

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

1e)
34



**CONDICIONES DE RECARGA DEL ACUIFERO
DE LA PAILA EN EL ESTADO DE COAHUILA**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A**

MAURICIO CARRILLO GARCIA

MEXICO, D. F.

ENERO 1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-232

Al Pasante señor MAURICIO CARRILLO GARCIA,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Jaime A. Tinajero González, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CONDICIONES DE RECARGA DEL ACUIFERO DE LA PAILA EN EL ESTADO DE COAHUILA"

- I. Introducción.
- II. Aspectos básicos.
- III. Hidrología subterránea.
- IV. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 11 de julio de 1980
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPINOZA

~~AS~~
JTE/COAH/ser

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

LISTA DE PLANOS

CAPITULO	PAG.
I INTRODUCCION	1
II ASPECTOS BASICOS	3
GENERALIDADES	3
Localización y actividades económicas	3
ORIGEN Y DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA ..	3
CLIMATOLOGIA	8
GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA	10
Formaciones geológicas que constituyen ecuí- feros	10
Principales formaciones de la zona de estudio	13
HIDROGEOQUIMICA	17
HIDROLOGIA SUPERFICIAL	17
III HIDROLOGIA SUBTERRANEA	20
PIEZOMETRIA	21
Hidrógrafos	21
Planos de curvas de igual profundidad al nivel estático	33

	PAG.
Planos de curvas de igual elevación del <u>ni</u> vel estático	33
Planos de curvas de igual evolución del <u>ni</u> vel estático	34
PRUEBAS DE BOMBEO	34
Hidráulica de pozos	34
Métodos de interpretación	35
RED DE FLUJO	39
HIDROMETRIA SUBTERRANEA.....	42
BALANCE DEL AGUA SUBTERRANEA	42
Ecuación de balance	42
Recarga media anual	60
IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFIA	83

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	EL CICLO HIDROLOGICO	4
2	DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO	7
3	TIPOS DE ACUIFEROS.....	9
4	CUADRO GEOCRONOLOGICO	14
5	GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO DEL POZO No. 9	22
6	GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO DEL POZO No. 18	23
7	GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO DEL POZO No. 25	24
8	GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO DEL POZO No. 41	25
9	GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO DEL POZO No. 100	26
10	GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO DEL POZO No. 108	27
11	ESQUEMA DEL CONO DE DEPRESION Y POZOS DE OBSERVACION.	36
12	CANAL DE FLUJO SUBTERRANEO	40
13	GRAFICA DE AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS PARA EL BOMBEO	59

FIGURA

PAGINA

14	GRAFICA DE AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS PARA LA RECARGA VERTICAL MEDIA ANUAL...	68
15	GRAFICA DE PRECIPITACION Y DE RECARGA VERTICAL ANUAL DE LA ZONA	70

LISTA DE TABLAS

TABLA		PAGINA
1	PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL ACUMULADA DE LAS ESTACIONES DE LA ZONA DE LA PAILA DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO.	11
2	ESTADISTICA PARA EL MES DE CRESTA EN HIDROGRAFOS DE POZOS DURANTE LOS AÑOS DE ESTUDIO	28
3	CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1973	45
4	CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1973.....	46
5	CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1974	47
6	CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1974	48
7	CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1975.....	49
8	CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1975	50
9	CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1976.....	51
10	CALCULO DE SALIDA POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1976.....	52

TABLA

PAGINA

11	CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZON- TAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1977	53
12	CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZON- TAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1977	54
13	CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1978.....	55
14	CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO PARA DICIEMBRE DE 1978.....	56
15	EXTRACCIONES POR BOMBEO EN LA ZONA DE LA PAILA DEL AÑO 1973 a 1978	57
16	CALCULO DEL AJUSTE DEL BOMBEO POR MINIMOS CUADRADOS	58
17	CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PA- RA EL PERIODO 1973-1974.	61
18	CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PA- RA EL PERIODO 1974-1975.	62
19	CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PA- RA EL PERIODO 1975-1976	63
20	CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PA- RA EL PERIODO 1976-1977.	64
21	CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO 1977-1978.	65

TABLA		PAGINA
22	CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO 1973-1978	66
23	VALOR DE LOS RESULTADOS ANUALES DE LOS TERMINOS QUE INTERVIENEN EN LA ECUACION DE BALANCE Y LOS QUE SE UTILIZARON EN EL BALANCE	67
24	ECUACIONES DE RECARGA ANUAL Y AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS PARA OBTENER LA RECARGA MEDIA ANUAL	69

LISTA DE PLANOS

PLANO		PAGINA
1	LOCALIZACION DE LOS APROVECHAMIENTOS SUBTERRANEOS EN LA ZONA DE LA PAILA EN EL ESTADO DE COAHUILA	77
2	CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO PARA DICIEMBRE DE 1978.....	78
3	TRANSMISIBILIDADES DE LA ZONA	79
4	RED DE FLUJO PARA DICIEMBRE DE 1973 Y AREA DE BALANCE	80
5	RED DE FLUJO PARA DICIEMBRE DE 1978..	81
6	CURVAS DE IGUAL EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO PARA EL PERIODO DE 1973 A 1978.	82.

CAPITULO I
INTRODUCCION

Debido a la necesidad de satisfacer las demandas de agua, generadas por - las diversas actividades realizadas por el hombre, su aprovechamiento óptimo requiere de la elaboración de estudios donde intervengan conceptos - tanto técnicos como teóricos.

El presente trabajo se enfoca a la parte de la hidrología correspondiente al agua subterránea y en él se hace el procesamiento de la información de carácter Geohidrológico disponible a la fecha, para la Zona de la "Pai-- la" en el estado de Coahuila, siendo su objetivo el determinar la poten-- cialidad del acuífero que se encuentra en explotación, partiendo de los - resultados obtenidos con el estudio preliminar realizado en el año de -- 1973 por la Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Con la información acumulada respec-- to al comportamiento del acuífero, se planteó la determinación de la Re-- carga Media Anual de éste dentro del período de 1973 a 1978, cuyo conoci-- miento constituye una herramienta valiosa para definir políticas de explo-- tación a futuro.

Para alcanzar los objetivos planteados el desarrollo de éste trabajo fué de la siguiente manera:

En el capítulo II se hacen resaltar las características importantes de la zona de estudios y la necesidad de realizar trabajos de este tipo, en zo-- nas como ésta, además se menciona el origen del agua subterránea y su dis-- tribución en el subsuelo dándose un repaso a los conceptos teóricos más - importantes, comentándose los resultados obtenidos en el estudio prelimi-- nar realizado.

En el capítulo III, al igual que en el capítulo anterior se repasan los - conceptos teóricos y es quizás, el capítulo más importante de este trabajo ya que aquí se incluye todo el procesamiento de la información obtenida, llegándose al planteamiento de las ecuaciones de balance del agua subte-- rránea en forma anual para todo el período analizado, mismas que poste-- riormente se ajustaron por el método de los Mínimos Cuadrados obteniéndose así la recarga media anual y el coeficiente de almacenamiento del acuífero.

Finalmente en el capítulo IV, se hacen comentarios a los resultados obtenidos haciéndose las recomendaciones en los aspectos importantes en base del estudio realizado, de acuerdo al comportamiento del acuífero a través de los resultados obtenidos en el presente trabajo.

CAPITULO II

ASPECTOS BASICOS

GENERALIDADES

Localización y actividades económicas

La zona de "La Paila", se localiza en el norte del País dentro de la Comarca Lagunera en el sur del estado de Coahuila; limita al norte por la Sierra San Salvador y de La Paila, al sur por la Sierra de Parra, al este con límites políticos del Municipio de General Cepeda y al oeste con el límite municipal San Pedro de las Colonias y la laguna de Mayrán, ver plano de localización (1).

Su importancia económica es la producción agrícola y ganadera, siendo sus principales cultivos: El algodón, la vid, el maíz, el trigo, la alfalfa y el sorgo, con un incremento de ganado vacuno en los últimos años.

De acuerdo a su situación Geográfica la zona se caracteriza por tener un clima desértico, vegetación escasa y carencia de corrientes superficiales importantes, excepto el Río Nazas que desemboca dentro de la Laguna de Mayrán; este río cuenta con varios afluentes y presenta flujo base aprovechándose su caudal durante su recorrido a través de los distritos de riego, alimentando a la laguna sólo en períodos extraordinarios de lluvia la cual se presenta en forma por demás escasa; considerándose lo anterior, la fuente de abastecimiento de agua más importante la constituye el depósito subterráneo, el cual debe explotarse en la forma más adecuada posible con el fin de preservar el recurso, auxiliándose de estudios geohidrológicos como el que se plantea en el presente trabajo, ya que de lo contrario se puede llegar a una subreplotación del acuífero acarrear graves consecuencias posteriormente.

ORIGEN Y DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA

El Ciclo Hidrológico representa el continuo movimiento del agua dentro del globo terrestre y consta de cuatro etapas que son: Precipitación, escurrimiento superficial, infiltración, evaporación y transpiración (Ver Fig. 1).

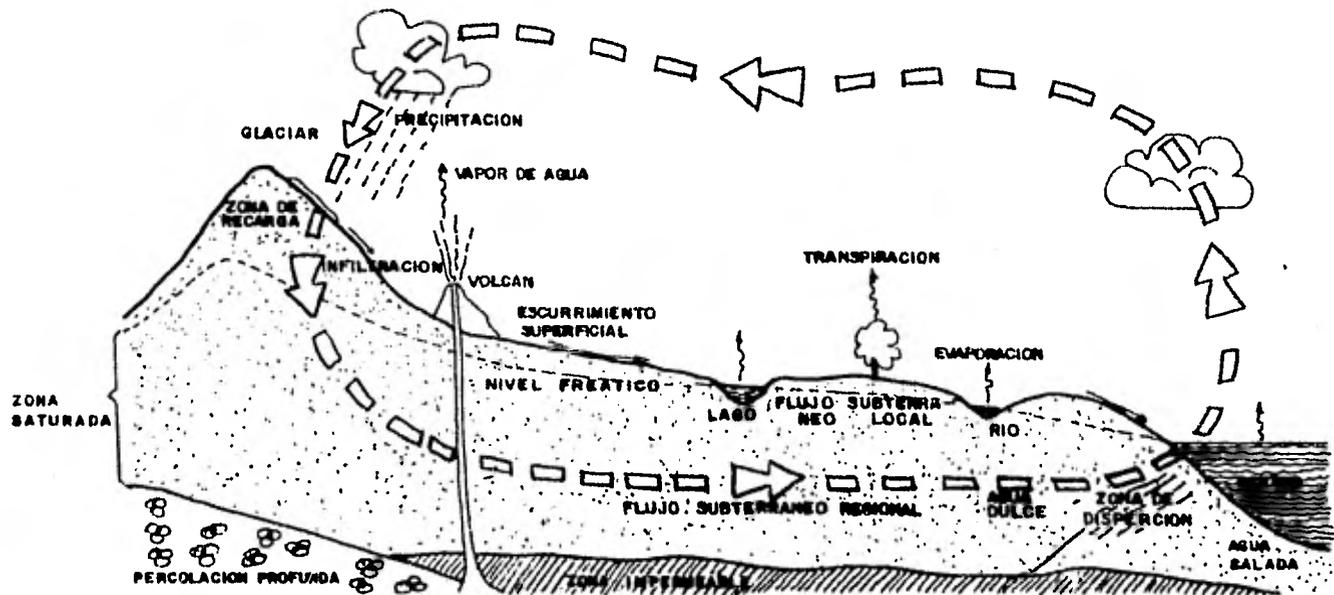


Fig. 1) EL CICLO HIDROLÓGICO

El Ciclo Hidrológico no tiene principio ni fin, por lo que para explicar su comportamiento se puede partir de la evaporación y transpiración que viene siendo el fenómeno de transformación del agua a vapor de agua motivado por el contacto de una superficie húmeda con aire no saturado; la evaporación es ocasionada por procesos físicos y la transpiración por procesos biológicos en las plantas (Ref. 17).

Al evaporarse el agua llega a la atmósfera, formando las masas húmedas, que al condensarse por medios físicos caen a la tierra por efecto de la fuerza de gravedad en estado líquido ó sólido (lluvia, granizo ó nieve) denominándose a este proceso como Precipitación, siendo la fuente de todos los depósitos de agua dulce que se encuentran en la tierra. Del agua precipitada una parte humedece la superficie terrestre y se infiltra alimentando a los depósitos de agua subterránea, siempre y cuando no sea retenida en las capas superficiales; la magnitud de esta recarga depende de varios factores en los que se tiene la pendiente, la permeabilidad de los materiales del suelo, la duración e intensidad de la lluvia y el contenido de humedad del suelo, como los más importantes; el agua que no humedece ni se infiltra escurre superficialmente alimentando ríos y almacenamientos, los cuales pueden aportar cantidades considerables de agua a los acuíferos siempre y cuando se encuentren por encima del nivel freático y con fondo relativamente permeable; la mayoría de los ríos descargan en el mar, excepto los que se generan en cuencas cerradas las cuales generalmente producen lagos, en ambos casos, al depositarse el agua en superficies libres da lugar a la evaporación, continuando nuevamente el ciclo. Del proceso de infiltración parte del agua alcanza a llegar a los depósitos subterráneos produciendo el escurrimiento subterráneo hacia las partes de menor carga piezométrica, la cual en ocasiones está representada por el nivel medio del mar.

La mayor parte del agua subterránea proviene de la precipitación denominándose en algunos casos agua meteórica, pudiendo existir otro tipo de ésta formada dentro de la corteza terrestre producida durante los fenómenos geológicos que hayan tenido lugar, (Ref.4).

La distribución del agua subterránea dentro de las capas del subsuelo se presenta principalmente en dos zonas: Una de Aereación y otra de

Saturación; la primera contiene agua suspendida ocupando parcialmente - los intersticios del subsuelo mientras que la segunda los tiene totalmente saturados considerándose como el agua disponible para su aprovechamiento.

La Zona de Aereación se divide en tres franjas y son: humedad del suelo, intermedia y capilar la primera tiene sólo importancia para la agricultura abasteciendo a las plantas; la segunda contiene agua retenida - por tensión molecular y capilaridad, la cual no se puede aprovechar aun que se encuentre en grandes extensiones sirviendo de paso a la franja - capilar en donde el agua se encuentra a causa de la absorción de fuerzas capilares actuando en contra de la fuerza de gravedad por encima de la zona de saturación, no constituyendo así almacenamientos aprovechables. El agua infiltrada que no es detenida en estas franjas, llega a la Zona de Saturación alimentando al depósito subterráneo produciendo el flujo subterráneo (fig. 2). Los espesores de las franjas de la zona de aereación pueden variar de unos centímetros a decenas de metros pudiendo no existir alguna de ellas dependiendo del tipo de materiales que -- constituyan el subsuelo.

Se puede definir ACUIFERO, como la formación o formaciones geológicas permeables que permiten la circulación y el almacenamiento del agua -- pudiendo extraerse en cantidades significativas para el desarrollo económico.

Los acuíferos tienen dimensiones variables y se pueden encontrar libres ó confinados:

Un acuífero libre, es aquel que tiene su límite superior coincidiendo - con el nivel piezométrico y una presión igual a la atmosférica.

Un acuífero confinado, es aquel que se encuentra entre dos estratos impermeables o confinantes existiendo una presión hidrostática superior a la atmosférica, en el cual la superficie piezométrica no se localiza al mismo nivel del límite superior del acuífero; podemos explicar este fenómeno si perforamos un pozo, al encontrar el nivel del agua empieza a subir a partir del límite superior del acuífero hasta alcanzar la superficie piezométrica, y en casos que se tenga por encima de la superficie terrestre brotará el agua formando un pozo surgente, a los acuíferos -

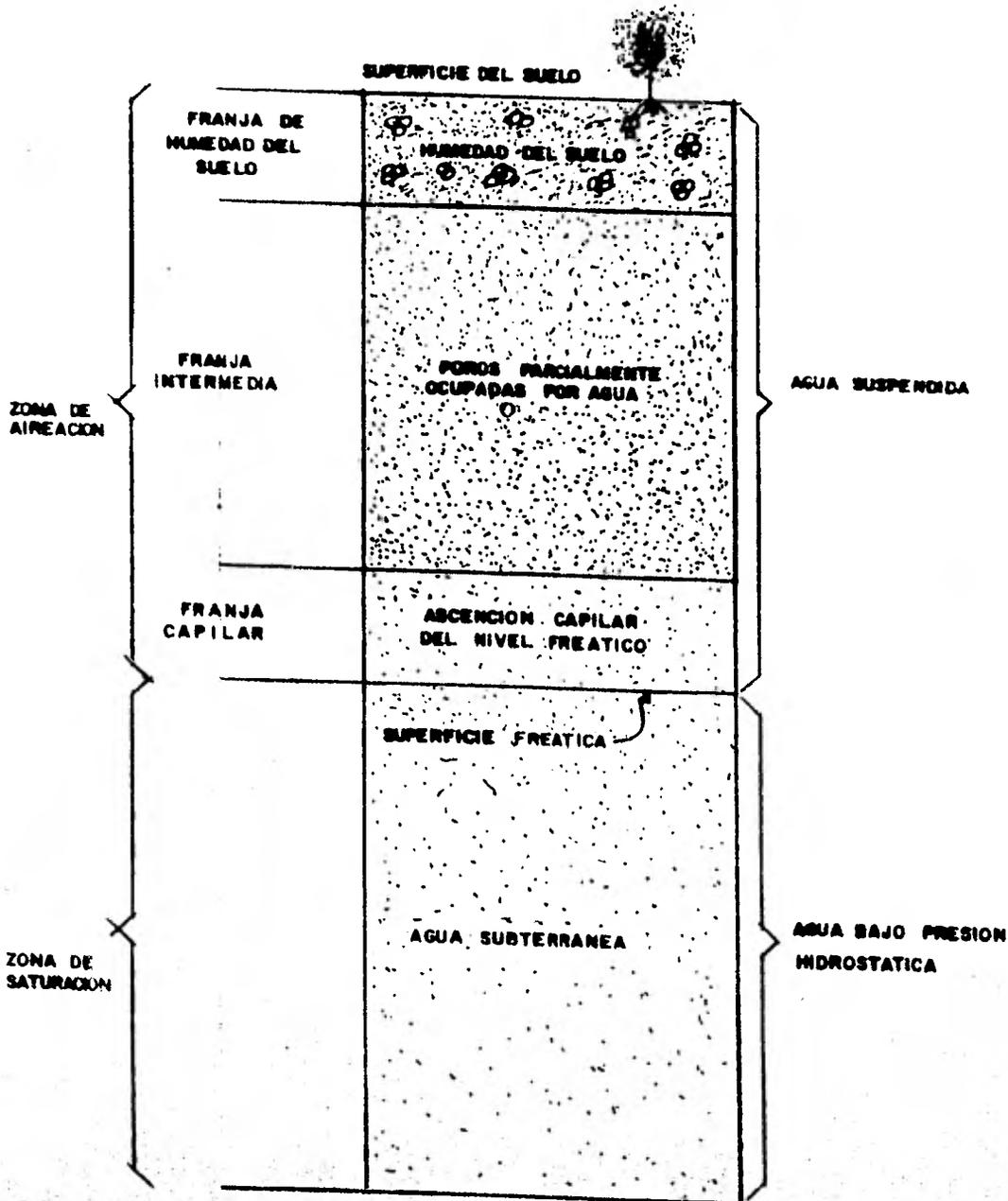


Fig. 2) DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO

confinados también se les conoce con el nombre de acuíferos artesianos (Fig. 3).

CLIMATOLOGIA

La climatología influye principalmente en dos de las componentes del Ciclo Hidrológico, que son: Evaporación y Precipitación, pero en especial en la evapotranspiración; afectando los siguientes factores: radiación, temperatura, duración del día ó insolación, presión, humedad y viento - los que enunciaremos brevemente a continuación.

La radiación, es la emisión y percepción de las radiaciones solares.

Temperatura, es la expresión numérica del efecto que en los cuerpos produce el calor originado por el balance de radiación recibida y emitida.

La duración del día o insolación, que es la medición de la insolación efectiva en vez de radiación solar.

Presión, es el peso de una columna de aire que actúa sobre un determinado elemento de superficie.

Humedad, es la mezcla de aire y vapor de agua, elemento indispensable dentro del Ciclo Hidrológico por ser la fuente de precipitaciones e influye notablemente en la evapotranspiración.

Viento, es el movimiento de las masas de aire debidas a diferencias de presión entre puntos de la atmósfera, (Ref. 3, 16 y 17).

La Precipitación, la podemos definir como la cantidad de agua que cae en una superficie horizontal a la tierra debido a la condensación de las partículas de agua por efectos climatológicos pudiendo caer en forma líquida ó sólida existiendo tres tipos principalmente, según los fenómenos que los acompañen y son: Convectiva, Frontal ó Ciclónica y Orográfica, (Ref. 4, 16 y 17).

La zona de estudio se encuentra en un clima seco desértico con vegetación xerófila ó sin vegetación, con temperatura muy caliente, con un valor promedio de 18 grados centígrados presentándose dos variaciones durante el año, con máximas en los meses de mayo y junio y mínimas en diciembre y enero; todo ésto de acuerdo al procesamiento de los datos registrados en las estaciones climatológicas existentes en el estudio preliminar realizado en 1973 (Ref. 1), al igual que la temperatura y precipitación, la evaporación se presenta en dos etapas durante el año,

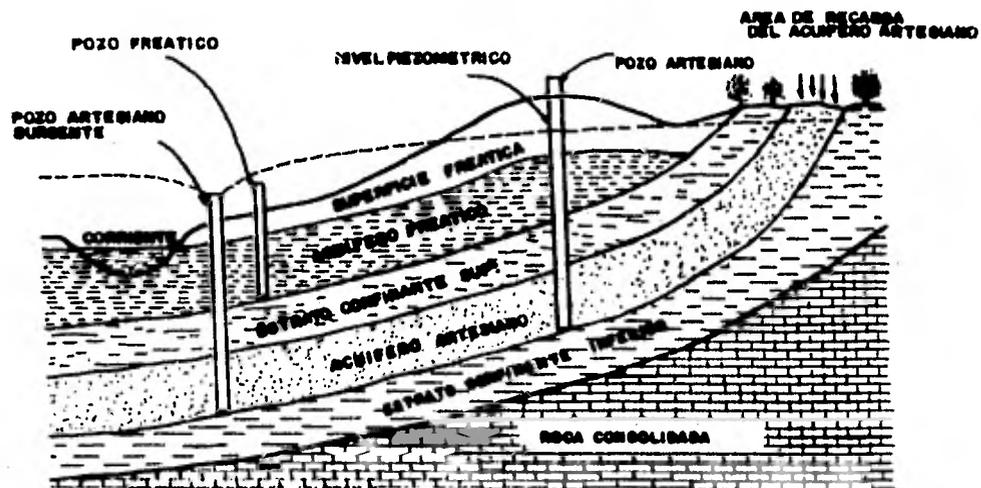


Fig. 3) TIPOS DE ACUIFEROS

fectuándose la primera de marzo a septiembre con evaporaciones mayores de 180 mm. y la segunda de octubre a febrero con evaporaciones menores a 180 mm. registrándose valores mínimos para diciembre y enero.

La precipitación en dicha zona se registró por medio de las estaciones que quedan localizadas dentro del área de estudio, siendo las siguientes: San Vicente, San Carlos, San Pedro de las Colonias y Parras de la Fuente, las cuales arrojaron un promedio de precipitación del orden de 190 mm. durante el período de 1960 a 1970 según resultados del estudio preliminar (Ref. 1). De acuerdo a los valores en el período de 1973 a 1978 (Período del manejo de datos en este trabajo) presentados en la tabla 1, podemos observar que los valores de máxima altura de precipitación se registraron en la estación de Parras de la Fuente, localizada un poco alejada hacia el sur de la zona, con respecto a las otras estaciones que se encuentran más definidas dentro de la zona (Plano 1); basándose en lo anterior y en los datos registrados, se puede decir que la precipitación se presenta aumentando hacia el sur de la zona, observación hecha en el estudio realizado (Ref. 1).

De la estación San Carlos aunque muy representativa, no se contó con sus valores ya que no se registraron.

GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

La Geología es el marco en el cual ocurre el movimiento del agua subterránea, proporcionando las características y distribución de las rocas que existen en una región.

La Hidrogeología, relaciona la Geología con la presencia y movimiento del agua, esto quiere decir que le interesa cual de las formaciones la pueden contener determinando la geometría de los acuíferos y su influencia en la ocurrencia del agua subterránea.

Formaciones geológicas que constituyen acuíferos.

Según su formación existen tres tipos de rocas y son: Igneas, Sedimentarias y Metamórficas, las cuales sirven de marco en el movimiento del agua subterránea.

Las rocas ígneas, son producto de los materiales fundidos, originados a grandes profundidades y que se solidificaron en la superficie o cerca de la superficie terrestre. Las que fueron expulsadas por un cráter se

TABLA I

Precipitación mensual y anual acumulada de las estaciones de la zona de la Paila durante el período de estudio en milímetros.

Estación San Pedro:													
Mes Año.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1973	0.0	24.0	0.0	0.0	27.0	25.0	57.5	95.5	39.0	3.0	0.0	3.0	279.0
1974	2.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	15.0	38.5	28.5	1.5	0.0	14.5	101.5
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	75.0	12.5	4.5	6.5	0.0	23.0	146.5
1976	0.0	0.0	0.0	4.5	14.0	28.5	106.0	3.0	64.5	15.5	40.5	24.3	305.8
1977	13.5	0.0	0.0	22.5	0.0	43.5	22.0	31.0	11.0	23.5	0.0	0.0	167.0
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	12.0	16.0	31.2	153.5	29.0	0.0	0.0	340.7

Estación San Vicente:													
Mes Año.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1973	5.0	19.0	0.0	0.0	11.0	63.0	22.0	97.0	68.0	23.0	0.0	0.0	303.0
1974	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	30.0	74.0	10.0	0.0	13.0	133.0
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	26.0	0.0	20.0	0.0	19.0	105.0
1976	0.0	0.0	0.0	3.0	28.0	16.0	66.0	8.0	22.0	10.0	66.0	14.5	233.5
1977	5.0	0.0	0.0	36.1	27.0	0.0	0.0	37.0	0.0	16.0	0.0	0.0	121.1
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---	---	---	---	---	0.0	4.0	---

TABLA I (CONTINUACION)

Precipitación mensual y anual acumulada de las estaciones de la zona de la Paila durante el período de estudio en milímetros.

Estación Parras de la Fuente:													
Mes AÑO.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	anual
1973	14.7	25.7	2.0	5.6	23.3	52.5	35.0	191.0	152.7	47.2	0.0	4.3	554.6
1974	3.7	0.0	11.0	1.6	3.0	3.1	46.1	69.9	43.2	3.3	0.7	30.4	236.0
1975	2.5	4.5	0.0	0.0	7.3	7.6	94.8	90.7	0.9	20.3	0.0	29.7	264.8
1976	0.1	0.0	0.0	23.1	24.3	18.4	266.6	23.4	107.2	32.9	125.7	29.0	651.3
1977	23.4	Inap	0.0	23.8	43.6	25.8	34.0	35.9	72.7	23.7	0.2	0.3	288.4
1978	3.8	4.9	11.0	1.2	62.9	63.7	102.8	119.7	173.5	22.4	1.4	6.9	589.2

denominan extrusivas, teniendo un enfriamiento relativamente rápido y - las que se solidificaron en el interior de la corteza terrestre se les denomina intrusivas.

Las rocas sedimentarias, son materiales depositados, como sedimentos - provenientes de la erosión e intemperismo de las rocas preexistentes, - esta depositación se puede presentar en el oceano o en las corrientes - que forman las rocas sedimentarias.

Las rocas metamórficas, son ígneas y/o sedimentarias que han sufrido - cambios de presión y temperatura, transformándose a metamórficas.

Las rocas ígneas contienen el agua en las grietas o fracturas ocasiona- das por movimientos de la tierra, encontrándose en mayores cantidades - en las extrusivas debido a que son más porosas y tienen huecos origina- dos por el desarrollo de burbujas de gas producidas por el enfriamiento del magma; como ejemplo de este tipo de rocas se tiene el basalto y la andesita. Las intrusivas con menos cantidades de agua contenida también en sus grietas o fracturas, como el granito, etc.

Las rocas sedimentarias contienen el 95% del agua subterránea y poseen magníficas propiedades acuíferas, como ejemplo de estas rocas se encuen- tra la caliza conteniendo el agua en sus fracturas o grietas y en algu- nas de ellas en conductos ocasionados por la disolución de la roca a -- causa del paso de corrientes de agua dentro de las grietas existentes, también existen las areniscas, la dólmita, etc.

Las rocas metamórficas generalmente no constituyen acuíferos, aportando caudales bajos de agua contenida en las escasas grietas existentes, como ejemplo de este tipo de rocas se tiene la cuarcita, proveniente de aren- iscas, la pizarra formada de la transformación de la lutita.

En la escala geológica del tiempo se han producido cambios en la corte- za terrestre que para el hombre son imperceptibles, extendiéndose las - rocas nuevas sobre las más antiguas, que los geólogos han identificado relacionándolas con los fósiles que éstas contienen, clasificándolas de acuerdo a su edad mediante el cuadro Geocronológico (Fig. 4).

Principales formaciones de la zona de estudio.

La zona de la Paila, orientada de oriente a poniente, está compuesta de un valle formado por sedimentos compuestos de conglomerados con interca

Fig.4) CUADRO GEOCRONOLOGICO

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD MILLONES DE AÑOS	
CENOZOICA	CUATERNARIO	N	RECIENTE	
		E	PLEISTOCENO	
		O		
	TERCIARIO	G	E	PLIOCENO
			N	MIOCENO
		P A L E O G E N O	O	OLIGOCENO
			E	EOCENO
			C	PALEOCENO
			O	
MESOZOICA	CRETASICO	SUPERIOR	95	
		INFERIOR	100	
			135	
	JURASICO	SUPERIOR	160	
		MEDIO		
		INFERIOR		
	TRIASICO	SUPERIOR	220	
		MEDIO		
		INFERIOR		
	PALEOZOICA	PERRICO		
		PENNSYLVANICO		
		MISISIPICO		
DEVONICO				
SILURICO				
CAMBRIANO				

laciones de arcilla y arena formando los fondos de la cuenca y algunos lugares con depósitos de material eólico y lacustre, las sierras que — limitan la zona constan principalmente de rocas sedimentarias con abundancia notable de calizas cretácicas afectadas por intensos movimientos tectónicos los que originaron anticlinales y separación de valles; las sierras tienen crestas poco sinuosas con alturas uniformes y costados — abruptos y surcados por barrancas en forma de "v", las que en sus partes bajas están cubiertas de abanicos aluviales.

La Estratigrafía del acuífero de la zona está compuesta principalmente de las siguientes unidades litoestratigráficas: sedimentarias de origen marino, sedimentarias continentales y en un bajo porcentaje de volcánicas; representando a las primeras se tienen calizas de una edad del cretácico inferior, lutitas, areniscas y calizas del cretácico superior, las segundas son conglomerados, arenas, gravas, limos y arcillas que abarcan a una edad que va del terciario al cuaternario y por último las rocas volcánicas extrusivas que afloran en menor proporción comprendidas por derrames de basalto que posiblemente corresponden al terciario superior.

Del cretácico superior tenemos la formación aurora formando principalmente las sierras que se localizan en la porción norte del área y algunos lugares del sur del valle, cubierta en el extremo sur-este por los depósitos del grupo difunta y sur-oeste por rocas de la formación indidura, constituida principalmente por calizas de colores claro y oscuro en estratos medianos y grandes, alternando con algunos horizontes de yeso, con muy buena permeabilidad debido a que existen abundantes agujeros y cavernas de disolución sirviendo de transmisoras del agua al estar bajo el nivel estático, encontrándose a grandes profundidades en el centro del valle. Del cretácico superior a la formación indidura cubre a las calizas de la formación Aurora y Difunta, formadas principalmente de capas de Lutitas de un espesor del orden de 30 metros, aflorando en el extremo sur de la Sierra Acatita consistente de delgadas lutitas de color gris que intemperizan a café grisáceo, las cuales funcionan como transmisoras de agua hacia las rocas calizas de la formación Aurora debido al abundante fracturamiento de ellas. El grupo Difunta se encuentra aflorando en la porción suroeste del área constituido principalmente

por capas delgadas de areniscas lutíticas de color gris claro y negro, encontrándose en discordancia con la formación Aurora, con planos estratigráficos bien definidos y fracturados, se consideran de mediana permeabilidad.

Del terciario tenemos los sedimentos continentales y rocas de origen volcánico, los primeros son depósitos calcáreos bien cementados con pocos agujeros de disolución de color amarillento a café grisáceo que afloran discordantemente sobre la caliza de la formación Aurora en la porción del sur del área de estudio considerándoseles impermeables que actúan como confinante de las rocas que la subyacen, y depósitos de yeso distribuidos hacia la porción oriental y sur-occidental; los segundos son basaltos que afloran en la porción noroeste, son de grano fino y de olivino con bastantes fracturas considerándose como magníficas transmisoras de agua hacia las rocas del subsuelo.

Del cuaternario representado por los depósitos más jóvenes como los conglomerados que afloran en diferentes lugares, principalmente en las partes bajas del valle, formados de capas arenosas cementadas con limos y arcillas considerándosele como impermeable. Los depósitos de arenas y gravas afloran en el sur y están compuestas principalmente de gravas y arenas de clásticos de caliza con costras de caliche constituyendo abanicos aluviales, se consideran como transmisoras de agua hacia el subsuelo. Depósitos de pie de monte, se encuentran hacia el pie de las Sierras norte y sur del área y están constituidos de clásticos angulosos de arenas y gravas, considerándoseles de mediana permeabilidad, permitiendo el paso de agua a los acuíferos. Depósitos aluviales, localizados en la planicie del valle, están constituidos principalmente de arenas, limos y arcillas con permeabilidad variable formando el acuífero en explotación. Depósitos lacustres, se encuentran en las partes más bajas del valle y son restos de antiguas lagunas de inundación, de arcilla y limos de color claro que presentan baja permeabilidad. Depósitos eólicos, formados por arenas de cuarzo y en proporción menor de feldespatos, distribuidos en las partes centrales del valle, siendo transmisoras de agua hacia las rocas del subsuelo estando por encima de los niveles de saturación regionales, (Ref. 1, 14 y 15)

HIDROGEOQUIMICA

La Hidrogeoquímica se refiere al estudio químico del agua y sus relaciones con las rocas que la contienen para determinar su utilidad, para usos industriales, agrícolas y domésticos.

Los análisis químicos tienen como finalidad encontrar concentraciones de los diferentes iones en solución y la calidad del agua, determinando alguna información acerca de -- las formaciones geológicas que las contengan y transmitan; sirve también para definir direcciones predominantes de flujo subterráneo, áreas de recarga y en forma cualitativa la permeabilidad de las formaciones acuíferas.

En el presente trabajo, sólo hacemos referencia al estudio realizado (Ref. 1) en el que se hizo el ordenamiento y procesamiento analítico de los resultados de los análisis Físico-Químico de las muestras de agua y la elaboración de planos con curvas de igual concentración y relaciones iónicas, llegando a concluir, que la calidad del agua subterránea en el valle es mala por su alta salinidad, con un contenido de sólidos totales disueltos (STD) que varían de -- 1500 a 5000 mg/lto. observándose un incremento de concentraciones del sur al centro del valle, infiriéndose esa dirección de flujo subterráneo horizontal, la cual se comprueba en el capítulo III con la red de flujo determinada con los datos piezométricos.

Al existir un alto contenido de sulfatos se sugiere el contacto con rocas calizas de la parte sur y norte del valle. De los diagramas de Scholler (Ref. 1, 3 y 5) se aprecia que el agua subterránea pertenece a una familia del tipo Sulfato-Sódico-Cálcico.

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

La Hidrología se divide en dos grandes ramas a saber:

Hidrología Superficial e Hidrología Subterránea; la primera considera toda el agua que circula en la superficie te-

restre, mientras que la segunda considera a el agua dentro del subsuelo, tomando en cuenta la infiltración componente del ciclo hidrológico que se puede calcular por métodos indirectos a partir de las demás componentes del ciclo hidrológico (Ref. 16 y 17), tratándose esta rama en el siguiente capítulo.

La Hidrología superficial, estudia la evaporación, transpiración, precipitación y escurrimiento superficial (Conceptos descritos en los subcapítulos anteriores).

La precipitación como ya se mencionó, en la zona de estudio cae en forma escasa, su registro se obtuvo por medio de las estaciones climatológicas localizadas dentro de la zona para todo el período de estudio (1973-1978) ver tabla 1, y durante los años 1960 a 1973 tabulados en el estudio realizado con anterioridad (Ref. 1), en el cual se presentan planos de curvas de igual precipitación media (Isoyetas), planos de curvas de igual evaporación media anual, curvas de igual temperatura anual (Isotermas).

En lo que se refiere al escurrimiento superficial, la zona de estudio queda localizada dentro de la región hidrológica No. 36 de la división Hidrológica de la S. A. R. H. formada por la cuenca del Río Nazas y Aguanaval, situada en la porción sur de la cuenca cerrada de la Laguna de Mayrán, recibiendo escasas aportaciones del Río Nazas que nace en los flancos de la Sierra Madre Occidental, siendo del tipo torrencial, registrando grandes avenidas las que son controladas por medio de presas y canales que permiten la irrigación de grandes extensiones de cultivo (Ref. 1); las corrientes mencionadas son las únicas de importancia, ya que los arroyos que descargan en la Laguna de Mayrán no tienen cauces definidos por la escasez de lluvia y la poca pendiente que tienen dentro del área; aunque el Río Nazas es grande y presenta flujo base y varios afluentes, como aportador a la Laguna de Mayrán se considera como nulo, ya que su escurrimien

to se aprovecha en los distritos de riego que atraviesa, - alimentando a la laguna únicamente en períodos extraordinarios de lluvia, razón por la cual se ha ido produciendo su desecamiento, observándose un incremento de este fenómeno en los últimos años.

CAPITULO III

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

La Hidrología Subterránea o Geohidrología, es la rama de la Hidrología que se ocupa de la ocurrencia, distribución y movimiento del agua subterránea, así como los métodos empleados para la investigación, utilización y conservación de la misma.

Como se mencionó con anterioridad, una parte del volumen de agua precipitada se infiltra en el subsuelo recargando los acuíferos, en un cierto grado que depende de las condiciones geológicas y climatológicas, este volumen infiltrado no es posible calcularlo indirectamente, aunque existen métodos entre los que se tiene el análisis del Ciclo Hidrológico y la aplicación de los coeficientes de infiltración a las formaciones geológicas que afloran en las zonas estudiadas, pero son poco confiables debido al gran número de variables que lo afectan. La cuantificación del agua subterránea se hace en forma más confiable aplicando el método del "Balance del Agua Subterránea" el cual trabaja con el comportamiento del acuífero, basándose en el principio de la conservación de la materia aplicada en él, ya que en un intervalo de tiempo dado se suceden recargas y descargas -- que hacen variar el almacenamiento de agua existente incrementándolo, disminuyéndolo o permaneciendo constante. La ecuación del balance del agua subterránea tiene como principal objetivo la determinación de la recarga vertical del -- acuífero para posteriormente poder hacer planteamientos respecto al manejo adecuado del recurso.

Para poder llevar a cabo un estudio de cuantificación del agua subterránea, el punto de partida es la obtención de -- los datos piezométricos del acuífero, siendo éstos los que reflejan su comportamiento como una respuesta a recargas y descargas.

PIEZOMETRIA

Es la medición de las fluctuaciones de los niveles estáticos por medios naturales o artificiales, denominándose nivel estático, a la superficie del agua en un pozo que no esté afectada por el bombeo propio o de pozos vecinos, en contraposición el nivel dinámico es la superficie del agua - que se ve afectada por el bombeo. Esta medición generalmente se hace pe ríodica, por medio de sondas eléctricas (Ref. 6) en pozos seleccionados, llamados pozos pilotos, los cuales deberán estar distribuidos espacialmente en la zona de estudio con el fin de tener suficiente información - para conocer la forma de la superficie piezométrica representativa del - área de estudio.

Para este trabajo se contó con 92 pozos piloto de los cuales se obtuvo toda la información piezométrica dentro del intervalo de estudio que cubre de 1973 a 1978 (ver plano 1 para su localización). La información - de cada pozo se tiene en tablas de lecturas periódicas (Ref. Archivo de la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas) tomadas de la siguiente manera: Para el año de 1973 se tomaron en los meses de mayo, julio, septiembre y noviembre, en 1974 y 1975 las lecturas se efectuaron mensual mente durante el año, y de 1976 a 1978 se realizaron bimestralmente. Del procesamiento de esta información se obtuvieron las siguientes gráficas : Hidrógrafos de pozos, planos de igual profundidad de la superficie piezomé trica, de igual elevación piezométrica y planos de evolución del nivel es tático.

HIDROGRAFOS

Son la representación gráfica del comportamiento del nivel estático con - respecto al tiempo, en el cual se notan los períodos de recarga y descarga del acuífero, a través de los ascensos y descensos de los niveles. Es te tipo de gráficas se elaboraron para todos los pozos pilotos con el fin de mostrar el comportamiento del acuífero, obteniéndose a partir de ellos el período de análisis más conveniente bajo el criterio de determinar el ciclo de recarga, para este fin se llevó a cabo una estadística corres pondiente al mes en el que se presentó el máximo pico durante el año. Del análisis mencionado, se obtuvo que el mes de diciembre es en el cual se - presenta con mayor frecuencia (Tabla 2). Como ilustración de estos hi- drógrafos se presentan sólo 6 de los 92 dibujos (Figuras de la 5 a la 10)

Fig. 5) GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

ESTADO DE CDHUJILA

ZONA LA PAILA

POZO N° 9

ELEVACION DEL BROCAL 1136.084

(m. s. n. m.)

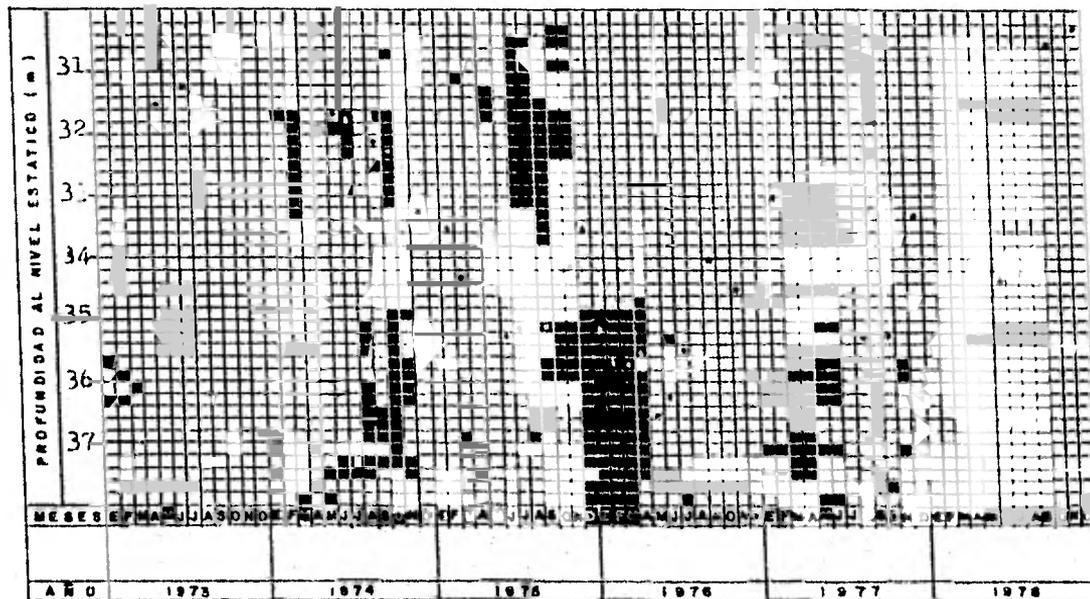


Fig. 7) GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

ESTADO DE COAHUILA

ZONA LA PAILA

POZO N° 25

ELEVACION DEL BROCAL 1110.55
(m.s.n.m.)

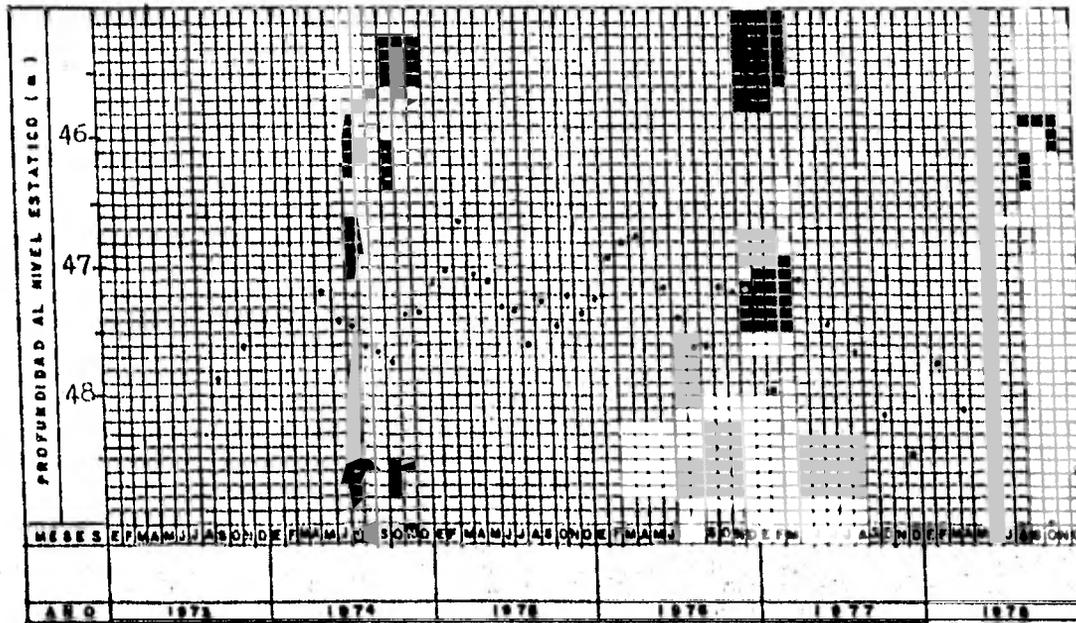


Fig. 8) GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

ESTADO DE COAHUILA

ZONA LA PAILA

POZO N° 41

ELEVACION DEL BROCAL 1124.714
(m.s.n.m.)

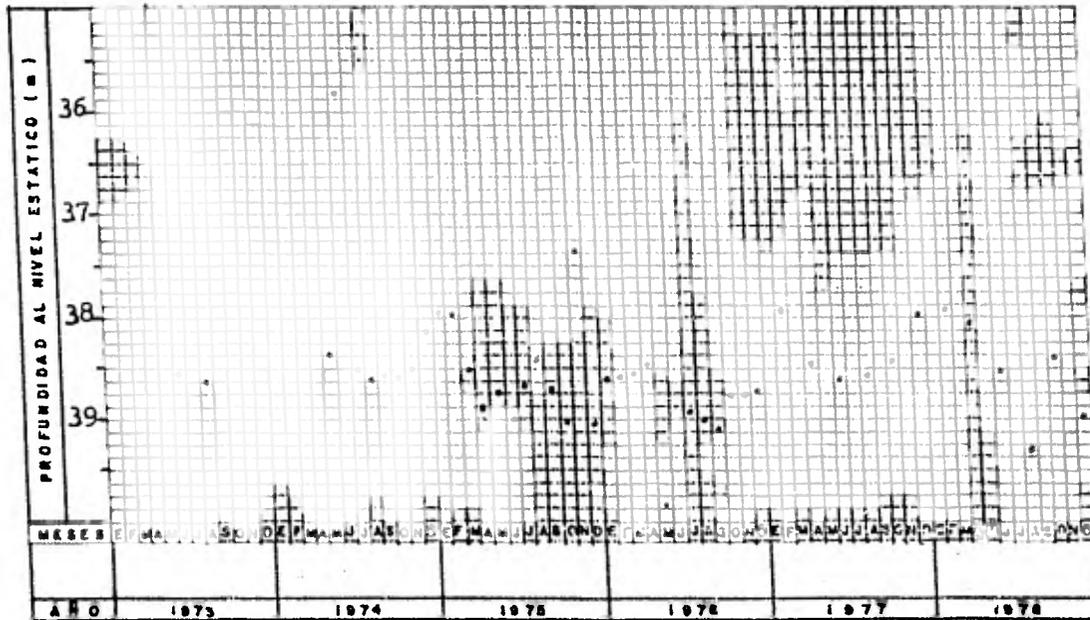


Fig. 9) GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

ESTADO DE COAHUILA

ZONA LA PAILA

POZO N° 100

ELEVACION DEL BROCAL 1137.018
(m.s.n.m.)

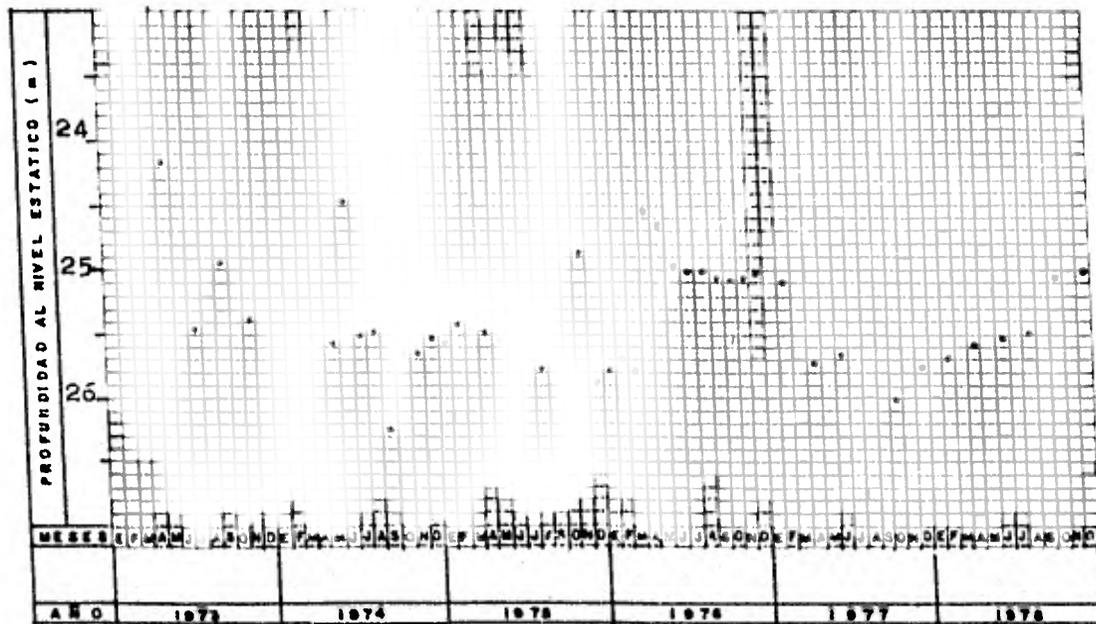


TABLA 2

Estadística para el mes de cresta en hidrógrafos de pozos durante los años de estudio.

Pozo No. / Año	1973	1974	1975	1976	1977	1978
1		Nov.	Nov.	Mar.	Oct.	Abr.
2	Mar.	Nov.	Mar.	Dic.	Dic.	
4	May.	Dic.	Nov.	May.	Oct.	Dic.
5	Jun.	Sep.	Oct.	Nov.	Oct.	Dic.
7	Jun.	Oct.	Feb.	Ene.	Jun.	Dic.
9	Nov.	Jun.	Dic.	Sep.	Dic.	Dic.
10	Sep.	Ago.	Feb.	Mar.	Sep.	Feb.
11	Nov.	Dic.	Ene.	Dic.	Oct.	Oct.
13		Ene.	Ago.	Feb.		
14	Nov.	Nov.	Ene.	Nov.	Feb.	Dic.
15	Nov.	Nov.	Ene.	Dic.	Ago.	Dic.
16	Nov.	Oct.	Nov.	Ago.	Ago.	Dic.
18	Sep.	May.	Nov.	Ene.	Feb.	Abr.
19	Nov.	Nov.	Feb.	Feb.		Dic.
24	Nov.	Ago.	Jun.			
25	Nov.	May.	Mar.	Sep.	Abr.	Feb.
26	Sep.	Nov.	Mar.	Feb.	Dic.	Dic.
28	May.	Dic.	Mar.	Mar.	Dic.	
29	Sep.	Dic.	Mar.	Feb.	Feb.	
31	Nov.	Dic.	Feb.	Feb.		Dic.
32	Nov.	Dic.	Feb.	Nov.	Oct.	Dic.
33	Nov.	Ago.	Dic.	Mar.	Oct.	Dic.
34	Nov.	Dic.	Feb.	Dic.	Dic.	Dic.

TABLA 2 (CONTINUACION)

Año Pozo No.	1973	1974	1975	1976	1977	1978.
35	Nov.	Dic.	Feb.	Feb.		
36	Nov.	Nov.	Feb.	Abr.	Dic.	Jun.
37	Nov.	Dic.	Feb.	Dic.	Dic.	Feb.
38	Nov.	Dic.	Nov.	Oct.	Dic.	Dic.
39	Nov.	Dic.	Nov.	Dic.	Dic.	Feb.
40	Jul.	Jul.	Nov.	Dic.	Dic.	Feb.
41	Sep.	Jun.	Nov.	May.	Feb.	Oct.
42	Nov.	Nov.	Nov.	Abr.	Dic.	Feb.
43	Nov.	Nov.	Mar.	Ene.	Oct.	Oct.
44	May.	Nov.	Dic.	Nov.	Feb.	Jun.
45	Nov.	Sep.	Nov.	May.		
46	Sep.	Sep.	Nov.			Oct.
47	Nov.	Ago.	Ago.	Abr.	Abr.	Feb.
48		Sep.	Mar.	Jul.	Oct.	Oct.
66		Feb.	Nov.	Nov.	Ago.	Dic.
67	Nov.	Oct.	May.	Oct.	Oct.	Dic.
69	Nov.	Oct.	Ene.	Oct.	Oct.	
70	Nov.	Jun.	Feb.	Mar.	Feb.	Dic.
74	May.	Jun.	Feb.	Mar.	Dic.	Feb.
76	Sep.	Ago.	Sep.	Sep.		Dic.
77	Sep.	Jun.	Mar.	Feb.	Feb.	Feb.
79	Sep.	Jun.	Feb.	Ene.	Dic.	Dic.
82	Nov.	Nov.	Feb.	Sep.	Dic.	Dic.
83	Nov.	Oct.	Oct.	Oct.	Dic.	Feb.
84	Nov.	Nov.	Nov.	Oct.	Dic.	Oct.
85	May.	Nov.	Ene.	Dic.	Oct.	Dic.
86	May.	Dic.	Mar.	Feb.	Jun.	Oct.
	Nov.	Nov.	Abr.	Sep.	Dic.	Ago.

TABLA 2 (CONTINUACION)

Pozo No.	Año	1973	1974	1975	1976	1977	1978
87		Nov.	Jun.	Mar.	Feb.	Dic.	Dic.
88		Sep.	Dic.	Dic.	Dic.	Dic.	Dic.
90		Jul.	Nov.	Mar.	Jul.	Dic.	Dic.
91				Ene.	Ene.		
92			Ene.	Ene.	Oct.	Ago.	Oct.
95			Feb.	Feb.	Jun.	Dic.	Feb.
97		Jul.	Jun.		Ago.	Jun.	
99				Dic.	Jul.	Feb.	Oct.
100		May.	Jun.	Nov.	Abr.	Feb.	Dic.
101		Jul.	Jun.	Feb.	Ene.	Feb.	Feb.
108		Nov.	Dic.	Feb.	Mar.	Abr.	Abr.
109		Sep.	Dic.	Feb.	Mar.	Oct.	Abr.
111		Sep.	Dic.	Ene.	Jun.	Dic.	Feb.
112		Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Feb.	Feb.
113		Nov.	Dic.	Mar.	Feb.	Feb.	Feb.
115		Nov.	Dic.	Dic.	Feb.	Abr.	Dic.
116		Nov.	Sep.	Ene.	Ene.	Dic.	Dic.
117		Nov.	Dic.	Dic.	Ene.	Dic.	Dic.
118		Nov.	Dic.	Feb.	Abr.	Abr.	Abr.
119		Nov.	Mar.	Mar.	Dic.	Oct.	Feb.
121		Jul.	Nov.	Oct.	Dic.	Abr.	Feb.
122		Nov.	Oct.	Dic.	Dic.	Ago.	Abr.
124		May.	Nov.	Ene.	Dic.	Ago.	Jun.
131		Jun.		Ene.	Abr.	Oct.	Feb.
177		Nov.	Dic.	Dic.	Abr.	Feb.	Ago.
183				Nov.	Dic.	Feb.	Abr.

TABLA 2 (CONTINUACION)

Hojo No. \ Año	1973	1974	1975	1976	1977	1978
184	Nov.	Jun.	Feb.	Dic.	Feb.	Oct.
194			Abr.	Nov.	Jun.	Feb.
195			Feb.	Oct.		Dic.
196			Dic.	Nov.		
197			Sep.	Abr.	Oct.	
198			Jul.	Mar.	Oct.	Dic.
199			Dic.	Dic.	Dic.	
200			Mar.	Feb.	Abr.	Oct.
204			Sep.	Oct.	Dic.	Oct.
205				Sep.		
221			Ene.	Oct.	Oct.	Dic.
222			Ene.	Feb.	Dic.	Abr.
223			Mar.	Jun.	Abr.	Feb.
224			Mar.	Nov.	Dic.	Dic.
228			Ene.	Dic.		Oct.

TABLA 2 (CONTINUACION)

Mes	Frecuencia						Totales
	1973	1974	1975	1976	1977	1978	
Enero	0	2	15	8	0	0	25
Febrero	0	2	20	14	15	20	71
Marzo	1	1	15	9	0	0	26
Abril	0	0	2	8	8	8	26
Mayo	8	2	2	3	0	0	15
Junio	3	11	1	3	4	3	25
Julio	5	1	1	3	0	0	10
Agosto	0	5	2	2	6	2	17
Septiembre	11	4	3	6	1	0	25
Octubre	0	6	3	9	17	13	48
Noviembre	40	17	14	8	0	0	79
Diciembre	0	22	11	16	27	32	108

Máxima Frecuencia: Diciembre con 108

pudiéndose observar la variación de los niveles en el período de estudio en los diferentes sitios de la zona.

Planos de igual profundidad del nivel estático.

Son la representación en planta de la profundidad de la superficie piezométrica con respecto a la superficie topográfica; este concepto se ilustró con el plano de curvas de igual profundidad al nivel estático para diciembre de 1978 (Plano 2), y con él se pueden definir zonas apropiadas para la explotación desde el punto de vista de costos de bombeo y profundidad mínima a la que deben perforarse los pozos. Las curvas de igual profundidad se obtuvieron interpolando entre los puntos correspondientes al valor de la profundidad de cada pozo. No se elaboraron este tipo de planos en años anteriores porque no intervienen en la ecuación de balance y sólo nos interesaría en condiciones actuales.

Planos de igual elevación del nivel estático.

Es la representación de la superficie piezométrica referida a un plano horizontal, que para este caso y en general se toma el nivel medio del mar; la forma de conocer la posición del nivel del agua con respecto al nivel medio del mar es por medio de una nivelación diferencial del brocal de los pozos seleccionados como piloto. En acuíferos libres como el de la zona de estudio, la superficie piezométrica coincide con la freática. La elaboración de dichos planos se hizo determinando todas las elevaciones correspondientes a cada pozo sobre el plano de localización y con estos puntos hacer la interpolación de las curvas que tuvieran igual elevación del nivel estático, tomándose en cuenta las características hidrológicas y geológicas de la zona. Las configuraciones elaboradas corresponden a diciembre de cada año por tratarse del mes en que los niveles del acuífero no se encuentran influenciados por el bombeo. Este tipo de configuraciones constituyen la base para el trazo de la red de flujo subterráneo, siendo las llamadas líneas equipotenciales a las que cortan ortogonalmente líneas de corriente que permiten definir canales de flujo con los que se identifican las zonas de entrada y salida del flujo horizontal subterráneo. Como ilustración en los planos 4 y 5 se muestran las configuraciones correspondientes a este concepto los que posteriormente se utilizaron para calcular el caudal que entra o sale dentro del área de balanceo, siendo los términos de la ecuación de balance denominados E_h y G_h respectivamente.

Planos de curvas de igual evolución del nivel estático

Son planos que representan curvas de igual valor del cambio que sufre el nivel estático en un determinado intervalo de tiempo; se elaboran con el apoyo del plano de localización de aprovechamientos, interpolando entre los puntos correspondientes a la diferencia de niveles estáticos, de los valores inicial y final del intervalo de tiempo dado. En este trabajo se elaboraron planos para períodos anuales desde 1973 a 1978 y uno para todo el período, en los cuales se observaron los abatimientos y recuperaciones que tuvieron lugar como consecuencia del comportamiento del acuífero, se presenta como ilustración el de todo el período (Plano 6); siendo además los que se utilizaron para calcular el cambio ΔV correspondiente.

PRUEBAS DE BOMBEO

En muchos casos, las pruebas de bombeo sólo se realizan para observar el comportamiento del pozo frente al rendimiento y abatimiento del mismo y así mismo poder seleccionar el equipo permanente que se ajuste a sus características; sin embargo, también se elaboran pruebas con otros propósitos de gran importancia, ya que por medio de ellas se pueden determinar características esenciales de los depósitos del agua subterránea, las cuales no se podrían establecer de alguna otra manera. Esto ha sido posible gracias al conocimiento de la Hidráulica de Pozos y el desarrollo de las técnicas de interpretación aplicadas a la información proporcionada por estas pruebas.

Hidráulica de Pozos

Los pozos son estructuras en las cuales se han hecho estudios para establecer el comportamiento de éstos durante una extracción de agua y la manera en que el tiempo, la distancia y abatimiento tienen lugar, suponiendo un acuífero idealizado, (Ref. 3, 4 y 6).

Al iniciarse el bombeo en un pozo se sucede un descenso en el nivel estático (abatimiento), fluyendo el agua en todas direcciones hacia el pozo en forma radial, debido a la carga hidráulica representada por la diferencia entre el nivel del agua dentro del pozo y el existente en su entorno, teniéndose el máximo descenso dentro del mismo y haciéndose más pequeño conforme aumenta la distancia al pozo, hasta llegar a un punto que no es afectado por el bombeo, teniendo un abatimiento nulo, a la de-

presión de esta manera en los niveles del agua se le conoce como cono de abatimiento (Fig. 11) y su geometría depende de las características del acuífero, pendiente del nivel freático y recarga dentro del área.

Definiremos a continuación, algunas características de los acuíferos que se obtienen mediante la interpretación de pruebas de bombeo.

Transmisibilidad (T).- se define como el caudal que fluye a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario y altura igual al espesor saturado del mismo, cuando el gradiente hidráulico es igual a la unidad; también se define como el producto de la permeabilidad por el espesor saturado.

Coefficiente de permeabilidad (K).- Se define como el caudal que circula a través de un área unitaria del medio poroso bajo un gradiente unitario.

Coefficiente de almacenamiento (S).- Se define como la cantidad de agua tomada o cedida del almacenamiento del acuífero por unidad de área superficial cuando se produce un cambio unitario de carga.

Al extraerle un caudal a un pozo, éste puede encontrarse en alguno de los estados que enunciaremos a continuación y que son básicos en la interpretación de las pruebas de bombeo.

Flujo establecido, se presenta cuando existe una recarga vertical y él como se encuentra extendido en las proximidades del pozo, sin variar las características geométricas de éste.

Flujo transitorio (Régimen de no equilibrio), se presenta cuando el cono de depresión se va extendiendo indefinidamente con el tiempo.

Métodos de interpretación.

Existen métodos para calcular las características del acuífero para flujo establecido, que para su aplicación tienen que cumplir con ciertas hipótesis, debiendo tener para este efecto cuando menos un pozo de observación (Ref. 3, 4 y 6).

En las pruebas de bombeo realizadas en el estudio preliminar en 1973 y las desarrolladas posteriormente por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por medio de la Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas, se aplicó el método de Jacob que viene siendo una simplificación práctica al método de Theis para flujo Transitorio, descrito brevemente a continuación:

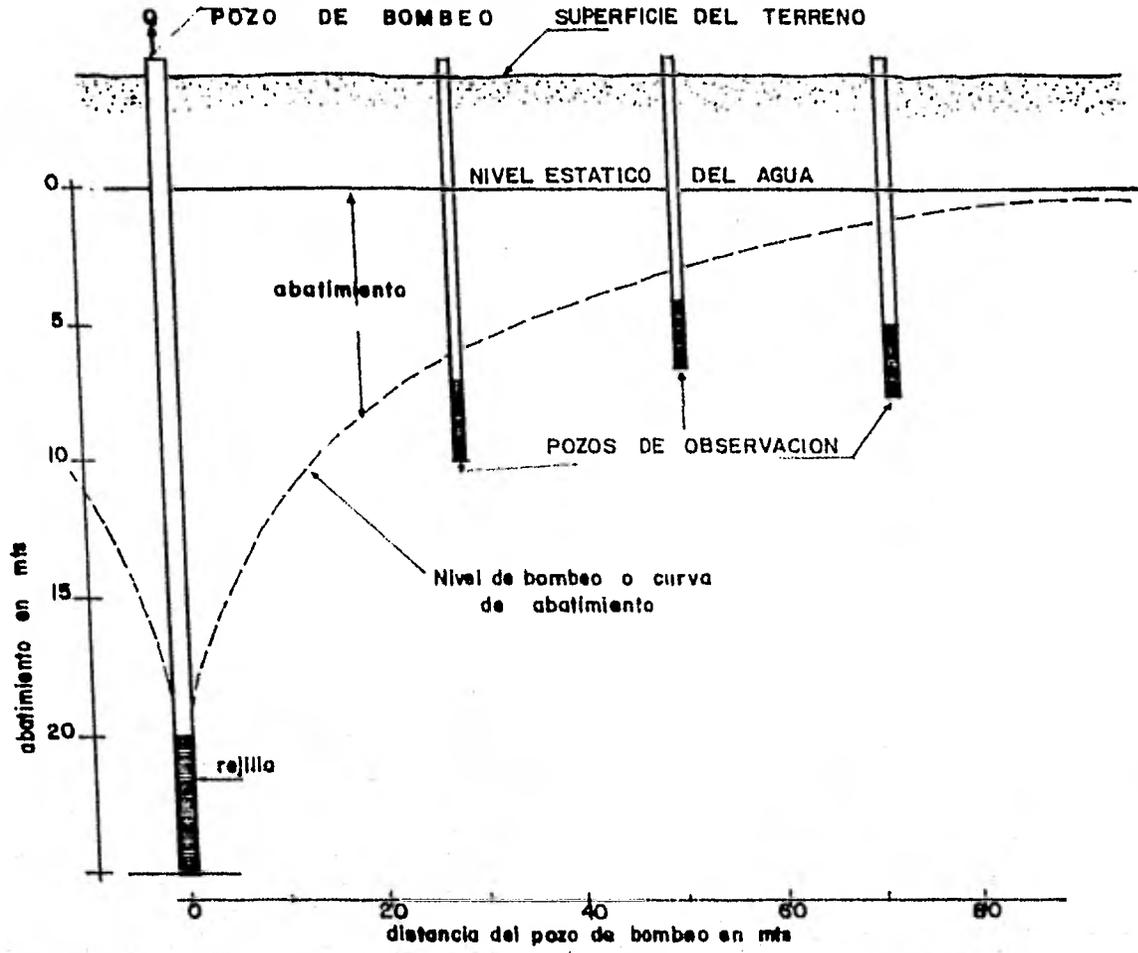


Fig. II) ESQUEMA DEL CONO DE DEPRESION Y POZOS DE OBSERVACION

La fórmula propuesta es:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad \text{----- 1}$$

en donde

s = Abatimiento

Q = Caudal de bombeo

T = Transmisibilidad de los acuíferos

W(u) = Función de pozo "u" que es una forma de representar la integral exponencial.

$$W(u) = \int_0^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = (-0.5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \times 2!} +$$

$$+ \frac{u^3}{3 \times 3!} - \frac{u^4}{4 \times 4!} \dots \dots \dots) \quad \text{----- 2}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tst} \quad \text{----- 3}$$

r = Distancia al pozo de bombeo

t = tiempo de bombeo

S = Coeficiente de almacenamiento del acuífero

T = Transmisibilidad

Para su aplicación Theis desarrolló un método gráfico de solución para determinar los parámetros T y S, siempre y cuando se cumpla con las siguientes hipótesis:

- a.-) El acuífero es homogéneo e isótropo.
- b.-) El espesor saturado del acuífero es constante.
- c.-) El acuífero tiene extensión lateral infinita.
- d.-) El bombeo del pozo es a costa del almacenamiento.
- e.-) El pozo penetra totalmente en el acuífero.
- f.-) El agua del acuífero es liberada instantáneamente con el abatimiento.

Las cuales aplicándolas con rigor en la realidad es imposible de cumplir, pero que al hacer suposiciones razonables se puede aplicar el método sin llegar a tener grandes errores (Ref. 3, 4, 6 y 9).

El método de Jacob, como se había mencionado, es una simplificación del método de Theis, pues encontró que para tiempos largos ($t > 5r^2/T$) los valores de "u" resultan lo suficientemente pequeños para que la fórmula 1

pueda modificarse sin error significativo a la forma:

$$S = \frac{2.3}{4 \pi T} \text{ Log } \frac{2.25 Tt.}{r^2 \times S} \dots\dots\dots 4$$

y desarrolló el método gráfico de interpretación que lleva su nombre y consiste en el siguiente procedimiento:

- a.-) Construir la gráfica, abatimiento (escala aritmética) contra tiempo (escala logarítmica).
- b.-) Pasar una recta por los puntos que se alinean y determinar su pendiente.
- c.-) Aplicar la fórmula:

$$m = \frac{0.183 Q}{T} \dots\dots\dots 5$$

$$T = \frac{0.183 Q}{m} \dots\dots\dots 6$$

- d.-) Determinar el valor de t_0 para la cual la prolongación de la recta de ajuste intercepta a la línea de abatimiento nulo.
- e.-) Calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la expresión:

$$S = \frac{2.25 T \times t_0}{r^2} \dots\dots\dots 7$$

La ecuación No. 4 nos define una recta graficada en papel semilogarítmico cuya pendiente la podemos calcular gráficamente, dividiendo el abatimiento entre el tiempo en un ciclo; hay factores que intervienen en la interpretación de dichas pruebas como recargas, fronteras impemeables, etc., los cuales en ocasiones modifican la recta invalidando las hipótesis (Ref. 9).

Para conocer el valor de los parámetros mencionados, T y S, dentro de la zona de estudio, se hicieron varias pruebas de bombeo, espaciadas en la zona; con los resultados obtenidos se elaboró el Plano de transmisibilidades (Plano 3) en el que se muestra el caudal (Q), caudal específico (Q/s, Caudal entre abatimiento) y Transmisibilidad (T).

RED DE FLUJO

Es la malla formada por las líneas equipotenciales (curvas de igual elevación del nivel estático y las líneas de corriente; quedando perpendiculares entre sí (fig. 12). Entre dos líneas de corriente se forma un canal de flujo en el que se puede calcular el gasto que fluye entre dos líneas equipotenciales, tomando en consideración la ecuación de Darcy, la cual establece que la velocidad aparente del flujo de agua a través de medios porosos es proporcional a la pérdida de carga, e inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria, expresándose matemáticamente de la siguiente manera:

$$V = K \frac{h}{L} = Ki \dots\dots\dots 8$$

en donde;

V = Velocidad

K = Coeficiente de permeabilidad (constante de proporcionalidad)

$i = \frac{h}{L}$ = Gradiente hidráulico

h = Carga hidráulica (diferencia entre equipotenciales).

L = Longitud de trayectoria (longitud entre equipotenciales).

Y de acuerdo al principio de continuidad

$$Q_1 = Q_2 = \dots\dots\dots = AV$$

por definición

$$T = Kb$$

De donde

$$K = \frac{T}{b} \quad \text{y} \quad A = Bb$$

Que al substituir en la ecuación 8 y del principio de continuidad

$$Q = Tbi \dots\dots\dots 9$$

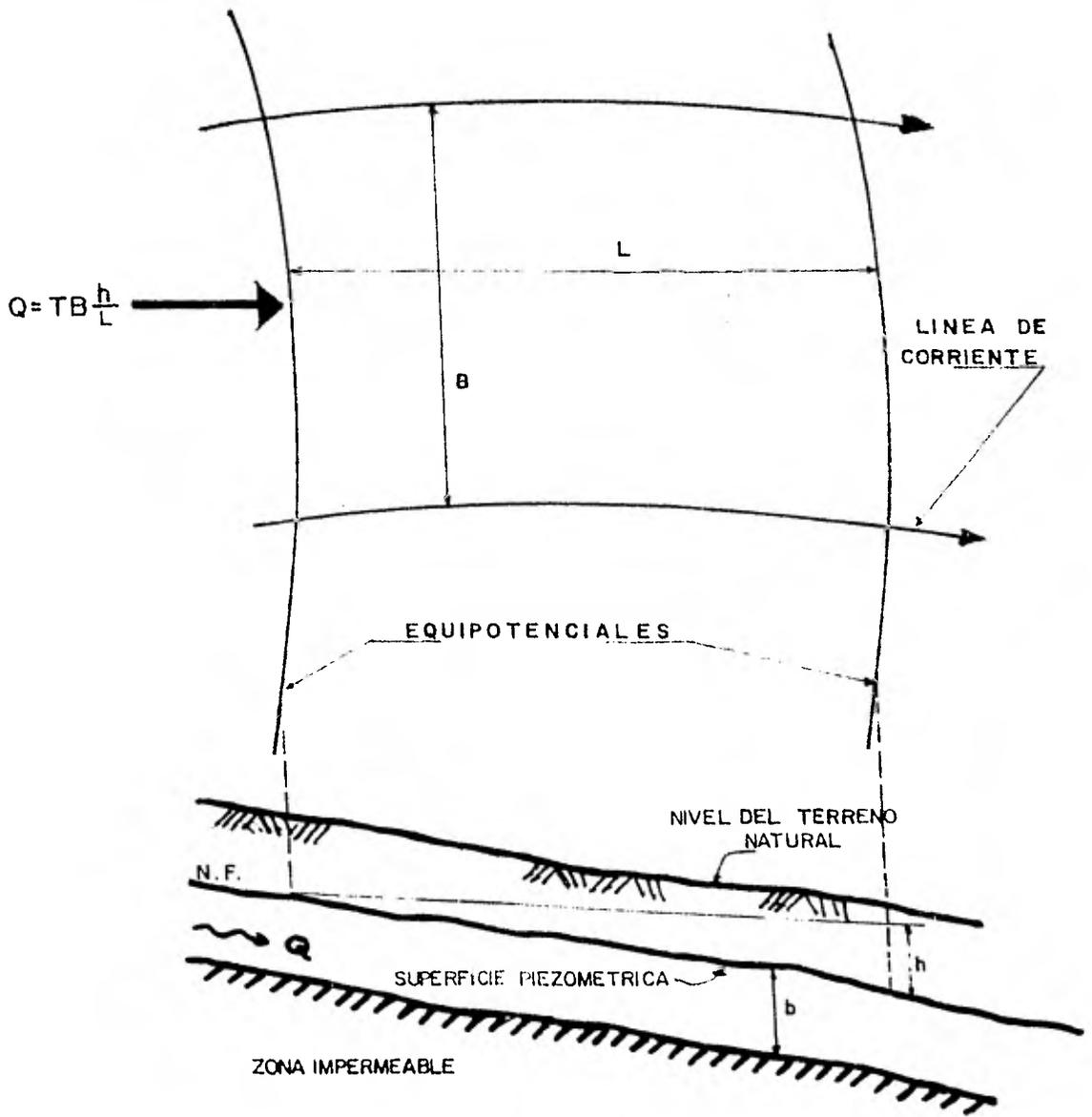


Fig.12) CANAL DE FLUJO SUBTERRANEO

cuyos términos son:

T = Transmisibilidad

B = Ancho medio del canal de flujo

i = Gradiente hidráulico

Quedando esquemáticamente representado en la Fig. 12.

Como ilustración a este concepto se presentan los planos 4 y 5, los -
cuales muestran la red de flujo para los años 1973 a 1978, observándo
se que el flujo horizontal subterráneo se dirige del sur al centro --
del valle en todos los años, así como la existencia de un parteaguas
sobre la población Perla del Carmen, tal y como se había inferido en
los planos de curvas de igual contenido ^{de} sólidos totales disueltos y -
la red de flujo del estudio preliminar realizado, en el que no exis--
ten fronteras impermeables que modifiquen el flujo del agua subterrá-
nea de acuerdo al estudio de geología de la zona.

HIDROMETRÍA SUBTERRÁNEA

Consiste en la cuantificación de los volúmenes de descarga de los aproximados vechamientos del agua subterránea tanto naturales como artificiales, - contándose como los más significativos, las extracciones mediante pozos de bombeo, dependiendo en gran parte del uso a que se les destine y de la extensión de la zona, considerándose para tal efecto, todos los pozos seleccionados que por su equipo de bombeo y régimen de operación - lleguen a tener influencia en el volumen total. La medición de estos volúmenes se hace mediante la estimación de láminas de riego en una - área determinada en función de sus cultivos y por el aforo de pozos, - siendo recomendable aplicar diferentes métodos (Ref. 6), con el fin de alcanzar mayor confiabilidad respecto a la cuantificación del volumen total extraído dentro del período de análisis seleccionado.

La hidrometría de la zona de la Paila fué obtenida por la citada dependencia, a partir del aforo de algunos pozos mediante medidores, en - otros por su caudal de bombeo y horas trabajadas durante el año y en - ocasiones inferido por sus láminas de riego de sus cultivos, presentán dose para este trabajo únicamente los valores anuales consignados en - la tabla 15, los cuales se utilizaron posteriormente en la ecuación de balance con la letra (B).

El área de balance se delimitó a partir de la red de flujo y los pozos con hidrometría, la que se muestra en los Planos 4, 5 y 6.

BALANCE DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Ecuación de balance.

En su forma general se tiene la siguiente expresión:

$$Ih + Ry - Sh - D - B - Ev = \pm \Delta V \dots\dots\dots 10$$

- Eh = Entradas por flujo horizontal subterráneo.
- Rv = Recarga vertical.
- Sh = Salidas por flujo horizontal subterráneo.
- D = Descarga por flujo subterráneo.
- Ev = Evapotranspiración.
- ΔV = Cambio de almacenamiento.

Como un caso particular, debido a las condiciones de la zona de estudio, eliminamos los términos que enunciaremos a continuación; descarga por flujo subterráneo (D), por no existir afloramientos de agua superficiales, como manantiales ó alimentando alguna corriente base de los ríos; la evapotranspiración (Ev.), ya que sólo afecta cuando se tienen niveles freáticos someros, aproximadamente menores de cinco metros, los cuales se encuentran más profundos en nuestro caso (Plano 2), quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$Rv + Eh - Sh - B = \frac{1}{S} \Delta V \dots \dots \dots 11$$

Quedando como incógnitas la recarga vertical (Rv) y el coeficiente de almacenamiento (S) del acuífero para cada año, el cual entra como parte integral del término ΔV (cambio de almacenamiento), como se indica posteriormente resolviéndose el sistema por el método de los Mínimos Cuadrados, descrito más adelante.

Entradas y salidas por flujo horizontal subterráneo (Eh y Sh).

Se calcularon a partir de la red de flujo descrita anteriormente, para cada año y en el mes de diciembre de la siguiente manera:

La fórmula aplicada fué:

$$Eh, Sh = \sum_{i=1}^n T B i t \dots \dots \dots 12$$

En donde:

- Eh, Sh = Entrada o salida por flujo horizontal subterráneo.
- T = Coeficiente de transmisibilidad
- i = Gradiente hidráulico
- B = Ancho medio del flujo
- t = Tiempo del período seleccionado
- n = Número de canales

El ancho medio (B) en la entrada o salida de un canal de flujo se midió sobre el plano de la red de flujo para el año correspondiente, de la misma manera que la longitud del canal (L) entre dos líneas equipotenciales (Ver. Fig. 12) por medio de un escalímetro. En los planos 4 y 5 se muestran los canales de flujo, los cuales tienen números arábigos en las entradas y notaciones alfabéticas en las salidas; los valores de estos datos y la aplicación de la fórmula (12) para cada año se presentan en las tablas de la 3 a la 14, las cuales tienen el valor de E_h y S_h correspondiente, los cuales se tradujeron posteriormente a períodos anuales promediando el valor anterior y posterior del año respectivo, mismos que se utilizaron en la ecuación de balance (11), con los términos E_h y S_h respectivamente.

Bombeo (B)

Los datos de bombeo fueron proporcionados por la citada secretaría, obtenidos para cada año de la siguiente manera :

En 1973 por el estudio realizado en el mismo año (Ref. 1), de 1974 a 1977 de la forma descrita en hidrometría por la S. A. R. H. y en 1978 inferido, a causa de la ausencia de registro hidrométrico, basado en el historial de años anteriores y la precipitación presentada durante ese año, valores que al aplicarlos en la ecuación de balance dieron como resultado valores de recarga vertical anual negativos en los períodos de 1973 - 1974, 1974 - 1975, 1975 - 1976, los cuales no tienen sentido físico, debido a que los datos de bombeo máximo no coinciden con los valores de mínima precipitación en el año correspondiente y viceversa, procediéndose entonces a realizar el ajuste de los datos de bombeo por medio de una recta de mínimos cuadrados (Ref. 18), (Ver Fig. 13 y Tabla 16), utilizando los valores de la recta cuando se encontraban alejados de ella y los reales cercanos a ésta, los que al aplicarlos a la ecuación de balance (11), arrojaron valores de recarga más razonables (Tablas 13 y 24).

TABLA 3
CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
PARA DICIEMBRE DE 1973

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m/km	θ km	γ $\frac{m^2}{s} \times 10^3$	$Q = \gamma \theta I$ $\frac{m^3}{s} \times 10^3$
1	1090	1080	1.6	6.25	3.4	6.28	133.45
2	1090	1080	1.2	8.33	4.8	3.82	152.80
3	1110	1100	0.9	11.11	5.3	1.48	87.16
4	1130	1120	0.8	12.50	2.3	2.74	78.78
5	1140	1130	1.2	8.33	3.0	2.74	68.50
6	1140	1130	1.0	10.00	3.0	2.74	82.20
7	1200	1190	1.2	8.33	4.3	2.74	98.18
8	1200	1190	1.0	10.00	5.1	2.74	139.74
9	1200	1190	1.1	9.09	4.7	9.09	388.39
10	1200	1190	1.2	8.33	5.7	9.09	431.78
11	1200	1190	1.7	5.88	5.1	9.09	272.70
12	1200	1190	1.5	6.67	3.0	9.09	181.80
13	1200	1190	1.4	7.14	2.7	9.09	175.31
14	1200	1190	1.6	6.25	4.1	9.09	232.93
15	1200	1190	1.6	6.25	3.0	9.09	170.44
$Q = 2.694 \text{ m}^3/\text{seg.}$							$\Sigma = 2694.16$

TABLA 4
 CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1973

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m/km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	$Q = T B i$ $m^3/s \times 10^{-3}$
A	1070	1060	4.1	2.44	1.5	4.66	17.05
B	1070	1060	4.7	2.13	0.3	1.09	1.86
C	1070	1060	4.2	2.33	1.5	1.09	3.89
D	1070	1060	2.5	4.00	2.2	3.30	34.96
E	1070	1060	2.2	3.13	2.3	0.397	3.47
F	1070	1060	4.6	2.17	0.7	20.20	30.74
G	1070	1060	5.1	1.96	0.6	20.20	23.76
H	1120	1110	3.4	2.94	4.3	4.57	57.80
I	1120	1110	4.2	2.33	2.1	4.57	22.84
J	1120	1110	4.3	2.33	2.3	4.57	24.44
K	1120	1110	4.0	2.50	2.4	4.57	27.42
L	1130	1150	1.8	16.67	4.0	9.09	606.00
M	1130	1150	2.4	12.50	4.2	9.09	477.23
N	1130	1150	3.6	8.33	2.2	9.09	393.90
O	1130	1150	4.4	6.82	3.2	9.09	204.52
$Sh = 1.930 \text{ m}^3/\text{seg.}$							$\Sigma 1929.88$

TABLA 5
 CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1974

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m/km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	Q = TBI $m^3/s \times 10^3$
1	1100	1080	1.7	11.76	4.3	6.28	317.69
2	1100	1090	1.2	8.33	7.0	3.82	222.83
3	1110	1100	1.8	5.56	2.5	1.48	20.56
4	1120	1100	1.9	10.53	2.9	2.74	83.64
5	1170	1140	1.6	13.75	3.5	2.74	179.81
6	1190	1180	1.4	7.14	3.0	2.74	58.71
7	1190	1180	1.3	7.69	6.0	2.74	126.46
8	1190	1180	1.2	8.33	7.1	2.74	162.12
9	1190	1180	1.0	10.00	4.7	2.74	123.73
10	1200	1190	1.2	8.33	3.2	9.09	242.40
11	1200	1190	1.8	5.56	2.1	9.09	106.05
12	1200	1190	1.8	5.56	3.3	9.09	166.65
13	1200	1190	1.7	5.88	2.9	9.09	155.06
14	1200	1190	1.3	7.69	3.7	9.09	258.72
							2229.48
				Eh = 2.229 m ² /seg.			

TABLA 6
 CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1974

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m / km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	Q = T B i $m^3/s \times 10^{-3}$	
A	1070	1063	3.4	2.06	1.7	4.66	16.31	
B	1070	1063	3.5	2.00	1.7	1.09	3.71	
C	1070	1063	2.0	3.50	2.7	3.80	35.91	
D	1070	1063	2.2	3.18	2.2	0.397	2.78	
E	1070	1063	2.2	3.18	0.6	0.397	0.76	
F	1110	1100	2.6	3.85	4.9	4.57	86.13	
G	1110	1100	3.1	3.23	4.0	4.57	58.97	
H	1110	1100	3.3	3.03	2.0	4.57	27.70	
I	1110	1100	3.5	2.86	1.6	4.57	20.89	
J	1180	1170	1.4	7.14	3.5	9.09	227.16	
K	1180	1170	1.1	9.09	3.0	9.09	247.88	
L	1180	1170	1.3	7.69	4.0	9.09	279.69	
M	1180	1170	1.3	7.69	4.0	9.09	279.69	
N	1180	1170	1.9	5.26	4.2	9.09	200.94	
							Σ	1488.52
				$Sh = 1.488 \text{ m}^3/\text{seg.}$				

TABLA 7
 CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1975

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m/km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	$Q = TBI$ $m^3/s \times 10^3$
1	1090	1080	1.5	6.67	4.9	6.28	205.15
2	1090	1080	1.8	5.56	6.0	3.82	127.33
3	1120	1110	0.7	14.29	4.1	1.48	86.69
4	1150	1140	1.0	10.00	4.9	2.74	134.26
5	1200	1180	2.0	10.00	5.8	2.74	158.92
6	1200	1180	2.0	10.00	5.5	2.74	150.70
7	1250	1200	2.3	21.74	6.6	2.74	393.13
8	1250	1200	3.7	13.51	7.1	2.74	262.82
9	1250	1200	6.5	7.69	6.2	2.74	130.68
10	1250	1200	7.7	6.49	3.5	9.09	206.59
11	1250	1200	6.5	7.69	3.4	9.09	237.74
12	1250	1200	4.7	10.62	3.1	9.09	299.26
							Σ 2393.34
				$Eh = 2.393 \text{ m}^3/\text{seg.}$			

TABLA 8

CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
PARA DICIEMBRE DE 1975

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km.	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m / km	B km.	T $m^2/s \times 10^{-3}$	Q = TBI $m^3/s \times 10^{-3}$
A	1070	1063	2.7	2.59	1.5	4.66	18.12
B	1070	1063	1.8	3.89	2.0	1.09	8.48
C	1070	1063	1.5	4.67	3.3	3.80	58.52
D	1070	1063	2.2	3.18	2.5	20.20	160.68
E	1070	1063	2.9	2.41	2.8	20.20	136.52
F	1110	1100	3.3	3.03	4.6	4.57	63.70
G	1110	1100	3.5	2.86	2.4	4.57	31.34
H	1110	1100	3.5	2.86	3.0	4.57	39.17
I	1110	1100	3.3	3.03	3.9	4.57	54.01
J	1070	1050	1.8	11.11	5.7	4.57	289.43
K	1070	1050	2.1	9.52	5.7	9.09	493.46
L	1070	1050	2.8	7.14	5.5	9.09	357.11
							Σ 1710.54
				Sh = 1.711 m ³ /seg.			

TABLA 9
 CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1976

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m / km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	$Q = TBI$ $m^3/s \times 10^3$
1	1080	1070	4.5	2.22	2.7	6.28	37.60
2	1090	1080	1.1	9.09	4.0	3.82	138.91
3	1110	1100	1.1	9.09	5.2	1.48	69.96
4	1150	1130	1.4	14.29	3.4	2.74	133.09
5	1200	1180	1.7	11.76	4.6	2.74	148.28
6	1200	1180	1.8	11.11	5.7	2.74	174.53
7	1200	1180	1.8	11.11	4.2	2.74	127.87
8	1250	1200	3.0	16.67	4.8	2.74	219.20
9	1250	1200	3.8	13.16	5.1	2.74	183.87
10	1250	1200	5.0	10.00	5.4	9.09	490.86
11	1250	1200	6.3	7.94	3.1	9.09	223.64
12	1250	1200	6.6	7.58	3.4	9.09	234.14
13	1250	1200	5.5	9.09	3.6	9.09	297.49
14	1250	1200	4.2	11.90	2.5	9.09	270.54
							Σ 2749.98
				$Eh = 2.750 \text{ m}^3/\text{seg.}$			

- 15 -

TABLA 10
 CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1976

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m / km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	$Q = T B i$ $m^3/s \times 10^{-3}$
A	1063	1060	0.6	5.00	2.1	1.09	11.45
B	1063	1060	1.1	2.73	0.5	1.09	1.49
C	1063	1060	0.9	3.33	0.7	3.80	8.87
D	1063	1060	0.6	5.00	2.2	3.80	41.80
E	1063	1060	1.5	2.00	0.5	0.397	0.40
F	1110	1100	3.7	2.70	5.1	4.57	62.99
G	1110	1100	4.3	2.33	2.8	4.57	29.76
H	1110	1100	4.2	2.38	2.7	4.57	29.38
I	1110	1100	4.0	2.50	2.7	4.57	30.85
J	1170	1150	2.0	10.00	4.0	9.09	363.60
K	1170	1150	2.1	9.52	3.8	9.09	328.97
L	1170	1150	2.5	8.00	4.5	9.09	327.24
M	1170	1150	2.7	7.41	4.9	9.09	329.93
N	1170	1150	2.9	6.90	3.9	9.09	244.49
							Σ 1811.22
$Sh = 1.811 \text{ m}^3/\text{seg.}$							

TABLA 11
 CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1977

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m/km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	Q = TBI $m^3/s \times 10^3$
1	1100	1090	1.3	7.69	3.6	6.28	173.91
2	1100	1090	1.2	8.33	3.9	3.32	124.15
3	1100	1090	0.9	11.11	5.2	1.48	85.51
4	1150	1130	1.1	18.18	3.9	2.74	194.29
5	1200	1080	2.3	8.70	4.1	2.74	97.69
6	1200	1080	2.3	8.70	5.4	2.74	128.66
7	1200	1080	2.4	8.33	6.1	2.74	139.28
8	1250	1200	5.9	8.47	2.6	2.74	60.37
9	1250	1200	5.0	10.00	3.9	2.74	106.86
10	1250	1200	4.3	11.63	4.3	2.74	137.00
11	1250	1200	5.6	8.93	5.0	9.09	405.80
12	1250	1200	6.0	8.33	2.4	9.09	181.80
13	1250	1200	5.7	8.77	2.1	9.09	167.45
14	1250	1200	4.5	11.11	3.8	9.09	383.60
							2386.37
				$Eh = 2.386 \text{ m}^3/\text{seg.}$			

TABLA 12
 CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1977

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ $\frac{m}{km}$	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	Q = T B i $m^3/s \times 10^{-3}$
A	1070	1063	3.1	2.26	2.8	4.66	29.46
B	1070	1063	2.9	2.41	2.0	1.48	7.15
C	1070	1063	2.5	2.80	2.2	3.80	23.41
D	1070	1063	1.9	3.68	3.0	0.397	4.39
E	1070	1063	1.6	4.37	3.3	20.20	291.30
F	1110	1100	2.9	3.45	5.9	4.57	92.98
G	1110	1100	3.4	2.94	3.1	4.57	41.67
H	1110	1100	3.8	2.63	1.9	4.57	22.85
I	1110	1100	4.3	2.33	2.9	4.57	30.82
J	1110	1100	4.7	2.13	3.0	4.57	29.17
K	1060	1050	1.6	6.25	4.7	9.09	267.02
L	1060	1050	1.7	5.88	3.8	9.09	203.19
M	1060	1050	1.5	6.66	4.4	9.09	266.34
N	1060	1050	1.6	6.25	6.4	9.09	363.60
							± 1673.38
				$S_h = 1.673 \text{ m}^3/\text{seg.}$			

TABLA 13
 CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1978

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m/km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	Q = TBI $m^3/s \times 10^3$
1	1090	1080	1.5	6.67	4.0	6.28	167.47
2	1100	1090	1.2	8.33	5.2	3.82	165.53
3	1120	1110	1.4	7.14	3.1	1.48	32.77
4	1200	1080	1.8	11.11	2.1	2.74	63.93
5	1200	1080	2.1	9.52	2.6	2.74	67.85
6	1200	1080	2.3	8.70	3.7	2.74	88.16
7	1200	1080	2.2	9.09	5.1	2.74	127.04
8	1200	1080	2.0	10.00	4.2	2.74	115.08
9	1250	1200	2.4	20.83	4.9	2.74	279.71
10	1250	1200	2.9	17.24	4.7	2.74	222.03
11	1250	1200	4.8	10.42	7.0	2.74	199.79
12	1250	1200	6.3	7.94	3.9	9.09	281.36
13	1250	1200	6.3	7.94	2.1	9.09	151.50
14	1250	1200	6.0	8.33	1.7	9.09	128.78
15	1250	1200	4.8	10.42	3.1	9.09	293.43
				$Eh = 2.384 \text{ m}^3/\text{seg.}$			<u>2384.43</u>

TABLA 14
 CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO
 PARA DICIEMBRE DE 1978

NUMERO DE CANAL	h_1 (m)	h_2 (m)	L km	$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ m / km	B km	T $m^2/s \times 10^{-3}$	Q = TBI $m^3/s \times 10^{-3}$
A	1070	1062	3.0	2.67	1.9	4.66	23.61
B	1070	1062	2.5	3.20	1.1	1.09	3.84
C	1070	1062	1.0	8.00	3.0	1.09	26.16
D	1070	1062	1.1	7.27	4.2	3.80	116.07
E	1070	1062	2.3	3.48	1.4	20.20	98.36
F	1070	1062	2.8	2.85	0.6	20.20	34.63
G	1110	1100	1.8	5.56	5.4	4.57	137.10
H	1110	1100	1.7	5.88	2.5	4.57	67.21
I	1110	1100	2.1	4.76	2.4	4.57	52.23
J	1110	1100	2.5	4.00	2.0	4.57	36.56
K	1060	1050	1.3	7.69	5.6	4.57	196.86
L	1060	1050	1.7	5.88	5.0	9.09	267.25
M	1060	1050	1.7	5.88	4.1	9.09	219.23
N	1060	1050	1.7	5.88	3.8	9.09	203.11
O	1060	1050	1.8	5.56	4.4	9.09	222.38
							Σ 1704.38
$Sh = 1.704 \text{ m}^3/\text{seg.}$							

TABLA 15
EXTRACCIONES POR BOMBEO EN LA ZONA DE LA PAILA
DEL AÑO DE 1973 A 1978

AÑO	BOMBEO (X10 ⁶ M ³)
1973	31.0
1974	17.2
1975	24.8
1976	33.3
1977	26.5
1978	26.0

Cambio de almacenamiento (ΔV).

Es la variación del volumen en el depósito de agua en un determinado período de estudio y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta V = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n a_i h_i \dots \dots \dots 13$$

En donde:

- ΔV = Cambio de almacenamiento
- S = Coeficiente de almacenamiento
- a_i = Elemento de área entre dos curvas de igual evolución del nivel estático.
- h_i = Promedio entre las dos curvas de igual evolución del nivel estático.
- n = Número de elementos de área del área de balance.

Esta fórmula se aplicó para cada período anual, con ayuda de los planos de evolución del nivel estático, calculándose todas las áreas correspondientes a cada curva de igual evolución del nivel estático dentro del área de balance de la zona por medio de un planímetro. Los resultados

TABLA 16

CALCULO DEL AJUSTE DEL BOMBEO POR EL METODO DE LO MINIMOS CUADRADOS

Ecuaciones a aplicar			
$Y = mX + b$	$m = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$	$b = \frac{\sum X_i^2 \sum Y_i^2 - \sum X_i \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$	---
<p>$Y =$ Bombeo, $X =$ Año, $m =$ Pendiente de la recta, $b =$ Ordenada al origen de la recta, $n =$ Número de años.</p>			
X	Y	X^2	XY
3	31.00	9	93.00
4	17.17	16	68.68
5	24.75	25	123.75
6	32.26	36	199.56
7	26.45	49	185.15
8	26.00	64	208.00
$\sum X = 33$	$\sum Y = 158.63$	$\sum X^2 = 199$	$\sum XY = 873.14$
$m = 0.320$	$b = 24.65$	$r = 0.1085$	$Y = 0.324X + 24.65$

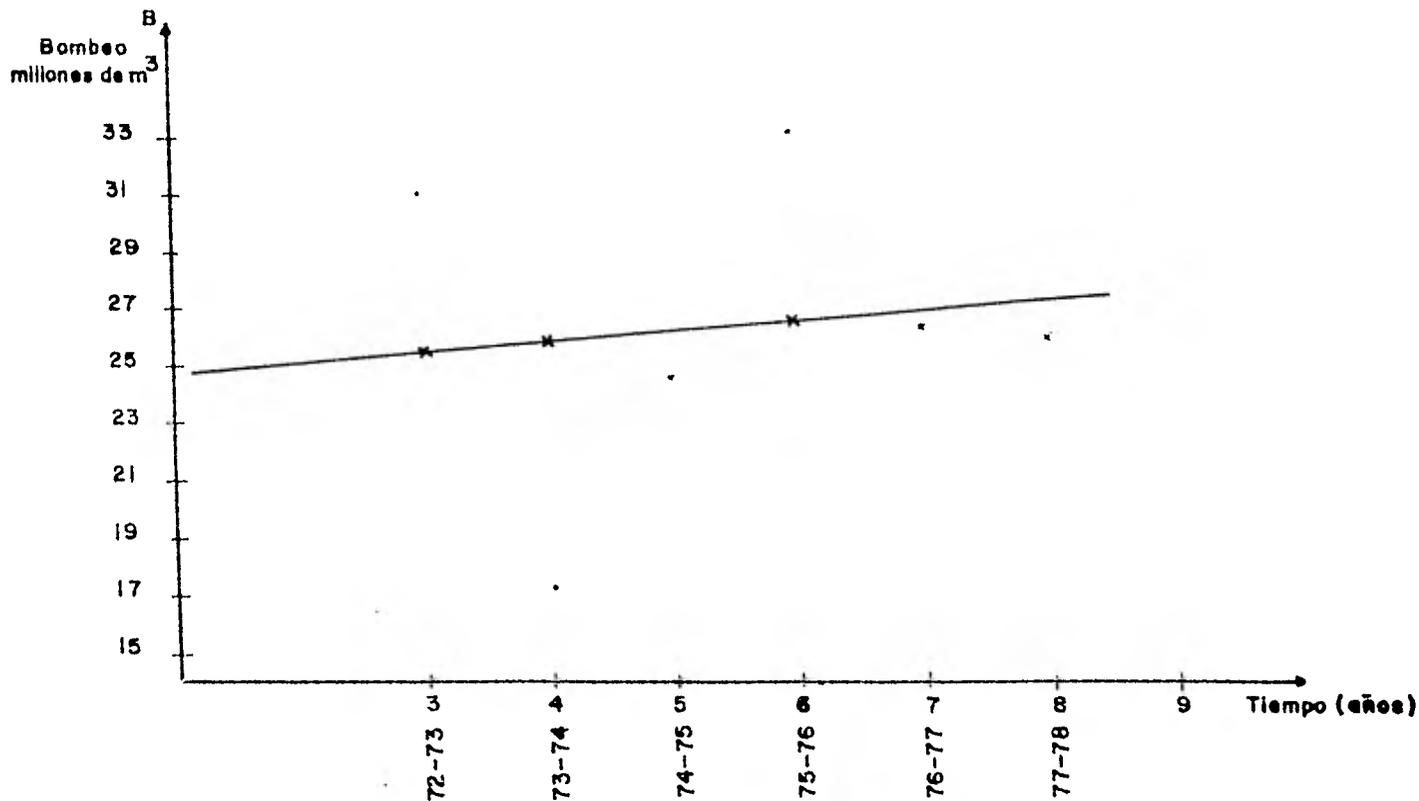


Fig. 13) GRAFICA DE AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS PARA EL BOMBEO

de los cálculos del cambio de almacenamiento se presentan en las tablas de la 17 a la 21. En el plano 6 se muestra la configuración de la evolución del N.E. considerando todo el período de estudio y en la tabla 23 se presenta un resumen de los valores determinados y utilizados para el planteamiento de las ecuaciones de balance (Tabla 23).

Recarga media anual

Para obtener la recarga media anual, partimos de la ecuación de balance para cada año, formando un sistema, el cual tenía como incógnitas la recarga vertical (R_v) y el coeficiente de almacenamiento del acuífero (S), procediéndose a resolverlo mediante un ajuste a una recta del tipo $Y = mX + b$ por el método de los mínimos cuadrados, graficando en el eje de las abscisas (X) los valores del cambio de almacenamiento (ΔV) y en el de las ordenadas (Y) la suma de los demás términos de la ecuación de balance (Fig.14) y como incógnitas $S = m$ y $R_v = b$, llegándose a los siguientes resultados:

$b = 2.537$ y $m = 0.0024$ (Tabla 24) lo que equivale a:

$$Y = 0.0024X + 2.537$$

Que traducido a nuestras literales resulta:

$$(-E_h + S_h + B) = \frac{+}{-} S \Delta V + R_v$$

y despejando el valor de R_v

$$R_v = (-E_h + S_h + B) - \left(\frac{+}{-} S \Delta V \right)$$

Donde se observa que la pendiente negativa se transforma en positiva $-m = S = 0.0024$ ya que no tenía sentido físico un coeficiente de almacenamiento negativo, habiendo quedado la pendiente (m) negativa debido a que se trató a un ajuste de tipo matemático; después de haber encontrado el coeficiente (S) se utilizó como dato para cada ecuación de balance anual (Tabla 24) obteniéndose la recarga vertical para cada año, la cual varió en forma congruente con las precipitaciones presentadas en la zona durante el período de estudio (Fig. 15); ésto quiere decir que

TABLA 17

CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO 1973 - 1974.

Elemento de área	Area $\times 10^6 \text{ m}^2$	Evolución Piezométrica Media entre curvas (M)	Volúmen drenado $\times 10^6 \text{ M}^3$
1	12.87	-0.25	-3.22
2	220.99	+0.25	55.25
3	408.61	+0.75	306.46
4	615.69	+0.25	153.92
5	12.75	-1.00	-12.75
6	21.94	-0.25	-5.49
7	9.37	-0.50	-4.69
8	1.68	-0.50	-0.84
			$\Sigma = +488.65$

$$\Delta V = 488.65 \times 10^6 \text{ M}^3/\text{año.}$$

TABLA 18

CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO 1974 - 1975.

Elemento de área	Area $\times 10^6 \text{ m}^2$	Evolución Piezométrica Media entre curvas (m)	Volumen drenado $\times 10^6 \text{ m}^3$
1	134.24	-0.5	-07.12
2	0.87	-1.5	- 1.37
3	0.68	-1.5	- 1.02
4	17.34	-1.0	-17.34
5	37.42	-1.0	-37.42
6	30.60	-1.5	-45.90
7	4.25	-0.5	- 2.13
			$\Sigma = -172.30$

$$\Delta V = -172.30 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ANO}$$

TABLA 19

CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO 1975 - 1976.

Elemento de área	Área $\times 10^6 \text{ m}^2$	Evolución piezométrica media entre curvas (m)	Volumen drenado $\times 10^6 \text{ m}^3$
1	13.71	- 1.5	- 20.57
2	122.85	- 0.5	- 61.43
3	493.43	+ 0.25	+123.36
4	10.91	- 0.5	- 5.46
5	19.44	-0.25	- 4.36
6	88.81	+ 0.75	+ 66.61
7	299.24	+ 0.50	+149.62
8	48.07	- 1.00	- 48.07
9	13.52	- 3.50	- 47.32
			$\Sigma = +151.88$

$\Delta V = +151.88 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{AÑO}$

TABLA 20

CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO 1976 - 1977.

Elemento de área	Área $\times 10^6 \text{ m}^2$	variación piezométrica media entre curvas (m)	Volumen drenado $\times 10^6 \text{ m}^3$
1	55.80	1.25	+ 69.75
2	25.30	- 0.5	- 12.65
3	33.85	- 1.0	- 33.85
4	683.19	+ 0.5	+341.59
5	23.63	+ 1.25	+ 29.41
6	234.49	+ 1.50	+352.49
7	11.59	- 0.5	- 5.80
			$\Sigma = +740.94$

$$\Delta V = +740.94 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{AÑO.}$$

TABLA 21

CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO 1977 - 1978.

Elemento de área	Area $\times 10^6 \text{ M}^2$	Evolución piezométrica media entre curvas (m)	Volúmen drenado $\times 10^6 \text{ M}^3$
1	15.05	- 1.5	- 22.58
2	402.95	- 0.5	-201.48
3	318.87	+ 0.25	+ 79.72
4	425.57	+ 0.25	+106.39
5	106.95	- 0.5	- 53.48
			$\Sigma = - 91.43$

$$\Delta V = -91.43 \times 10^6 \text{ M}^3 / \text{AÑO}$$

TABLA 22

CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO 1973 - 1978.

Elemento de Area	Area $\times 10^6 \text{ m}^2$	Evolución piezométrica media entre curvas (m)	Volumen arenado. $\times 10^6 \text{ m}^3$
1	4.84	- 5.0	- 24.20
2	4.43	- 2.5	- 11.08
3	134.13	- 0.5	- 67.07
4	76.33	+ 0.5	+ 38.17
5	663.69	+ 0.75	+497.77
6	279.41	+ 0.75	+209.56
7	74.29	- 0.50	- 37.15
8	30.49	- 1.50	- 54.79
9	23.16	- 3.0	- 69.48
10	11.21	- 4.5	- 50.45
			$\Sigma = +431.28$

$\Delta V = + 431.28 \text{ m}^3/\text{AÑO}$

TABLA 23

VALOR DE LOS RESULTADOS ANUALES DE LOS TERMINOS QUE INTERVIENEN EN LA ECUACION DE BALANCE Y LOS QUE SE UTILIZARON EN EL BALANCE

TERMINO	AÑO	PERIODO	AÑO	PERIODO	AÑO	PERIODO	AÑO	PERIODO	AÑO	PERIODO	AÑO
	1973	73-74	1974	74-75	1975	75-76	1976	76-77	1977	77-78	1978
Eh m ³ /seg.	2.694	2.462	2.229	2.311	2.393	2.572	2.750	2.568	2.386	2.385	2.384
Sh m ³ /seg.	1.930	1.709	1.488	1.600	1.711	1.761	1.811	1.742	1.673	1.764	1.704
Eh m ³ /año		<u>77.642</u>		<u>72.880</u>		<u>81.095</u>		<u>80.984</u>		<u>75.230</u>	
Sh m ³ /año		<u>53.895</u>		<u>50.458</u>		<u>55.535</u>		<u>54.936</u>		<u>53.249</u>	
BOMBEO REGISTRADO X 10 ⁶ m ³	31.00		17.17		<u>24.75</u>		33.26		<u>26.45</u>		<u>26.00</u>
BOMBEO AJUSTADO X 10 ⁶ m ³	25.52		<u>25.95</u>		26.27		<u>26.59</u>		<u>26.92</u>		27.24
ΔV X 10 ⁶ m ³		<u>+4.89</u>		<u>-1.72</u>		<u>+1.52</u>		<u>+7.41</u>		<u>-0.91</u>	

Nota: Los valores subrayados son los que se utilizaron en el cálculo del balance.

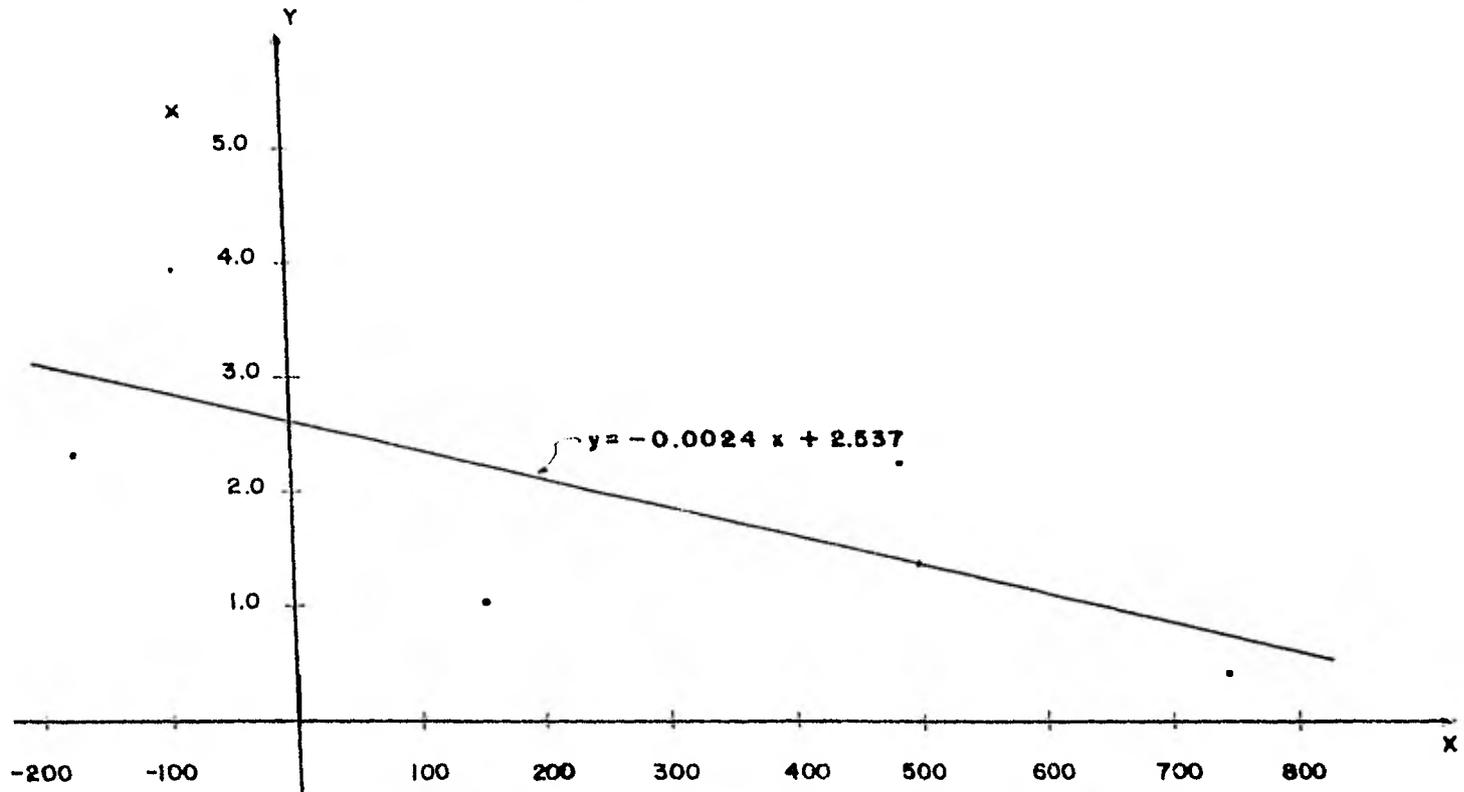


Fig. 14) GRAFICA DE AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS PARA LA RECARGA VERTICAL MEDIA ANUAL

TABLA 24

ECUACIONES DE RECARGA ANUAL Y AJUSTE DE ESTA POR MINIMOS CUADRADOS PARA OBTENER LA RECARGA MEDIA ANUAL.

PERIODO	Rv = \pm SAV	-Eh	+Sh	+B
73-74	Rv = +4895	-77.64	+53.90	+25.95
74-75	Rv = -1725	-72.88	+50.46	+24.75
75-76	Rv = +1525	-81.09	+55.54	+26.59
76-77	Rv = +7415	-80.93	+54.94	+26.45
77-78	Rv = - 915	-75.23	+53.25	+26.00

b	=-XAS	+ Y
Rv	=+4895	+2.21
Rv	=-1725	+2.33
Rv	=+1525	+1.04
Rv	=+7415	+0.41
Rv	=- 915	+4.02

Y QUE AL AJUSTAR LA ECUACION POR MINIMOS CUADRADOS RESULTA:

$$b=2.537 \text{ M}^3/\text{AÑO} \quad -m=S= -0.0024 \quad r=-0.684$$

APLICANDO $m=S= 0.0024$ SE OBTIENEN LAS SIGUIENTES RECARGAS ANUALES

PERIODO	RECARGA VERTICAL
73-74	$3.381 \times 10^6 \text{ M}^3/\text{año}$
74-75	$1.917 \times 10^6 \text{ M}^3/\text{año}$
75-76	$1.405 \times 10^6 \text{ M}^3/\text{año}$
76-77	$2.188 \times 10^6 \text{ M}^3/\text{año}$
77-78	$3.761 \times 10^6 \text{ M}^3/\text{año}$

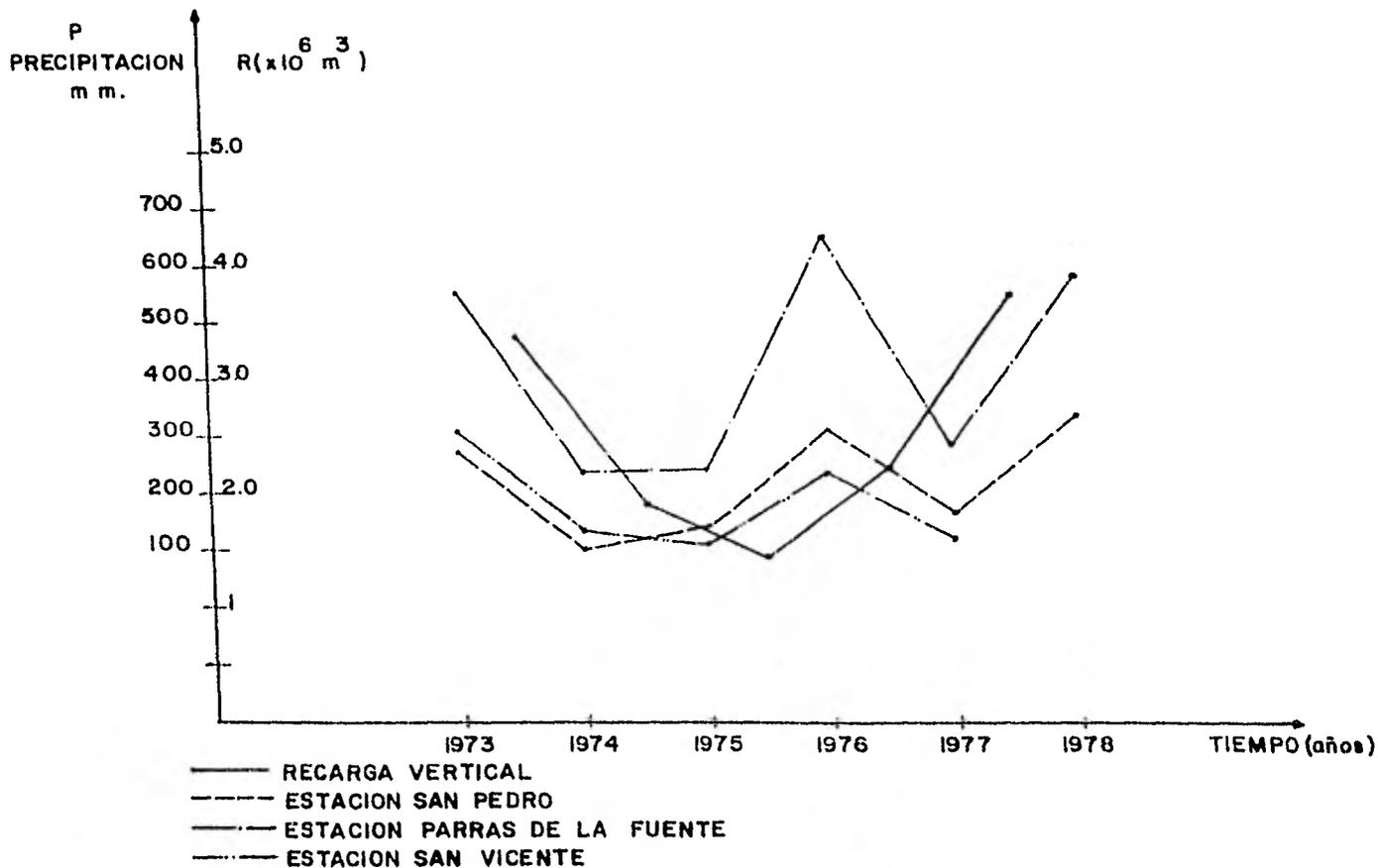


Fig. 15) GRAFICA DE PRECIPITACIONES Y DE RECARGA VERTICAL ANUAL DE LA ZONA

existe mayor recarga vertical cuando llueve más. El término de la ecuación de balance que menos contó fue el cambio de almacenamiento (ΔV) - por encontrarse afectado por el coeficiente de almacenamiento (S), quien lo redujo en forma considerable por tener un valor pequeño e igual a 0.0024, quedando comprendido entre los valores para acuíferos libres que varían de 0.1 a 0.001 reafirmando esta suposición hecha anteriormente,

Posteriormente se hizo un balance para todo el período (1973-1978) cuyos cálculos se presentan a continuación:

Para el año de 1973

$$E_h = 2,694 \text{ m}^3/\text{seg.} \quad \text{y} \quad S_h = 1,930 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Para el año de 1978

$$E_h = 2,384 \text{ m}^3/\text{seg.} \quad \text{y} \quad S_h = 1,704 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Transformados al período mediante el promedio de 1973 y de 1978,

$$E_h = 2,540 \text{ m}^3/\text{seg.} \quad \text{y} \quad S_h = 1,820 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Multiplicando por los segundos que existen en el período para tenerlos en metros cúbicos y aplicarlos en la ecuación de balance con las mismas unidades resulta:

$$E_h = 400.51 \times 10^6 \text{ m}^3/5 \text{ años} \quad \text{y} \quad S_h = 286.50 \times 10^6 \text{ m}^3/5 \text{ años}$$

y el bombeo en los cinco años igual a:

$$B = 129.74 \times 10^6 \text{ m}^3$$

con el valor encontrado de $S = 0.0024$

y el valor de $\Delta V = 431.28 \times 10^6 \text{ m}^3/5 \text{ años}$, obtenido a partir del plano de evolución del nivel estático en dicho período; aplicadas en la ecuación de balance.

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

$$R_v + 400.51 - 286.50 - 129.74 = \pm 0.0024 \times 431.28$$

$$R_v = 16.73 \times 10^6 \text{ m}^3/5 \text{ años}$$

$$R_v = 3.346 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Obteniéndose un valor casi semejante al de la recarga media anual, cuya discrepancia entre ambos valores se debe en gran parte a las entradas y

salidas por flujo horizontal subterráneo (E_h , S_h) puesto que se consi
deraron como promedio entre el primero y último valor del período, mientr
as que en la recarga media anual se consideraron promedios anuales, -
además al manejo de las áreas en el cambio de almacenamiento, aunque no
afectan significativamente por estar afectado por el pequeño valor del -
cambio de almacenamiento (S).

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1.- La Zona de la Paila, tiene un clima seco desértico con vegetación Xerófila o sin vegetación, presentándose las lluvias durante las épocas de verano, registrándose precipitaciones mayores en los años de 1973, 1976 y 1978, siendo máximas en 1976, para las estaciones, San Pedro y Parras de la Fuente y en 1973 para la estación San Vicente, resultando extraordinarias con respecto a los años anteriores.
- 1.- La unidad litológica donde se encuentran los pozos en explotación, son los depósitos Aluviales, constituidos por Clásticos formados por arenas y gravas, limos y arcillas los que contienen acuíferos de mala calidad con un espesor del orden de 200 metros.
- 3.- De los hidrógrafos realizados se nota una tendencia de recuperación, existiendo en algunos, abatimientos, acentuándose en el último año del período, posiblemente a causa del aumento de bombeo debido a nuevos aprovechamientos no detectados en este trabajo a falta de información.
- 4.- Los niveles estáticos de los pozos varían de 10 a 60 metros, encontrándose los más profundos en las zonas de mayor concentración de pozos, en las que se hacen conos de abatimiento; presentándose uno en la población de Marzas (Plano 2).
- 5.- De los planos de curvas de igual elevación del nivel estático, se dibujaron las redes de flujo para cada año las que nos presentan un cono de abatimiento semiabierto ubicado en las poblaciones de Maravillas, Marzas, San Luis y Estación Pomona; con unas variaciones pequeñas durante cada año, representadas entre

las equipotenciales 1060 y 1063 dependiendo del año de estudio, observándose también un parteaguas sobre la población Perla del Carmen para todos los años, concluyendo en consecuencia que el esquema general del flujo no cambia durante el período analizado.

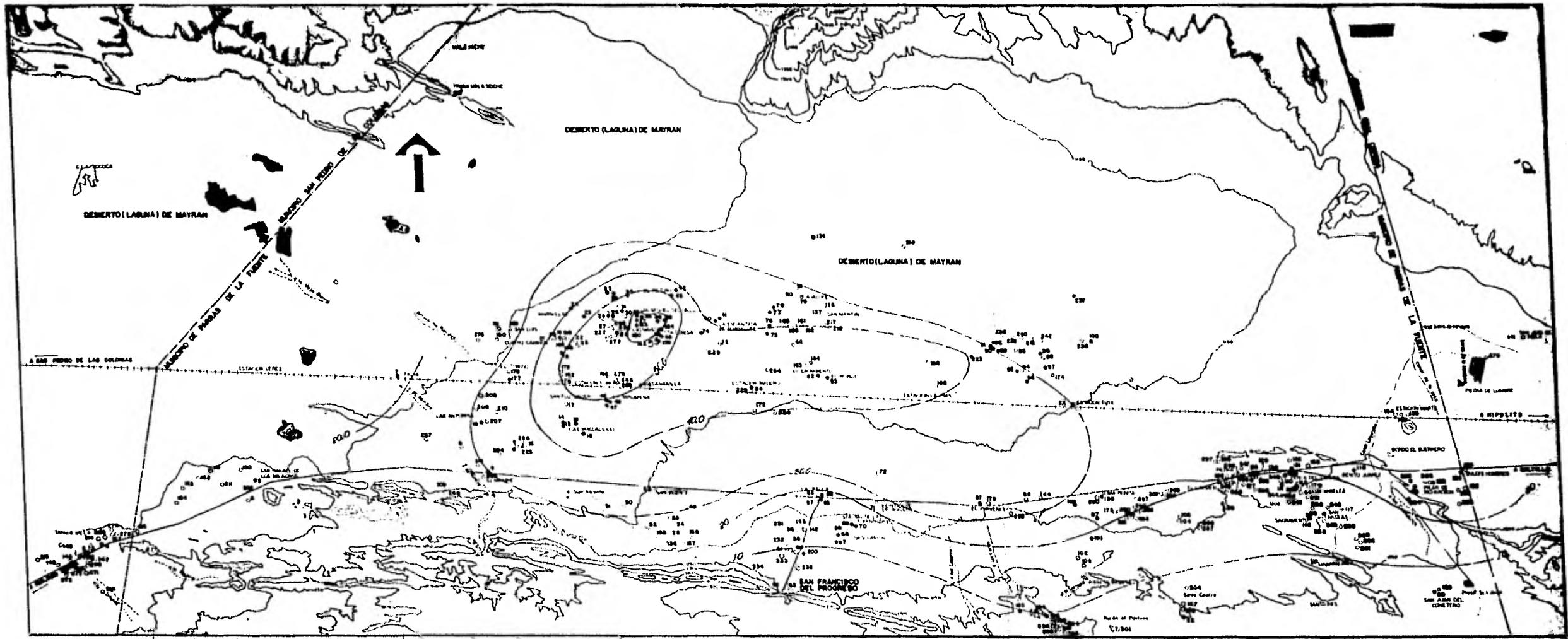
- 6.- La Hidrometría resultó poco confiable al existir incoherencia con relación a las precipitaciones, ya que en un año donde más llueve, más se bombea con respecto a los años anteriores, como sucede en 1976, debiendo ser totalmente lo contrario, a menos de que existan nuevos aprovechamientos aumentando la extracción del agua en los años siguientes y no disminuyendo en el siguiente año, que hubo menos precipitación, basados en el registro de precipitaciones y la extracción del año 1977; por lo tanto al aplicar las ecuaciones de balance con estos valores se obtuvieron recargas negativas, lo cual no tiene sentido físico, procediéndose entonces a la elaboración de un ajuste de los valores reales de bombeo a una recta por el método de los mínimos cuadrados, obteniéndose valores de recarga vertical positivos y lógicos.
- 7.- En los planos de curvas de igual evolución del nivel estático se presentan curvas cerradas, formando principalmente dos conos de abatimiento dentro de las zonas de mayor densidad de aprovechamiento durante todo el período de estudio, uno de ellos en las poblaciones de Los Angeles, Perla del Carmen y Nicolás, y el otro en Marzas, San Manuel del Cinco y Santa Teresa, existiendo una variación de curvas del orden de -5 a +2, desechándose valores más grandes en ambos sentidos, por tratarse de resultados ilógicos, seguramente a causa de la toma de lecturas de niveles dinámicos, resultando recuperaciones en casi toda la zona en 1976, habiendo comprobado esta irregularidad con la elaboración de otro plano de evolución del nivel estático para un período bienal de 1975 a 1977, auxiliados también de la precipitación desarrollada durante ese año, para poder argumentar lo anterior.

- 8.- La recarga media anual fué de $2.537 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ con un coeficiente de almacenamiento de 0.1124 calculado mediante el ajuste por mínimos cuadrados de los valores de la ecuación anual de balance para los cinco años, obteniéndose que el valor de S (coeficiente de almacenamiento) varía dentro de los valores extremos de acuffero libre, tendiendo a valores de acuffero confinado. Posteriormente se realizó un balance para todo el período (73 - 78) resultando un valor de $3.346 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, con una diferencia con relación a la recarga media anual debida a las variaciones que existen en la entrada y salida por flujo horizontal y cambio de almacenamiento, aunque este último es poco significativo ya que al afectarlo por S se obtienen ^{valores} casi inapreciables en la ecuación de balance. Los valores de recarga vertical anual varían de acuerdo a la precipitación suocida durante el período de estudio presentándose mayores recargas en épocas de mayor lluvia.
- 9.- El acuffero que subyace la cuenca se encuentra prácticamente en equilibrio, puesto que ^d los resultados obtenidos, la recarga total es mayor que el bombeo, siendo de mayor importancia las entradas por flujo horizontal, teniendo cuidado en las zonas de mayor densidad de pozos, pues existen conos de abatimiento y en los últimos años se presenta una tendencia a la sobreexplotación, pero aún se puede llevar a cabo nuevas obras de aprovechamiento subterráneo, siempre y cuando se construyan fuera de estas áreas.

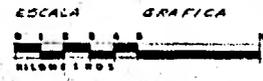
RECOMENDACIONES

- 1.- Registrar todos los nuevos aprovechamientos y de ser posible ubicarlos como pozos pilotos, continuando la toma de lecturas piezométricas bimestrales, para poder definir el comportamiento del acuffero con mayor veracidad.
- 2.- Llevar a cabo el aforo de los pozos ó el control de ellos para estimar el volumen de extracción total anual en la forma más real y precisa que se pueda.

- 3.- Obtener la información piezométrica del sur de la población de San Carlos.
- 4.- Reafirmando las del estudio realizado en 1973, hacer una exploración del área con núcleos de diamante pequeño para conocer con más detalle y precisión, la Geología subterránea, y hacer los estudios geofísicos recomendados.

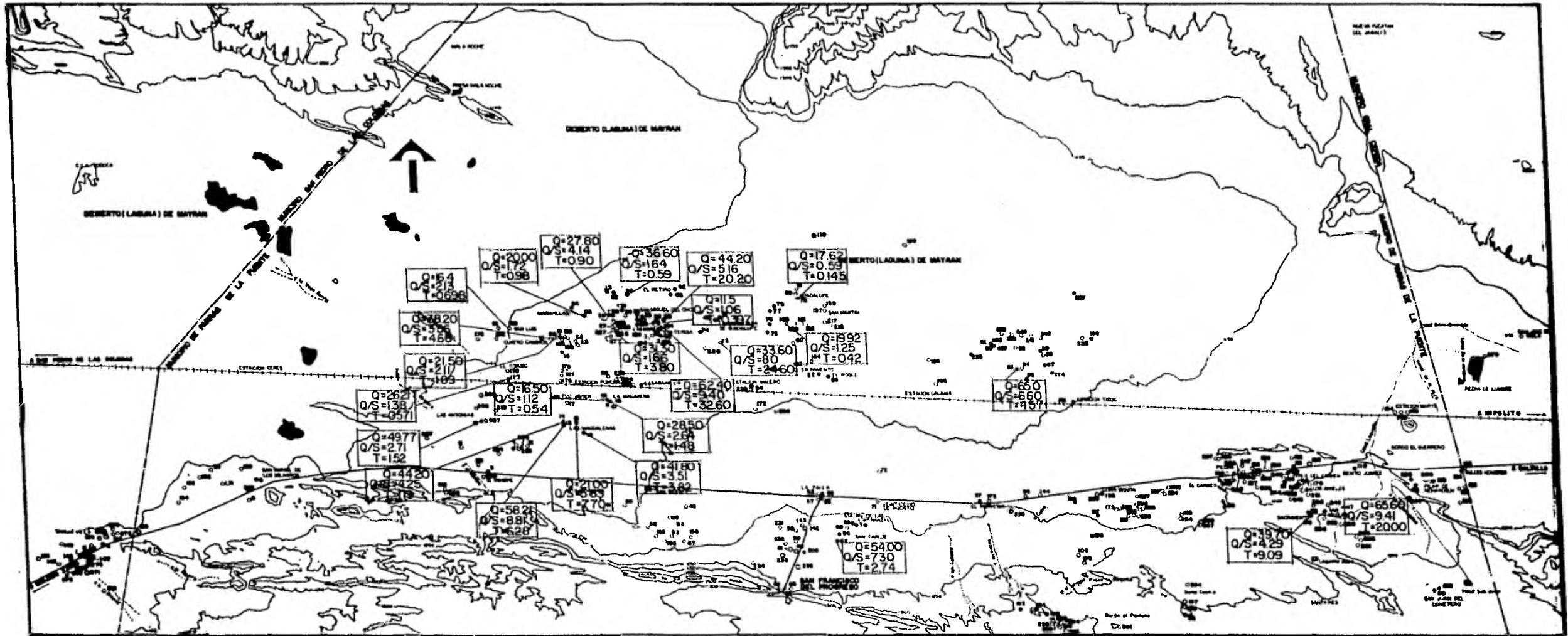


S I M B O L O G I A	
— CARRETERA PAVIMENTADA	• POZO PILOTO
— BARRERA	• POZO
— CURVA DE NIVEL	• NORIA
— VA PV.CC.	• NORIA PILOTO
— PISCA	▲ SUBSISTENTE
— LAGUNA	— BOD. LINEA DE NIVEL PROYECTADA AL NIVEL ESTADISTICO EN METROS

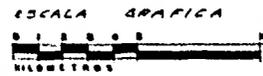


NOTA:
En las curvas de igual elevación del N.E.,
las líneas continuas se trazarán con apoyo
perimétrico y las discontinuas serán
interiores.

PLANO	TESIS PROFESIONAL 1980 FACULTAD DE INGENIERIA MAURICIO CARRILLO GARCIA CURVAS DE NIVEL PROYECTADAS AL NIVEL ESTADISTICO EN METROS ZONA LA FAJETA, ESTADO DE SONORA
2	

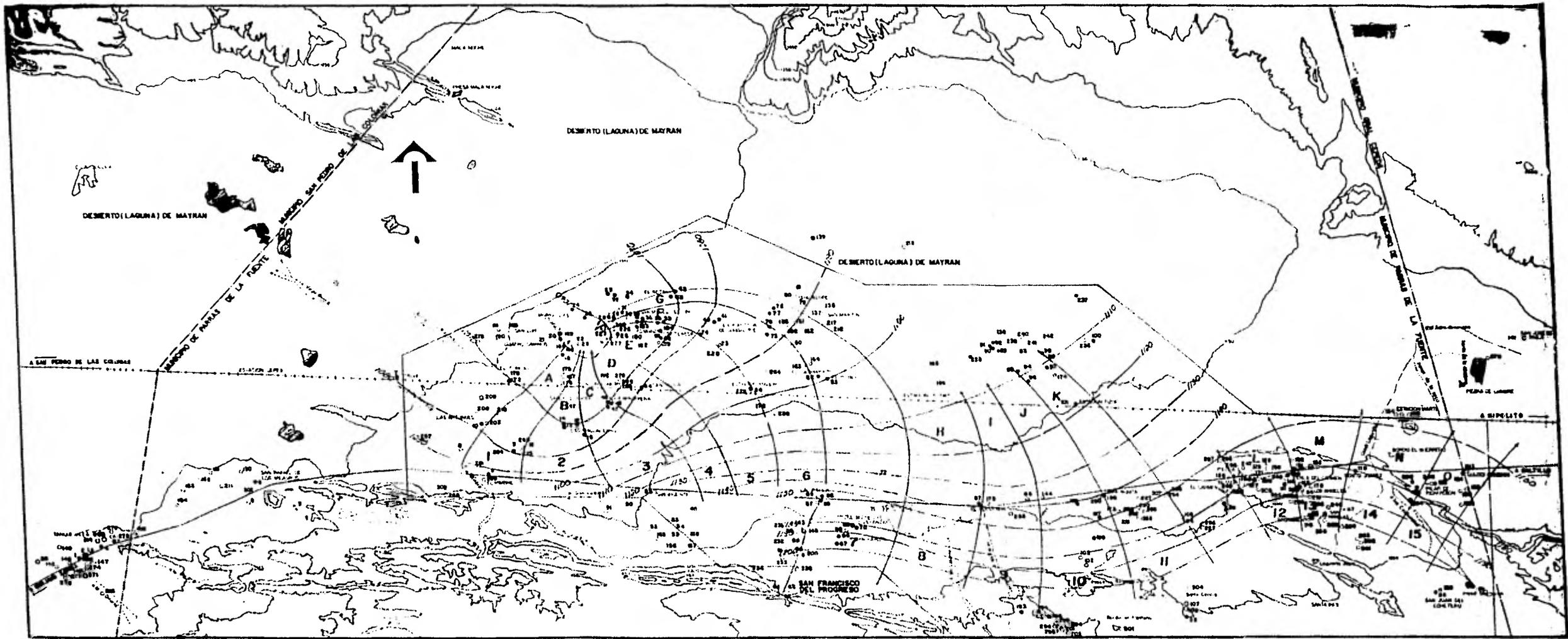


S I M B O L O G I A	
	CARRERA PAVIMENTADA
	CAÑAL
	CURVA DE NIVEL
	VIA F.F.C.C.
	PRESA
	LAGUNA
	RIO
	FRONTERA MUNICIPAL
	POZO PILOTO
	POZO
	BARRIA
	POZO PILOTO
	BARRIAL



Q = CAUDAL L.P.S
 Q/S = CAUDAL ESPECIFICO L.P.S/m
 T = TRANSMISIBILIDAD ($\times 10^6$ m²/a)

PLANO	TESIS PROFESIONAL 1980 FACULTAD DE INGENIERIA MAURICIO CARRILLO GARCIA TRANSMISIBILIDADES ZONA LA PAULA ESTADO DE COAHUILA
3	



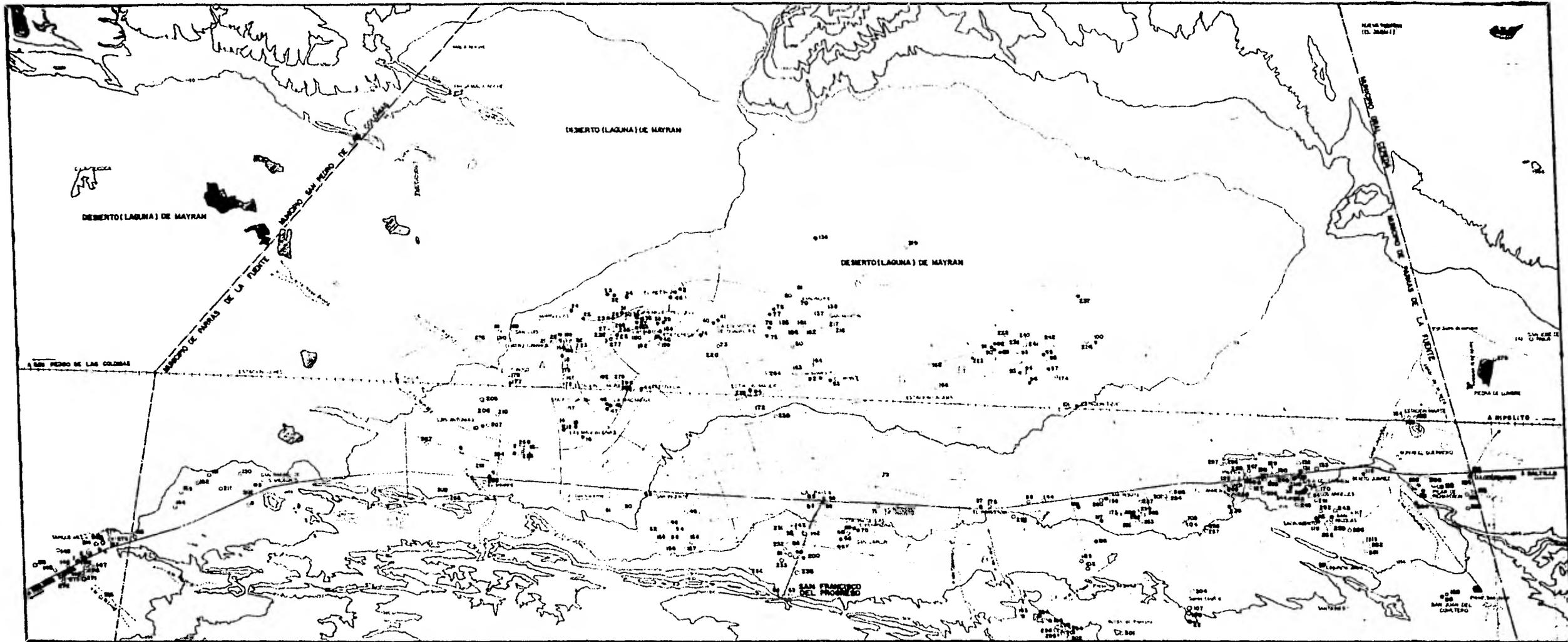
S I M B O L O G I A

CARRERA PAVIMENTADA	● POZO PILOTO
BRECHA	○ POZO
CLASE DE RIEL	○ NORIA
VA P.F.C.C.	● NORIA PILOTO
FINCA	▲ MANANTIAL
LAGUNA	— LINEA DE NIVEL ESTADISTICA DEL I.S.E.
RIEGO	— LINEA DE CORRIENTE
GRUPO MUNICIPAL	— AREA DE BALANCE



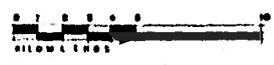
NOTA:
 En las curvas de igual elevación del N.S., las líneas continuas se refieren al nivel piezométrico y las discontinuas a nivel superficial.
 1) Contorno de base del flujo horizontal subterráneo
 2) Contorno de entrada del flujo horizontal subterráneo

PLANO	TESIS PROFESIONAL 1980 FACULTAD DE INGENIERIA MAURICIO CARRILLO GARCIA RED DE FLUJO PARA DISEÑO DE 1975 Y 1976 ZONA LA PAILA ESTADO DE QUERETARO
4	



S I M B O L O G I A

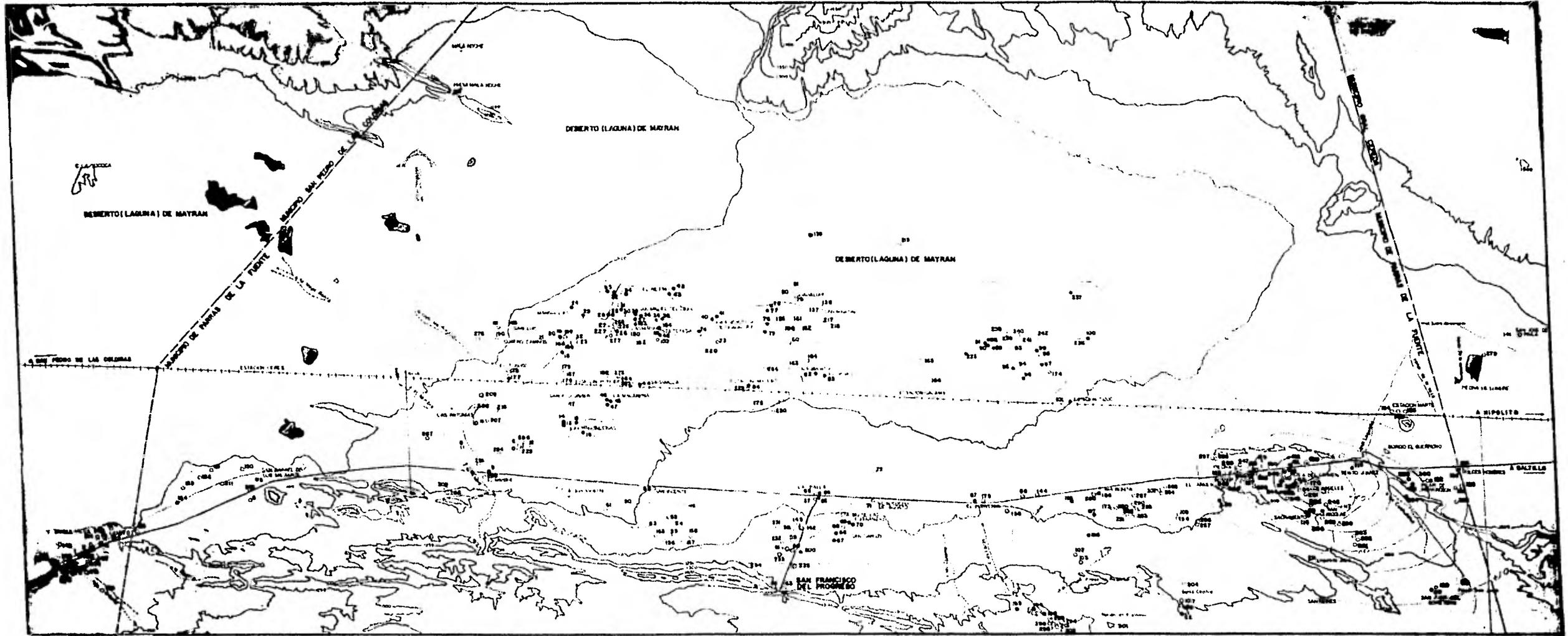
	CARRETERA PAVIMENTADA		POZO PILOTO
	SIERRA		POZO
	CURVA DE NIVEL		NORIA
	VIA F.F.CC.		NORIA PILOTO
	POZO		MANANTIAL
	LAGUNA		
	FRONTERA MUNICIPAL		



PLANO

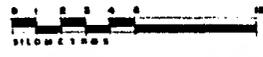
5

TESIS PROFESIONAL 1980
FACULTAD DE INGENIERIA
MAURICIO CARRILLO
ZONA LA PAILA, ESTADO DE...



S I M B O L O G I A

— CARRETERA PAVIMENTADA	● POZO PILOTO
— BRONCA	○ POZO
— CURVA DE NIVEL	○ NORIA
— VAS. P.V. CC.	● NORIA PILOTO
	▲ MANANTIAL



PLANO
6

TESIS PROFESIONAL 1980
FACULTAD DE INGENIERIA
MAURICIO CARRILLO GARCIA
 ZONA LA PAULA EST.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR EN LA ZONA DE LA PAI
LA EN EL ESTADO DE COAHUILA
Consultores S.A.
México D.F. 1973

- 2) GROUND WALTER RESOURCE EVALUATION
Walton William C.
McGraw Hill U.S.A. 1970

- 3) HIDROLOGIA SUBTERRANEA
Custodio E. y M.R. Llamas
Omega S.A. Barcelona 1976

- 4) GEOHIDROLOGY
De Wiest Roger J.
John Wiley U.S.A. 1967

- 5) HIDROGEOLOGIA
S.N. Davis R. De Wiest
Ariel Barcelona 1971

- 6) EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS POZOS
Diversos autores
Johnson División U.S.A. 1975

- 7) TRATADO PRACTICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
G. Castany
Omega S.A. Barcelona 1971

- 8) CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS
Jean Pimienta
Técnicos asociados Barcelona 1973

- 9) ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL ESTUDIO DEL AGUA SUBTERRA
NEA
Jaime A. Tinajero G.
Facultad de Ingeniería U.N.A.M. 1974
- 10) GROUND WATER HIDROLOGY
Todd David Keith
John Wiley U.S.A. 1969
- 11) WATER WELL TECHNOLOGY
Michael D. Campbell
McGraw Hill U.S.A. 1974
- 12) GROUND WATER
Tolman Cyrus Fisher
McGraw Hill U.S.A. 1937
- 13) TRASIENT GROUND WATER HIDRAULICS
Robert E. Glover
Colorado State University 1974
- 14) FUNDAMENTOS DE GEOLOGIA FISICA
Leet y Judson
Limusa México 1979
- 15) PRINCIPIOS DE GEOLOGIA Y GEOTECNIA PARA INGENIEROS
Dimitri P.Krynine y William R. Judd
Omega S.A. Barcelona 1961
- 16) HIDROLOGIA PARA INGENIEROS
Linsley-Koheler-Paulhus
McGraw Hill México 1979
- 17) HANDBOOK OF APPLIED HIDROLOGY
Ven Te Chow
McGraw Hill U.S.A. 1964

18) ESTADISTICA
Murray R. Spiegel
McGraw Hill México

1975