



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ENEP - ACATLÁN

INGENIERÍA

"ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE
LAS PALMAS, BAJA CALIFORNIA".

T E S I S

Que para obtener el título de:

I N G E N I E R O C I V I L

P r e s e n t a :

Adolfo Alejandro Azcona Sánchez

Acatlán, Edo. de México.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

		Página
I.-	INTRODUCCION	1
	Localización de la Zona de Estudio . . .	4
	Comunicaciones	4
	Población	5
II.-	CLIMATOLOGIA	8
	Precipitación	8
	Temperatura	9
	Evaporación	9
	Análisis de Información	10
	Clasificación Climática del Valle de las Palmas	13
III.-	HIDROLOGIA	15
	Esgurrimientos Superficiales	15
	Hidrometría	16
IV.-	GEOLOGIA Y GEOFISICA	25
	Geología	25
	Geofísica	25
	Interpretación de los Datos Registrados.	27
V.-	GEOQUIMICA	33
	Metodología	34
	Obtención de Resultados	40
	Análisis de Resultados	40
VI.-	HIDRAULICA DE POZOS	43
	Hipótesis	44
	Método de Solución de Jacob	46
	Método de Solución de Hantush	47

I N D I C E

	Página
VII.- BALANCE GEOHIDROLOGICO	50
Censo de Obras de Explotación	50
Pruebas de Bombeo	51
Análisis de Información	52
Evaluación de los Recursos de Aguas Subte <u>rr</u> <u>ráneas</u>	53
VIII.- CONCLUSIONES	60
Condiciones de Explotación a que ha sido sometido el Acuífero.	60
Determinación del Volumen Aprovechable de Agua Subterránea sin Inducir Efectos Per <u>ju</u> <u>diciales</u> en el Acuífero	61
Recomendaciones para la Explotación Futura del Acuífero	62
IX.- BIBLIOGRAFIA	64

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

La distribución irregular de los recursos hidráulicos en el País —subterráneos y superficiales— y la necesidad creciente que existe del agua para todos usos son las cuestiones fundamentales que han determinado y agudizado la problemática en torno al abastecimiento del líquido.

Este es el punto de partida para comprender la importancia de los estudios geohidrológicos, que proporcionan información vital para el óptimo funcionamiento de los acuíferos.

Las zonas en las cuales hay escasez de escurrimientos superficiales importantes son las más interesadas en los estudios geohidrológicos, ya que precisamente del agua subterránea depende la satisfacción de sus necesidades.

La elaboración de un estudio geohidrológico implica el procesamiento de la información recabada en el campo y el análisis detallado de los factores que determinan al sistema acuífero.

Los objetivos de todo estudio geohidrológico son:

- a) Determinación de la recarga al acuífero, mediante estudio directo de agua subterránea.
- b) Definición de las condiciones de explotación en que se encuentra el acuífero.
- c) Determinación del volumen aprovechable de agua subterránea sin inducir efectos perjudiciales en el acuí-

fero, considerando en las áreas estudiadas los siguientes factores limitantes: problemas de intrusión salina en las zonas próximas al mar, calidad del agua subterránea tal que cumpla con las normas preestablecidas según el uso, profundidad a los niveles estáticos, asentamientos del terreno, etc.

- d) Proponer recomendaciones para la explotación futura del acuífero.

Para alcanzar estos objetivos, deben analizarse los aspectos siguientes:

- a) Marco geológico en que se mueve el agua subterránea.
- b) Mecanismo de recarga y descarga del acuífero.
- c) Número y distribución de los aprovechamientos de agua subterránea existentes y cuantía de las extracciones.
- d) Distribución de las características hidráulicas del acuífero.
- e) Distribución de la calidad del agua subterránea y su relación con las formaciones geológicas y con el funcionamiento del acuífero.
- f) Relación entre agua superficial y agua subterránea.

El agua subterránea presenta ciertas características que hacen que su utilización sea más ventajosa con respecto del agua superficial. Entre las más importantes se pueden mencionar las siguientes:

El agua subterránea presenta una mejor distribución espacial que el agua superficial, ya que el área en la que se localizan los acuíferos no se concentra en cauces con grandes lon-

gitudes, sino más bien en superficies extendidas bien determinadas, lo cual favorece la explotación de los mismos.

El agua subterránea no está sujeta a las variaciones climáticas de manera tan directa como el agua superficial. Puede darse el caso de que aún y cuando en el acuífero estudiado no se haya registrado precipitación, el flujo de agua subterránea se presente debido a que la zona de recarga e infiltración corresponde a otra área alejada con condiciones climáticas diferentes, en la que sí se haya registrado precipitación.

Normalmente el agua subterránea es de mejor calidad que el agua superficial, ya que está menos expuesta a la contaminación y además el suelo actúa como un gran filtro.

Las pérdidas del volumen de agua por evaporación disminuyen notablemente en el agua subterránea y este factor es de gran importancia ya que si se obtienen los volúmenes de agua evaporados en almacenamientos superficiales, se observará una pérdida importante del agua y si se ha dicho que la escasez es un gran problema, entonces podrá ubicarse mejor esta ventaja.

Para almacenar agua superficial se requiere de ciertas obras de infraestructura y el consiguiente mantenimiento de tales obras. El agua subterránea se almacena de manera natural en el subsuelo, sin necesidad de la intervención humana.

Por lo anteriormente expuesto, se concluye que la necesidad de elaborar políticas bien definidas en la utilización de los recursos hidráulicos subterráneos es imperativa e imposter-gable. En realidad ya se han logrado avances significativos en este aspecto, pues existe el Banco Nacional de Información Geohidrológica, cuyos objetivos apuntan en la dirección mencionada; pero aún falta mucha información por recabar y procesar. De hecho, este proceso no tiene fin, ya que deben actualizarse constantemente los datos y conclusiones obtenidas, para estar al día en esta cuestión tan delicada y vital para el país.

En la medida en que se conozcan a detalle los recursos na
cionales, podrá planearse e implementarse una política de desa-
rrollo que satisfaga y resuelva los problemas derivados por la
falta de agua.

LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO:

El Valle de las Palmas se localiza en la parte noroccidenta
l de la península de Baja California. Sus límites son: al
norte, la frontera con EU; al sur, la Cuenca del Arroyo Guadalupe;
al este las estribaciones de la Sierra Juárez y al Oeste
la Cuenca de los Valles del Médano y el Descanso. Geográficamente
queda limitado por las siguientes coordenadas: 32°30' y
32°10' de latitud norte y 115°55' y 116°55' de longitud oeste.
(Ver plano 1.1 de localización de la zona de estudio).

COMUNICACIONES.

El Valle de las Palmas se integra al resto del estado por
la carretera federal No. 3 que comunica la Cd. de Ensenada con
Tecate, donde entronca con la federal No. 2, existiendo una dis-
tancia de 70 Km a Ensenada. Las poblaciones del interior del -
Valle se comunican entre sí por caminos vecinales de terracería.

Políticamente el Valle pertenece en su mayor parte al Mu-
nicipio de Tecate y el resto al de Tijuana.

Las necesidades en cuanto a comunicación a través de mi-
croondas se encuentran totalmente satisfechas en el estado, ya
que siete de las principales localidades se encuentran enlazadas
con la ruta Hermosillo-Ensenada.

El estado de Baja California cuenta con dos aeropuertos -
internacionales, uno en Tijuana y otro en Mexicali. Además, -
Ensenada cuenta con un aeropuerto militar que proporciona servi-
cio a la aviación comercial. La Cd. de Tecate posee un aeródromo
federal de tierra.

Por último, el estado cuenta con un solo puerto de altura, en la cd. de Ensenada.

POBLACION:

En esta región del país existen 2 factores que han contribuido de manera muy importante en la agudización del problema del abastecimiento de agua, ya sea para consumo doméstico, industrial, para riego, etc.

- a) Gran escasez de escurrimientos superficiales.
- b) Concentraciones masivas de población en la franja - fronteriza debidas a las corrientes migratorias procedentes del interior del país.

El primer factor es eminentemente geográfico y climático; por tanto, ajeno a la mano del hombre. La inclemencia del clima en esta zona del país es determinante en cualquier aspecto relacionado a ella; incluso, éste es uno de los factores que han influido para que Baja California sea uno de los estados -- con menor densidad de población.

El segundo punto es humano en el sentido más amplio del término. La mayoría de mexicanos que cruza la frontera con intenciones de ir a trabajar a los Estados Unidos lo hace por Baja California. Sin embargo, muchos emigrantes no logran su objetivo o si lo consiguen son posteriormente deportados, y al no disponer de recursos económicos suficientes para regresar a sus lugares de origen, se establecen definitivamente en las ciudades fronterizas.

Esto origina un crecimiento de la población que aunado a la alta tasa de natalidad produce problemas cuyos efectos combinados son de graves proporciones e inciden directamente sobre el conjunto de la sociedad.

La zona en la cual se ubica el Valle de las Palmas es la más densamente poblada del estado; baste señalar que 90% de la población estatal se asienta en un 10% del territorio del mismo.

Las poblaciones más importantes de la región son: Tijuana, Ensenada y Tecate. Otros núcleos son: El Sauzal, El Testerazo, Valle de las Palmas y Rosarito.

En base al dato preliminar de la población estatal para 1980 (X Censo General de Población SPP), se obtuvieron las estimaciones correspondientes de las poblaciones mencionadas, — siendo las siguientes:

LOCALIDAD	POBLACION ESTIMADA (1980)	INCREMENTO RES- PECTO A 1970
Ensenada, Cd.	130 000	64.3 %
El Sauzal, embarcadero	4 700	30.5 %
Tecate, Cd.	17 000	12.6 %
El Testerazo, ranchería	835	164.2 %
Valle de las Palmas (Col. Agrícola)	1 100	123.1 %
Tijuana, Cd.	950 000	242.6 %
Rosarito	6 000	12.6 %
Estatad (Preliminar)	1 227 400	41.0 %

La tasa de natalidad estatal correspondiente para el lapso 1970 - 80 es de 3.5%, la cual es mayor que la tasa a nivel nacional, que es de 2.9%. Sin embargo, como se ha expuesto, este incremento de población se debe principalmente a la inmigración registrada.

Por ser Tijuana la población más importantes y problemática a la vez, a continuación se presentan algunos datos:

Se calcula que en los últimos ocho años el 57.2% de las

personas que emigraron a la frontera norte fueron a Tijuana. Esta ciudad tiene una población de aproximadamente 950 000 hab. (1981) de los que un 47.5% —451 000— procede de otras entidades. Del total, se calcula que un 65% de la población habita en cinturones de miseria, en condiciones deplorables de hacinamiento, subempleo y total desocupación. Además, tales conglomerados no tienen ningún tipo de servicios públicos. De la población económicamente activa, el 45% recibe la mitad del salario mínimo, sólo un 9.6% —el doble del salario mínimo— y un 2.3% de 3 a 4 veces este salario.

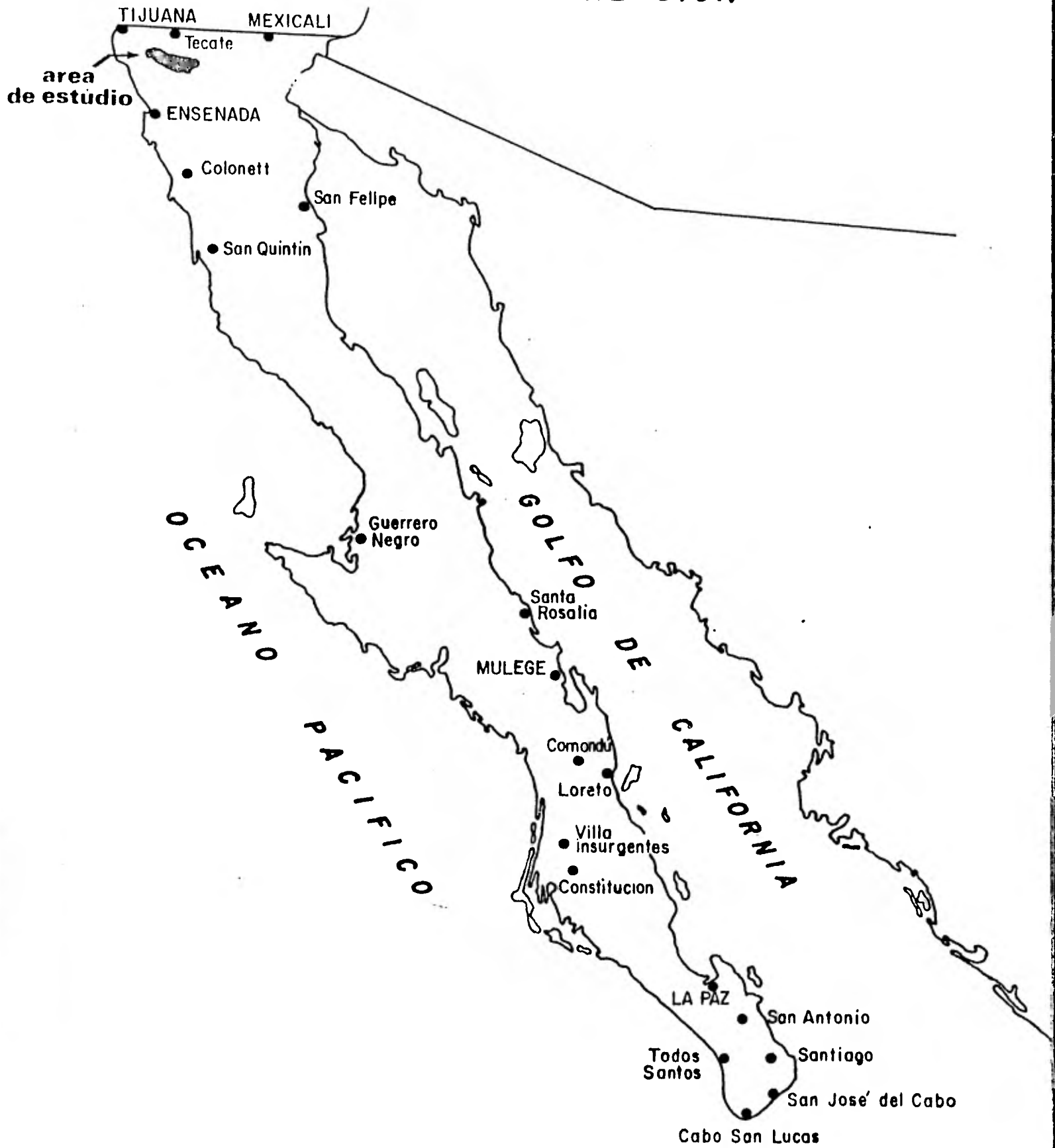
Además, Tijuana es la ciudad fronteriza más importante en cuanto a turismo se refiere. Consecuencia de ello es que para el año de 1976, la población flotante fue de 40 000 personas extranjeras diarias y para 1977 de 47 000 aproximadamente.

Por otra parte, la distribución de la población económicamente activa por sectores, indica que el de servicios es el que más se ha incrementado, seguido por el sector industrial y disminuyendo en el sector agropecuario.

Según estimaciones del CODECALI, el 84% de la población estatal para 1980 corresponderá a zonas urbanas y el 16% restante a zonas rurales. De la población urbana, el 54% pertenecerá al sector servicios y el 30% restante al sector industrial. De aquí puede observarse una vez más el fenómeno típico que aqueja y caracteriza a nuestra sociedad: abandono paulatino de las actividades agropecuarias y un incremento importante de la población urbana.

Las cifras anteriores indican de manera parcial la gran complejidad que se presenta en Tijuana, abarcando todos los aspectos sociales con características alarmantes y de consecuencias difíciles de predecir. Es precisamente esa población la que demanda un gran esfuerzo para dotar de los servicios públicos elementales a sus habitantes, incluida por supuesto el agua potable.

PLANO DE LOCALIZACION



unam *enep-acatlan*
INGENIERIA

PLANO DE LOCALIZACION

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982

PLANO I-1

C A P I T U L O II

" CLIMATOLOGIA "

En el análisis de climatología del valle, se contó con información recabada por las estaciones que para tal efecto ha instalado la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Se consideraron de interés las siguientes estaciones climatológicas utilizadas para el estudio del Valle de las Palmas, B.C.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS PARA ESTUDIO
DEL VALLE DE LAS PALMAS, B. C.

TABLA 11.1

ESTACION	C O O R D E N A D A S		MSNM	CUENCA	PERIODOS CON DATOS		
	LATITUD N	LONGITUD W	ALTITUD		LLUVIA	TEMP.	EVAP.
EL Pinal	32° 11' 12"	116° 17' 14"	1350	Arr. Guadalupe	1965-76	1965-76	
EL Testerozo	32° 17' 10"	116° 31' 52"	362	Arr. Las Palmas	1971-76	1975-76	
La Puerta	32° 32' 38"	116° 40' 42"	480	R. Tijuana	1948-75	1948-75	1961-75
La Rumorosa	32° 32' 55"	116° 02' 47"	1232	Cerrada	1932-76	1932-76	
Preso A. Rodríguez.	32° 26' 49"	116° 54' 28"	120	R. Tijuana	1929-76	1929-76	1929-76
Valle de las Palmas.	32° 22' 13"	116° 37' 13"	280	Arr. Las Palmas	1923-76	1923-76	1953-76

Puede observarse que todas las estaciones proporcionan datos de temperatura y precipitación, no así para la evaporación pues de las seis estaciones, únicamente tres la han registrado.

PRECIPITACION.- Para calcular la precipitación media mensual y anual en la Cuenca del Valle, se utilizaron los polígonos de Thiessen para ponderar la precipitación según el área que a cada estación le corresponde.

En la tabla 11.2 se muestran los datos y el cálculo realizados.

La estación "El Testerazo" no fue tomada en cuenta por considerarse de poca confiabilidad debido a que su instalación es relativamente reciente.

De la tabla puede notarse que el régimen de precipitaciones invernal, presentándose la mayor precipitación en el mes de diciembre, con 39.6mm y la menor es el mes de junio con 2.4mm. La estación que registra mayor precipitación es "El Pinal". "La Rumorosa" por su parte registra la menor lámina de lluvia; estas dos estaciones se localizan en las partes altas de la Cuenca.

El empleo de las estaciones mencionadas se basó en el área de drenaje del arroyo "Las Palmas", ya que aún cuando algunas estaciones no se encuentran propiamente en el Valle, representan — parte del volumen de agua que es drenado hacia el arroyo.

La distribución de la precipitación en la región hidrológica No. 1 (según clasificación de la S.A.R.H.) puede observarse en el plano correspondiente a las isoyetas medias anuales. La precipitación es más escasa hacia la costa oriental y la parte nororiental de la región considerada, con valores que oscilan entre los 50 y 100mm por año. Las zonas más lluviosas son las partes altas correspondientes a "El Pinal", como ya se había mencionado.

TEMPERATURA.- Empleando el mismo procedimiento que para calcular la precipitación media mensual, se determinaron las temperaturas medias en la Cuenca del Arroyo "Las Palmas" (Tabla 11.3) y "Pres-a A. Rodríguez". Las más bajas se registraron en "La Rumorosa" y "El Pinal". En conjunto se tiene que el mes más frío es enero, con una temperatura media de 10.1°C y el más cálido es julio, con 23.7°C. El promedio aritmético de las temperaturas en las estaciones consideradas es de 16°C, y la temperatura media anual en el Valle, utilizando los polígonos de Thiessen, es de 15.2°C que — aceptamos como representativo.

EVAPORACION.- Puede concluirse que los meses de abril a noviembre

son extremadamente secos y los efectos de la evaporación son muy notorios. Si se toma un promedio de la evaporación mensual de — las instalaciones que registran estos datos, y se obtiene la relación que hay con la precipitación media mensual en la Cuenca, se obtendrá que aproximadamente la evaporación es más de 20 veces superior, en promedio, a la precipitación media mensual calculada. (Ver tabla 11.4).

Este número indica la gran importancia que tiene este fenómeno natural, que en algunas ocasiones es menospreciado en cuanto a pérdida de recursos hidráulicos se refiere; sin embargo, el problema principal para trabajar con la evaporación radica en la falta de información, patente en todo el territorio nacional. Para analizar la evaporación, aunada a la transpiración, sería necesario además, conocer los usos consuntivos de la zona en cuestión, pero para efectos de este estudio no se contó con tal información.

Los datos que se recabaron de las estaciones ya mencionadas, pueden observarse en las gráficas (11.1 a 11.23), así como los calculados correspondientes a la Cuenca del Arroyo "Las Palmas".

ANALISIS DE INFORMACION.

Los datos manejados para la determinación de las precipitaciones y las temperaturas medias mensuales, incluyen desde la fecha de instalación de cada estación hasta el año de 1976. Sin embargo, en las gráficas correspondientes a la ocurrencia anual de la precipitación se observa que se registran datos hasta de 1980 inclusive en los casos en que hasta esa fecha se tenía recabada la información.

El procesamiento de los datos obtenidos hasta 1976 fue publicado por la SARH en 1979. Por lo tanto, no se ha editado aún la información obtenida a partir de 1976 y no fue considerado el lapso 1976 - 1980 para la obtención de las precipitaciones y las temperaturas medias mensuales.

Sin embargo, se consideró necesario recabar e incluir la

información sobre precipitación anuales del período 1976 - 1980, ya que en este lapso se registraron lluvias extraordinarias que afectaron considerablemente a las aguas subterráneas del lugar y - no hubiera sido representativo el haberlas considerado para la obtención de medias mensuales o anuales.

En las estaciones consideradas, la precipitación en los años 1978 y 1980 en algunos casos duplica e inclusive triplica la precipitación que normalmente se venía presentando. En la tabla 11.5, se obtiene la precipitación media anual para la Cuenca del Arroyo "Las Palmas" en el período 1978 - 1980, por ser éstos los años más críticos.

Para poder hacer una comparación que sea consistente con las precipitaciones medias mensuales de la tabla 11.1, no se consideró tampoco en este caso a "El Testerazo". Por otra parte, los datos de "La Rumorosa" no son representativos ya que la estación fue suspendida en agosto de 1980, y por tanto, los promedios anotados a partir de este mes, no pueden considerarse como válidos.

Sin embargo, dado que el régimen de lluvias es invernal, puede establecerse la comparación con los meses de enero - marzo de ambas tablas; se observa que para el período 1978 - 1980, la precipitación media registrada en estos meses es tres veces la presentada con anterioridad, lo cual es congruente con la afirmación de que en algunas estaciones la precipitación se duplicó e inclusive se triplicó.

Para la Cuenca del Arroyo la precipitación en este período, utilizando los polígonos de Thiessen, es de 558.4 mm, lo cual duplica la estimada en la tabla anterior, que fue de 269.8 mm.

Este período de lluvias extraordinarias actuó favorablemente en el funcionamiento del acuífero, como podrá constatarse fácilmente en el Capítulo VII correspondiente al balance geohidrológico.

Con objeto de visualizar de manera más objetiva la situación

en la zona en cuanto a precipitación y temperatura, se procedió a la elaboración de isoyetas e isotermas medias anuales en toda la región hidrológica No. 1.

En los planos 11.1 y 11.2 se realizó la configuración de isoyetas e isotermas respectivamente.

**CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN
LA CUENCA DEL ARROYO "LAS PALMAS"**

TABLA II.2

ESTACION	% AREA TOTAL MEDIANTE THIESSEN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
EL PINAL	40.35	49.6	62.9	63.6	47.8	8.0	1.6	22.4	13.8	24.5	4.9	45.5	65.1
		20.0	25.4	25.7	19.3	3.2	0.6	9.6	5.6	9.9	2.0	18.4	26.3
EL TESTERAZO	— —	24.6	35.8	38.7	14.0	1.6	6.9	3.5	0.3	14.6	15.6	25.5	30.2
LA PUERTA	2.92	59.1	36.6	51.7	28.2	7.9	3.5	1.5	3.5	3.8	10.3	30.0	52.8
		1.7	1.1	1.5	0.8	0.2	0.1	0	0.1	0.1	0.3	0.9	1.5
LA RUMOROSA	17.45	18.3	18.2	13.5	7.5	1.1	0.7	7.8	15.3	6.9	10.8	11.1	23.3
		3.2	3.2	2.4	1.3	0.2	0.1	1.4	2.7	1.2	1.9	1.9	4.1
PRESA A. RODRIGUEZ	5.8	39.2	37.6	37.1	20.4	2.9	0.7	0.3	2.1	5.9	9.4	23.2	39.1
		2.3	2.2	2.2	1.2	0.2	0	0	0.1	0.3	0.5	1.3	2.3
VALLE DE LAS PALMAS	33.5	36.7	29.2	31.0	19.1	2.4	0.9	1.1	1.2	5.0	7.0	19.0	27.0
		12.3	9.8	10.4	6.4	0.8	0.3	0.4	0.4	1.7	2.3	6.4	9.0
PRECIPITACION PONDERADA MENSUAL		39.5	41.7	42.2	29.0	4.6	1.1	10.8	8.9	13.2	6.7	28.9	43.2

DATOS EN MM.

LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL SERA LA SUMA DE LAS PONDERADAS MENSUALES

$P_{mo} = 269.8 \text{ mm.}$

CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA
CUENCA DEL ARROYO " LAS PALMAS"

TABLA 11.3

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TEMP. MEDIA ANUAL	TEMP. MEDIA ANUAL PONDERADA
EL PINAL	7.1	8.0	8.4	9.8	12.7	16.6	21.6	19.9	17.6	13.5	10.6	7.5	12.8	5.6
EL TESTERAZO	12.3	11.6	12.1	13.2	18.6	22.1	25.0	25.0	23.4	18.6	15.5	12.4	17.0	- -
LA PUERTA	10.3	11.1	11.8	13.7	15.4	18.9	22.7	23.0	21.6	17.8	14.2	11.4	16.0	0.467
LA RUMOROSA	6.4	7.6	9.3	12.3	16.1	21.4	25.8	25.0	22.0	16.1	10.6	7.3	15.0	2.617
PRESA A. RODRIGUEZ	13.0	13.5	14.2	16.0	17.9	19.6	22.2	22.8	21.7	19.4	16.6	14.0	17.6	1.02
VALLE DE LAS PALMAS	11.7	12.6	13.7	15.9	18.0	21.1	24.9	25.0	23.4	19.6	15.6	12.7	17.9	6.0
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	10.1	10.7	11.6	13.5	16.5	20.0	23.7	23.5	21.6	17.5	13.9	10.9	--	--

LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL SERA LA SUMA DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES PONDERADAS. $T_{mo} = 15.5^{\circ}C$

EVAPORACION MEDIA MENSUAL EN MM.

TABLA II.4

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA TOTAL ANUAL
LA PUERTA	83.7	84.5	109.2	132.1	155.8	175.5	217.5	207.4	174.5	162.2	100.4	93.5	1695.8
PRESA A. RODRIGUEZ	98.5	96.1	119.8	142.2	176.9	195.0	221.3	205.2	171.7	147.3	123.6	102.1	1800.0
VALLE DE LAS PALMAS	92.3	94.0	130.7	162.0	199.8	237.9	276.4	262.5	217.7	162.0	113.9	99.8	2049.1

CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN
LA CUENCA DEL ARROYO "LAS PALMAS" EN EL PERIODO
1978-1980

TABLA 11-5

ESTACION	% AREA TOTAL	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	
EL PINAL	40.35	242.2 97.7	217.6 87.8	181.3 73.2	41.8 16.9	14.0 5.6	--	2.8 1.1	2.5 1.0	6.3 2.5	17.3 7.0	48.3 19.5	59.3 23.9	
EL TESTERA- ZO.		194.3 --	117.3 --	125.2 --	22.6 --	6.3 --	-- --	(1.0) --	(--) --	(1.0) --	(3.5) --	(26.0) --	(32.6) --	
LA PUERTA	2.92	197.5 5.8	144.2 4.2	121.7 3.6	31.2 0.9	7.9 0.2	-- --	-- --	-- --	1.8 --	12.1 0.4	35.1 1.0	39.9 1.2	
LA RUMORO- SA.	17.45	91.5 15.9	30.0 5.2	19.0 3.3	5.0 0.9	11.3 2.0	1.7 0.3	5.7 1.0	(21.3) 3.7	(4.7) 0.8	(3.3) 0.6	(21.0) 3.7	(15.7) 2.7	
PRESA A.R.	5.8	117.2 6.8	76.7 4.4	79.4 4.6	14.4 0.8	3.7 0.2	-- --	2.9 0.2	-- --	1.2 0.1	3.4 0.2	21.1 1.2	19.0 1.1	
VALLE DE LAS PALMAS	33.5	138.8 46.5	86.3 28.9	81.7 27.4	18.9 6.3	5.7 1.9	-- --	3.5 1.2	-- --	5.0 1.7	2.6 0.9	18.2 6.1	66.4 22.2	
PREC.PONDE- RADA MENSU- AL.		172.7	130.5	112.1	25.8	9.9	0.3	5.6	4.7	5.1	9.1	31.5	51.1	
				80 78 PPT = $\sum P_{pt}$ POND. mens = 558.4 mm./año										
MEDIA		131.1	111.0	96.6	22.3	8.5	--	3.0	4.8	3.8	7.7	28.7	40.1	

CLASIFICACION CLIMATICA DEL VALLE DE LAS PALMAS

De la carta de climas "Ensenada II R-II Tijuana, II-5-VII y Mexicali 115-VIII" de la Sría. de la Presidencia, de enero de 1970, se obtuvo la clasificación climática del Valle

Pueden considerarse 2 clasificaciones: BSh_s (e) y BSk_s (e)

Estas clasificaciones provienen del sistema de clasificación climática de Köppen modificada por E. García en 1964, para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana.

La primera clasificación BSh_s (e) implica:

- a) Un clima seco o estepario (BS).
- b) Semicálido con invierno fresco, temperatura media anual entre 18 y 22°C.
- c) La del mes más frío menor que 18°C (h).
- d) El régimen de lluvias es invernal; por lo menos tres veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad fría del año que en el mes más seco.
- e) Un porcentaje de lluvia invernal mayor que el 36% de la anual (s).
- f) Con respecto a la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, se tiene que es extremosa, ya que la oscilación varía entre 7°C y 14°C (e).

De los datos obtenidos anteriormente, se verifica que:

- a) La temperatura media anual del valle es aproximadamente 16°C; por tanto, no se cumple el primer requisito de la clasificación (temperatura media anual entre 18 y 22°C).
- b) La temperatura del mes más frío es de 10.1°C en enero, que es menor que 18°C.
- c) El mes más húmedo es diciembre, con 43.2 mm. de precipitación

ción, es mayor que tres veces la de junio.

- d) Considerando la lluvia invernal, la precipitada en los meses de diciembre (43.2 mm), enero (39.5 mm) y febrero (41.7 mm) con un total de $\frac{43.2 + 39.5 + 41.7}{269.8} = 0.461 = 46.1\%$

de la lluvia total anual, mayor que el 36% requerido por la clasificación.

- e) La temperatura mensual mínima corresponde al mes de enero con 10.1°C . La máxima, al mes de agosto, con 23.7°C . Por consiguiente, la oscilación es de $23.7 - 10.1 = 13.5^{\circ}\text{C} < 14^{\circ}\text{C}$.

El otro tipo de clima que se encuentra en el Valle de las Palmas, es el BSk_s (e), con las mismas características del anterior, excepto lo que se refiere a la letra k, que implica un clima templado con verano cálido:

- a) Temperatura media anual entre 12° y 18°C .
- b) La del mes más frío entre -3 y 18°C .
- c) La del mes más caliente $> 18^{\circ}\text{C}$.

V e r i f i c a n d o :

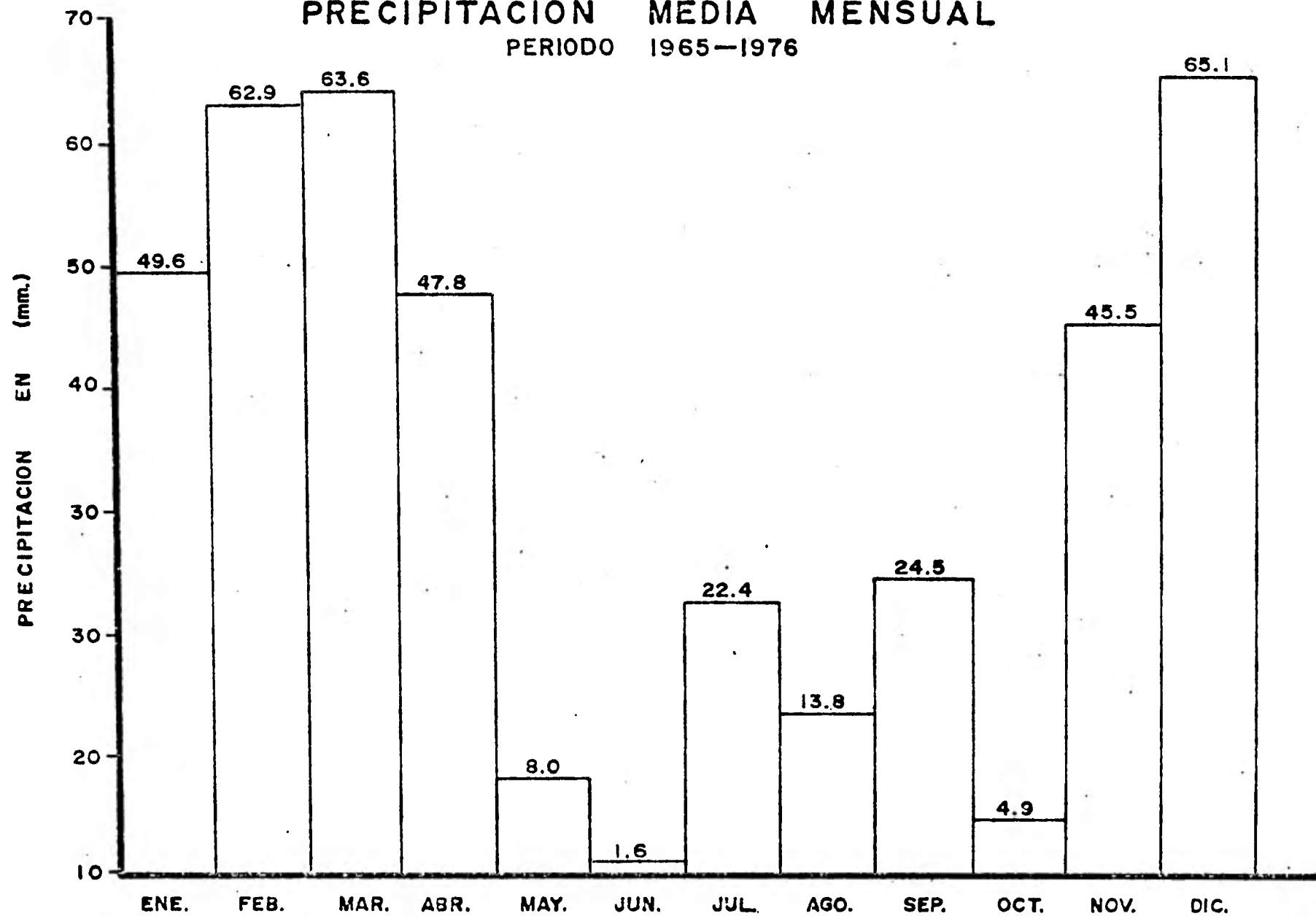
- a) Siendo la temperatura media anual de 15.5°C , se cumple el requisito.
- b) La temperatura del mes más frío es de 10.1°C que está en el rango dado.
- c) La temperatura del mes más caliente, julio, es de 23.7°C , mayor que la de 18°C requerida.

A pesar de que en las dos clasificaciones dadas hay un requisito en cada uno que no se satisface, se toman como válidas tales clasificaciones.

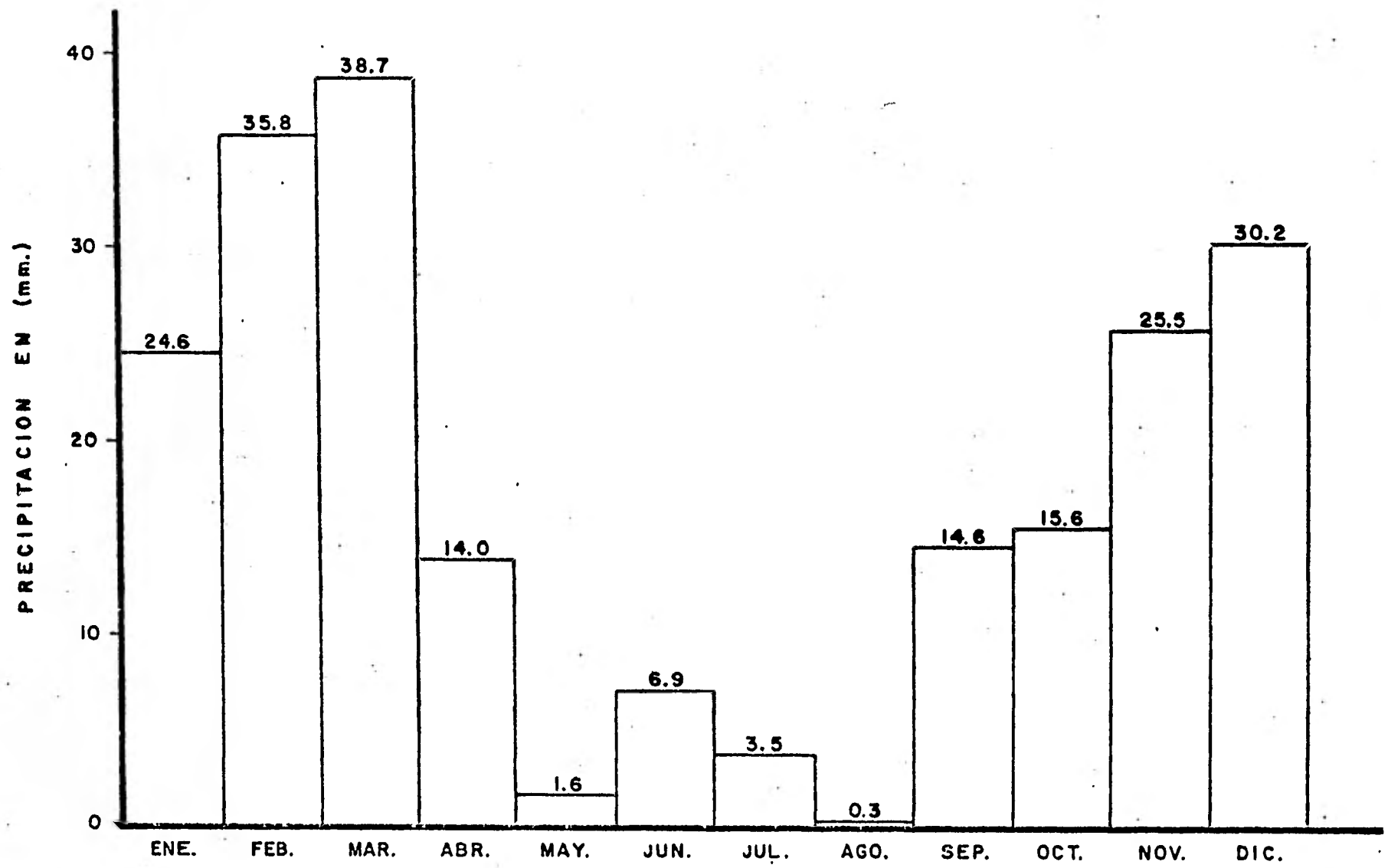
ESTACION "EL PINAL"

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

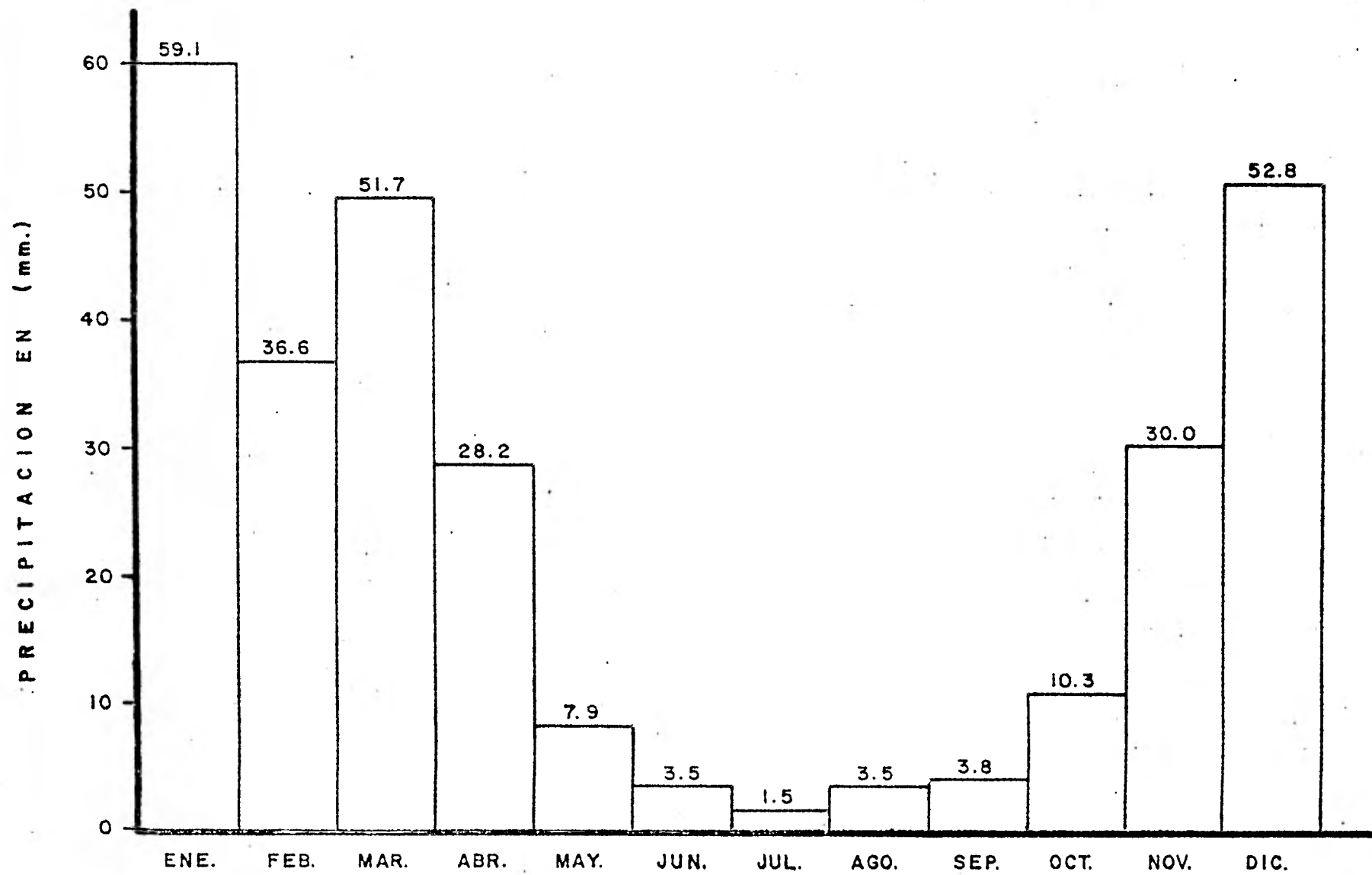
PERIODO 1965-1976



ESTACION "EL TESTERAZO"
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
PERIODO 1971—1976



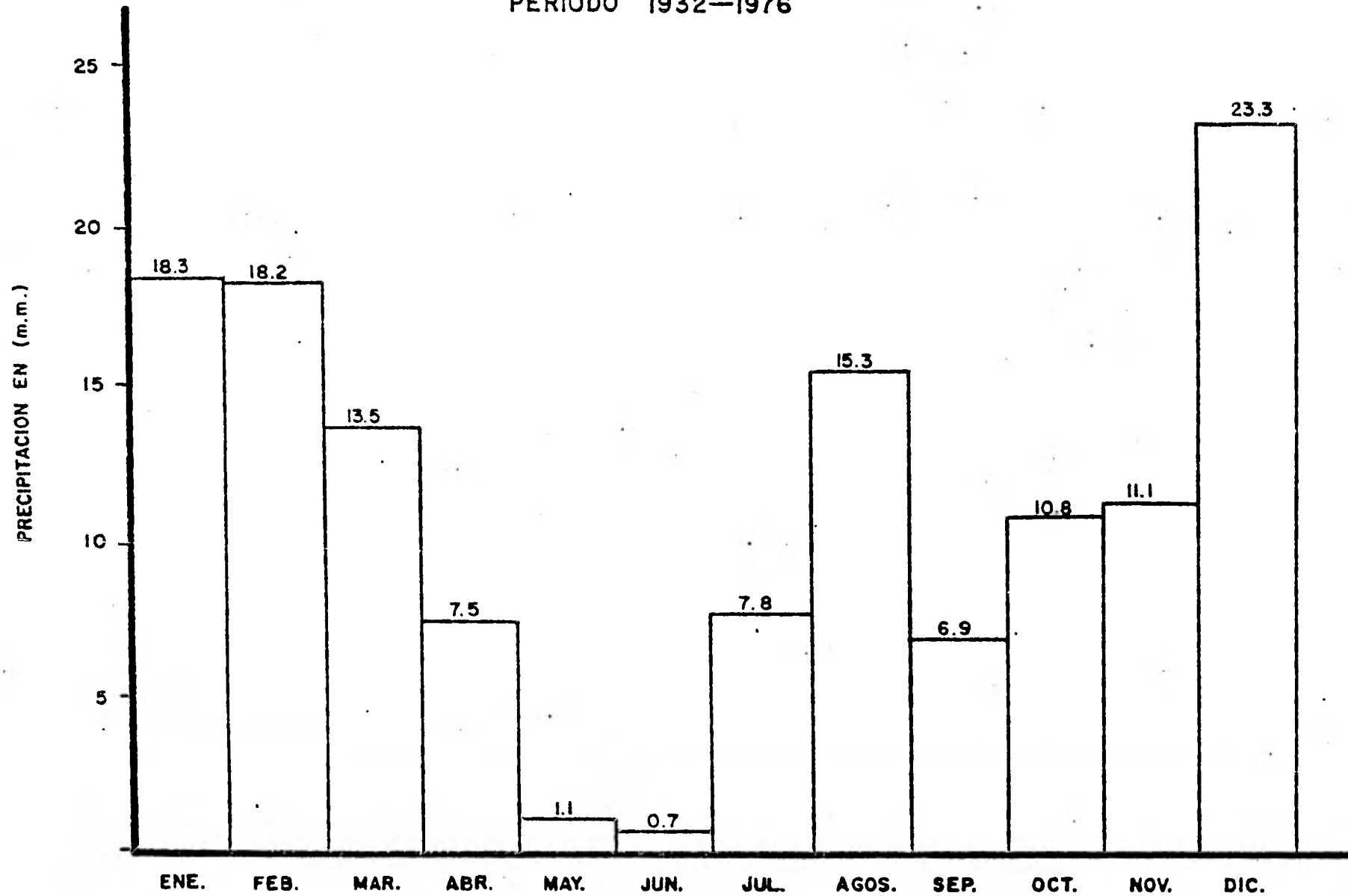
ESTACION "LA PUERTA"
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
PERIODO 1948-1975



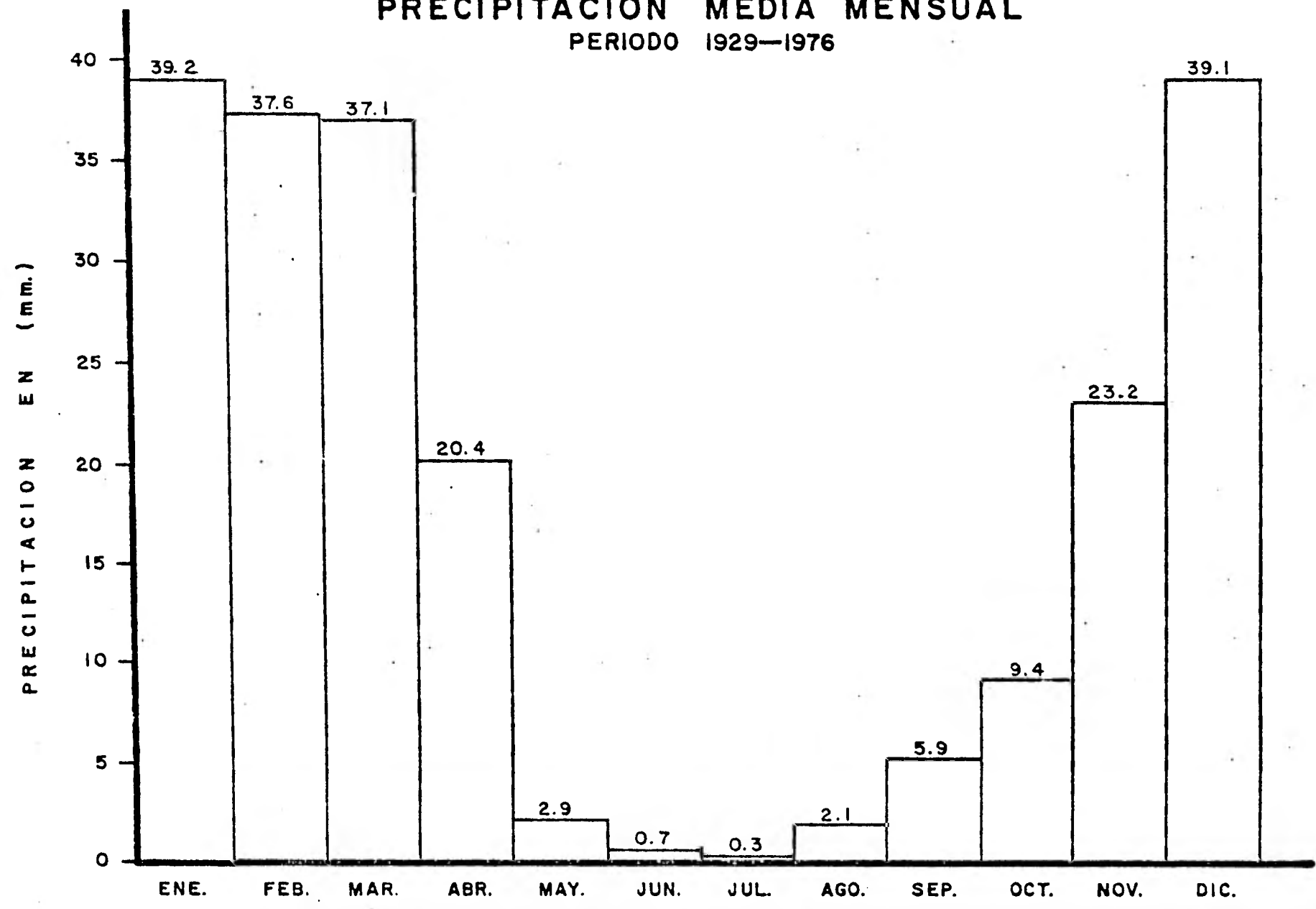
ESTACION "LA RUMOROSA"

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

PERIODO 1932-1976



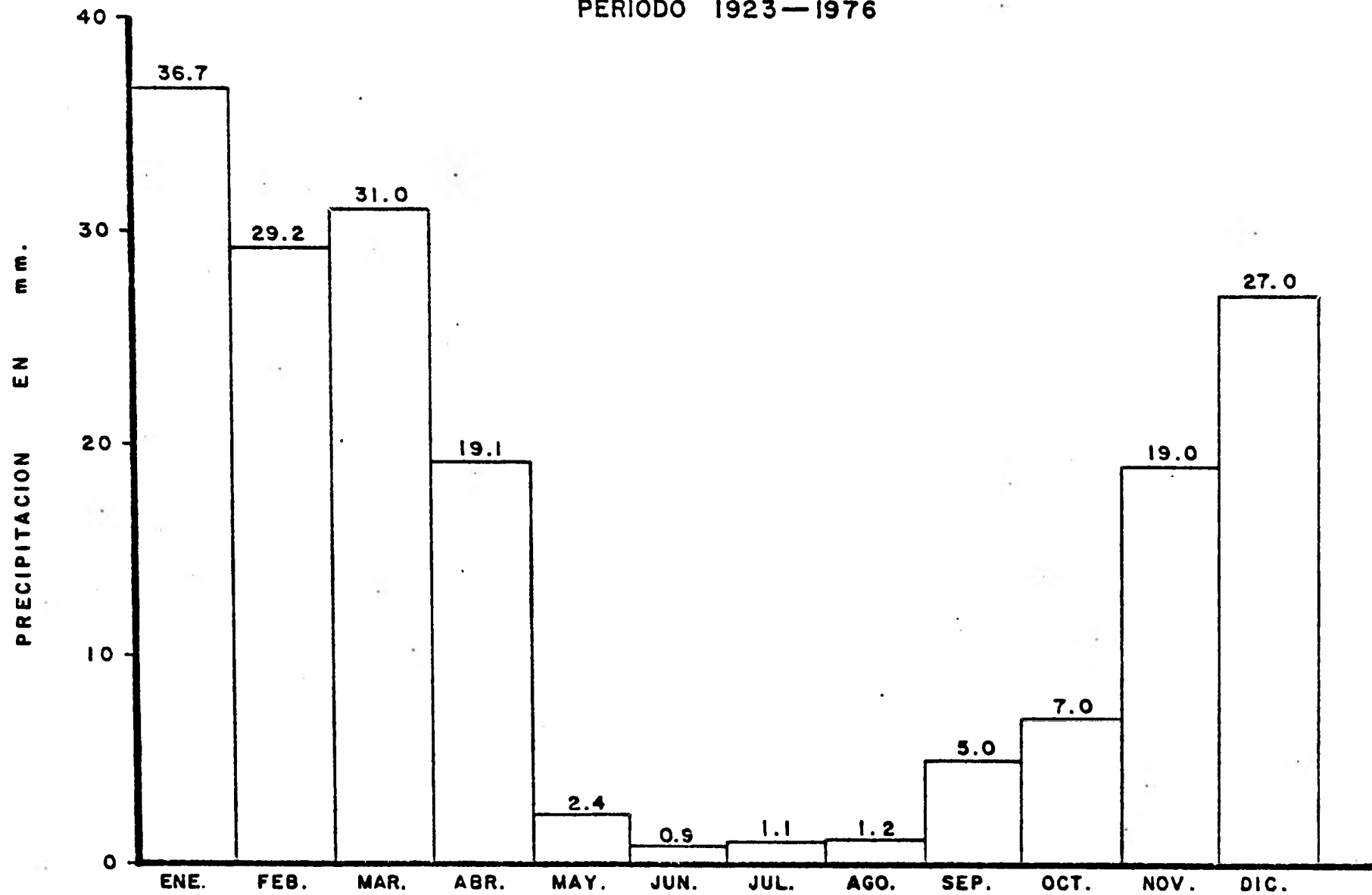
ESTACION "PRESA A. RODRIGUEZ"
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
PERIODO 1929-1976



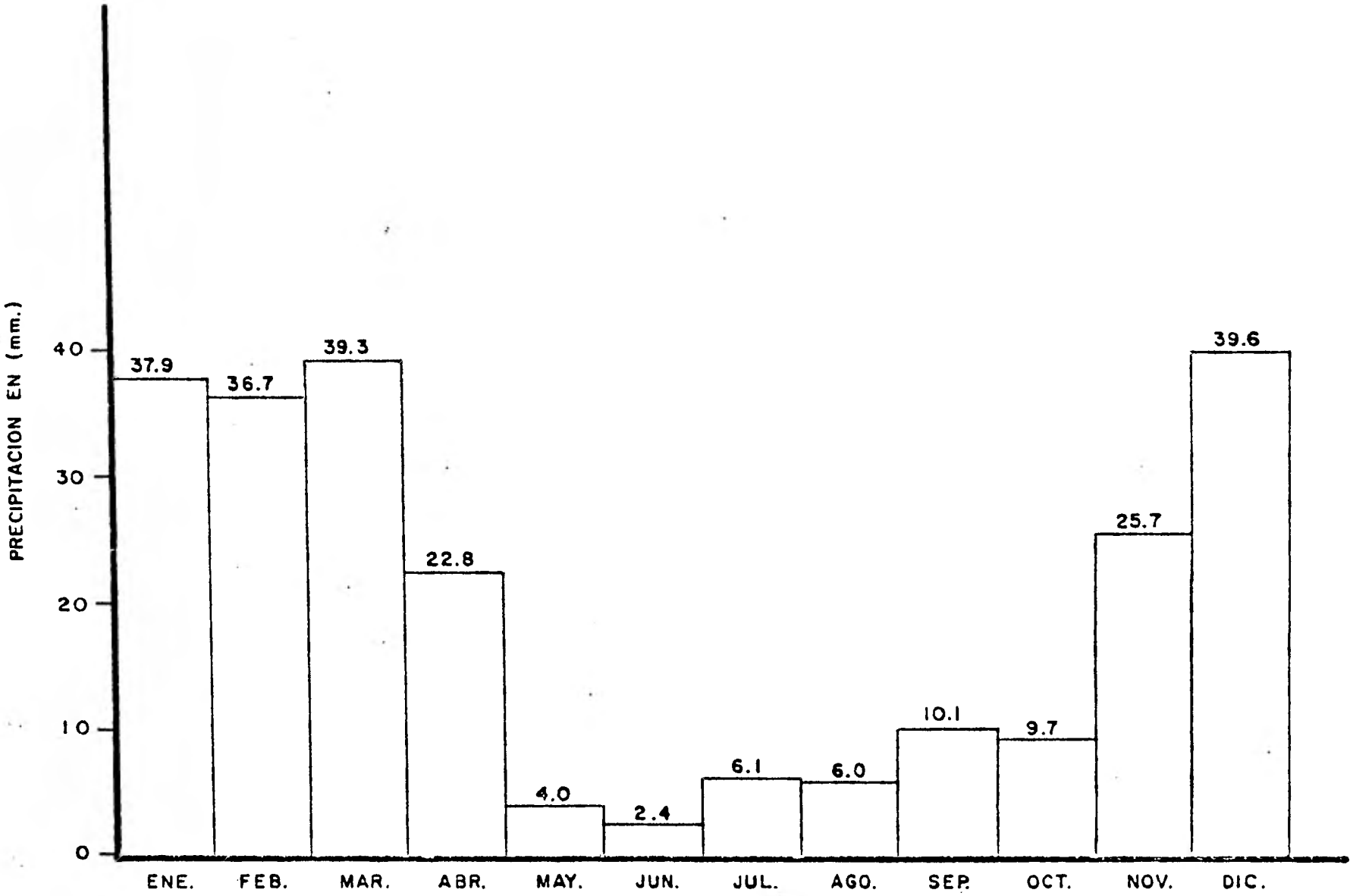
ESTACION "VALLE DE LAS PALMAS"

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

PERIODO 1923—1976

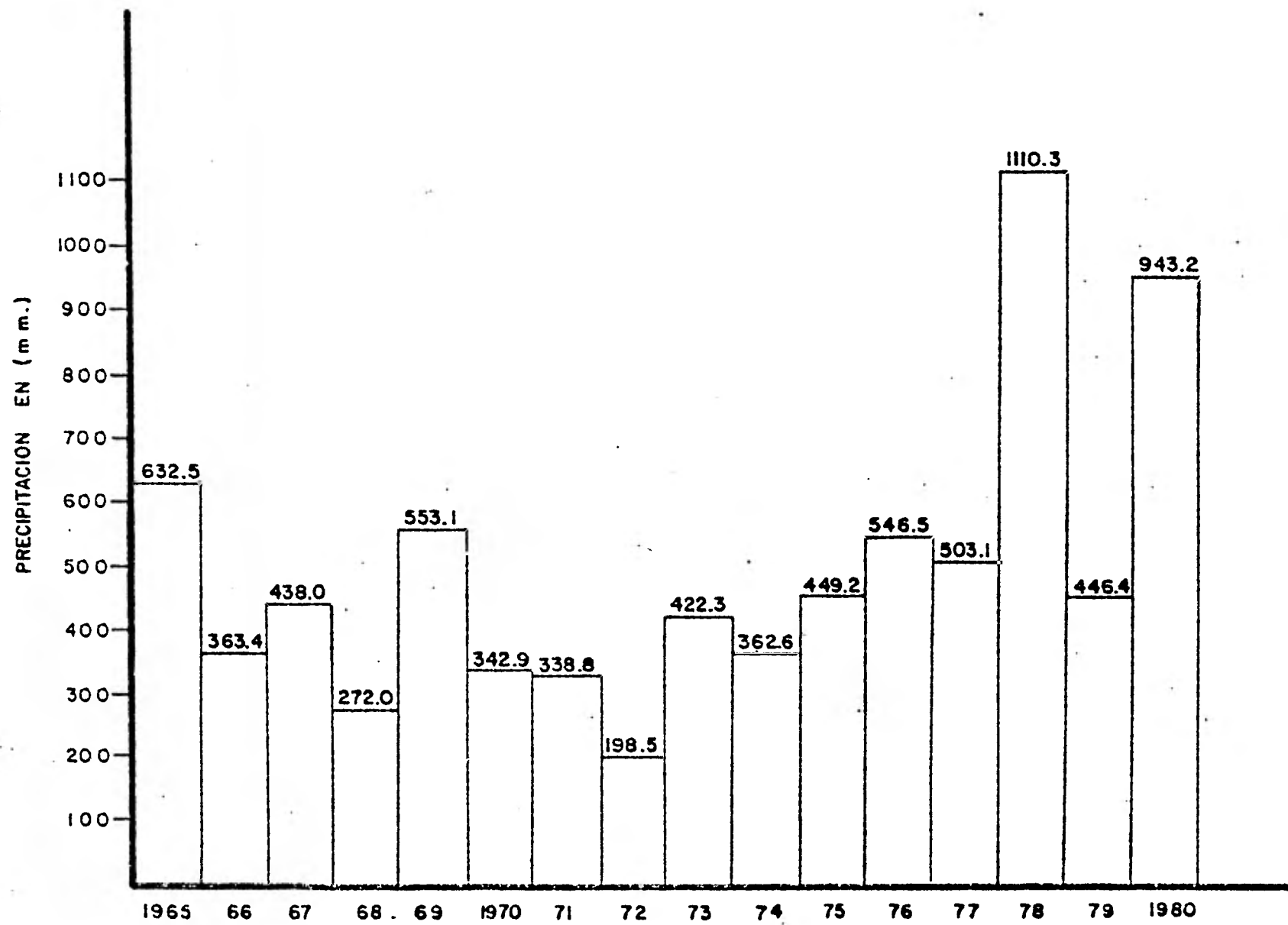


PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA CUENCA
DEL ARROYO "LAS PALMAS"

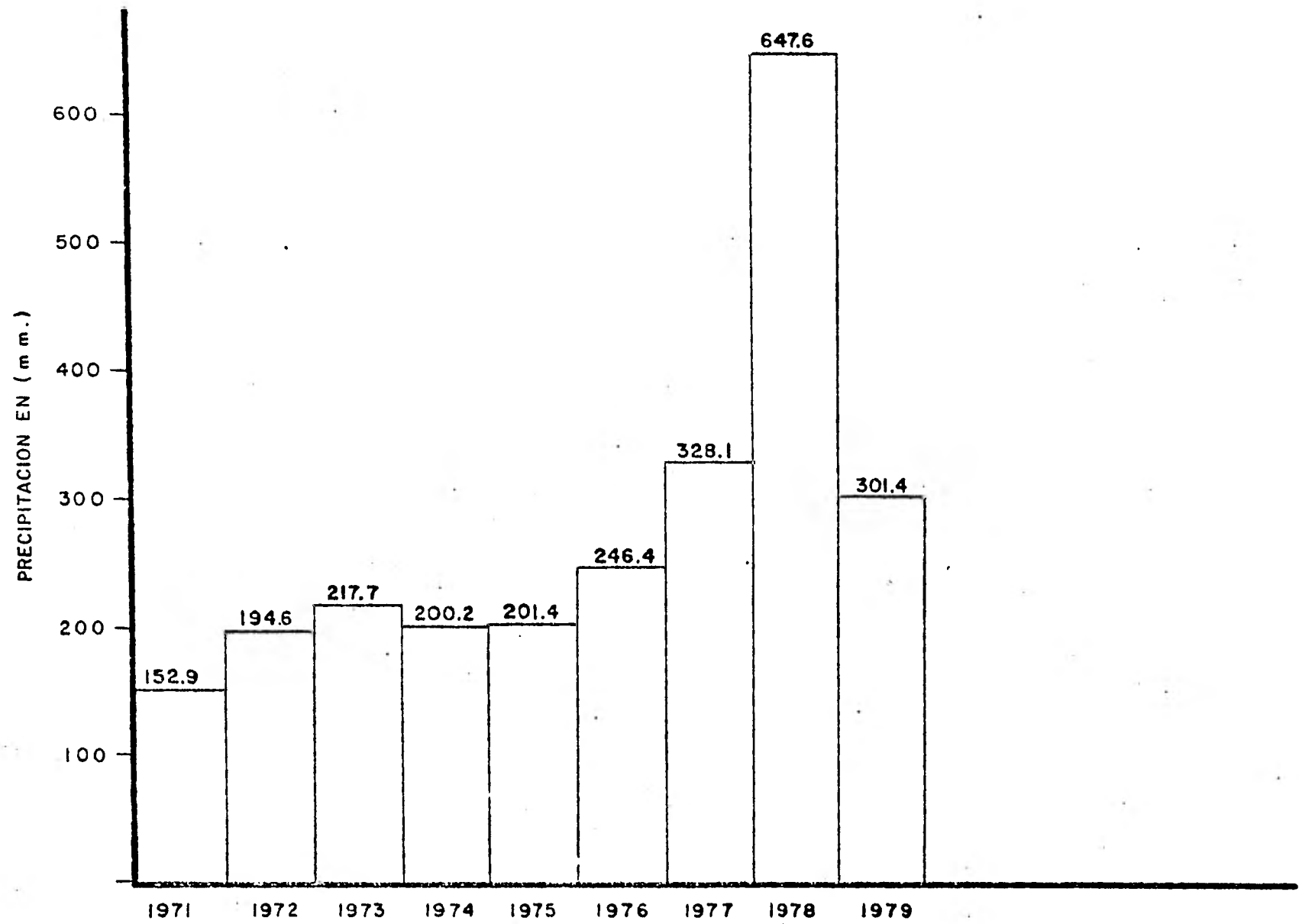


ESTACION "EL PINAL"

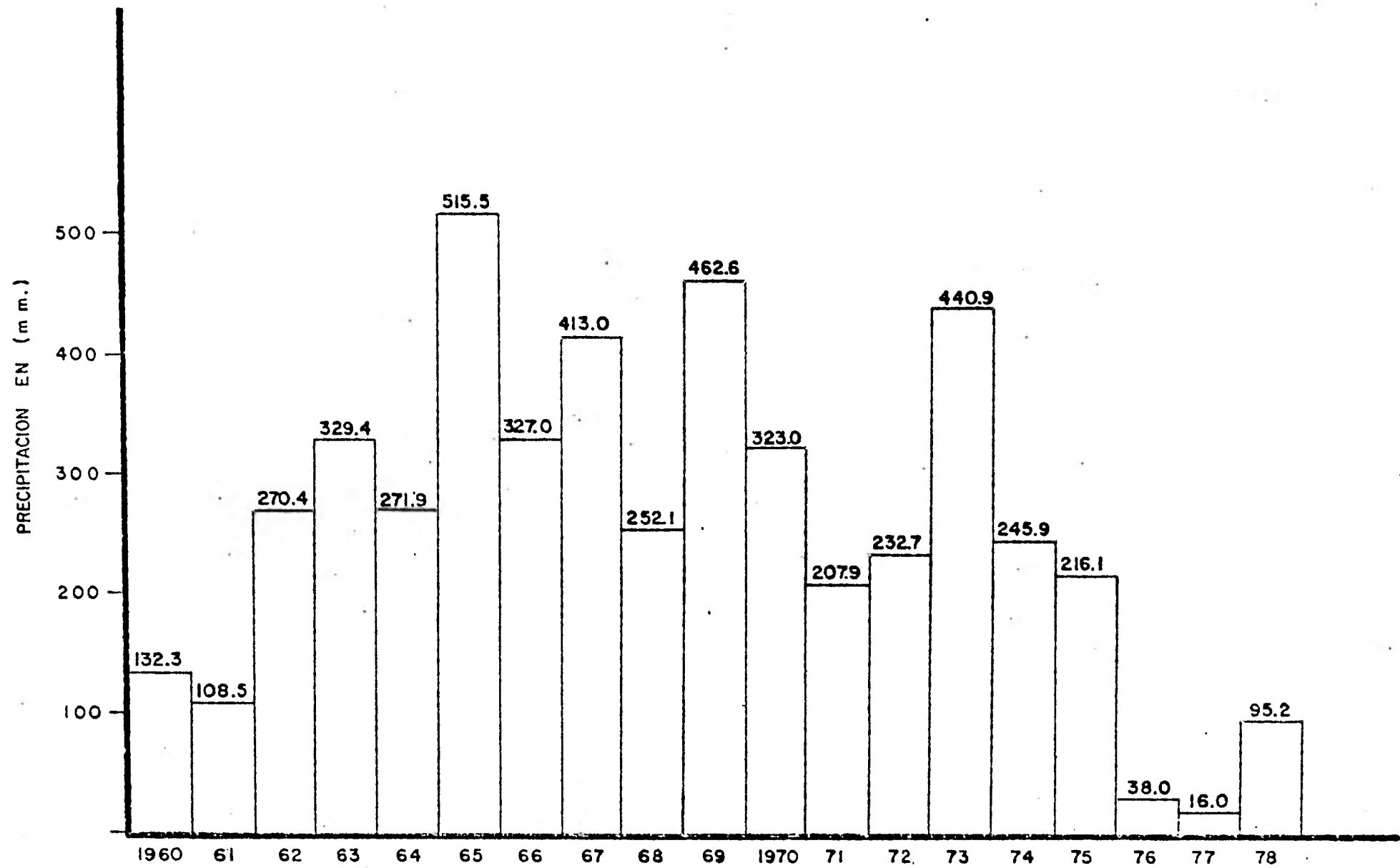
OCURRENCIA ANUAL DE LA PRECIPITACION



ESTACION "EL TESTERAZO"
OCURRENCIA ANUAL DE LA PRECIPITACION

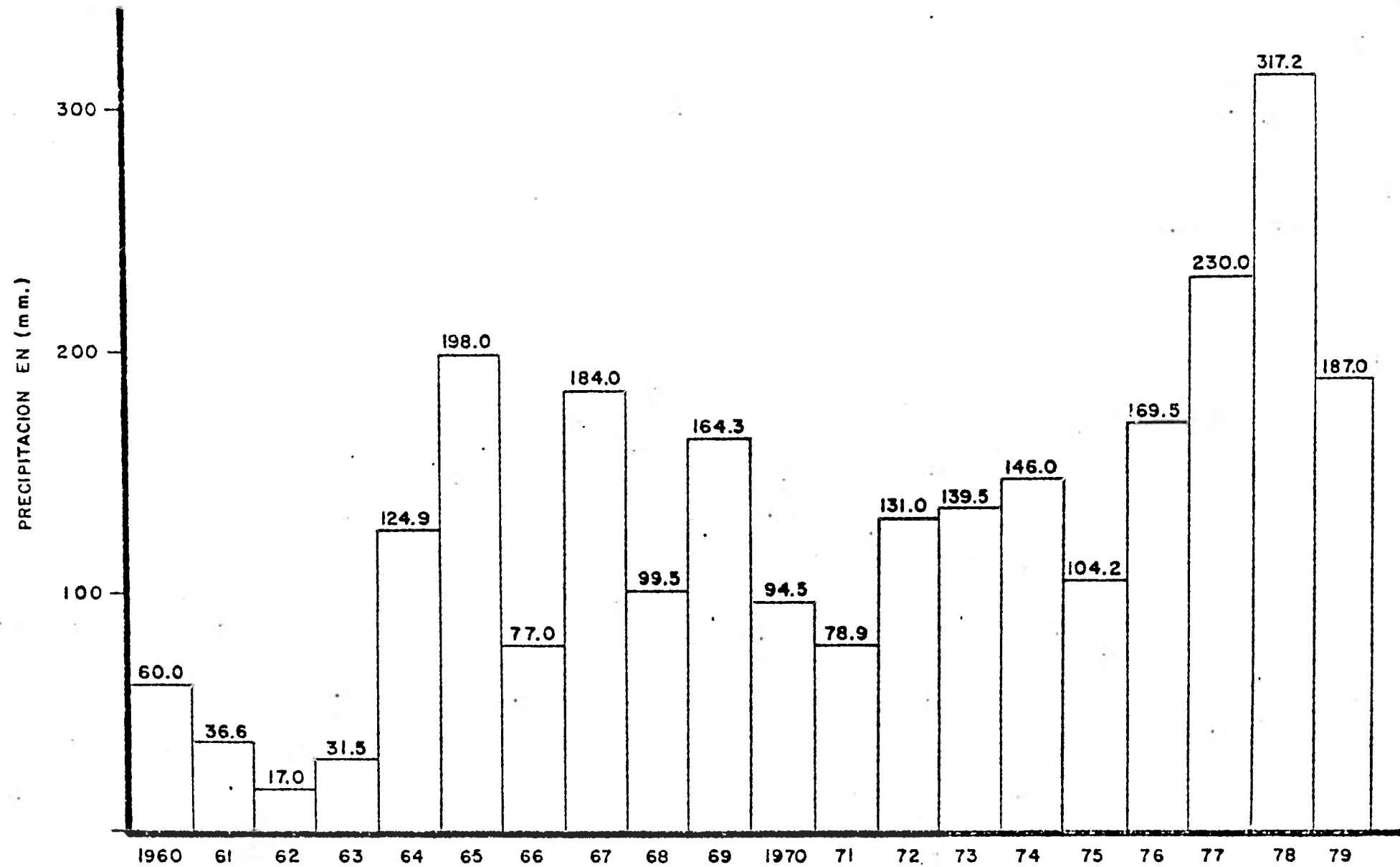


ESTACION "LA PUERTA"
OCURRENCIA ANUAL DE LA PRECIPITACION

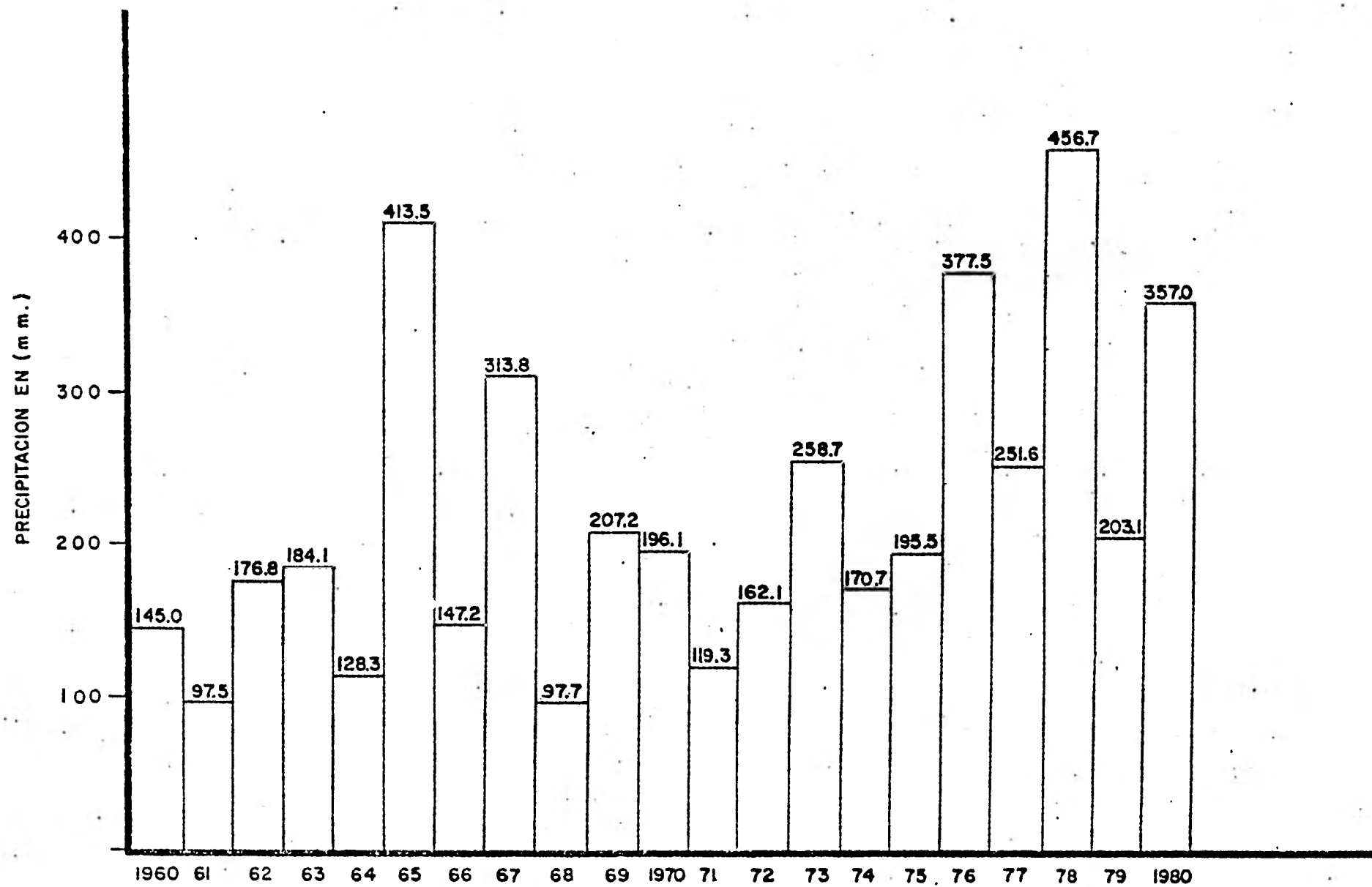


ESTACION "LA RUMOROSA"

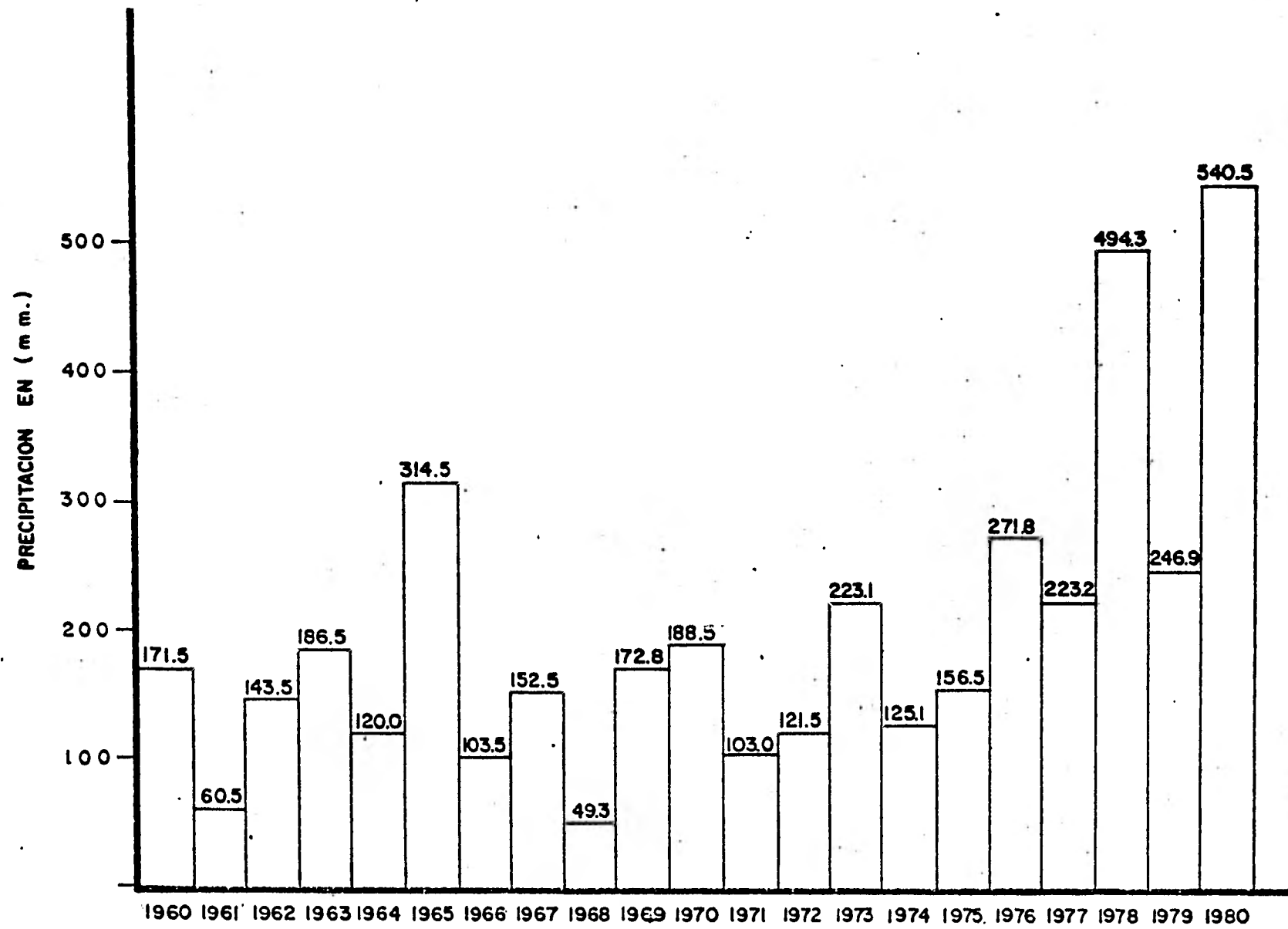
OCURRENCIA ANUAL DE LA PRECIPITACION



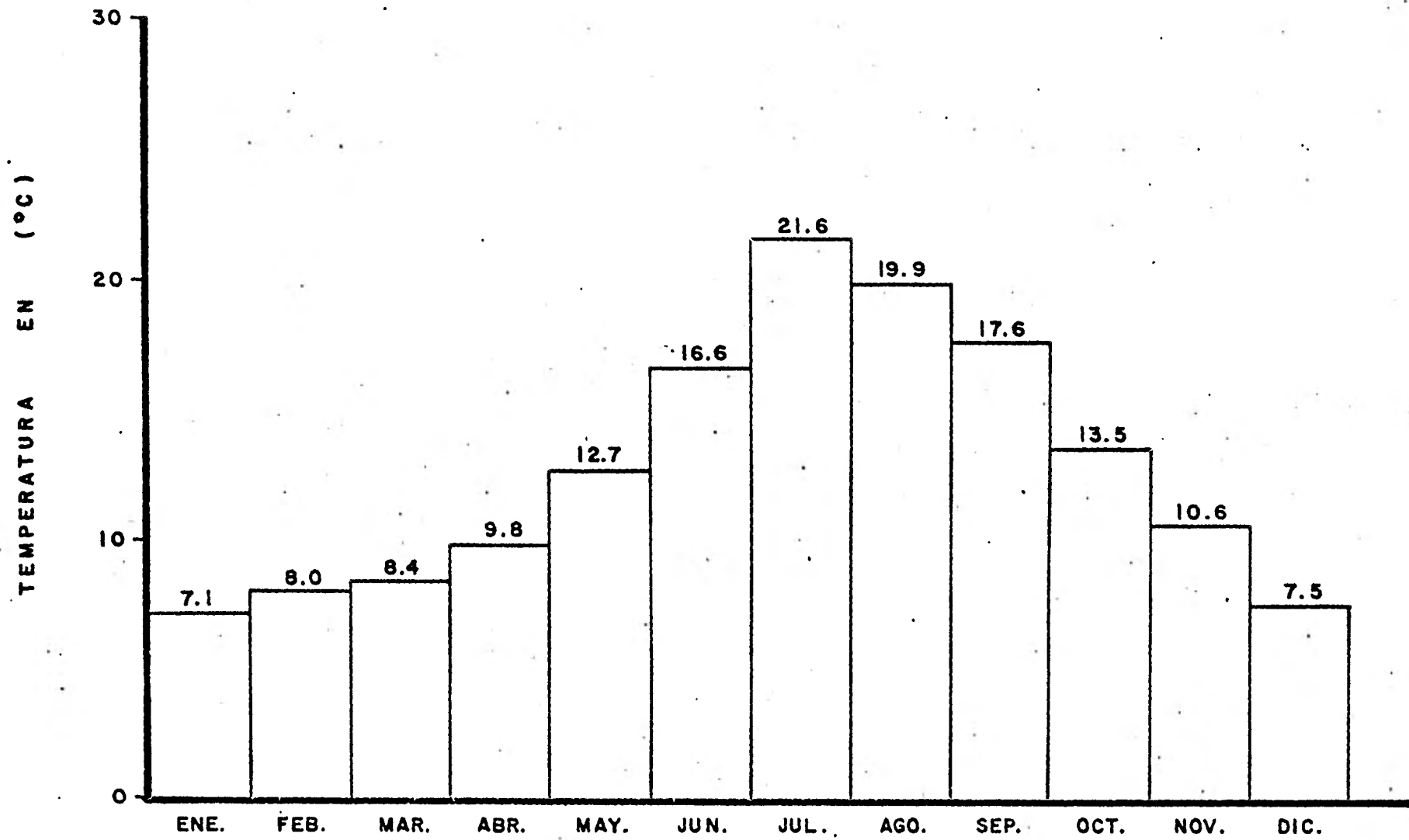
ESTACION "PRESA ABELARDO RODRIGUEZ"
OCURRENCIA ANUAL DE LA PRECIPITACION



ESTACION "VALLE DE LAS PALMAS"
OCURRENCIA ANUAL DE LA PRECIPITACION



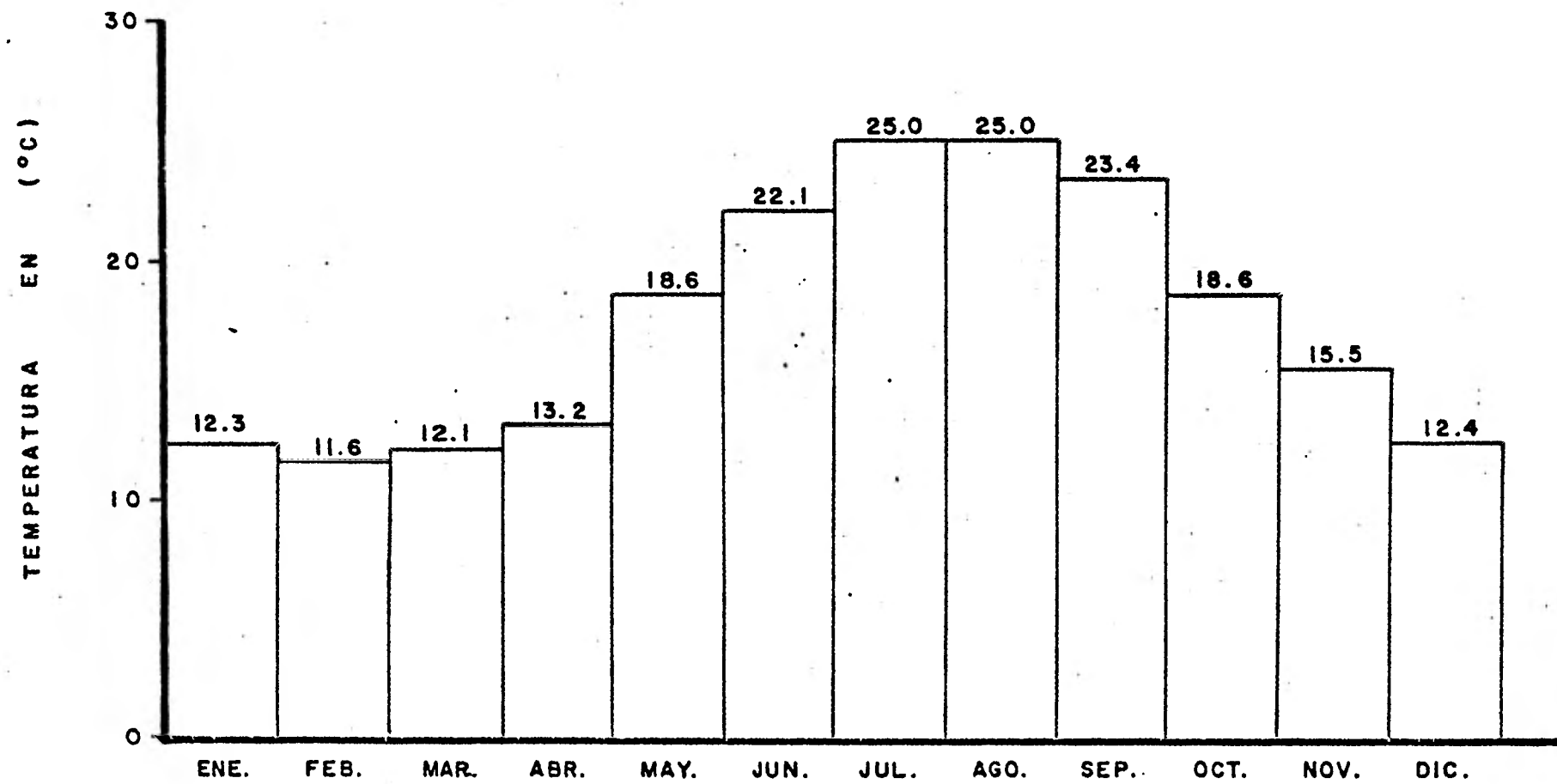
ESTACION "EL PINAL"
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
PERIODO 1965-1976



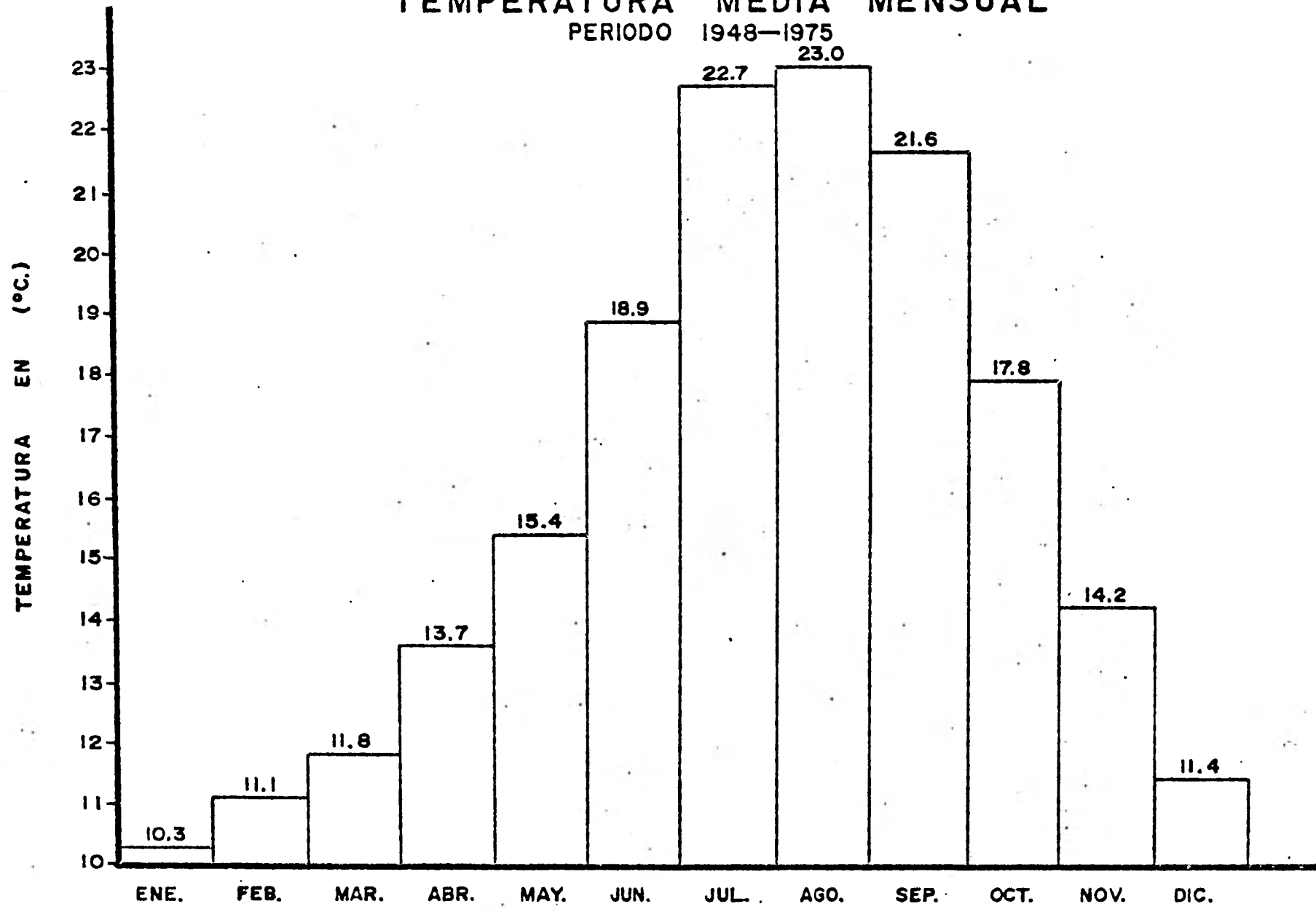
ESTACION "EL TESTERAZO"

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

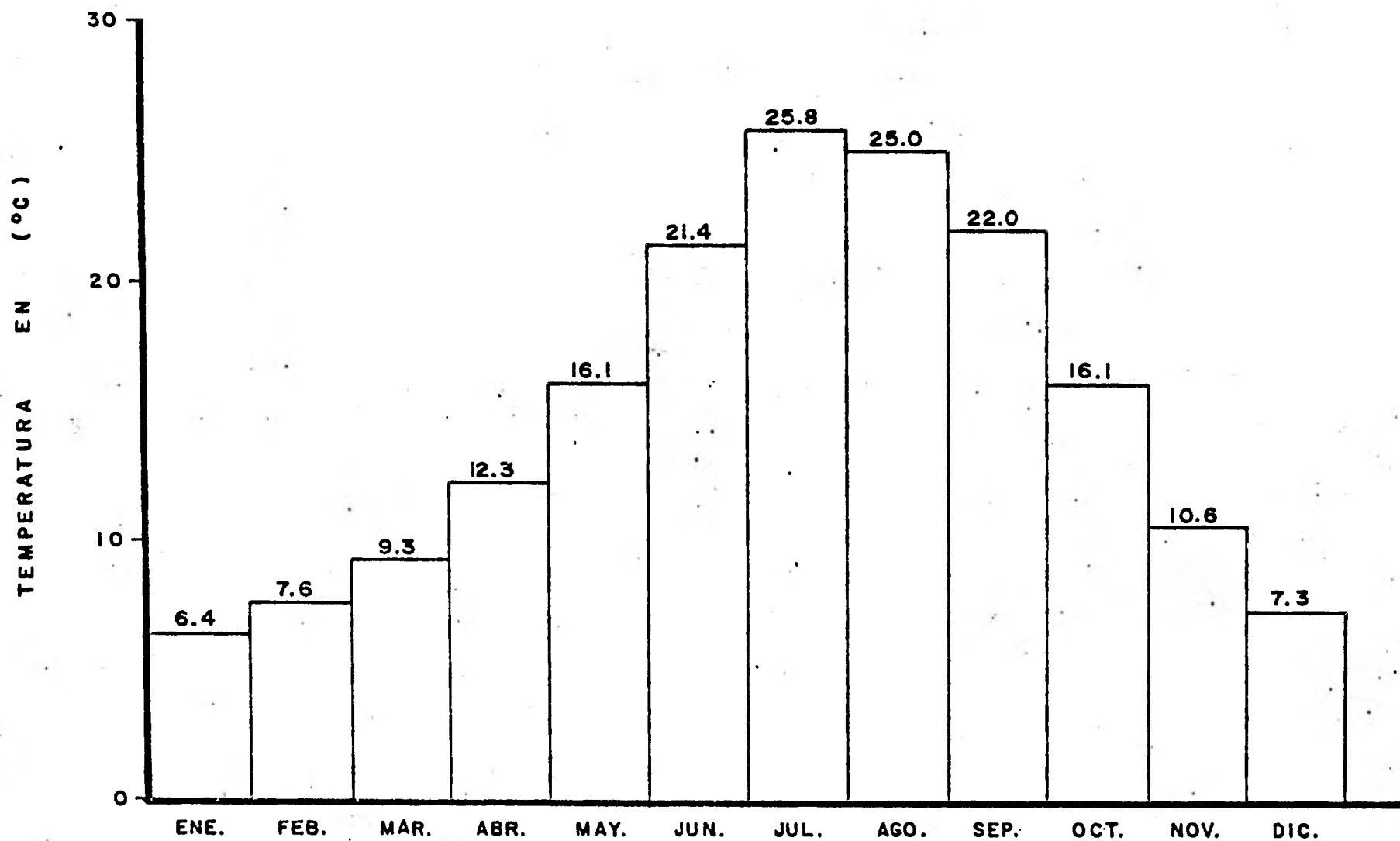
PERIODO 1975—1976



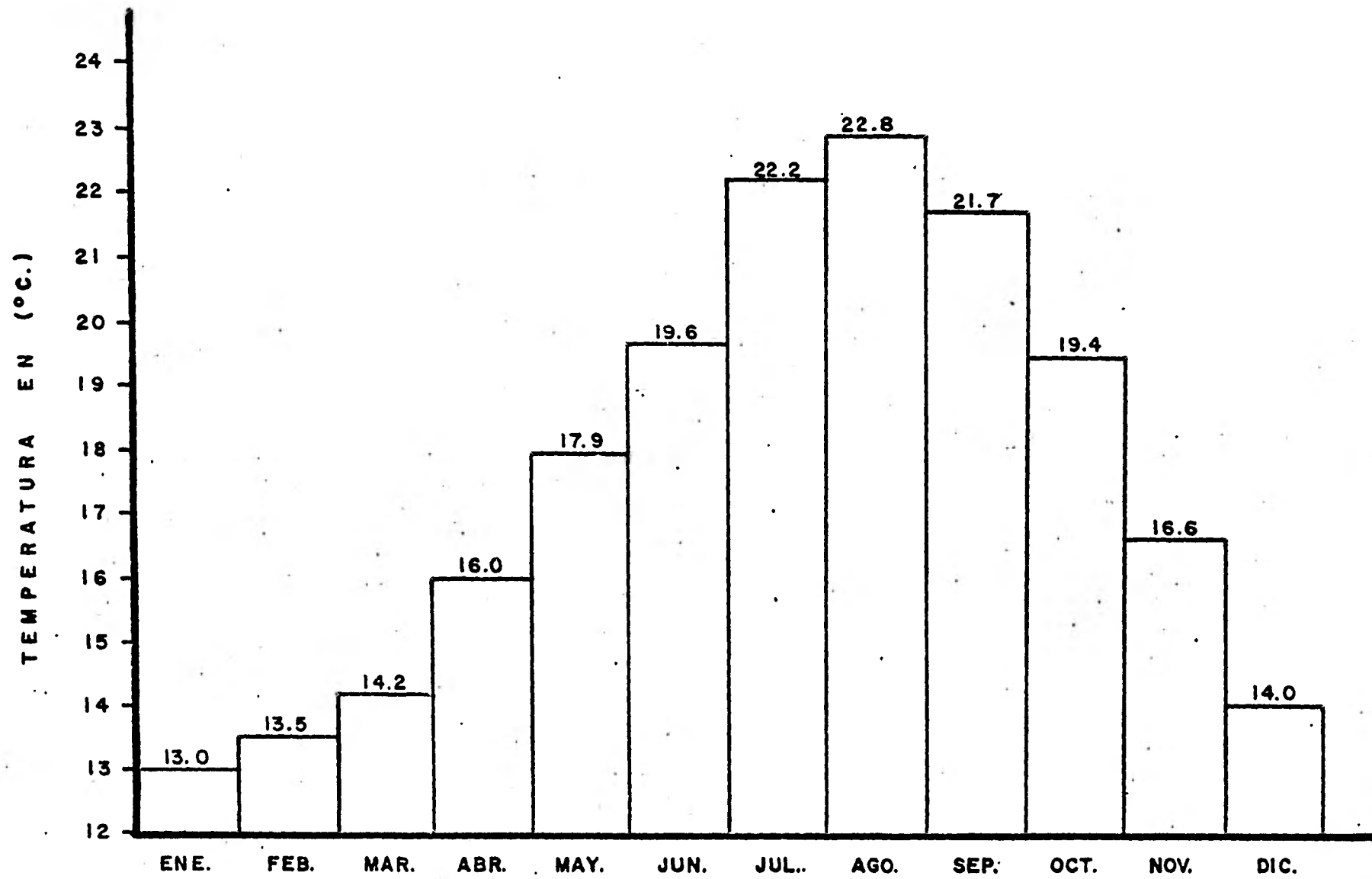
ESTACION "LA PUERTA"
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
PERIODO 1948-1975



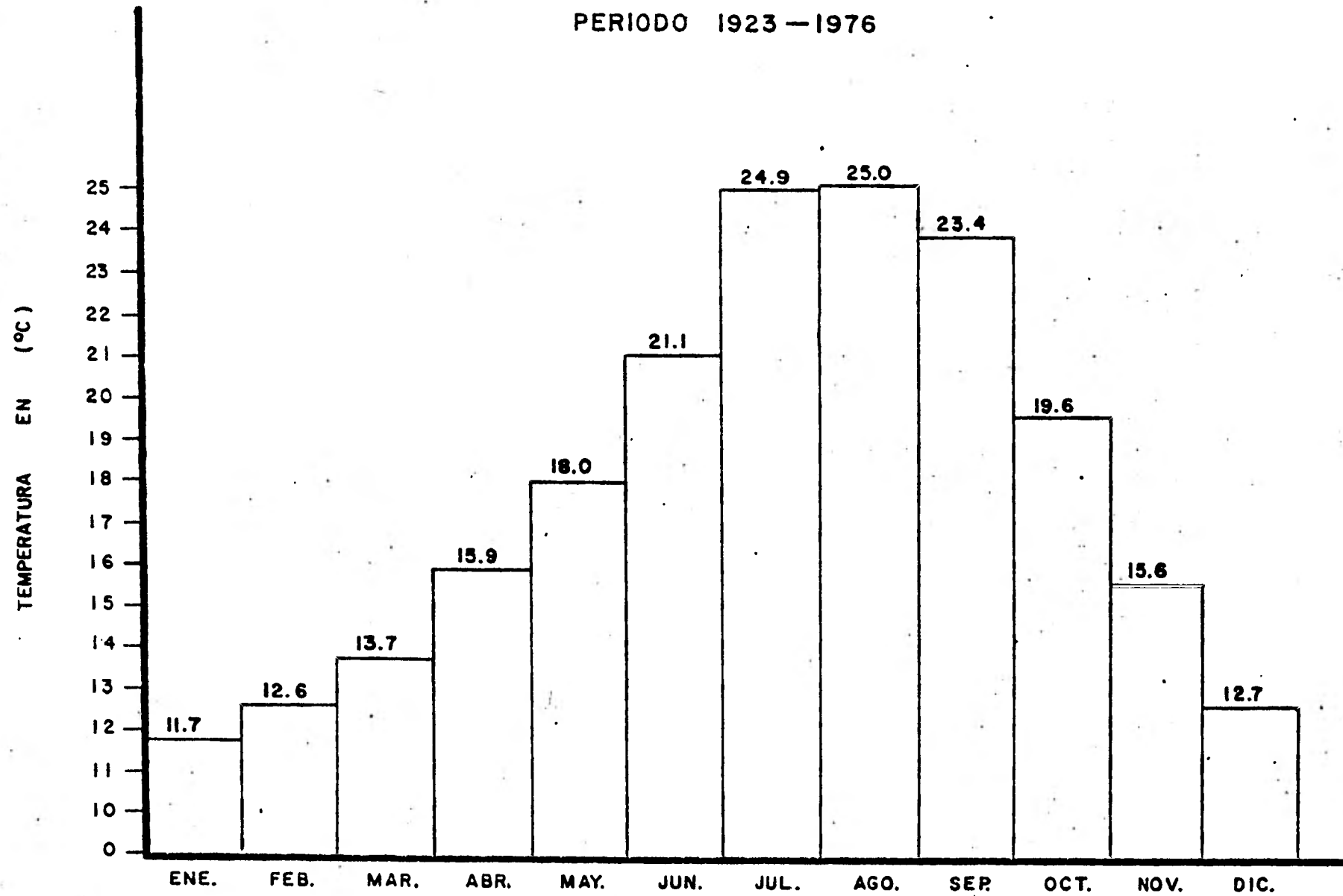
ESTACION " LA RUMOROSA "
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
PERIODO 1932-1976



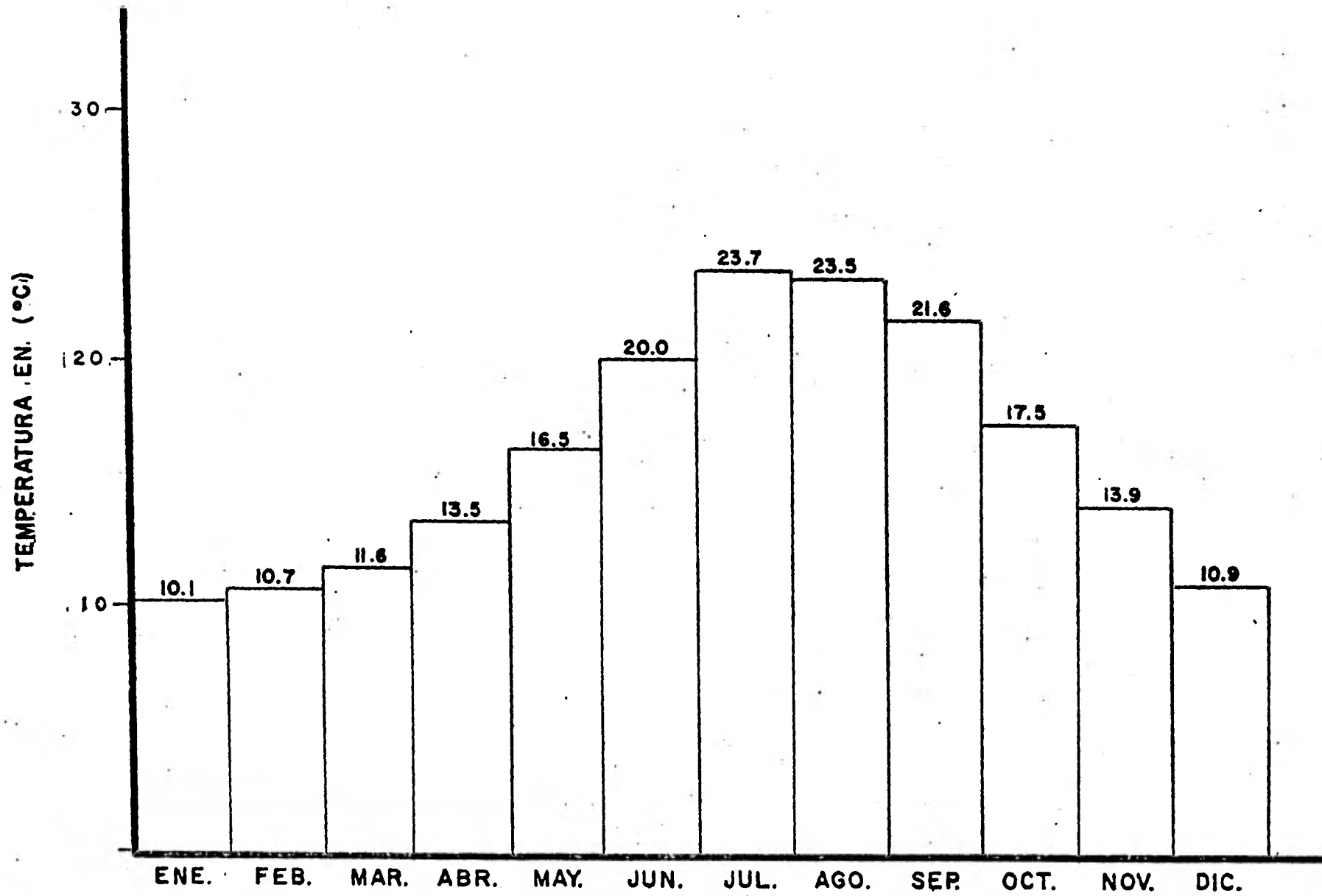
ESTACION "PRESA A. RODRIGUEZ"
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
PERIODO 1929—1976



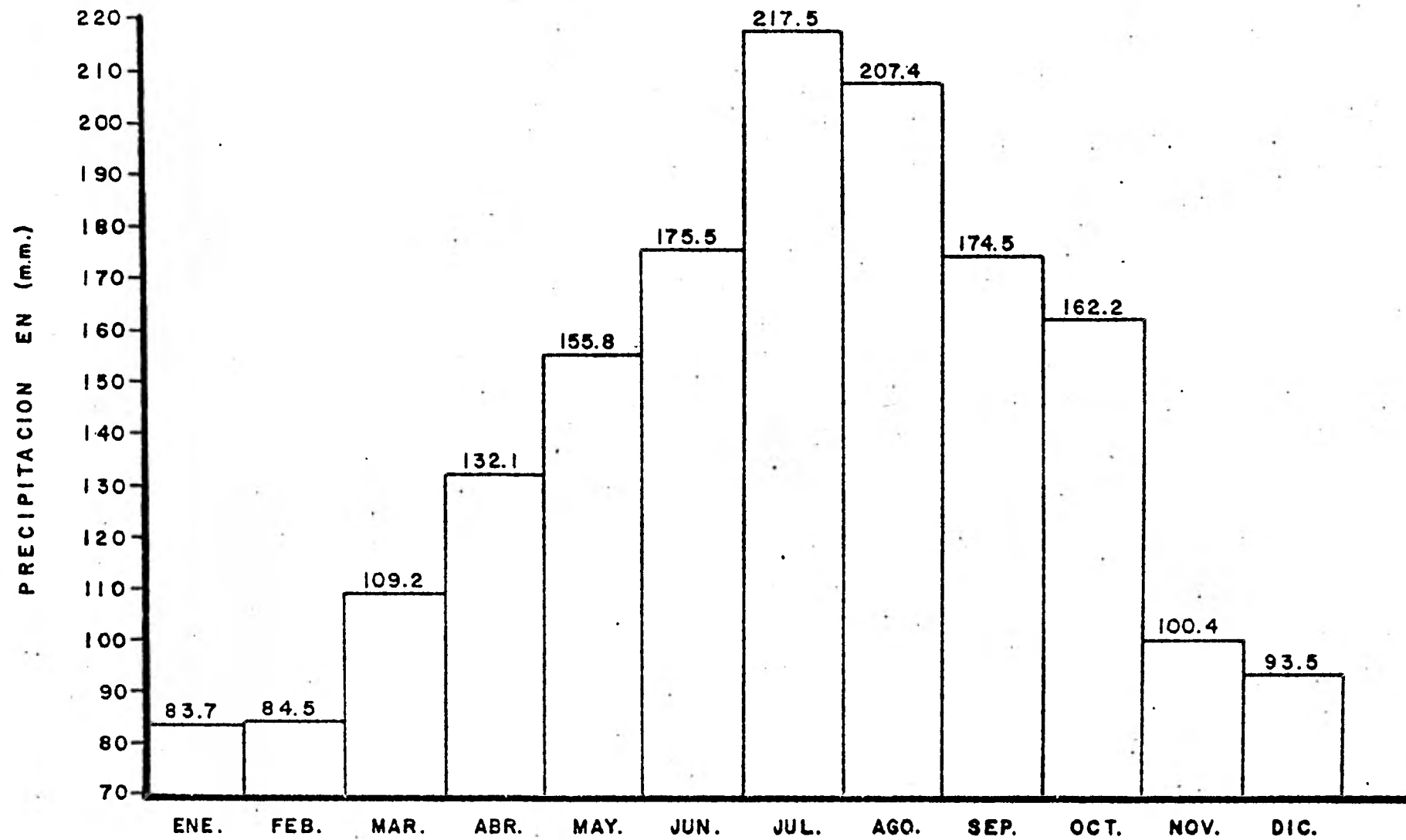
ESTACION " VALLE DE LAS PALMAS "
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
PERIODO 1923 - 1976



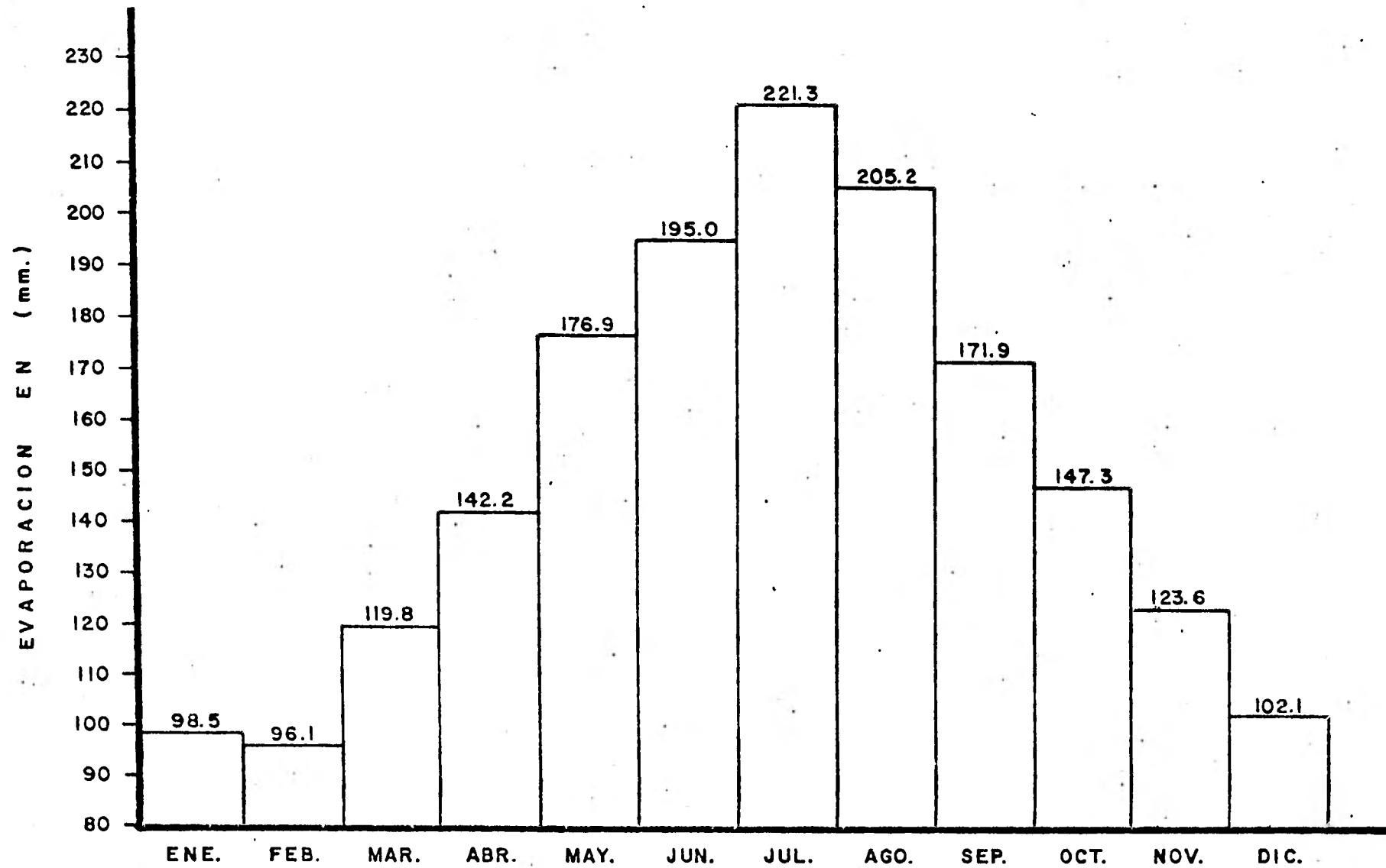
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
EN LA CUENCA DEL ARROYO "LAS PALMAS"



ESTACION "LA PUERTA"
EVAPORACION MEDIA MENSUAL
PERIODO 1961 -1973

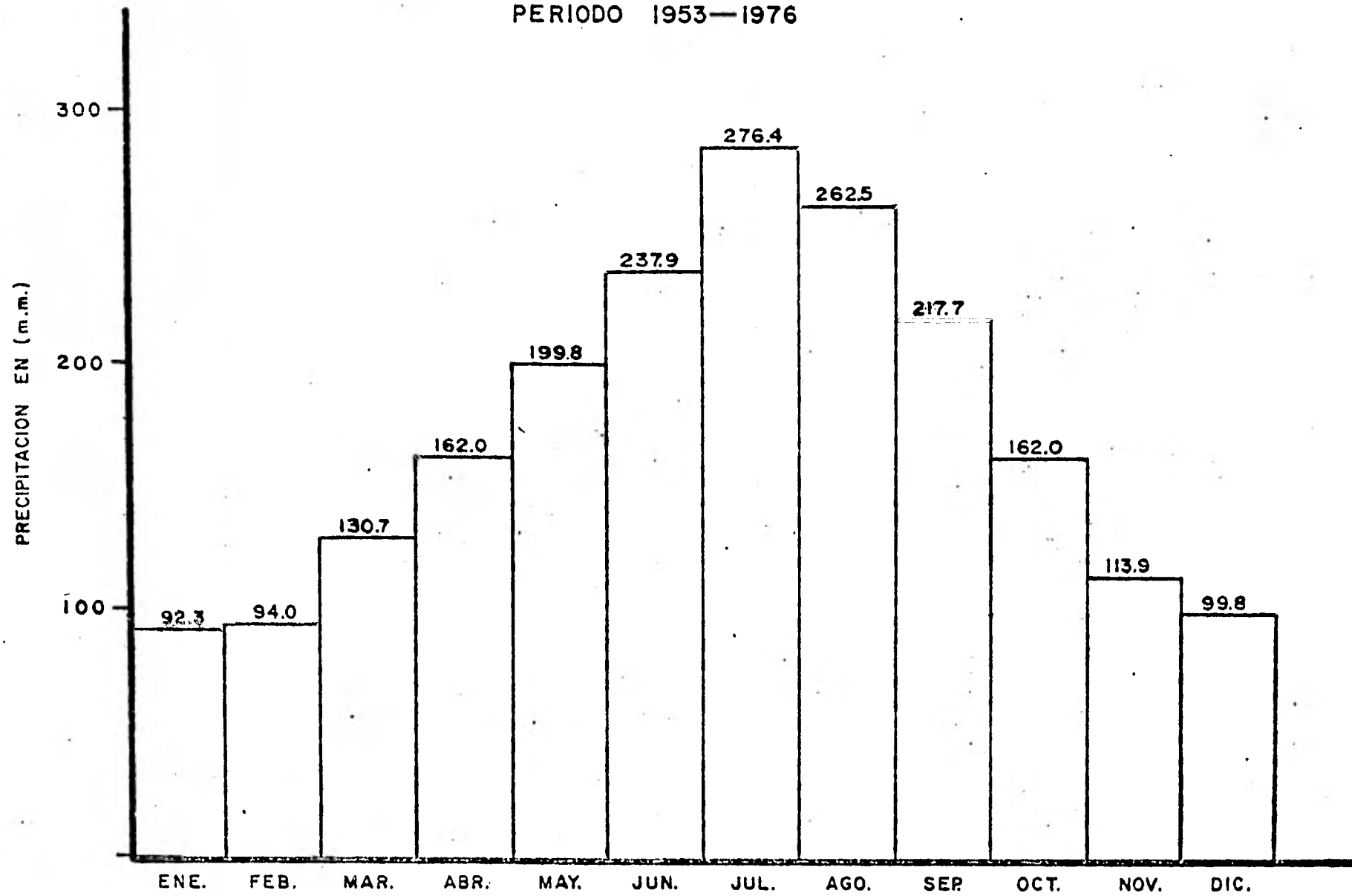


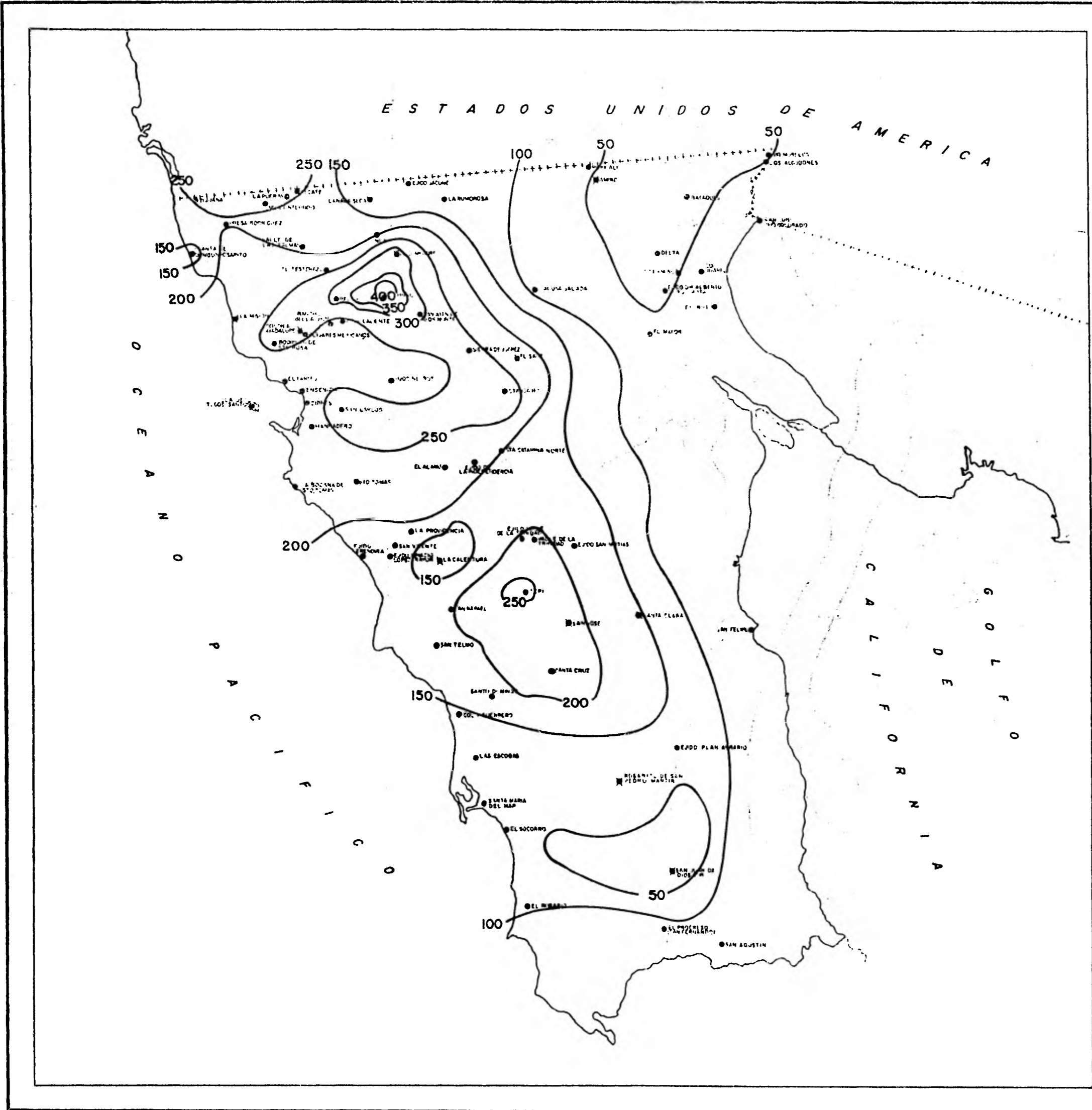
ESTACION "PRESA A. RODRIGUEZ"
EVAPORACION. MEDIA MENSUAL
PERIODO 1929—1976



ESTACION "VALLE DE LAS PALMAS"

EVAPORACION MEDIA MENSUAL PERIODO 1953—1976





CURVA DE IGUAL PRECIPITACION (en mm.) 100

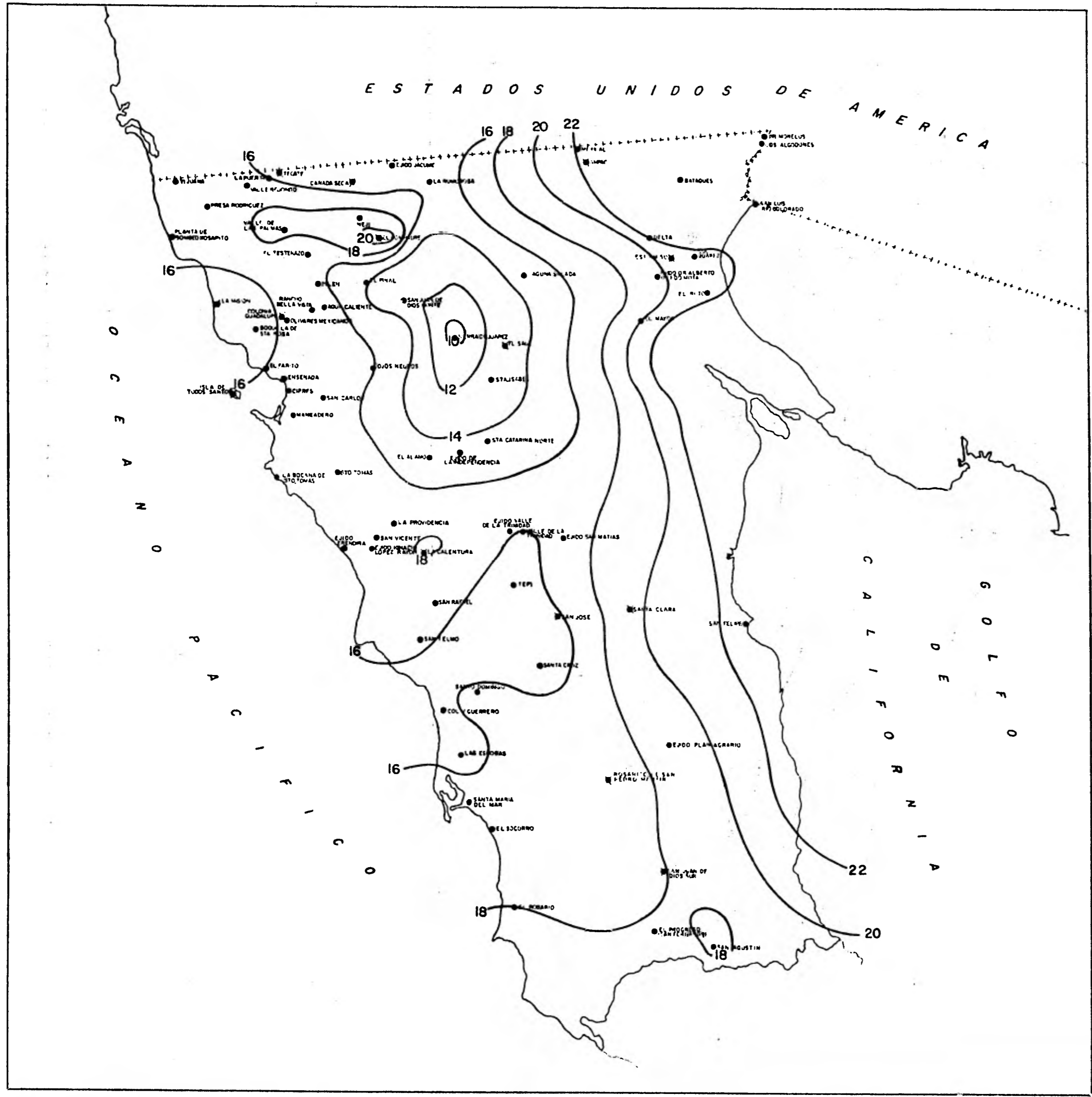
ESTACION CLIMATOLOGICA

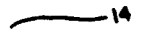


SUSPENDIDA

NOTA: Este plano se formó de datos de 1900 a 1950 y de 1951 a 1960. Se usó el método de interpolación de las curvas de igual precipitación. Escala: 1:50,000. Fuente: Oficina de Estudios de Ingeniería y Arquitectura del Estado de Baja California.

UNAM <small>Universidad Nacional Autónoma de México</small> INGENIERIA	
<small>ESTADO DE BAJA CALIFORNIA</small> ISOYETAS MEDIAS ANUALES	
TESIS PROFESIONAL ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ	
1960	PLANO II-1:

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA



CURVA DE IGUAL TEMPERATURA (en °C)  14
 ESTACION CLIMATOLOGICA 
 SUSPENDIDA 

NOTA: Para la parte del terreno que se muestra en este mapa, se han tomado los datos de las estaciones meteorológicas que se indican.

UNAM <i>enap-acatlan</i> INGENIERIA	
<small>ESTACION GEOLOGICA DEL VALLE DE LAS SALINAS EN EL COM. DE BAJA CALIFORNIA</small>	
ISOTERMAS MEDIAS ANUALES	
TESIS PROFESIONAL	
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ	
1988	PLANO II-2

C A P I T U L O I I I

HIDROLOGIA

ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES. El Valle de las Palmas se encuentra en la Cuenca del Río Tijuana, que a su vez pertenece a la región hidrológica No. 1, Baja California Noroeste, según clasificación hecha por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

El Río Tijuana nace en la Sierra de Juárez, cerca de la Muela, a unos 1800 msnm. y en este lugar se le conoce como Arroyo Agua Hechicera; tiene una dirección hacia el noroeste y paulatinamente va virando hacia el oeste. En esta zona se le llama Arroyo Calabazas y a la altura del rancho de Cancio recibe por la margen derecha la aportación de otro formador llamado Arroyo de la Ciénega.

La unión del Arroyo de la Ciénega y del Arroyo Calabazas origina propiamente el Arroyo de las Palmas, el cual recibe por la margen derecha, a la altura del Valle de las Palmas, la aportación de otra corriente denominada Arroyo Seco.

La dirección general del Arroyo Las Palmas es hacia el noroeste, rumbo a Tijuana; a 17 kilómetros aguas arriba de dicha población se encuentra la cortina de la Presa A. Rodríguez, -- construída entre 1928-1937. Aguas abajo de la cortina se llama Río Tijuana. Antes de llegar a la citada población recibe por su margen derecha el Río Alamar. Posteriormente el Río Tijuana cruza la ciudad del mismo nombre y la frontera internacional, internándose en territorio de Estados Unidos; modifica su dirección hacia el oeste y desemboca en el Océano Pacífico a unos 2.5 kms. al norte del lindero internacional.

El área de la Cuenca del Río Tijuana es de 4484 km², de los cuales 2298 km². corresponden al área de Cuenca del Arroyo Las Palmas hasta la Presa A. Rodríguez.

HIDROMETRIA

Dada la falta de información hidrométrica del Arroyo de las Palmas, debido a que no se cuenta con ninguna estación en su cauce, fue necesario recurrir a los datos de entradas a la Presa Abelardo Rodríguez, con el objeto de analizar aunque sea parcialmente, el comportamiento de dicho escurrimiento superficial. Es necesario aclarar que se procedió a la inferencia de datos a partir de valores reales, lo que implica necesariamente una cierta desconfianza y escepticismo sobre los resultados y conclusiones obtenidos a partir de aquéllos. Sin embargo, - no había otra posibilidad para proceder al análisis.

Se contó con los datos de entradas diarias a la presa de 1977 a 1980 inclusive. Mensualmente se conocían los datos de entradas a la misma con los años anteriores a 1977, y a partir de los valores diarios de 1977-80, se infirieron los datos diarios para los años anteriores a 1977, mediante el criterio de promedios ponderados. Es necesario mencionar también que la presa no recibió entradas en varios años consecutivos, a consecuencia de las graves sequías que se presentaron en la zona.

Esta región, tradicionalmente escasa en cuanto a escurrimientos superficiales se refiere, fue objeto de un período de lluvias estacionales extraordinariamente intenso a partir de 1978, originando un gasto máximo en el año de 1980 del orden de los 450 m³/seg. Los efectos perjudiciales no tardaron en hacerse patentes; las grandes avenidas produjeron la destrucción total de un gran número de pozos en el Valle de las Palmas, así como daños de cierta magnitud a las construcciones aledañas al cauce del río. La presencia de estos grandes caudales es realmente extraordinaria en esta zona, donde la escasa precipitación y las características geológicas y climáticas

muy particulares han originado, a través del tiempo, la agudización de los problemas que de una manera u otra están vinculados con el aprovechamiento del agua.

Lo extraordinario del gasto pico presentado resalta del hecho que ni aún por métodos estadísticos convencionales podía haberse previsto, considerando la información anterior a 1978.

Algunos resultados obtenidos mediante el análisis estadístico son absurdos ya que la relativa uniformidad que presentaban los datos hasta antes de 1978 se ve abruptamente alterada al iniciarse el período estacional de lluvias extraordinario. Con este fenómeno y los valores que genera, los métodos estadísticos conducen a cifras irreales, cuya veracidad es sumamente difícil de interpretar.

Mediante procedimientos no estadísticos, o sea, aquéllos que atienden a la fisiografía de la cuenca únicamente, se obtienen resultados que deben manejarse con cierta reserva, ya que las fórmulas empíricas utilizadas han sido propuestas por diversos investigadores que han realizado observaciones y mediciones en una zona determinada y a partir de sus conclusiones proponen una ecuación que no necesariamente representa las características de alguna otra cuenca.

A pesar de la semejanza obtenida, puede tratarse de una coincidencia sin que necesariamente el procedimiento sea ciento por ciento válido para la zona en cuestión.

Los métodos estadísticos utilizados, fueron los siguientes:

- a) Distribución normal: ésta es una distribución simétrica, continua y en forma de campana. En esta distribución, la media, la mediana y la moda son iguales.

La fórmula para obtener el $Q_{\text{máx}}$ es la siguiente:

$$Q_{\text{max}} = S_Q z \bar{Q} = 2.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

donde: S_Q es la desviación estándar de la muestra.

z es la variable normal estandar.

\bar{Q} es el gasto medio de la muestra.

b) Distribución logarítmica normal. La fórmula utilizada

para hallar el $Q_{\text{máx}}$ es: $Q_{\text{máx}} = e^{z\sigma_y + \mu_y}$

$$\text{donde: } M_i = \ln Q_i, \mu_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i, \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - \mu_y)^2}$$

Los valores obtenidos fueron:

Para el período 1963-65 y 1972 - 76 — $Q_{\text{máx}} = 5.646 \text{ m}^3/\text{s}$

Para el período 1963-65 y 1972 - 80 — $Q_{\text{máx}} = 125\ 017.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (1)

c) Distribución Gumbel.- El $Q_{\text{máx}}$ se obtiene con:

$$\text{(según V.T.Chow)} \quad Q_{\text{máx}} = c - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right)$$

$$\text{donde } \sigma_Q = \frac{\pi}{\alpha \sqrt{6}}, \quad Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

y también $Q_i = c + 0.5772/\alpha$

Para el período 1963 - 65 y 1972 - 76 $Q_{\text{máx}} = 2.653 \text{ m}^3/\text{s}$

Para el Período 1963 - 65 y 1972 - 80 $Q_{\text{máx}} = 935.21 \text{ m}^3/\text{s}$

d) Según el manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE:

Este método es el de uso más frecuente en México; en él se parte de la hipótesis de que los valores de los gastos máximos anuales pueden representarse estadísticamente con una función de distribución de probabilidades de la forma:

$$F_Q(q) = e^{-e^{\left\{ \frac{q-a}{c} \right\}}}$$

donde q : variable que representa a los gastos máximos anuales.

$F_Q(q)$ - función de distribución de probabilidades de los gastos máximos anuales.

a, c - son parámetros de la función. Se estiman a partir de los gastos máximos anuales registrados.

Al tomar dos veces logaritmos naturales en la ecuación anterior, se tendrá que:

$$\text{LnLn} \left(\frac{1}{F_Q(q)} \right) = \frac{q - a}{c}$$

donde:

Ln = logaritmo natural

o bien:

$$\text{LnLn} \frac{T_m}{T_m - 1} = \frac{q - a}{c}$$

donde:

T_m = período de retorno en años, asociado al gasto q , cuyo recíproco es la probabilidad de que en un año cualquiera ocurra ese gasto o uno mayor.

La ecuación anterior se puede escribir de la siguiente manera:

$$q = a + c \text{ LnLn} \frac{T_m}{T_m - 1}$$

El procedimiento para el ajuste por mínimos cuadrados de la función anterior, conocido como método de Nash, es el siguiente:

- a) Los picos máximos de n años sucesivos de muestra, se ordenan de mayor a menor y se les designa con la le-

tra q_i . También se les asigna un valor r_i , que corresponde al número de orden del arreglo descrito.

b) Se estima para gasto un "período de retorno" definido

por $\hat{T}_m = \frac{n+1}{r_i}$, y sucesivamente se calcula, pa-

ra cada gasto, el cociente $\left(\frac{\hat{T}_m}{\hat{T}_m - 1}\right)$, y el logaritmo

natural del logaritmo natural de dicho cociente, el

cual se designa como $X_i = \text{Ln Ln} \left(\frac{\hat{T}_m}{\hat{T}_m - 1}\right)$. \hat{T}_m es una

estimación del parámetro de la distribución teórica de la población de gastos máximos.

c) Para cada gasto se calculan los cuadrados de q_i , X_i y el producto $X_i q_i$.

d) Se hace la suma de los valores q_i , q_i^2 , X_i , X_i^2 y $X_i q_i$.

desde $r = 1$ hasta $r = n$

e) Se calculan las medias $\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$

$$\text{y } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

f) Se determinan las constantes

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i q_i) - n \bar{X} \bar{q}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2}$$

$$a = \bar{q} - c \bar{X}$$

- g) El gasto correspondiente a cualquier período de retorno T_m en años, se determina con la siguiente expresión:

$$q(T_m) = a + c \ln \ln \frac{T_m}{T_m - 1}$$

donde $q(T_m)$ = gasto con período de retorno T_m .

Para el período 1963-65 y 1972-76 $Q_{max} = 3.2 \text{ m}^3/\text{s}$

Para el período 1963-65 y 1972-80 $\begin{cases} T_m=5000 & Q_{max}=823 \text{ m}^3/\text{s} \\ T_m=10000 & Q_{max}=980 \text{ m}^3/\text{s} \end{cases}$

En cuanto a los métodos empíricos utilizados, las fórmulas y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- a) Fórmulas empleadas en Francia para áreas desérticas. (Cuencas de 3000 a 160 000 km^2).

$$Q_{m\acute{a}x} = 10 A^{0.5} = 480 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 70 A^{0.15} = 223.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

donde A = área de la Cuenca en km^2 .

- b) Fórmula de Murphy.

$$Q_{m\acute{a}x} = \left[\frac{46\,790}{A + 320} + 15 \right] A = 14,540 \text{ m}^3/\text{s}$$

donde $Q_{m\acute{a}x} \rightarrow$ en ft^3/seg .

A = área de la Cuenca en millas^2

- c) Fórmula de la US Geological Survey (1000 a 24 000 millas^2)

$$Q_{m\acute{a}x} = 1400 A^{0.476} = 1003.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

donde $Q_{m\acute{a}x} \rightarrow$ en ft^3/seg

A = área de la Cuenca en millas^2

d) Fórmula de Creager.

$$Q_{\text{máx}} = 1.303 C (0.386A)^{0.936} A^{-0.048}$$

donde $Q \rightarrow$ gasto en m^3/s

$A \rightarrow$ área en km^2

El coeficiente C se conoce como envolvente de Creager y se sabe que para los datos mundiales $C = 100$ y para los gastos dentro de la región, $C = 9.8$ según boletín hidrológico No. 28 de la SARH.

$$Q_{\text{máx}} = 1.022 \text{ m}^3/\text{s}$$

e) Hidrograma sintético de Snyder.

Se han realizado varios intentos para obtener fórmulas para la obtención del hidrograma unitario, con el objeto de determinar el tiempo al pico, la descarga pico y el tiempo base. El punto de mayor interés en la mayoría de los estudios ha sido el llamado tiempo de retraso de la Cuenca. El tiempo de retraso se define como la diferencia en tiempo entre el centroide del histograma de lluvia y el centroide del histograma de escorrentía. El primer procedimiento para obtener hidrograma unitarios sintéticos fue el presentado por Snyder.

El tiempo de retraso de la Cuenca puede expresarse, según Snyder como:

$$t_p = C_t (LL_c)^{0.3}$$

donde:

L = Longitud de la corriente principal.

L_c = Distancia desde el desagüe de la Cuenca hasta el punto sobre la corriente que sea más próximo al centroide de la Cuenca. Ordinariamente, puede considerarse este término como $\frac{L}{2}$.

C_t = Coeficiente que oscila de 1.35 a 1.65, correspondiendo los valores menores a cuencas con grandes pendientes.

La duración estandar T_r para la lluvia fue considerada -- por Snyder como $T_r = T_p / 5.5$. Para lluvias con esta duración el pico del hidrograma unitario está dado por:

$$q_p = \frac{7C_p A}{p} = 408.35 \text{ m}^3/\text{s}.$$

donde:

A = área de drenaje en Kms^2 .

C_p = coeficiente que varía de 0.56 a 0.69

7 = factor de conversión para obtener la descarga en m^3/s .

El tiempo base del hidrograma se obtiene a partir de:

$$T = 3 + \frac{3}{24} t_p = 6.07 \text{ días}$$

donde T se obtiene en días.

Como puede observarse, tanto la fórmula empleada en Francia y la del US Geological Survey, limitan la aplicación de -- las fórmulas respectivas al área de la Cuenca. En ninguno de estos dos casos se cayó en el intervalo mencionado, ya que el área en cuestión es de 2298 Km^2 . (888 mill^2). De cualquier manera, se consideró ilustrativa su inclusión en las fórmulas empíricas.

Curiosamente la fórmula con la que mayor aproximación se logró, en base al $Q_{\text{máx}}$ observado de $450 \text{ m}^3/\text{S}$ fue la de Francia. Una vez más se vuelve a insistir en el riesgo que implica la — utilización de tales fórmulas, ya que a pesar de que no cumple el área de la Cuenca con la mínima requerida por el método, — proporciona un resultado satisfactorio, pero que puede ser (y de hecho lo es) casual.

C A P I T U L O I V

GEOLOGIA Y GEOFISICA

GEOLOGIA.

La cuenca fisiográfica que comprende al Valle de las Palmas queda ubicada en la porción noroccidental del estado de Baja California, donde cubre una superficie de 2298 km². pertenecientes a la provincia fisiográfica de la Sierra Cristalina.

El área estudiada se caracteriza morfológicamente por tener un gran relieve, debido a las estructuras geológicas predominantes por una tectónica de afallamientos, que puede considerarse de manera general como transversal al macizo peninsular. Las trazas de las fallas de Vallecitos y las Calabazas propiciaron un movimiento relativo de bloques, formándose una depresión tectónica del lado del caído.

El Valle de las Palmas se originó debido al relleno de esta depresión con materiales detríticos provenientes de la erosión de las rocas volcánicas, intrusivas y metamórficas adyacentes.

La Cuenca se encuentra bien drenada por un sistema que se inicia en la Sierra de Juárez a una altura de 1500 metros sobre el nivel del mar. El colector principal de los escurrimientos superficiales es el Arroyo de las Palmas, al cual confluyen por su margen derecha los arroyos de Las Calabazas, la Ciénega y Arroyo Seco.

La Cuenca tributaria del Valle de las Palmas se encuentra constituida por rocas cuyas edades relativas se encuentran entre Prebatolíticas y Postbatolíticas.

Las Prebatolíticas se encuentran representadas por una - unidad de rocas volcánicas no diferenciadas, distribuidas en la porción occidental de la cuenca, y por rocas metamórficas como los esquistos, pizarras y gneiss, cuyas áreas de afloramiento - se localizan al oriente y centro de la misma.

Las rocas Batolíticas, como los granitos, granodioritas y tonalitas, forman parte del intrusivo peninsular, constituyendo en la cuenca la mayor superficie de afloramientos.

Dentro de las rocas Postbatolíticas se distinguen principalmente las volcánicas y las sedimentarias. Las primeras, formadas por basaltos y andesitas basálticas, ocupan una reducida área de afloramientos en el extremo occidental de la cuenca. Las sedimentarias, formadas por un conglomerado continental, es tan expuestas al oriente de la planicie aluvial..

Superyaciendo a las unidades descritas anteriormente se - encuentran los depósitos fluviales y aluviales que constituyen los materiales permeables de la cuenca ocupando una superficie de 50 Km².

La base geológica regional fue tomada del plano geológico elaborado por el cuerpo de profesores y alumnos de las universidades de Baja California, México y la de San Diego, EUA.

GEOFISICA.

La prospección geofísica se realizó con el objeto de definir la estratigrafía del subsuelo hasta una profundidad real de exploración de 200 metros. El dispositivo que se utilizó en la disposición de los electrodos fue de tipo Wenner, que implica - que el espacio que existe entre los electrodos es el mismo.

Se realizaron 20 sondeos de resistividad eléctrica, agrupados en cuatro perfiles. El plano IV.1 indica la localización de los mismos.

El perfil P1 tiene una longitud de 2 kilómetros y consta de 3 sondeos.

El perfil P2 es el más amplio de todos; tiene una longitud de 6.5 kilómetros y consta de 8 sondeos con una separación entre 2 puntos de estudio consecutivos de un kilómetro.

El perfil P3 se encuentra aguas arriba del perfil P2; tiene una longitud de 5 kilómetros y consta de 6 sondeos.

El perfil P4 tiene una longitud de dos kilómetros y consta de tres sondeos eléctricos.

INTERPRETACION DE LOS DATOS REGISTRADOS.

El aparato utilizado para la realización de los sondeos es un medidor de acero alimentado con corriente continua que no produce deformaciones del campo eléctrico obtenido, ya que el circuito de tensión en realidad es doble. El primer circuito está colocado en serie con el galvanómetro y está destinado a eliminar la influencia de la polarización del terreno con el fin de dejar la zona de investigación eléctricamente neutra.

El segundo circuito de tensión sirve para equilibrar la diferencia de potencial existente entre M y V, a través del multivoltímetro y del galvanómetro; mide por oposición la tensión que existe en el terreno entre los electrodos M y N.

En la interpretación de los datos obtenidos se utilizaron los métodos de resistividad aparente, isorresistividad aparente y resistividad real.

Los datos de resistividad aparente obtenidos en el campo se presenta en los cuadros IV.3.2.1 a IV.3.2.4. La representación gráfica de estos valores acumulados se presenta en las gráficas logarítmicas IV.3.2.1 a IV.3.2.7.

Se procedió al análisis de la siguiente manera:

- 1.- Se construyeron los diagramas P_a en función de la separación creciente de electrodos. Se presentan en conjunto los resultados que dan la forma del perfil, con lo cual se obtiene un espectro de su comportamiento eléctrico, - sin perder de vista cada efecto particular de los sondeos.
- 2.- Se trazaron las curvas de isorresistividad aparente, para delimitar mejor la estructura del subsuelo.
- 3.- Los datos se compararon con ábacos de varias capas y con el apoyo del método del punto auxiliar (Kalenov-Ebert) pa ra más de tres capas se determinaron los espesores y re- sistividades reales.
- 4.- Los resultados anteriores fueron corregidos por las condi- ciones geométricas y posibles variaciones laterales y sub verticales.
- 5.- Se compararon los resultados obtenidos con los datos reco pilados de cortes litológicos, geología superficial, re- gistros geoelectricos en pozos. Finalmente se analizaron dichos resultados respecto de los conocidos en áreas seme jantes ya estudiadas.
- 6.- En base a todo lo anterior, se definieron las caracterís- ticas particulares del subsuelo.

La interpretación física de cada uno de los perfiles se - describe a continuación:

PERFIL 1.

Este perfil se caracteriza por tener tres estratos bien - definidos: el primero tiene unos 15 metros de espesor y presen ta altas resistividades, del orden de 130 a 400 ohms-metro. Es

te rango implica quizá la presencia de arenas graníticas sueltas; el segundo estrato agrupa resistividades comprendidas entre 27 y 45 Ohms-metro y está constituido por el material de relleno del valle; el tercer estrato tiene una resistividad alta, aproximadamente de 900 a 1000 Ohms-metro, y representa el techo de los granitos. En el punto 104 la resistividad de fondo baja notablemente hasta 105 Ohms-metro. Pudiera deberse este valor a la existencia de granitos alterados, con conglomerados o bien con gabros, sin haberse podido definir su naturaleza. De cualquier manera se trata de material poco permeable.

PERFIL 2.

Consta de ocho sondeos eléctricos resistivos, con una longitud de 6.5 kilómetros.

La lámina no señala los resultados obtenidos a lo largo del perfil. Se observan altas resistividades, de mil a dos mil Ohms-metro, a profundidades que pueden asociarse con una formación rocosa que la geología del lugar indica que se trata de granito o granodiorita. Esta formación sirve de apoyo a otra de resistividad más baja y muy variable, de 6 a 300 Ohms-metro, - que puede corresponder a los rellenos del valle.

Tiene un espesor máximo de unos 110 metros a la vertical en los puntos 209-209 A. Este relleno está formado por estratos de calidad de agua muy variable. A continuación se describen las diferentes resistividades obtenidas:

RESISTIVIDAD COMPRENDIDA ENTRE 6 Y 8 OHMS-METRO.

Se localiza al inicio del perfil (punto 301) con un espesor reducido de dos a tres metros, que va aumentando hasta el punto 205. Posteriormente el espesor se reduce hasta alcanzar el punto 207, donde termina. Estos valores bajos deben corres-

ponder a una formación arcillosa y poco permeable.

RESISTIVIDAD DE 12 OHMS-METRO.

Esta resistividad se encuentra en el final del perfil e - interesa los puntos 211 y 213. Es superficial y la capa tiene unos 10 metros de espesor. La formación que se asocia con esta resistividad debe ser arcillo-arenosa y poco permeable.

RESISTIVIDAD COMPRENDIDA ENTRE 10 Y 50 OHMS-METRO.

Se presenta superficialmente y tiene unos cuantos metros de espesor, se localiza entre los puntos 205 y 209 A. Corresponde a la zona de alteración superficial.

RESISTIVIDAD COMPRENDIDA ENTRE 40 Y 42 OHMS-METRO.

Es la que domina en el relleno del valle. Empieza en el punto 205 y termina más allá del punto 213, con un espesor prácticamente constante (entre 60 y 80 metros). Se identifica esta resistividad con materiales granulares como arenas gruesas, gravillas y gravas, con bajo porcentaje de material fino. Se concluye que este estrato debe ser permeable.

RESISTIVIDAD COMPRENDIDA ENTRE 170 Y 250 OHMS-METRO.

Estas resistividades se localizan en superficie, entre los puntos 205 y 211. El espesor máximo de este estrato alcanza unos 25 metros a la vertical del punto 209. El material correspondiente a tales valores podría identificarse como suelto y seco, de tipo granular, como gravas y arenas.

RESISTIVIDAD DE 300 OHMS-METRO.

Esta resistividad se encuentra a la vertical del punto 213. El estrato correspondiente tiene forma de cuña y se encuentra entre los aluviones del valle y el granito del fondo,

pudiendo corresponder a conglomerados terciarios que afloran al final del perfil.

PERFIL 3.

Los resultados obtenidos a lo largo del perfil difieren poco de los obtenidos en el perfil 1. La interpretación de los mismos muestra una profundidad de rellenos aproximadamente de 90 metros. Además puede apreciarse una intrusión con una resistividad de 180 Ohms-metro. Esta resistividad más baja pudiera representar una formación de tipo gabro que aflora en las cercanías del punto 302. El subsuelo bajo el perfil estudiado puede clasificarse en tres estratos:

El primero, superficial, presenta valores de resistividad que oscilan entre 85 y 800 Ohms-metro que implican la zona alterada y meteorizada, asociada con una formación granular y no compactada, situada a la vertical de los puntos 306 a 310.

El segundo estrato corresponde al relleno del valle; las resistividades registradas van de 17 a 40 Ohms-metro. Es la misma formación que la encontrada en el perfil anterior, con un valor comprendido entre 40 y 42 Ohms-metro. Los menores valores representan un alto contenido de arcilla que va disminuyendo a medida que aumenta la resistividad.

El tercer estrato es el más profundo y con mayor resistividad. Corresponde a la formación basal del valle, que es de tipo granito o tonalita impermeable.

PERFIL 4.

En él se ubicaron tres sondeos eléctricos.

El estrato superior tiene un espesor máximo en el punto 403 y se caracteriza por tener altos valores de resistividad comprendidos entre 80 y 650 Ohms-metro. Se trata de una arena

gruesa con poca gravilla, que por su alto valor de resistividad induce a creer que tiene un alto grado de compactación, reduciéndose por ello la permeabilidad.

A mayor profundidad las mediciones geofísicas manifiestan el estrato intermedio, de resistividad comprendida entre 27 y 50 Ohms-metro, ya ha sido identificado en los tres perfiles.

En relación con el tercer estrato puede afirmarse que muestra el techo de granitos. La formación rocosa está limitada al principio del perfil, de donde aflora hasta alcanzar el punto 402, desapareciendo posteriormente. No volvió a ser detectado en el perfil en cuestión, al menos hasta una profundidad de 200 metros.

VALLE DE LAS PALMAS B.C.

Sondeos Eléctricos

Prof.	101	102	104
Resistividades aparentes - ohms metro			
1	26.9	274.5	135.4
2	22.2	312.5	100
3	23.2	289.3	119.6
4	24	238.4	145.3
6	29.9	173.8	161.2
8	37.2	148.5	139.9
10	46.1	150.7	142.6
12	49.1	145.7	134.8
16	60	137.2	144.7
20	57.5	122.2	141.3
24	50	100	122.3
32	55.2	93.6	74.5
40	71.9	65.7	62
48	94.3	60.3	38.3
56	105.9	62	35.9
64	119.3	65	34.7
72	133	70.9	34.5
80	145.2	74.6	33.1
100	180.7	92.4	38.3
120	201.1	107.1	38.5
140	- -	109	40.1
160	- -	124.4	45.1
180	- -	- -	51.2
200	- -	- -	53.7

CUADRO IV. 3.2.1

VALLE DE LAS PALMAS B. C.

Sondeos Electricos

Prof.	201	203	205	207	209	209A	211	213
Resistividades aparentes - ohms metro								
1	15.3	2.1	6.6	58.5	64.9	9.9	106.4	36.1
2	13.3	4.3	8.6	105.5	61.9	13.1	73.5	11
3	13.6	5.2	11.8	132.2	33.2	19.5	50.8	9.9
4	14.6	5.8	16.5	156.8	30.7	25.4	32.6	10.2
6	17.6	6.9	12.5	187.5	45.9	37.3	18.7	13.7
8	21.8	6.7	9.9	191.8	63	48.5	17.2	18.3
10	25	6.6	10.3	221.2	70.3	54.4	14.5	22.3
12	29.3	6.6	10.4	218.9	71.5	59.8	13.9	24.3
16	37.1	8.3	9.8	178.5	80.1	73.9	15.8	28.6
20	47.2	11.2	8.8	138.4	94.1	74.9	18.7	32
24	55.5	14.6	8.9	108.4	98.8	70.7	22	32.7
32	72.2	20.4	9.5	80.2	113.9	65.6	24	37.6
40	87.1	27.8	10.3	59.1	102.7	61.8	25.4	44.1
48	112.5	36.8	12	50.7	76.4	56.3	30	49.7
56	125.3	42.4	12.4	53.3	71.4	58.3	31.6	52.2
64	141.8	49.7	15.1	59.6	67.6	58.3	36.8	60
72	157.5	57.8	19.1	58.5	64	58.8	40.3	65.5
80	- - -	60.6	19.5	55.2	57.7	56.6	46.8	71.1
100	- - -	68.3	25.2	57.8	55.1	48.6	55.2	82.2
120	- - -	74.1	33.9	68.6	59.2	50.1	70.1	84.8
140	- - -	76.7	36.4	78.8	68.9	55.1	83.8	98.3
160	- - -	79.3	46.1	90	76.1	61.4	100.4	110
180	- - -	91.7	49.5	103.1	83	69.9	110.9	120.5
200	- - -	97	56	110	91.3	78	127.8	129.5

VALLE DE LAS PALMAS B. C.

Sondeos Electricos

Prof.	301	302	304	306	308	310
Resistividades aparentes - ohms-metro						
1	150	16.3	13.9	35.4	1742.4	106.7
2	260.7	28.1	26.8	76.4	1606.1	87.8
3	290.8	37.5	33.1	113.3	1242.7	76.6
4	289.1	38	38.8	143.9	1065.6	62.3
6	274	31.5	42.8	195.3	905.2	41.7
8	230.2	27.4	42.8	232.3	753.4	51.7
10	190	20.1	42	275.2	650	56
12	140	22	38.2	298	515.6	59.9
16	76.8	26.7	30	319.1	267.9	65.1
20	51.2	29.3	27.3	309.1	163.6	64.1
24	39.1	33.7	23.3	276.1	113.8	64.4
32	32.1	43.4	20.7	260.4	63.4	75.1
40	35.7	49.4	21.4	246.9	39	88.6
48	40.8	58.3	22.4	240	40.2	97.5
56	46.1	64.4	24.1	222.8	41.9	97.7
64	48.9	71.8	27.5	215.8	43.8	111.1
72	57.2	78.7	31.2	192.2	46.7	127.3
80	66.1	84.3	34.8	123.2	58.8	145.8
100	85.7	108.5	45	79.6	69.1	191.1
120	101.4	132.6	52.3	71.3	81.3	210
140	- -	152.4	62.7	71.7	93.9	250
160	- -	169	72	81.9	118.6	- -
180	- -	- -	78	95.6	135	- -
200	- -	- -	92.3	103.4	142.8	- -

CUADRO IV. 3.2.3

VALLE DE LAS PALMAS B. C.

Sondeos Eléctricos Perfil P4

Prof. 402 403 404

Resistividades aparentes - ohms-metro

1	26.6	62.9	317.2
2	33.9	74.8	389.4
3	37.8	92.2	480.8
4	45.6	94.1	461.5
6	54.7	102	432.1
8	59.5	111.8	397.6
10	65.1	139.6	333.3
12	66.5	163.6	315.8
16	70	183.6	361.9
20	66	200.4	367
24	63.3	220	330.7
32	51.8	178.7	257.7
40	45.4	136.8	205.5
48	42	135.5	177.7
56	39.3	135	152.4
64	35.3	109.1	143.3
72	32.3	102.9	131.4
80	32.2	93.8	113.8
100	35.3	74.9	88.2
120	39.5	64.1	67.5
140	43	57.3	58.4
160	50	62.2	60.6
180	56.6	61.6	58.7
200	62	56.8	61.3

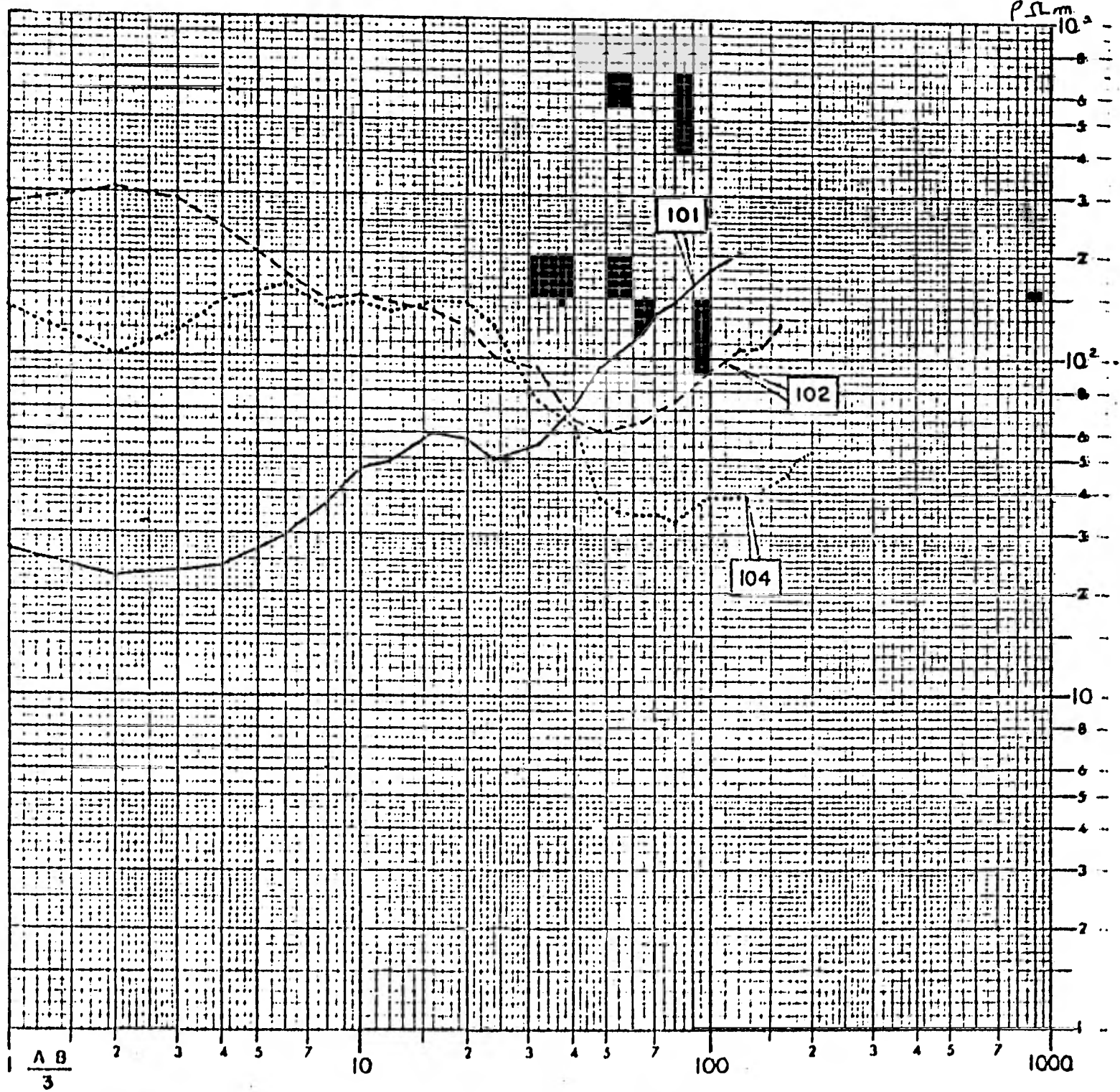
CUADRO IV. 3.2.4

VALLE DE LAS PALMAS, B.C.

PERFIL P-1

SONDEOS 101, 102 y 104

GRAFICA NºIV.3.2.1

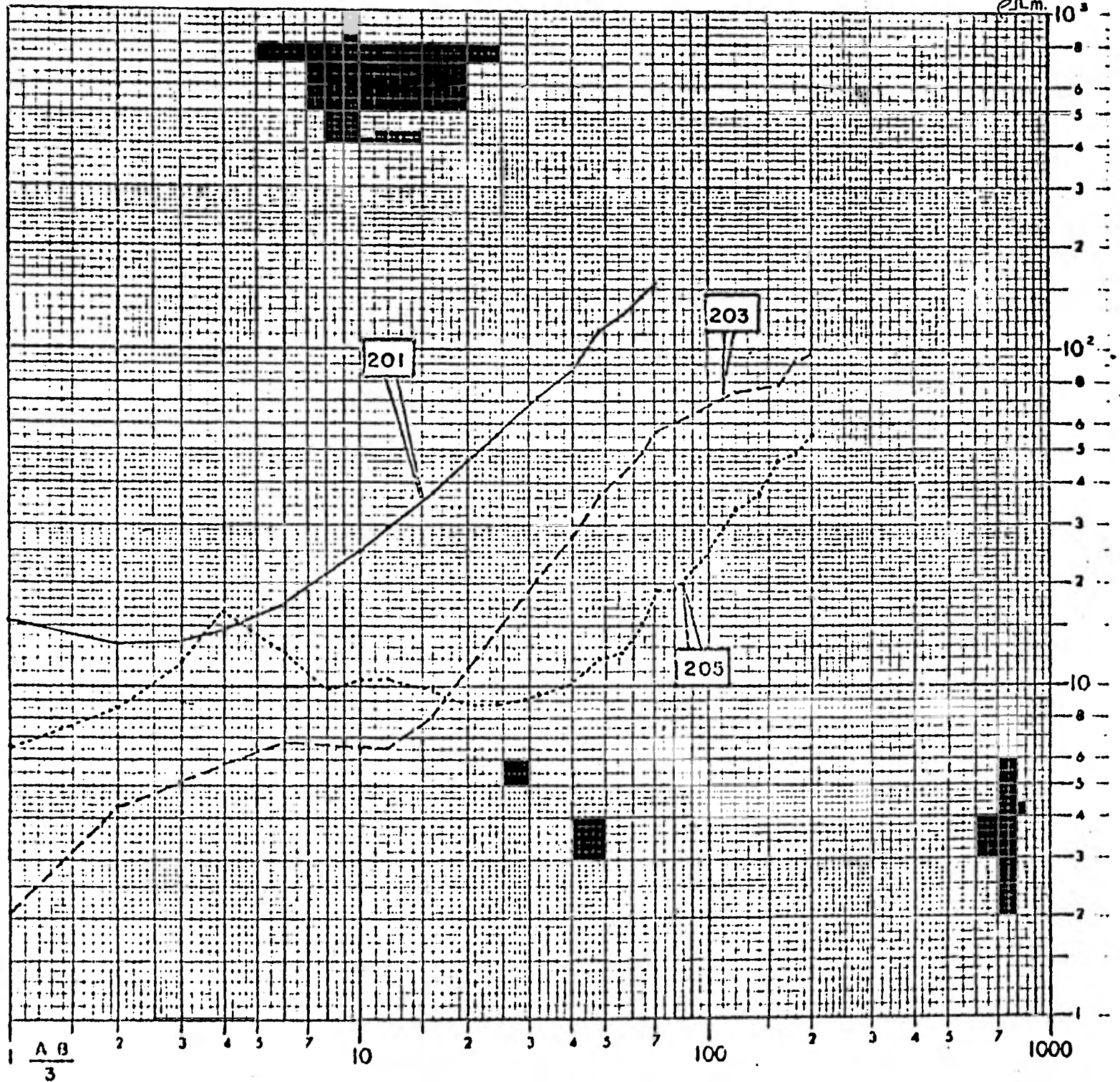


VALLE DE LAS PALMAS, B, C.

PERFIL P-2

SONDEOS 201, 203 y 205

GRAFICA N° 3.2.2

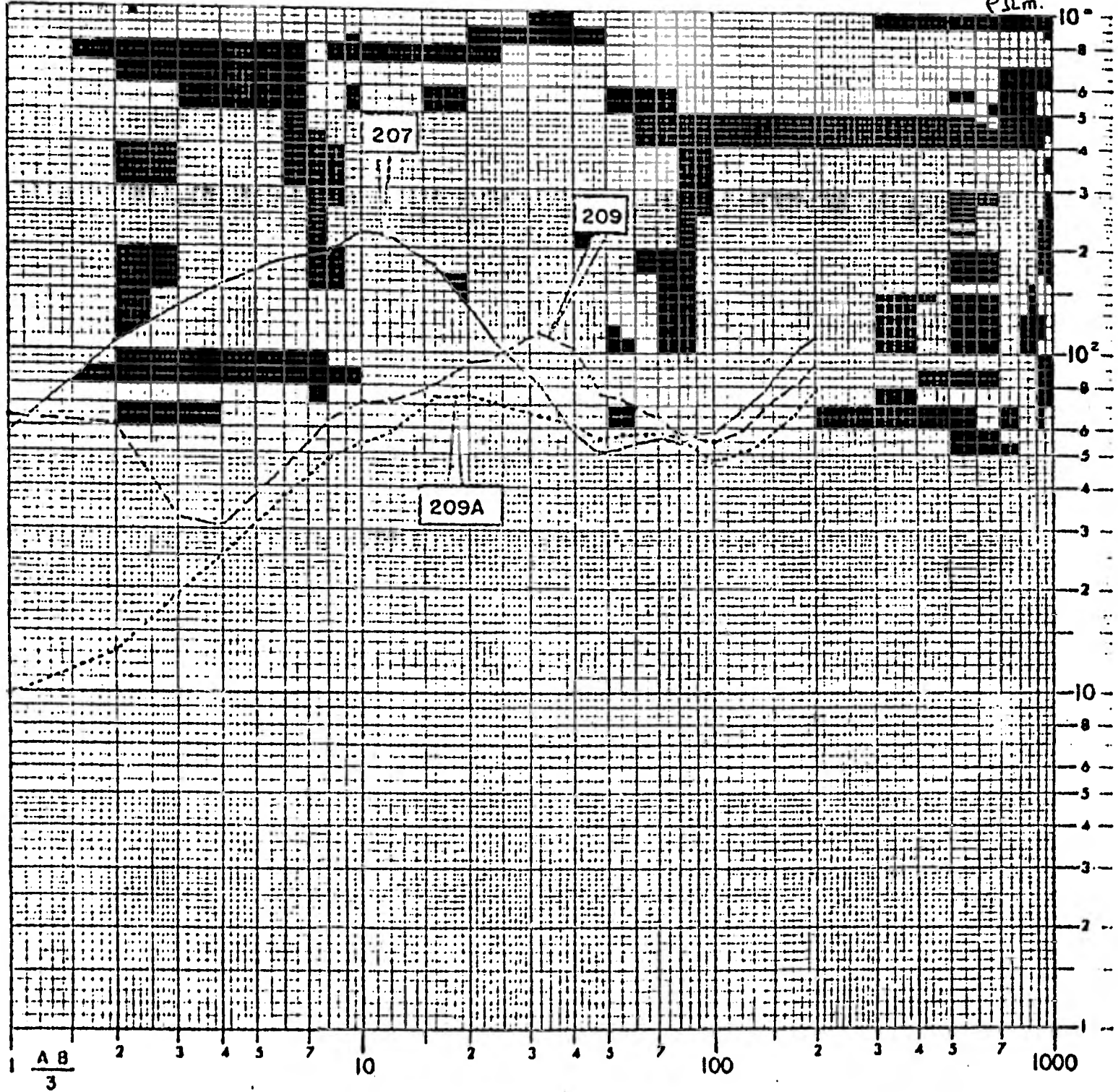


VALLE DE LAS PALMAS, B.C.

PERFIL P-2

SONDEOS 207, 209 y 209A

GRAFICA Nº IV.3.2.3
P.M.

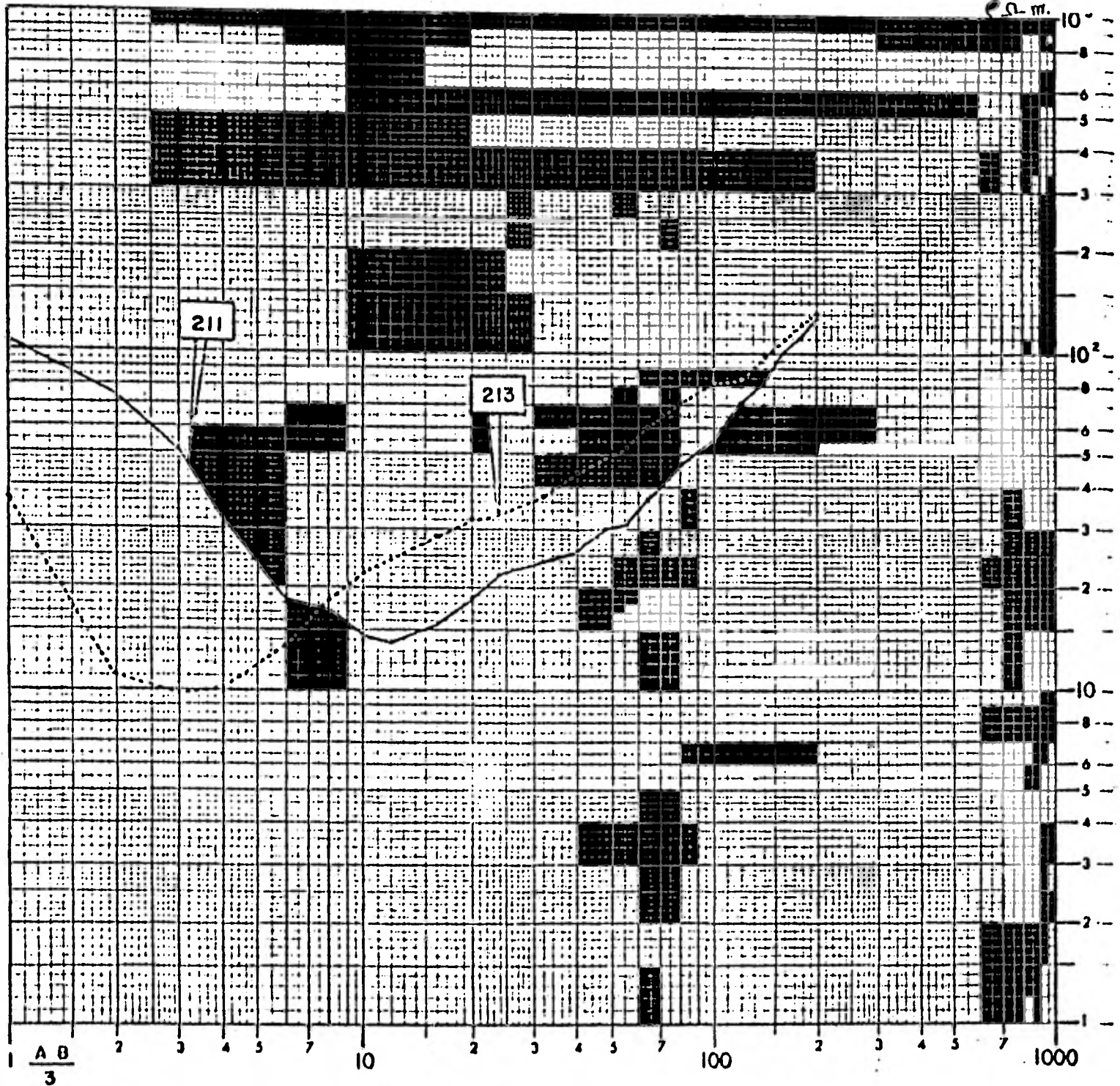


VALLE DE LAS PALMAS, B.C.

PERFIL P-2

SONDEOS 211 y 213

GRAFICA N°IV. 3.2.4

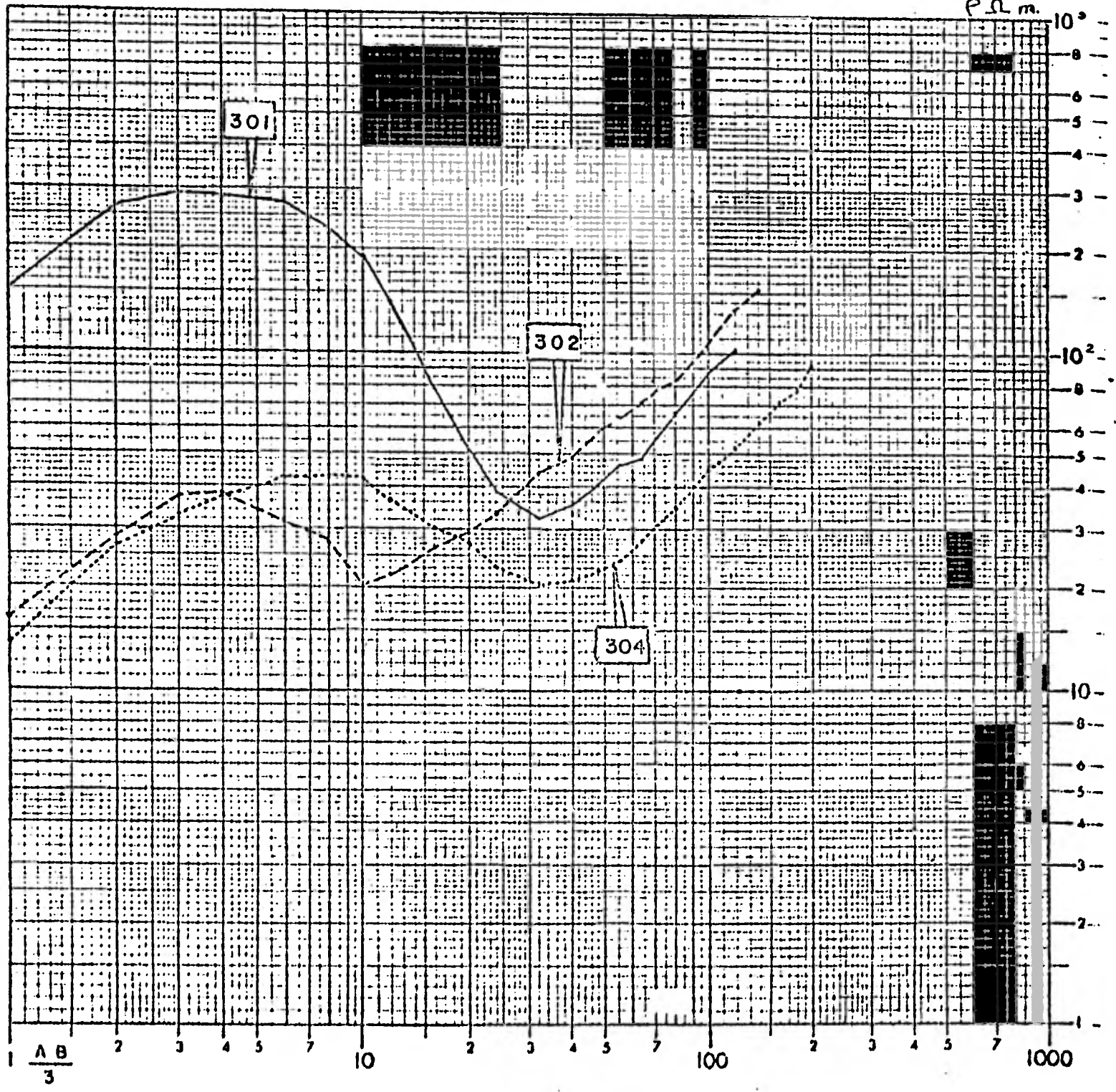


VALLE DE LAS PALMAS, B.C.

PERFIL P-3

SONDEOS 301, 302 y 304

GRAFICA N°V.3.2.5
P.Ω m.

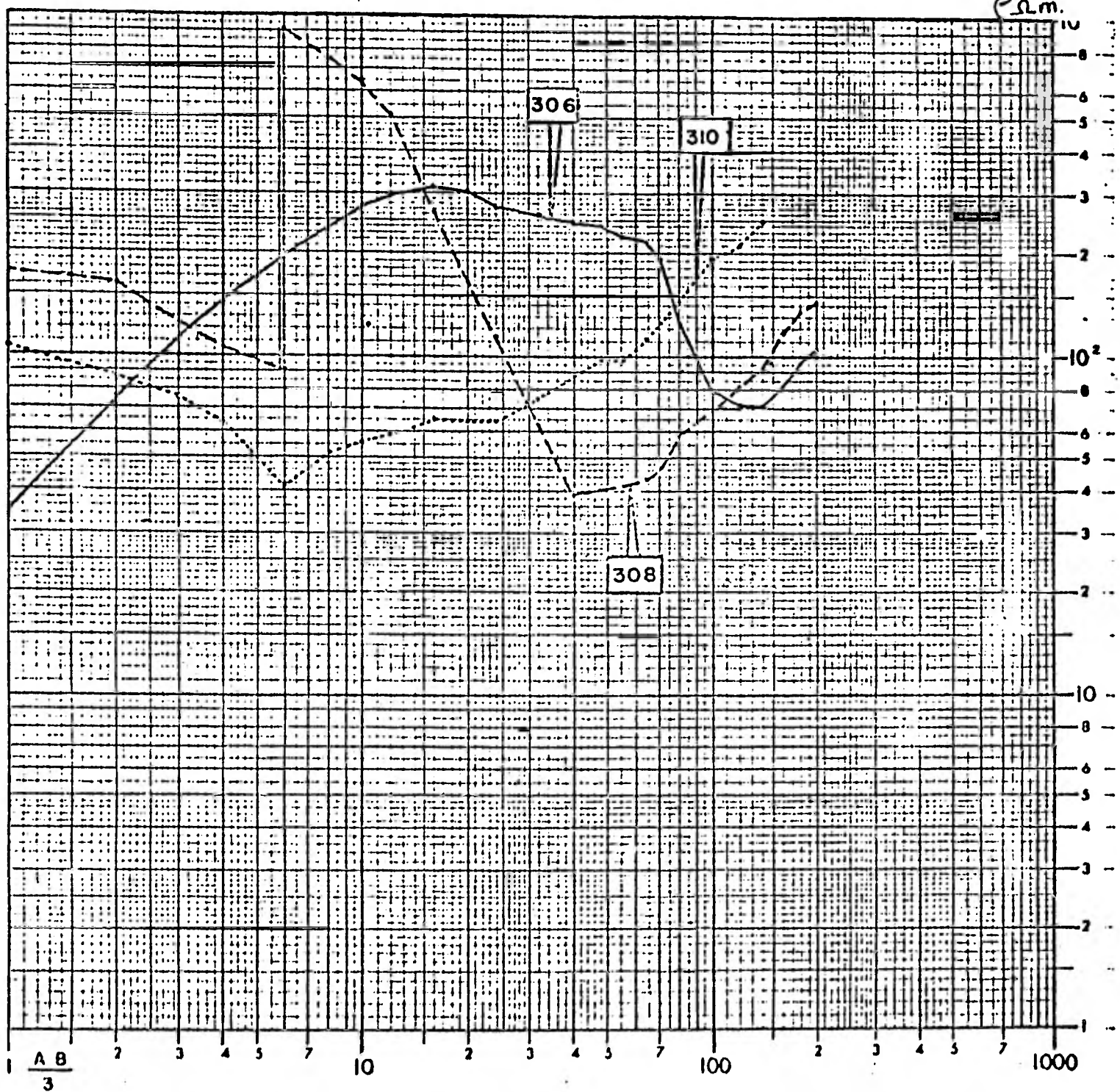


VALLE DE LAS PALMAS, B.C.

PERFIL P-3

SONDEOS 306, 308 y 310

GRAFICA N°M. 3.2.6

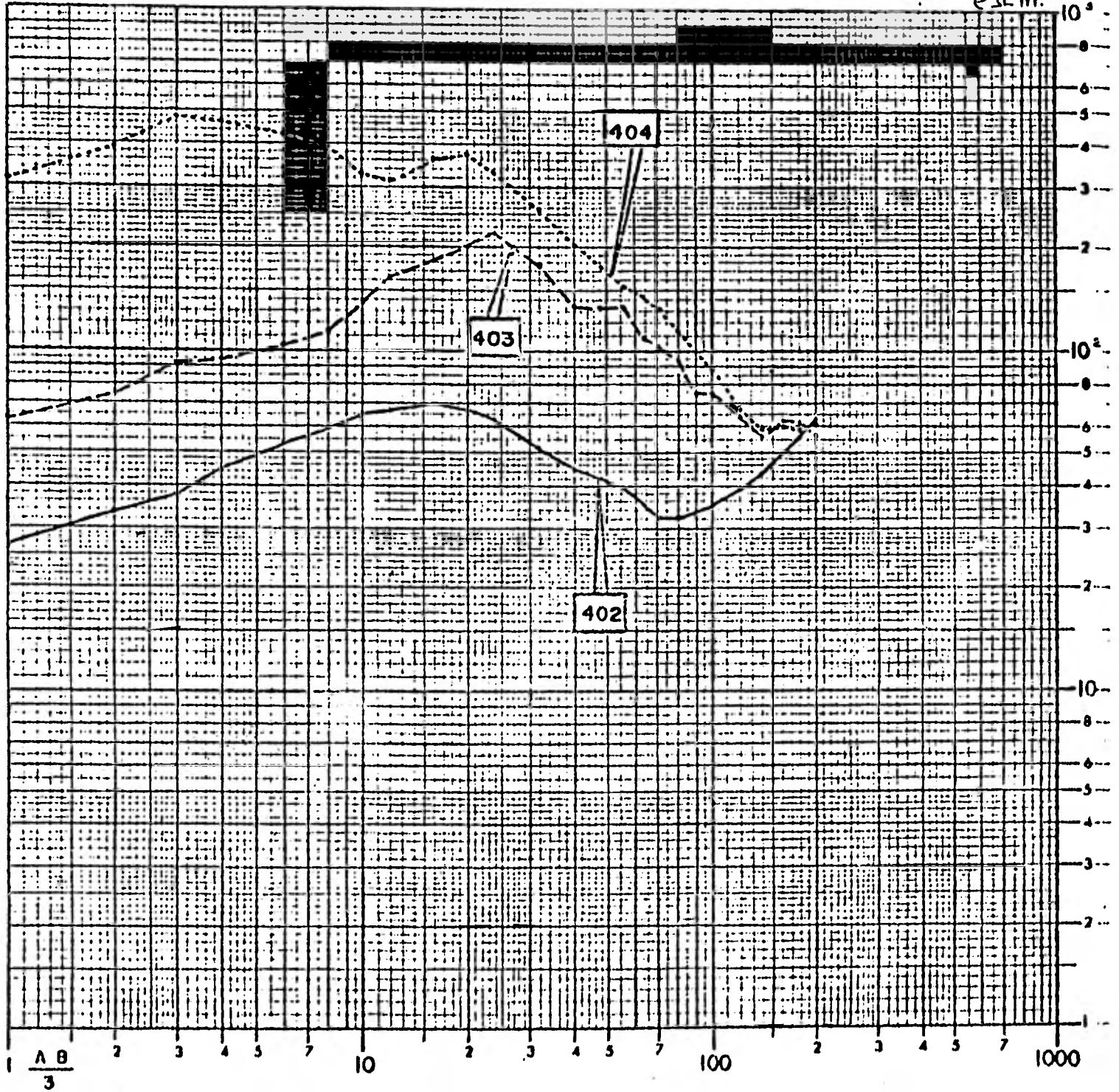


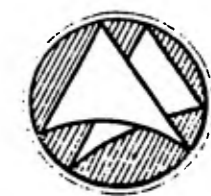
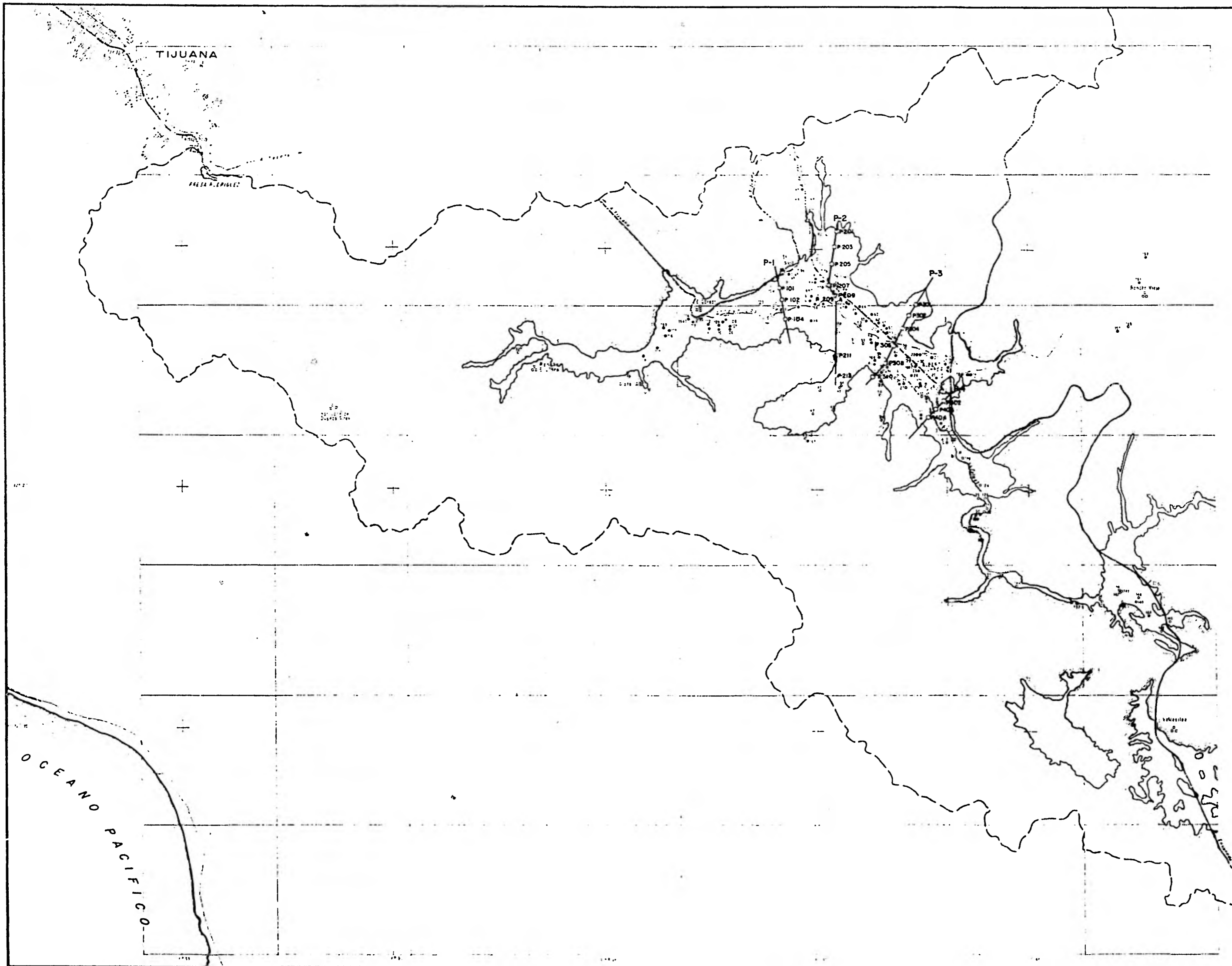
VALLE DE LAS PALMAS, B.C.

PERFIL P-4

SONDEOS 402, 403 y 404

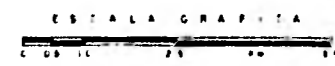
GRAFICA N°V.3.2.7
e. m.





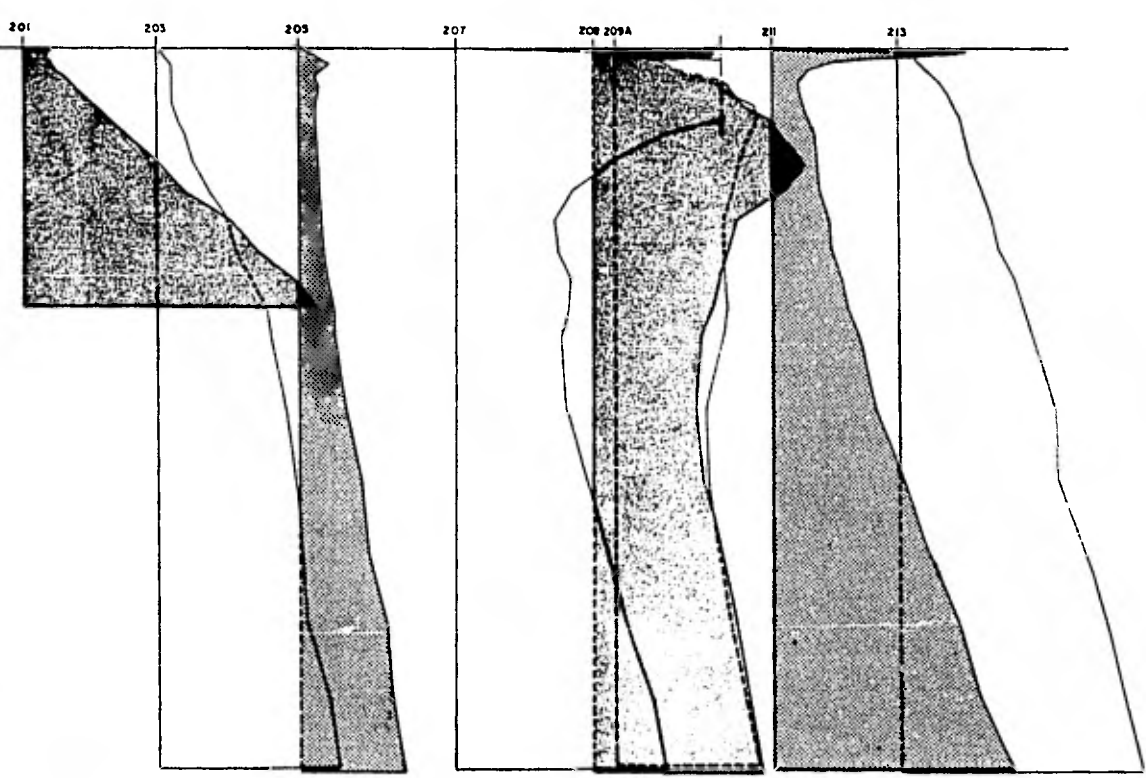
SIMBOLOGIA

CARRERAS	-----	-----
ERRAZONES	-----	-----
FERROCARRIL	-----	-----
PARQUEAS	-----	-----
FRONTERA IMPERMEABLE	-----	-----

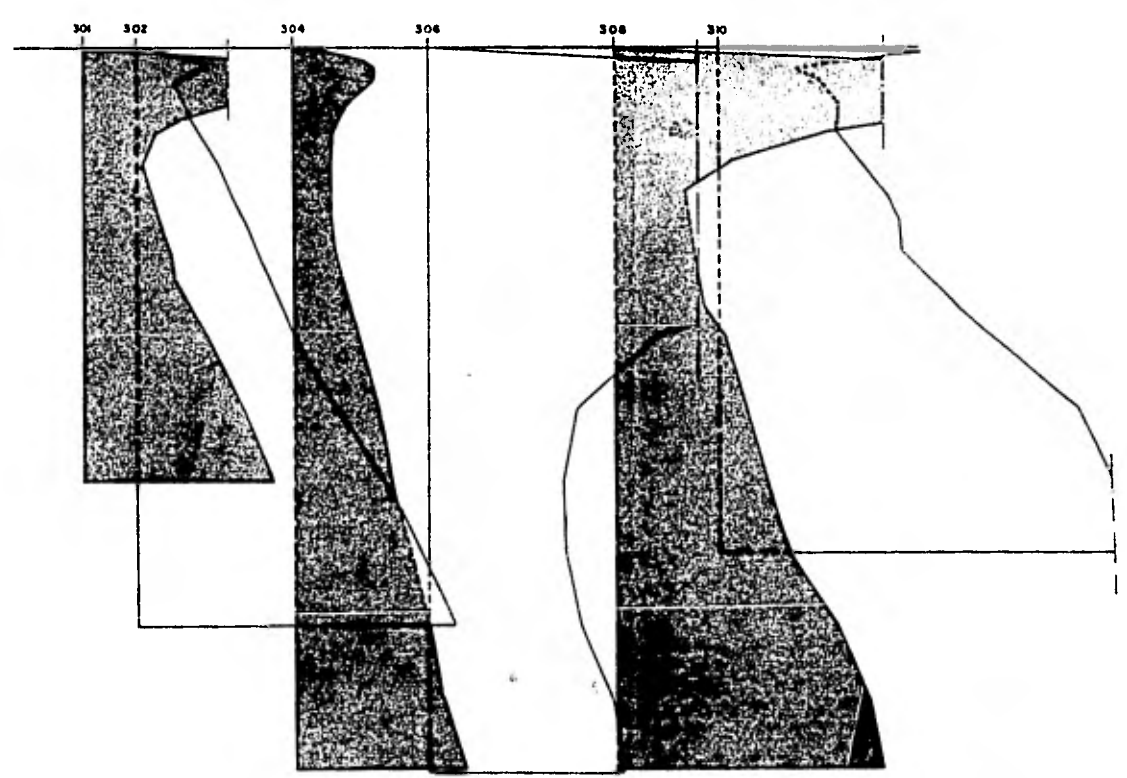


UNAM *enepacatlan*
INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 LOCALIZACION DE SONDEOS GEOELECTRICOS
TESIS PROFESIONAL
 ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ
 1982 PLANO N° N.1

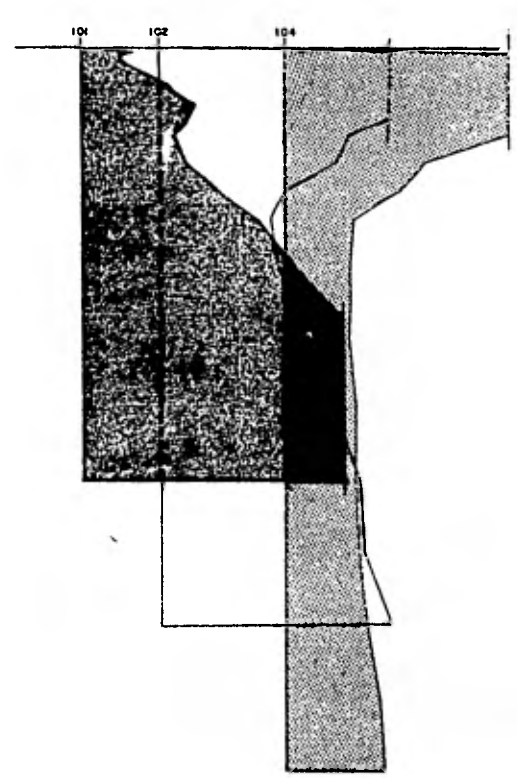
PERFIL P-2



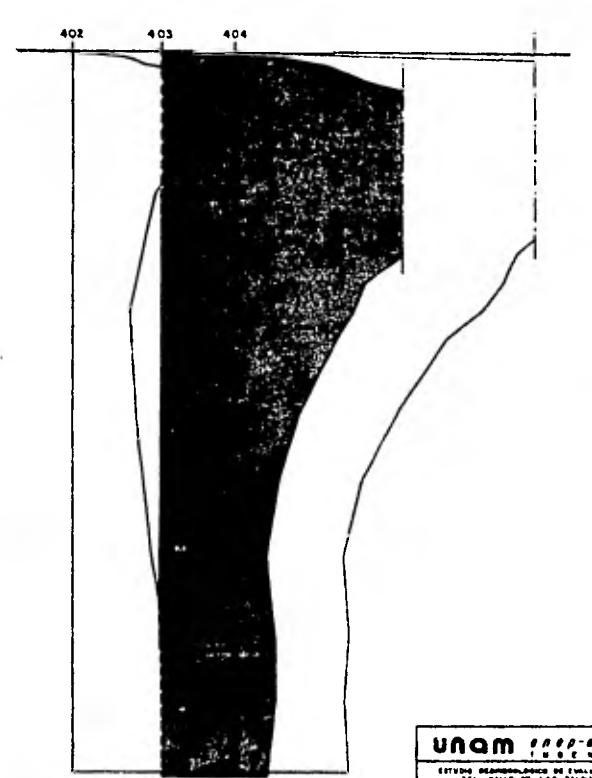
PERFIL P-3



PERFIL P-1

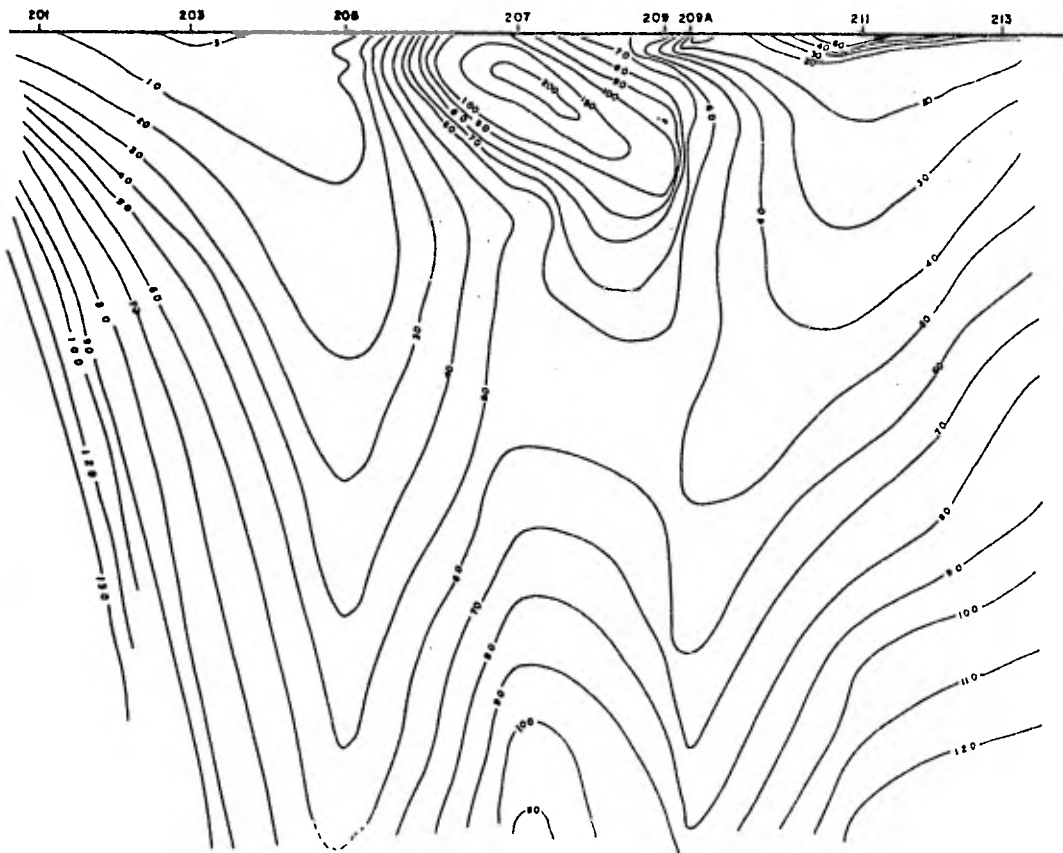


PERFIL P-4

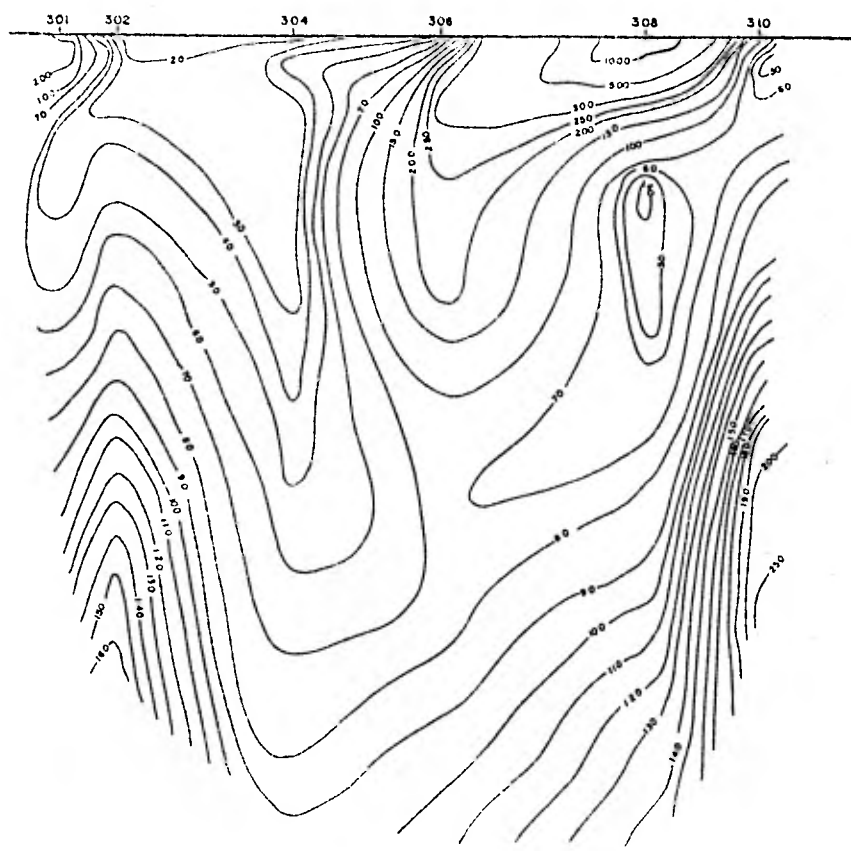


UNAM **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA TIERRA
 TESIS PROFESIONAL
 ADELFO ALFONSO AZARÁ BARREDA
 1982
 LAMINA Nº V. 3.1

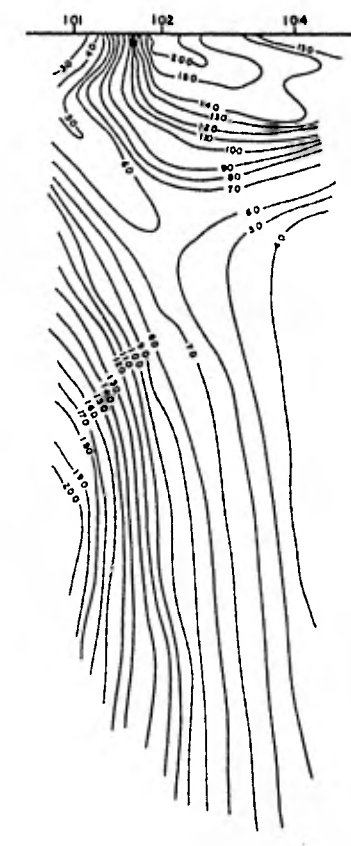
PERFIL P-2



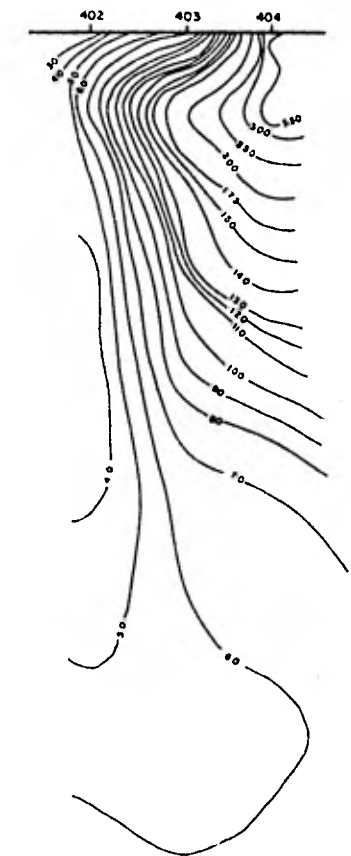
PERFIL P-3

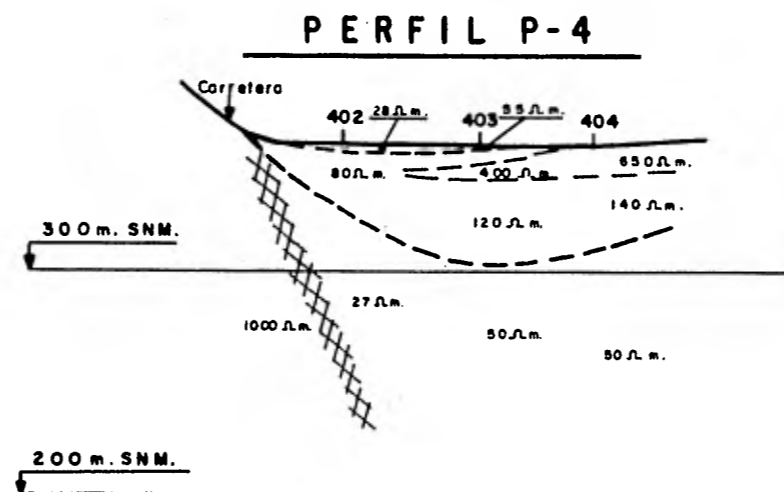
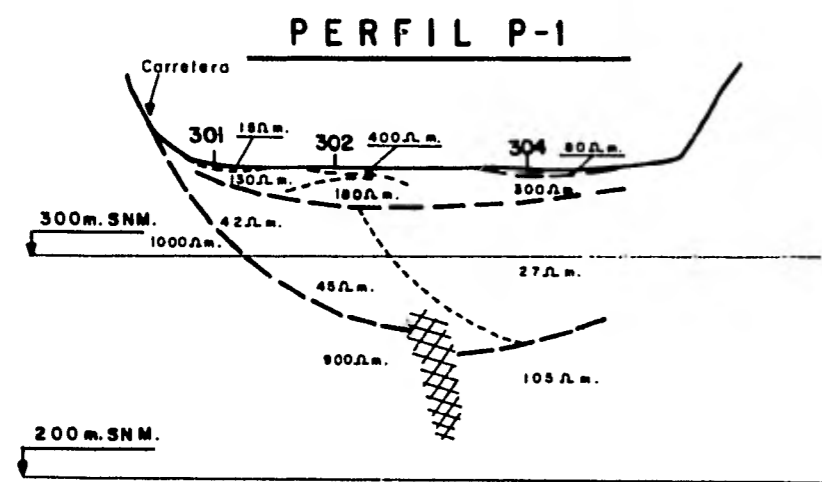
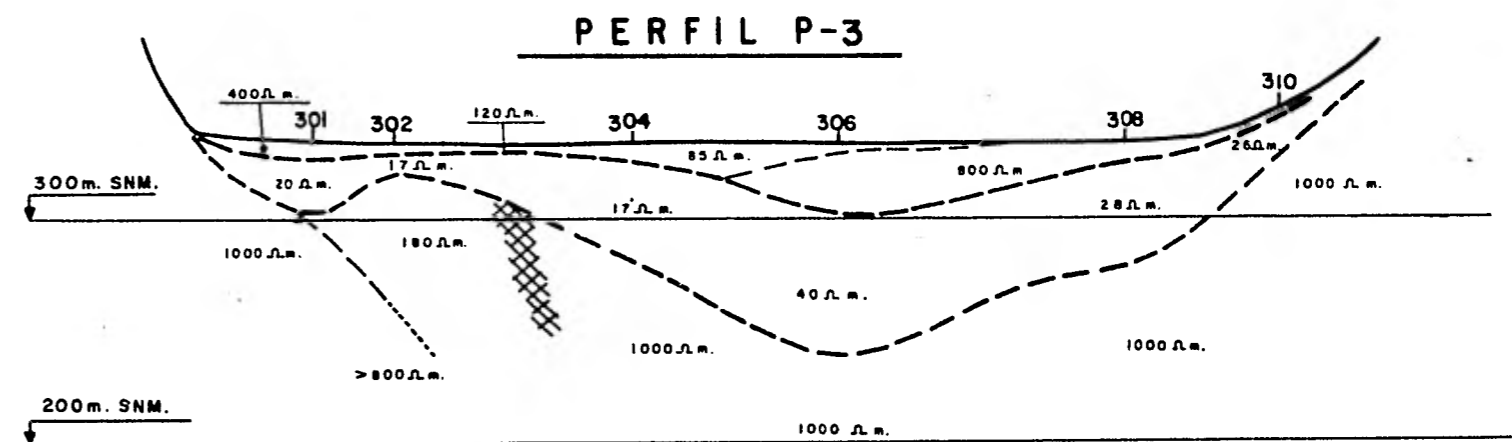
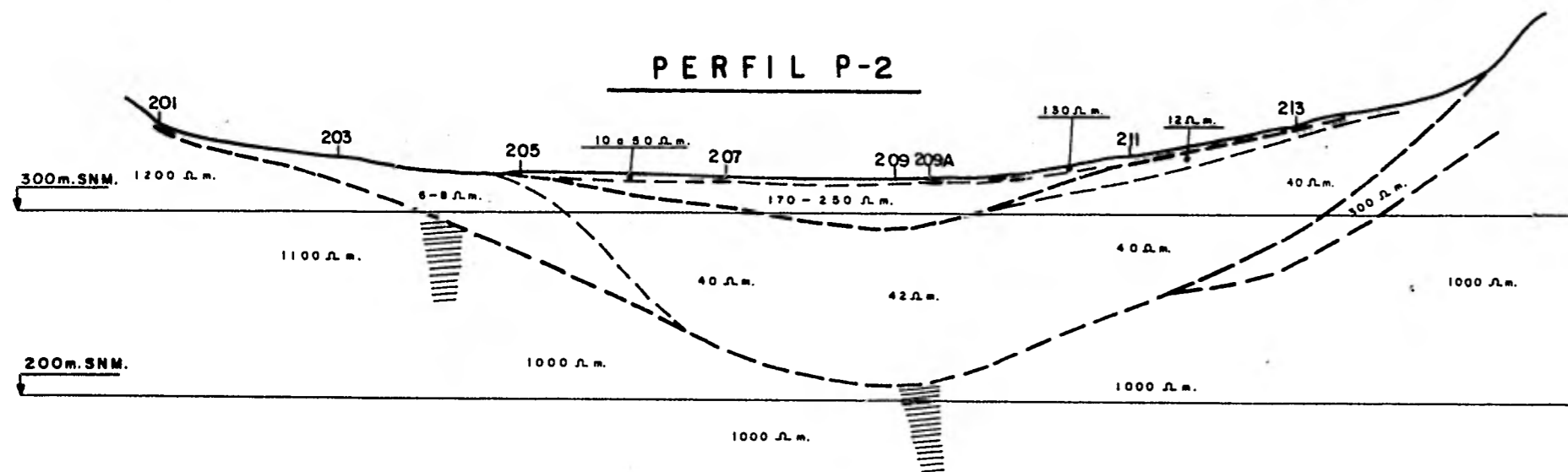


PERFIL P-1



PERFIL P-4





SIMBOLOGIA

Contacto Geofísico

Posible Fractura

ESCALAS: VERTICAL 1: 2,500
HORIZONTAL 1: 25,000

UNAM *PROP-OCATOR*
INGENIERIA

ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO DE EVALUACIÓN Y CENSO
DEL VALLE DE LAS PALMAS, S. C.
INTERPRETACIÓN FÍSICA DE LAS MEDIDAS DE SISMICIDAD EN EL PERFIL P-1 al P-4

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZEVEDO SANCHEZ,
1982

C A P I T U L O V

GEOQUIMICA

La interpretación geoquímica del agua subterránea es necesaria para comprender el funcionamiento general del acuífero.

El agua subterránea transporta sales en disolución, que están relacionadas con el tipo de materiales que existen en el acuífero y a partir de tal composición pueden inferirse dichos materiales, apoyados por la Geología y la Geofísica. Se considera para tal efecto que el agua constitutiva de los acuíferos proviene principalmente de la precipitación. El agua que cae sobre el terreno se infiltra posteriormente y disuelve a su paso las sales minerales que forman las rocas.

Por lo tanto, a partir de la composición química del agua puede deducirse la dirección del flujo subterráneo, ciertas características físicas del acuífero, la utilidad del agua con diversos fines, la composición de las rocas existentes en el acuífero y las zonas de recarga del mismo.

Las rocas más convenientes, en cuanto a la calidad originada en el agua subterránea, son las ígneas, ya que el agua disuelve cantidades pequeñas de material por ser relativamente insolubles. Por su parte, las rocas sedimentarias son más solubles y por consiguiente la calidad del agua disminuye en estas formaciones.

La mayor salinidad se presenta en regiones en las que la lluvia no logra disolver formaciones salinas; este fenómeno es típico de las denominadas zonas áridas, donde la productividad se ve disminuida por el alto contenido de sales en el suelo y en el agua.

Es necesario mencionar la importancia de la geoquímica en la determinación de la presencia de la intrusión salina. Este fenómeno se presenta en los acuíferos costeros, en los que el equilibrio existente entre el agua del acuífero y el agua de mar se rompe debido a una sobre-explotación de aquél, alterando las condiciones naturales. Con los métodos geoquímicos puede detectarse la posición y la velocidad de la intrusión salina.

Para que ocurra la intrusión salina en un acuífero, deben presentarse dos condiciones: la primera es que exista continuidad hidráulica, es decir, que el estrato que compone el acuífero se presente también en el mar; la segunda es que haya inversión del gradiente hidráulico, o sea, que la carga hidráulica del mar sea mayor a la del acuífero.

Debe aclararse que una vez que el fenómeno se ha presentado, es prácticamente imposible detenerlo por completo; a lo más se le puede controlar de alguna manera, pero el costo que ello implica es muy alto. Lo que sí es posible hacer es predecir en qué momento se presentará la intrusión, bajo un ritmo dado de extracción, para evitar llegar a tal bombeo y no romper el equilibrio.

METODOLOGIA.- En la interpretación geoquímica se emplea la siguiente:

- a) Selección y muestreo del agua subterránea: selección por pozos, norias, galerías filtrantes y manantiales.
- b) Medición del pH y temperatura del agua en el campo.
- c) Obtención de la muestra de agua en botella de polietileno de un litro de capacidad cerrada con doble tapa.
- d) Análisis físico-químicos: determinación de iones comunes en las aguas subterráneas, tales como: calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, cloruro, sulfato

to y otras características físicas como sólidos totales disueltos, turbiedad, etc.

- e) Elaboración de planos y diagramas e interpretación de los mismos.

En la selección de las obras en las cuales se va a muestrear, debe tomarse en cuenta que algunas pueden pertenecer a dos o más acuíferos diferentes y por tanto no serán muy representativas. El muestreo debe realizarse en frascos de polietileno; éstos deben llenarse totalmente y no dejar burbujas de aire para evitar posibles reacciones químicas.

Una vez obtenidas todas las muestras, se les harán los análisis físico-químicos tendientes a determinar sus componentes y sus proporciones.

A continuación se definen algunos conceptos utilizados en el análisis químico de las muestras de agua:

SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD): Es la cantidad de residuo que queda en un recipiente al evaporar el agua. Sin embargo, no son representativos del total real, ya que durante la evaporación — hay algunos componentes que pueden volatilizarse también; por — otro lado, también queda retenida cierta cantidad de agua de cristalización que no alcanza a evaporarse.

PARTES POR MILLON (ppm): Es el equivalente a un miligramo de soluto por un kilogramo de solución. Si un litro de solución pesa un kilogramo, entonces una parte por millón es igual a un miligramo por litro.

CONDUCTANCIA ELECTRICA (CE): Para determinar rápidamente los sólidos totales disueltos se emplea la conductancia eléctrica de la muestra de agua correspondiente. Se prefiere trabajar con la conductancia en lugar de la resistencia, que es su recíproco, ya que aquélla se incrementa sensiblemente al aumentar

las partes por millón; sus unidades están dadas en mhos y para propósitos comparativos los resultados se reportan como conductividad eléctrica o conductancia eléctrica específica, medida en mhos/cm. Como la mayoría de las aguas naturales poseen conductancias menores a la unidad, es conveniente referirlos a fracciones decimales de la misma.

$$1 \text{ mho/cm} = 1 \times 10^6 \text{ micromhos/cm } (\mu\text{mho/cm})$$

DUREZA TOTAL (TH) Es una medida del contenido del calcio y del magnesio y normalmente se expresa como el equivalente del carbonato del calcio. Así que

$$TH = Ca \times \frac{Ca \text{ CO}_3}{Ca} + Mg \times \frac{Ca \text{ CO}_3}{Mg}$$

Siendo TH la dureza total medida en partes por millón de cal, y Ca y Mg la relación de pesos equivalentes, se tiene que

$$TH = Ca \times \frac{20.04 + 30.0}{20.04} + Mg \times \frac{20.04 + 30.0}{12.16}$$

Finalmente:

$$TH = 2.497 \text{ Ca} + 4.115 \text{ Mg.}$$

MILIEQUIVALENTE POR LITRO: Como los miligramos por litro o partes por millón están dados en función del peso, no se distingue la naturaleza química del elemento en cuestión. Por ello, para relacionar diferentes iones en fórmulas químicas o para efectuar correlaciones entre ellos, se utilizan unidades equivalentes. La unidad más usada es el miliequivalente por litro, obtenido al dividir las partes por millón entre el peso equivalente del elemento en cuestión. El peso equivalente de un ión es la razón de su peso atómico a su valencia. Además, existen las siguientes equivalencias, ya que hay una relación

aproximada entre conductancia eléctrica y las concentraciones para la mayoría de las aguas naturales.

$$1\text{ppm} \approx 1.56 \text{ mho/cm}$$

MOLES POR LITRO. La mole se define como el peso atómico de una sustancia en gramos.

Las abreviaturas usadas para las unidades anteriormente definidas son:

ppm	partes por millón.
mg/l	miligramos por litro
me/l	miliequivalentes por litro
mol/l	moles por litro

En las tablas resumen se recopilará toda la información correspondiente a los análisis químicos.

CONFIGURACIONES: Con objeto de tener una distribución espacial de la calidad del agua y con ella determinar cualitativamente las zonas de recarga, la dirección del flujo del agua subterránea, así como tener cierta idea de algunas propiedades físicas del acuífero, es necesario elaborar las configuraciones correspondientes.

Para ello, en cada plano se vacían los datos proporcionados por el análisis, para cada anión o catión, obtenidos a partir del muestreo. Una vez vaciados los datos, se procederá a configurar la zona con curvas de isovalores. El mismo procedimiento se realiza con los sólidos totales disueltos. Si la información disponible lo permite, conviene también hacer configuraciones de evoluciones de los iones y los STD en un período determinado.

DIAGRAMAS TRIANGULARES. Para obtener de manera rápida y gráfica los diferentes tipos de familias de agua, de acuerdo al catión o al anión predominante, se forman diagramas triangulares.

En el triángulo de la izquierda de este diagrama se grafican, - en porcentaje de me/l los principales cationes, y en el triángulo de la derecha, también en las mismas unidades, los principales iones. En los vértices de estos triángulos se definen aguas cálcicas, magnesianas, bicarbonatadas, etc. Si las muestras se encuentran localizadas en los vértices con los porcentajes mayores al 50% de calcio, magnesio, bicarbonato, según el caso. (Ver gráfica V.1.)

AGUA PARA RIEGO: Wilcox propuso en 1948 una clasificación del agua para riego relacionando la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (RAS).

Primeramente, se definirá el RAS como:

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

donde las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} están dadas en miliequivalentes por litro. La peligrosidad del agua para el riego queda supeditada, por consecuencia, a las concentraciones existentes de los iones mencionados.

Los valores de CE y RAS, son graficados en el nomograma de Wilcox (Fig.V.4 y V.5), obteniéndose de esta manera la clase de agua para riego, la cual está definida por los parámetros C y S y subíndices en cada uno de ellos.

- C1: Baja Salinidad. Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos y para casi todas las plantas con pocas probabilidades de que aumente la salinidad.
- C2: Salinidad Media. Es utilizable siempre y cuando se hagan lavados moderados. Es posible sembrar plantas que sean relativamente tolerantes a las sales, sin efectuar prácticas especiales para el control de la salinidad.

- C3: Altamente Salina. No debe usarse en suelos con deficiente drenaje. Aún cuando éste sea adecuado, requiere de un manejo especial para el control de la salinidad. Deben seleccionarse plantas que sean bastante tolerantes a las sales.
- C4: Muy Altamente Salina. No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias aunque puede usarse en circunstancias especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado; el agua para riego debe aplicarse en exceso con el fin de llevar a cabo un lavado fuerte. Las plantas seleccionadas deberán ser muy tolerantes a las sales.
- S1: Con Poco Sodio. Puede usarse para riego en casi todos los suelos, con poco peligro de que el sodio intercambiabile llegue a niveles perjudiciales. Sin embargo, las plantas sensitivas al sodio, como algunos frutales (fruto con hueso) y aguacate, pueden acumular concentraciones dañinas de sodio.
- S2: Con Contenido Medio. Esta familia de agua será peligrosa en suelos de textura fina y en aquéllos que -- contengan una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavados leves, a menos que haya yeso en el suelo. Esta agua puede usarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.
- S3: Con Alto Contenido. Conducirá a niveles peligrosos de sodio intercambiabile en la mayoría de los suelos por lo cual se requerirá de un manejo especial, buen drenaje, lavados fuertes y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos no desarrollarán niveles perjudiciales de sodio intercambiabile. Los mejoradores químicos deberán usarse para el reemplazo de sodio intercambiabile, excepto en el caso de que no sea

factible el uso de mejoradores en aguas de muy alta salinidad.

- S4: Con Muy Alto Contenido. Generalmente no es apropiada para el riego, excepto en casos de baja y quizás media salinidad, donde la solución del calcio del suelo o el empleo de yeso u otros mejoradores hagan factible el uso de esta agua.

OBTENCION DE RESULTADOS:

Para realizar el estudio geoquímico del Valle de las Palmas, se obtuvieron muestras de agua de 27 obras seleccionadas que fueron analizadas en los Laboratorios de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en Mexicali, B.C.

En la Tabla V.1. se muestran los resultados obtenidos de tales análisis de los cationes: calcio, sodio y magnesio y de los aniones: cloruros, sulfatos y bicarbonatos. Además se incluye el pH y la conductividad eléctrica (CE).

ANALISIS DE RESULTADOS:

Los sólidos totales disueltos reportados indican que la menor concentración fue de 383 ppm. y la mayor de 6070 ppm. El promedio aritmético fue de 1457 ppm.

De los cationes el elemento predominante es el sodio y de los aniones los cloruros predominan sobre el sulfato y el bicarbonato.

Para la determinación de los grupos y calidad del agua se emplearon los diagramas triangulares de Piper (gráficas V.2 y V.3).

En la primer gráfica puede observarse fácilmente que todas las muestras corresponden a las familias mixto-cloruradas y

mixto-sódicas. En la segunda gráfica se manifiesta que la mayoría de las aguas son mixto-cloruradas.

En cuanto a la dureza del agua, puede decirse que para fines potables se conserva dentro del límite establecido, excepto en los aprovechamientos número: 33, 35, 43, 86, 93, 97, 186 y 187.

Por medio de la clasificación de Wilcox, en la determinación de la calidad de agua para riego, se determinó que la peligrosidad del sodio es de baja a media y que el peligro de salinidad de los suelos es muy alto. Como se ha indicado en la definición de la nomenclatura empleada en la clasificación, este problema puede atenuarse mediante lavados sistemáticos y el cultivo de plantas resistentes a la alta salinidad.

Los aprovechamientos que no son aptos para el riego son: 187, 117, 35, 86 y 93, que caen en la clasificación de Wilcox como: C4-53 y C4-52, implicando con éllo un gran riesgo de salinidad.

En los alrededores del Valle se registran bajas concentraciones de sólidos disueltos debido a que las aguas se infiltran en la Sierra de Juárez, y conforme circulan hacia el Centro del Valle van disolviendo las sales de las formaciones que atraviesan. En base a éllo, es lógico pensar que en las fronteras del Valle el agua sea de mejor calidad que en el interior del mismo. En las gráficas V.4 y V.5 se muestran las distribuciones de las familias de aguas en el Valle.

En los planos V.1 a V.7 se muestra la distribución de los elementos ya mencionados en el Valle, así como la de los sólidos totales disueltos. De este último plano, puede observarse que las zonas con mayores concentraciones se encuentran una al oeste del poblado del Valle de las Palmas, y la otra al norte del área de estudio cercana a la carretera Ensenada-Tecate.

CALIDAD DEL AGUA PARA USOS DOMESTICOS.

En cuanto a la calidad del agua para uso doméstico, se di
rá que en términos generales es aceptable. Las normas de cali-
dad para el agua potable indican que ésta debe tener menos de
1000 ppm. Sin embargo, en zonas donde el agua sobrepasa este va
lor y no se cuenta con otra fuente de abastecimiento de mejor
calidad, se utiliza con el consiguiente perjuicio de los consu-
midores.

De las muestras de agua analizadas del Valle de las Pal-
mas, se tiene que el 55% de ellas es agua de buena calidad por
contener menos de 1000 ppm., pudiendo utilizarse como potable.

El 26% contiene de 1000 a 2000 ppm., y se considera de mediana
calidad. Debe utilizarse con reservas a falta de otra de mejor
calidad, para fines potables. Finalmente, el 19% de las mues-
tras presentan más de 2000 ppm., por lo que no se consideran -
apropiadas para consumo doméstico.

DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER

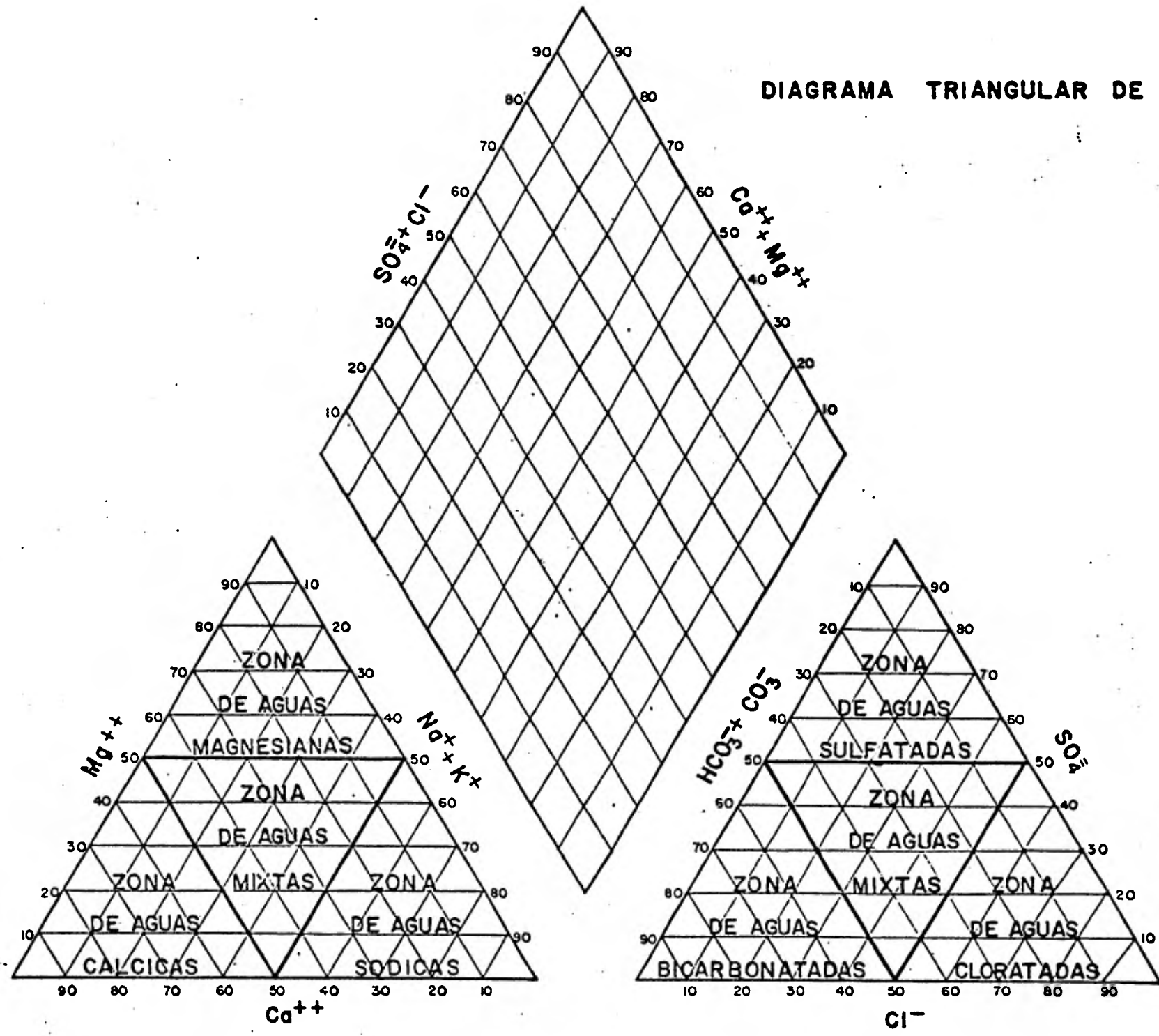


DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER
VALLE DE LAS PALMAS B.C.

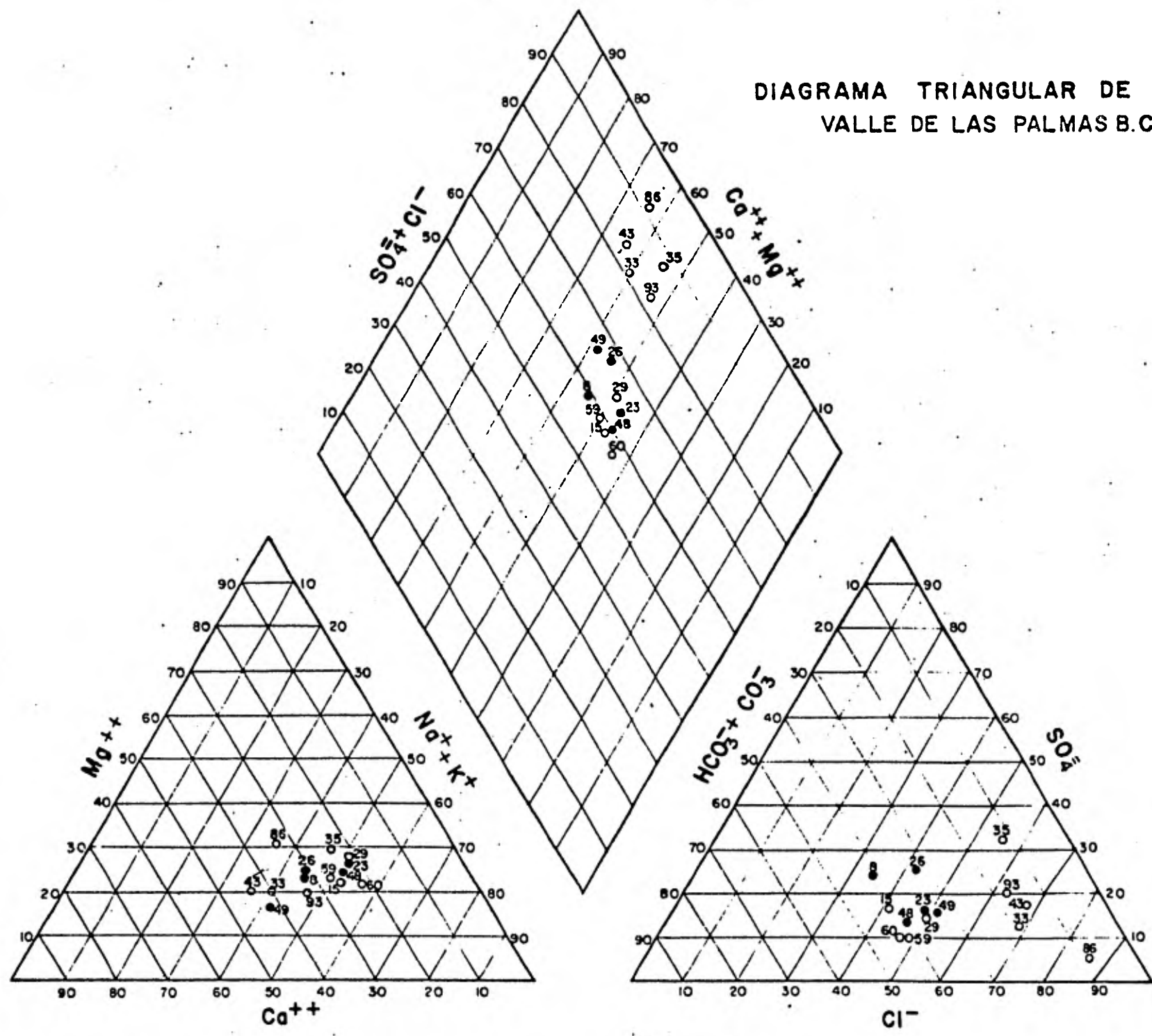


DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER
VALLE DE LAS PALMAS B.C.

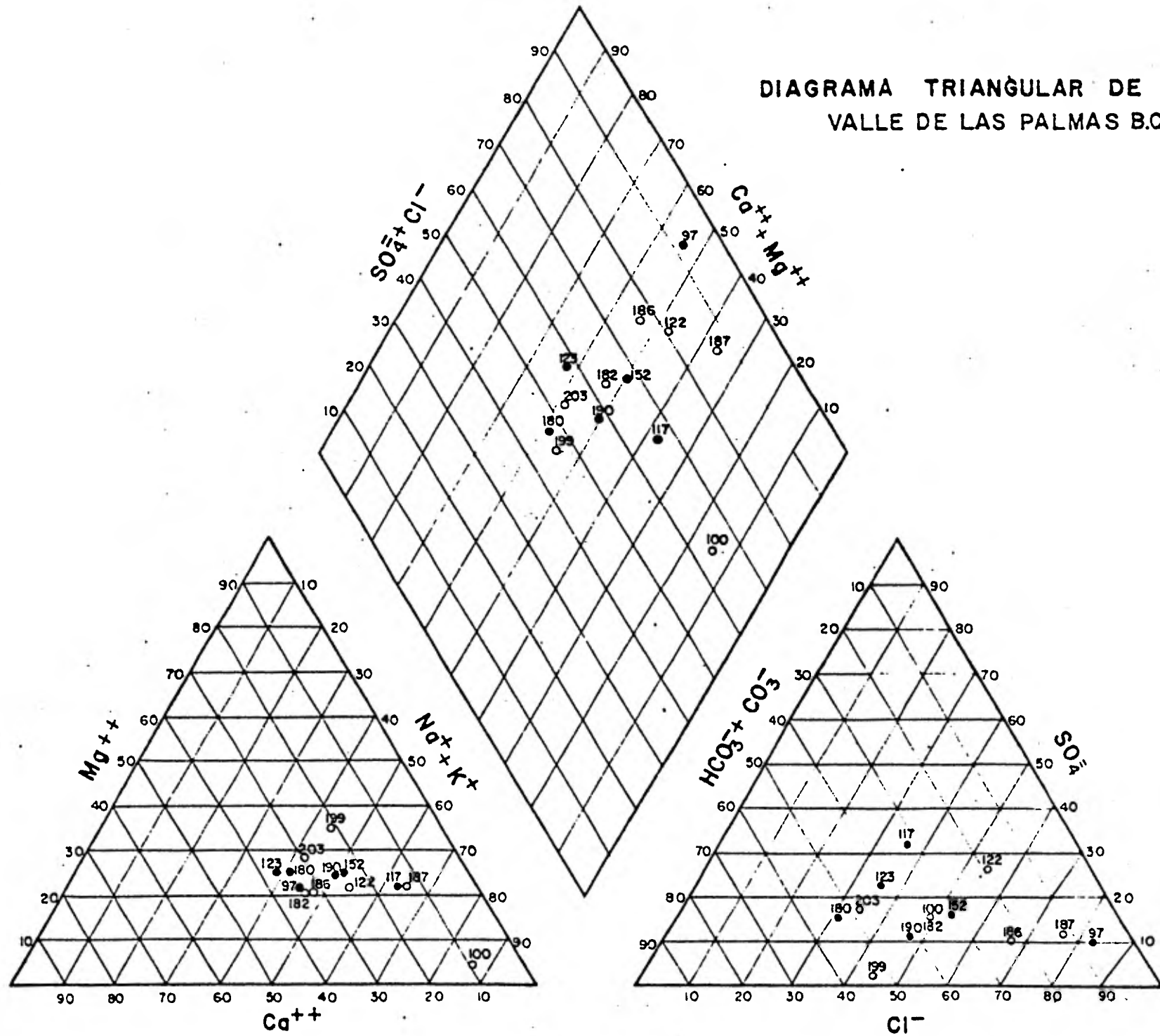
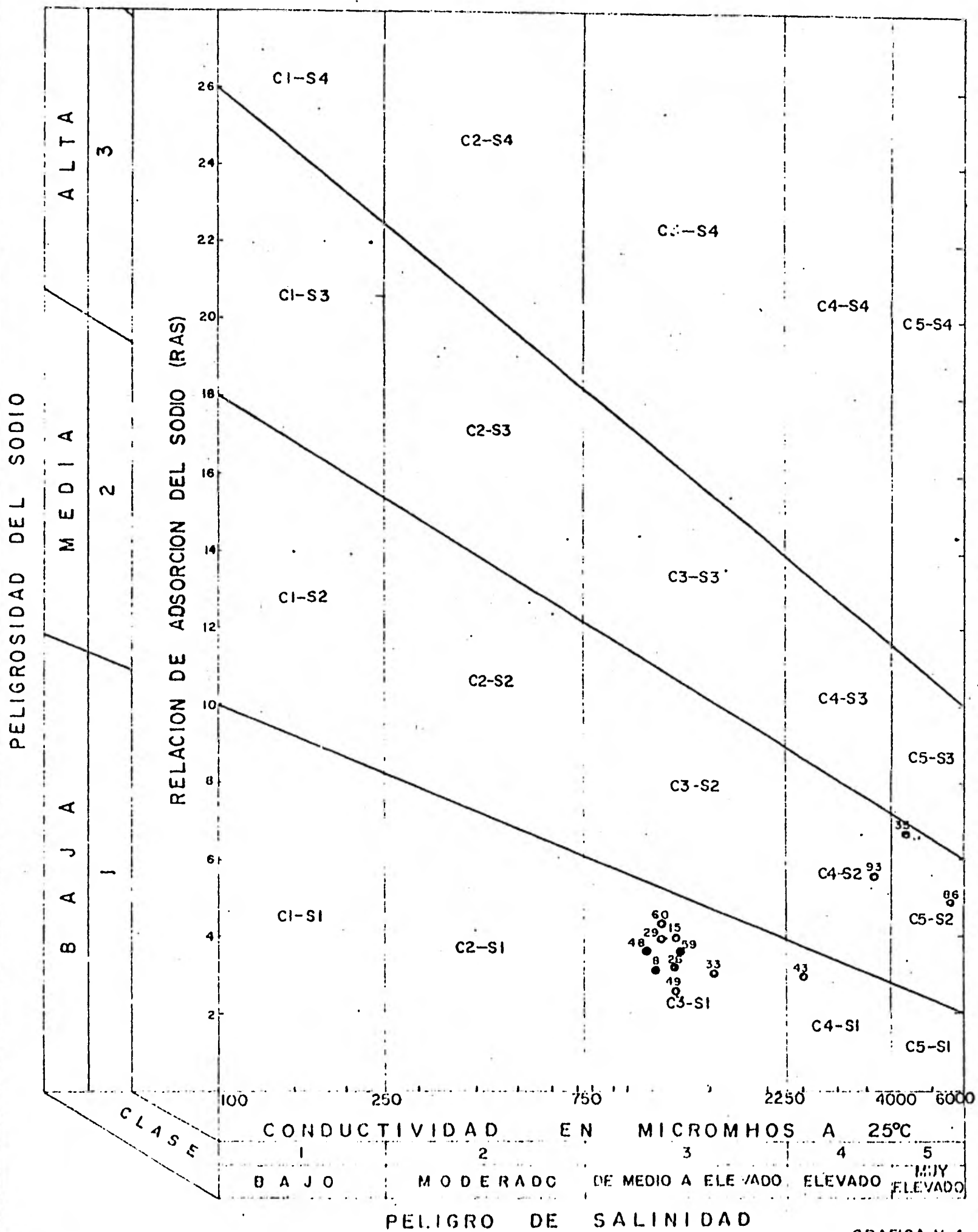


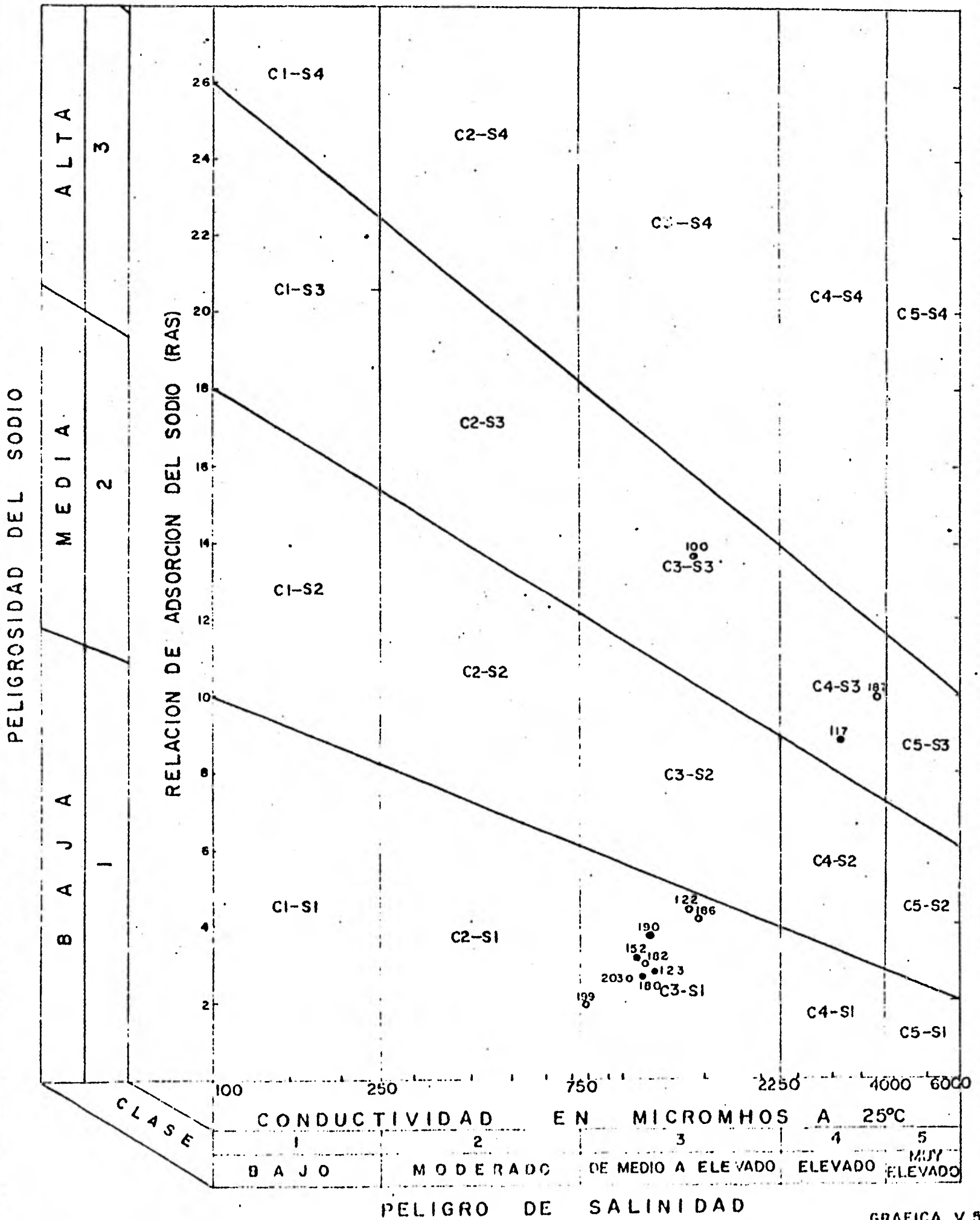
DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO



GRAFICA V.4

LAS PALMAS

DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO



GRAFICA V.5

LAS PALMAS

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS

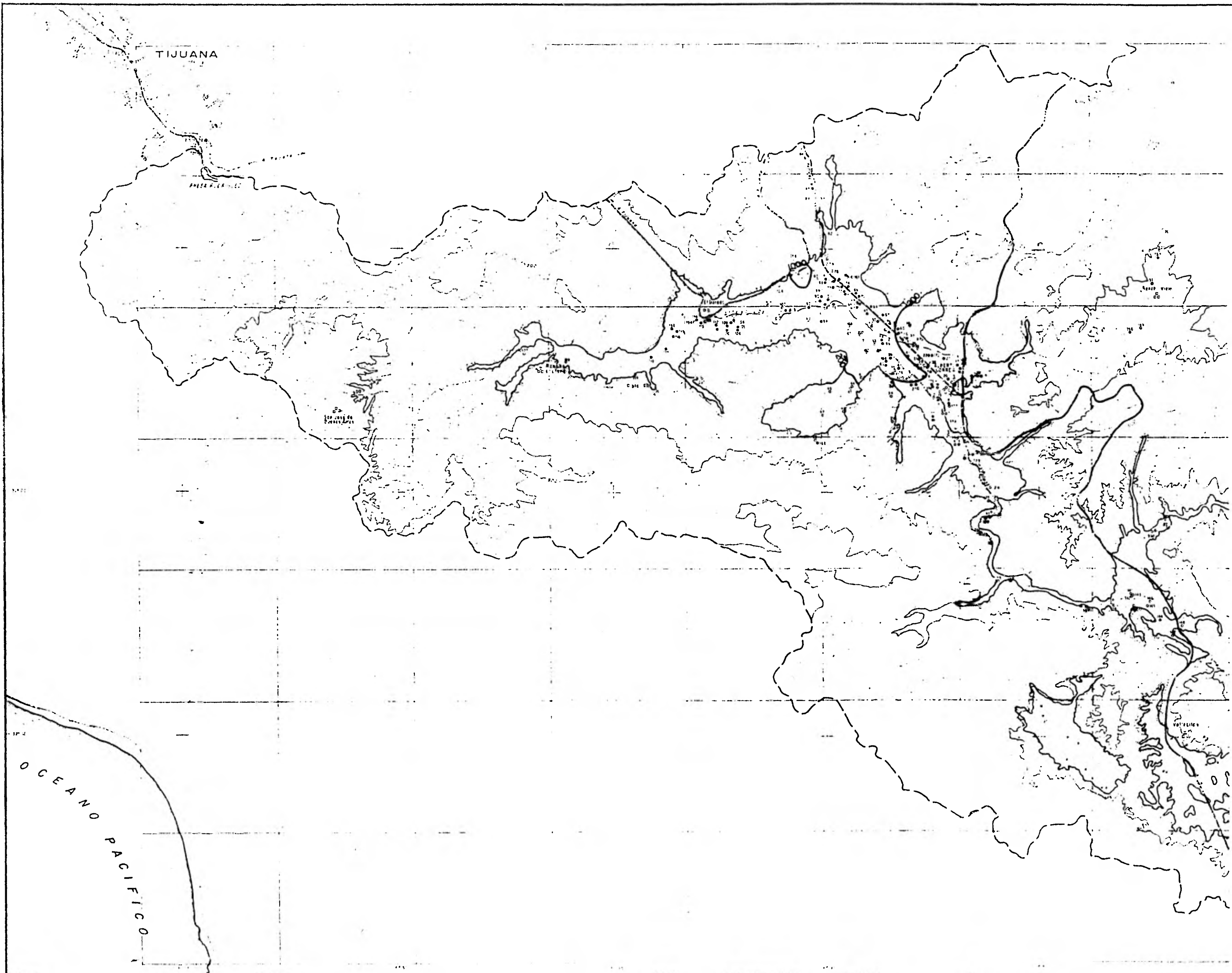
Tabla V.1

OBRA No.	TIPO *	FECHA DE MUESTREO	TEMPERATURA DEL AGUA °C	C. E. EN MHOS/cm	P. H	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS p.p.m.	C A T I O N E S						A N I O N E S						R. A. S.	CLASE WILCOX	DUREZA TOTAL
							Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻				
							p.p.m.	me/l.	p.p.m.	me/l.	p.p.m.	me/l.	p.p.m.	me/l.	p.p.m.	me/l.	p.p.m.	me/l.			
8	P	20/V/81	25	1300	7.6	882	80	4.0	34	2.8	129	5.6	329	5.4	156	4.4	154	3.2	3.1	C3-S1	340
15	N	8/VI/81	"	1450	8.0	993	72	3.6	38	3.2	170	7.4	366	6.0	213	6.0	134	2.8	4.0	C3-S1	340
23	P	30/V/81	"	1550	7.9	998	68	3.4	48	4.0	184	8.0	329	5.4	263	7.4	106	2.2	4.2	C3-S1	370
26	P	30/V/81	"	1600	7.95	1106	100	5.0	48	4.0	170	7.4	329	5.4	248	7.0	211	4.4	3.5	C3-S1	450
29	N	4/VI/81	"	1500	7.9	966	64	3.2	46	3.8	170	7.4	317	5.2	263	7.4	106	2.2	4.0	C3-S1	350
33	N	30/V/81	"	2000	7.7	1239	156	7.8	48	4.0	179	7.8	244	4.0	497	14.0	115	2.4	3.2	C3-S1	590
35	N	5/VI/81	"	4300	7.85	3115	248	12.4	173	14.4	552	24.0	366	6.0	1008	28.4	768	16.0	6.6	C4-S2	1340
43	N	30/V/81	"	2300	7.9	1370	192	9.6	54	4.5	191	8.3	220	3.6	540	15.2	173	3.6	3.1	C4-S1	705
48	P	5/VI/81	"	1300	7.9	866	60	3.0	38	3.2	152	6.6	317	5.2	213	6.0	86	1.8	3.7	C3-S1	310
49	N	21/V/81	"	1150	7.8	711	92	4.6	22	1.8	101	4.4	220	3.6	199	5.6	77	1.6	2.5	C3-S1	320
59	P	11/V/81	"	1500	8.0	1007	76	3.8	43	3.6	170	7.4	378	6.2	263	7.4	77	1.6	3.8	C3-S1	370
60	P	11/V/81	"	1400	8.0	947	60	3.0	36	3.0	177	7.7	366	6.0	241	6.8	67	1.4	4.4	C3-S1	300
86	N	12/V/81	"	5500	7.85	3663	440	22.0	240	20.0	529	23.0	317	5.2	1945	54.8	192	4.0	5.0		2100
93	N	21/V/81	"	3200	7.95	2286	240	12.0	86	7.2	400	17.4	390	6.4	824	23.2	346	7.2	5.6	C4-S2	960
97	P	15/V/81	"	9000	7.5	6070	628	31.4	348	29.0	1058	46.0	366	6.0	3152	88.8	518	10.8	8.4		3020
100	N	15/V/81	"	1825	8.2	1297	32	1.6	14	1.2	368	16.0	415	6.8	334	9.4	134	2.8	13.6	C3-S2	140
117	P	12/V/81	"	2600	8.2	1592	64	3.2	65	5.4	336	14.6	464	7.6	298	8.4	365	7.6	7.0	C4-S2	430
122	N	12/V/81	"	1700	7.7	993	76	3.8	43	3.6	191	8.3	183	3.0	298	8.4	202	4.2	4.3	C3-S1	370
123	P	9/VI/81	"	1450	7.95	930	96	4.8	41	3.4	120	5.2	342	5.6	177	5.0	154	3.2	2.6	C3-S1	410
152	P	20/VI/81	"	1150	7.7	699	52	2.6	31	2.6	124	5.4	207	3.4	199	5.6	86	1.8	3.3	C3-S1	260
180	P	4/VI/81	"	1200	8.0	882	80	4.0	36	3.0	115	5.0	403	6.6	142	4.0	106	2.2	2.7	C3-S1	350
182	N	21/V/81	"	1200	7.7	698	68	3.4	26	2.2	110	4.8	232	3.8	185	5.2	77	1.6	2.9	C3-S1	280
186	N	15/V/81	"	1950	7.25	1268	128	6.4	50	4.2	218	9.5	293	4.8	483	13.6	96	2.0	4.1	C3-S1	530
187	N	20/V/81	"	3900	7.75	2565	120	6.0	110	9.2	632	27.5	317	5.2	1136	32.0	250	5.2	10.0	C4-S3	760
190	P	8/V/81	"	1450	8.0	974	76	3.8	41	3.4	166	7.2	366	6.0	248	7.0	77	1.6	3.8	C3-S1	360
199	N	20/VI/81	"	800	7.45	383	24	1.2	24	2.0	57	2.5	183	3.0	85	2.4	10	0.2	2.0	C3-S1	160
203	N	23/VI/81	"	1150	7.8	845	68	3.4	41	3.4	115	5.0	366	6.0	149	4.2	106	2.2	2.7	C3-S1	340

* P: POZO

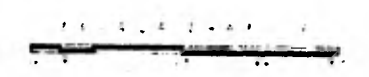
N: NORIA

A: AFLORAMIENTO O MANANTIAL



SIMBOLOGIA

- ARROYO
- TERRENO DE ...
- FERROVIARIO
- ESTRADA
- RAMBLERIA
- PANTANAL
- POZO
- LAJUNA
- BANQUETE
- PANTERA APENSA
- CURVA DE IGUAL CONTENIDO

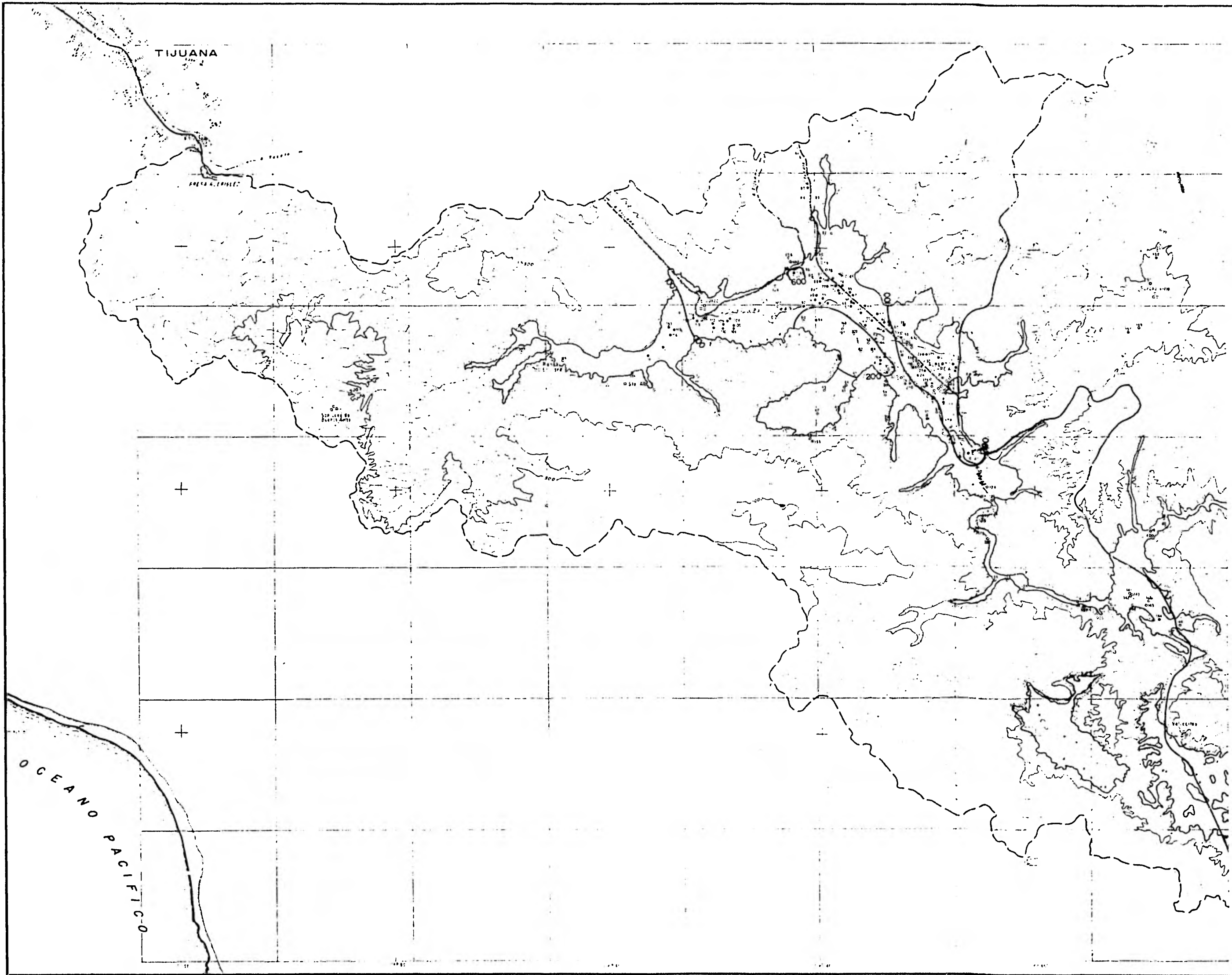


unam enepacatlan
INGENIERIA

CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE SODIO
MAYO 1981

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° VI



SIMBOLOGIA

CARRERA	— — — — —
TERRACERAS	— — — — —
FERROCARRIL	— — — — —
PARQUEAJOS	— — — — —
FRONTERA IMPERMEABLE	— — — — —

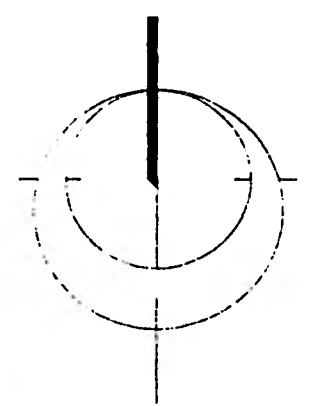
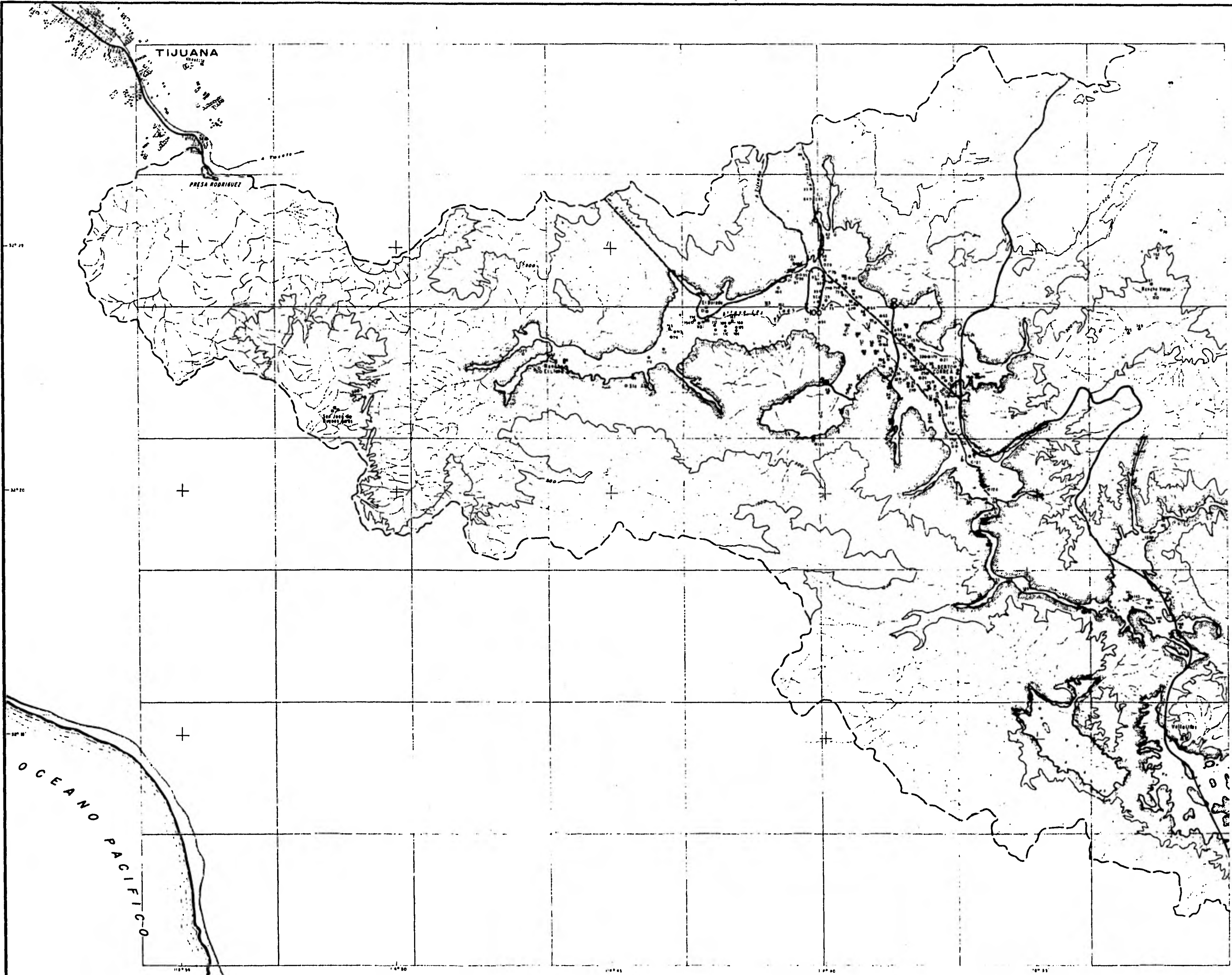
ESTALA GRAFICA
 0 10 20 30 40 50

unam enep-acatlan
 INGENIERIA

ESTADÍSTICA DE CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE CALCIO
 MAYO 1981

TESIS PROFESIONAL
 ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° V.2



S I M B O L O G I A

CARRETERA	-----	-----
FERRACIAS	-----	-----
FERROCARRIL	-----	-----
POBLACION	-----	oo ooo
R I O	-----	-----
A R R O Y O	-----	-----
PANTEARQUE	-----	-----
P O Z O	-----	o
B O R D O	-----	o
MARANTIAL	-----	o
FRONTERA IMPERMEABLE	-----	-----

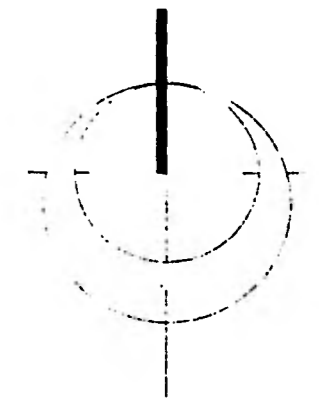
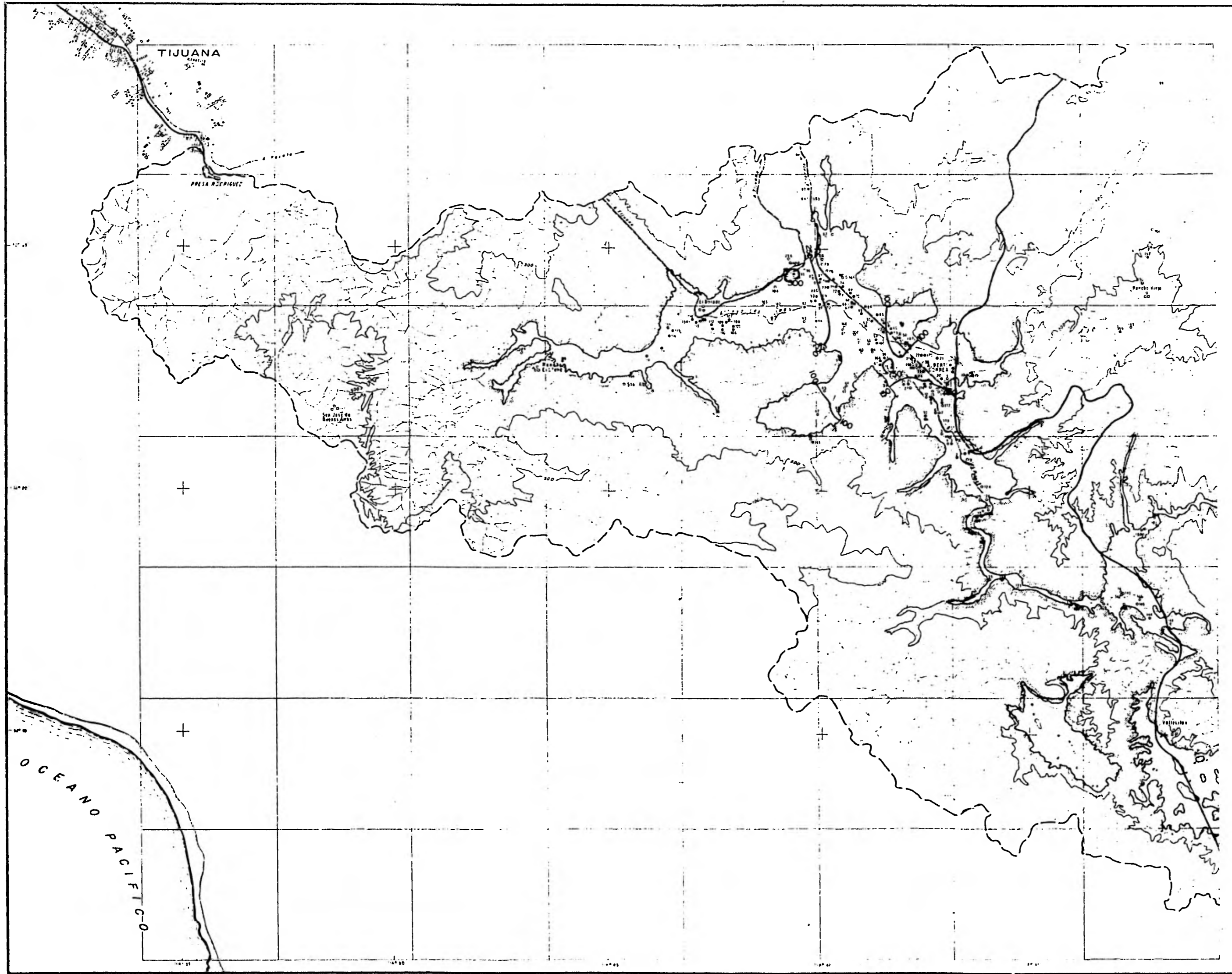


Unam *enep-acatlan*
INGENIERIA

ESTADO DE GUERRERO DEL D.F. DE LOS RIOS DEL SUR
CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE MAGNESIO
MAYO 1981

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° V.3



SIMBOLOGIA

CARRERA	---
TERRACIAS	---
FERROCARRIL	---
ALUACION	ooo
...	---
...	---
...	---
...	---
FRONTERA IMPERMEABLE	---

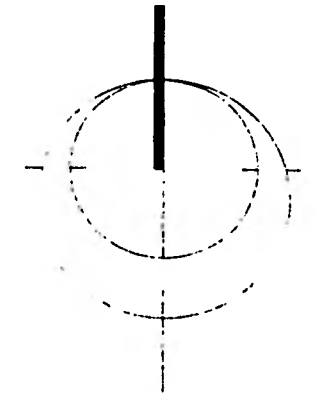
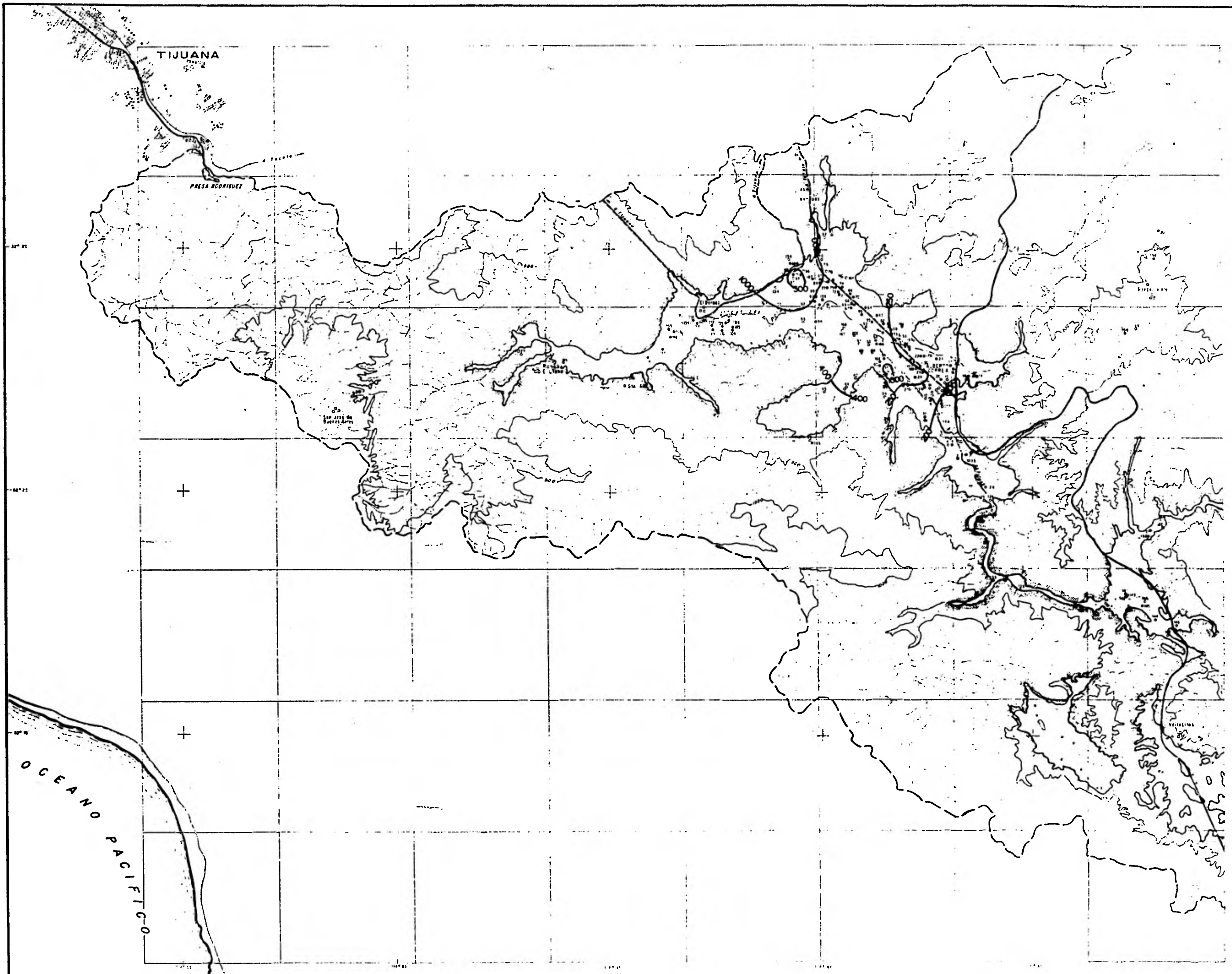


unam enep-acatlan
INGENIERIA

CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE SULFATO
MAYO 1981

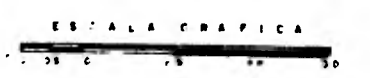
TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° V.4



S I M B O L O G I A

CARRETERA	— — — — —	
TERRENCIAS	— — — — —	
FERROCARRIL	— — — — —	
POBLACION	— — — — —	
R I O	— — — — —	
A B R O Y O	— — — — —	
PARTICULAS	— — — — —	
P O Z O	— — — — —	
H O R T A	— — — — —	
M A R A N T I A L	— — — — —	
FACIENDA IMPERMEABLE	— — — — —	
CURVA DE IGUAL CONTENIDO	— — — — —	

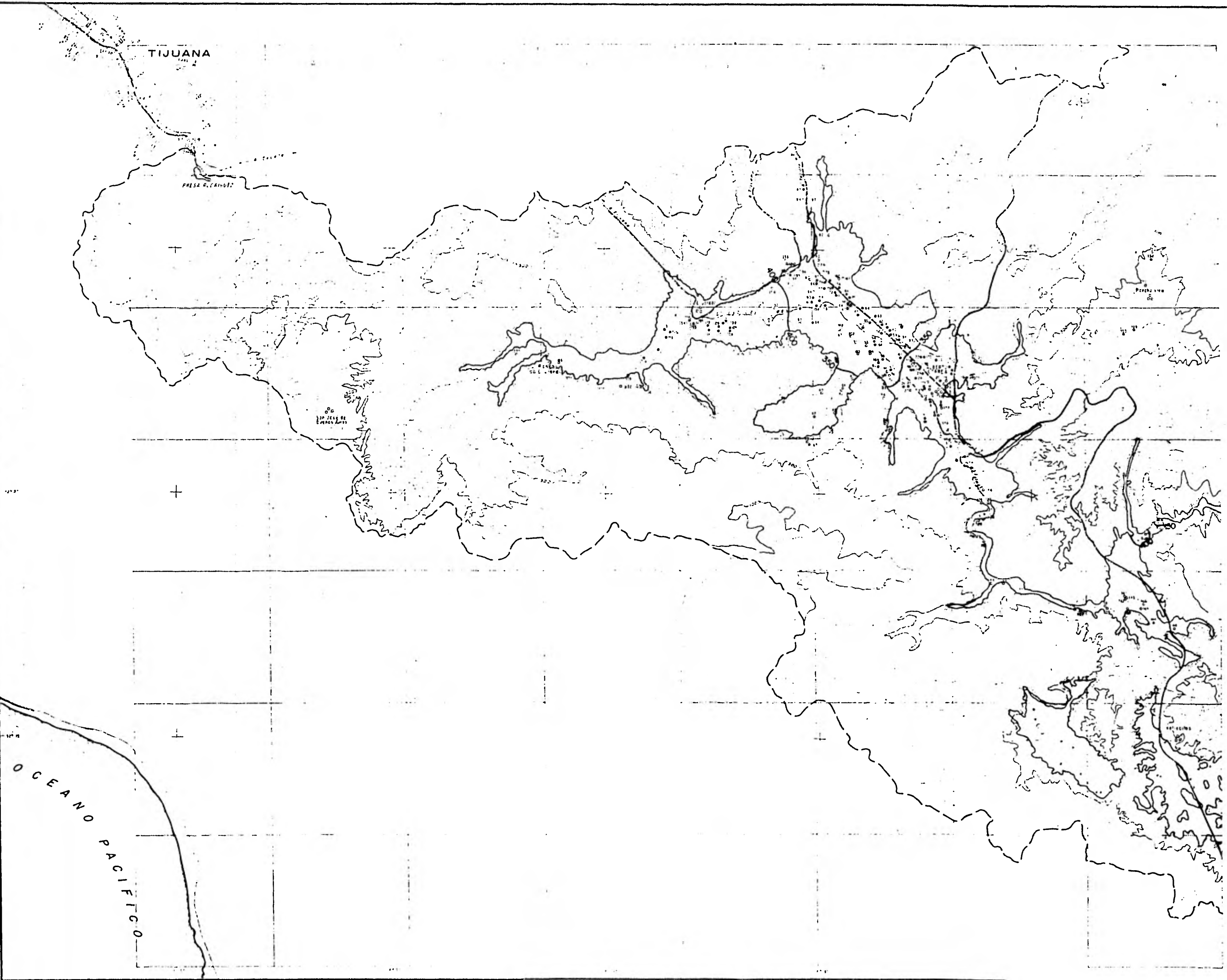


UNAM *enep-acatlan*
INGENIERIA

ESTADO REGISTRADO DEL VALLE DEL CAJON DEL MAZATECO
EN EL REG. DE LOS INGENIEROS
CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE CLORO
MAYO 1981

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° V.B



S I M B O L O G I A

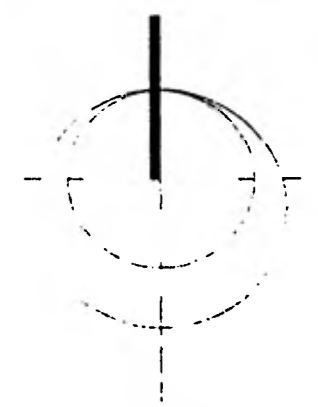
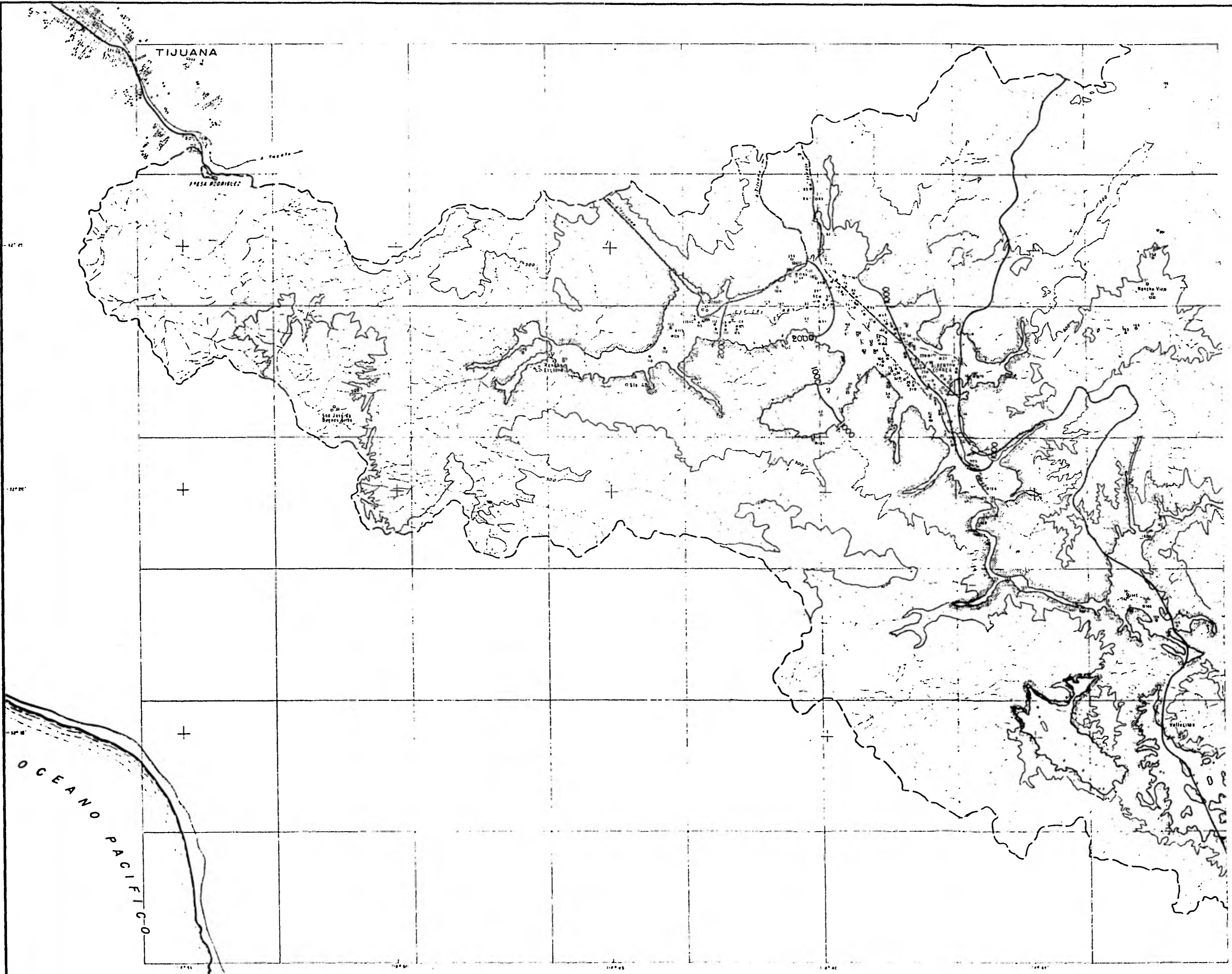
CARRETERA	—+—+—+—+—+—
TERRACERIAS	- - - - -
FERROCARRIL	—+—+—+—+—+—
POBLACION	•••••
R I O	~~~~~
A B R O Y O	~~~~~
PARTEGUAJES	~~~~~
P O C O	•
B O R I A	•
MARANTIAL	•
FRONTERA IMPERMEABLE	~~~~~



unam enepacatlan
INGENIERIA
ESTADO GUERRERERO DEL VALLE DE LOS RIOS
DE LA ZONA DE BAJA CALIFORNIA
CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE BICARBONATO
 MAYO 1981

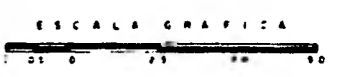
TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° V6



SIMBOLOGIA

CARRERA	---
TERRACERAS	---
FERROVIARIA	---
PALEOCANALES	---
ALBUCA	---
ARROYO	---
PANTANOS	---
POZO	○
BOVEDA	○
MANANTIAL	○
FRONTERA IMPERMEABLE	---



unam *enep-acatlan*
INGENIERIA

ESTADO MEXICANO DEL TALE DE CUERPO DE CALLES
 No. 200 - 201 - 202 - 203 - 204 - 205 - 206 - 207 - 208 - 209 - 210 - 211 - 212 - 213 - 214 - 215 - 216 - 217 - 218 - 219 - 220 - 221 - 222 - 223 - 224 - 225 - 226 - 227 - 228 - 229 - 230 - 231 - 232 - 233 - 234 - 235 - 236 - 237 - 238 - 239 - 240 - 241 - 242 - 243 - 244 - 245 - 246 - 247 - 248 - 249 - 250 - 251 - 252 - 253 - 254 - 255 - 256 - 257 - 258 - 259 - 260 - 261 - 262 - 263 - 264 - 265 - 266 - 267 - 268 - 269 - 270 - 271 - 272 - 273 - 274 - 275 - 276 - 277 - 278 - 279 - 280 - 281 - 282 - 283 - 284 - 285 - 286 - 287 - 288 - 289 - 290 - 291 - 292 - 293 - 294 - 295 - 296 - 297 - 298 - 299 - 300 - 301 - 302 - 303 - 304 - 305 - 306 - 307 - 308 - 309 - 310 - 311 - 312 - 313 - 314 - 315 - 316 - 317 - 318 - 319 - 320 - 321 - 322 - 323 - 324 - 325 - 326 - 327 - 328 - 329 - 330 - 331 - 332 - 333 - 334 - 335 - 336 - 337 - 338 - 339 - 340 - 341 - 342 - 343 - 344 - 345 - 346 - 347 - 348 - 349 - 350 - 351 - 352 - 353 - 354 - 355 - 356 - 357 - 358 - 359 - 360 - 361 - 362 - 363 - 364 - 365 - 366 - 367 - 368 - 369 - 370 - 371 - 372 - 373 - 374 - 375 - 376 - 377 - 378 - 379 - 380 - 381 - 382 - 383 - 384 - 385 - 386 - 387 - 388 - 389 - 390 - 391 - 392 - 393 - 394 - 395 - 396 - 397 - 398 - 399 - 400 - 401 - 402 - 403 - 404 - 405 - 406 - 407 - 408 - 409 - 410 - 411 - 412 - 413 - 414 - 415 - 416 - 417 - 418 - 419 - 420 - 421 - 422 - 423 - 424 - 425 - 426 - 427 - 428 - 429 - 430 - 431 - 432 - 433 - 434 - 435 - 436 - 437 - 438 - 439 - 440 - 441 - 442 - 443 - 444 - 445 - 446 - 447 - 448 - 449 - 450 - 451 - 452 - 453 - 454 - 455 - 456 - 457 - 458 - 459 - 460 - 461 - 462 - 463 - 464 - 465 - 466 - 467 - 468 - 469 - 470 - 471 - 472 - 473 - 474 - 475 - 476 - 477 - 478 - 479 - 480 - 481 - 482 - 483 - 484 - 485 - 486 - 487 - 488 - 489 - 490 - 491 - 492 - 493 - 494 - 495 - 496 - 497 - 498 - 499 - 500 - 501 - 502 - 503 - 504 - 505 - 506 - 507 - 508 - 509 - 510 - 511 - 512 - 513 - 514 - 515 - 516 - 517 - 518 - 519 - 520 - 521 - 522 - 523 - 524 - 525 - 526 - 527 - 528 - 529 - 530 - 531 - 532 - 533 - 534 - 535 - 536 - 537 - 538 - 539 - 540 - 541 - 542 - 543 - 544 - 545 - 546 - 547 - 548 - 549 - 550 - 551 - 552 - 553 - 554 - 555 - 556 - 557 - 558 - 559 - 560 - 561 - 562 - 563 - 564 - 565 - 566 - 567 - 568 - 569 - 570 - 571 - 572 - 573 - 574 - 575 - 576 - 577 - 578 - 579 - 580 - 581 - 582 - 583 - 584 - 585 - 586 - 587 - 588 - 589 - 590 - 591 - 592 - 593 - 594 - 595 - 596 - 597 - 598 - 599 - 600 - 601 - 602 - 603 - 604 - 605 - 606 - 607 - 608 - 609 - 610 - 611 - 612 - 613 - 614 - 615 - 616 - 617 - 618 - 619 - 620 - 621 - 622 - 623 - 624 - 625 - 626 - 627 - 628 - 629 - 630 - 631 - 632 - 633 - 634 - 635 - 636 - 637 - 638 - 639 - 640 - 641 - 642 - 643 - 644 - 645 - 646 - 647 - 648 - 649 - 650 - 651 - 652 - 653 - 654 - 655 - 656 - 657 - 658 - 659 - 660 - 661 - 662 - 663 - 664 - 665 - 666 - 667 - 668 - 669 - 670 - 671 - 672 - 673 - 674 - 675 - 676 - 677 - 678 - 679 - 680 - 681 - 682 - 683 - 684 - 685 - 686 - 687 - 688 - 689 - 690 - 691 - 692 - 693 - 694 - 695 - 696 - 697 - 698 - 699 - 700 - 701 - 702 - 703 - 704 - 705 - 706 - 707 - 708 - 709 - 710 - 711 - 712 - 713 - 714 - 715 - 716 - 717 - 718 - 719 - 720 - 721 - 722 - 723 - 724 - 725 - 726 - 727 - 728 - 729 - 730 - 731 - 732 - 733 - 734 - 735 - 736 - 737 - 738 - 739 - 740 - 741 - 742 - 743 - 744 - 745 - 746 - 747 - 748 - 749 - 750 - 751 - 752 - 753 - 754 - 755 - 756 - 757 - 758 - 759 - 760 - 761 - 762 - 763 - 764 - 765 - 766 - 767 - 768 - 769 - 770 - 771 - 772 - 773 - 774 - 775 - 776 - 777 - 778 - 779 - 780 - 781 - 782 - 783 - 784 - 785 - 786 - 787 - 788 - 789 - 790 - 791 - 792 - 793 - 794 - 795 - 796 - 797 - 798 - 799 - 800 - 801 - 802 - 803 - 804 - 805 - 806 - 807 - 808 - 809 - 810 - 811 - 812 - 813 - 814 - 815 - 816 - 817 - 818 - 819 - 820 - 821 - 822 - 823 - 824 - 825 - 826 - 827 - 828 - 829 - 830 - 831 - 832 - 833 - 834 - 835 - 836 - 837 - 838 - 839 - 840 - 841 - 842 - 843 - 844 - 845 - 846 - 847 - 848 - 849 - 850 - 851 - 852 - 853 - 854 - 855 - 856 - 857 - 858 - 859 - 860 - 861 - 862 - 863 - 864 - 865 - 866 - 867 - 868 - 869 - 870 - 871 - 872 - 873 - 874 - 875 - 876 - 877 - 878 - 879 - 880 - 881 - 882 - 883 - 884 - 885 - 886 - 887 - 888 - 889 - 890 - 891 - 892 - 893 - 894 - 895 - 896 - 897 - 898 - 899 - 900 - 901 - 902 - 903 - 904 - 905 - 906 - 907 - 908 - 909 - 910 - 911 - 912 - 913 - 914 - 915 - 916 - 917 - 918 - 919 - 920 - 921 - 922 - 923 - 924 - 925 - 926 - 927 - 928 - 929 - 930 - 931 - 932 - 933 - 934 - 935 - 936 - 937 - 938 - 939 - 940 - 941 - 942 - 943 - 944 - 945 - 946 - 947 - 948 - 949 - 950 - 951 - 952 - 953 - 954 - 955 - 956 - 957 - 958 - 959 - 960 - 961 - 962 - 963 - 964 - 965 - 966 - 967 - 968 - 969 - 970 - 971 - 972 - 973 - 974 - 975 - 976 - 977 - 978 - 979 - 980 - 981 - 982 - 983 - 984 - 985 - 986 - 987 - 988 - 989 - 990 - 991 - 992 - 993 - 994 - 995 - 996 - 997 - 998 - 999 - 1000

CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE STD.
 MAYO 1981

TESIS PROFESIONAL
 ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° V.7

C A P I T U L O VI

HIDRAULICA DE POZOS.

En este capítulo se describirán las principales características del funcionamiento de las captaciones de agua subterránea - desde el punto de vista hidráulico.

El punto de partida para estudiar el movimiento del agua - subterránea es la Ley de D'arcy, que establece que la velocidad - con la que circula el agua a través de una masa porosa, es directamente proporcional al gradiente hidráulico existente. D'arcy de - mostró que había una cierta proporcionalidad entre el gasto que - circula, la pérdida de carga y la longitud de la distancia que el agua recorre.

Matemáticamente: $v \propto i$

$$v = K_i = K \frac{dh}{L} \text{ ---- (1)}$$

Por continuidad, se sabe que:

$$Q = vA$$

Por tanto:

$$Q = KA \frac{dh}{L} = KA_i \text{ ---- (2)}$$

El coeficiente de proporcionalidad introducido se conoce - como permeabilidad (K) y se define como la facilidad que presenta un material para que circule agua a través de él. Observando la - ecuación (1), la permeabilidad también puede definirse como la ve - locidad con la cual circula el agua a través de un medio poroso - cuando el gradiente hidráulico es unitario.

Transmisibilidad: Es la capacidad de un medio para trans - mitir agua. Es el producto de la permeabilidad por el espesor sa - turado del acuífero. $T = Kb$

RENDIMIENTO ESPECIFICO: De un acuífero es la relación entre la cantidad de agua que puede drenar libremente el material y el volumen total de la formación; es siempre menor que la porosidad, definida ésta como la relación del volumen de vacíos al volumen total de la formación.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO: Se define como el volumen de agua que un acuífero deja o toma del almacenaje por área unitaria de superficie del acuífero por unidad de carga. De otro modo, es el volumen de agua liberado por una columna de acuífero de altura igual al espesor del mismo y de sección unitaria, al disminuir la presión en una unidad.

En acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento coincide con el rendimiento específico y su valor suele oscilar entre 0.01 y 0.4, siendo el intervalo más frecuente de 0.1 a 0.3. En acuíferos confinados y semiconfinados el coeficiente es mucho menor, en general oscila entre 10^{-5} y 10^{-3} .

HIPOTESIS.

La hidráulica de pozos utilizada se base en las siguientes hipótesis:

- a) El acuífero es de extensión infinita.
- b) Es homogéneo e isótropo.
- c) Las superficies equipotenciales son cilindros verticales de sección circular y concéntricos en el pozo. Ello equivale a suponer que el flujo es radial y horizontal.
- d) En todo momento se cumplen las condiciones de validez de la Ley de D'arcy.
- e) El agua liberada del almacenamiento es proporcional a la disminución del nivel piezométrico.

- f) El pozo es totalmente penetrante.
- g) El gasto de bombeo es constante.

Como puede observarse, las hipótesis son bastante restrictivas y difícilmente podrán cumplirse en campo. Sin embargo, se admiten ligeras desviaciones que no invalidan la formulación a la que se llegue.

Si se considera al flujo en los pozos como radial no estacionario, la extracción de agua produce una reducción en el almacenamiento del acuífero que a su vez origina una disminución de la presión. Debido a estas circunstancias, es imposible que se presente el flujo estacionario..

La ecuación diferencial que se aplica en estos casos es la siguiente:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{----- (3)}$$

donde T es el coeficiente de transmisibilidad y t es el tiempo — contado a partir del comienzo del bombeo.

En 1935, C.V. Theis obtuvo la solución para la ecuación (3) estableciendo una analogía entre el flujo de agua subterránea y la conducción calorífica.

La solución obtenida es:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{----- (4)}$$

donde $h_0 - h$ es el abatimiento en un pozo de observación a una distancia r del pozo de bombeo, Q es el caudal, T es la transmisibilidad y u está dada por:

$$u = \frac{r^2 s}{4Tt} \text{ ----- (5)}$$

La integral de la ecuación (4), generalmente llamada $W(u)$ o función de pozo puede evaluarse del desarrollo de la serie:

$$W(u) = - 0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \times 2!} + \frac{u^3}{3 \times 3!} + \text{----- (6)}$$

METODO DE SOLUCION DE JACOB:

Jacob observó que para valores pequeños de r y grandes de t , u es muy pequeño en la ecuación (5), y por lo tanto la serie de términos de la ecuación (6) es despreciable después de los dos primeros términos. Por consecuencia, puede expresarse la ecuación (4) de la siguiente manera:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} - \left(0.5772 - \ln \frac{r^2 s}{4Tt} \right) \text{ ----- (7)}$$

Manejando la ecuación, se llega finalmente a la forma:

$$h_0 - h = \frac{2.300}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 s} \text{ ----- (8)}$$

A partir de aquí, Jacob desarrolló el método gráfico de interpretación que lleva su nombre. De la ecuación (8) se observa que si se grafica en papel semilogarítmico la curva de abatimiento será una línea recta aproximadamente.

El método de Jacob consiste en lo siguiente:

- a) Se construye la gráfica de abatimiento contra el tiempo, siendo este último anotado en la escala logarítmica.

- b) Ajustar los puntos de la gráfica a una línea recta y determinar su pendiente por ciclo. Los puntos correspondientes a los primeros minutos de la prueba generalmente se apartan de la línea ya que corresponden a tiempos cortos ($t < \frac{5r^2s}{T}$) para los cuales no es válido el método de Jacob.
- b) Si se designa la pendiente de la recta como Δs , la transmisibilidad puede obtenerse de la expresión:

$$T = \frac{0.183.Q}{\Delta s} \quad \text{----- (9)}$$

El coeficiente de almacenamiento S puede determinarse siempre y cuando se cuente con un pozo de observación. En este caso, se prolonga la recta de ajuste hasta que intersecte el eje de las abscisas (donde los abatimientos son nulos) y en ese punto se tendrá el valor de t_0 . Conocida la distancia r del pozo de observación al de bombeo, se tendrá que:

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2} \quad \text{----- (10)}$$

METODO DE SOLUCION DE HANTUSH.

Otro método utilizado en la hidráulica de pozos del Valle fue el método de Hantush, ya que es aplicable a los pozos que dan muestras de semiconfinamiento. Se hace necesario mencionar que el método de Jacob, al igual que el método de Theis fue desarrollado a partir de acuíferos confinados.

En los acuíferos confinados, una vez iniciado el bombeo, se producen abatimientos en los niveles de presión, mientras que en los acuíferos libres los abatimientos se producen en el nivel freático. Esta situación provoca que el espesor saturado del acuífero disminuya en el transcurso del tiempo, variando por ello el coeficiente de transmisibilidad T en un mismo punto, ya que $T = Kb$, donde K es el coeficiente de permeabilidad y b es el espesor saturado.

rado del acuífero. Por tanto, al modificarse el parámetro T en los acuíferos libres por la razón anterior, es necesario emplear los métodos mencionados con cautela.

En realidad son comúnmente utilizados sin considerar la naturaleza del acuífero.

El método de Hantush para acuíferos semiconfinados considera que la recarga se establece a partir de otro acuífero situado encima o debajo del semiconfinado (uno u otro pero no simultáneamente). Aunque esta hipótesis no pudo verificarse directamente en campo, las gráficas obtenidas a partir de pruebas de bombeo en algunos pozos dieron muestras de semiconfinamiento, por lo que se procedió a interpretarlas mediante este método.

La ecuación fundamental de este procedimiento es conocida como fórmula de De Glee (1930) o de Jacob-Hantush:

$$s = \frac{Q}{2 \pi T} K_0 \left(r/B \right) \text{ ----- (11)}$$

La función $K_0 (r/B)$ está tabulada. Para aplicar el método:

- a) Graficar abatimiento contra tiempo en papel semilogarítmico.
- b) Obtener la pendiente en la parte recta de la gráfica.
- c) Determinar el abatimiento total en la prueba de bombeo.

$$d) \text{ Obtener: } e^{r/B} K_0 \left(r/B \right) = \frac{2.3 S_i}{\Delta S_i}$$

donde S_i es el abatimiento medio = abatimiento total \div 2.

Δs_i es la pendiente/ciclo obtenida en b).

- e) Entrar con el valor anterior a tablas, a la columna correspondiente a: $e^x K_0(x)$ y obtener los valores de $K_0(x)$ y de x

donde $X = r/B$.

- f) La transmisibilidad se calcula de la ecuación (11) como:

$$T = \frac{0.159Q}{S_m} K_0(r/B)$$

donde Q es el caudal en m^3/seg .

S_m es el abatimiento total registrado

$K_0(r/B)$ es el valor obtenido de tablas.

C A P I T U L O V I I

BALANCE GEOHIDROLOGICO

Para obtener la ecuación de balance geohidrológico correspondiente a un período dado, es necesario procesar toda la información procedente del campo.

CENSO DE OBRAS DE EXPLOTACION.

Se realizó un censo de obras de explotación en los meses de mayo y junio de 1981; siendo 203 el número total de obras existentes en el valle, de las cuales pudieron censarse 167 obras, ya que 36 fueron totalmente destruidas por las avenidas presentadas en 1978 - 79. (Obras 124 a 150).

De esas 167 obras, 93 son pozos, 74 son norias y 1 es manantial. En cuanto a su funcionamiento, se encontró que únicamente 64 obras de las 203 totales estaban activas y el resto - (139) estaban inactivas. En porcentaje, se tiene que el 31.5% del total son activas y el 68.5% inactivas; lo anterior nos denota un gran índice de obras inactivas que se traduce en una lógica disminución del volumen extraído del almacenamiento del acuífero con respecto a 1974, cuando había 97 obras activas y 87 inactivas.

De las obras activas, 30 son pozos y 34 son norias. De estas obras, se obtuvo la siguiente información:

- 42 Son de riego y otros usos, o sea, el 65.6%
- 26 Son exclusivamente de riego, o sea, el 40.6%
- 25 Son de uso doméstico y otros usos, o sea el 39%

- 11 Son de uso exclusivamente doméstico, o sea, el 17%
- 11 Son de abrevadero y otros usos, o sea, el 17%
- 4 Tienen los tres usos (abrevadero, doméstico y riego) o sea, el 6%.

(Ver localización de obras en el plano VII.1)

Para la localización de las obras se utilizaron fotografías aéreas de la D.E.T.E.N.A.L. escala 1:50 000, vaciándose - posteriormente a planos de restitución topográfica de la misma dependencia, a partir de los cuales se elaboró el plano base - del presente estudio.

NIVELACION DE BROCALES: Una vez obtenido el censo de obras de explotación, se seleccionaron 50 brocales de pozos para ser nivelados; la selección, basada en la localización e importancia piezométrica de los mismos, tuvo como finalidad obtener la mejor distribución posible tanto de la topografía del área de estudio como de los niveles estáticos del acuífero.

LECTURA DE NIVELES ESTATICOS: Se contó con la información piezométrica de las siguientes fechas: abril 1974, pl. VII.2, - mayo 1977, pl.VII.3, mayo 1979, pl.VII.4, agosto 1980, pl.VII.5 y mayo-junio 1981, pl.VII.6. Se decidió dividir tal información en los siguientes períodos, con objeto de obtener la evolución del nivel estático: abril 1974 - mayo 1977, pl.VII.7; mayo 1977 - mayo 1979, pl.VII.8 y mayo 1979 - mayo - junio 1981, pl.VII.9. Adicionalmente se realizó el plano con evoluciones de agosto - 1980 - junio de 1981, VII.10.

PRUEBAS DE BOMBEO. Fueron realizadas en las siguientes - obras: 10, 26, 118, 123 y 173. Además, se emplearon los resultados obtenidos en 1974 en las obras: 1, 9, 10, 22, 31 y 170; - lo anterior, con el objeto de disponer de una mayor información y asumiendo que los coeficientes obtenidos permanecen constantes en el transcurso del tiempo. La interpretación de las pruebas puede observarse en las gráficas VII.1 a VII.10.

ANALISIS DE INFORMACION.

El análisis de la información comprendió la elaboración de planos configurando las elevaciones de los niveles estáticos para las fechas anteriormente mencionadas.

La configuración de la elevación del nivel estático para abril de 1974, muestra que la parte más elevada se localiza en la entrada al Valle propiamente dicha, al terminar el cañón de Cancio, con una elevación de 320 msnm y va disminuyendo gradualmente conforme se avanza en el Valle, hasta llegar a 220 msnm en las cercanías del Rancho Santa Alicia.

De esta configuración, así como de las posteriores, puede observarse claramente que el flujo de agua subterránea es de Sureste a Noroeste, recibiendo el acuífero una aportación más casi en el Centro del Valle. Este flujo muestra una dirección Sureste - Noroeste, en sus inicios, pero posteriormente se une con el flujo anteriormente mencionado, corrigiendo su dirección.

La configuración de niveles estáticos para mayo de 1977 — muestra una disminución en la elevación de los mismos, respecto a 1974 principalmente cerca de la salida del Valle, llegando a ser de aproximadamente 5 metros en esa zona.

Para mayo de 1979, los niveles estáticos muestran una recuperación apreciable, sobre todo en lo concerniente a los extremos este y sur del Valle. La recuperación extraordinaria en este período se debe al régimen extraordinario de lluvias que se presentó en el lapso 1978 - 79.

Para agosto de 1980 el nivel estático muestra un ligero abatimiento en general y se observa en consecuencia que la tendencia a la recuperación tan acentuada ha disminuido.

Para junio de 1981 se observa una recuperación a la salida del Valle, aproximadamente de unos 5 metros. En el resto de la zona, el nivel permanece aproximadamente igual.

En la configuración de evoluciones del nivel estático puede verse que la zona que mayor abatimiento registra en el período abril de 1974 - mayo 1977, es la que se encuentra al este de Alberto Correa, con cuatro metros aproximadamente. El abatimiento medio en el Valle para este período es de 0.60 m.

Para el período de mayo 1977 a mayo de 1979, se observan recuperaciones extraordinarias, del orden de los 15 m. Al este de Alberto Correa, la recuperación promedio fue de 4.80 m.

Para 1979 - 1981, la recuperación continúa pero es tan sólo de 0.24 m.

En las tablas VII.1 a VII.4 se registran los valores correspondientes a la cota de los brocales sobre el nivel del mar, las profundidades y las elevaciones de los niveles estáticos y las evoluciones presentadas en el Valle de las Palmas para los períodos anteriormente mencionados.

EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA.

Para determinar la recarga de una cuenca subterránea, es necesario realizar balances globales que incluyan procesos superficiales como la lluvia y la evapotranspiración para determinar la infiltración.

La información relativa a la evapotranspiración es nula, ya que su obtención implica un estudio a conciencia de los usos consuntivos de los cultivos en la zona y desafortunadamente no se contó con los datos necesarios para hacerlo.

Prescindiendo de ella, la ecuación de balance resulta ser:

$$E_h + R_v - S_h - B = \pm \Delta VS \quad (1)$$

donde:

- E_h = Entradas horizontales
 R_v = Recarga vertical
 S_h = Salidas horizontales
 B = Bombeo
 ΔV_s = Cambio en el almacenamiento del acuífero, donde
 S = Coeficiente de almacenamiento
 ΔV = Volumen de acuífero involucrado

La ecuación anterior, basada en la Ley de la conservación de la materia y la energía, indica que las entradas al acuífero menos las salidas de él son iguales a un cambio en el volumen por el coeficiente de almacenamiento correspondiente.

El área de balance en el Valle es de 50 Km² aproximadamente para los tres períodos comprendidos.

Para determinar las entradas y salidas horizontales, se localizan las zonas correspondientes en el Valle y se trazan los canales de flujo. En este caso, se contó, para todos los períodos comprendidos, con dos canales de entradas y uno de salidas.

La determinación de tales canales se hace por simple inspección de la elevación del nivel estático, de manera que resulte evidente cuál es la zona de entradas y cuál es la de salidas.

Los canales se forman por una parte con las curvas de igual nivel estático y por otra, por las líneas de corriente. El flujo subterráneo que pasa entre dos líneas de corriente está dado por:

$$Q = B I T \quad (2)$$

donde:

Q = Gasto en $m^3/\text{seg.}$

B = Separación entre las líneas de corriente, en m.

i = Gradiente hidráulico en el canal considerado.

T = Transmisibilidad en $m^2/\text{seg.}$

Aplicando esta ecuación a lo largo de la frontera de la zona sobre lo que se hace el balance, es posible obtener los flujos subterráneos de entrada y salida de dicha zona para el tiempo correspondiente a la configuración piezométrica empleada. Como lo que se requiere es trabajar con los volúmenes durante cada lapso considerado, entonces se hace la misma determinación para la configuración al final del período y se multiplica el promedio de los dos flujos por el intervalo de tiempo considerado.

Las transmisibilidades se obtienen de las pruebas de bombeo, como ya se ha expuesto. Los valores obtenidos se vacían en un plano y se procede a realizar la configuración de isotransmisibilidades pl. VII.11. En base a ésta, se determinan los valores con los cuales se va a trabajar con la fórmula (2), dependiendo de la ubicación de los canales de entrada y salida.

Los datos del bombeo (B) se conocen también mediante el censo de las obras de explotación; y a partir de los planos de evoluciones para cada uno de los períodos considerados es posible determinar los cambios de almacenamiento ocurridos (ΔVS).

Con la información anterior y considerando la ecuación de balance geohidrológico, se observa que se tienen dos incógnitas para cada período considerado, que son: La Recarga vertical (R_v) y el coeficiente de almacenamiento (S).

En principio, este último dato se debe determinar a partir de la hidráulica de pozos aplicada a las pruebas de bombeo, pero con el auxilio de uno o más pozos de observación, con los cuales no se contó. Sin embargo, con anterioridad fue realizado un estudio en el Valle que permitió definir ciertas características físicas del acuífero. De ahí se obtuvo que el valor del coeficiente de almacenamiento es de 0.08, y por permanecer constante en el tiempo se utilizó también en el presente análisis.

De este modo, quedaba únicamente por determinar la recarga vertical, ya que los otros datos requeridos en la ecuación (1) se conocían.

Los resultados obtenidos para cada período pueden observarse en la tabla siguiente, donde las cantidades anotadas son millones de m^3 .

VARIABLE	1974 - 77	1977 - 79	1979 - 81
B	24.68	16.0	8.85
S_h	3.89	2.27	1.28
E_h	12.16	8.67	9.32
$\pm \Delta V$	-30.27	+236.16	+11.71
$\pm \Delta VS$	- 2.42	+ 18.89	+ 0.09368
$R_v =$	14.0	28.49	1.75
Ecuación R_v	16.41 - 30.27S	9.6 + 236.16S	0.81 + 11.71S

De la tabla anterior se obtiene la siguiente interpretación de los valores en ella incluidos.

El bombeo se reduce considerablemente en el último período a consecuencia de la destrucción y/o azolve de un gran número de obras. En los dos períodos restantes (1974 - 77 y 1977 - 79) el bombeo registra aproximadamente el mismo valor.

Las salidas y las entradas horizontales se conservan aproximadamente de la misma magnitud en los 3 períodos considerados, calculando de forma anual los valores que aparecen en la tabla.

Con las recargas verticales sucede un fenómeno interesante. En el primer período (1974 - 77), se tiene un valor de $14 \times 10^6 \text{ m}^3$. En el segundo, 28.49×10^6 ; en el tercero se tiene un valor insignificante, de 1.75×10^6 , que contrasta ampliamente con los valores anteriores.

La justificación de esta disparidad en los valores obtenidos de la recarga vertical radica en el hecho de que en 1974, según datos reportados, el espesor saturado del acuífero era de 34 m; en 1977 se encontró un abatimiento de 0.60 m. con respecto al valor anterior; para 1979 el acuífero presenta una recuperación extraordinaria promedio de 4.80 m. y finalmente en 1981 hay otra recuperación de menor importancia que la anterior, de 0.24 m. Tomando como hipótesis que la capacidad máxima de almacenamiento del acuífero resulta de considerar 42 m. de espesor máximo de saturación, 50 km². de área y $S = 0.08$, siendo de $168 \times 10^6 \text{ m}^3$ y que la profundidad promedio del nivel estático para 1981 es de 3.5 m, la figura explica el por qué en el último período la recarga vertical fue tan insignificante. Lo que sucedió fue que el acuífero, aún y cuando teóricamente tenía mayor capacidad de almacenamiento, al reducirse de manera considerable el bombeo, realmente no fue capaz de admitir una recarga vertical mayor ya que la diferencia entre el volumen almacenado para 1981 ($154 \times 10^6 \text{ m}^3$) y la máxima capacidad admitida como hipótesis -

corresponde aproximadamente a los 3.5 m de espesor ocupados - por gravas y boleos, incapaces de retener agua, medidos desde el nivel de terreno natural hasta el nivel estático promedio para la misma fecha.

Cabe hacer la aclaración de que se considerarán los 2 últimos períodos únicamente, ya que en ellos la recarga vertical es significativa, traduciéndose esto en la recuperación media del nivel estático. Si los resultados que se obtienen, considerando a la recarga vertical como la principal causante de la recuperación del nivel estático para 1977 - 79 y para 1979 - 81, son similares a los obtenidos por medio de las ecuaciones, entonces la hipótesis anteriormente expuesta será verdadera.

Cuantitativamente se tiene lo siguiente:

PERIODO	RECUPERACION (M)	ESP. SATURADO (M)	VOLUMEN ALMACENADO	R_{V_1}	R_{V_2}
1977 - 79	4.80	38.20	152.8	28.49	19.2
1979 - 81	0.24	38.5	154.0	1.75	1.2

Los volúmenes almacenados y las R_{V_1} y R_{V_2} están en millones de m^3 .

En 1974 - 77 se produjo un abatimiento medio de 0.60 m, - con lo que el espesor saturado se redujo a 33.40 m.

La R_{V_1} es la obtenida por medio de las ecuaciones de balance utilizadas para cada período.

La R_{V_2} es la recarga vertical obtenida multiplicando la recuperación en cada período por $A = 50 \text{ km}^2$ y por $S = 0.08$

Como puede observarse, existe una diferencia entre las 2 recargas encontradas para 1977 - 79. Sin embargo, errores en las mediciones de campo o en los datos de bombeo reportados por los usuarios pueden justificar esta discrepancia. Por otra parte, para el período de 1979 - 81 los resultados encontrados — para las 2 recargas son del mismo orden.

Con lo anterior se demuestra que la capacidad máxima de almacenamiento del acuífero sí es teóricamente de $168 \times 10^6 \text{ m}^3$ y que la disminución en la recarga vertical en el período 1979 - 81 se debe a que el acuífero no tiene mayor capacidad de seguir acumulando agua más que de manera insignificante, ya que aproximadamente los 3.5 m de profundidad al nivel estático están compuestos por gravas y boleos, incapaces de retener el agua, por lo que ésta escurre por ellos sin ser almacenada.

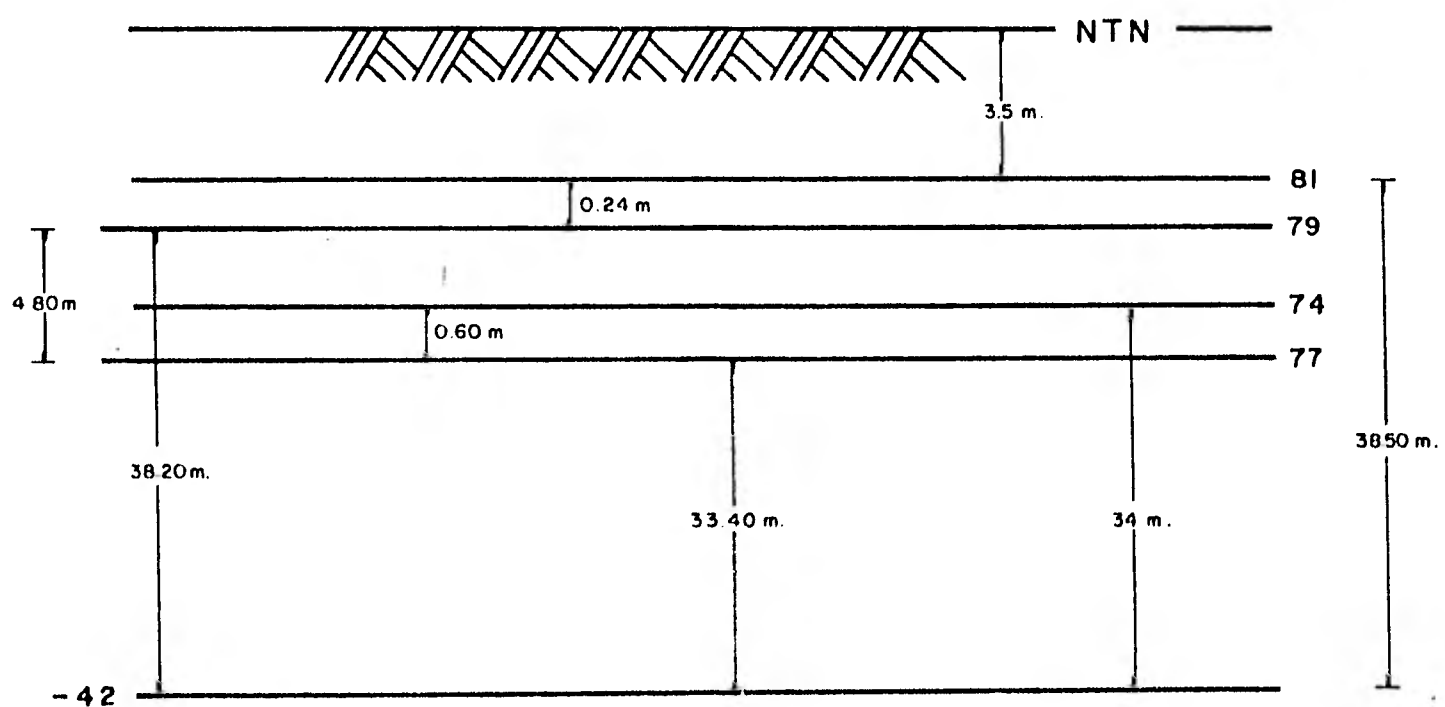


FIGURA EXPLICATIVA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES ESTATICOS EN LOS PERIODOS 1974 - 77 , 1977 - 79 , y 1979 - 81

OBRA Nº	COTA BROCAL m. s. n. m	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	PROFUNDIDAD	EVOLUCION	
		ELEVACION ABR - 1974	ABR - 1974 MAY - 1977	ELEVACION MAY - 1977	MAY - 1977 MAY - 1979	ELEVACION MAY - 1979	MAY - 1979 AGO - 1980	AGO - 1980 AGO - 1980	AGO - 1980 JUN - 1981	JUN - 1981 JUN - 1981	JUN - 1981 MAY - 1979 JUN - 1981	
1											0.98	
2	322.023		6.12					0.99				
3											1.49	
6 B1a											1.78	
7											0.46	
8	274.542		10.93 263.612		11.93 262.612							
9											0.90	
9 B1a											3.63	
15	273.522		10.58 262.942	-1.71	12.29 261.232	9.16	3.13 270.392				2.52 271.002	0.61
16									3.0	-0.43	3.53	
17	275.585		19.26 256.325				4.60 270.985	0.41	4.19 271.395			
19	275.744		13.24 262.504	-4.12	17.36 258.384	16.31	1.05 274.694	-0.32	1.37 274.374	0.10	1.27 274.474	-0.22
20									1.92		2.00	
21									2.23	-0.07	2.30	
22	269.470		12.98 256.490				3.26 266.21				3.02 266.45	0.24
24											1.62	
25											2.36	
28											9.47	
29									1.80	0.10	1.70	
30									1.76	-0.05	1.81	
32											2.93	
33											4.88	
34	277.032		16.05 260.982	0.36	15.69 261.342							
35											2.70	
36	264.523		7.98 256.543				2.66 261.863				1.63 262.893	1.03
38									1.52		0.95	
39	262.050		8.12 253.93				260.53				1.72	
40											2.52	
41											2.52	
42	278.503		4.04 274.463	-0.89	4.93 273.573	1.51	3.42 275.083				3.88 274.462	-0.46
43	286.633		2.97 283.663	-2.80	5.77 280.863	3.88	1.80 284.743				4.62 282.013	-2.72
44											2.68	
45	297.067		3.00 294.567	0.04	2.96 294.607							
46											13.53	
47	317.541		6.80 310.741				4.47 313.071				4.92 312.621	-0.45
48	312.470		13.18 299.29	-0.62	13.80 293.67	2.06	11.74 300.73				11.70 300.77	0.04
49											2.97	
50	275.671		24.47 251.201	0.05	24.42 251.251	3.37	21.05 254.621				21.22 254.451	-0.17
51											5.60	

PROFUNDIDAD EN METROS ELEVACION EN M.S.N.M. EVOLUCION EN METROS * NIVEL DINAMICO

OBRA No.	COTA BROCAL m.s. n.m.	PROFUNDIDAD ELEVACION	EVOLUCION	PROFUNDIDAD ELEVACION	EVOLUCION	PROFUNDIDAD ELEVACION	EVOLUCION	PROFUNDIDAD ELEVACION	EVOLUCION	PROFUNDIDAD ELEVACION	EVOLUCION	
		ABR-1974	ABR-1974 MAY-1977	MAY-1977	MAY-1977 MAY-1979	MAY-1979	MAY-1979 AGO-1980	AGO-1980	AGO-1980 JUN-1981	JUN-1981	JUN-1981	MAY-1979 JUN-1981
52											1.51	
53	259.753	9.62 250.133	-0.23	9.85 249.903	9.20	0.65 259.103					0.71 259.043	-0.06
55											1.15	
56											2.70	
57	264.160	15.53* 248.63				2.86 261.300	-0.41	3.27 260.89	-0.38		3.65 260.51	-0.79
58											3.25	
61											2.03	
62	262.800	10.64 252.16				1.70 261.100					1.65 261.15	0.05
63											1.33	
64											1.63	
65	257.535	10.61 246.925	-0.69	11.30 246.235	9.79	1.51 256.025					0.96 256.575	0.55
66											1.66	
67											1.32	
70	256.030	10.30 245.73	-0.75	11.05 244.98	9.61	1.44 254.59						
77											4.18	
79											4.20	
80	258.510	6.41 252.10	0.16	6.25 252.26				3.91 254.600	-0.05		3.96 254.550	
81								10.41	1.91		8.50	
82	269.120	13.27 255.85						6.28 262.84				
84	359.362	5.91 353.452	-1.21	7.12 352.242	4.30	2.82 356.542					1.56 357.802	1.26
85	311.423	5.64 305.783	-1.16	6.80 304.623	2.85	3.95 307.473	2.19	1.76 309.663	0.50		1.26 310.163	2.69
86	388.843			13.69 375.153							1.17 387.673	
88	254.285	11.23 243.055	-0.57	11.80 242.485				3.38 250.905	-0.16		3.54 250.745	
90								1.63	0.12		1.51	
91	251.585	8.89 242.695									1.42 250.165	
93											3.30	
94											1.83	
95											2.17	
97								1.40	0.03		1.37	
98	247.772	6.66 241.112				2.14 245.632					2.00 245.772	0.14
99								3.10	1.18		1.92	
100											4.25	
101											1.14	
104	241.742	3.00 238.742				0.24 241.502	-1.28	1.52 240.222	0.56		0.96 240.782	-0.72
105											2.33	
106	237.818	9.42 228.398									2.83 234.988	
107	236.120	9.63 226.49									1.88 234.24	
108											2.30	
110	236.595	19.23* 217.365									2.54 234.055	

PROFUNDIDAD EN METROS

ELEVACION EN M.S.N.M.

EVOLUCION EN METROS

* NIVEL DINAMICO

OBRA No.	COTA BROCAL ms. sn.	PROFUNDIDAD ELEVACION		EVOLUCION		PROFUNDIDAD ELEVACION		EVOLUCION		PROFUNDIDAD ELEVACION		EVOLUCION	
		ABRIL-1974	ABR.-1974 MAY-1977	MAYO-1977	MAY-1977 MAY-1979	MAYO-1979	MAY-1979 AGO-1980	AGO.-1980	AGO-1980 JUN-1981	JUNIO-1981	MAY-1979 JUN-1981		
111	235.980	17.55 218.480									2.84 233.14		
112											1.47		
115	229.490	3.54 225.95					1.19 228.3						
116											3.65		
118	229.234	5.63 223.604					2.69 226.544				2.50 226.734	0.19	
119	228.945	5.73 223.215									2.85 226.095		
122											0.40		
123	323.644	6.28 317.364	1.42	7.70 315.944									
124	331.374	10.47 320.904	2.46	8.01 323.364									
126	333.707	5.75 327.957	0.27	5.48 328.227									
127	334.050	4.40 329.65	2.80	7.20 326.85									
131	343.725	3.13 340.595	2.47	5.60 338.125									
132	347.053	3.06 346.993	2.36	5.42 344.633									
133	356.353	3.97 352.383	1.55	5.52 350.833									
134	359.853	1.85 358.003	1.70	3.55 356.303									
135	363.815	2.55 361.265	2.45	5.00 358.815									
138	340.278	2.43 337.848	1.02	3.45 336.828									
140	345.913			8.30									
141	344.943	7.77 337.173		7.0 337.943									
145	349.142	10.12 339.022	1.98	12.10 337.042									
148	353.240	13.96 339.28					1.71 351.53						
151											2.29		
156											3.60		
157											1.34		
158											0.65		
159											1.83		
163											1.92		
164											1.29		
165											0.35		
166											1.93		
167											3.70		
168											1.96		
169								1.81	0.11		1.70		
170								3.82	0.91		2.91		
173											1.53		
174											0.50		
175											1.28		
178											2.47		
181											3.35		

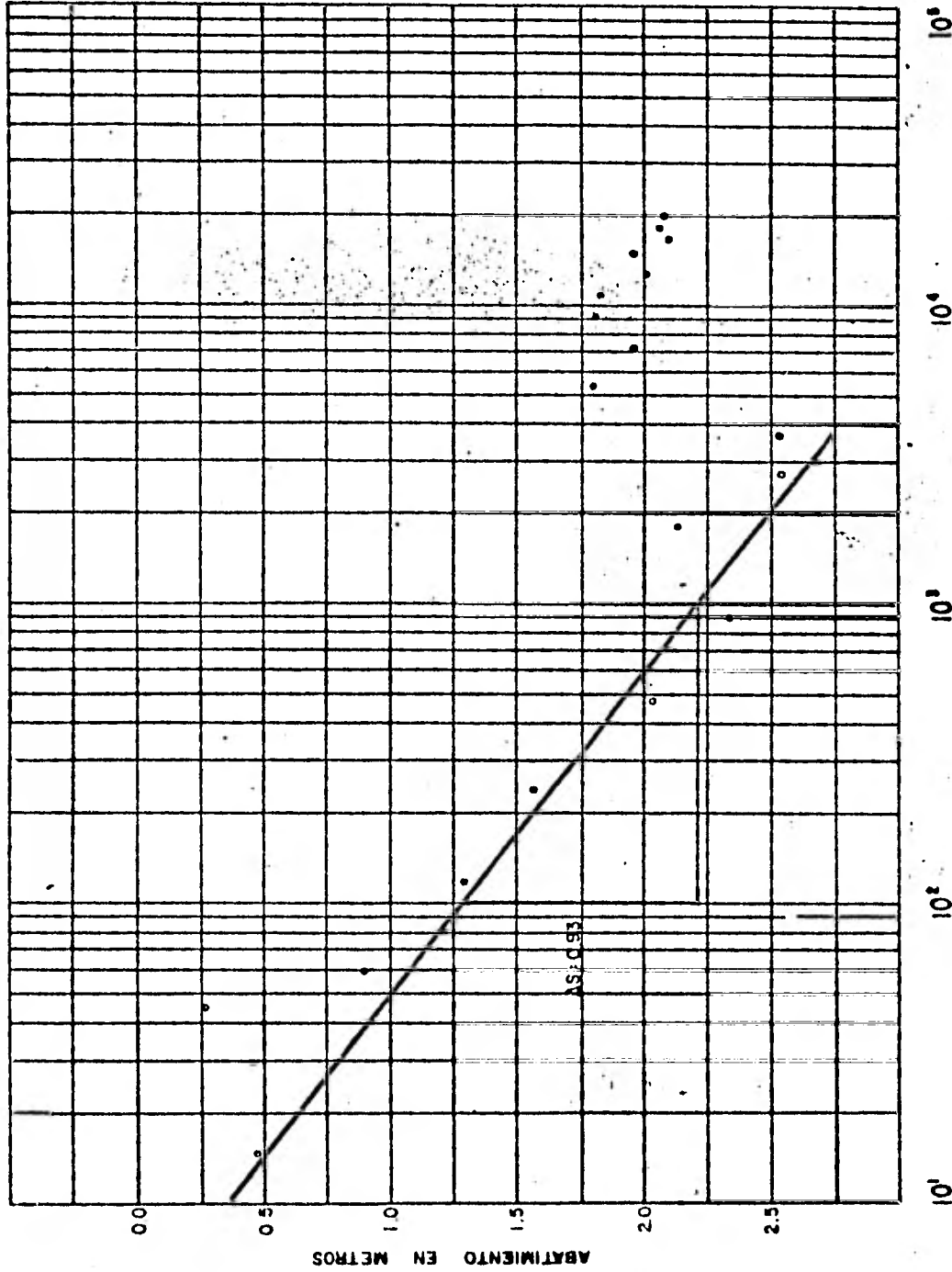
PROFUNDIDAD EN METROS ELEVACION EN M.S.N.M EVOLUCION EN METROS * NIVEL DINAMICO

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 10 Fecha 11 Junio 1981 Meda
 Lugar Cas Palmas, B.C. Duración 5:30 m.
 Caudal 90 l.p.s. Descarga N.E. 1.52 m.
 Profundidad m. Caudal específico lps/m

HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	POZO AL NUMERO EN MTS.
10:00	0	1.52
	15	1.94
	30	1.12
	45	1.27
	60	2.40
	120	2.81
	240	3.09
	480	3.60
	900	3.85
	1800	3.70
	2700	4.06
11:00	3600	4.05
	5400	3.32
12:00	7200	3.44
	9000	3.33
13:00	10800	3.35
	12600	3.52
14:00	14400	3.43
	16200	3.62
15:00	18000	3.59
15:30	19800	3.61

OBSERVACIONES ABATIMIENTO



$$T = \frac{0.1830}{2.8}$$

$$T = \frac{0.1831 \cdot 9.0 \cdot 10^5}{0.95}$$

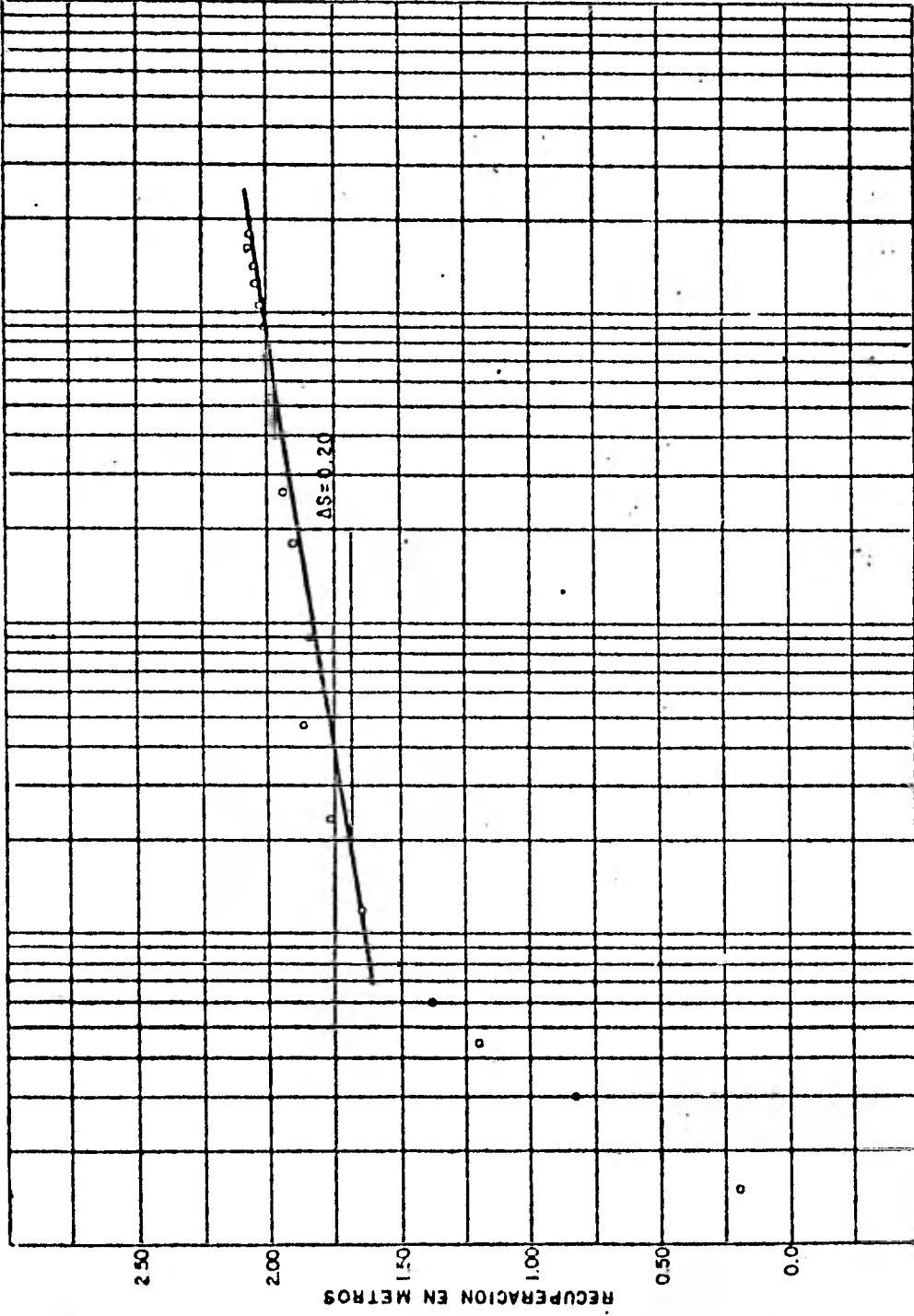
$$T = 1.77 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 10 Fecha 11 Junio 1981 Molig
 Lugar Las Palmas, R.C. Duración 5.00 hrs.
 Caudal 2.0 lps. β Decayero N.E. 1.32 m.
 Profundidad m. Caudal específico lps/m.

HORA	TIEMPO ACTUALIZADO EN SEG.	PROG. AL NIVEL EN MTL
15:30	0	3.61
	15	3.41
	30	2.77
	45	2.40
	60	2.21
	120	1.95
	240	1.83
	480	1.73
	900	1.75
	1800	1.70
	2700	1.66
16:30	3600	1.64
	5400	1.62
17:30	7200	1.60
	9000	1.58
18:30	10800	1.57
	12600	1.56
19:30	14400	1.56
	16200	1.55
20:30	18000	1.55

OBSERVACIONES RECUPERACION



$$T = \frac{0.1830}{\Delta S}$$

$$T = \frac{0.1831 \cdot 9.0 \cdot 10^3}{0.20}$$

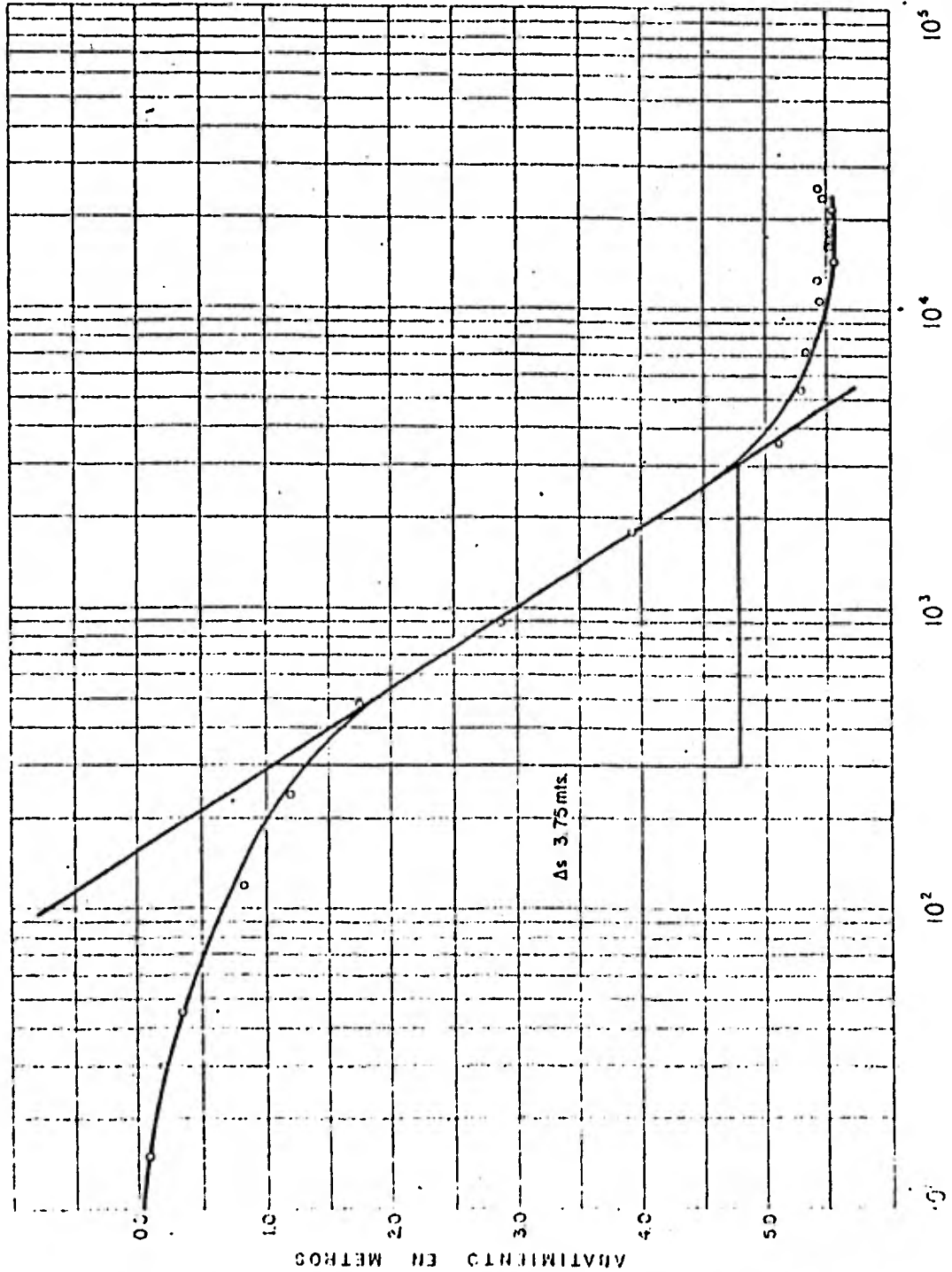
$$T = 8.235 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{seg}$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 26 Fecha 9-OCT-1951
 Lugar LAS PALMAS, B.C. Cuenca 100 m
 Caudal 8.5 l/s. Carga 1.1 N.E. 3.30 m
 Profundidad 25.0 m. Caudal específico 1.1322 lps/m

HORA	TIEMPO desde el inicio de la prueba en segundos	ABAJE del nivel de agua en metros	CAUDAL en lps
8:00	0	3.40	
	15	3.49	0.09
	30	3.60	0.20
	45	3.74	0.34
	60	3.91	0.51
	120	4.23	0.83
	240	4.60	1.20
	480	5.16	1.76
	900	6.28	2.88
	1800	7.35	3.95
	2700	7.97	4.57
9:00	3600	8.53	5.13
	5400	8.71	5.31
10:00	7200	8.77	5.37
	9000	8.90	5.50
11:00	10800	8.88	5.48
	12600	8.85	5.45
12:00	14400	8.84	5.54
	16200	8.94	5.54
13:00	18000	8.94	5.54
	19800	8.94	5.54
14:00	21600	8.95	5.55
	23400	8.90	5.50
15:00	25200	8.86	5.46

OBSERVACIONES



$$T = \frac{0.159 Q}{S_m} - K_0(r/B)$$

$$T = \frac{0.159 \times 8.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{seg}}{5.46 \text{ m}} = 1.1322$$

$$e^{r/B} K_0(r/B) = \frac{2.3 S_1}{\Delta s_1} = 1.6744$$

$$K_0(r/B) = 1.1322$$

$$r/B = 0.392$$

$$S_m = 5.46 \text{ m.}$$

$$S_1 = 2.73 \text{ m.}$$

$$\Delta s_1 = 3.75 \text{ m/ciclo}$$

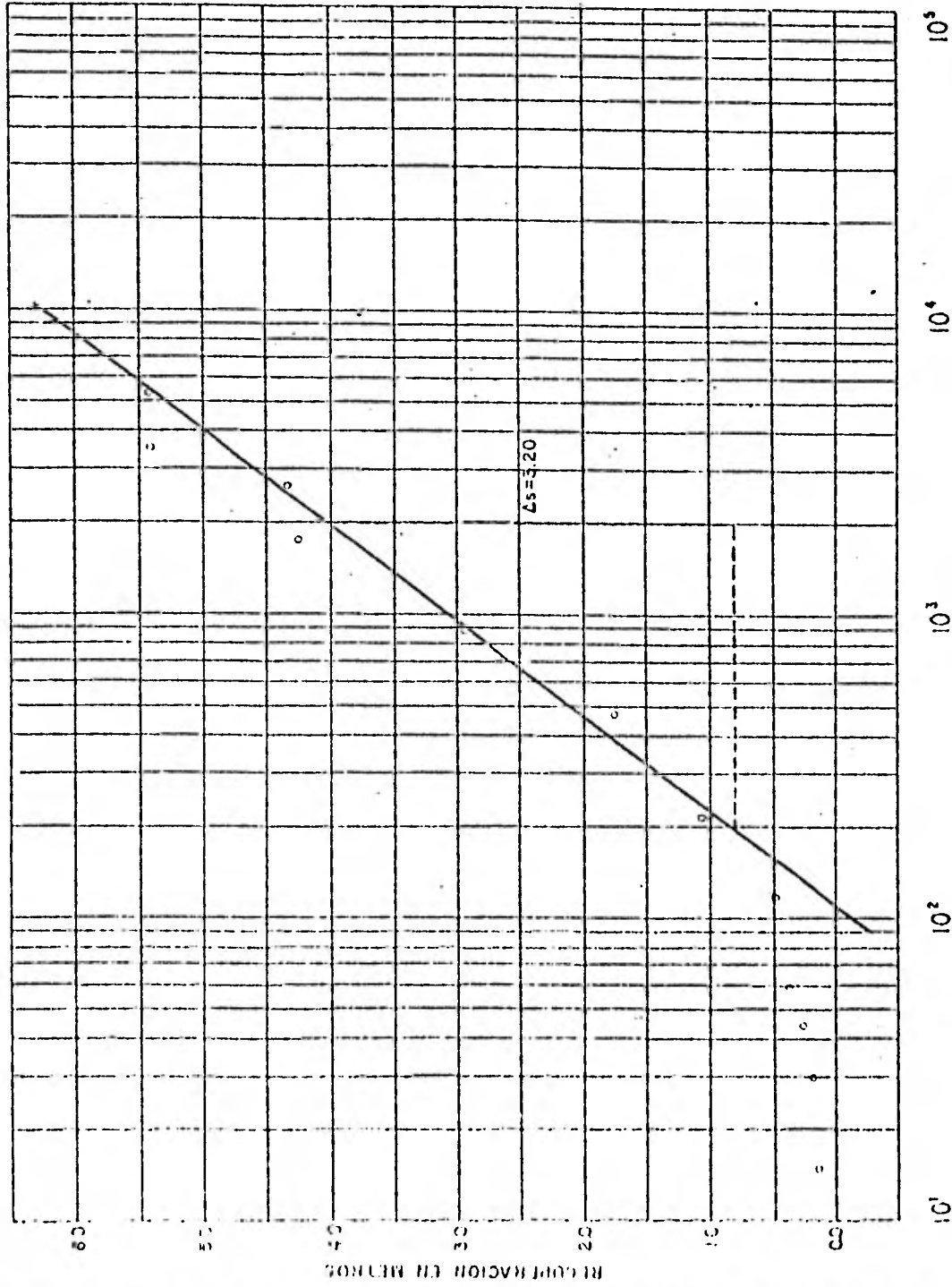
$$T = 0.28 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 26 Fecha 9-OCT-1981 Malla
 Lugar LAS PALMAS, B.C. Duración 1:30 hs.
 Caudal 8.5 l.p.s. Descarga 1.1 m. N.E. 3.40 m.
 Profundidad 25.0 m. Caudal específico 0.34 l.p.s./m

HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEC	PROF AL. DEL AGUA (CM)
15:00	0	5.86
	15	8.74
	30	8.68
	45	8.59
	60	8.52
	120	8.3
	240	7.80
	480	7.12
	900	5.90
	1800	4.60
16:00	2700	4.03
	3600	3.41
	5400	3.45

OBSERVACIONES



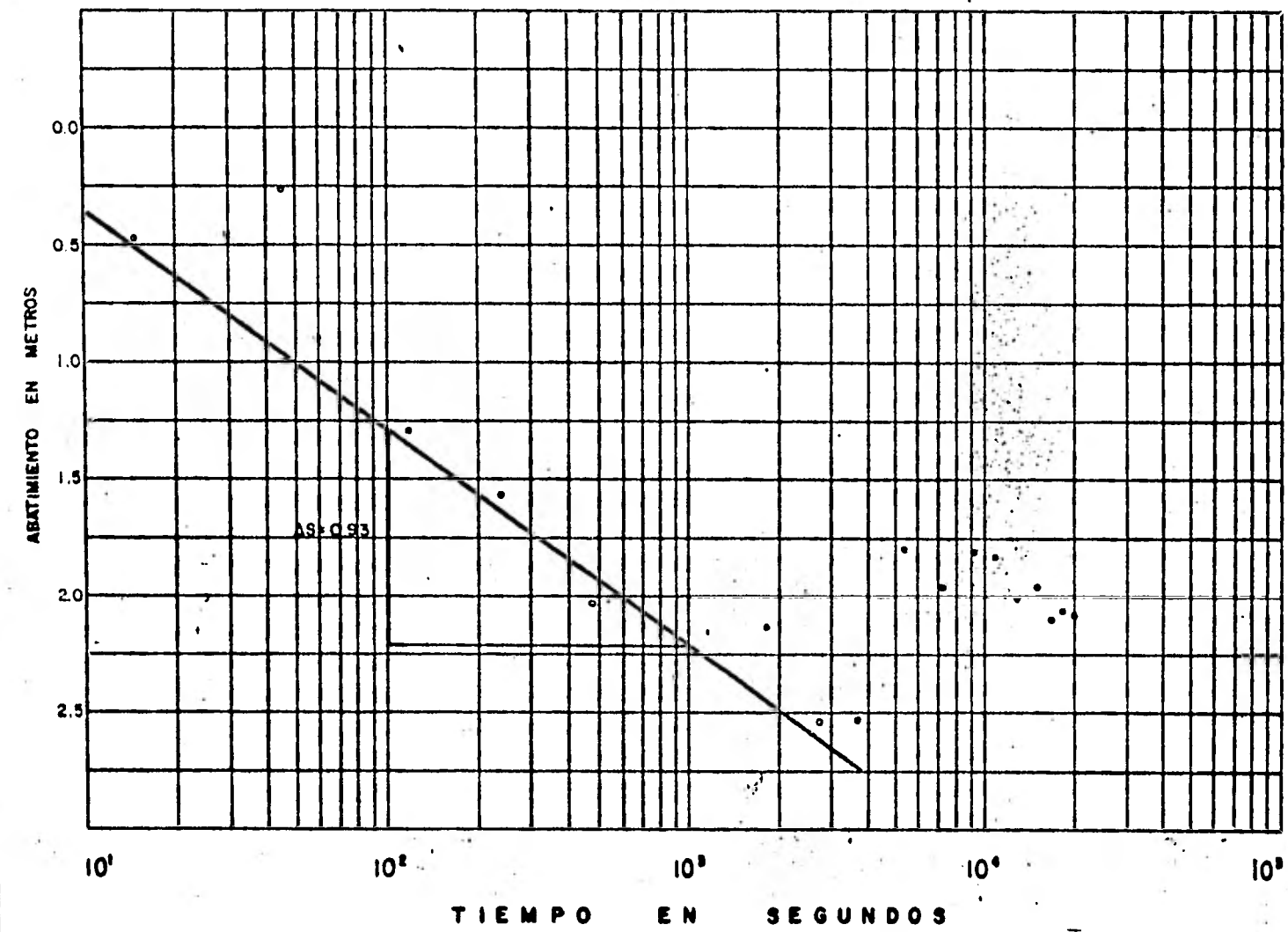
$$T = \frac{0.1830}{\Delta s}$$

$$T = \frac{0.183 \times 8.5 \times 10^3}{3.20}$$

$$T = 0.48 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg}$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 10 Fecha 11 Junio 1981 Mdd
 Lugar Las Palmas, B.C. Direccion S. 30 m.
 Caudal 9.0 l.p.s. Descarga N.E. 1.52 m.
 Profundidad m. Caudal especifico lps/m.



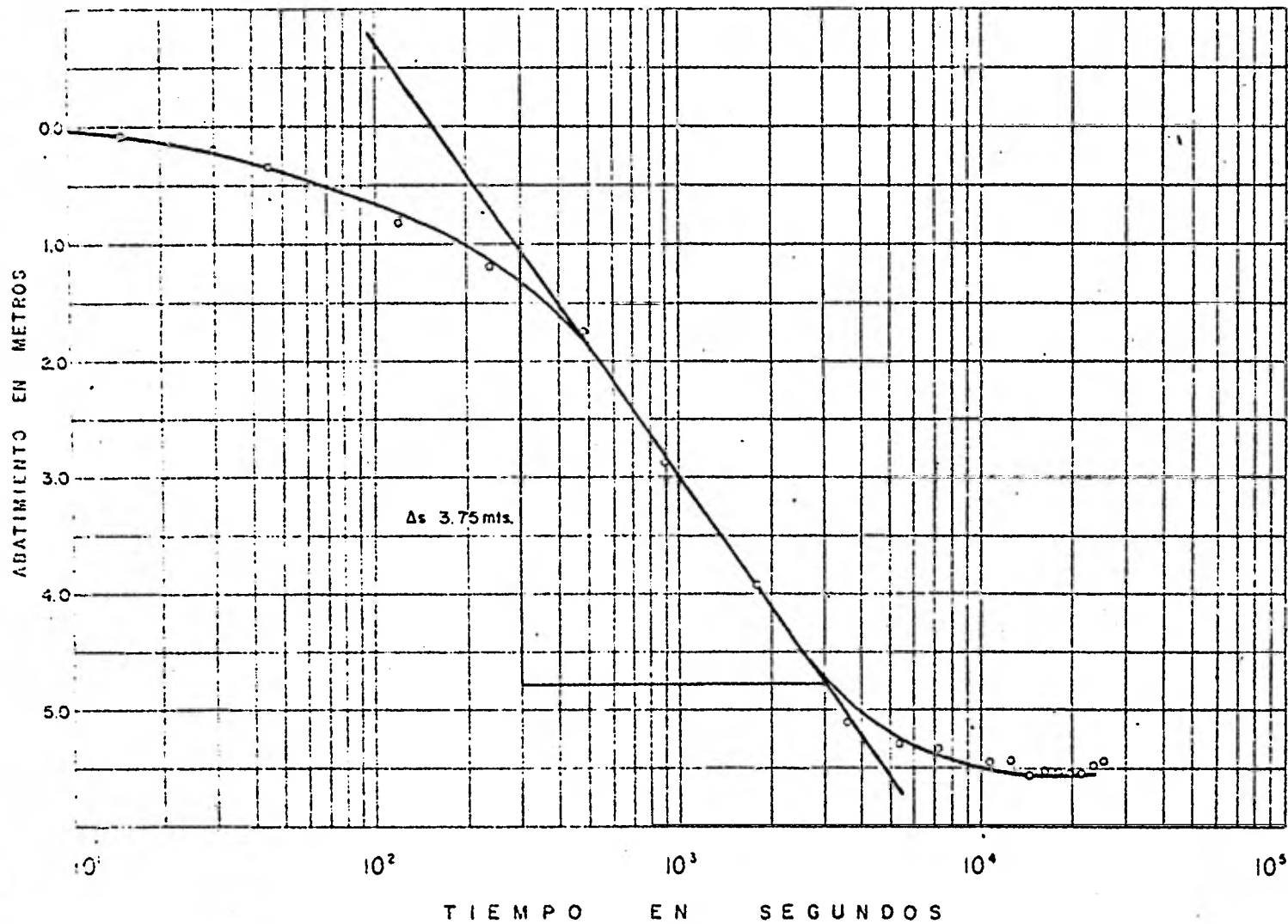
$$T = \frac{0.1830}{\Delta s}$$

$$T = \frac{0.183 \times 9.0 \times 10^3}{0.95}$$

HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	PROF. AL MOM. ADM. EN MET.			
10:00	0	1.52			
	15	1.94	0.42		
	30	1.12	0.40		
	45	1.27	0.25		
	60	2.40	0.88		
	120	2.81	1.29		
	240	3.09	1.57		
	480	3.60	2.08		
	900	3.85	2.33		
	1800	3.70	2.18		
	2700	4.06	2.54		
11:00	3600	4.05	2.53		
	5400	3.32	1.80		
12:00	7200	3.44	1.92		
	9000	3.33	1.81		
13:00	10800	3.35	1.83		
	12600	3.52	2.00		
14:00	14400	3.43	1.91		
	16200	3.62	2.10		
15:00	18000	3.59	2.07		
15:30	19800	3.61	2.09		

OBSERVACIONES ABATIMIENTO

$$T = 1.77 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg.}$$



$S_m = 5.46$ m.
 $S_i = 2.73$ m.
 $\Delta s_i = 3.75$ m/ciclo

$$e^{r/b} K_o(r/b) = \frac{2.3 S_i}{\Delta s_i} = 1.6744$$

$$K_o(r/b) = 11322$$

$$r/b = 0.392$$

$$T = \frac{0.159 Q}{S_m} K_o(r/b)$$

$$T = \frac{0.159 \times 8.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{seg}}{5.46 \text{ m}} \times 11322$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 26 Fecha 9-OCT-1981 Malla
 Lugar LAS PALMAS, B.C. Dirección 700 hs.
 Caudal 8.5 lps. Descarga 1 N.E. 3.30 m.
 Profundidad 25.0 m. Caudal específico : lps/m.

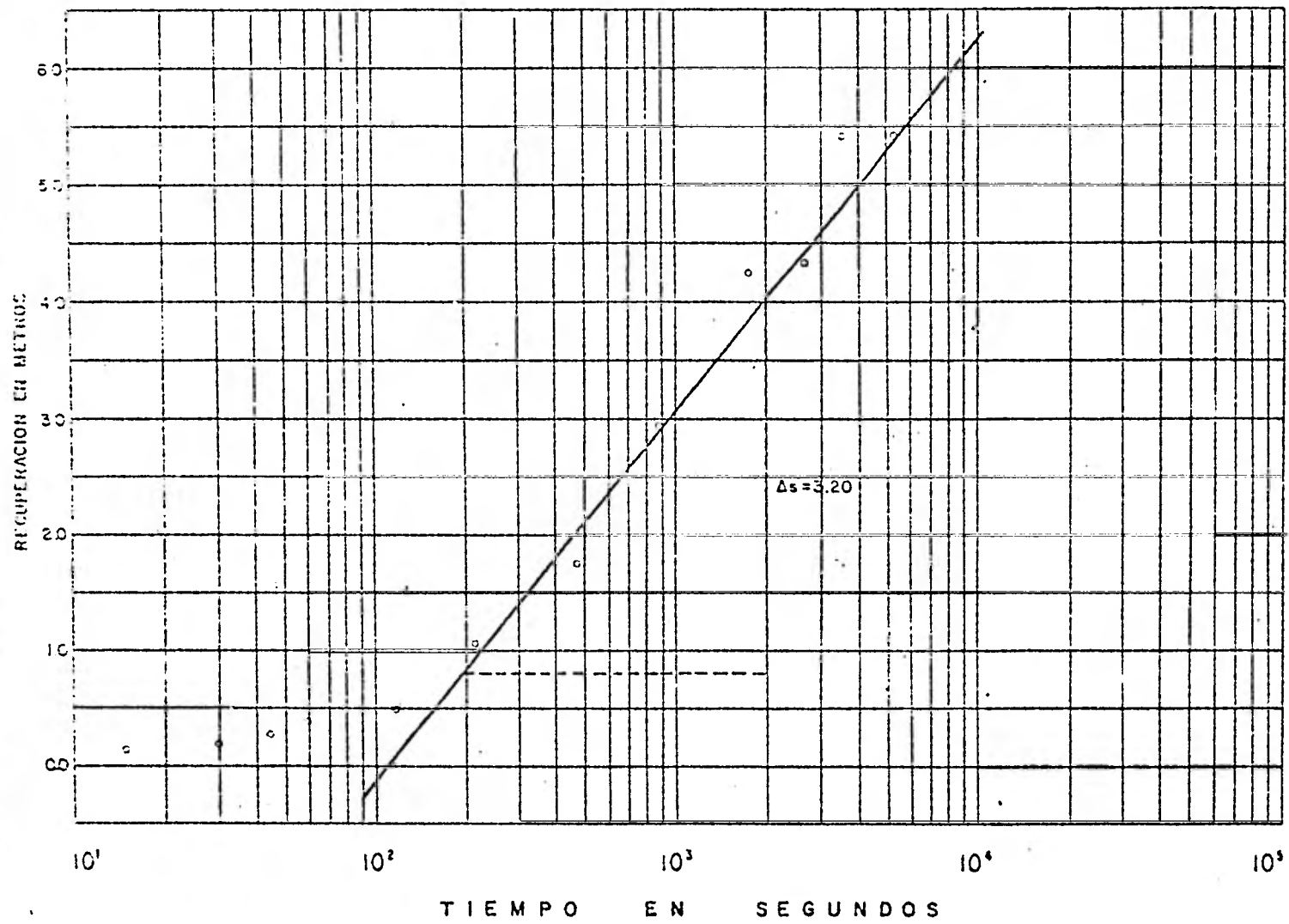
HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	PROP. AL N. DEL AGUA EN M ³ S	ABATE EN Mts.
8:00	0	3.40	
	15	3.49	0.09
	30	3.60	0.20
	45	3.74	0.34
	60	3.91	0.51
	120	4.23	0.83
	240	4.60	1.20
	480	5.16	1.76
	900	6.28	2.88
	1800	7.35	3.95
	2700	7.97	4.57
9:00	3600	8.53	5.13
	5400	8.71	5.31
10:00	7200	8.77	5.37
	9000	8.90	5.50
11:00	10800	8.88	5.48
	12600	8.85	5.45
12:00	14400	8.94	5.54
	16200	8.94	5.54
13:00	18000	8.94	5.54
	19800	8.94	5.54
14:00	21600	8.95	5.55
	23400	8.90	5.50
15:00	25200	8.86	5.46

OBSERVACIONES

$$T = 0.28 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 26 Fecha 9-OCT-1981 Malla _____
 Lugar LAS PALMAS, B.C. Duración 1:30 hs.
 Caudal 8.5 lps. Descarga 4' N.E. 3.40 m.
 Profundidad 25.0 m. Caudal específico _____ lps/m.



HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG	PROF AL DEL AGUA EN MTS			
15:00	0	8.86			
	15	8.74	0.12		
	30	8.68	0.18		
	45	8.59	0.27		
	60	8.52	0.34		
	120	8.37	0.49		
	240	7.80	1.06		
16:00	480	7.12	1.74		
	900	5.90	2.96		
	1800	4.60	4.26		
	2700	4.03	4.83		
	3600	3.44	5.42		
	5400	3.41	5.45		

OBSERVACIONES _____

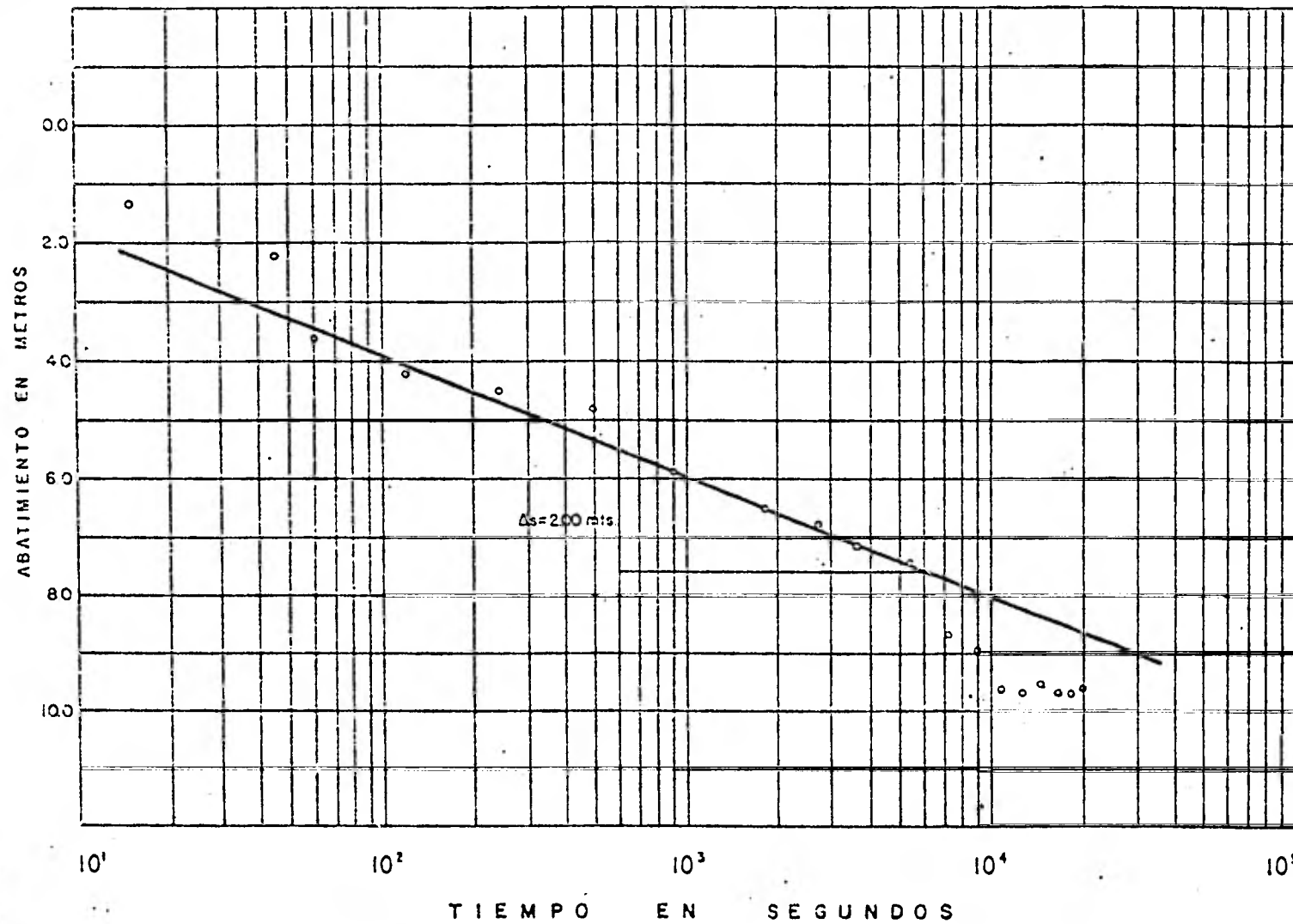
$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s}$$

$$T = \frac{0.183 \times 8.5 \times 10^3}{3.20}$$

$$T = 0.48 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 118 Fecha 29-OCT-1981
 Lugar LAS PALMAS, B. C. Duración 5:30 hs.
 Caudal 8.20 l.p.s. Descarga N.E. 3.12 m.
 Profundidad .m. Caudal específico .lps/m.



HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	PROF. AL NIVEL AGUA EN MTS.	Abat en Mts.
9:00	0	3.12	0.0
	15	4.49	1.37
	30	5.07	1.95
	45	5.35	2.23
	60	6.73	3.61
	120	7.36	4.24
	240	7.62	4.50
	480	7.92	4.80
	900	8.99	5.87
	1800	9.64	6.52
	2700	9.92	6.80
	3600	10.30	7.18
	5400	10.57	7.45
11:00	7200	11.84	8.72
	9000	12.02	8.90
12:00	10800	12.73	9.61
	12600	12.80	9.68
13:00	14400	12.71	9.59
	16200	12.89	9.77
14:00	18000	12.89	9.77
	19800	12.77	9.65

OBSERVACIONES
 ETAPA DE ABATIMIENTO.

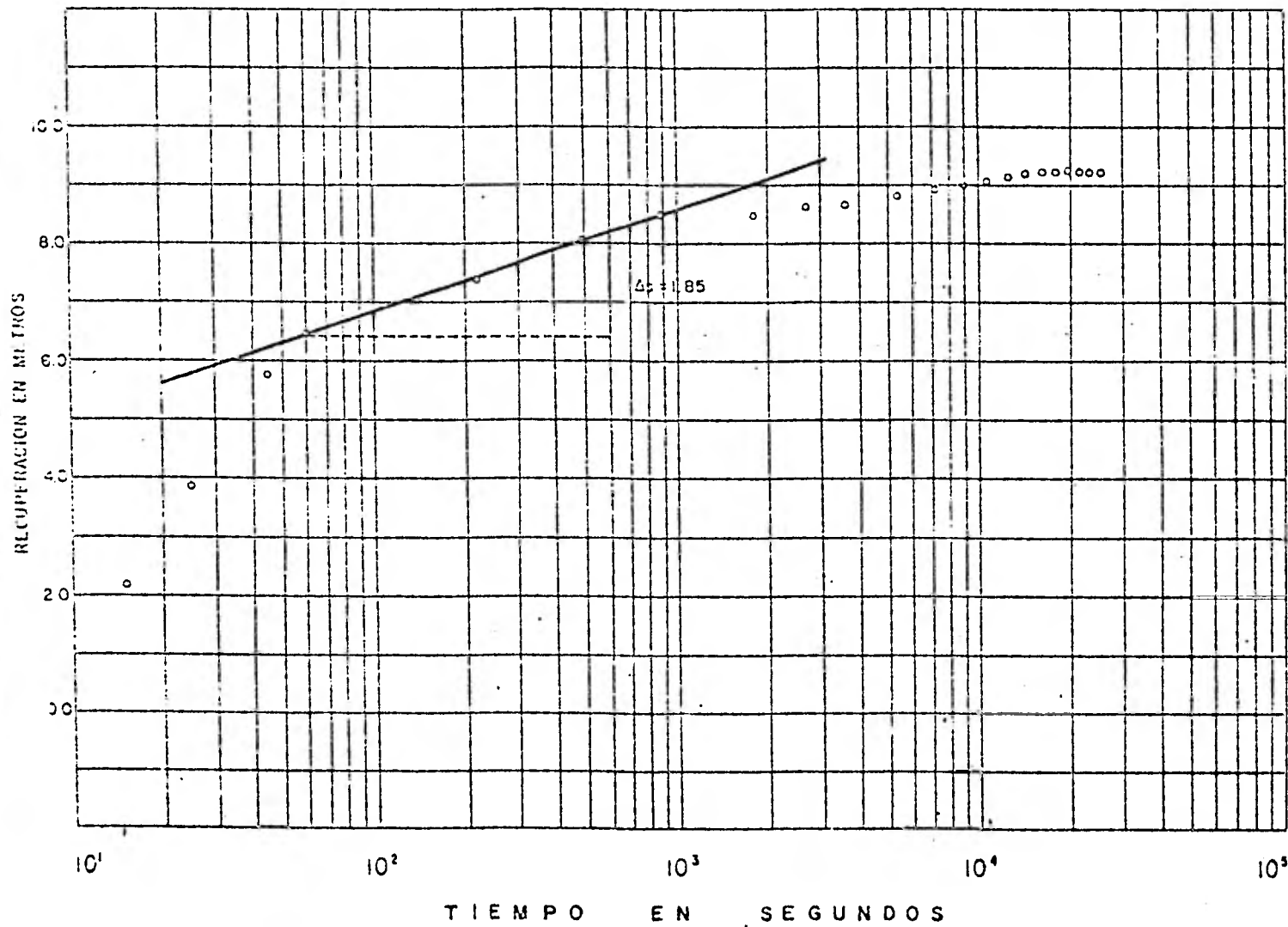
$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s}$$

$$T = \frac{0.183 \times 8.28 \times 10^3}{2.00}$$

$$T = 0.76 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 118 Fecha 29-OCT-1981 Malla _____
 Lugar LAS PALMAS, B.C. Duración 7:30 hs.
 Caudal 8.28 l.p.s. Descarga N.E. m.
 Profundidad _____ m. Caudal específico _____ lps/m.



HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	PROF. AL MOM. DEL ACUM. EN MTS.	Recup. en Mts.
14:30	0	12.77	0.0
	15	10.66	2.11
	30	8.93	3.84
	45	6.99	5.78
	60	6.33	6.44
	120	5.85	6.92
	240	5.37	7.40
	480	4.69	8.03
	900	4.22	8.55
	1800	4.18	8.59
	2700	4.12	8.65
15:30	3600	4.03	8.74
	5400	3.92	8.85
16:30	7200	3.79	8.98
	9000	3.71	9.06
17:30	10800	3.64	9.13
	12600	3.57	9.20
18:30	14400	3.53	9.24
	16200	3.50	9.27
19:30	18000	3.47	9.30
	19800	3.45	9.32
20:30	21600	3.45	9.32
	23400	3.44	9.33
21:30	25200	3.44	9.33

OBSERVACIONES _____

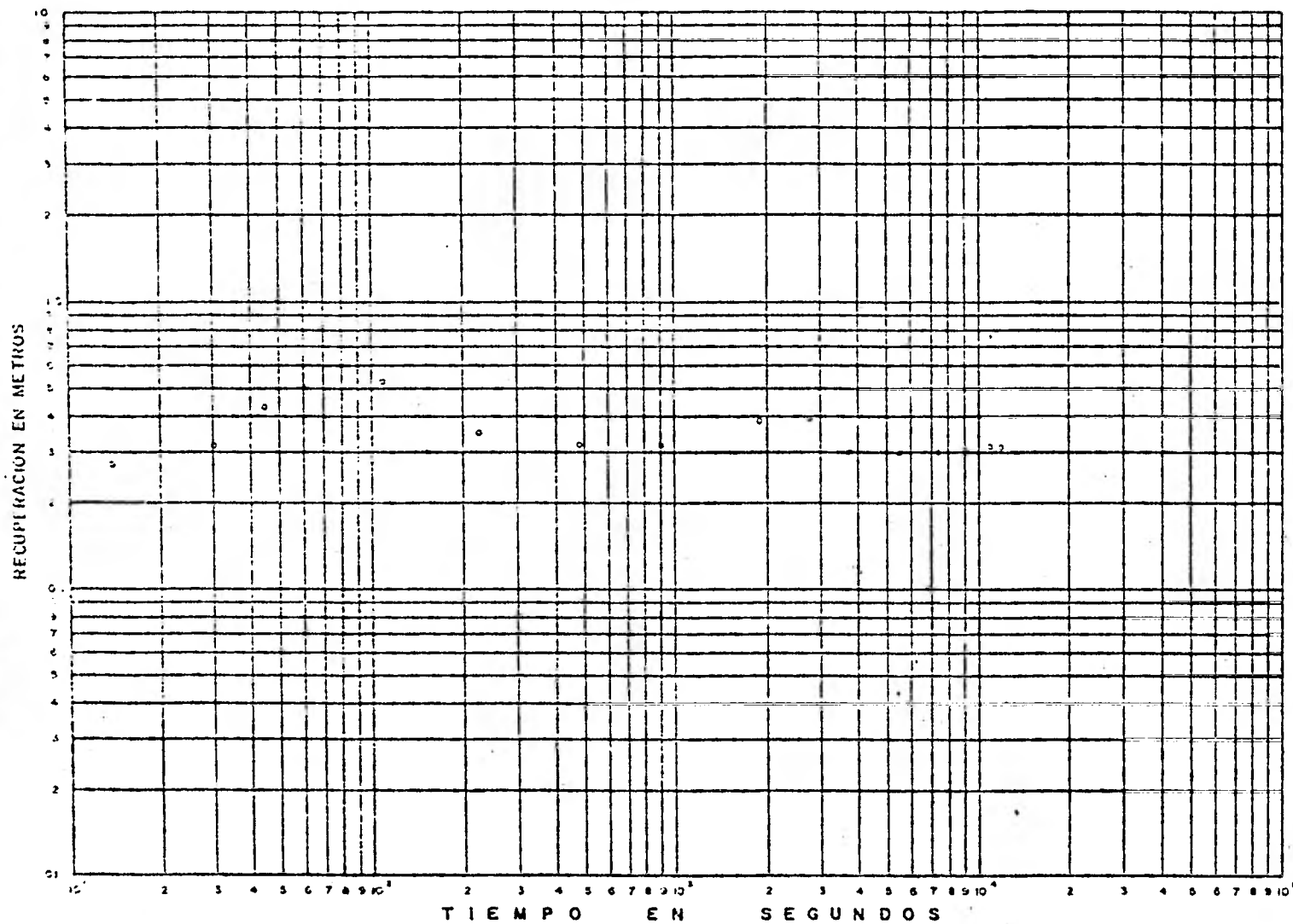
$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s}$$

$$T = \frac{0.183 \times 8.28 \times 10^3}{1.65}$$

$$T = 0.82 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

Norta
 Pozo 123 Fecha 10 JUNIO 1981 Malla
 Lugar LAS PALMAS, B.C. Duración _____ hs.
 Caudal 12.0 l.p.s. Ø Descarga 4" N.E. 155 m.
 Profundidad 11.0 m. Caudal específico _____ l.p.s./m.



HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	PROF. AL DESCARGA EN MTS.	CAUDAL EN Mts.
9:00	0	1.55	
	15	1.83	0.28
	30	1.87	0.32
	45	1.99	0.44
	60	2.05	0.50
	120	2.07	0.52
	240	1.90	0.35
	480	1.86	0.31
	900	1.86	0.31
	1800	1.94	0.39
	2700	1.84	0.29
10:00	3600	1.84	0.29
	5400	1.84	0.29
11:00	7200	1.85	0.30
	9000	1.86	0.30
12:00	10800	1.86	0.31
12:30	12600	1.86	0.31

OBSERVACIONES: ABATIMIENTO
 No interpretable

$F(Q, U_p) =$

$U =$

$Q =$

$a =$

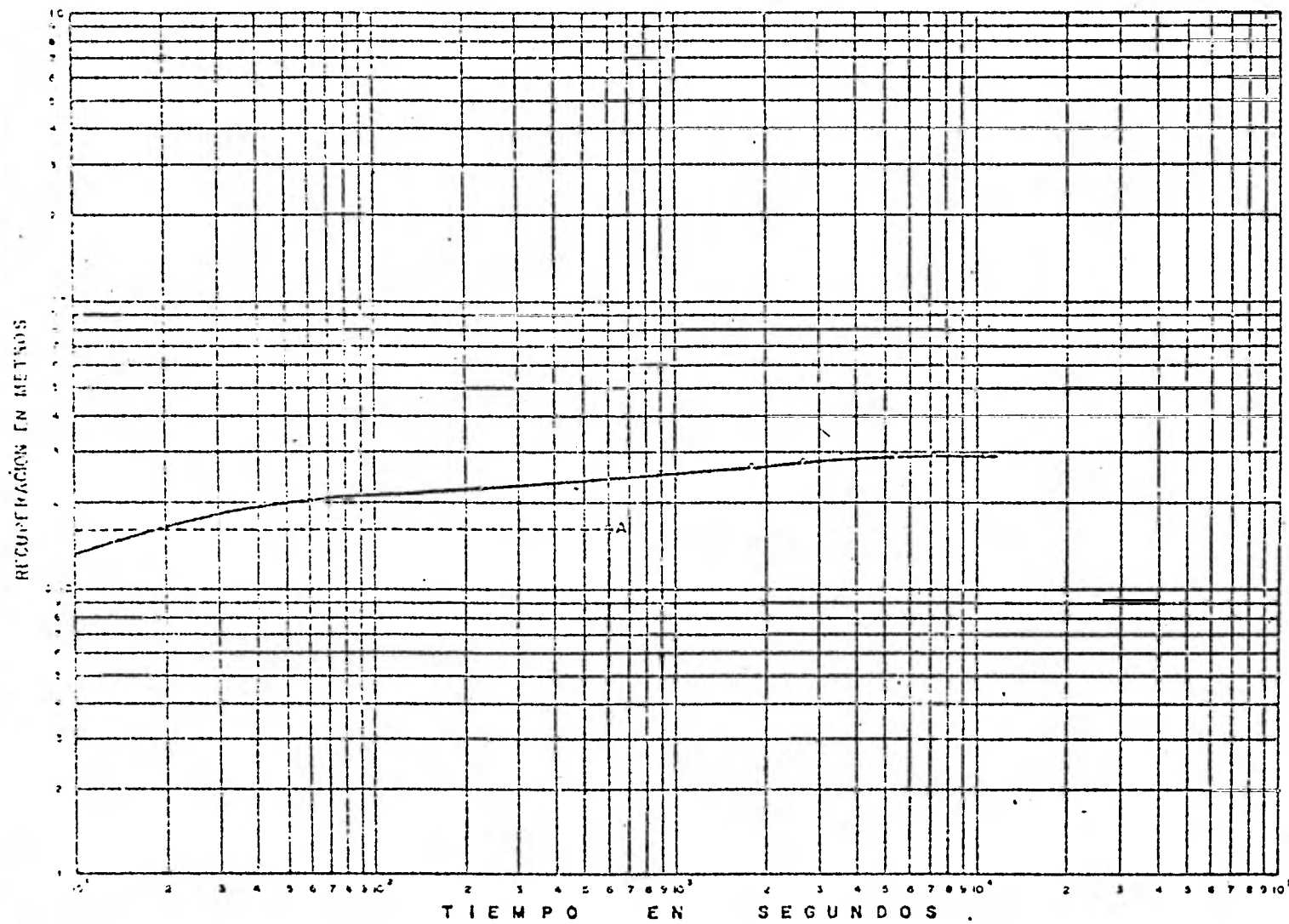
$t =$

$T = \frac{Q}{4\pi a} F(a, U_p)$

$T = \frac{x 10^3 \text{ m}^3 / \text{seg.} \times}{12.56 \times \text{ m}}$

$T = x 10^3 \text{ m}^2 / \text{seg.}$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO
 Noria 123 Fecha 10 JUNIO 1951 Malla
 Lugar LAS PALMAS, B.C. Duración 3:00 hs.
 Caudal 12.0 l.p.s. Ø Descarga 4" N.E. 1.55 m.
 Profundidad 11.0 m. Caudal específico _____ l.p.s./m.



HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	PRF. AL NIVEL EN MTS.	RECUP. EN MTS.
12:30	0	1.86	
	15	1.70	0.16
	30	1.68	0.18
	45	1.66	0.20
	60	1.65	0.21
	120	1.64	0.22
	240	1.63	0.23
	450	1.62	0.24
	900	1.60	0.26
	1800	1.59	0.27
	2700	1.58	0.28
13:30	3600	1.57	0.29
	5400	1.57	0.29
14:30	7200	1.56	0.30
	9000	1.56	0.30
15:30	10800	1.56	0.30

OBSERVACIONES: RECUPERACION

$F(\alpha, Up) = 10$
 $U = 10^{-7}$
 $\alpha = 10^{-4}$

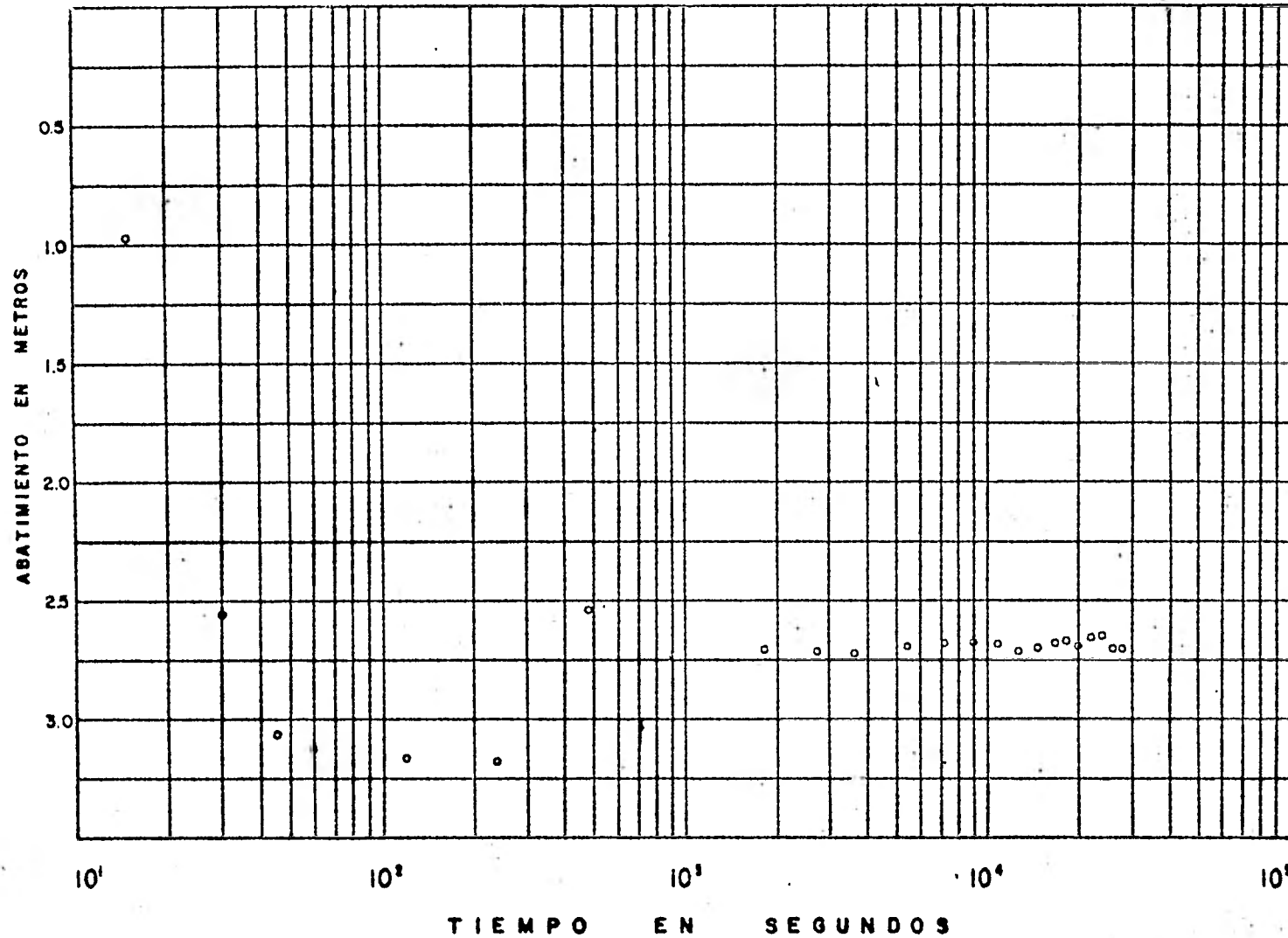
$a = 0.17$
 $t = 590$

$T = \frac{Q}{4\pi a} F(\alpha, Up)$
 $T = \frac{12.0 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{seg.} \times 10}{12.56 \times 0.17 \text{ m}}$

$T = 56.20 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg.}$

GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 173 Fecha 13-OCT-1981 Malla
 Lugar LAS PALMAS, B.C. Duración 7.30 m.
 Caudal 1 p.s. Descarga 6" N.E.
 Profundidad 27.5 m. Caudal específico lps/m.



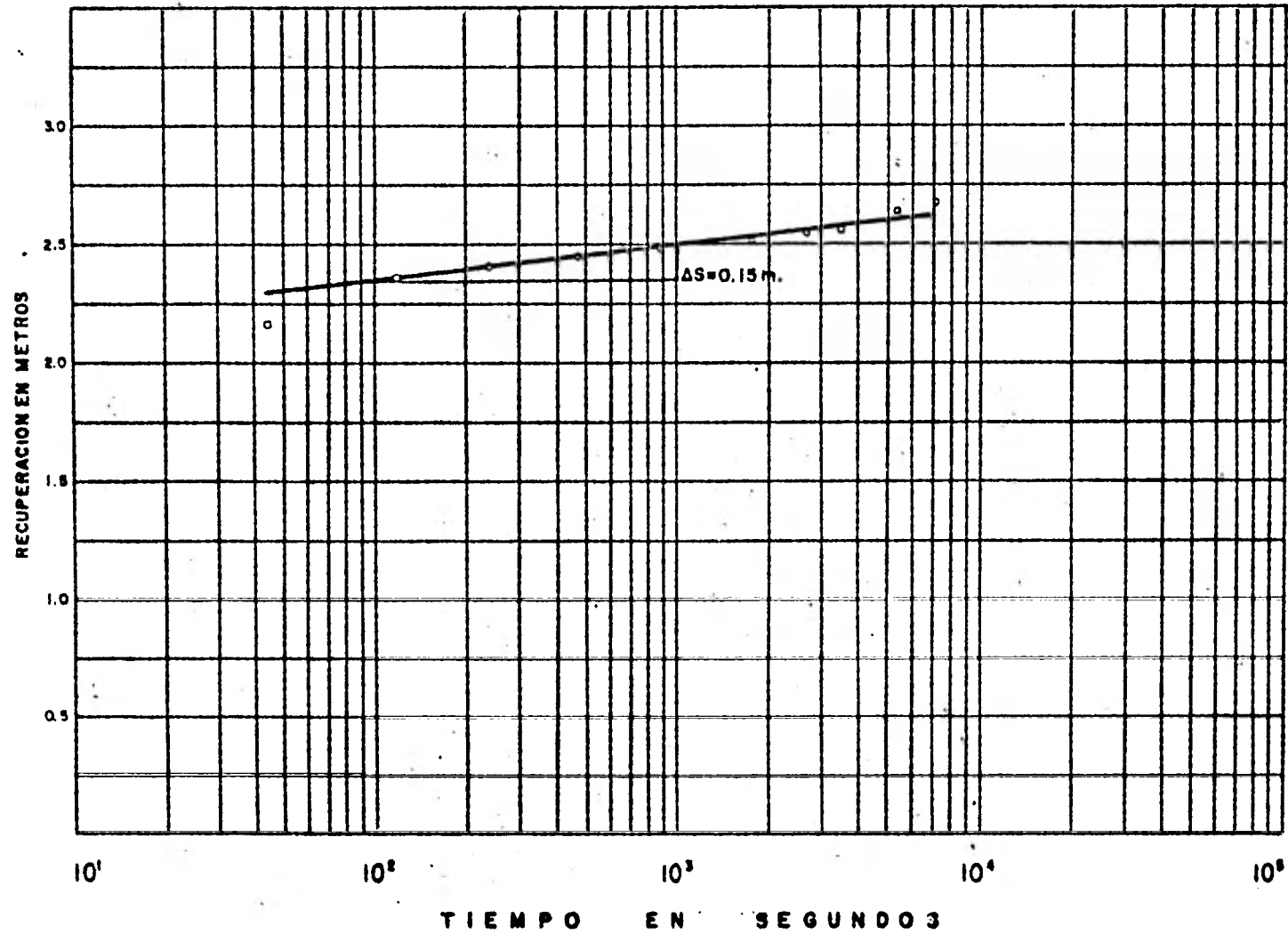
HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	PROF. AL A. DEL AGUA EN MTS.	ABAT. Mts.
8:15	0	3.15	
	15	4.10	0.95
	30	5.70	2.55
	45	6.21	3.06
	60	6.28	3.13
	120	6.31	3.16
	240	6.32	3.17
	480	5.67	2.52
	900	5.88	2.73
	1800	5.85	2.70
	2700	5.86	2.71
9:15	3600	5.86	2.71
	5400	5.83	2.68
10:15	7200	5.82	2.67
	9000	5.82	2.67
11:15	10800	5.83	2.68
	12600	5.86	2.71
12:15	14400	5.85	2.70
	16200	5.83	2.68
13:15	18000	5.82	2.67
	19800	5.84	2.69
14:15	21600	5.80	2.65
	23400	5.80	2.65
15:15	25200	5.85	2.70
15:45	27000	5.85	2.70

OBSERVACIONES: NO INTERPRETABLE

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s}$$

$$T = \frac{0.183 \times 10^5}{\Delta s}$$

$$T = 10^5 \text{ m}^2/\text{seg.}$$



$$T = \frac{0.1830}{\Delta s}$$

$$T = \frac{0.183 \times 11.5 \times 10^3}{0.15}$$

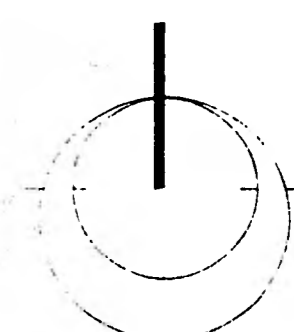
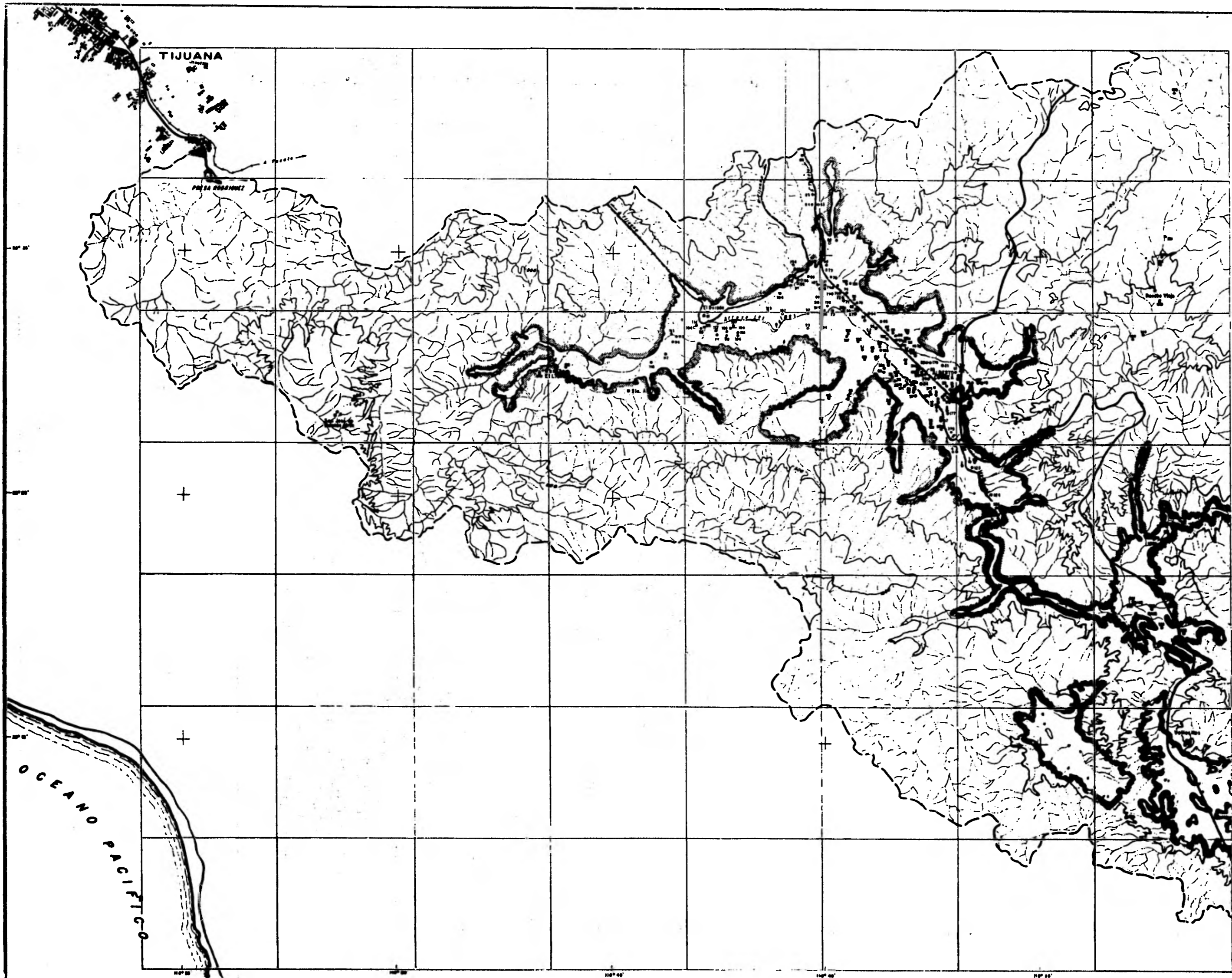
GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

POZO 173 Fecha 13 Oct-1981 Mella
 Lugar Las Palmas, P.R. Dirección 2.00 km.
 Caudal 11.5 l.p.s. Descarga 6" N.E. 3.15 m.
 Profundidad 27.5 m. Caudal específico lps/m.

HORA	TIEMPO ACUMULADO EN SEG.	PROG. AL NIVEL AGUA EN PYS.			
15:45	0	5.85			
	15	5.02	0.83		
	30	4.23	1.62		
	45	3.68	2.17		
	60	3.56	2.29		
	120	3.48	2.37		
	240	3.44	2.41		
	480	3.40	2.45		
16:45	900	3.36	2.49		
	1800	3.33	2.52		
	2700	3.30	2.55		
	3600	3.28	2.57		
17:45	5400	3.20	2.65		
	7200	3.17	2.68		

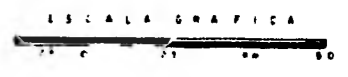
OBSERVACIONES _____
 ETAPA DE RECUPERACION _____

$$T = 14.03 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg.}$$



S I M B O L O G I A

CARRETERA	—————	—————
TERRACIAS	—————	—————
FERROCARRIL	—————	—————
POBLACION	—————	●●●
R I O	—————	~~~~~
A R R O Y O	—————	~~~~~
PARTESAGUAS	—————	~~~~~
P O Z O	—————	●
L O C A L I D A D	—————	●
MARANTIAL	—————	●
FONTECA IMPERMEABLE	—————	~~~~~

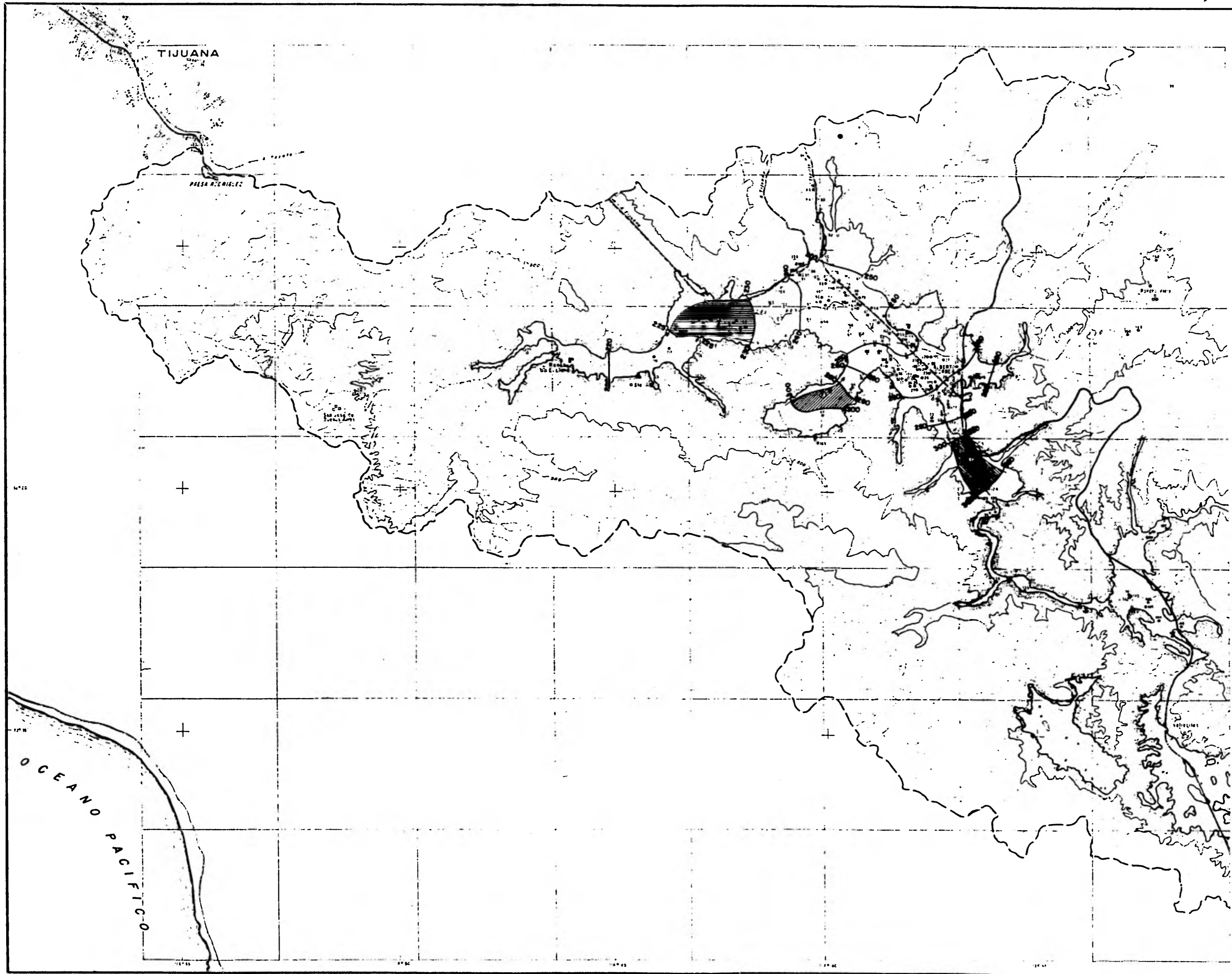


Unam *enp-acatlan*
INGENIERIA

ESTUDIO GEOMORFOLOGICO DEL VALLE DE LAS PALMAS
EN EL ESTADO DE B. CALIFORNIA
LOCALIZACION DE OBRAS

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1988 PLANO VII-1



SIMBOLOGIA

CARRERA	—
TERRACERAS	—
FERROCARRIL	—
RIO	—
PARTE AGUAS	—
POZO	⊙
BOVEDIA	⊙
MANANTIAL	⊙
FRONTERA IMPENETRABLE	—

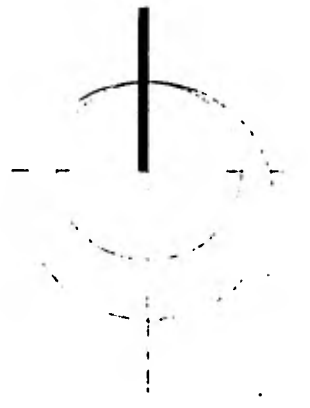
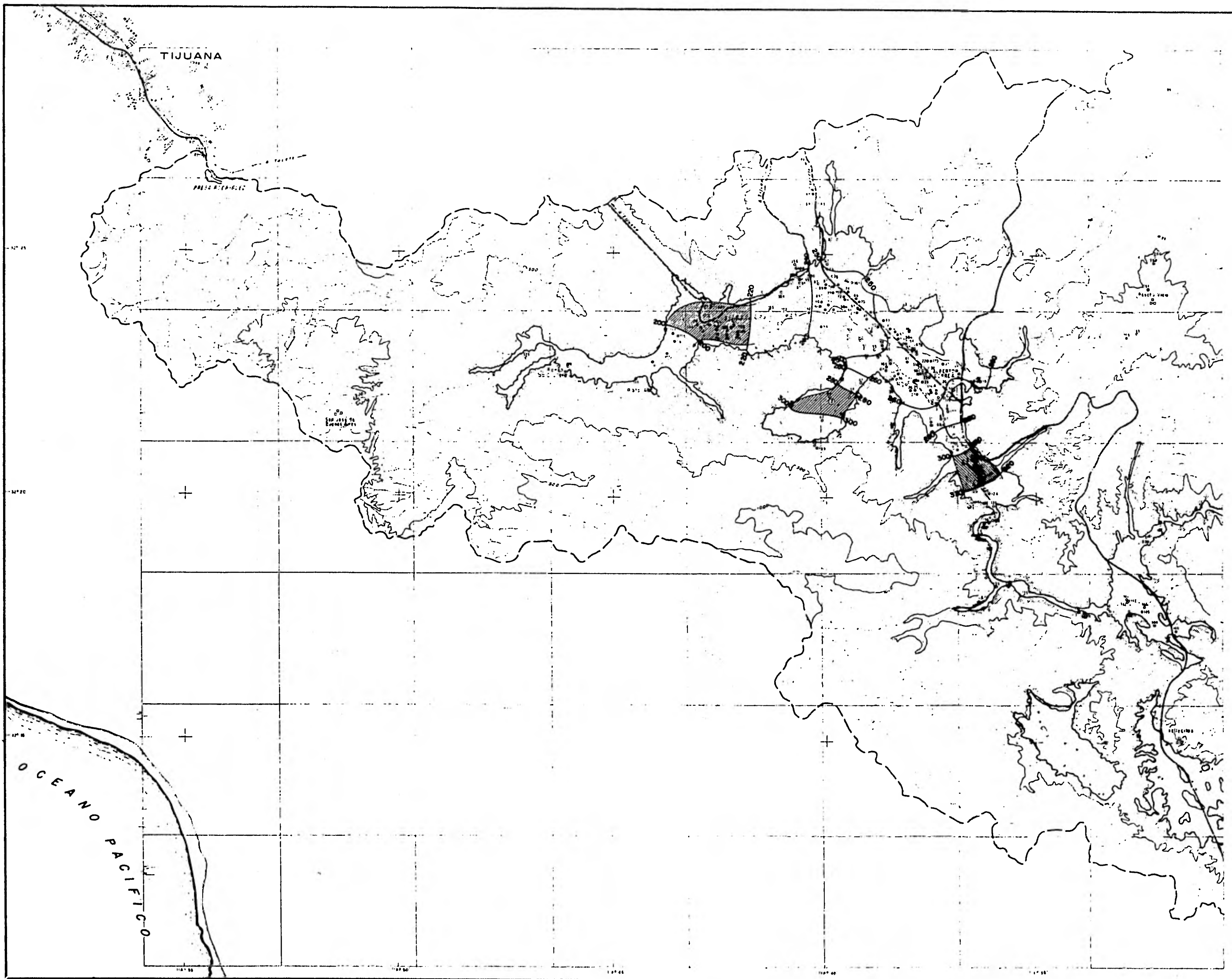


unam enepacatlan
INGENIERIA

ELEVACION DEL NIVEL ESTÁTICO
ABRIL 1974

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° VII.2



SIMBOLOGIA

CARRETERA	—————	—————
TERRACERIAS	—————	—————
FERROCARRIL	—————	—————
POBLACION	—————	OO
RIO	—————	—————
ARROYO	—————	—————
PARTEAGUAS	—————	—————
POZO	—————	o
HORRIA	—————	o
MARSHIAL	—————	o
FRONTERA IMPERMEABLE	—————	~~~~~

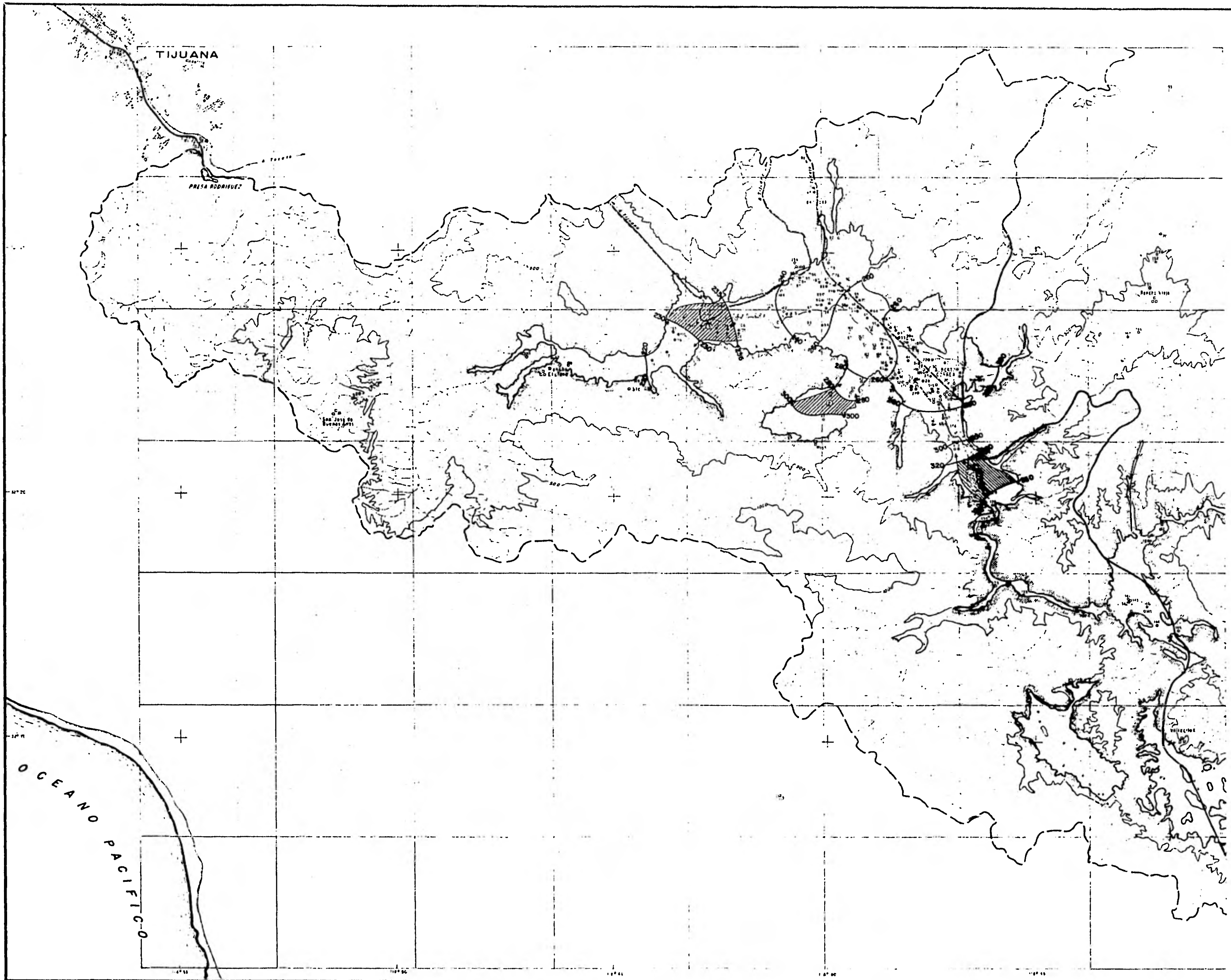


unam *enep-acatlan*
INGENIERIA

ESTADO DE GUERRERO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE GUERRERO
ELEVACION DEL NIVEL ESTÁTICO
MAYO 1977

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° VII B



SIMBOLOGIA

CARRETERA
TERRACERAS
FERROCARRIL
POBLACION	OP -OP
ARRECIPO
PARTEAGUA
POZO
BOVEDA
MANANTIAL
FRONTERA INDEPENDENTE



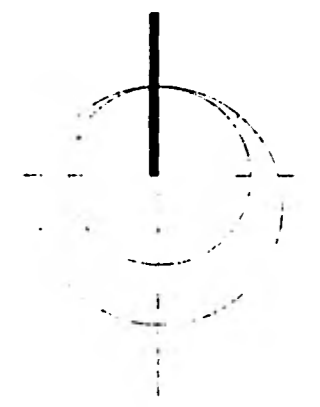
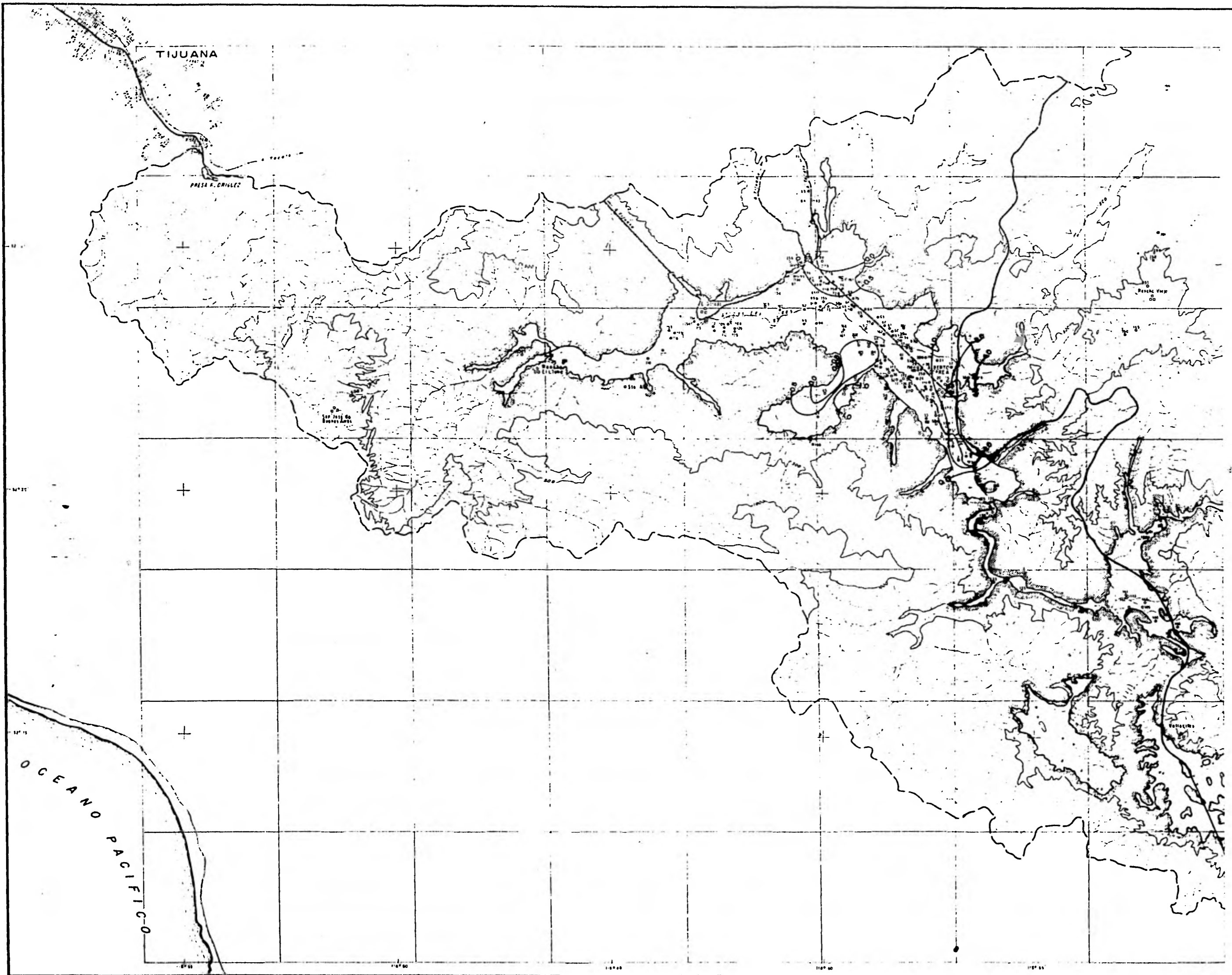
unam *enepacatlan*
INGENIERIA

ESTADO MEXICANO DE NUEVO LEON
ESTADO MEXICANO DE NUEVO LEON
ESTADO MEXICANO DE NUEVO LEON

ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO
MAYO 1979

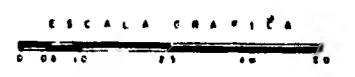
TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° VII.4



SIMBOLOGIA

TERRESTRE	-----	
FERRICERIAS	-----	
FERRICERIL	-----	
PLANTAS	-----	OO
RIO	-----	
ARROYO	-----	
PARTEAGUA	-----	
PUZOS	-----	.
BOMBAS	-----	.
BOQUINAS	-----	.
FRONTERA IMPROBABLE	-----	~~~~~



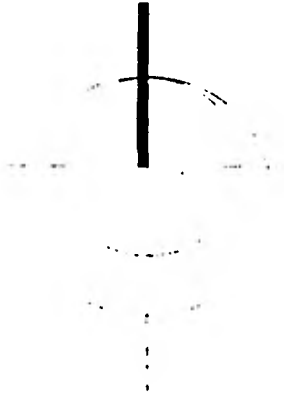
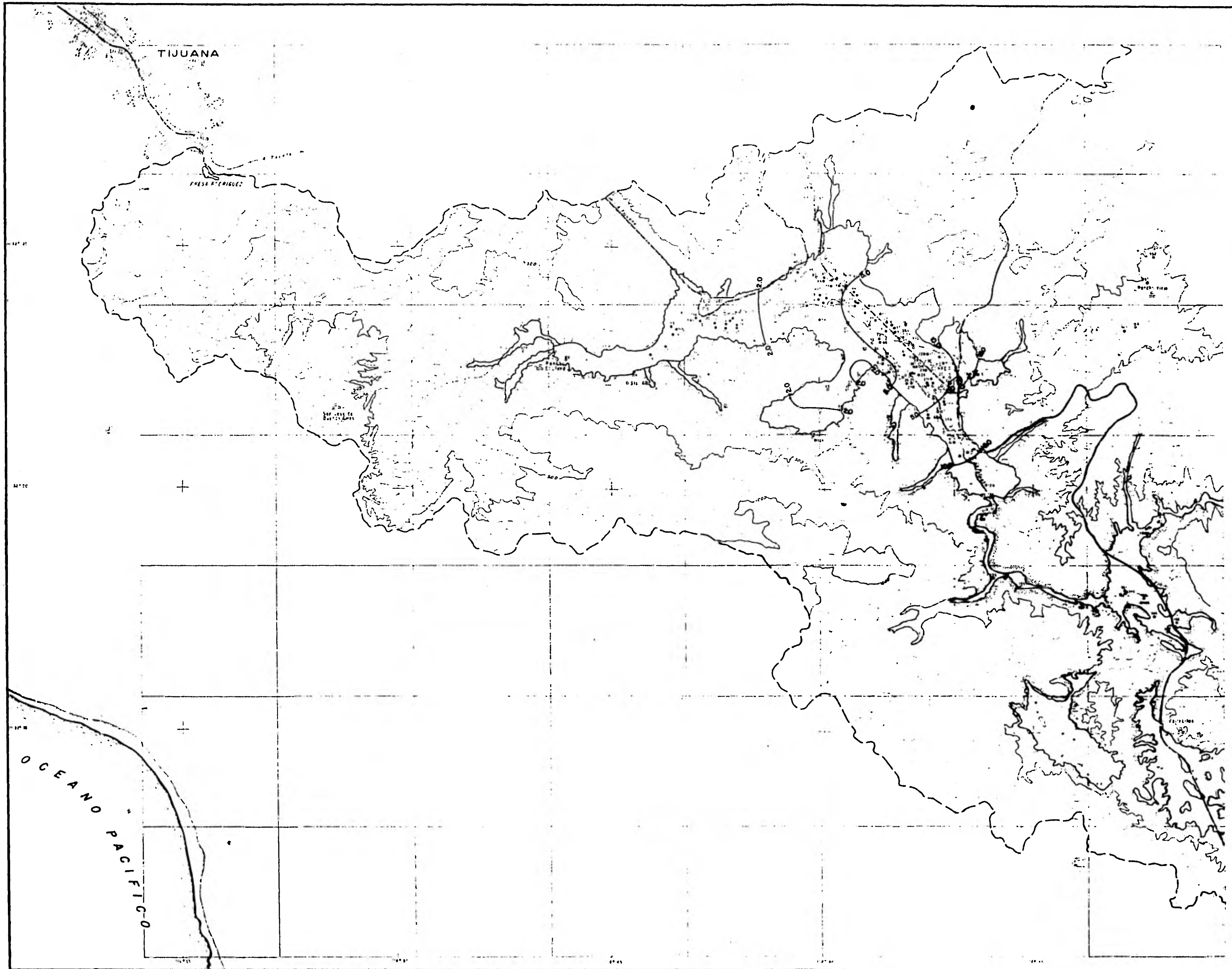
unam enep-acatlan
INGENIERIA

ESTADO DE BAJA CALIFORNIA DEL VALLE DE LOS RIOS
EN EL CEN DE BAJA CALIFORNIA

EVOLUCION DEL NIVEL ESTADICO
ABR. 1974 - MAY. 1977

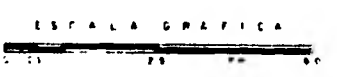
TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° 08.7



SIMBOLOGIA

- CARRETERA - - - - -
- TERRACERIAS - - - - -
- FERROCARRIL - - - - -
- PUERTO - - - - -
- BOVEDAS - - - - -
- PARQUEAJOS - - - - -
- POZOS - - - - -
- MOJAS - - - - -
- MARSHAL - - - - -
- FRONTONERAS - - - - -



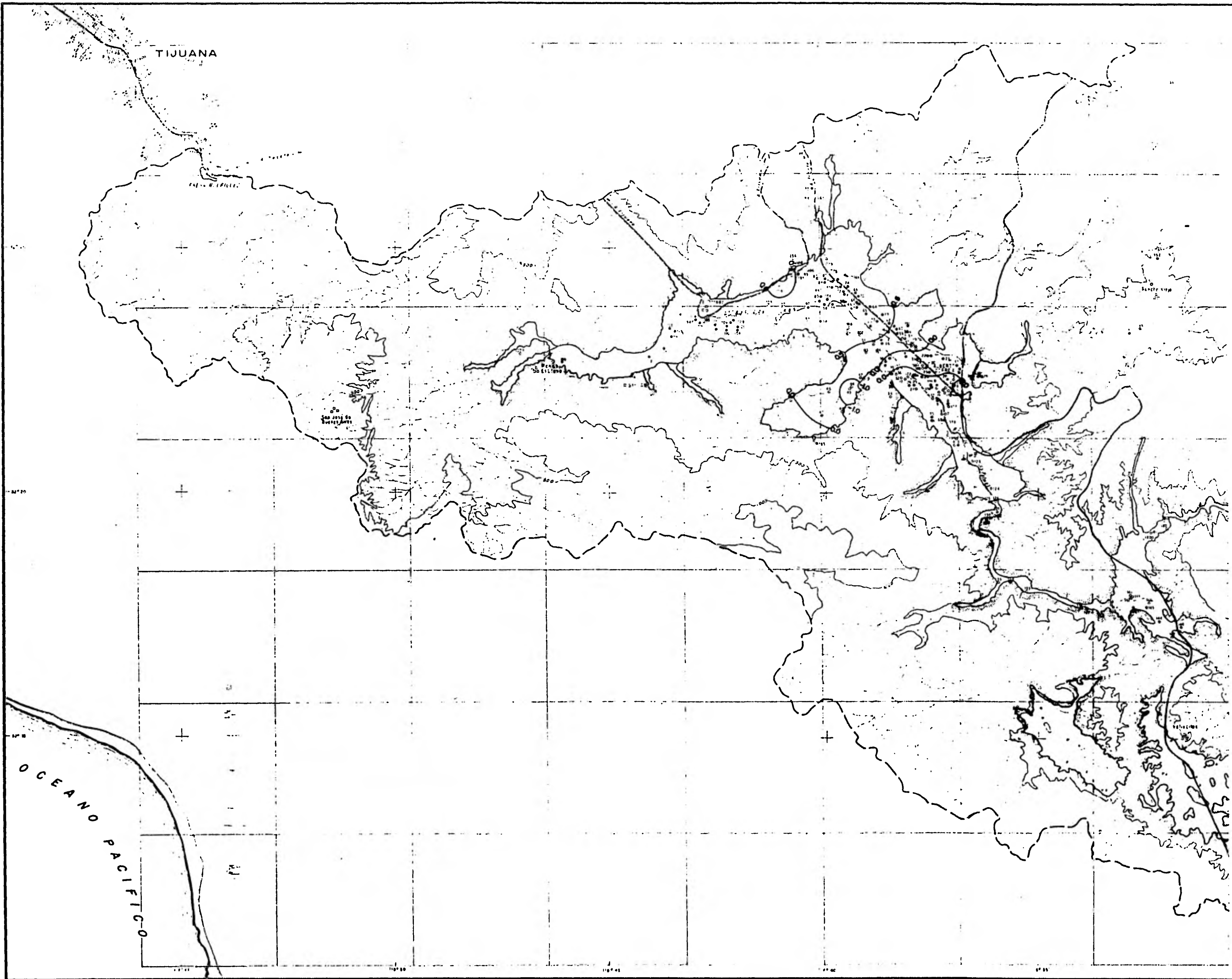
unam enepacatlan
INGENIERIA

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALIFORNIA

**EVOLUCION DEL NIVEL ESTÁTICO
 MAY. 1977 - MAY. 1979**

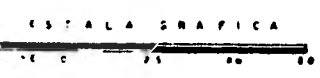
TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° VII.6



SIMBOLOGIA

-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----

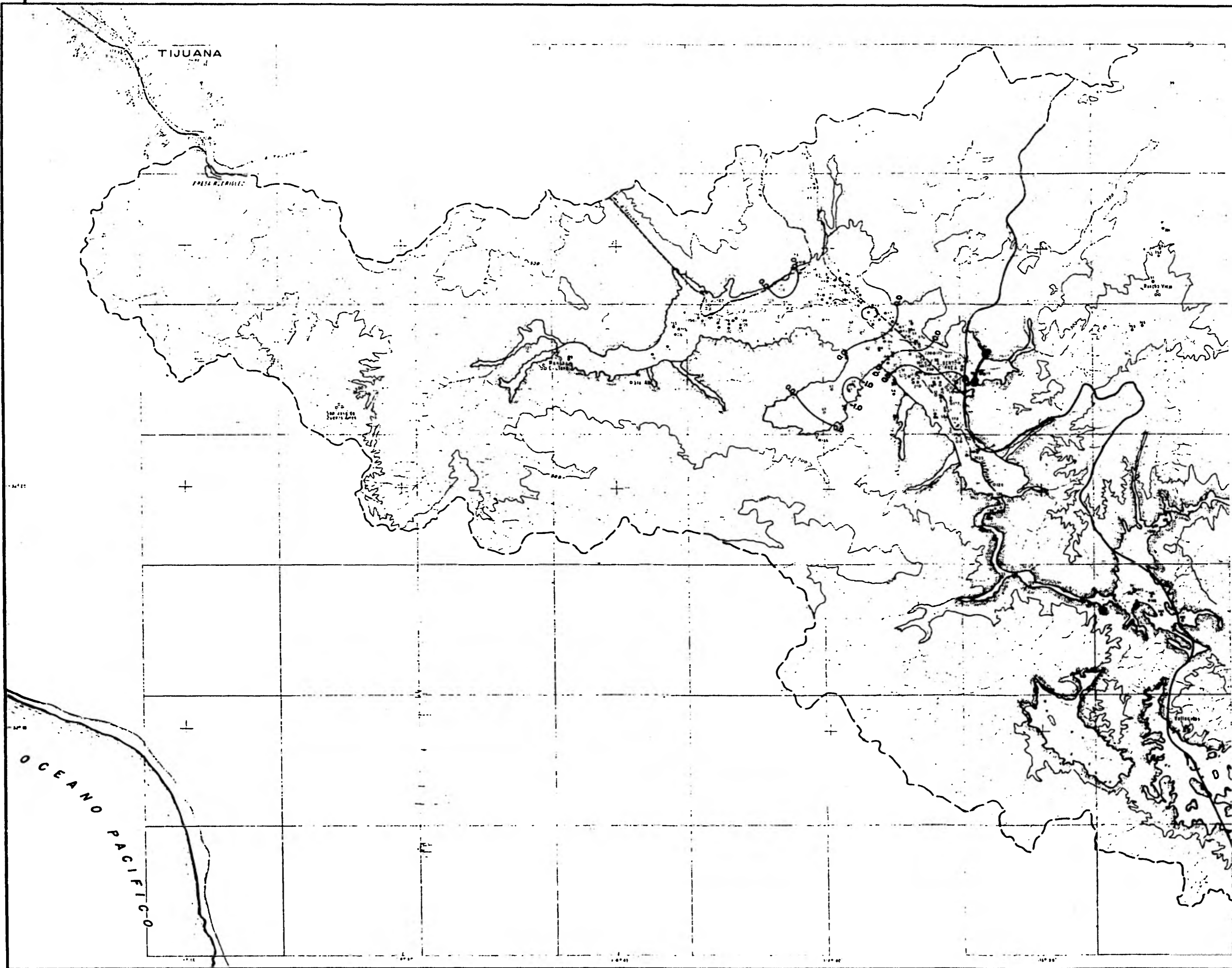


Unam *enepacatlan*
INGENIERIA

EVOLUCION DEL NIVEL ESTADICO
MAY. 1979 - JUN. 1981

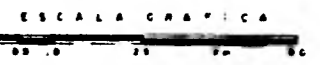
TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° VI.9



SIMBOLOGIA

ADRIEREA	-----
TERRENTES	-----
FERROCARRIL	-----
POBLACION	•••••
ALTO	-----
ARROYO	-----
PARTEAGUA	-----
POZO	•
ROCA	•
MARABIAL	•
FRONTERA IMPERMEABLE	-----

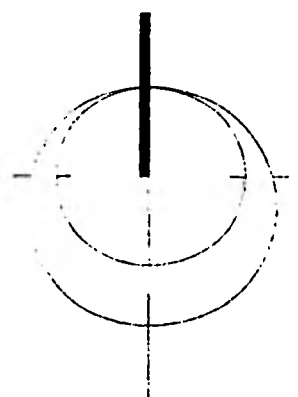
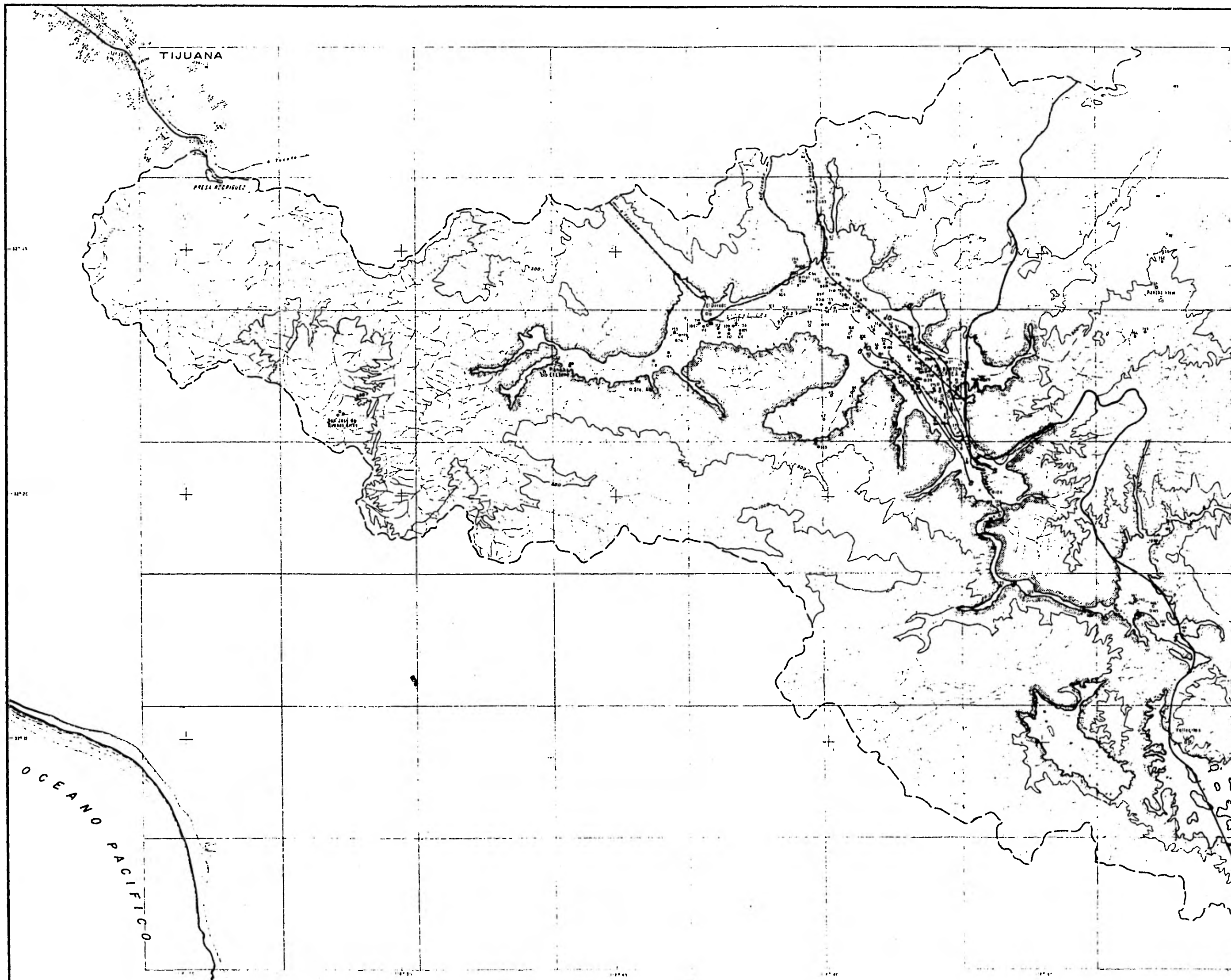


unam *enepacatlan*
INGENIERIA

EVOLUCION DEL NIVEL ESTADICO
AÑO 1980 - JUN 1981

TESIS PROFESIONAL
ADOLFO ALEJANDRO AZCONA SANCHEZ

1982 PLANO N° VI 10



SIMBOLOGIA

CARRETERA	—————	—————
TERRECIERAS	—————	—————
FERROCARRIL	—————	—————
POBLACION	—————	●
R I O	—————	~~~~~
A R R O Y O	—————	~~~~~
PARTICULAS	—————	~~~~~
P E R O	—————	○
H O R I Z A	—————	○
M A R B O T I L	—————	○
F R O N T E R O I N T E R N A C I O N A L	—————	~~~~~



unam *enep-acatlan*
 INGENIERIA
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ENERGIAS RENOVABLES
 TESIS PROFESIONAL
 ADOLFO ALEJANDRO AZCONA BANCHEZ
 1982 PLANO N° VII

C A P I T U L O VIII

CONCLUSIONES

El espesor saturado del acuífero se calculó en base a la información reportada en 1974, consignándose de 34 m. en esas fechas. Para 1981 el espesor saturado del acuífero resultó ser de 38.5 m. aproximadamente; si se considera que el área de balance es de 50 km². y el coeficiente de almacenamiento de 0.08, se tendrá que el volumen de agua almacenada en el acuífero es de 154 000 000 de m³. (ciento cincuenta y cuatro millones de metros cúbicos), lo que representa un fenómeno inusitado ya que la tendencia normal de los acuíferos, dados los altos índices de explotación, es a la disminución de sus almacenamientos con abatimientos de gran importancia.

CONDICIONES DE EXPLOTACION A QUE HA SIDO SOMETIDO
EL ACUIFERO

Analizando las condiciones de explotación a que se ha sometido el acuífero en los períodos 1974-77, 1977-79 y 1979-81, se concluye lo siguiente:

Para el primer período considerado (1974-77) se observa que hubo un abatimiento medio de 0.60 m. producido por una disminución en el almacenamiento (ΔVS) de 2.41×10^6 m³. De los tres períodos considerados en el presente trabajo, puede afirmarse que éste es el que reproduce las tendencias más usuales del acuífero del valle, pues se presenta la sobre-explotación de los recursos hidráulicos subterráneos. Según datos reportados en 1974, el acuífero estaba sobre-explotado en 2×10^6 m³/año.

Para el segundo período considerado (1977-79) y por efectos de la temporada de lluvias extraordinariamente intensa, el

acuífero tuvo una recuperación media de 4.80 m, pasando de sobre explotado a sub-explotado en $18.89 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Para el tercer período (1979-81), el acuífero sigue presentando recuperación, pero esta vez de un orden mucho menor que en el período anterior. La sub-explotación del acuífero fue de $0.94 \times 10^6 \text{ m}^3$ y la recuperación fue de 0.24 m. Únicamente. Esta diferencia tan significativa respecto a los valores obtenidos en 1977-79 se debe a que el acuífero tiende a la condición de sobre-explotación rápidamente.

DETERMINACION DEL VOLUMEN APROVECHABLE DE AGUA
SUBTERRANEA SIN INDUCIR EFECTOS PERJUDICIALES
EN EL ACUIFERO.

Si se toma como representativa de la tendencia general del acuífero, la información obtenida para 1974-77 y la consignada para antes de 1974, resulta ser que las entradas horizontales son de aproximadamente $4.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$; las salidas horizontales de $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ y la recarga vertical, reportada para antes de 1974 con un valor de $6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, resulta ser de $5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ para el período 1974-77. Asumiendo que tales valores se mantendrán de manera aproximada en un futuro inmediato, es posible determinar el bombeo por año más conveniente, de tal manera que el volumen de extracción no proceda del almacenamiento del acuífero, sino de las entradas del mismo. Para ello, basta igualar a cero el miembro izquierdo de la ecuación general de balance, de tal forma que $\pm \Delta V.S = 0$. Con los valores mencionados en este párrafo, se tendrá lo siguiente:

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

Haciendo:

$$E_h + R_v - B - S_h = 0$$

Se obtiene
que:

$$4.5 + 5 - B - 1.2 = 0 \quad (\text{valores en millones de } \text{m}^3)$$

$$B = 8.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año.}$$

El bombeo reportado para 1979-81 es de $4.25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. En base al valor obtenido ($B = 8.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$), se puede incrementar el bombeo hasta este valor sin causar pérdidas en el almacenamiento subterráneo, siempre y cuando las condiciones presentadas sean similares a las aquí consideradas. En caso de que se cumplan tales condiciones, se tendrá que la condición de explotación del acuífero será la de equilibrio.

RECOMENDACIONES PARA LA EXPLOTACION FUTURA DEL ACUIFERO

En los años anteriores al período 1977-79, el bombeo registrado es del orden de $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Este valor coincide aproximadamente con el obtenido como bombeo recomendable en un futuro inmediato ($8.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$). Con la destrucción de gran cantidad de obras en el período 1977-79, el bombeo se redujo a la mitad ($4.25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$). Entonces, el incremento en el bombeo a que puede someterse el acuífero corresponde únicamente al volumen anteriormente extraído por tales obras. Es decir, este excedente deberá emplearse en primer lugar para reintegrar lo a sus antiguos usuarios, cuyas obras fueron destruidas o azolvadas. En segundo lugar, puede pensarse en incrementar las zonas de riego del Valle. Como última alternativa, es posible pensar en utilizar este volumen excedente como abastecimiento parcial a la Cd. de Tijuana, cuya problemática ha sido descrita brevemente al inicio de esta tesis.

Es conveniente mencionar la recarga artificial a que pueden someterse los acuíferos, por medio de la intervención del hombre. En algunas ocasiones es posible provocar la recarga de los acuíferos cuando se ha observado que ya están sobre-explotados o para evitar que se llegue a niveles críticos de explotación, como puede ser la presentación de intrusión salina a partir de cierto nivel y se le quiere evitar.

En la actualidad, la recarga de los acuíferos puede realizarse con los llamados pozos de absorción, en los cuales el -

agua es simplemente inyectada al almacenamiento subterráneo; o bien, pueden excavarse zanjas muy angostas y a cierta profundidad, para facilitar la infiltración del agua llovida. Otra alternativa sería la construcción de bordos o diques, con el objeto de almacenar el agua superficialmente. Como se ha elegido — previamente una zona muy permeable, — entonces el agua almacenada se infiltrará con facilidad.

Desafortunadamente la recarga artificial es poco utilizada, ya que requiere de fuertes erogaciones económicas que obviamente no es posible realizar en la mayoría de los casos. Además, es necesario profundizar en la teoría de la recarga, ya que aún existen ciertas incógnitas al respecto.

Debe hacerse hincapié en la importancia de los estudios hidrológicos, pues a partir de ellos puede desprenderse una política de planeación en todos niveles, que contemple la integración de las zonas marginadas de los más elementales servicios públicos, a una forma de vida vinculada al desarrollo del país; más productiva en todos sentidos, más digna, más justa.

El agua no debe ser de ninguna manera un artículo suntuario, como desgraciadamente lo es para millones de mexicanos, — que viéndose privados de ella, viven en condiciones de extrema miseria e insalubridad. Además, cabe recordar aquí, que no únicamente es vital el dotar de agua a todos, sino también el procurar que sea agua de buena calidad, ya que la degradación de los recursos hidráulicos es un problema sumamente grave, al grado de que el 80% de las enfermedades en el mundo tienen su origen directamente en la falta o mala calidad del agua.

C A P I T U L O IX.

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

- 1.- GEOHYDROLOGY.
Roger J. M. de Wiest. John Wiley & Sons. 1965
- 2.- GROUND WATER HYDROLOGY.
David K. Todd. John Wiley & Sons. 1959
- 3.- HYDROLOGY.
Chester O. Wister, Ernest F. Brater. John Wiley & Sons. 1963
- 4.- GROUND WATER
C.F. Tolman Mc. Graw - Hill. 1937
- 5.- EXPLORACION, CUANTIFICACION Y APROVECHAMIENTO -
DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS.
Centro de Educación Continua. UNAM 1978
- 6.- DIAGRAMA DE INFLUENCIA PARA BOMBEOS REGIONALES.
Boletín Técnico No. 29. 1970
- 7.- REVISTA " INGENIERIA HIDRAULICA EN MEXICO ", -
RELACIONES VOLUMETRICAS PARA ALGUNOS ACUIFEROS
SEMICONFINADOS No. 2 Vol. XXIV. 1970
- 8.- REVISTA " INGENIERIA HIDRAULICA EN MEXICO ", PARA
DOJAS DE LOS ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS No. 4 Vol.
XXIII. 1969
- 9.- TRATADOS DE GEOFISICA APLICADA.
José Cantos Figuerola. 1978