C.- Diseño	26
D.- Efectos de la extracción del agua sobre el acuífero	26

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Conclusiones	28
2.- Recomendaciones	32

CAPITULO I

INTRODUCCION

A.- Antecedentes.

Tomando en cuenta las necesidades de vivienda de la ciudad de la Paz, en el estado de Baja California Sur, se ha planeado un gran desarrollo urbano al norte de ésta, en terrenos ubicados en la zona conocida como Palmira.

Dentro de los problemas a resolver para el Desarrollo Palmira, se encuentra el referente al abastecimiento de agua potable; proyectándose el suministro desde la nueva zona de captación y su construcción actualmente para la ciudad de la Paz y zonas circundantes, que garantizará el abastecimiento hasta el año 2010.

Con base en lo anterior, dentro de las actividades contenidas de dicho desarrollo urbano, se incluye un estudio geohidrológico tendiente a determinar el funcionamiento del acuífero y la localización de nuevos sitios para perforación de pozos que pudieran, en el futuro, ser necesarios para incrementar los caudales y así satisfacer las demandas que provoque el Desarrollo Palmira.

El presente estudio geohidrológico, incluye el método de trabajo, la descripción de actividades y las conclusiones y recomendaciones.

B.- Objetivos.

Los objetivos del estudio geohidrológico son los siguientes:

B.1 Definir alternativas para la obtención de agua en bloque que abastezca al Desarrollo Palmira.

B.2 Determinar la factibilidad de extraer agua subterránea de buena calidad a través de pozos.

B.3 Localizar el sitio o sitios más apropiados para la perforación de pozos, tanto como una fuente actual de agua, como para contar con lugares de reserva futura de donde se pueda incrementar la extracción.

B.4 Elaborar un diseño constructivo de los pozos, tomando en cuenta las características geohidrológicas de la zona, la intrusión salina y el gradual descenso de los niveles de bombeo.

B.5 Recomendar las políticas de extracción de agua más adecuadas, para evitar la intrusión salina.

B.6 Determinar los efectos que pudiera causar la extracción de agua subterránea y emitir una opinión sobre el comportamiento del acuífero en los próximos años.

C.- Localización y vías de comunicación.

El desarrollo Palmira se localiza al norte de la ciudad de

La paz, sobre la carretera que comunica a la ciudad con Pichilingue, y está limitada al oeste por la Bahía, al sur -- por la ciudad de la Paz y al norte y este por lomeríos que corresponden a estribaciones de la sierra.

La ciudad de la Paz se encuentra comunicada por medio de carreteras pavimentadas hacia el norte y el sur de la Península de Baja California. La comunicación con el resto del -- país se efectúa a través de transbordadores marítimos que comunican con Topolobampo y Mazatlán, así como por vía aérea a través del Aeropuerto de la Paz, el cual recibe -- vuelos nacionales e internacionales. En la Fig. I.1 puede verse la localización de la zona de estudio.

D.- ACTIVIDADES

Las actividades llevadas a cabo fueron: recopilación de la información disponible; actualización del censo de aprovechamiento de agua subterránea; reconocimientos geohidrológicos de campo; análisis químicos y procesamiento e interpretación de resultados. A continuación se hace la descripción de dichas actividades.

D.1. Recopilación e interpretación de la información disponible.

Se efectuó una recopilación de los datos geológicos y geohidrológicos existentes que se consideraron útiles --

para la realización del estudio. La recopilación se efectuó en oficinas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos tanto de la ciudad de la Paz, Baja California Sur, como de la ciudad de México; en la Universidad Autónoma de Baja California Sur y en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La información recopilada consistió en lo siguiente:

Estudio geohidrológico del Valle de la Paz, elaborado por la Compañía Técnicas Modernas de la Ingeniería en el año de 1974, el cual incluye observaciones piezométricas y un balance geohidrológico, haciéndose notar que para esa fecha la ciudad de la Paz contaba con la mitad de la población actual y una demanda de agua menor a la actual.

Datos sobre niveles estáticos en el período comprendido entre los años de 1970 a 1984, para los pozos piloto que controla la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Análisis químicos en los pozos piloto para diversas fechas comprendidas entre los años de 1970 y 1984.

Datos generales en el período 1979 - 1985 para el abastecimiento de la ciudad.

Resultados de pruebas de bombeo.

Localización de aprovechamientos en el Valle.

D.2 Actualización del censo de aprovechamientos de agua subterránea.

Los aprovechamientos de agua subterránea son los lugares a través de los cuales pueden obtenerse datos de los acuíferos. En el Valle de La Paz existen aprovechamientos que fueron censados en los años de 1974 y 1981 por lo que se consideró conveniente efectuar reconocimientos de campo a fin de localizar pozos nuevos, tanto para incrementar el conocimiento geohidrológico del acuífero, como para obtener datos más actualizados sobre la extracción.

Se localizaron nuevos aprovechamientos de los cuales se obtuvieron sus características constructivas y de operación. Un resumen de las características de los pozos se presenta en la Tabla I.D.

D.3 Reconocimientos geohidrológicos de campo.

Con el objeto de tener una idea del marco geológico en que se mueve el agua subterránea, se efectuaron reconocimientos geohidrológicos de campo los cuales se complementaron con datos de las perforaciones.

D.4 Análisis químicos.

El área de La Paz, B.C.S., presenta intrusión salina

de agua de mar, ocasionada por la extracción de agua subterránea en el Valle.

Para conocer la salinidad del agua, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha venido obteniendo y analizando muestras de agua. Mediante el presente trabajo se obtuvieron y analizaron 18 muestras de agua de pozos, en zonas que se consideró de interés, para complementar y actualizar el conocimiento hidrogeológico del Valle.

D.5 Procesamiento e interpretación de resultados.

Los datos obtenidos mediante las actividades anteriores fueron procesados con el fin de alcanzar los objetivos propuestos. En este trabajo se describen tanto las actividades efectuadas como el método de trabajo, los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones, cumpliendo así con el objetivo de este trabajo.

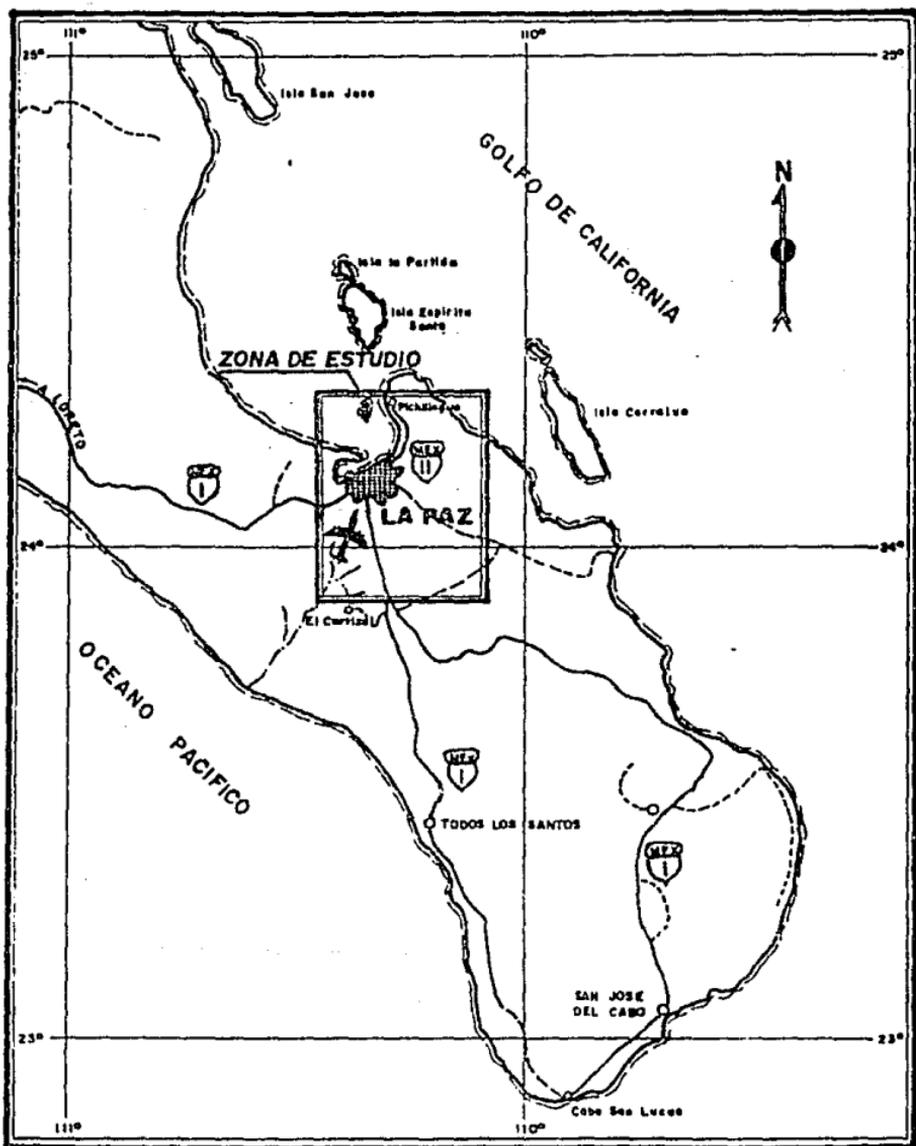


FIGURA N° 1.1.

CROQUIS DE LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

CARACTERISTICAS DE LOS POZOS CENSADOS

LA PAZ, B. C. S.

POZO No.	TIPO	PROF. TOTAL m.	N. E. m	CAUDAL lps.	COORDENADAS	
					LONGITUD OESTE	LATITUD NORTE
D-1	POZO	110	SECO	SECO	110° 19' 10"	24° 04' 15"
D-2	POZO	80	EN PERFORACION		110° 16' 40"	23° 56' 30"
D-3	NORIA	11	10.50	MANUAL	110° 23' 20"	24° 05' 30"
D-4	POZO	60	40.80	15	110° 24' 15"	24° 02' 00"
D-5	POZO	60	42.00	ABANDONADO	110° 22' 08"	24° 01' 40"
D-6	POZO	70	48.50	15	110° 19' 15"	24° 04' 25"
D-7	POZO	60	14.38	18	110° 23' 30"	24° 04' 40"

TABLA I.D.

CAPITULO II
HIDROGEOLOGIA

Introducción.

Dentro de la recopilación de información efectuada, no se contó con levantamientos geológicos del Valle de la Paz. Se tiene conocimiento de que la Universidad de Baja California Sur realiza este trabajo, en él, se presentará la distribución espacial de las diferentes rocas que afloran en el Valle.

Por otra parte, la Residencia de Geohidrología de la S.A.R.H. ha elaborado un plano fotogeológico sin verificación de campo, en el que informalmente delimita unidades de roca que afloran en la zona de trabajo.

Tomando en cuenta lo anterior, se efectuaron recorridos de campo a través de los cuales se obtuvo una idea de las rocas y materiales que existen en la zona, los cuales se comentan más adelante.

Las rocas que afloran en la región pueden dividirse en 4 grupos desde el punto de vista geohidrológico: Materiales granulares - semicompactos y compactos, impermeables; aluviones permeables; materiales volcánicos impermeables y granitos y rocas metamórficas impermeables

A.- Materiales granulares semicompactos y compactos, impermeables.

A lo largo de la zona costera entre la ciudad de la Paz y -

Pichilingue, se encuentran lomeríos constituidos por materiales granulares depositados en antiguas líneas de costa, los cuales tienen una granulometría variable. Se encuentran capas de boleos interestratificadas con capas de gravas y arenas finas. En general forman un conjunto de materiales granulares que varían de semicompactos a compactos y que se comportan como impermeables al flujo de agua subterránea. Se considera que podrían corresponder al período Terciario.

Hacia el interior del Valle de La Paz, principalmente en las estribaciones de la Sierra, se encuentran terrazas de materiales granulares constituidos por gravas, arenas y arcillas redondeadas y mal clasificadas, las cuales en ocasiones llegan a encontrarse semicompactadas. Geohidrológicamente estos materiales se comportan como impermeables al flujo subterráneo y solo ocasionalmente con baja permeabilidad.

B.- Aluviones permeables.

El Valle de La Paz se encuentra constituido por una serie de materiales granulares que varían en su textura desde boleos hasta arcillas, predominando las arenas finas. Estos materiales pueden observarse tanto en la superficie como en los cortes de las numerosas perforaciones que se han llevado a cabo, en los cuales se estima que alcanza espesores

res de hasta 350 metros. Presentan una buena permeabilidad y en ellos se aloja un acuífero que es recargado tanto por la infiltración de la lluvia que se precipita directamente sobre el Valle, como por los flujos subterráneos procedentes de las estribaciones.

C. - Materiales volcánicos impermeables.

En los lomeríos que se encuentran limitando gran parte del Valle de La Paz, en especial en la porción sur, se encuentra una serie de rocas riolíticas que alternan con tobas y aglomerados, los cuales se encuentran fracturados y alterados. Las fracturas que llegan a existir generalmente se encuentran rellenas de materiales arcillosos productos de la alteración de los feldespatos, lo que obtura los espacios vacíos y ocasiona que estas rocas funcionen como impermeables, y sólo en casos muy aislados lleguen a presentar zonas acuíferas.

D. - Granitos y rocas metamórficas impermeables.

La Sierra que se localiza al noreste del Valle de La Paz, está constituida por un gran batolito de rocas graníticas y metamórficas, en especial gneises, los cuales se presentan por lo general compactos y se comportan como impermeables al flujo de agua subterránea.

CAPITULO III

GEOQUIMICA

Introducción.

El agua que forma los acuíferos proviene de la lluvia, parte de la cual se infiltra y circula a través de las rocas que constituyen el subsuelo, disolviendo las sales que las forman e incrementando su contenido salino conforme avanza. La cantidad y tipo de sales disueltas está en relación directa con el tipo y solubilidad de las rocas con las cuales tiene contacto, así como las aguas saladas marinas. Tomando en cuenta lo anterior, se obtuvieron muestras de agua las cuales se analizaron químicamente y sus resultados conjuntamente con los datos químicos recopilados, correspondientes a años anteriores, fueron interpretados desde el punto de vista hidrogeológico.

A.- Muestreo y análisis de agua subterránea.

Se seleccionaron 18 aprovechamientos en cada uno de los cuales se obtuvo una muestra de agua en un envase de polietileno de 1 litro de capacidad, los cuales fueron llenados en su totalidad evitando la presencia de burbujas. Durante la toma de muestras se obtuvieron ciertas precauciones, como utilizar frascos limpios, enjuagarlos inicialmente con agua del aprovechamiento, además de anotar las características del sitio muestreado. Las muestras obtenidas fueron

enviadas al laboratorio en donde se les efectuó un análisis químico que incluyó la determinación de los siguientes parámetros: calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, sólidos totales disueltos, sodio, dureza total, dureza de calcio, dureza de magnesio, alcalinidad total y conductividad eléctrica. En la Tabla III.A se presentan los resultados de los análisis efectuados.

B.- Sólidos totales disueltos.

Los sólidos totales disueltos son la suma de los elementos que el agua ha incorporado en solución en su trayectoria. El agua dulce de los acuíferos generalmente presenta concentraciones de sales menores de 1,000 ppm, en contraste con el agua de mar la cual alcanza 35,000 ppm de sólidos totales disueltos. Debido a lo anterior, la contaminación del acuífero por agua de mar es claramente detectada con base en la concentración de sales.

Se recopiló información de análisis químicos efectuados en fechas anteriores de los cuales se obtuvieron los sólidos totales disueltos; estos son mostrados en la Tabla III.B. Con dichos valores se elaboraron configuraciones para los años de 1970, 1974, 1979 y 1983, las que se presentan en los Planos III.1 a III.4.

En la configuración correspondiente al año de 1970, se observa que en el Valle de La Paz las concentraciones fluctúan

tuaban entre 500 y 1,000 ppm de sólidos totales disueltos, localizándose las concentraciones más bajas tierra adentro y las más altas en una franja cercana a la línea de costa. Sólo algunos aprovechamientos costeros presentaban concentraciones salinas mayores de 1,000 ppm, que correspondían a puntos influenciados por la intrusión salina de agua de mar.

Para el año de 1974, la extracción de agua del Valle permitió la entrada del agua de mar hacia el acuífero, incrementando la salinidad de los pozos ubicados hacia la zona costera. En el Plano III.2 correspondiente a la configuración de 1974, se observa que en la parte central del Valle tomando como referencia el Aeropuerto Internacional, los valores de salinidad que años anteriores presentaban concentraciones entre 500 y 1,000 ppm, se incrementaron para - - 1974 entre 1,000 y 2,000 ppm de sólidos totales disueltos; hacia la costa fue factible delimitar la curva 2,500.

Para el año de 1979, fecha en la que se realizó un nuevo muestreo cuya configuración se presenta en el Plano III.3 se observa que la concentración salina del acuífero se incrementó respecto a los años anteriores. A la altura del Aeropuerto Internacional la salinidad varía entre 1,500 y 2,500 ppm de sales y hacia la línea de costa en especial entre Chametla y El Centenario, se observa una franja donde existe una área en que la intrusión ha avanzado más ra-

pidamente, por la mayor extracción de agua subterránea que se realiza en esta área, donde se llegan a detectar concentraciones salinas de más de 4,000 ppm de sólidos totales disueltos.

La configuración correspondiente a 1983, Plano III.4 presenta una distribución similar a la del año de 1979, al parecer por una disminución en la extracción de agua dentro del Valle.

Para el año de 1984 se perforaron nuevos pozos para el abastecimiento de la ciudad de La Paz, aproximadamente a 20 kilómetros al este de la línea de costa. Estos pozos han presentado desde su perforación concentración de sales de alrededor de 500 ppm, valor que aparentemente no ha sido influenciado por la intrusión salina, debido a la gran distancia que se encuentra respecto a la línea de costa.

C.- Evolución de la salinidad del agua.

Como pudo observarse en las configuraciones mencionadas en el inciso anterior, es claro y notorio el incremento salino que ha sufrido el acuífero debido a la intrusión de agua salada. Con el objeto de analizar dicho incremento, se graficó la salinidad del agua para cada aprovechamiento la cual se presenta en las gráficas de las Figuras III.C observándose la tendencia general al incremento salino. Este incremento no es uniforme, llegando a presentar varia-

ciones de un año a otro, sin embargo, afortunadamente se cuenta con un largo registro de observaciones a partir del cual se puede calcular la tendencia de salinización del acuífero, bajo la explotación a que ha estado sujeto. Si se toma en consideración la evolución de un sólo año, ésta podría acarrear errores, sin embargo, al tomar en cuenta el período 1970 - 1984, el incremento salino promedio es representativo de la tendencia de salinización con buena precisión.

A partir de la pendiente de las gráficas mencionadas, se obtuvo la evolución media anual de los sólidos totales disueltos en el acuífero, con los cuales se formó la configuración que se muestra en el Plano III.5. Los mayores incrementos se han presentado al sur del Aeropuerto Internacional, entre los pozos 248-B y 378-R, correspondiendo el incremento medio anual a 200 ppm.

La zona donde se ubican los pozos de abastecimiento de agua potable de la ciudad de La Paz, no se han visto afectados por incremento salino. Se considera que esta zona se encuentra muy lejana a la línea de costa.

D.- Calidad del agua.

Se clasificó el agua para uso potable de acuerdo con su contenido de sales totales como sigue:

Se consideró agua de buena calidad y apropiada para su uti

lización como potable, a la que presenta menos de 1,000 -- ppm de sólidos totales disueltos.

Se clasificó como agua de mediana calidad utilizable cuando no exista otra de mejor calidad, cuando presente entre 1,000 y 2,000 ppm de sólidos totales disueltos.

Se clasificó como agua de mala calidad y no apropiada para su utilización como potable, a la que presenta contenidos salinos mayores de 2,000 ppm de sólidos totales disueltos.

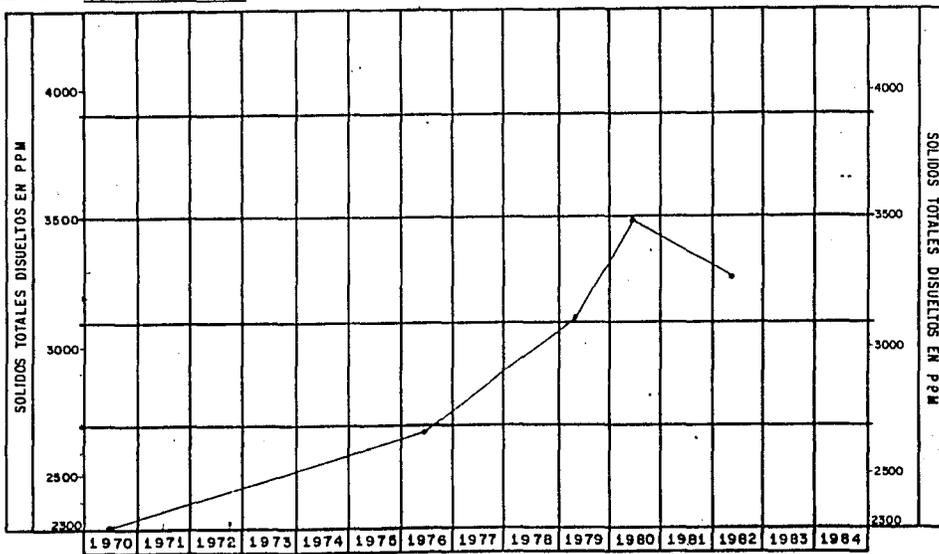
Tomando en cuenta la clasificación mencionada y la distribución de sales para el año de 1983, se formó el Plano III-6 en el que se delimitaron 3 zonas. La primera corresponde al área que presenta agua de buena calidad con concentraciones salinas menores de 1,000 ppm, ubicada en la zona de captación de agua potable para la ciudad y sus alrededores. La zona con agua de mediana calidad con un rango entre - - 1,000 y 2,000 ppm de sales, se localiza en una franja paralela a la línea de costa a la altura del Aeropuerto Internacional. La zona con agua de mala calidad que corresponde a la que presenta más de 2,000 ppm de sólidos totales disueltos, se encuentra en una franja de alrededor de 3 kilómetros de ancho a lo largo de la línea de costa, entre la ciudad de La Paz y el poblado de El Centenario.



VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 118

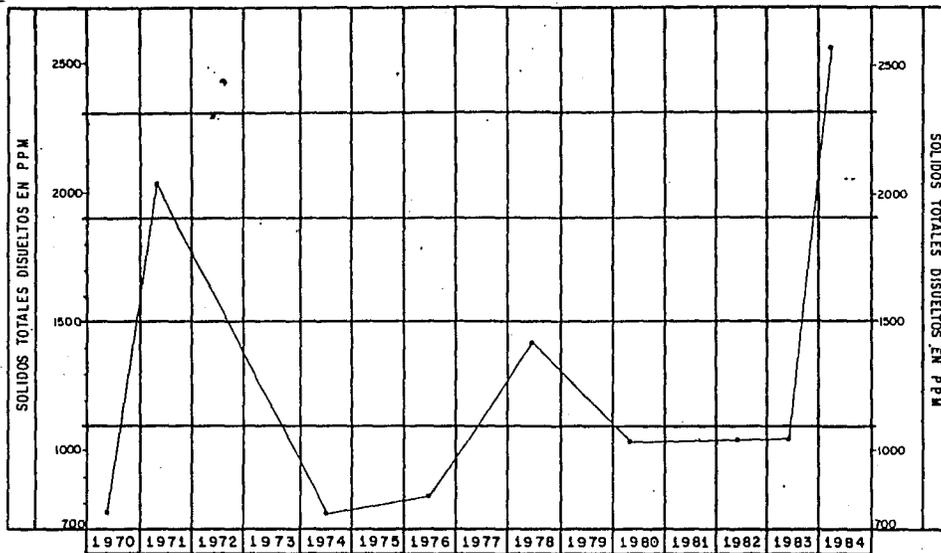




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 124-B

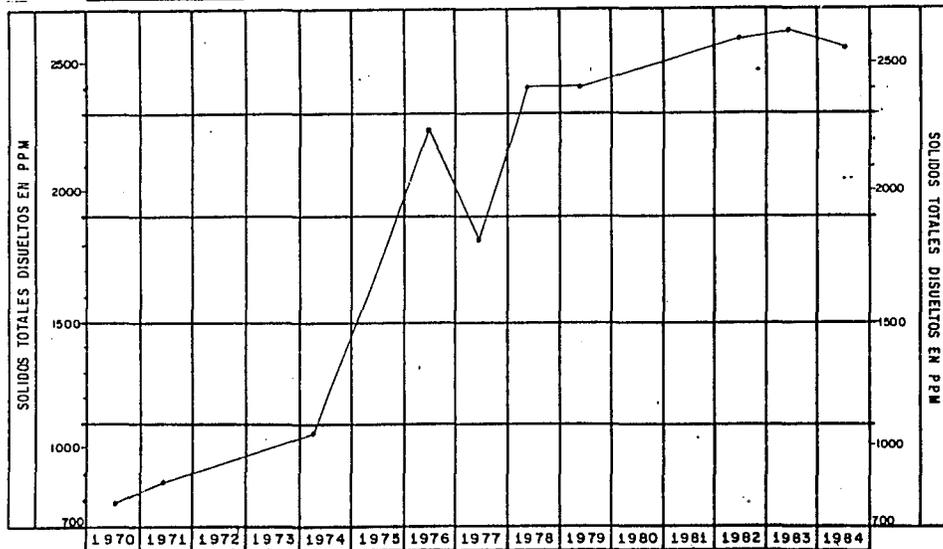




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 129-B

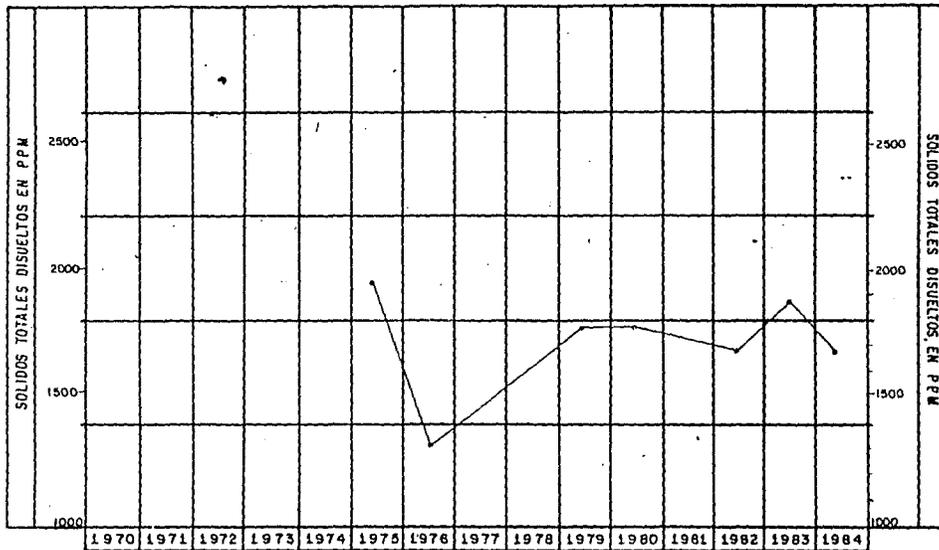




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 146

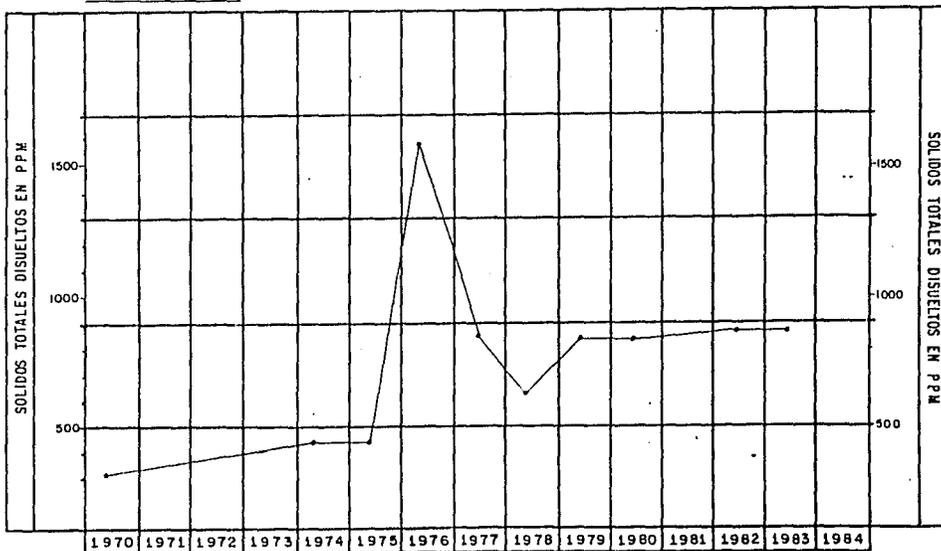




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C.

POZO N° 152

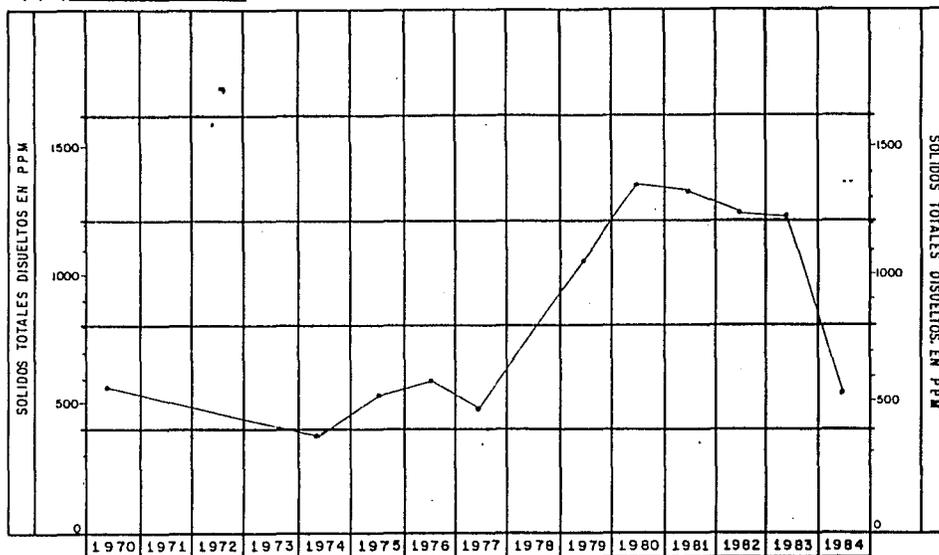




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 153

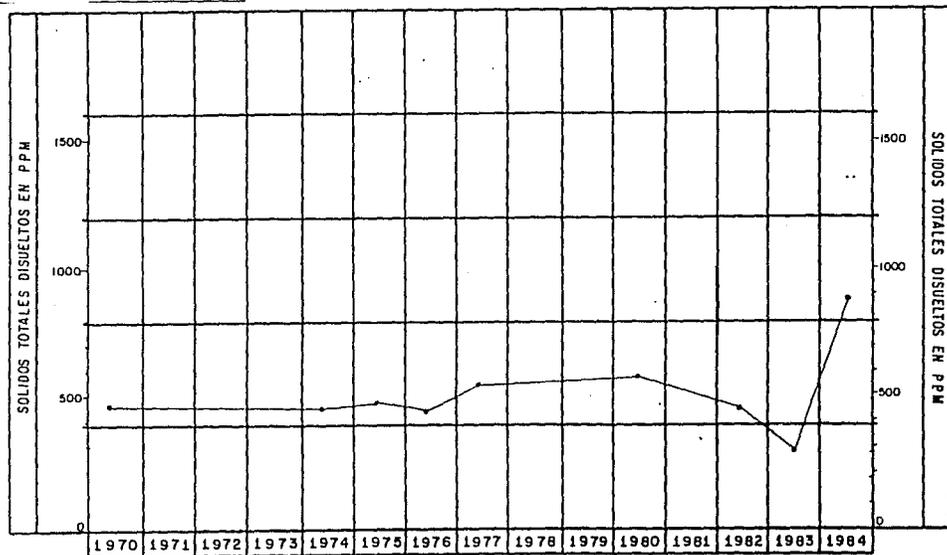




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

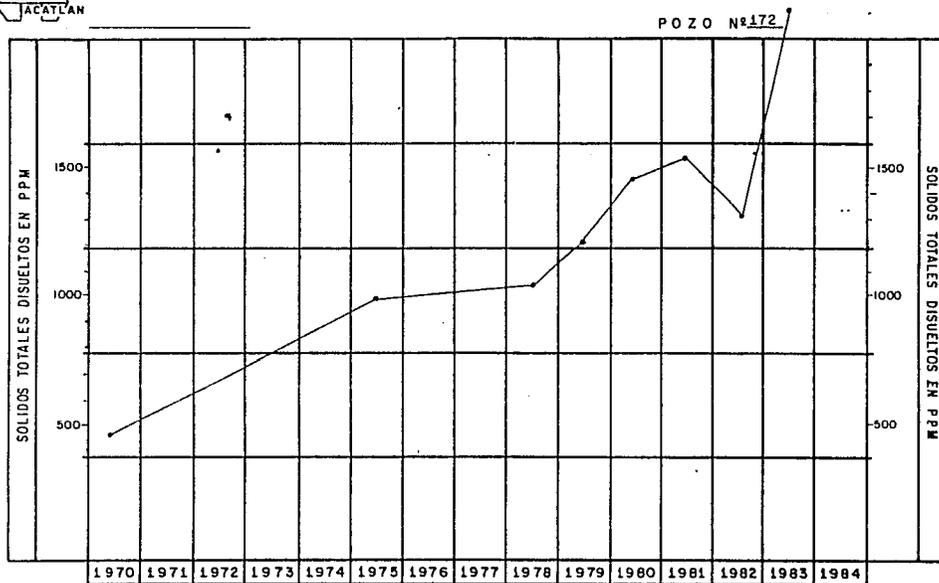
POZO N° 164





VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

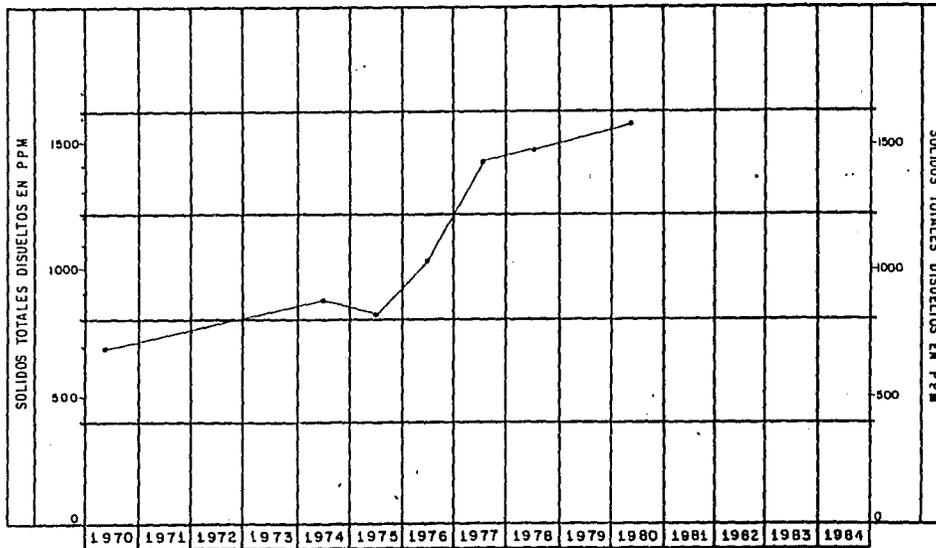




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 204

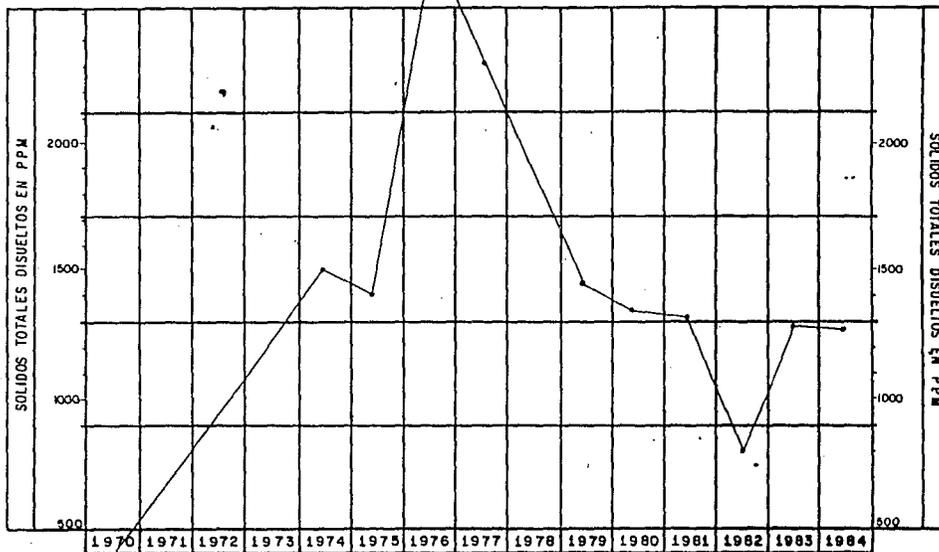




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 205

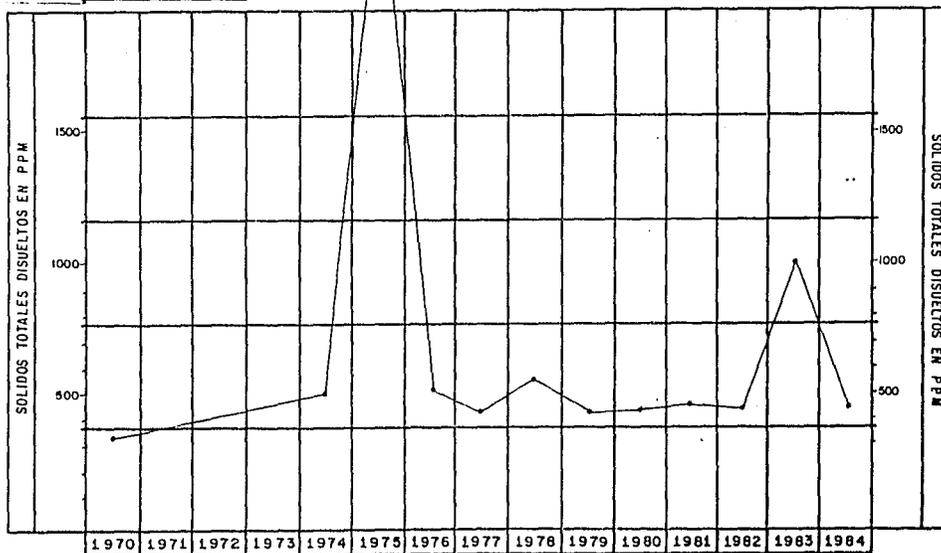




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 206

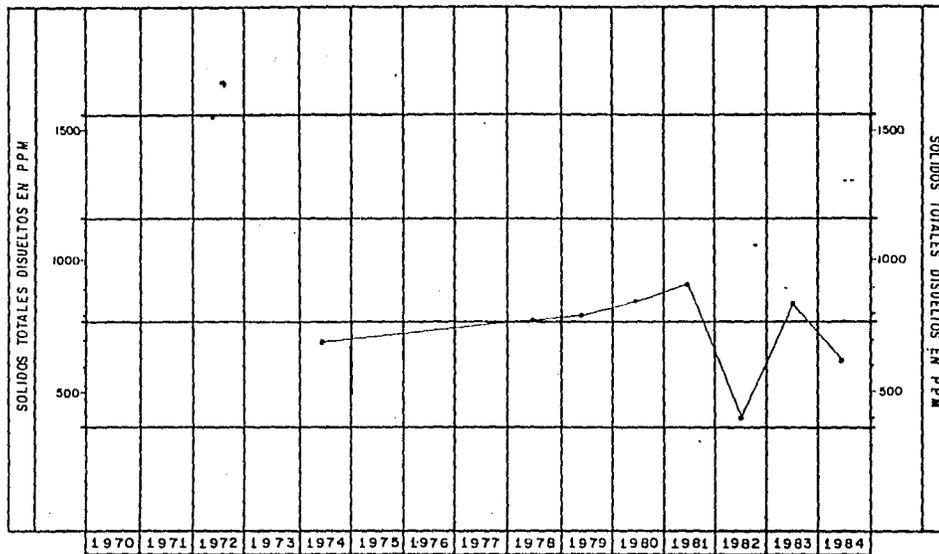




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 207-B

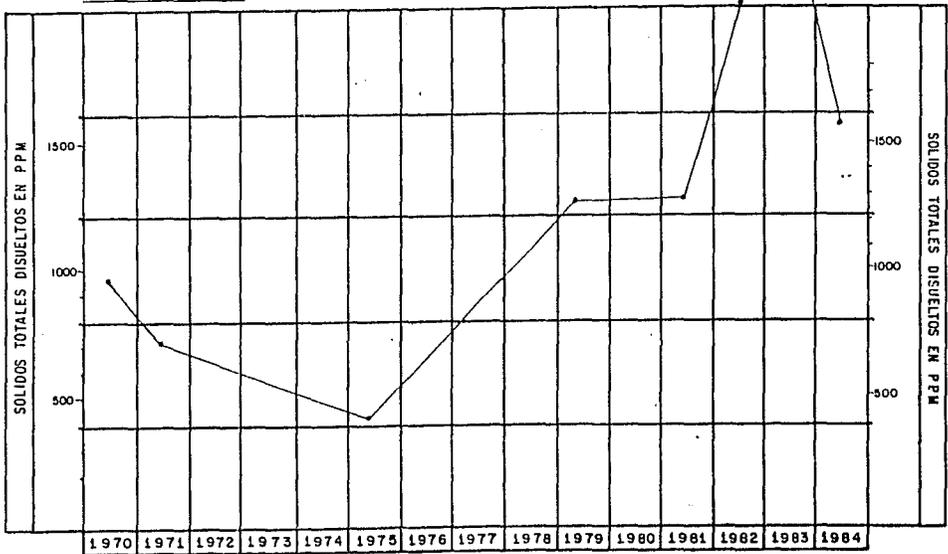




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 211

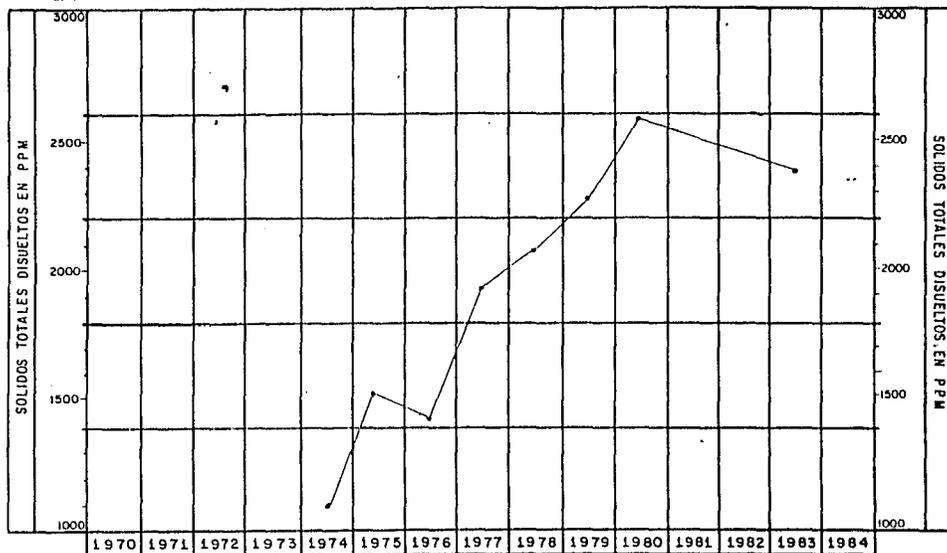




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 214

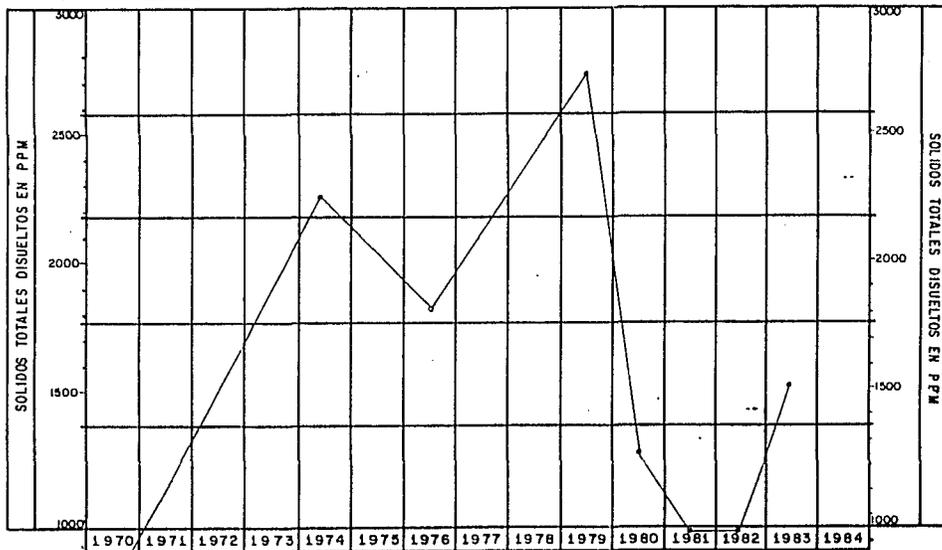




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 215-B

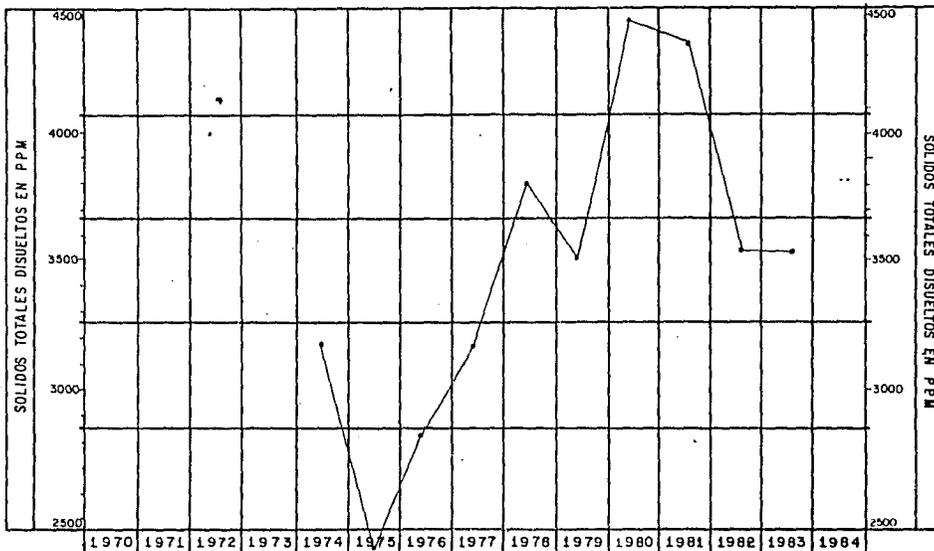




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 219

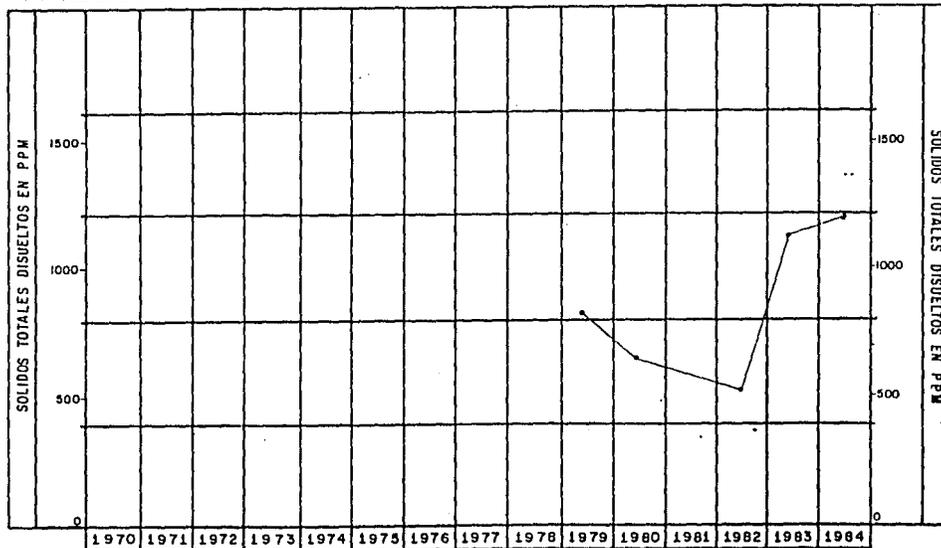




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 221

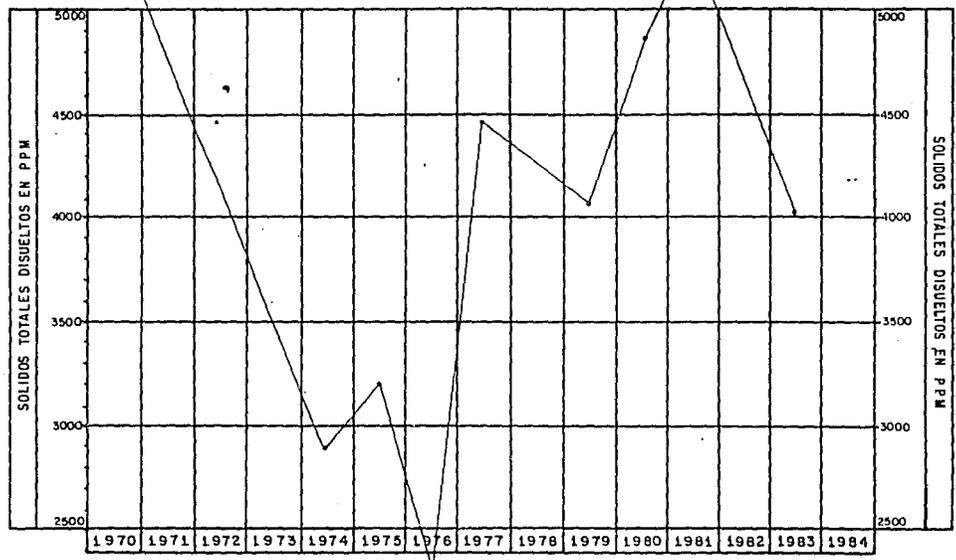




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 232

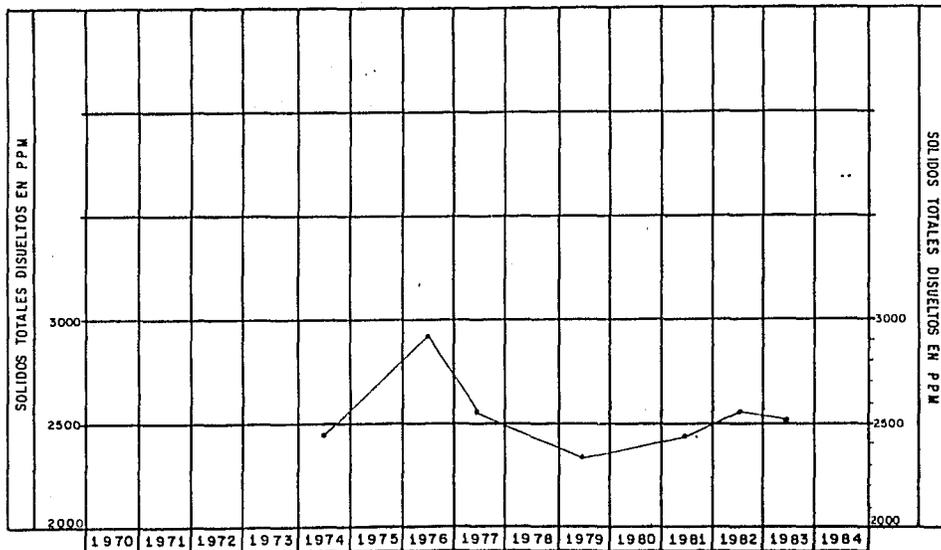




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 243

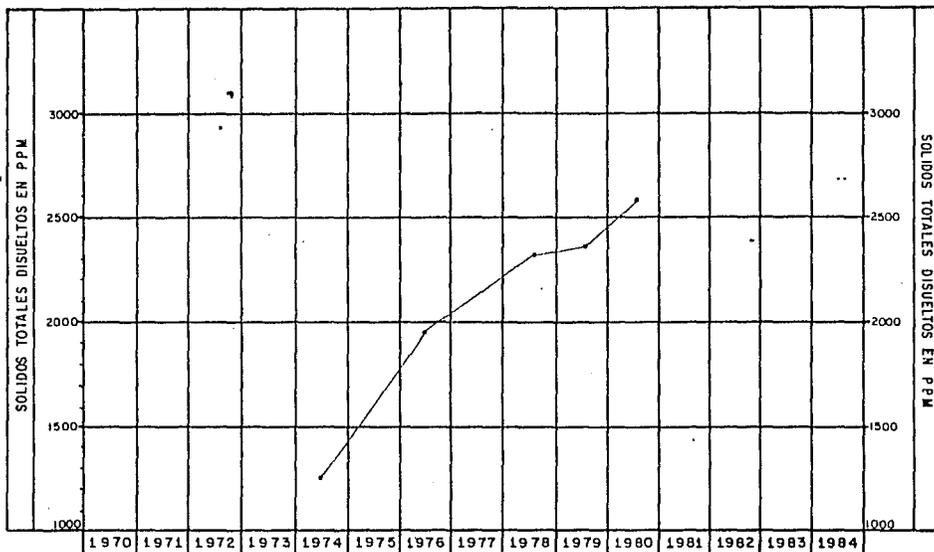




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA DII.C

POZO N° 248 - 4

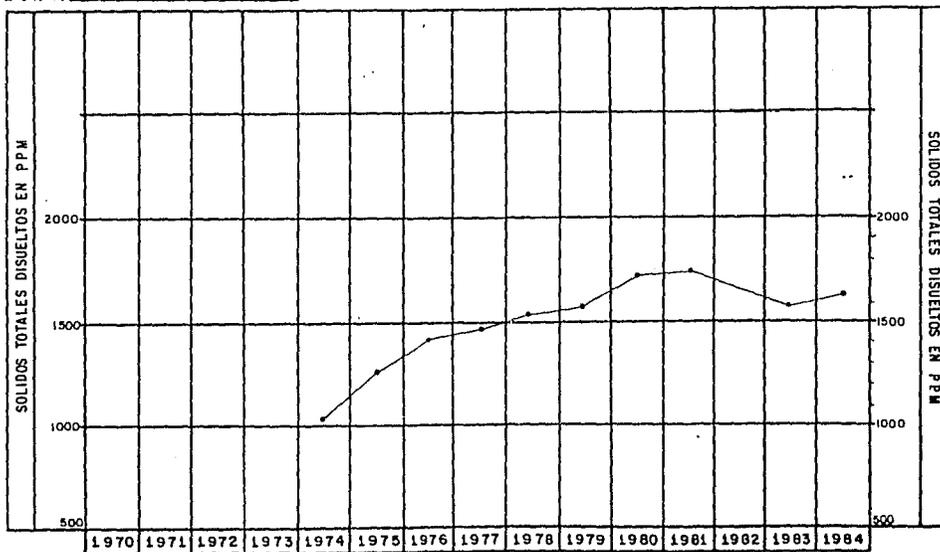




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 368

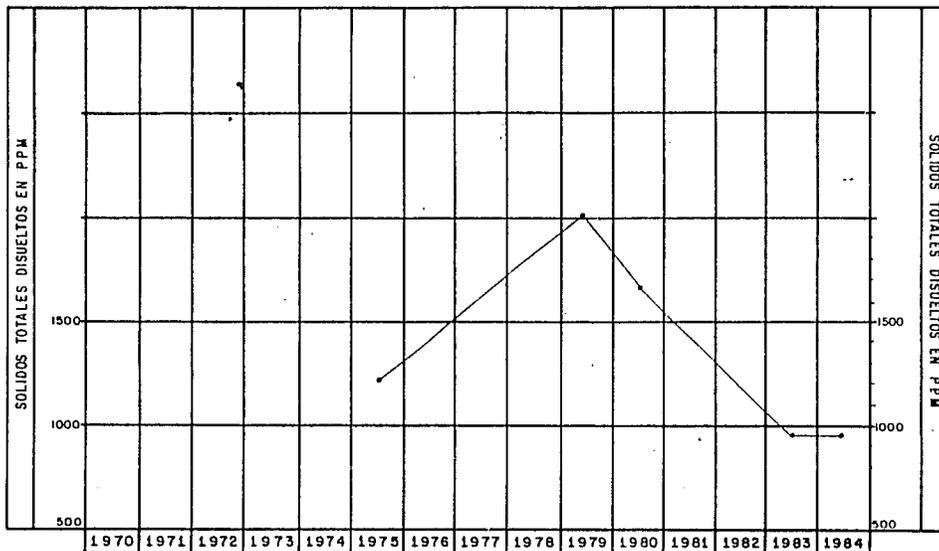




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 378

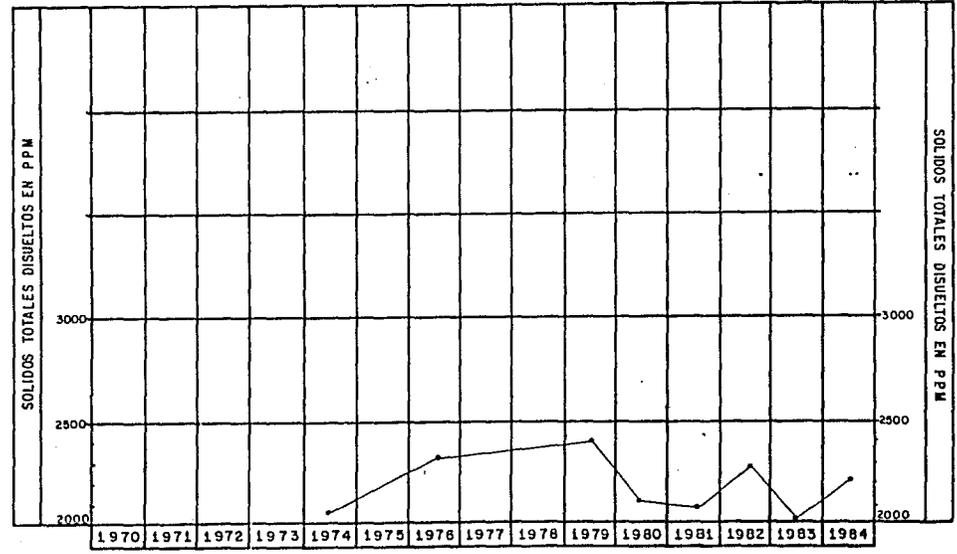




VARIACION DE LA SALINIDAD DEL AGUA

FIGURA III.C

POZO N° 379



SOLIDOS TOTALES DISUELTOS EN P.P.M. LA PAZ, B.C.S.

POZO Ho.	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
6		570					1216	1216		448	4562				
108	896	1120													
118	2304						2688			3115	3496		3283		
124-B	752	2048			750		828		1403		1040		1052	1057	2564
129-B	768	860			1960		2215	1824	2403	2404			2592	2652	2598
146						1929	1280			1786	1781		1685	1883	1662
152	320				416	416	1600	832	608	828	828		876	876	
153	576				384	512	576	480		1066	1307	1291	1224	1206	511
164	416				448	480	448	544			592		458	290	891
166-B	384													430	484
172	480					1024			1152	1233	1440	1565	1325	2156	
180										2267	2191	2013	2079	2223	
181										1056	963			434	
204	672				896	832	1024	1408	1472		1586				
205	384				1536	1408	2752	2304		1439	1351	1317	805	1298	1282
206	352				512	2560	512	448	576	450	456	473	448	1145	452
207-E					704				800	832	877	951	464	870	519
208						2567									
211	360	704				450				1271		1286	2014	2315	1541
214					1088	1536	1408	1920	2048	2293	2595		2014	2395	
215-D	698				2098		1564			2731	2296	991	991	1550	
217-B										1932	1658	2672	1683		
219					3230	2432	2880	3200	3840	3548	4467	4360	3575	3580	
221										814	644		503	1109	1193
223					2280	3540				260					
232	6400				2880	3200	2340	4480		4083	4875	5325		4027	
243					2432		2944	2560		2324		2436	2567	2508	
248-B					1216		1920		2304	2364	2598				
252							3250		2957	2031	2376	1978	2005	2274	
363					1024	1280	1408	1472	1536	1576	1706	1753		1576	1630
373-R						1200				2050	1564			354	359
379					2048		2304			2380	2101	2060	2240	2093	2135
406							12800			8107			1615	1879	839

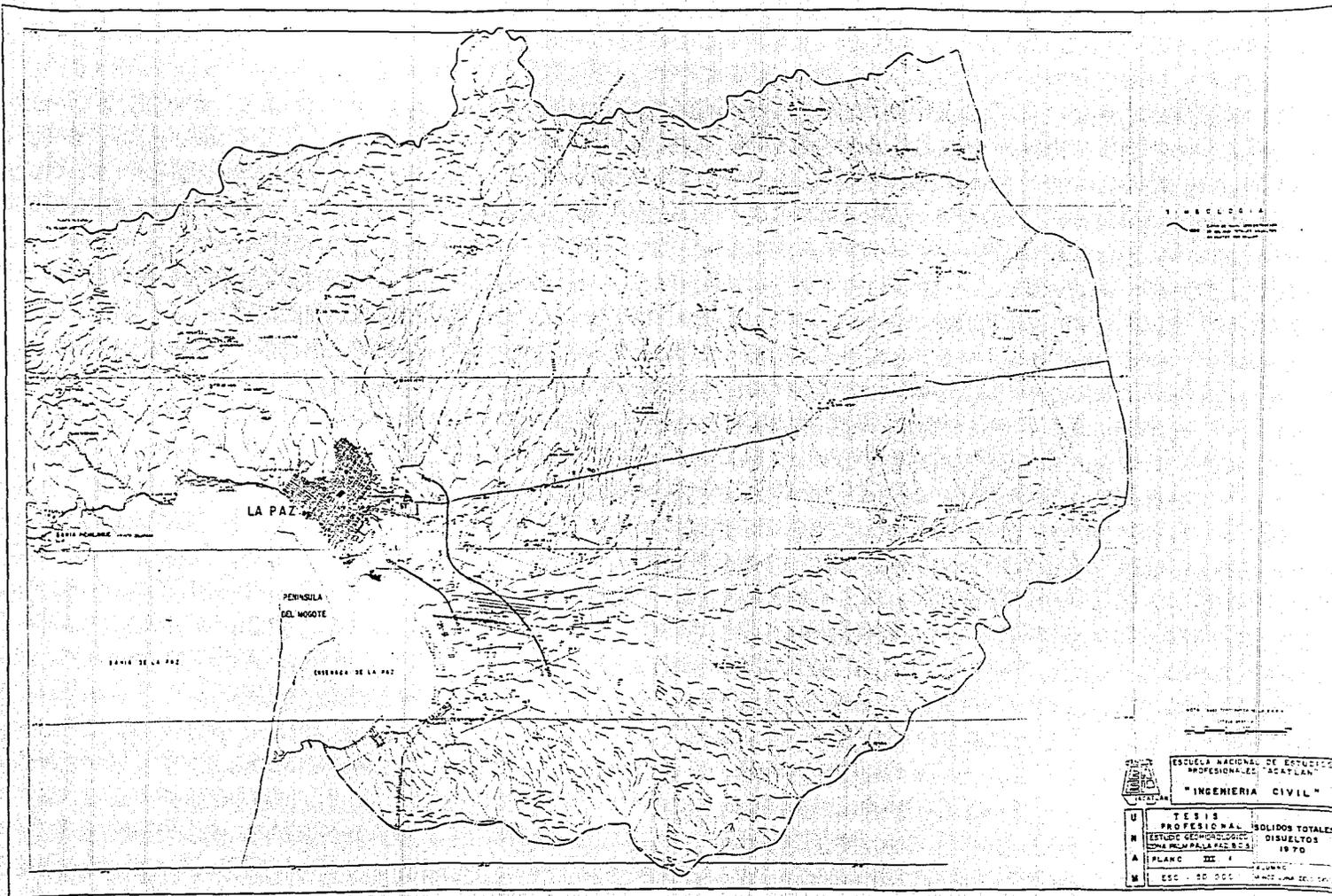
TABLA - III. B.

ANALISIS QUIMICOS DEL VALLE DE LA PAZ, B. C. S.

DIC-1985.

POZO	CE mm hos/cm	PH	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	CO ₃ ppm	HCO ₃ ppm	Cl ppm	SO ₄ ppm	S.T.D. ppm	D.T. ppm
134	4110	7.57	244	97	480	36	231	1176	139	2403	1010
137	4460	7.47	400	162	257	36	183	1396	38	2472	1660
140	3500	7.61	280	104	285	24	195	1006	115	2009	1130
152	980	7.97	80	36	64	24	170	219	0	593	350
166-R	960	7.96	80	38	55	24	170	219	0	586	360
213	3500	7.80	240	104	331	36	183	1070	19	1983	1030
221	1940	7.86	168	63	133	24	183	524	38	1133	680
252	3610	7.35	328	136	195	36	170	1150	0	2020	1380
386	4430	7.32	366	141	342	24	231	1361	57	2512	1470
406	3930	7.41	284	85	416	24	183	1169	115	2276	1060
408	1580	7.71	84	43	184	36	231	371	19	958	390
410	1010	7.92	48	24	131	36	231	184	0	654	220
IV	810	7.75	60	21	75	12	231	141	0	540	240
XII	1210	8.07	64	34	140	36	219	241	19	753	300
XV	940	7.77	52	24	110	12	220	157	19	594	230
II	710	8.02	48	26	57	12	122	141	38	444	230
VIII	1020	7.71	56	26	119	12	244	198	0	655	250
XIV	990	7.80	48	36	1038	12	244	184	19	646	260

TABLA III.A

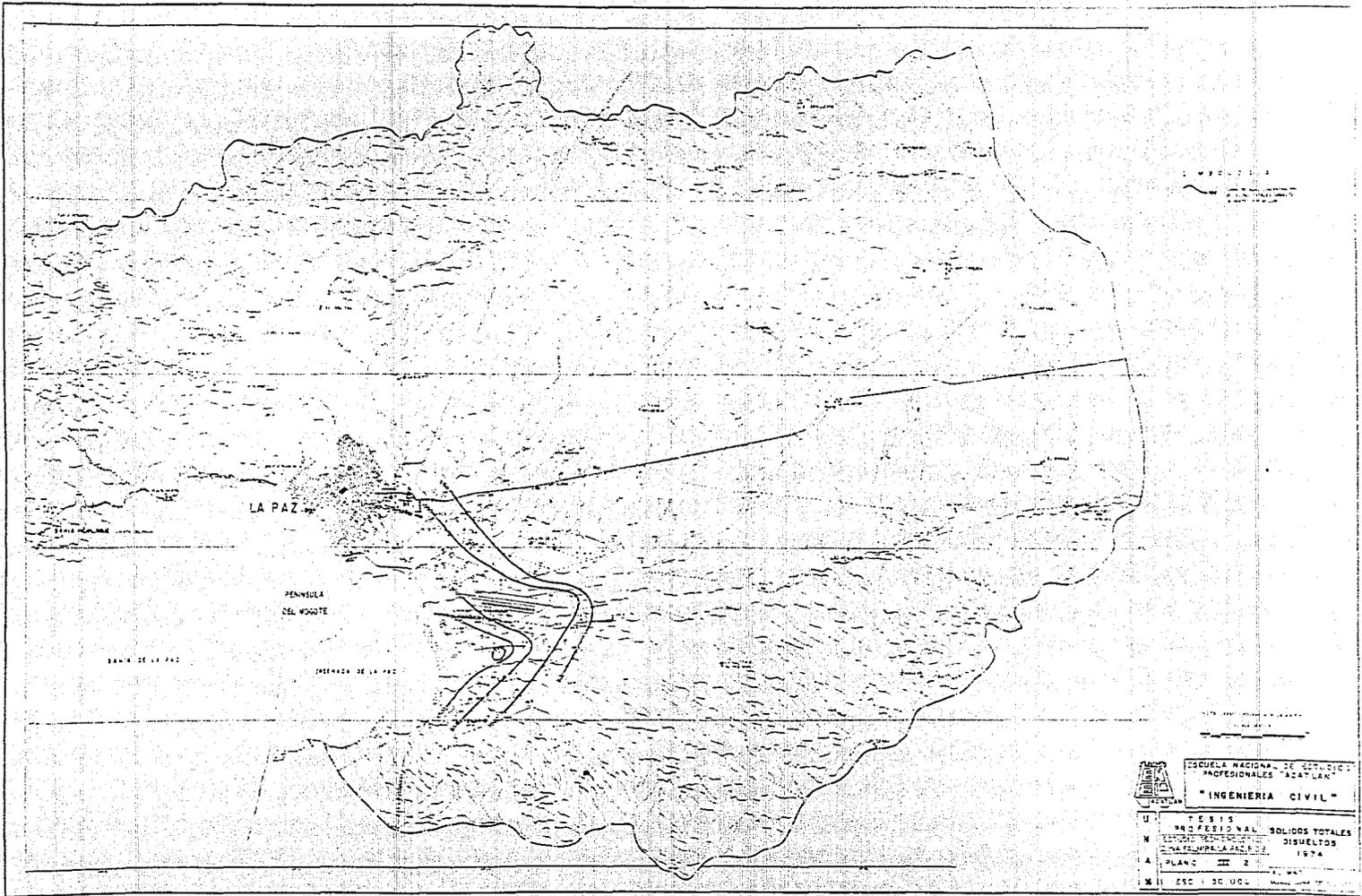


ESCALA
1:50,000

1970

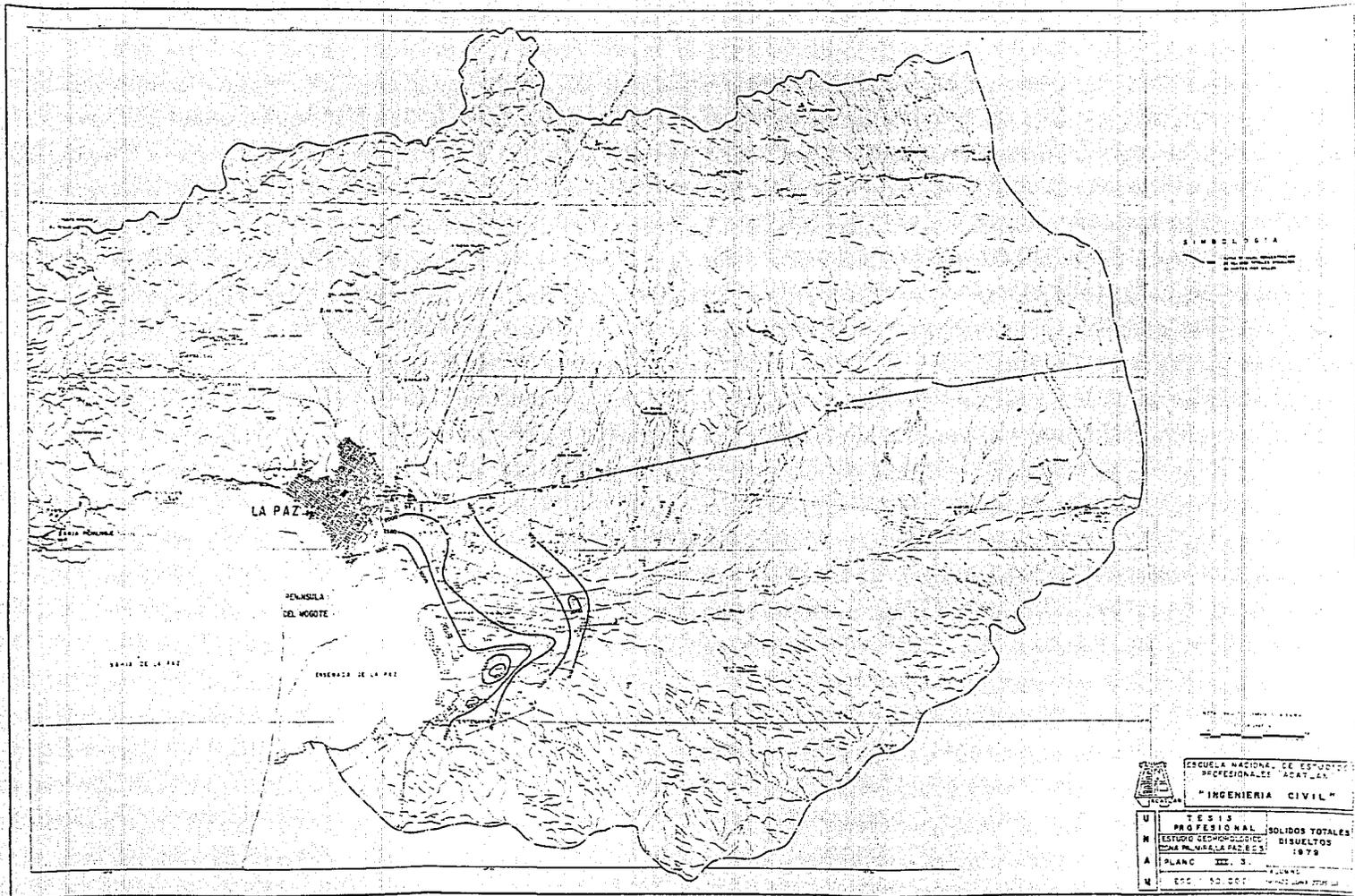
ESCUELA NACIONAL DE EDUCACION
PROFESIONAL "ACATLAN"
"INGENIERIA CIVIL"

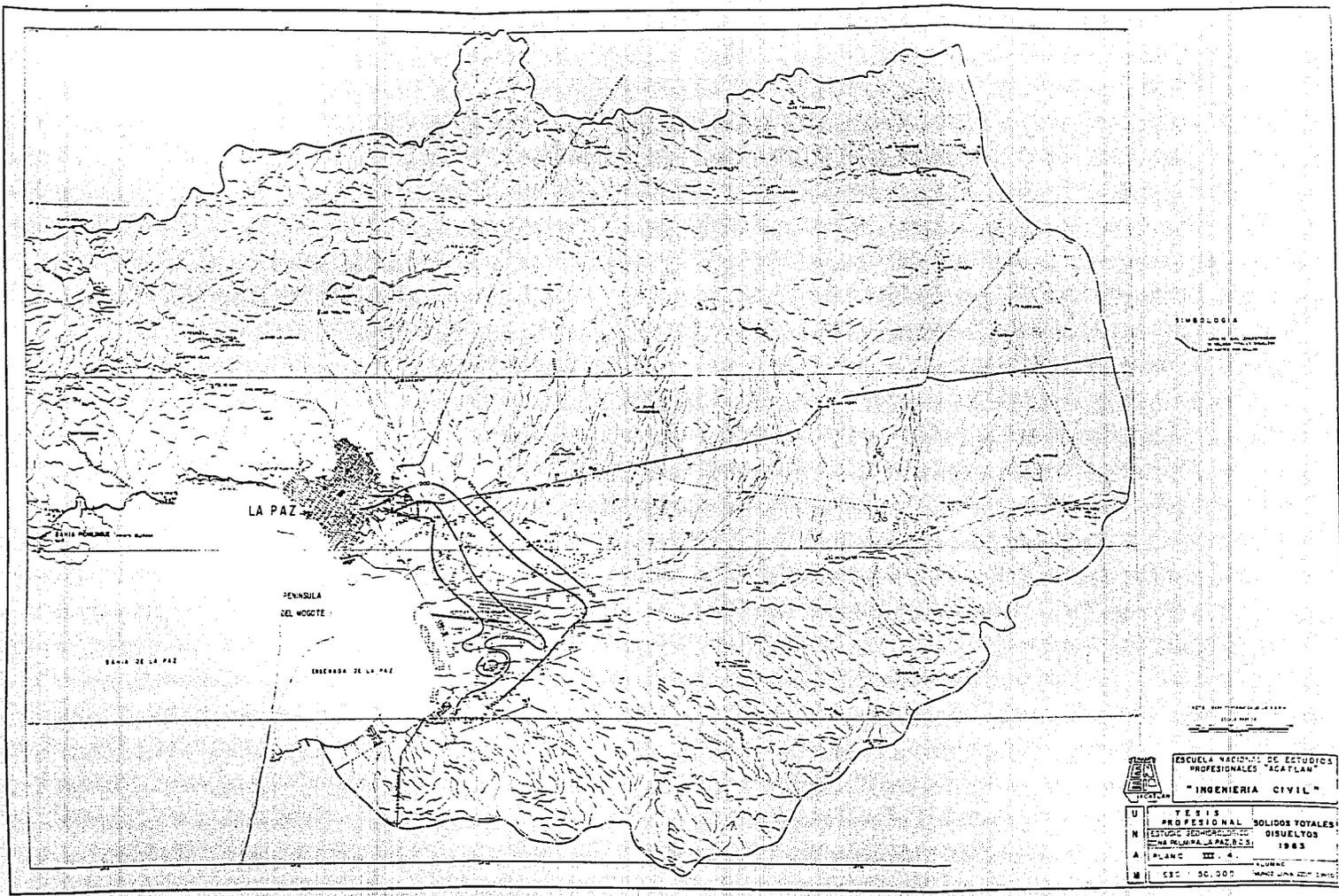
U	TESIS	SOLIDOS TOTALES
N	PROFESIONAL	DISUELTOS
A	ESTUDIO DEMOGRAFICO	1970
M	PLANC III	
	ESC. DE OCC.	



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
 PROFESIONALES "ACAD. LA PAZ"
 "INGENIERIA CIVIL"

U	TESIS	
M	PROFESIONAL	SOLIDOS TOTALES
A	TEMPORAL	DESUELTOS
	PLANO	1974





SIMBOLOGIA

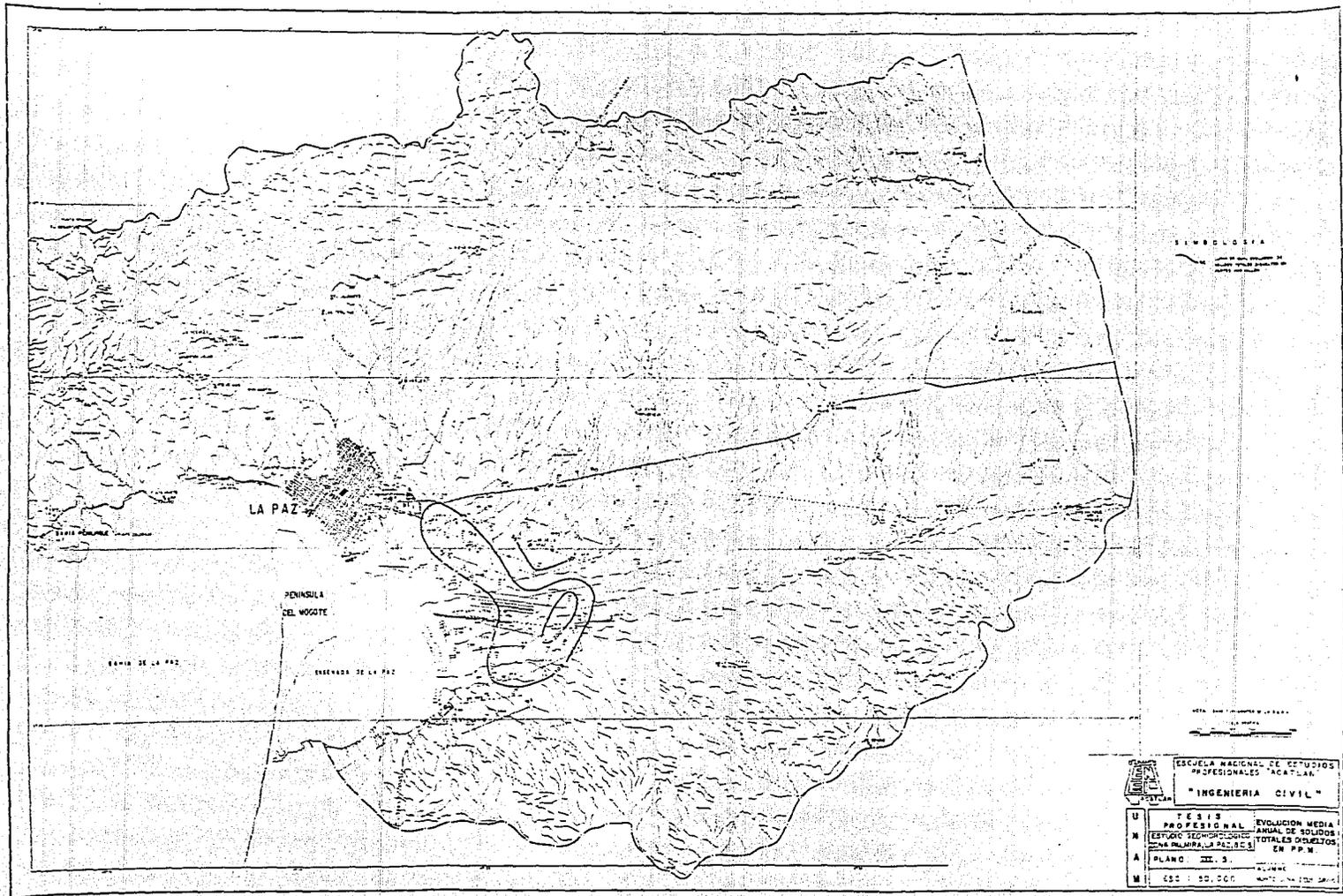
- Línea de Frontera
- Línea de División Política
- Línea de División de Propiedad
- Línea de División de Propiedad

1:50,000



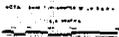
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES "AGATLAN"
"INGENIERIA CIVIL"

U	TESIS	PROFESIONAL	SOLIDOS TOTALES
N	ESTUDIO TECNICO	DISUELTOS	
A	PLANC	III. 4.	
M	CSC	36.000	PLUMBAC



SIMBOLOGIA

 Línea de nivel
 Carretera
 Ferrocarril


 0 100 200 300 400 500 metros

	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"	
	"INGENIERIA CIVIL"	
U	T E S I S	EVOLUCION MEDIA
N	PROFESIONAL	ANUAL DE SOLDOS
A	ESTUDIO TECNICO	TOTALES OBTENIDOS
M	EN LA ZONA LA PAZ, B.C.S.	EN P.P.M.
	PLANO III. S.	PLANO
	ESC. 50, 000	MAYO 1950

CAPITULO IV
HIDROLOGIA SUBTERRANEA

A.- Funcionamiento del acuífero.

La zona acuífera más cercana al Desarrollo Palmira, corresponde al extenso Valle de La Paz. Este valle se encuentra constituido por materiales granulares entre los que predominan arenas finas. Tiene un espesor aproximado de 350 metros y en él se aloja un acuífero de alta permeabilidad.

El acuífero se recarga por la infiltración del agua que se precipita directamente sobre el valle; por la infiltración en las estribaciones de la sierra del norte; por retornos de riego y por un flujo subterráneo proveniente del Valle del Carrizal.

El agua fluye con una dirección general este-oeste, para descargar al mar en la Bahía de La Paz. Localmente el flujo subterráneo tiende a converger hacia el centro del valle, para posteriormente continuar en dirección oeste hacia su descarga natural.

Actualmente la mayor parte del agua del Valle tiene su salida por bombeo. El volumen restante, el cual es muy pequeño, fluye para descargar al mar.

B.- Profundidad al nivel estático.

En el año de 1970, la profundidad al nivel estático se encontraba entre 10 y 20 metros en la parte central del valle, alrededor del Aeropuerto Internacional y con una distribución paralela a la línea de costa, presentando los niveles más someros hacia el mar y los más profundos tierra adentro.

Para los años siguientes la continua extracción e incremento de caudales en el Valle de La Paz ocasionó el abatimiento del nivel del agua. En el Plano IV.1 se muestra una configuración para el año de 1984 en la que fue factible configurar una zona más amplia debido a la existencia de un mayor número de datos. Para este año, se observa que en la zona de captación de agua potable los niveles estáticos se encuentran entre 50 y 80 metros de profundidad, incrementándose conforme se avanza hacia el norte de la zona en la que se encuentran las mayores elevaciones topográficas. En la parte cercana a la costa, la profundidad al nivel del agua varía entre 10 y 40 metros.

C.- Abatimiento medio anual.

Dentro de la información recopilada se incluyen valores de la evolución promedio anual del nivel estático en el período comprendido entre los años de 1970 a 1984 para los pozos que se indican en la tabla IV.C. Con estos valores se trazó una con-

figuración la cual se incluye en el Plano IV.2.; los abatimientos mayores corresponden a los pozos 153 y 164 ubicados en los alrededores de Villas de La Paz, los cuales muestran 41 y 50 centímetros anuales de abatimiento.

Las curvas de igual abatimiento dentro de la franja costera, a la altura del Aeropuerto Internacional, indican una disminución de entre 10 y 20 centímetros anuales.

Tomando en cuenta la configuración mencionada, la cual abarca un área de 78 km^2 , se calculó el abatimiento medio anual, el cual resultó de 25 centímetros. El rendimiento específico determinado del acuífero fue de 0.12, deduciendo un cambio de almacenamiento negativo de 23 millones de metros cúbicos anuales.

D.- Elevación del nivel estático.

En la Tabla IV.D, pueden verse los valores de la elevación del nivel estático entre los años 1970 y 1984.

Se elaboraron configuraciones de la elevación del nivel estático para los años de 1970, 1973, 1976, 1980 y 1984, las cuales se presentan en los Planos IV.3 a IV.7.

En el plano IV.3 correspondiente a la configuración de 1970, se tiene que la curva 1 metro sobre el nivel del mar, se ubica aproximadamente a 1.5 kilómetros de la línea de

costa. Ya desde este año se observa que entre Chametla y El Centenario existe una zona en la que las curvas presentan una flexión que colocan a la curva 1 metro sobre el nivel del mar, más alejada de la línea de costa.

Para los años de 1973 y 1976 se acentúa la tendencia a la formación de un cono piezométrico al sur del Aeropuerto Internacional, haciéndose mucho más notable hacia los años de 1980 y 1984.

A partir del año de 1982 existió una disminución en la extracción de agua del acuífero, lo cual permitió una incipiente recuperación de los niveles piezométricos en la parte más afectada correspondiente a los pozos 206 y 207-B.

En las 5 configuraciones anteriores se observa cómo ha evolucionado la superficie piezométrica; el flujo subterráneo proviene del este y fluye hacia el oeste; descarga al mar formando un cono piezométrico al sur del Aeropuerto Internacional.

E.- Extracción de agua subterránea.

En la información existente, los datos de extracción han variado en la forma siguiente:

AÑO	EXTRACCION (x10 ⁶ m ³ /año)		TOTAL
	POTABLE	RIEGO	
1979	15	19	34
1980	15	19	34
1981	15	19	34
1982	15	16	31
1983	14.9	9	23.9
1984	15.2	9	24.2
1985	18	9	27

Un aspecto importante es que de 1981 a 1983 la extracción disminuyó de 34 a 23.9 millones de metros cúbicos, debido a varios factores entre los que se cuentan la falta de créditos, cambio de cultivos y de métodos de riego y buenas lluvias.

F.- Parámetros hidráulicos del acuífero.

En trabajos efectuados con anterioridad se realizaron alrededor de 30 pruebas de bombeo a partir de las cuales se ha deducido la transmisividad de los materiales que constituyen al acuífero. Para el presente trabajo se obtuvo un promedio el cual resultó de 4.0×10^{-3} m²/seg.

Por lo que se refiere al coeficiente de almacenamiento el valor obtenido fue de 0.12.

G.- Balance de agua subterránea.

Para tener una idea del comportamiento del acuífero se estableció una ecuación de balance volumétrico como sigue:

Entradas = Salidas + Cambio de Almacenamiento

o bien, $E = Ss + Ex + As$

Donde:

E = Entradas

Ss = Salidas subterráneas

Ex = Extracción

As = Cambio de almacenamiento

Se consideró como entrada, a la infiltración proveniente de la precipitación pluvial que se genera sobre la cuenca hidrográfica, a los retornos de riego, así como el flujo subterráneo proveniente del Valle del Carrizal.

Las salidas corresponden al flujo subterráneo que descarga al mar cerca de la línea de costa y a la extracción de agua por bombeo.

Entradas.- Se dejó a este parámetro como incógnita en la ecuación de balance.

Salidas subterráneas.- Las salidas subterráneas que circulan hacia la línea de costa, fueron calculadas a partir de la configuración de elevación del nivel estático. Para ello se trazaron celdas limitadas por dos líneas de corriente y dos equipotenciales.

Considerando la Ley de Darcy, el gasto que fluye a través de una celda, es igual a la transmisividad del terreno ($4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$) por el gradiente hidráulico y las dimensiones de la celda. De esta manera, se obtuvo que en el año de 1976 circulaban hacia el mar 3.8 millones de metros cúbicos; para el año de 1980 las salidas eran del orden de 3 millones y en el año de 1984 disminuyeron a aproximadamente 1.8 millones de metros cúbicos anuales, cifra que corresponde a volúmenes prácticamente despreciables de agua subterránea con respecto a las extracciones. Para la ecuación de balance se utilizó este último valor.

Extracción.- Se consideró la extracción de agua del subsuelo de 27.0 millones de metros cúbicos anuales como el dato más actualizado.

Cambio de almacenamiento. Dentro del área considerada de 78 Km^2 , se calculó una evolución media anual equivalente a un volumen de 2.3 millones de metros cúbicos por año.

Sustituyendo los datos anteriores en la ecuación de balan

ce se obtienen las entradas al acuífero de la siguiente forma:

$$E = Ss + Ex + As$$

$$E = 1.8 + 27 - 2.3 = 26.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

TABLA IV.C.

EVOLUCION PROMEDIO ANUAL DEL NIVEL ESTATICO

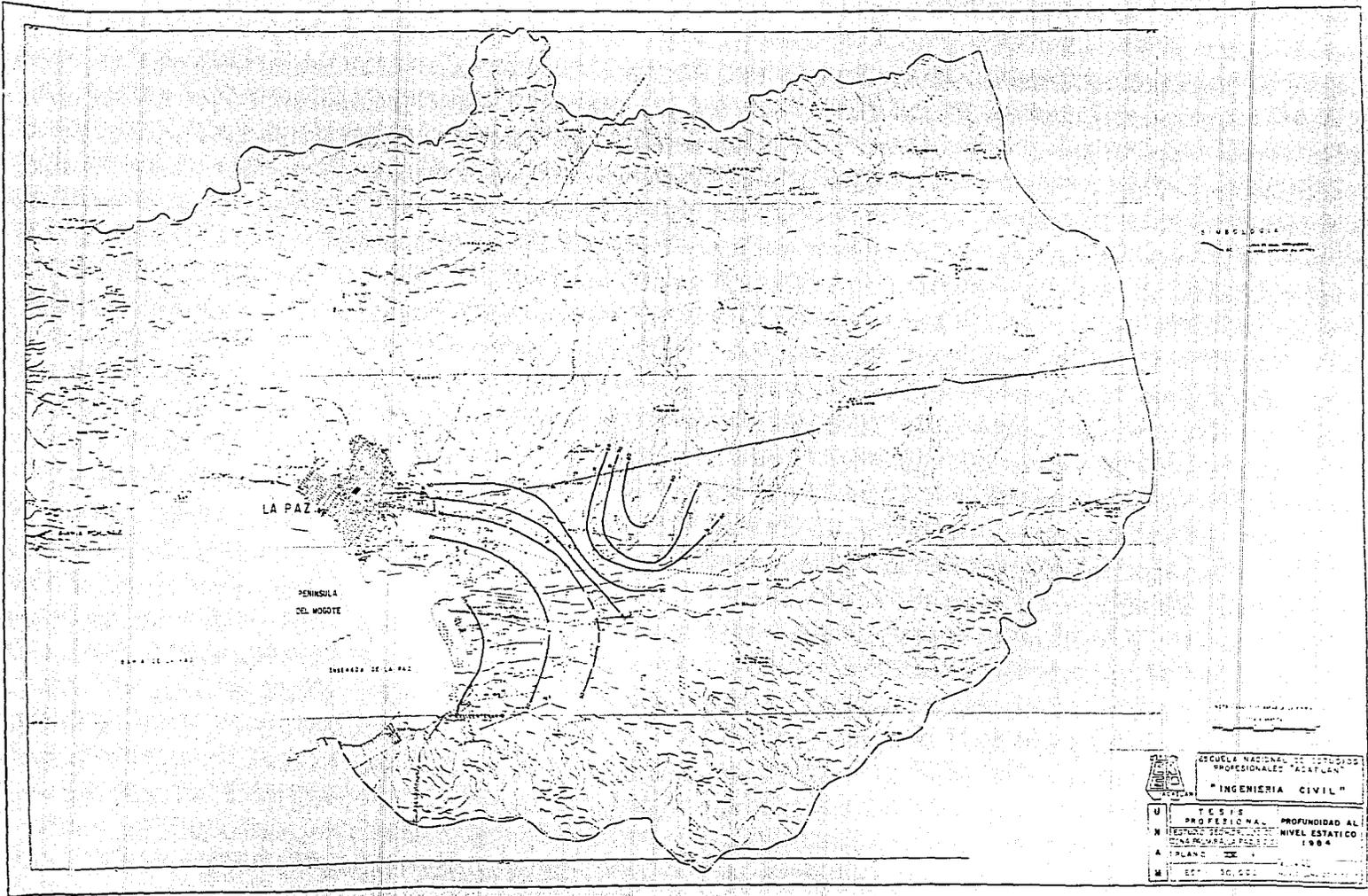
1970 - 1984

POZO No.	EVOLUCION EN METROS	POZO No	EVOLUCION EN METRO
124-B	- 0.12	207-B	- 0.08
129-B	- 0.20	215-B	- 0.24
153	- 0.41	217-B	- 0.20
164	- 0.50	219	- 0.14
172	- 0.08	221	- 0.23
181	- 0.20	232	- 0.13
204	- 0.18		
205	- 0.23		

ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO EN M.S.N.M. LA PAZ, BCS.

POZO No.	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
6							1.68								
108	5.83	5.83	5.75												
118															
124-B															
129-B	0.91	0.33								0.30	0.20	0.26	0.19		0.71
146								1.24		1.95	2.24	3.05	7.68		2.99
152	1.13	0.53		3.72						2.94	2.51	0.98	2.88		2.85
153	1.38	0.34		0.72				0.37			1.44	2.34	4.63		
164			0.93	0.66	0.86	1.83	1.66			2.71		1.48	4.7		
166-B		10.97	10.38								12.04	7.38	0.8		
172	0.7	1.32									2.47	2.09	2.33		2.66
178										1.71	2.35	1.92	2.07		
180							2.01	2.02			2.71	3.09	1.06		3.49
181				4.6	4.01	3.98	3.56	2.73		3.42	3.08	2.95	2.04		
205	2.09			0.65	0.33	0.7					1.23	1.47	1.55		1.2
206											0.49		8.18		1.43
207-B	6.13	1.34									0.05	0.81	2.44		1.2
208							16.48								
211							3.42				0.29	1.64	1.44		1.69
214							0.9	0.87			3.27	2.55	1.87		
215-B	1.33	1.80	1.51	1.29	0.83		0.22			0.10	0.47	3.65	4.15		2.77
217-B				0.31	0.57						1.81	1.17	1.09		1.13
219						0.41	1.12	0.41		0.97	0.92	1.21	1.83		1.69
221	0.66	0.02	0.96	0.33				0.7		1.39	1.69	6.59	1.45		2.51
223				3.72	4.34	4.08	4.74				2.14	9.82	9.98		10.22
232	0.68	0.57	0.31	0.53			1.54	0.32		1.18	5.4	1.24	0.31		1.89
243				2.78	2.95	2.29	2.79								
248-B												37.61			
252	1.83	1.57	1.57	1.88				1.53			2.23	2.71	3.02		2.87
368		0.15	0.05	0.18	0.15		0.06	0.12			0.45	0.46	2.45		1.1
378-R						0.36		1.03		0.79	0.93	3.89	1.67		
379															
406					2.68				2.98				1.76		2.0

TABLA-IV D.



1:50,000

LA PAZ

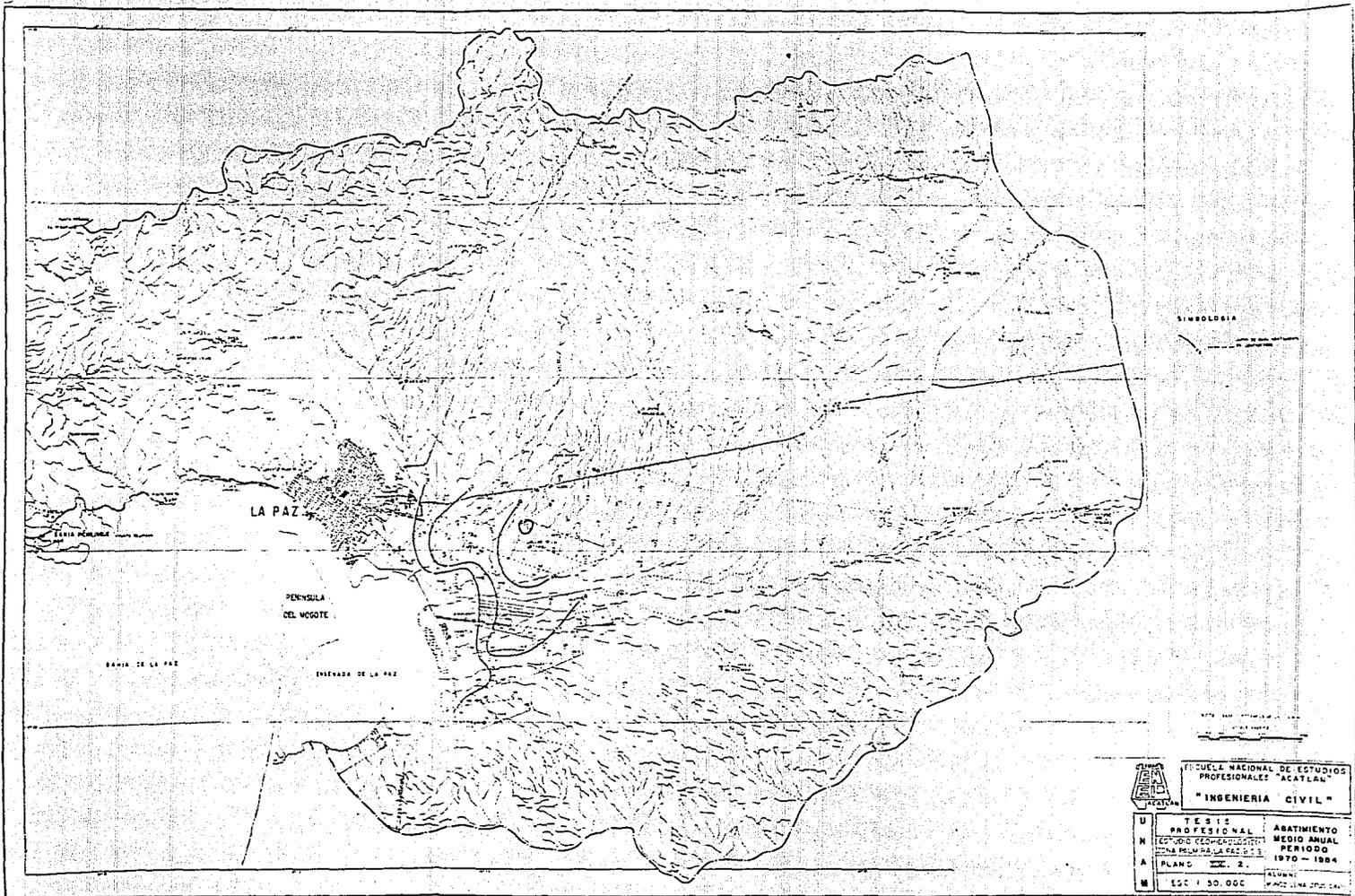
PENINSULA
DEL MOGOTE

LAGO DE LA PAZ



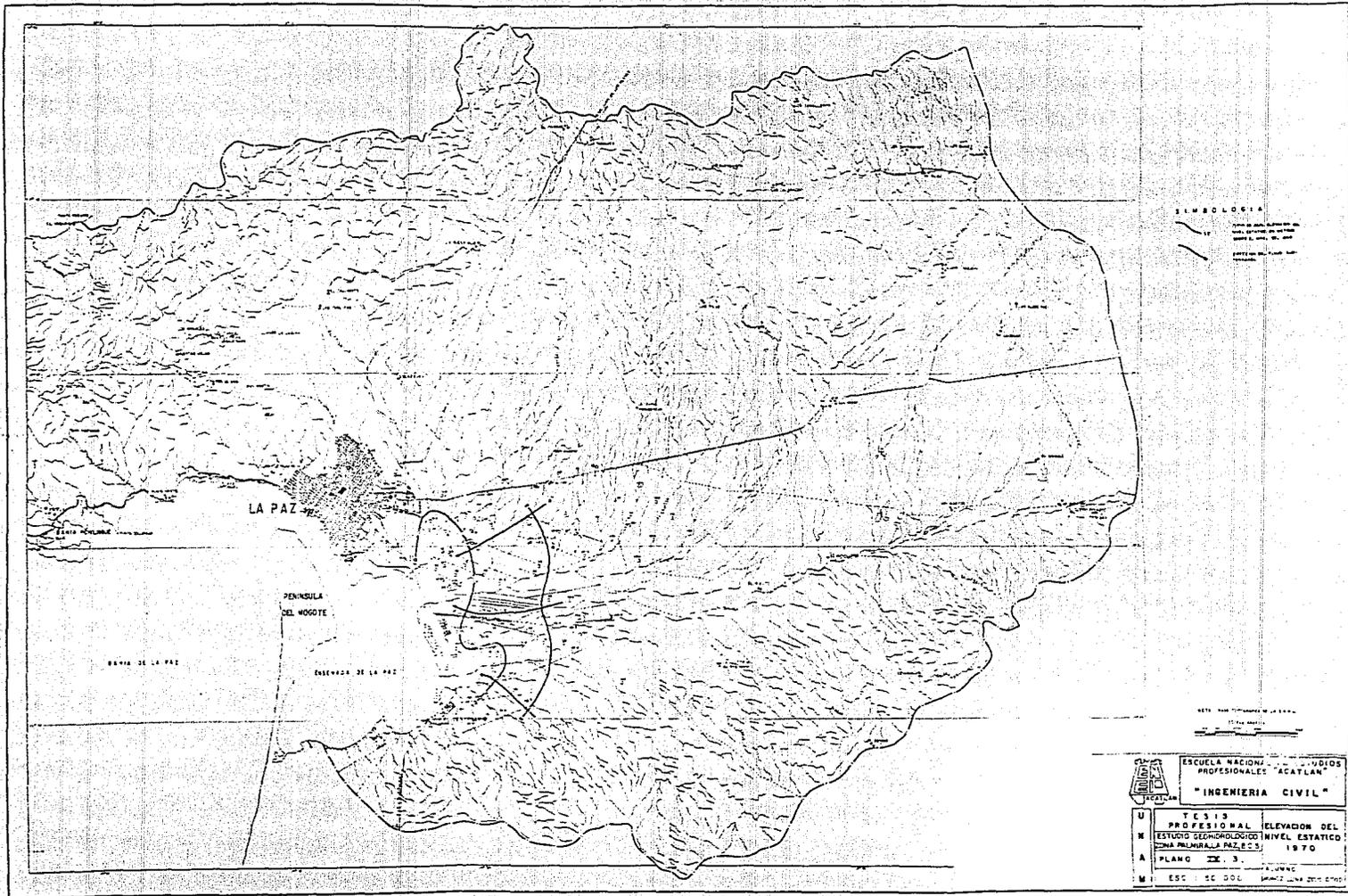
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS
PROFESIONALES "ACATLAN"
"INGENIERIA CIVIL"

U	TESIS	PROFUNDIDAD AL
N	PROFESIONAL	NIVEL ESTADICO
A	PLANO	1984
M	EST. 30,000	



SIMBOLOGIA

	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN" "INGENIERIA CIVIL"	
	U PROFESIONAL	ARBITRIO
	N PERIODO DE REGISTRO	MEDIO ANUAL
	A PLANO 2	PERIODO 1970 - 1984
M ESC 1 50.000	PLANOS 1970 - 1984	



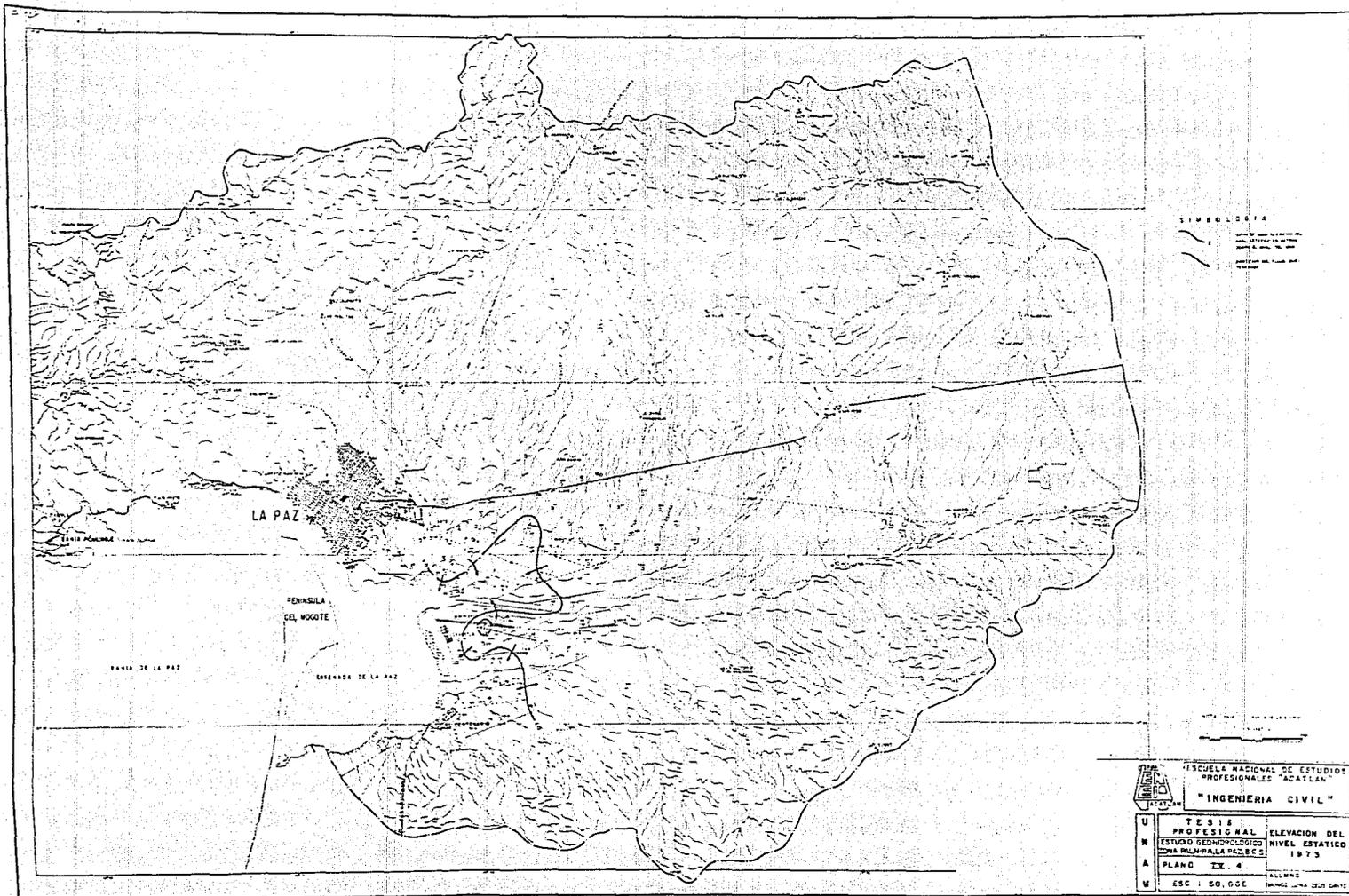
SIMBOLOGIA

 LINEA DE NIVEL (LÍNEA DE NIVEL)

 CARRETERA (CARRETERA)

ESCALA: 1:50,000
 1:50,000

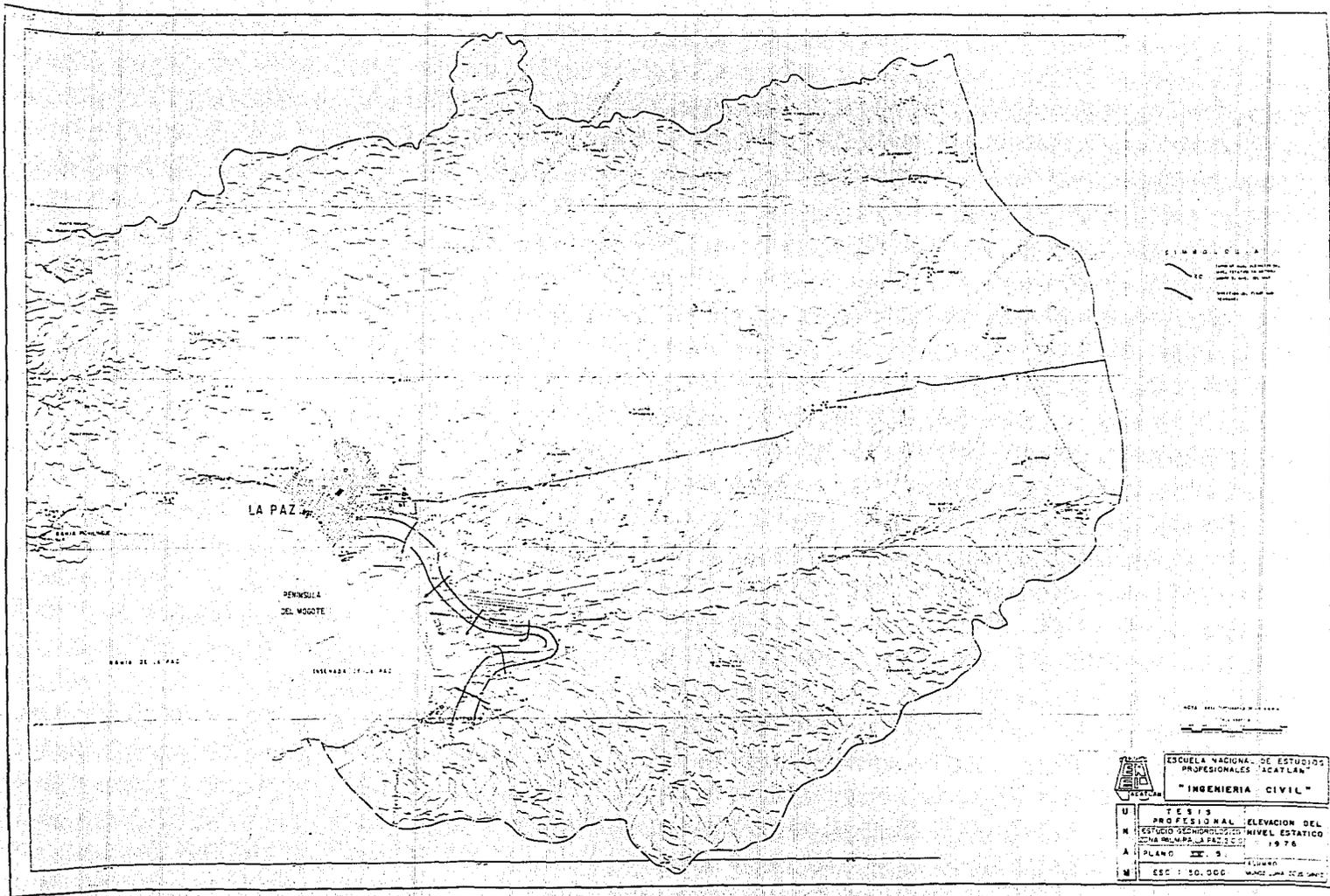
	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN" "INGENIERIA CIVIL"	
	TESIS PROFESIONAL ESTUDIO GEOMORFOLOGICO DE LA PENINSULA DE LA PAZ, B.C.S.	ESTUDIOS ELEVACION DEL NIVEL ESTADICO 1970
U M A M	PLANO 3	ESC. DE ING. CIVIL



SIMBOLOGIA

 Carretera
 Ferrocarril
 Rio

	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"	
	"INGENIERIA CIVIL"	
U	TESIS PROFESIONAL	ELEVACION DEL
M	ESTUDIO GEOMORFOLOGICO	NIVEL ESTADICO
A	PLANO	1973
M	ESC : 50,000	PLANO ESCALA 1:50,000



CAPITULO V

SELECCION DE SITIOS PARA PERFORACION DE POZOS

A.- Localización.

Entre la Bahía de La Paz, la carretera a Todos Santos, una línea este-oeste a la altura del poblado El Centenario y otra línea norte-sur 3 kilómetros al oeste de Divina Providencia, se ubica el área principal del Valle de La Paz; constituido por materiales granulares homogéneos de buena permeabilidad, los cuales alojan un acuífero de alto rendimiento. Dentro de este acuífero, la franja costera de 6 -- kilómetros de anchura presenta problemas de intrusión salina. Fuera del área mencionada hacia el este, la topografía se eleva llegándose a encontrar el nivel de agua a profundidades mayores de 100 metros, lo cual encarece su extracción. Hacia el norte y sur la permeabilidad disminuye y -- los niveles se profundizan. Por lo anterior, la zona apropiada para perforar corresponde a la parte central del -- Valle, área en la cual se encuentra la actual zona de explotación.

Tomando en cuenta las características de los pozos y del terreno, se calculó el área de influencia de cada uno de ellos, la cual resultó tener un radio de 540 metros. En -- el plano V.1 se marca el área de influencia de algunos pozos considerándola constante.

De acuerdo con las características geohidrológicas de la zona, las cuales han sido tratadas en los capítulos anteriores, se localizaron los puntos que presentan condiciones más favorables para la perforación de pozos y extracción de agua subterránea. Estos sitios se marcaron en el Plano V.1 y en orden de prioridad.

Las características esperadas para los pozos en los diferentes sitios o alternativas son las siguientes:

Características esperadas en los pozos programados.

Sitio propuesto	Caudal esperado (lps)	N. E. (m)	N. D. (m)	Abatimiento anual (m)	Salinidad (ppm)	incremento salino anual
1	50-60	60-70	80-90	0.4	<de 500	0
2	50-60	50	60-70	0.4	<de 500	0
3	50-60	60-70	80-90	0.4	<de 500	0
4	50-60	70	90-100	0.4	<de 500	0

B.- Demandas de agua potable.

Con base en la población de proyecto para el Plan Maestro, se tiene provista una demanda al año 1990 de 210 lps. La demanda de agua se calculó estimando una dotación de 275 litros por día por habitante.

Los pozos que se perforen en la zona recomendada, rendirán caudales del orden de 50 a 60 lps.

C.- Diseño.

Se recomienda perforar a 180 metros de profundidad y 18" - de diámetro, colocando en la porción superior un contrademe sanitario de 25 metros de profundidad y 22" de diámetro cementado. Colocar tubería de ademe de 14" de diámetro, -- ranurada a partir del nivel estático, para alojar en ella una bomba de extracción de 8" con tazones de 10". En la fi gura No. V.C se incluye el diseño constructivo.

D.- Efectos de la extracción del agua sobre el acuífero.

En este trabajo se considera como dato más actualizado de extracción el de 1985 (ver tabla de extracciones de agua - subterránea del subcap. IV.E). Correspondiente a 27 millones de metros cubicos de agua; de éstos, 9 millones se obtie-- nen en la porción del Valle alrededor del Aeropuerto Inter nacional y 18 millones al este de Villas de La Paz para el abastecimiento de agua de la ciudad. Las extracciones adi-- cionales que se llevarán a cabo a través de los pozos re-- cién perforados para el abastecimiento de la ciudad, apa-- rentemente no incrementarán la extracción total, ya que se tiene programado disminuir extracciones en la misma cuan-- tía, en pozos de riego ubicados cerca de la línea de costa.

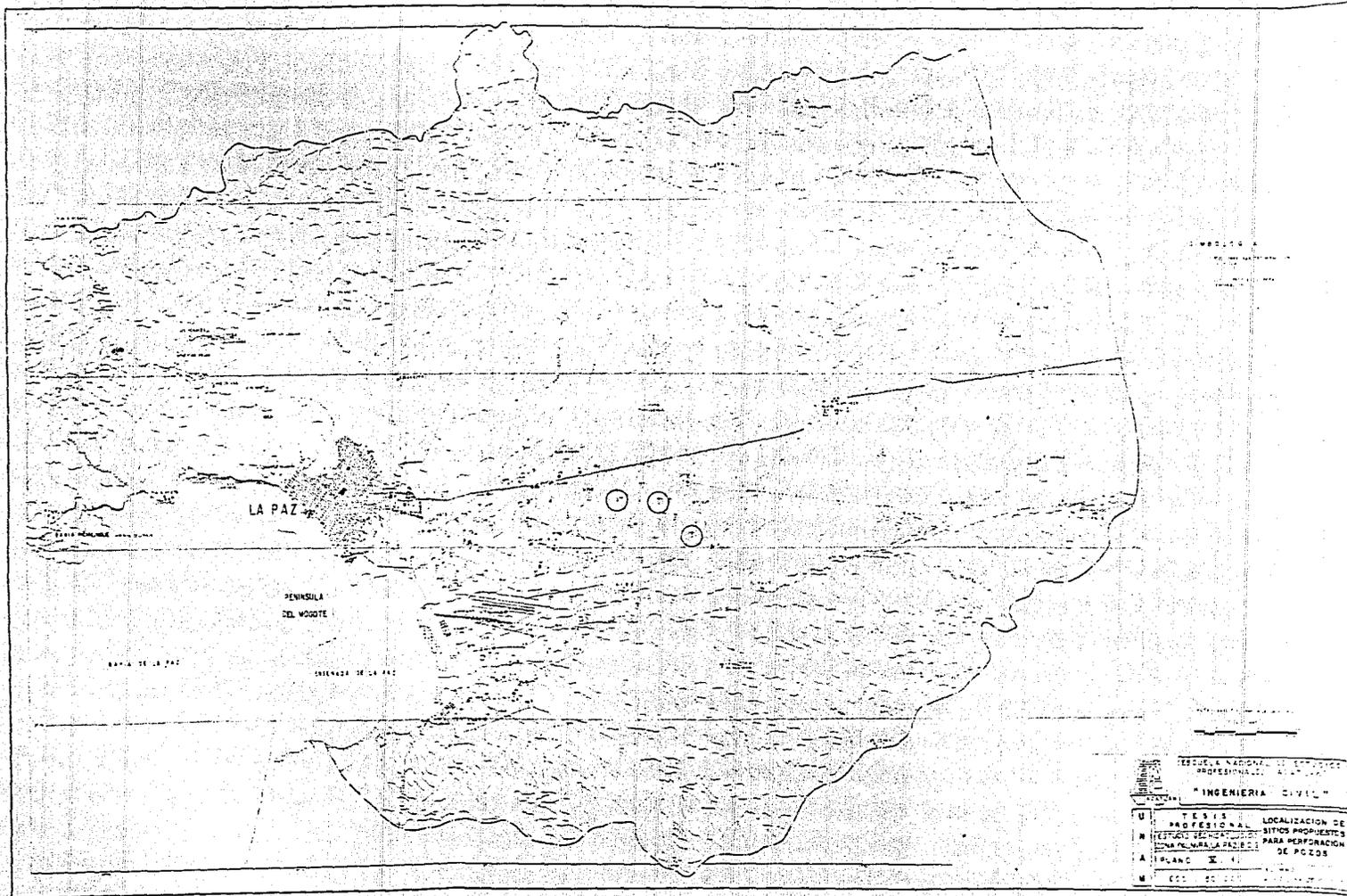
Se considera que la explotación actual del acuífero se encuentra en equilibrio o muy cerca de él, ya que aún existe un flujo de descarga al mar.

El abastecimiento necesario para el Desarrollo Palmira hasta el año 1990 equivale a 6.6 millones de metros cúbicos anuales, lo cual es un valor relativamente bajo en contraste con la extracción de 1985. Además en caso de continuar con la misma política de extracción, el Municipio disminuirá en un volumen similar, la extracción de riego en la zona costera, de esta manera el acuífero estará siempre cerca del equilibrio evitando el avance de la intrusión salina.

En caso de aumentar la explotación al mismo ritmo que se había llevado a cabo en los 15 años anteriores, se continuaría salinizando pozos costeros. Sin embargo, por su posición topográfica, los pozos de abastecimiento de agua no presentan riesgos de salinización.

La perforación de pozos en la porción oriental del Valle es una medida necesaria y aceptada que equivale a sustituir los pozos que van dejando de operar en la zona cercana a la línea de costa.

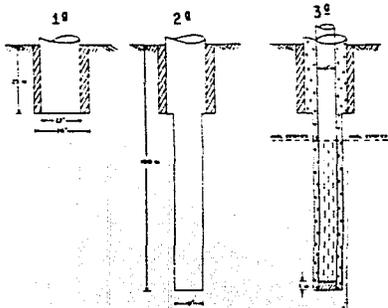
La sobreexplotación del acuífero es una medida recomendable, siempre y cuando se lleve a cabo conociendo los efectos que pueda ocasionar y programando su control.



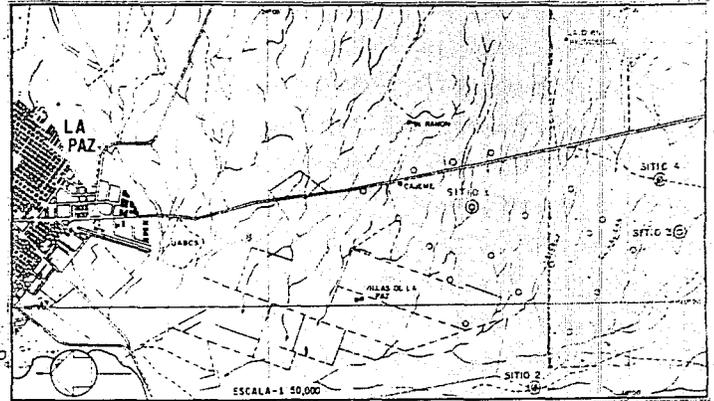
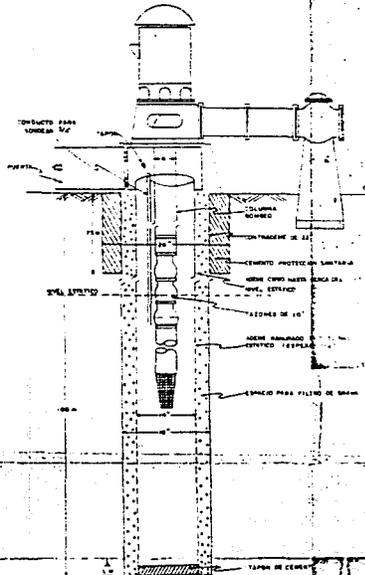
WELL TO A
 TO THE SURFACE
 ...

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS PROFESIONALES ALTA	
"INGENIERIA CIVIL"	
U	TESIS PROFESIONAL LOCALIZACION DE SITIOS PROPUESTOS PARA PERFORACION DE POZOS
N	PLAN N.º ...
A	PLANC N.º ...
M	...

ETAPAS DE CONSTRUCCION



DISEÑO CONSTRUCTIVO



EXPLICACION

POZO PARA ABASTECIMIENTO
DE LA CIUDAD

SITIO PROPUUESTO PARA
MEMORACION

ESTADIA NACIONAL	
PROFESIONAL: C. E. C. S. A.	
"INGENIERIA CIVIL"	
U	ESTADIA NACIONAL LOCALIZACION Y
N	ESTUDIO TECNICO DISEÑO DE
A	FIGURA X C
B	ETC + 30,000

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Conclusiones.

- 1.1 En la zona de Palmira no existen posibilidades de extraer agua subterránea, debido a que, la permeabilidad de los materiales del suelo es de baja calidad -- comparada con aquella del Valle de La Paz; por lo que el área estudiada se amplió abarcando la cuenca hidrográfica de este Valle, la cual tiene una extensión de 1,260 km².
- 1.2 El Valle de La Paz se encuentra formado por una serie de materiales granulares que varían en su textura de finos a gruesos, predominando las arenas finas. Estos materiales alcanzan espesores de hasta 350 metros y en ellos se aloja un acuífero de buena permeabilidad.
- 1.3 Dentro del Valle existen un gran número de aprovechamientos cuya sobreexplotación ha ocasionado la intrusión de agua marina.
- 1.4 En el año de 1970 las concentraciones salinas en pozos costeros fluctuaban entre 500 y 1,000 ppm de sólidos totales disueltos, localizándose las concentraciones más bajas tierra adentro y las más altas en una franja cercana a la línea de costa. Solo algunos aprovechamientos muy cercanos a la costa presentaba con--

centraciones salinas mayores de 1,000 ppm.

- 1.5 Para el año de 1983 la salinidad en la zona costera variaba entre 1,500 y 2,500 ppm de sales y en algunos puntos costeros se tenían más de 4,000 ppm de sólidos totales disueltos.
- 1.6 La evolución media anual de los sólidos totales disueltos para el periodo 1970 - 1984, varía de 50 ppm alrededor de Villas de La Paz a más de 200 ppm al sur del Aeropuerto Internacional. En general se puede considerar un incremento salino de 100 ppm al año en la parte central del Valle.
- 1.7 Se clasificó el agua para uso potable de acuerdo con su contenido de sales como sigue: agua de buena calidad con menos de 1,000 ppm a la ubicada en la zona de captación de agua potable y sus alrededores. Zona con agua de mediana calidad, entre 1,000 y 2,000 ppm. a la que se localiza en una franja paralela a la línea de costa a la altura del Aeropuerto Internacional. Zona con agua de mala calidad a la que presenta más de 2,000 ppm de sólidos totales disueltos; se encuentra en una franja de alrededor de 3 kilómetros de ancho a lo largo de la línea de costa, entre la ciudad de La Paz y el poblado de El Centenario.
- 1.8 El acuífero del Valle de La Paz se recarga por la in-

filtración del agua que se precipita directamente sobre el Valle; por la infiltración en las estribaciones de la Sierra del noreste; por retornos de riego y por un flujo subterráneo proveniente de El Carrizal.

1.9 El agua fluye con una dirección general este-oeste para descargar al mar en la Bahía de La Paz. Localmente el flujo subterráneo tiende a converger hacia el centro del Valle para posteriormente continuar en dirección oeste hacia su descarga natural.

1.10 En el año de 1970 la profundidad al nivel estático se encontraba entre 10 y 20 metros alrededor del Aeropuerto Internacional y con una distribución paralela a la línea de costa, presentándose los niveles más someros hacia el mar y los más profundos tierra adentro.

1.11 La tendencia general del abatimiento para el periodo 1970-1984, es del orden de 10 centímetros en la parte central del Valle y se incrementa tierra adentro hasta 40 centímetros en los alrededores de Villas de La Paz.

1.12 El área de influencia por bombeo de cada pozo, tiene un radio de 540 metros.

1.13 La extracción de agua del acuífero era de 34 millones de metros cúbicos anuales hasta el año de 1981, fecha a partir de la cual empezó a disminuir hasta 23.9 mi-

llones en 1983. Esta disminución fue ocasionada por la falta de créditos al campo, que coincidieron con lluvias, así como el cambio de cultivos y técnicas de riego que se han venido efectuando.

1.14 La explotación en los nuevos pozos de agua potable no incrementará la extracción total ya que se tiene programado cerrar pozos de riego en la zona costera en un volumen similar.

1.15 La transmisividad media del acuífero es igual a $4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ y el coeficiente de almacenamiento de 0.12.

1.16 Se estableció una ecuación de balance en la que las entradas son iguales a las salidas menos el cambio de almacenamiento. Las entradas corresponden a la infiltración de la precipitación pluvial que se genera sobre la cuenca, a los retornos de riego y al flujo subterráneo proveniente de El Carrizal; se dejó a las entradas como incógnita dentro de la ecuación. Las salidas corresponden al flujo subterráneo que descarga al mar y a la extracción de agua por bombeo.

1.17 En la ecuación de balance las entradas en millones de metros cúbicos al año, son iguales a: Las salidas subterráneas (1.8) más la extracción por bombeo (27) menos el cambio de almacenamiento (2.3), lo cual da una

entrada de 26.5.

1.18 Por lo anterior puede decirse que el acuífero se encuentra prácticamente en equilibrio.

1.19 En caso de continuar sobreexplotando el acuífero al mismo ritmo que en los últimos 15 años, se continuarían salinizando los pozos costeros. Por su posición topográfica, los pozos de abastecimiento de agua potable no presentan riesgos actuales.

2.- Recomendaciones.

2.1 La zona más cercana al Desarrollo Palmira con condiciones apropiadas para la extracción de agua subterránea se localiza entre 7 y 10 kilómetros al este de la ciudad de La Paz.

2.2 Se seleccionaron 4 sitios recomendables para perforación, los cuales son marcados en la Figura V.C. En ellos se espera obtener un caudal de entre 50 y 60 lps un nivel estático entre 50 y 80 metros de profundidad; un nivel dinámico entre 60 y 100 metros; agua con menos de 500 ppm de sales; un abatimiento anual menor de 40 centímetros e incrementos salinos anuales nulos.

2.3 Perforar a 180 metros de profundidad y 18" de diámetro colocando en la porción superior un contrademe sanitaria-

rio hasta 25 metros y 22" de diámetro, cementado. Colocar tubería de ademe de 14" de diámetro, ranurada a partir del nivel estático, para alojar en ella una bomba de extracción de 8" con tazones de 10".

- 2.4 Recomendación obligada en esta zona donde el agua es escasa, es la de efectuar campañas para el mejor aprovechamiento del agua y evitar desperdicios indiscriminados.
- 2.5 Hacer efectiva la atinada medida actual de reducir extracción de agua de riego en la misma cantidad en que se incremente la explotación para agua potable.
- 2.6 Continuar con los programas relativos a la reutilización de aguas residuales en riego, sustituyendo de esta manera parte de la disminución de extracción de agua dulce para la agricultura.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- COMISION FED. DE ELECT. "GEOHIDROLOGIA" MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES - SECCION (A)-HIDROTECNICA (A.1.12) MEXICO, 1983.
- 2.- CASTANY, G. "PROSPECCION Y EXPLOTACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS". EDIT. OMEGA, ESPAÑA, 1971.
- 3.- DAVIS & DE WIEST "HIDROGEOLOGIA". EDIT. ARIEL, ESPAÑA, 1971.
- 4.- CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M.R. "HIDROLOGIA SUBTERRANEA" (DOS TOMOS) EDIT. OMEGA, ESPAÑA, 1976.
- 5.- CHAVEZ GUILLEN R. Y OTROS "EXPLORACION, CUANTIFICACION Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS" DIV. DE EDUC. CONTINUA, FAC. DE ING.-U.N.A.M MEXICO, 1978.
- 6.- GIBSON Y SINGER "MANUAL DE LOS POZOS PEQUEÑOS" EDIT. LIMUSA, MEXICO, 1979.
- 7.- TINAJERO GONZALEZ, J.A. "APUNTES DE ASPECTOS FUNDAM. EN EL ESTUDIO DEL AGUA SUBTERRANEA (GEOHIDROLOGIA)" FAC. DE ING.-U.N.A.M., MEXICO, 1985.
- 8.- TODD, D.K. "GROUNDWATER HYDROLOGY" (SECOND EDITION) EDIT. JOHN WILEY & SONS, U.S.A. 1980.

RELACION DE TABLAS Y PLANOS

NOMBRE DE TABLAS Y PLANOS	CLASIFICACION
Características de los pozos censados	TABLA I.D.
Análisis químicos	TABLA III.A.
Sólidos totales disueltos en ppm.	TABLA III.B.
Evolución promedio anual del nivel estático	TABLA IV.C.
Elevación del nivel estático en M.S.N.M	TABLA IV.D.
PLANOS	
Sólidos totales disueltos 1970	III.1
Sólidos totales disueltos 1974	III.2
Sólidos totales disueltos 1979	III.3
Sólidos totales disueltos 1983	III.4
Evolución media anual de sólidos totales disueltos en ppm.	III.5
Calidad del agua	III.6
Profundidad al nivel estático 1984	IV.1
Abatimiento medio anual periodo 1970-1984	IV.2
Elevación del nivel estático 1970	IV.3
Elevación del nivel estático 1973	IV.4
Elevación del nivel estático 1976	IV.5
Elevación del nivel estático 1980	IV.6
Elevación del nivel estático 1984	IV.7
Localización de sitios propuestos para perforación de pozos.	V.1