



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

283

201

"EVALUACION DEL ACUIFERO EN LA CUENCA MEDIA DEL
RIO AGUANAVAL"

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O C I V I L
P r e s e n t a

GUILLERMO ZAMORA GARCIA



México, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

1.	Introducción	1
2.	Actividades de Campo	6
3.	Hidrología Superficial	11
4.	Exploraciones Indirectas	26
5.	Hidrología Subterránea	39
6.	Conclusiones	66

1. INTRODUCCION

El inminente déficit de agua en algunas regiones ha promovido el estudio de agua subterránea con la finalidad de hacer el inventario general de la misma, disponible para el uso de los habitantes de esas regiones, ya que el agua subterránea constituye la mayor fuente de agua potable y para riego de más fácil aprovechamiento.

Esta tesis forma parte de un estudio geohidrológico realizado en la parte central del Estado de Zacatecas, donde se realiza la mayor actividad agrícola dentro del mismo, en el cual me tocó tomar parte activa.

En el valle de la cuenca media del río Aguanaval, abundan todavía los cultivos de temporal, los cuales son de bajo rendimiento, y por otra parte se desconoce el funcionamiento hidráulico del acuífero.

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La actualización del estudio tiene como principales objetivos los siguientes:

- a) Cuantificar la magnitud de la recarga y el volumen de explotación de agua subterránea del acuífero.
- b) Definir la factibilidad de extraer cantidades adicionales de agua del subsuelo y, en su caso, recomendar la distribución adecuada del bombeo.

1.2 LOCALIZACION, EXTENSION Y VIAS DE COMUNICACION DE LA ZONA

El área comprendida por el estudio se localiza en la porción centro, de la provincia fisiográfica de la mesa central, dentro de la región hidrológica N° 36 (Ríos Nazas - Aguanaval).

Geográficamente, queda enmarcada, entre los paralelos 22° 55' y 23° 40' de latitud norte y los meridianos 102°40' y 103°10'

de longitud oeste. La zona de estudio queda en su totalidad dentro del municipio de Fresnillo.

Su extensión es del orden de 2,600 km², figura 1.2.1.

Las principales vías de comunicación la constituyen las siguientes carreteras: Federal N° 45 que cruza la zona del sureste al noroeste, pasando por la Ciudad de Fresnillo, uniendo a ésta con la Ciudad de Zacatecas al sur y con Durango al norte, a 6 km de Fresnillo entronca a la carretera N° 45 la Federal N° 49 que comunica a la zona con la Ciudad de Torreón, la carretera Estatal N° 54 actualmente en construcción, que se pretende llevar hasta las costas de Nayarit, actualmente tiene terminados 90 km de los cuales 64 se desarrollan dentro de la zona de estudio.

La comunicación con el resto del área se tiene a través de terracerías y brechas.

1.3 ANTECEDENTES

Las primeras actividades de tipo geohidrológico realizadas en la cuenca media del Aguanaval, se efectuaron en el año de 1970, mediante el censo de aprovechamientos de agua subterránea con el que se censaron 304 aprovechamientos.

Posteriormente a partir de 1972, la Residencia de Geohidrología y de Zonas Áridas en el Estado, continuó actualizando el censo de aprovechamientos y la lectura de los niveles piezométricos, teniendo censados hasta octubre de 1979, 767 aprovechamientos y lecturas piezométricas en 148 pozos de observación.

Finalmente en 1973 se realizó el Estudio Geohidrológico Preliminar de la Cuenca Media del Aguanaval, el que tenía como objetivo principal evaluar en forma preliminar la potencialidad del acuífero, en el cual se concluyó que la recarga y descarga de éste se encontraban en equilibrio.

1.4 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

El principal núcleo de población dentro del área de estudio es la Ciudad de Fresnillo, en la que la actividad económica más importante es la minería.

Las actividades primarias que constituyen las principales fuentes de riqueza de la zona son la agricultura y ganadería, los cultivos más importantes son: chile, frijol, maíz y en menor escala viña, avena, alfalfa y sorgo.

Además se han instalado 3 secadoras de chile, a fin de preparar la producción de la región, para ser transportadas a los centros de consumo y que el productor tenga una mayor utilidad.

LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

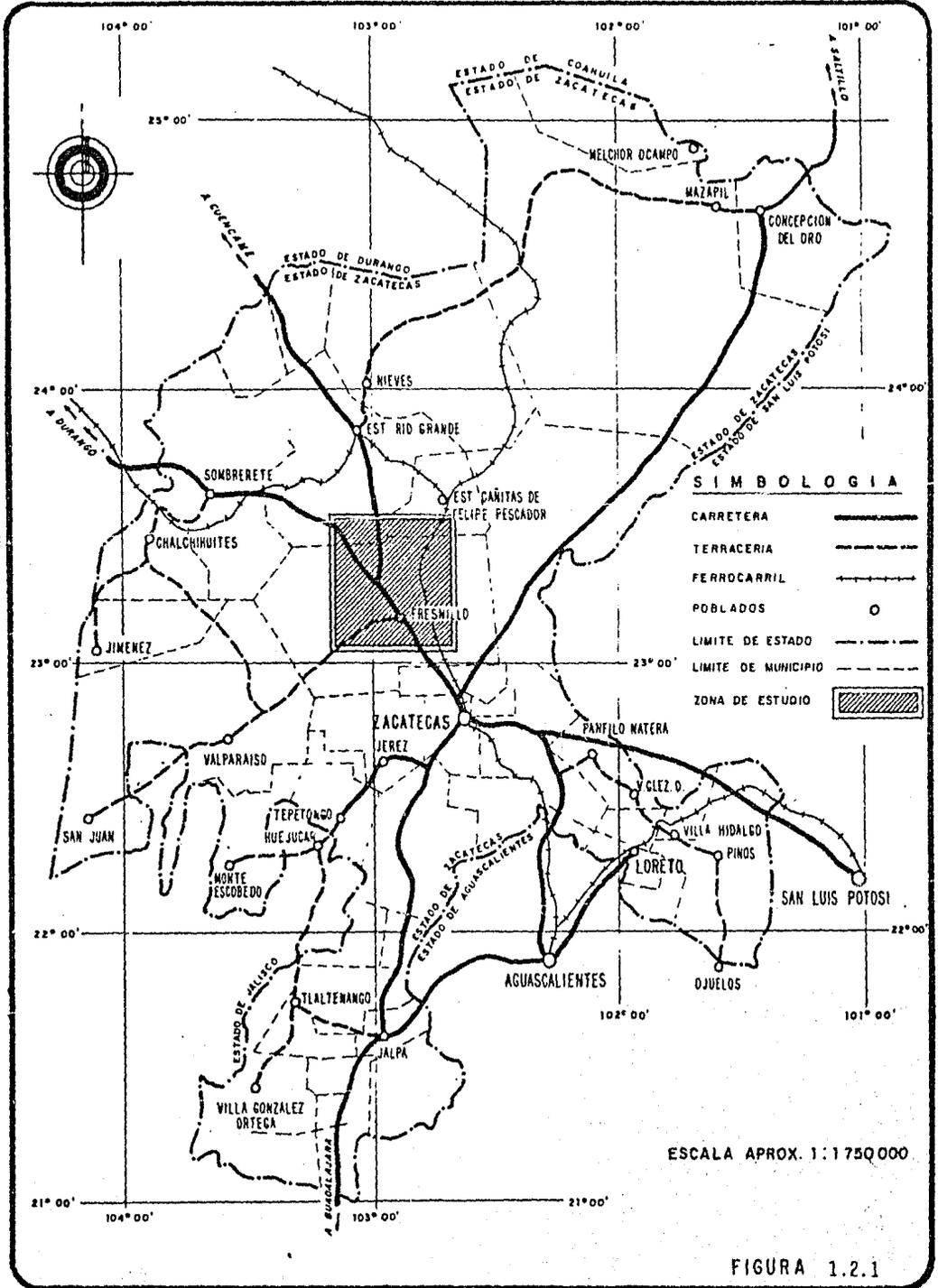


FIGURA 1.2.1

2. ACTIVIDADES DE CAMPO

Con la finalidad de obtener información necesaria para alcanzar los objetivos del presente estudio, fué necesario realizar el programa de trabajo que a continuación se describe; éste se inició en el mes de mayo de 1981.

2.1 HIDROMETRIA DE LAS EXTRACCIONES DE AGUA SUBTERRANEA

Se hicieron aforos en prácticamente todos los aprovechamientos

censados en la cuenca media del Río Aguanaval y se recabaron sus respectivos regímenes de operación; asimismo, con el fin de comparar y precisar el volumen de extracción calculado con el método anterior, se obtuvieron las superficies de riego, las láminas promedio que aplican y los tipos de cultivo desarrollados con aguas del subsuelo.

Así la explotación del acuífero se lleva a cabo mediante 766 captaciones, de las cuales 606 son pozos, 147 norias y las restantes 13 correspondientes a manantiales.

Por otra parte, el 90% de los pozos se destinan al uso agrícola y el 10% complementario, a los usos domésticos, de abrevadero y otros; respectivamente, extraen del subsuelo 70 y 1.5 millones de metros cúbicos anuales (1981). Sus caudales de operación actual varían entre 3 y 85 lps. correspondiendo al promedio el valor de 34 lps.

Las norias, obras de unos cuantos metros de profundidad, se utilizan principalmente con fines agropecuarios, domésticos y de abrevadero, y extraen alrededor de 2 millones de metros cúbicos anuales. Sus caudales varían entre 2 y 29 lps.

Finalmente los manantiales, poseen caudales de 1.0 a 2.5 lps y los 0.47 millones de metros cúbicos que aproximadamente extraen, se aplican principalmente a uso recreativo y agua potable de esa región.

2.2 PRUEBAS DE BOMBEO

Para determinar la transmisibilidad de los acuíferos y la capacidad específica de los pozos, se realizaron 25 pruebas de bombeo en captaciones distribuidas en la zona de estudio; dichas pruebas, en general, abarcaron tanto la etapa de abatimiento como la de recuperación.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.6.1.1

2.3 RECOLECCION DE MUESTRAS DE AGUA

Simultáneamente a la obtención de los caudales de los pozos (aforos), se tomaron 70 muestras de agua convenientemente distribuidas en tal forma que permitiesen efectuar una interpretación hidrogeoquímica representativa de la zona, una vez analizadas. Se tomaron en botellas de plástico de un litro, enjuagándolas 3 veces con agua del aprovechamiento por muestrear. Además en campo se midió la conductividad eléctrica, temperatura y P.H., a todas las muestras, las cuales corresponden a 48 pozos, 18 norias, 3 manantiales y una a la Presa Leobardo Reynoso.

2.4 NIVELACION DE BROCALES

Se nivelaron 26 brocales de pozos, que fueron integrados a los pilotos ya existentes, por el método de doble altura del aparato y partiendo de las obras niveladas en el estudio efectuado en 1973. El desarrollo de dicha nivelación fué de 115 km; así mismo, las cotas obtenidas se presentan en la tabla 2.4.1

2.5 SONDEOS GEOFISICOS

Con el fin de ampliar el conocimiento de la geometría de los acuíferos de la cuenca media del Río Aguanaval, se efectuaron 56 sondeos eléctricos de resistividad, distribuidos convenientemente; en el capítulo 4, se describen los resultados de esta actividad.

TABLA 2.4.1
ELEVACIONES DE BROCAL

POZO N°	ELEVACION (m.s.n.m.)
545	2,092.787
561	2,103.577
711	2,064.886
738	2,076.831
870	2,048.827
873	2,103.929
915	2,106.418
1017	2,116.656
1037	2,065.857
1044	2,075.527
1052	2,138.493
1054	2,134.095
1095	2,156.310
1079	2,063.539
1083	2,106.619
1087	2,134.465
1090	2,107.617
1130	2,149.593
1156	2,096.506
1169	2,036.405
1189	2,062.206
1190	2,054.851
1193	2,066.382
1247	2,166.933
1255	2,154.033
1259	2,135.453

3. HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Para el conocimiento de la precipitación pluvial, temperatura, evaporación potencial y, consiguientemente el clima, se seleccionaron las estaciones El Cazadero, El Sauz, Fresnillo, Sain Alto y Santa Rosa; el período de análisis fué de 13 años (1968-1980), en la tabla 3.1.1 se consignan algunas características de éstas (Período de observaciones, promedios anuales, etc.).

3.1 PRECIPITACION PLUVIAL

En la tabla 3.1.2 se muestran los valores de la precipitación promedio mensual relativos al período seleccionado; de aquélla, se observa que los valores más bajos se presentan en el mes de abril y los más altos, en los de julio y agosto.

Con los datos de esta tabla se elaboraron los hietogramas, se presenta el hietograma de la estación Fresnillo en la parte superior de la figura 3.1.1; de dicha figura se observa que el período de lluvias se define de junio a octubre de cada año, ocurriendo lluvias esporádicas relativamente de poca cuantía en los meses restantes.

Las precipitaciones varían de un mínimo de 1.0 mm medido en la estación Cazadero en el mes de abril, a un máximo de 110.8 mm medido en la estación Santa Rosa en el mes de agosto.

En la tabla 3.1.3 se muestran los valores de la precipitación anual y sus promedios, y en la parte inferior de la figura 3.1.1 el hietograma correspondiente, de la cual se puede observar que el promedio anual más bajo (338.0 mm) se presenta en la estación El Cazadero, ubicada al norte de la zona de estudio, y el más alto (456.7 mm), en la estación Santa Rosa.

La precipitación anual más baja cuya lámina fué de 185.9 mm se presentó en los alrededores de la estación el Sauz, en 1969, y la más alta en las proximidades de la misma estación, cuya lámina fué de 762.9 mm, en el año de 1973.

3.2 TEMPERATURA

Los valores de la temperatura promedio mensual se presentan en la tabla 3.2.1 mismos que sirvieron para elaborar las gráficas de la estación Fresnillo, en la parte superior de la figura 3.2.1, se observa que la temperatura asciende gradualmente de enero a junio y desciende de la misma forma de junio hasta enero. El mes más caluroso es junio y el más frío, enero. El promedio anual más alto se presenta en la estación Cazadero con 21.8°C y el más bajo, en la estación Santa Rosa con 10.2°C .

En la tabla 3.2.2 se muestran los valores de la temperatura promedio anual y en la parte inferior de la figura 3.2.1 la gráfica correspondiente a este concepto.

3.3 EVAPORACION POTENCIAL

La tabla 3.3.1 consigna valores medios mensuales de evaporación potencial y en la figura 3.3.1 la gráfica correspondiente a la estación Fresnillo. De éstas se puede observar el ascenso de la evaporación de enero a mayo y su descenso a partir de este mes hasta diciembre.

La evaporación máxima normalmente se presenta en el mes de mayo con valores que oscilan entre 254.3 y 318.2 mm, y la mínima, en el mes de diciembre con valores que varían entre 98.8 y 131.7 mm.

La tabla 3.3.2 muestra valores de evaporación potencial anual y la figura 3.3.1 en su parte inferior, la gráfica correspondiente para la estación Fresnillo. En promedio ésta varía de 1953.6 mm

en la estación Cazadero a 2 398.9 mm en la estación Fresnillo.

3.4 CLASIFICACION DEL CLIMA

De acuerdo con la clasificación del clima propuesta por Koppen y modificada por E. García para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana, el clima que prevalece en la mayor parte del área de estudio es del tipo BS, Kw (w) (e); es decir, se trata de un clima seco, estepario, templado con verano cálido, temperatura media anual de 16°C, con régimen principal de lluvias en verano y de menor importancia en invierno.

3.5 HIDROGRAFIA Y APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUPERFICIAL

La zona de estudio se localiza en la región hidrológica N° 36, "Río Nazas - Aguanaval"; la corriente más importante dentro de aquélla es el Río Aguanaval, el que tiene su origen a 70 km al este de Zacatecas; en el sitio conocido como Cerro Fraile.

Casi desde sus orígenes, a la altura del flanco suroccidental del valle, esta corriente se encuentra aprovechada mediante la presa Leobardo Reynoso, obra superficial más importante dentro de la zona de estudio, la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 75 millones de m³, riega alrededor de 4 892 ha, fué construída en el año de 1949 y es del tipo cortina de enrocamiento. El resto de los escurrimientos son de menor importancia y de caracter torrencial, presentado por lo tanto escurrimientos solamente durante el período de lluvias.

El análisis hidrológico de la corriente principal referida, no se llevó a cabo por carecer de información hidrométrica indispensable.

Existen además aprovechamientos (pequeñas represas y lagunas) de menor capacidad tales como la Laguna Los Ojos de Agua, la de Santa Cruz, la Salada y La Quemada, entre otros, que se encuentran diseminados en la zona de estudio y se utilizan principalmente con fines de abrevadero.

T A B L A 3.1.1

RESUMEN DE DATOS CLIMATOLÓGICOS PROCESADOS

ESTACION	ESTADO	PRECIPITACION EN MM		TEMPERATURA EN °C		EVAPORACION EN MM	
		PERIODO	PROMEDIO ANUAL	PERIODO	PROMEDIO ANUAL	PERIODO	PROMEDIO ANUAL
CAZADERO	ZAC.	1968-1980	389.0	1968-1980	16.8	1968-1980	1953.6
EL SAUZ	ZAC.	1968-1980	411.5	1968-1980	15.9	1968-1980	2029.4
FRESHILLO	ZAC.	1968-1980	401.2	1968-1980	15.9	1968-1980	2398.9
SAIN ALTO	ZAC.	1968-1980	442.8	1968-1980	17.1	-	-
SANTA ROSA	ZAC.	1968-1980	456.7	1968-1980	14.8	1968-1980	2179.2

- No se tienen datos

T A B L A 3.1.2

ESTACION	ESTADO	PERIODO	PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL EN MM											
			ENE.	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAZADERO	ZAC.	1968-1980	5.7	8.3	5.7	1.0'	7.0	62.8	76.6	85.6*	82.7	29.4	10.6	12.6
EL SAUZ	ZAC.	1968-1980	7.2	7.5	5.9	1.4'	9.2	53.8	105.4*	96.7	71.2	26.9	12.1	14.1
FRESHILLO	ZAC.	1968-1980	7.7	4.9	8.4	2.0'	10.6	65.3	92.2*	91.1	61.9	22.8	15.9	15.3
SAIN ALTO	ZAC.	1968-1980	6.9	5.8	5.4	1.5'	13.7	56.5	101.5	105.5*	96.7	25.6	10.5	12.2
SANTA ROSA	ZAC.	1968-1980	11.2	7.4	6.5	1.2'	12.5	67.5	95.9	110.8*	80.9	29.3	16.7	16.8

* Valor máximo

' Valor mínimo

T A B L A 3.1.3

PRECIPITACION ANUAL EN MM

ESTACION	ESTADO	PERIODO ANALIZADO												PROMEDIO	
		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979		1980
CAZADERO	ZAC.	476.1	297.6	407.7	517.0	302.0	592.7*	281.1	317.2	580.2	384.9	394.6	205.7'	286.9	368.0
EL SAUZ	ZAC.	442.2	185.9'	527.7	507.9	344.4	762.9*	286.9	412.0	566.9	314.0	285.3	294.4	419.0	411.5
FRESHILLO	ZAC.	464.0	263.3	407.9	504.0	304.2	559.7	263.8	499.4	683.3*	325.9	398.8	222.2'	319.2	401.2-
SAIN ALTO	ZAC.	543.5	278.0'	551.5	571.0	361.0	667.5*	344.5	322.0	593.5	373.0	506.0	304.0	341.5	442.8
SANTA ROSA	ZAC.	501.0	293.3	634.6	616.3	370.2	649.9*	369.8	398.0	632.1	428.4	418.8	252.6'	375.7	456.7

* Valor máximo

' Valor mínimo

T A B L A 3.2.1

ESTACION	ESTADO	PERIODO	TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL EN °C											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAZADERO	ZAC.	1968-1980	11.3'	11.9	15.1	18.1	20.5	21.8*	21.0	20.3	19.2	16.9	13.4	11.6
EL SAUZ	ZAC.	1968-1980	11.1'	11.9	14.5	17.5	19.5	20.2*	19.3	18.4	17.7	16.0	12.9	11.4
FRESNILLO	ZAC.	1968-1980	11.7'	12.3	14.8	17.5	19.5	19.7*	18.5	17.7	17.2	16.1	13.4	11.8
SAIN ALTO	ZAC.	1968-1980	12.4'	13.4	16.0	18.2	20.8	21.3*	20.4	19.7	18.8	17.3	13.9	12.5
SANTA ROSA	ZAC.	1968-1980	10.2'	11.0	13.6	16.2	18.3	19.0*	17.9	17.4	16.5	15.0	12.1	10.6

* Valor máximo

' Valor mínimo

T A B L A 3.2.2

ESTACION	ESTADO	TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL EN °C											PROMEDIO		
		1968	1969	1970	1971	P E R I O D O		A M A L I Z A D O			1977	1978		1979	1980
						1972	1973	1974	1975	1976					
CAZADERO	ZAC.	16.4	17.3	16.4	17.0	17.5*	16.6	17.0	16.8	16.2'	16.6	16.7	16.5	16.9	16.8
EL SAUZ	ZAC.	15.3	16.5*	15.7	16.0	16.5*	15.8	16.1	15.4	15.0'	15.7	15.9	15.9	16.5*	15.9
FRESHILLO	ZAC.	16.4	16.8*	16.0	16.0	16.2	15.7	15.7	15.5	14.5'	15.8	15.5	16.1	16.0	15.9
SAIN ALTO	ZAC.	17.8	18.5*	16.4	17.3	17.6	16.3'	17.3	17.6	16.3'	17.0	16.5	16.5	16.8	17.1
SANTA ROSA	ZAC.	14.7	15.3*	14.7	15.0	14.9	14.5	14.9	14.7	14.4'	14.8	14.8	14.9	15.0	14.8

* Valor máximo

' Valor mínimo

T A B L A 3.3.1

ESTACION	ESTADO	PERIODO	EVAPORACION PROMEDIO MENSUAL EN MM											
			EHE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAZADERO	ZAC.	1968-1980	113.1	137.7	214.6	237.5	255.2*	211.5	171.5	147.9	127.9	127.1	110.7	98.8*
EL SAUZ	ZAC.	1968-1980	115.6	143.5	220.1	247.9	254.3*	220.8	182.8	157.6	133.8	133.4	117.7	102.0*
FRESHILLO	ZAC.	1968-1980	142.7	173.1	264.3	306.0	318.2*	233.1	197.3	178.2	152.6	155.3	146.2	131.7*
SANTA ROSA	ZAC.	1968-1980	125.8	155.4	234.3	274.3	285.2*	226.2	186.5	166.9	142.3	141.8	131.2	109.3*

* Valor máximo

† Valor mínimo

T A B L A 3.3.2

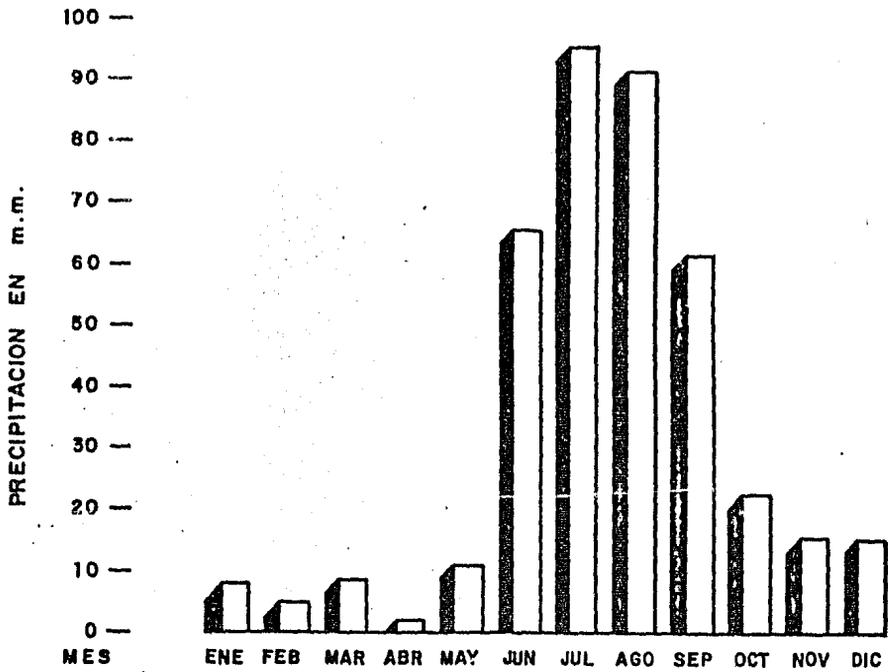
EVAPORACION ANUAL EN MM

ESTACION	ESTADO	PERIODO ANALIZADO											PROMEDIO		
		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978		1979	1980
CAZADERO	ZAC.	1843.5	2047.1	1904.6	1864.2	1939.4	1892.6	1961.6	1994.6	1808.0'	1878.7	1982.4	2133.7	2146.5*	1953.6
EL SAUZ	ZAC.	1888.2	2156.5	1975.8	1939.1	2150.8	2110.4	2207.0*	2026.5	1878.5'	1980.0	2047.7	2068.6	1953.5	2029.4
FRESNILLO	ZAC.	2189.4'	2603.2	2417.2	2460.7	2540.2	2600.6	2527.2	2678.9*	2225.9	2195.9	2263.4	2236.4	2247.0	2398.9
SANTA ROSA	ZAC.	2074.2	2428.0*	2268.5	1982.4	2206.1	2149.5	2221.1	2146.5	1937.7'	2130.6	2230.0	2323.6	2231.7	2179.2

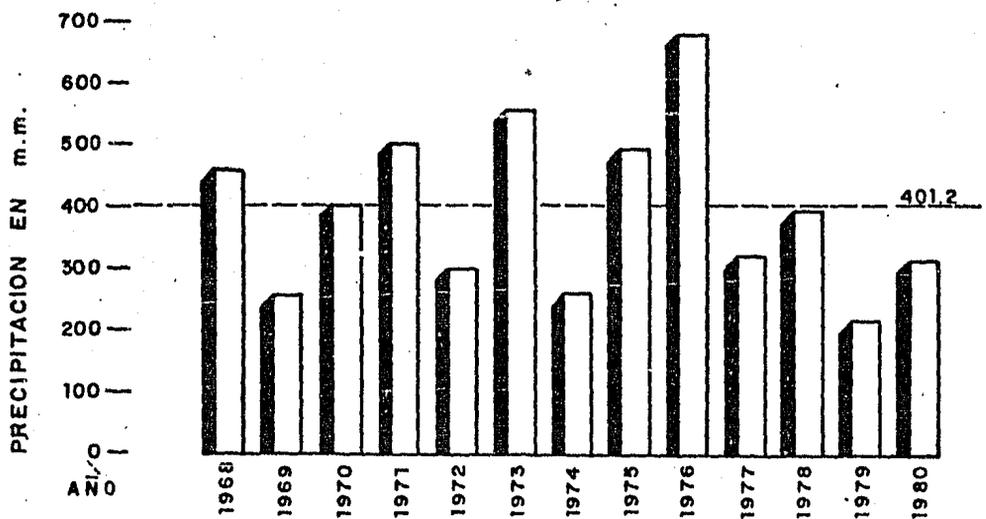
* Valor máximo

' Valor mínimo

ESTACION FRESNILLO, ZAC.
PERIODO 1968-1980



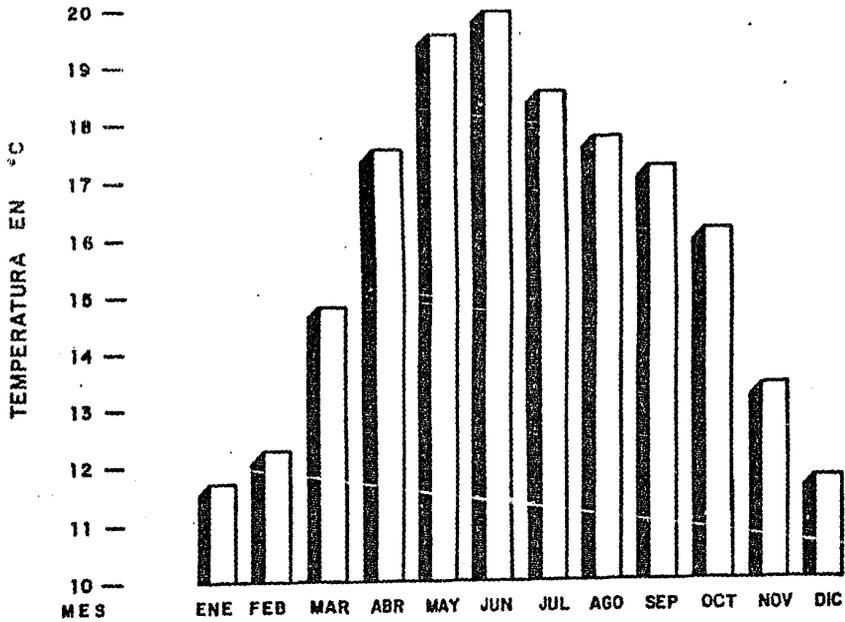
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL



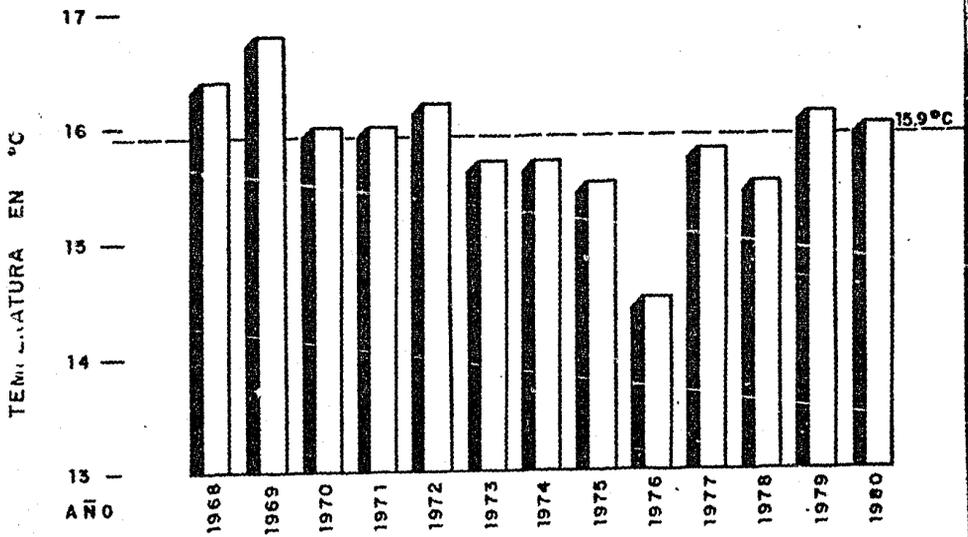
PRECIPITACION ANUAL

FIGURA. 3.1.1

ESTACION FRESNILLO, ZAC.
PERIODO 1968-1980



TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL

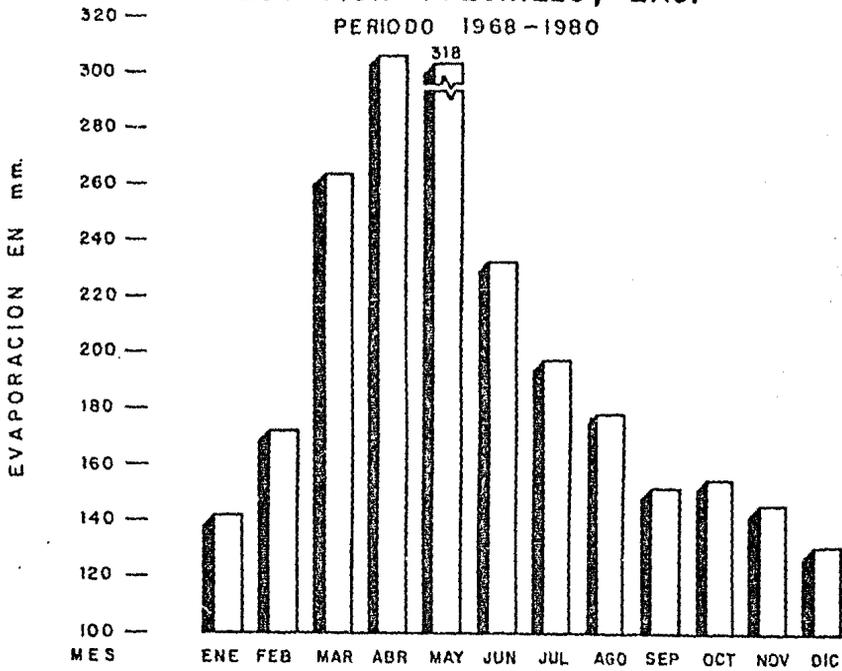


TEMPERATURA ANUAL

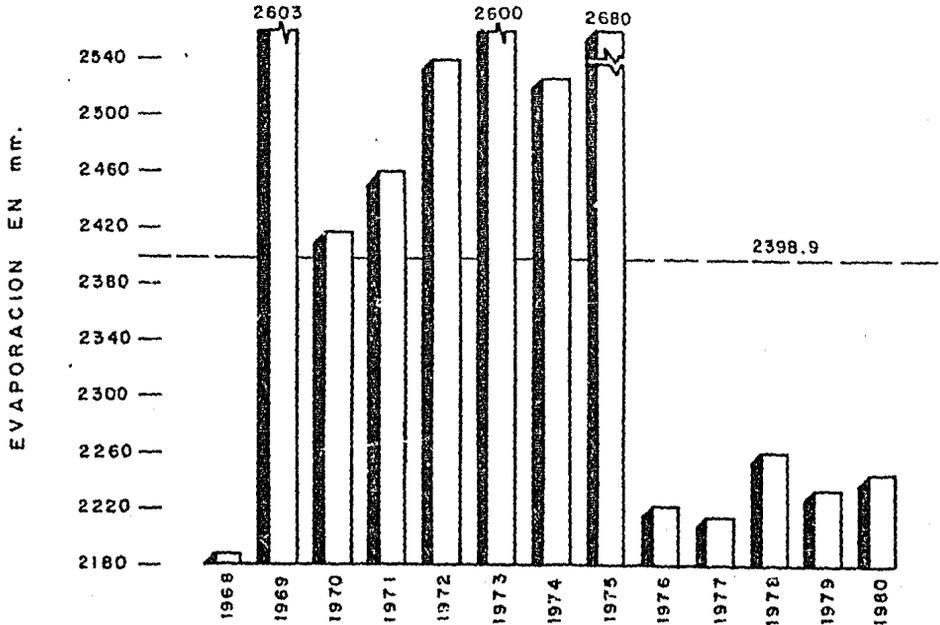
FIGURA. 3.2.1

ESTACION FRESNILLO, ZAC.

PERIODO 1968-1980



EVAPORACION PROMEDIO MENSUAL



EVAPORACION ANUAL

FIGURA 3.3.1

4. EXPLORACIONES INDIRECTAS

4.1 Exploración

Como parte del Estudio Geohidrológico del Valle de Aguanaval, la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas, a través de su Residencia en el Estado de Zacatecas, construyó seis pozos de exploración directa, que tuvieron los siguientes objetivos:

- a) Conocer la litología de las formaciones que integran

el marco geológico, en que ocurre el flujo subterráneo.

- b) Conocer la extensión y geometría del acuífero.
- c) Conocer sus características hidráulicas y niveles piezométricos.

Los pozos así construídos, tuvieron el carácter de exploración-explotación, ya que una vez que cumplieron con los objetivos mencionados, se equiparon para explotarlos, con el fin de satisfacer demandas de tipo agrícola.

4.1.1 POZOS EXPLORATORIOS

El programa de exploración directa se inició en el año de 1972, con la construcción de los pozos PZF-9 y PZF-15, continuó en el año de 1974, con los pozos PZF-70 y PZF-76 en el año de 1977, con los pozos PZAC-B-77-145, y PZAC-B-77-146. Su localización, supervisión, recolección de información, diseño de sus características constructivas y ejecución de pruebas, estuvo a cargo de la Residencia del Estado de Zacatecas.

El programa de exploración, aún no se termina, ya que de acuerdo a los resultados de la prospección geofísica, incluidos en el presente estudio, es necesario construir tres pozos para completar la información de las características litológicas e hidráulicas de las formaciones que contienen al acuífero. Esto también ayudará a elaborar un modelo de simulación que permita analizar diferentes alternativas de explotación y así seleccionar la más adecuada.

El corte litológico de un pozo exploratorio, así como sus características constructivas, nivel piezométrico y caudal aforado, se presenta en la figura 5.1.1.

4.1.2 LITOLOGIA Y REGISTROS ELECTRICOS

Los cortes litológicos y los registros eléctricos, obtenidos de los pozos exploratorios, revelan que el acuífero de la Cuenca Media del Aguanaval, lo forman sedimentos de granulometría heterogénea, principalmente arcillas, arenas y gravas, cuya distribución es muy variable, tanto en sentido horizontal como vertical. En los dos primeros pozos, que alcanzaron profundidades del orden de 400 m. se puede detectar, que a profundidades mayores de 250 m, predomina la presencia de gravas, aunque ocasionalmente, se tiene presencia de finos, como arcillas. En los primeros 250 m, predominan materiales finos, como arcillas y arenas, con excepción de pequeñas intercalaciones de materiales gruesos.

4.2 EXPLORACION GEOFISICA

Como parte complementaria del estudio geohidrológico de la cuenca media del Aguanaval, se realizó un programa de exploración in directa mediante 56 sondeos eléctricos verticales que integraron 4 secciones geoelectricas de longitud variable.

Los sondeos tuvieron como objetivo conocer la forma y estructura de los acuíferos.

4.2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS SECCIONES

Los 56 sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) de "resistividad",

se distribuyeron a lo largo de cuatro secciones de longitud variable, la separación entre S.E.V., fué desde 1 hasta 2 km aproximadamente.

La sección I, tiene una longitud aproximada de 13.5 km, va a lo largo de una terracería que une el poblado de Guanajuato con la Laguna Los Ojos de Agua y cruza los poblados de La Escondida, Las Varitas, San Jerónimo y por último Trujillo.

Contiene un total de 13 sondeos que se numeran del 1 al 13 y su orientación NW-SE.

La sección II, presenta orientación NW-SE, tiene una longitud de 18.5 km, la forman 15 sondeos numerados del 14 al 28, corre desde el poblado de Plenitud pasando por los de Emancipación, Eréndira, El Jaralar, El Obligado y finaliza a 7 km al W de Fresnillo, sobre la carretera que une a esta ciudad con San José del Alamito.

La sección III, está integrada por 11 sondeos, los que se enumeran del 29 al 39, tienen orientación NW-SE, corre a lo largo de la carretera que une a Fresnillo con Durango, comienza en el poblado de El Baluarte, cruzando por El Palmar, estación de Gasolina Las Palmas, y finaliza 3.5 km al NW de La Chicharrona. Presenta una longitud total de 16 km.

La sección IV, presenta orientación sensiblemente W-E, está compuesta por 19 sondeos, tiene 19 km de longitud y cruza las poblaciones La Sala, La Encantada y Estación Gutiérrez.

4.2.2 RESULTADO DE LAS INTERPRETACIONES

En el plano 5.3.1 se presenta el corte geoelectrico correspondiente a la sección I, en el cual se definen profundidades, espesores y resistividades verdaderas de las unidades geoelectricas.

En la sección I, se clasificaron seis unidades geoelectricas, que se comentan a continuación:

La unidad I, comprende el rango de resistividades de 10 a 18 Ω -m y se asocia con la capa de suelo superficial compuesta por materiales granulares finos, dentro de la cual queda comprendida la unidad 1' cuyo rango resistivo es de 120 a 280 Ω -m, asociada con materiales gruesos alterados y drenados. Su espesor es de 6 m.

La unidad 2, comprende las resistividades entre 48 y 84 Ω -m y tiene espesor variable ya que se presenta en forma de lente, calculándose en 25 m, en promedio. Se asocia con materiales gruesos de pie de monte; son de buena permeabilidad y están drenados.

La unidad 3, comprende resistividades de 16 a 21 Ω -m; su espesor es variable y de unos 70 m. en promedio y se correlaciona con aluviones areno-arcillosos, de baja permeabilidad.

La unidad 4, presenta valores resistivos de 18 a 51 Ω -m, tiene un promedio de 220 m, presenta cambios en sentido vertical, debido a la diferencia granulométrica y al variable grado de compacidad de las gravas, que principalmente la forman, presentan buena permeabilidad.

La unidad 5, de 6 a 8 Ω -m de resistividad, define un espesor de unos 110 m y se presenta en forma de lente arcillo-limoso de baja permeabilidad; se detectó en los S.E.V. 6 a 11.

La unidad 6, se presenta en dos cuerpos, uno con espesor promedio de 50 m, en forma de derrame de riolitas fracturadas, entre los sondeos 11 y 13, debajo de la unidad 2 y sobreyaciendo a la unidad 4, con resistividades de 126 a 131 Ω -m. El otro se presenta a lo largo de todo el perfil, subyaciendo a la unidad 4, con resistividades de 140 a 187 Ω -m, su espesor no se puede acotar, constituye la base de los sedimentos granulares. De acuerdo con el marco geológico superficial y las variaciones de las resistividades que presentan, se puede correlacionar con un conglomerado cementado, que puede estar formado, ya sea por tobas compactas de composición variable o bien con riolitas fracturadas. Es de permeabilidad variable.

En la sección II, se pudieron diferenciar cinco unidades geoeléctricas:

La unidad 1, comprende el rango de resistividad de 15 a 180 Ω -m, y tiene un espesor de 5 m en promedio. Se asocia con la capa de suelo superficial compuesta por aluviones gruesos de buena permeabilidad.

La unidad 4, se presenta en dos cuerpos, uno de ellos subyaciendo a la unidad 1, con resistividades de 11 a 39 Ω -m y con espesor promedio de 50 m. El otro subyace a la unidad 5, con espesor promedio de 250 m, y resistividades comprendidas entre 13 y

31 Ω -m. La constituyen gravas y arenas con bajo contenido de finos, son de buena permeabilidad.

La unidad 5, comprende el rango de resistividad de 6 a 8 Ω -m, siendo su espesor aproximado de 110 m en promedio. Se asocia con arcillas y limos de baja permeabilidad.

La unidad 6, se detectó de los sondeos 15 a 17 y de 20 a 22, subyaciendo a la unidad 4, con resistividades de 225 a 380 Ω -m, se correlaciona con una toba compacta o con un derrame riolítico, impermeable.

La unidad 6', se detectó también subyaciendo a la unidad 4, en el sondeo 14, entre 17 y 20, y también del 22 al 28, con resistividades, que varían de 133 a 221 Ω -m, se correlaciona con; un conglomerado cementado, una toba compacta de composición variable o bien con riolitas fracturadas. De permeabilidad variable.

La Sección III, muestra 6 unidades:

La unidad 1, comprende resistividades que varían entre 115 y 221 Ω -m, se asocia con la capa de suelo superficial compuesta por materiales gruesos tales como gravas y arenas, alterados y drenados. Su espesor es de casi 6 m.

La unidad 3, tiene resistividades de 10 a 28 Ω -m, y un espesor variable de 15 a 110 m; se correlaciona con aluviones areno-arcillosos de baja permeabilidad.

La unidad 4, presenta resistividades de 21 a 61 Ω -m, tiene espe

sor potente de distribución lateral heterogénea y de más de 300 m. Se correlaciona con arenas y gravas con bajo contenido de finos, de buena permeabilidad.

La unidad 5, comprende valores de 4 a 10 Ω -m de resistividad, se presenta como una lente cuya potencia máxima es de unos 140 m y se correlaciona con arcillas y limos de baja permeabilidad.

La unidad 6, comprende el rango resistivo de 276 a 401 Ω -m; se presenta entre los sondeos 49 a 53, subyaciendo a la unidad 4, su espesor quedo indefinido, se asocia con conglomerados y/o tobas y/o rocas compactas de baja a nula permeabilidad.

La unidad 6', se presenta en dos cuerpos, uno de ellos entre los sondeos 46 a 49, subyaciendo a la unidad 3, con espesor promedio de 100 m, y resistividades de 128 a 152 Ω -m, se correlaciona con un derrame de roca riolítica fracturada.

El segundo cuerpo, se presenta en forma discontinua, entre los sondeos 46 a 49, subyaciendo a la unidad 4 y entre los sondeos 54 a 56, subyaciendo a las unidades 4 y 5.

Su espesor quedó indefinido y con resistividades que varían de 169 a 215 Ω -m, se correlaciona con un conglomerado cementado, una toba compacta de composición variable o bien una roca riolítica, fracturada. De permeabilidad variable..

La sección IV fué la más larga y diferencia seis unidades.

La unidad 1, comprende valores resistivos de 58 a 350 Ω -m, poseé

espesor de 6 m y se asocia con la capa de suelo superficial, formada por materiales granulares gruesos poco compactos, ocasionalmente cementados con carbonato de calcio.

La unidad 3, presenta resistividades entre 3 y 29 Ω -m, se presenta a lo largo de todo el perfil a excepción del sondeo 37, tiene espesor promedio de 130 m. Se correlaciona con aluviones arenarcillosos de baja permeabilidad.

La unidad 4, comprende resistividades entre 11 y 41 Ω -m, posee un espesor medio de 200 m y se correlaciona con materiales granulares compuesto por gravas y arenas con bajo contenido de finos, de buena permeabilidad.

La unidad 6, se presenta con resistividades que varían de 210 a 491 Ω -m, su espesor no se pudo definir, constituye la base de los sedimentos granulares y se asocia con una toba compacta de composición variable o bien con derrames de riolitas impermeables.

La unidad 6', se presenta entre los sondeos 29 a 34 subyaciendo a la unidad 4, su espesor no se pudo determinar y tiene resistividades entre 127 y 208 Ω -m, se asocia con un conglomerado cementado y/o con una toba compacta de composición variable o bien con riolita fracturada, de permeabilidad variable.

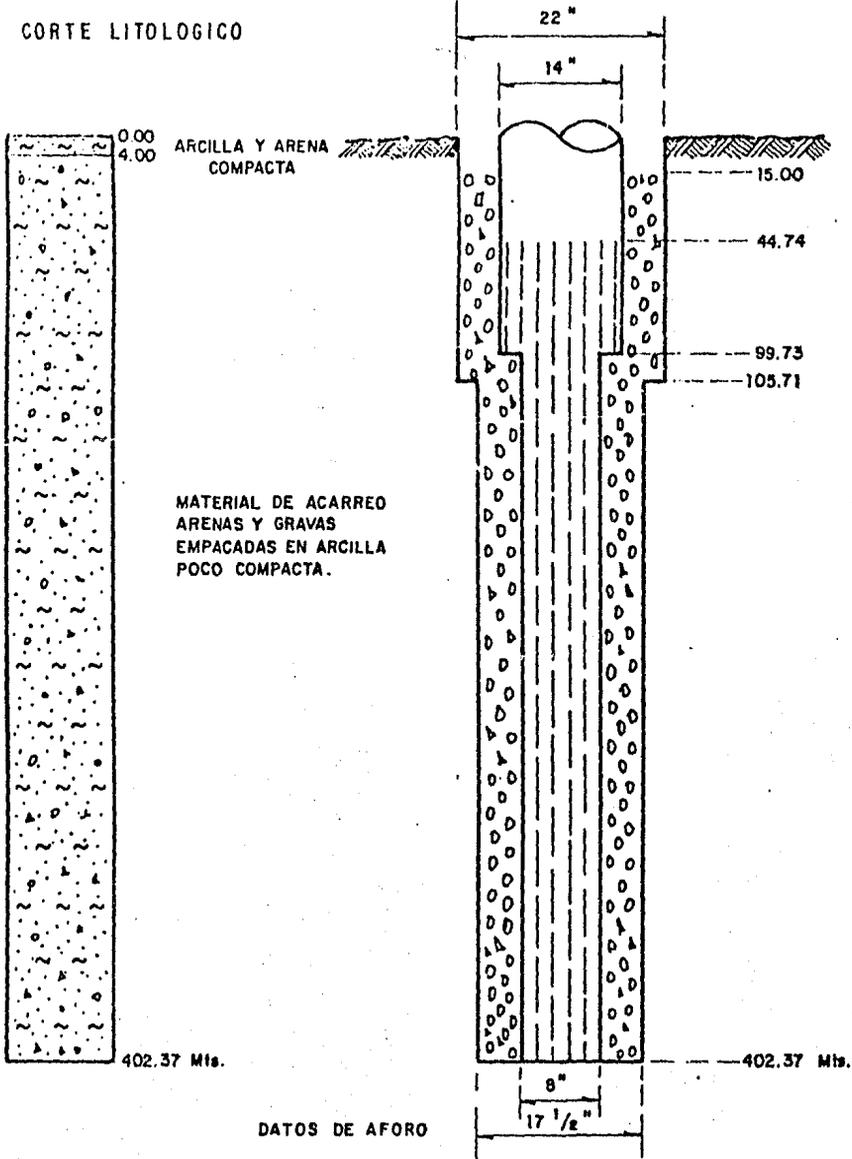
La unidad 7, se presenta sobreyaciendo a la unidad 1 a lo largo del perfil con excepción de los sondeos 33 y 34, con un espesor que varía de 15 a 50 m, y resistividades de 65 a 93 Ω -m, se co-

rrelaciona con derrumbes de brechas o basaltos fracturados de permeabilidad variable y drenados.

POZO DE EXPLORACION N° PZF-9
 UBICACION : EJIDO SN. JOSE DE LOURDES, MUNICIPIO DE FRESNILLO, EDO: ZAC.

CORTE DE TERMINACION

CORTE LITOLOGICO



DATOS DE AFORO

N.E. = 10.57 m.
 N.D. = 21.95 m.
 Q' = 108.80 lps.
 Qs = 9.56 lps/m.

FIGURA N° 5.1.1

SIMBOLOGIA

PLANO Nº 5.3.1

Sondeo eléctrico vertical.



Contacto eléctrico.



Discontinuidad eléctrica.



Contacto eléctrico inferido.



Escala Horizontal.

1 : 50,000

Escala Vertical.

1 : 5,000

COLUMNA GEOELECTRICA

1

$10 \leq \rho \leq 18 \Omega \cdot m$. CAPA DE SUELO SUPERFICIAL COMPUESTA POR MATERIALES GRANULARES FINOS, EN 1' ES MAYOR LA PROPORCION DE GRAVAS Y LAS RESISTIVIDADES VARIAN DE 120 A 280 $\Omega \cdot m$. DE PERMEABILIDAD VARIABLE Y DRENADOS.

2

$48 \leq \rho \leq 84 \Omega \cdot m$. MATERIALES GRUESOS DE PIE DE MONTE DE BUENA PERMEABILIDAD, DRENADOS.

3

$16 \leq \rho \leq 21 \Omega \cdot m$. ALUVIONES ARENO-ARCILLOSOS DE BAJA PERMEABILIDAD.

4

$18 \leq \rho \leq 51 \Omega \cdot m$. ALUVIONES COMPUESTOS POR ARENAS Y GRAVAS CON BAJO CONTENIDO DE FINOS. BUENA PERMEABILIDAD.

5

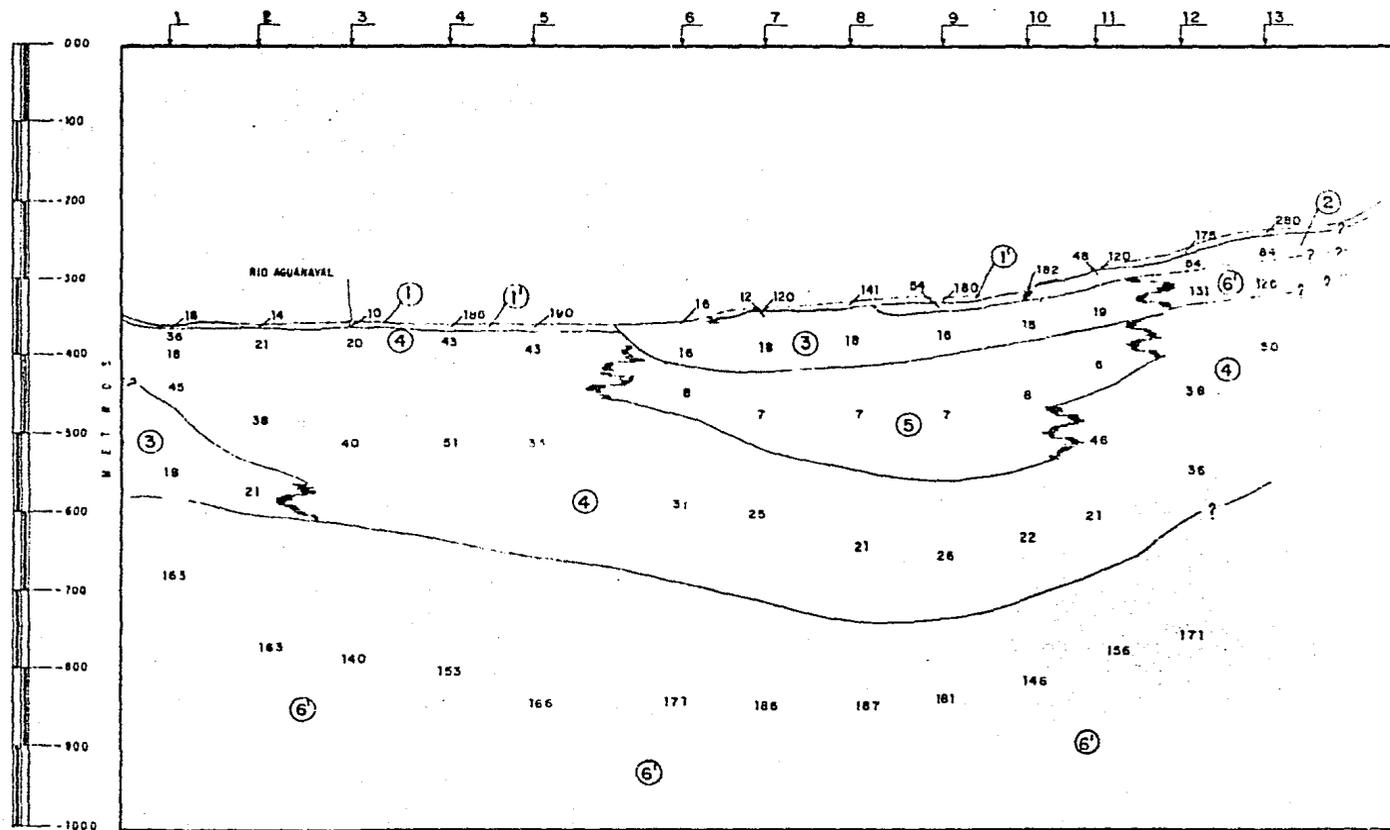
$6 \leq \rho \leq 8 \Omega \cdot m$ ALUVIONES FORMADOS POR MATERIALES GRANULARES FINOS (ARCILLAS Y LIMOS) BAJA PERMEABILIDAD.

6'

$126 \leq \rho \leq 187 \Omega \cdot m$. CORRELACIONABLE CON UN CONGLOMERADO CEMENTADO, CON UNA TOBA COMPACTA DE COMPOSICION VARIABLE O CON RIOLITAS FRACTURADAS. PERMEABILIDAD VARIABLE.

ZONA : CUENCA MEDIA DEL AGUANAVAL, ZAC.

CORTE GEOELECTRICO SECCION I



5. HIDROLOGIA SUBTERRANEA

5.1 I n t r o d u c c i ó n

En el presente capítulo se establece el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero de la Cuenca Media del Aguanaval; con base en él, se hace el análisis cualitativo y cuantitativo de su mecanismo recarga - descarga. Se analiza la información piezométrica, hidrométrica, hidrogeológica, geofísica y de prue

bas de bombeo a fin de hacer una evaluación de la potencialidad de reservas hidráulicas del subsuelo.

5.2 MODELO CONCEPTUAL DEL ACUIFERO

El acuífero del valle de la cuenca media del Aguanaval es de origen fluvial y lo constituyen sedimentos granulares que tienen cambio de facie tanto horizontal como vertical, se encuentran depositados sobre una base que la pueden formar conglomerados cementados o rocas ígneas generalmente impermeables, pero que pueden presentar permeabilidad por fracturamiento.

En general en los primeros 250 m del acuífero predominan sedimentos de grano fino y después de esta profundidad predominan sedimentos más gruesos, los que ocasionalmente pueden estar mezclados con aquellos. Lateralmente también varía el espesor de los sedimentos finos, existiendo áreas hacia el centro del Valle donde se presentan los mayores espesores, y otras en cambio, donde los mayores espesores se presentan hacia los flancos del Valle, como consecuencia de su origen.

La recarga del acuífero ocurre primordialmente por la infiltración en los cauces de los arroyos, ríos y canales que han sido construídos para el aprovechamiento de las aguas de la Presa Leobardo Reynoso y en la transición o superficie de contacto de la sierra con la zona del valle; su descarga ocurre por flujo horizontal subterráneo, a través del río Aguanaval por flujo base y principalmente mediante extracción por bombeo. Regionalmente se trata de un sistema de flujo libre de geometría y litología irregular.

5.3 HIDROGEOLOGIA

En la zona de estudio afloran rocas permeables como impermeables.

Las impermeables, corresponden a rocas volcánicas e intrusivas, sedimentarias marinas y metamórficas, las cuales afloran en las sierras limítrofes. Las rocas permeables, están compuestas de materiales de origen aluvial, las cuales presentan permeabilidad variable dependiendo de su textura y clasificación, grado de compacidad, cementación, tamaño, forma y acomodo de sus granos.

5.4 PIEZOMETRIA

Para conocer la potencialidad de un acuífero y programar su explotación más conveniente, es importante conocer la posición, elevación de sus niveles de agua, ya que con éstos elementos es posible hacer su evaluación.

Al respecto, se integró y seleccionó la información piezométrica disponible; específicamente se contó con lecturas de niveles del agua de mayo a noviembre de 1973, mayo de 1976, mayo de 1978; marzo, mayo, agosto, octubre, noviembre y diciembre de 1980; y por último con lecturas de 1981 relativas a intervalos de dos meses, iniciándolas en enero y terminándolas en septiembre.

En la tabla 5.4.1 se presenta la piezometría de la cuenca media del Aguanaval para el mes de julio en 1980 y 1981 y las elevaciones respectivas.

5.4.1 HIDROGRAFOS DE POZOS

La variación con respecto al tiempo del nivel estático en diferentes puntos del acuífero es consecuencia del mecanismo de recarga-descarga del mismo. La representación gráfica de esta variación se denomina hidrógrafo del aprovechamiento correspondiente y constituye un elemento de gran utilidad para definir períodos de evolución de niveles, así como para realizar una depuración de las observaciones erróneas, para el trazo de configuraciones de profundidades al nivel del agua, elevaciones y evoluciones del nivel estático.

Con este fin se elaboraron hidrógrafos de aprovechamientos seleccionados y representativos del comportamiento de la evolución de los niveles estáticos. En las figuras 5.4.1.1 y 5.4.1.2 se ilustran dos gráficas de las cuales, en general, se observa una posición media de los niveles piezométricos y las recuperaciones de los mismos.

5.4.2 PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA

El conocimiento de la profundidad al nivel del agua en un acuífero, es de vital importancia en la planeación de aguas subterráneas.

En general, los niveles más someros se presentan próximos al cauce del Río Aguanaval desde un mínimo de 10 m, incrementándose hacia el borde noroccidental del valle hasta en 60 m. de profundidad y en 50 m, en el borde centro oriental.

5.4.3 CONFIGURACION DEL NIVEL ESTATICO

Para el trazo de configuraciones, previamente se seleccionaron aquellos recorridos de observaciones piezométricas más completos, y referidas a pozos nivelados; se elaboraron las configuraciones de elevaciones del nivel estático correspondientes a julio de 1973, mayo de 1978, agosto de 1979, y por último julio de 1980 y 1981, las cuales muestran comportamientos piezométricos semejantes entre sí; por tal motivo, para hacer los comentarios siguientes se seleccionó la configuración de 1981, que fué la que contó con más apoyo de información y se consideró representativa de condiciones actuales. En el plano 5.4.5.1 aparece esta configuración.

En la porción suroeste del área, cerca de Agua Zarca de los Martínez, se presenta la elevación máxima del nivel estático con valor de 2 100 msnm disminuyendo gradualmente hacia el norte hasta la elevación de 1 990 msnm; así mismo, en los aprovechamientos 715 y 717 se define una pequeña depresión de la superficie piezométrica, que es posible atribuirla al bombeo que se realiza en esa área.

A excepción de la depresión local anteriormente mencionada, en el resto del área la forma y disposición de las curvas de igual elevación son indicativas de la presencia del drenado casi natural del acuífero.

Entre los poblados de Altamira y Río Medina, en la porción norte de la zona de estudio, la distribución y comportamiento de las equipotenciales y el caudal base que registra en ese tramo,

permiten deducir que el Río Aguanaval se comporta como una corriente afluente.

5.4.4 EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

Con base en los hidrógrafos, se seleccionaron intervalos para elaborar las configuraciones de evolución del nivel estático, se presenta en el plano 5.4.4.1 la correspondiente al período 1980-1981.

Del análisis de dichas configuraciones es posible señalar en forma cualitativa que el acuífero de la cuenca media del Aguanaval está en equilibrio, ya que los abatimientos obtenidos son de poca cuantía y corresponde a variaciones particulares de la recarga media del acuífero y originadas por la variación de la precipitación en los últimos años.

Lo anterior se confirma al observar las evoluciones del nivel estático relativas al intervalo 1980 - 1981, donde se definen recuperaciones hasta de 2 m y abatimientos locales al oeste de Fresnillo de 4 m.

5.4.5 RED DE FLUJO

La red de flujo subterráneo, ilustrada en el plano 5.4.5.1 y correspondiente a julio de 1981, define las siguientes características principales; la dirección regional del flujo de agua subterránea es del sur hacia el norte, las cargas hidráulicas, correspondientemente, varían desde la 2 080, la mayor hasta la

1 990 msnm, la menor, aparentemente las sierras limítrofes recargan lateralmente al acuífero del valle, particularmente las de la porción suroccidental, y probablemente, parte del agua del subsuelo descargue al Río Aguanaval en el sitio del poblado de Altamira; así mismo, dicha red, no manifiesta conos piezométricos importantes y presenta gradientes que varían en el norte de 1.25 a 10×10^{-3} y en la porción sur de 2.5 a 3.8×10^{-3} .

5.5 HIDROMETRIA DE LAS CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRANEA

La explotación de agua subterránea de la zona de estudio, se efectúa por medio de 766 aprovechamientos y es de unos 73×10^6 m³/año.

En la tabla 5.5.1 se presentan los caudales de operación, horas de bombeo anual y su volumen de extracción anual para los últimos aprovechamientos censados.

5.6 PRUEBAS DE BOMBEO

Con la finalidad de conocer las características hidrodinámicas del acuífero, representadas por la transmisividad y coeficiente de almacenamiento, se efectuaron 25 pruebas de bombeo de corta duración.

El tiempo de duración de las pruebas dependió de la necesidad de uso del agua que tuvieron los propietarios de los equipos de bombeo y del comportamiento de los niveles del agua durante el desarrollo de aquéllas.

Los aprovechamientos donde se efectuaron las pruebas tienen profundidades que varían entre 100.0 y 250 m, caudales de 12.5 a 69.0 lps y diámetros de descarga que van de 8.0 a 20.8 cm.

5.6.1 METODO DE INTERPRETACION

La interpretación de las pruebas se efectuó por medio del criterio de Jacob, el cual es aplicable a acuíferos confinados o libres cuyo espesor sea mucho mayor que sus abatimientos. En las figuras 5.6.1.1 a 5.6.1.2 se muestran las gráficas correspondientes, a un abatimiento y una recuperación respectivamente dibujadas en papel semilogarítmico.

Los puntos correspondientes a los primeros tiempos de casi todas las gráficas presentan notable desviación de la recta ajustada a las observaciones subsecuentes. Esta desviación se debe probable y principalmente al almacenamiento de agua existente en la columna de bombeo y ademe del pozo y a las pérdidas de carga generadas por las características constructivas del mismo.

Las ecuaciones de Jacob para obtener los coeficientes de transmisividad y almacenaje son las que a continuación se anotan:

$$T = \frac{0.183 Q}{m} \quad S = \frac{2.5 T t_0}{r^2}$$

donde:

T : Transmisividad de la porción del acuífero afectada por el bombeo

S : Coeficiente de almacenaje

Q : Caudal de bombeo en m^3/seg .

m : Pendiente de la recta de ajuste en m/ciclo

t_0 : Tiempo correspondiente a un abatimiento nulo

r : Distancia horizontal que hay entre el pozo de bombeo y el de observación

En la tabla 5.6.1.1 se presenta un resumen de resultados de las pruebas, así como algunos datos útiles complementarios tales como: número de identificación y profundidad de la captación donde se efectuó la prueba, tiempo de duración de la misma tanto de su etapa de abatimiento como de recuperación, diámetro de descarga, caudal y caudal específico, entre otros.

Los valores de transmisividad determinados varían de 0.23 a $31 \times 10^{-3} m^2/\text{seg}$, correspondientes a caudales específicos de 0.44 y 10 lps/m; su distribución espacial es muy errática como consecuencia de las variaciones de permeabilidad tanto lateral como vertical que tienen los materiales granulares que constituyen el acuífero.

5.7 PRUEBAS DE AFORO

En los seis pozos exploratorios construidos se efectuaron pruebas de aforo con el objeto de conocer su capacidad específica y seleccionar su caudal de operación.

Estas pruebas se realizaron de acuerdo con la metodología establecida por la Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas.

Su interpretación se efectuó a partir de la expresión propuesta por Jacob, para calcular el abatimiento en un pozo.

$$a = BQ + CQ^2$$

$$\frac{a}{Q} = B + CQ \quad (1)$$

donde:

$\frac{a}{Q}$ = abatimiento específico

B = abatimiento en el acuífero

C = coeficiente de pérdida de carga en el pozo

Q = caudal de bombeo en el pozo

La ecuación (1) es la de una recta cuya pendiente es el valor de C y cuya ordenada al origen es el valor de B en un sistema de ejes coordinados, (Q, a/Q).

Para la obtención de las parejas de valores (Q, a/Q) que nos determinan un punto en el sistema de coordenadas mencionando, las variaciones del nivel del agua en cada etapa de aforo se grafican en papel semilogarítmico ajustándose los puntos a una recta, de la que se obtienen en cada etapa los valores mencionados para un tiempo T que debe ser el mismo en cada etapa y que se elige dentro del intervalo de duración de las mismas.

5.8 CUANTIFICACION DE LA RECARGA DEL ACUIFERO

De acuerdo con el concepto de funcionamiento del acuífero, la ecuación de balance del mismo quedó de la forma siguiente:

$$Es + Rv - Ss - B = \frac{+}{-} AVS$$

donde:

Es : Entrada por flujo subterráneo

Ss : Salida por flujo subterráneo

Rv : Recarga vertical

B : Extracción por bombeo

AVS : Cambio en el almacenamiento, siendo S el coeficiente de almacenamiento medio del acuífero.

El cálculo de los volúmenes medios de entrada y salida subterráneos, relativos al área de balance, se efectuó a partir de las redes de flujo correspondientes al inicio y final del intervalo de balance elegido y aplicando la expresión:

$$Q : T . i . B$$

donde:

Q : Caudal de entrada o salida en m³/seg

T : Transmisividad en m²/seg de las celdas de entrada o salida

i : Gradiente hidráulico del flujo subterráneo correspondiente a cada una de los canales de entrada y salida

B : Ancho de los canales de entrada o salida de flujo subterráneo en m.

La extracción por bombeo, para el intervalo seleccionado, se ob

tuvo mediante la suma de los volúmenes individuales de extracción de los pozos localizados dentro del área de balance, volúmenes que a su vez se obtuvieron a partir de sus caudales y tiempos de operación; aquélla, resultó ser de unos 66 millones de $m^3/año$.

Por otra parte, como el sistema de flujo regionalmente se comporta como libre, el coeficiente de almacenaje medio de éste es de 0.1, el cual es compatible con su composición litológica; fundamentalmente material granular heterométrico.

Con dicho coeficiente y el cambio en el volumen de sedimentos saturados obtenido de la evolución del nivel estático relativa al intervalo elegido, se determinó el cambio del almacenamiento subterráneo, que resultó ser de $+ 32.6 \times 10^6 m^3$.

De acuerdo a todo lo antes expuesto y calculados los parámetros de la ecuación de balance tenemos que:

$$E_s = 18.01 \times 10^6 m^3/año$$

$$S_s = 7.8 \times 10^6 m^3/año$$

$$\Delta VS = 325.8 \times 10^6 m^3/año$$

$$B = 65.5 \times 10^6 m^3/año$$

Por lo que la recarga para el intervalo 1980 - 1981 será:

$$Rv = + \Delta VS + B + S_s - E_s$$

$$Rv = 325.8 \times 0.10 + 65.6 + 7.8 - 18.0$$

$$Rv = 88.0 \times 10^6 m^3/año$$

Dado que el período para el cual se hizo el balance de aguas subterráneas correspondió a un ciclo de precipitación mayor al valor promedio, entonces es de esperar que la recarga obtenida también sea sensiblemente superior a la media:

5.9 CONSIDERACIONES SOBRE LA EXPLOTACION DEL ACUIFERO

Las extracciones de la Cuenca Media del Aguanaval, varían temporalmente de acuerdo a las condiciones climatológicas imperantes en cada ciclo agrícola; por tal motivo y dado que en el año de 1981, la precipitación fué mayor que la media, es de esperar que la explotación y recarga media del acuífero esten actualmente en equilibrio hidrodinámico. No obstante, tomando en cuenta las considerables dimensiones del vaso subterráneo tanto en planta como en sentido vertical, las cuales permiten el almacenamiento de volúmenes de agua económicamente atractivos de aprovechar. Para su explotación deberá tomarse en consideración las características tan particulares de éste acuífero representadas por una errática distribución tanto en sentido vertical como horizontal de sedimentos de diferente granulometría y permeabilidad que resulta, en que la comunicación hidráulica entre diferentes porciones del acuífero en ambos sentidos sea deficiente y de que como se pudo constatar a través de las perforaciones directas y extendidas más allá de los sitios puntuales en que se realizaron éstas, mediante la geofísica, a profundidades mayores de 250 m, existe un cuerpo de materiales granulares más gruesos con una permeabilidad mayor que permite extraer caudales altos con menor

abatimiento y de que el volumen de agua almacenada en ellos es considerable, por lo que, se considera factible incrementar el bombeo, en forma gradual y controlada, en aquellas áreas de baja densidad de bombeo con pozos cuya profundidad sea igual a 250 m. En las zonas donde ya se tienen abatimientos persistentes, podrían autorizarse algunos pozos que permitieran obtener mayor información de los sedimentos gruesos, para lo que deberán construirse a profundidad no menor de 400 m, y cuya terminación se hará con base a los resultados de la exploración, pero que en forma general no deberán ademasarse con tubería ranurada en los primeros 250 m.

NIVELES PIEZOMETRICOS

VALLE DE AGUANAVAL
ESTADO DE ZACATECAS

1/7

POZO Nº	Nº DE CUADRO	PROFUNDIDAD DEL POZO m	ELEVACION BROCAL m. s. n. m.		1980 JULIO	1981 JULIO		
502	55		2,145.50	P. N. E.	5.45	5.48		
				ELEV. N. E.	2,140.05	2,140.02		
504	55			P. N. E.	1.20	1.60		
				ELEV. N. E.				
513	51			P. N. E.	31.11			
				ELEV. N. E.				
518	51		2,104.96	P. N. E.	42.20	41.12		
				ELEV. N. E.	2,062.76	2,063.84		
520	56		2,141.48	P. N. E.	3.97	5.20		
				ELEV. N. E.	2,137.51	2,136.28		
524	50		2,086.11	P. N. E.		5.90		
				ELEV. N. E.		2,080.21		
525	43		2,079.77	P. N. E.		13.80		
				ELEV. N. E.		2,065.97		
529	52		2,121.37	P. N. E.	25.33	25.78		
				ELEV. N. E.	2,096.04	2,095.59		
536	44		2,106.99	P. N. E.		54.68		
				ELEV. N. E.	2,056.62	2,052.34		
537	52		2,108.59	P. N. E.		2,053.91		
				ELEV. N. E.				
539	51		2,115.32	P. N. E.	4.40	2.63		
				ELEV. N. E.	2,110.92	2,112.69		
541	51		2,088.49	P. N. E.	0.50	0.32		
				ELEV. N. E.	2,087.99	2,088.17		
542	51		2,092.73	P. N. E.	36.77	38.16		
				ELEV. N. E.	2,055.96	2,054.57		
545	44		2,092.78	P. N. E.		45.11		
				ELEV. N. E.		2,047.68		
546	44		2,085.23	P. N. E.		34.10		
				ELEV. N. E.		2,051.13		
548	44		2,085.93	P. N. E.		36.18		
				ELEV. N. E.		2,049.75		
549	52		2,144.08	P. N. E.	2.64	2.57		
				ELEV. N. E.	2,141.44	2,141.57		
554	51		2,095.09	P. N. E.	1.75	2.33		
				ELEV. N. E.	2,093.34	2,092.76		

P.N.E. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO EN m.
ELEV. N. E. ELEVACION DE NIVEL ESTATICO EN m.s.n.m.

TABLA 5.4.1

NIVELES PIEZOMETRICOS

VALLE DE AGUANAVAL
ESTADO DE ZACATECAS

(2/7)

POZO Nº	Nº DE CUADRO	PROFUNDIDAD DEL POZO m	ELEVACION BROCAL m. s. n. m.	1990		1981	
					JULIO	JULIO	
556	51		2,142.34	P. N. E.	18.30	15.64	
				ELEV. N.E.	2,124.04	2,126.70	
562	44		2,094.59	P. N. E.	48.00	45.60	
				ELEV. N.E.	2,046.59	2,048.99	
564	45		2,122.83	P. N. E.		1.45	
				ELEV. N.E.		2,121.38	
569	45		2,079.93	P. N. E.	30.60	29.75	
				ELEV. N.E.	2,049.33	2,050.18	
573	44		2,088.83	P. N. E.	46.10		
				ELEV. N.E.	2,042.73		
575	44		2,084.90	P. N. E.	52.00	51.22	
				ELEV. N.E.	2,032.90	2,033.68	
577	44		2,081.83	P. N. E.	48.70		
				ELEV. N.E.	2,033.13		
582	44		2,078.06	P. N. E.	2.40	2.17	
				ELEV. N.E.	2,075.66	2,075.89	
587	43		2,068.91	P. N. E.	19.85	18.37	
				ELEV. N.E.	2,049.06	2,050.54	
592	43		2,110.20	P. N. E.	4.30	4.23	
				ELEV. N.E.	2,105.90	2,105.97	
594	44		2,051.46	P. N. E.	6.21	5.80	
				ELEV. N.E.	2,045.25	2,045.66	
596	36		2,041.56	P. N. E.	4.85		
				ELEV. N.E.	2,036.71		
599	44		2,057.47	P. N. E.	21.33	16.20	
				ELEV. N.E.	2,036.14	2,041.27	
602	44		2,067.57	P. N. E.	21.00	30.00	
				ELEV. N.E.	2,046.57	2,037.57	
604	44		2,068.10	P. N. E.	3.52	3.30	
				ELEV. N.E.	2,064.58	2,064.80	
608	44		2,052.89	P. N. E.	4.15	7.32	
				ELEV. N.E.	2,048.74	2,045.57	
610	44		2,074.78	P. N. E.	23.85	23.30	
				ELEV. N.E.	2,050.93	2,051.48	
617	37			P. N. E.	18.00	18.71	
				ELEV. N.E.			

P. N. E. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO EN m.
ELEV. N.E. ELEVACION DE NIVEL ESTATICO EN m.s.n.m.

TABLA 5.4.1

NIVELES PIEZOMETRICOS

VALLE DE AGUANAVAL
ESTADO DE ZACATECAS

3/7

POZO Nº	Nº DE CUADRO	PROFUNDIDAD DEL POZO m	ELEVACION BROCAL m. s. n. m.		1980 JULIO	1981 JULIO		
624	37		2,047.75	P. N. E.	13.50	12.85		
				ELEV. N. E.	2,034.25	2,034.90		
626	37		2,070.64	P. N. E.	13.63	36.72		
				ELEV. N. E.	2,057.01	2,033.92		
631	37		2,060.97	P. N. E.	41.07	42.35		
				ELEV. N. E.	2,019.90	2,018.62		
643	37		2,039.22	P. N. E.	13.26	13.50		
				ELEV. N. E.	2,025.96	2,025.72		
648	37		2,041.96	P. N. E.	15.00	14.82		
				ELEV. N. E.	2,026.96	2,027.14		
651	37		2,039.90	P. N. E.	12.47	12.50		
				ELEV. N. E.	2,027.43	2,027.40		
660	29		2,044.69	P. N. E.	24.14	20.16		
				ELEV. N. E.	2,020.55	2,024.53		
663	29			P. N. E.	16.11			
				ELEV. N. E.				
689	36		2,039.68	P. N. E.	17.75	18.22		
				ELEV. N. E.	2,021.93	2,021.46		
690	36		2,041.81	P. N. E.	16.02	15.35		
				ELEV. N. E.	2,025.79	2,026.46		
696	36		2,058.53	P. N. E.	27.50	27.63		
				ELEV. N. E.	2,031.03	2,030.90		
700	29		2,071.62	P. N. E.	42.63			
				ELEV. N. E.	2,028.99			
704	37		2,080.91	P. N. E.	43.27	44.50		
				ELEV. N. E.	2,037.64	2,036.41		
710	30		2,063.91	P. N. E.	30.12	30.75		
				ELEV. N. E.	2,033.79	2,033.16		
717	30		2,062.00	P. N. E.	40.22			
				ELEV. N. E.	2,021.78			
718	30		2,058.24	P. N. E.	21.40	22.00		
				ELEV. N. E.	2,036.84	2,036.24		
724	29		2,073.35	P. N. E.	49.20	49.50		
				ELEV. N. E.	2,024.15	2,023.85		
726	29		2,063.15	P. N. E.		46.32		
				ELEV. N. E.		2,016.83		

P.N.E. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO EN m.
ELEV. N.E. ELEVACION DE NIVEL ESTATICO EN m.s.n.m.

TABLA 5.4.1

NIVELES PIEZOMETRICOS

VALLE DE AGUANAVAL
ESTADO DE ZACATECAS

4/7

POZO Nº	Nº DE CUADRO	PROFUNDIDAD DEL POZO m	ELEVACION BROCAL m. s. n. m.		1980 JULIO	1981 JULIO		
729	29		2,070.72	P. N. E.	45.70			
				ELEV. N. E.	2,025.02			
732	38		2,127.24	P. N. E.	92.60	92.12		
				ELEV. N. E.	2,034.64	2,035.12		
733	38		2,165.68	P. N. E.	41.40	42.00		
				ELEV. N. E.	2,124.28	2,123.68		
734	22		2,041.32	P. N. E.	9.50	9.35		
				ELEV. N. E.	2,031.82	2,031.97		
735	30		2,057.61	P. N. E.	22.00	21.46		
				ELEV. N. E.	2,035.61	2,036.15		
736	23		2,066.29	P. N. E.	31.60	32.70		
				ELEV. N. E.	2,034.69	2,033.59		
739	23		2,080.69	P. N. E.	32.20	33.50		
				ELEV. N. E.	2,048.49	2,047.19		
740	31		2,146.38	P. N. E.	11.41	8.63		
				ELEV. N. E.	2,134.97	2,137.75		
744	31		2,140.40	P. N. E.	25.50	21.43		
				ELEV. N. E.	2,114.90	2,118.97		
745	31		2,129.90	P. N. E.	12.70	12.96		
				ELEV. N. E.	2,117.20	2,116.94		
746	31		2,089.69	P. N. E.	27.23	28.40		
				ELEV. N. E.	2,062.46	2,061.29		
758	29		2,026.36	P. N. E.	3.00	3.27		
				ELEV. N. E.	2,023.36	2,023.09		
761	28		2,025.77	P. N. E.	11.40	10.78		
				ELEV. N. E.	2,014.37	2,014.99		
764	29			P. N. E.	12.50	11.50		
				ELEV. N. E.				
774	29		2,050.89	P. N. E.	32.05			
				ELEV. N. E.	2,018.84			
801	36		2,050.08	P. N. E.		37.25		
				ELEV. N. E.		2,012.83		
809	37		2,044.23	P. N. E.	20.70			
				ELEV. N. E.	2,023.53			
810	28			P. N. E.	11.70	11.70		
				ELEV. N. E.				

P.N.E. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO EN m.
ELEV. N.E. ELEVACION DE NIVEL ESTATICO EN m.s.n.m.

TABLA 5.4.1

NIVELES PIEZOMETRICOS

VALLE DE AGUANAVAL
ESTADO DE ZACATECAS

5/7

POZO Nº	Nº DE CUADRO	PROFUNDIDAD DEL POZO m.	ELEVACION BROCAL m. s. n. m.		1980 JULIO	1981 JULIO		
817	28		2,039.20	P. N. E.	9.75	10.20		
				ELEV. N. E.	2,029.45	2,029.00		
830	28		2,057.18	P. N. E.	26.80			
				ELEV. N. E.	2,030.38			
839	28		2,068.27	P. N. E.	33.40	38.62		
				ELEV. N. E.	2,029.87	2,030.15		
848	36		2,068.84	P. N. E.	3.00	2.00		
				ELEV. N. E.	2,065.84	2,066.84		
850	36		2,066.36	P. N. E.		37.23		
				ELEV. N. E.		2,029.13		
855	35		2,089.91	P. N. E.	60.32	58.73		
				ELEV. N. E.	2,029.59	2,031.18		
858	35		2,081.72	P. N. E.	49.70	49.65		
				ELEV. N. E.	2,032.02	2,032.07		
861	36		2,076.39	P. N. E.	47.00	47.30		
				ELEV. N. E.	2,029.39	2,029.09		
867	36		2,049.69	P. N. E.	5.11	4.97		
				ELEV. N. E.	2,044.58	2,044.72		
874	35		2,096.06	P. N. E.	6.50	4.67		
				ELEV. N. E.	2,089.56	2,091.39		
881	36		2,057.43	P. N. E.	20.22			
				ELEV. N. E.	2,037.21			
904	28		2,090.23	P. N. E.	61.23			
				ELEV. N. E.	2,029.00			
912	28		2,058.56	P. N. E.	29.50			
				ELEV. N. E.	2,029.06			
914	28		2,085.40	P. N. E.		55.30		
				ELEV. N. E.		2,030.10		
917	35			P. N. E.		3.16		
				ELEV. N. E.				
918	36		2,048.41	P. N. E.		13.20		
				ELEV. N. E.		2,035.21		
925	45		2,073.69	P. N. E.	10.95			
				ELEV. N. E.	2,062.74			
928	37		2,081.40	P. N. E.	47.00	45.35		
				ELEV. N. E.	2,034.40	2,036.05		

P. N. E. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO EN m.
ELEV. N. E. ELEVACION DE NIVEL ESTATICO EN m. s. n. m.

TABLA 5.4.1

NIVELES PIEZOMETRICOS

VALLE DE AGUANAVAL
ESTADO DE ZACATECAS

6/7

POZO Nº	Nº DE CUADRO	PROFUNDIDAD DEL POZO m.	ELEVACION BROCAL m. s. n. m.		1980 JULIO	1981 JULIO		
931	45		2,149.45	P. N. E.	4.12	4.05		
				ELEV. N. E.	2,145.33	2,145.40		
933	46		2,210.71	P. N. E.	28.40	29.06		
				ELEV. N. E.	2,182.31	2,181.65		
934	46		2,178.48	P. N. E.	11.00	12.53		
				ELEV. N. E.	2,167.48	2,165.95		
937	43		2,074.07	P. N. E.	4.90	5.04		
				ELEV. N. E.	2,069.17	2,969.03		
938	50		2,026.00	P. N. E.	2.13	3.00		
				ELEV. N. E.	2,083.87	2,083.00		
941	55		2,159.38	P. N. E.	2.54	2.63		
				ELEV. N. E.	2,156.84	2,156.75		
943	55		2,107.37	P. N. E.	0.53			
				ELEV. N. E.	2,196.84			
947	55		2,196.82	P. N. E.		0.92		
				ELEV. N. E.		2,195.90		
948	56		2,157.47	P. N. E.	2.15	1.88		
				ELEV. N. E.	2,155.32	2,155.59		
982	28		2,062.23	P. N. E.	30.23			
				ELEV. N. E.	2,032.00			
986	29		2,025.56	P. N. E.	7.42	7.33		
				ELEV. N. E.	2,018.14	2,018.23		
995	29		2,060.63	P. N. E.		45.37		
				ELEV. N. E.		2,015.26		
996	29		2,067.27	P. N. E.	50.21			
				ELEV. N. E.	2,017.06			
1005	29			P. N. E.	4.00	4.23		
				ELEV. N. E.				
1016	14		2,069.99	P. N. E.		30.05		
				ELEV. N. E.		2,039.94		
1023	5		2,046.10	P. N. E.	17.00			
				ELEV. N. E.	2,029.10			
1024	12			P. N. E.	36.28	38.07		
				ELEV. N. E.				
1028	12		1,999.36	P. N. E.	10.90	10.85		
				ELEV. N. E.	1,988.96	1,989.01		

P. N. E. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO EN m.
ELEV. N. E. ELEVACION DE NIVEL ESTATICO EN m. s. n. m.

TABLA 5.4.1

NIVELES PIEZOMETRICOS

VALLE DE AGUANAVAL
ESTADO DE ZACATECAS

7/7

POZO Nº	Nº DE CUADRO	PROFUNDIDAD DEL POZO m	ELEVACION BROCAL m. s. n. m		1980 JULIO	1981 JULIO		
1031	21		2,009.62	P. N. E.	2.74	3.20		
				ELEV. N. E.	2,006.88	2,006.42		
1032	13		2,091.28	P. N. E.	55.00			
				ELEV. N. E.	2,036.28			
1042	15		2,038.02	P. N. E.	7.26	6.00		
				ELEV. N. E.	2,030.76	2,032.02		
1044	14		2,075.53	P. N. E.		43.95		
				ELEV. N. E.		2,031.58		
1046	14		2,110.22	P. N. E.	6.00	5.47		
				ELEV. N. E.	2,104.22	2,104.75		
1049	14		2,119.33	P. N. E.	7.35	7.20		
				ELEV. N. E.	2,111.98	2,112.13		
1050	5		2,132.59	P. N. E.	46.20	44.37		
				ELEV. N. E.	2,086.39	2,038.22		
1087	55		2,134.46	P. N. E.		52.10		
				ELEV. N. E.		2,082.36		
1190	30		2,054.85	P. N. E.		25.12		
				ELEV. N. E.		2,029.73		
				P. N. E.				
				ELEV. N. E.				
				P. N. E.				
				ELEV. N. E.				
				P. N. E.				
				ELEV. N. E.				
				P. N. E.				
				ELEV. N. E.				
				P. N. E.				
				ELEV. N. E.				
				P. N. E.				
				ELEV. N. E.				
				P. N. E.				
				ELEV. N. E.				
				P. N. E.				
				ELEV. N. E.				

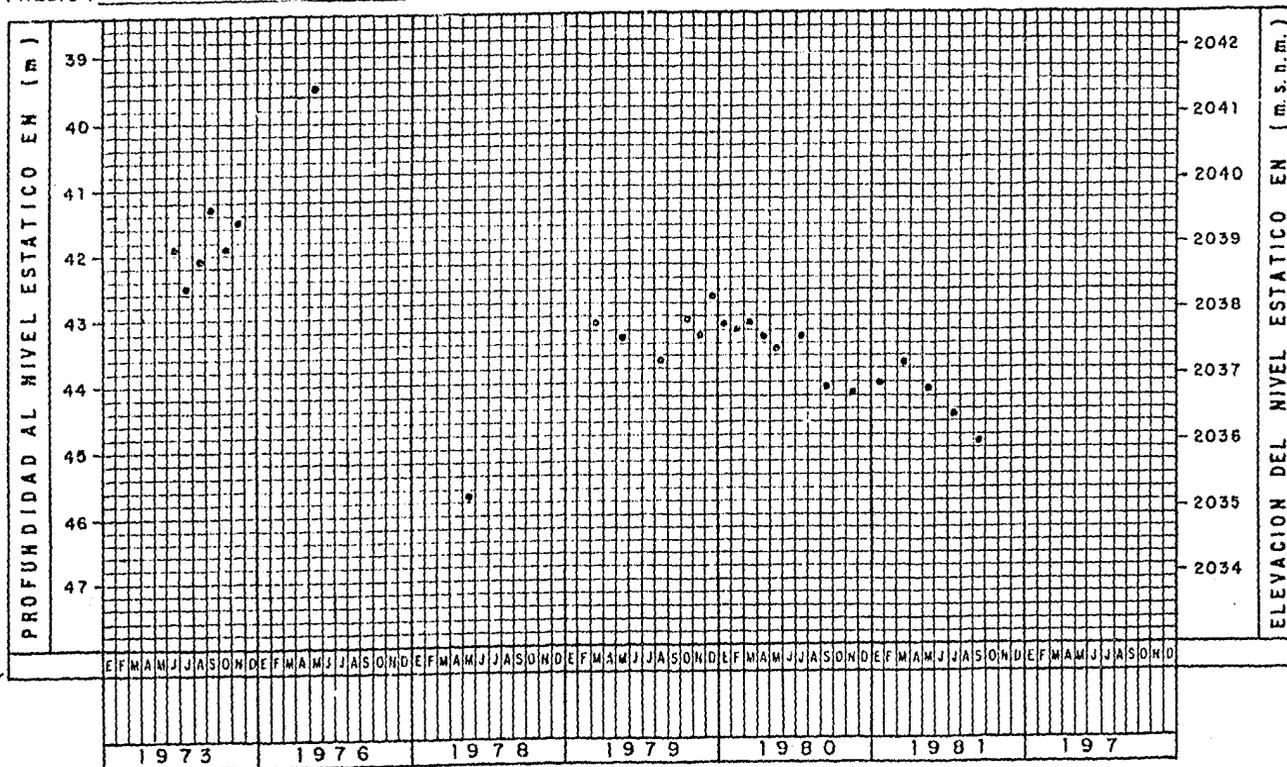
P. N. E. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO EN m.
ELEV. N. E. ELEVACION DE NIVEL ESTATICO EN m. s. n. m.

TABLA 5.4.1

GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

ESTADO : ZACATECAS
 MUNICIPIO : FRESNILLO
 POBLACION : _____
 PREDIO : _____

APROVECHAMIENTO N° 704
 ELEVACION DEL TERRENO (m.s.n.m.) _____
 ELEVACION DEL BROCAL (m.s.n.m.) 2080.91
 PROFUNDIDAD (mts.) _____



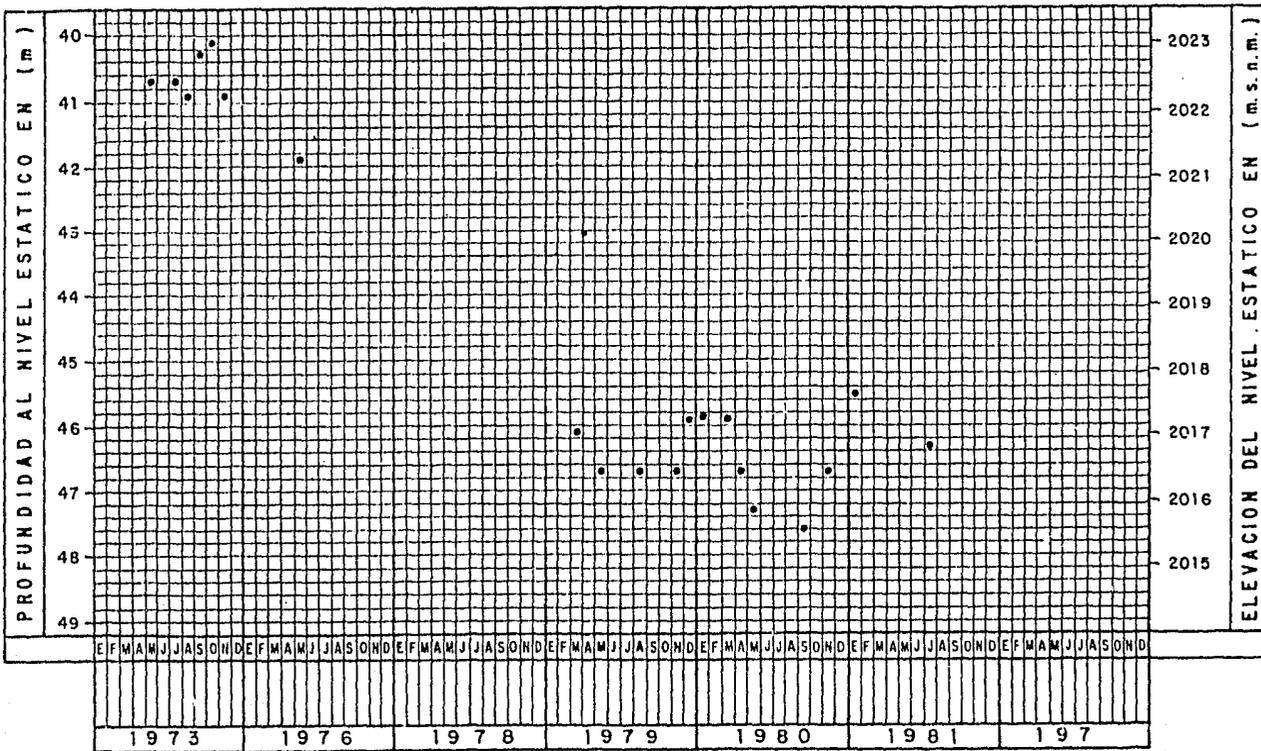
• NIVEL ESTATICO
 * NIVEL DINAMICO

FIGURA N° 5.4.1.1

GRAFICA DE EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

ESTADO : ZACATECAS
 MUNICIPIO : FRESNILLO
 POBLACION : _____
 PREDIO : _____

APROVECHAMIENTO N° 726
 ELEVACION DEL TERRENO (m.s.n.m.) _____
 ELEVACION DEL BROCAL (m.s.n.m.) 2063.15
 PROFUNDIDAD (mts.) _____



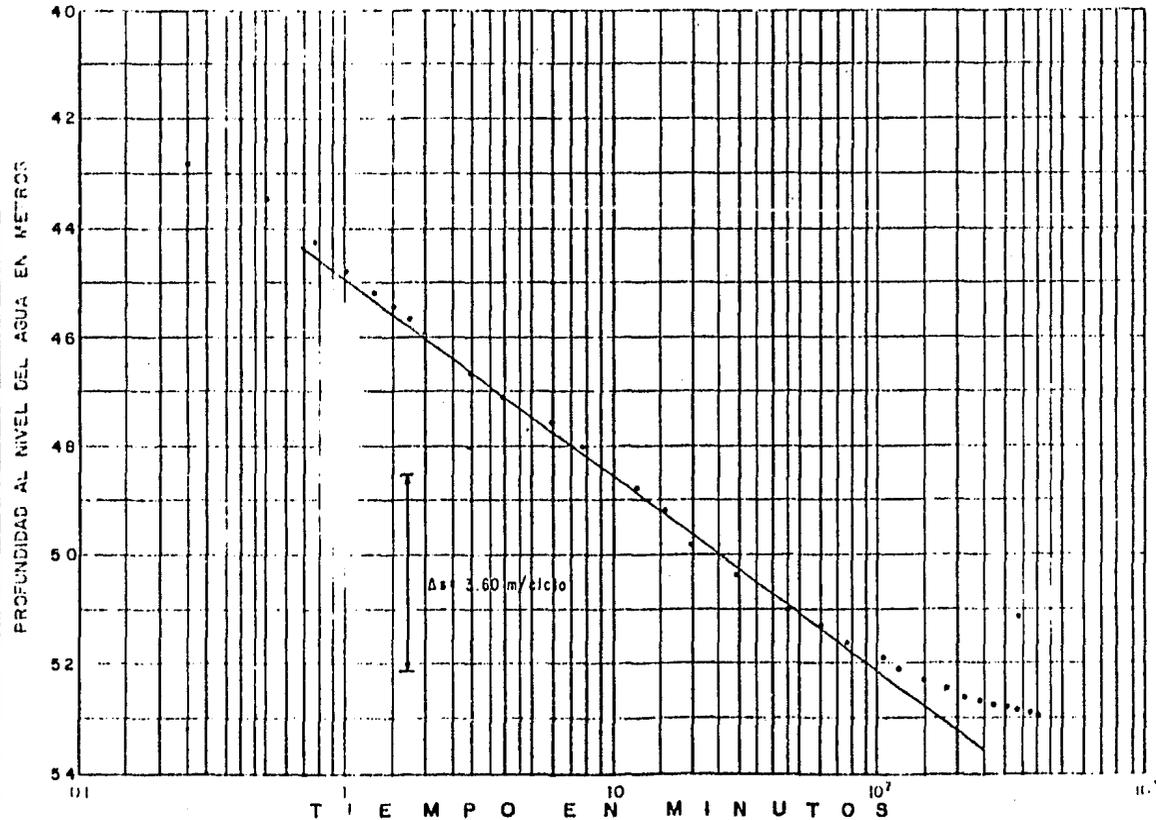
• NIVEL ESTATICO
 * NIVEL DINAMICO

FIGURA N° 5.4.1.2

VALLE DE AGUANAVAL
 FINCA RANCHO ELVIRA
 1626 HP 584 Prof 100.0 mts
 CANTAL A mts
 2032 CANTAL 50.0 lpa
 38.75 mts CUADRO 44
 FECHA 10-NOV-1981 DURACION 6.0 hrs

TIEMPO	PROFUNDIDAD	OTRO	OTRO
0	38.75		
1	42.75		
2	43.40		
3	44.19		
4	44.79		
5	45.92		
6	42.62		
7	47.07		
8	47.61		
9	48.05		
10	48.77		
11	49.19		
12	50.43		
13	51.07		
14	51.41		
15	51.84		
16	52.10		
17	52.31		
18	52.50		
19	52.63		
20	52.73		
21	52.81		
22	52.87		
23	52.92		
24	52.96		
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			

REPRESENTACION SEMILOGARITMICA DE PRUEBAS DE BOMBEO



ETAPA DE ABATIMIENTO

OBSERVACIONES

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

$$T = 2.54 \times 10^{-1} \text{ m}^2 / \text{seg}$$

$$T = \frac{0.183 \times 50 \times 10^{-3}}{3.60}$$

$$Qs = 3.52 \text{ lps/m}$$

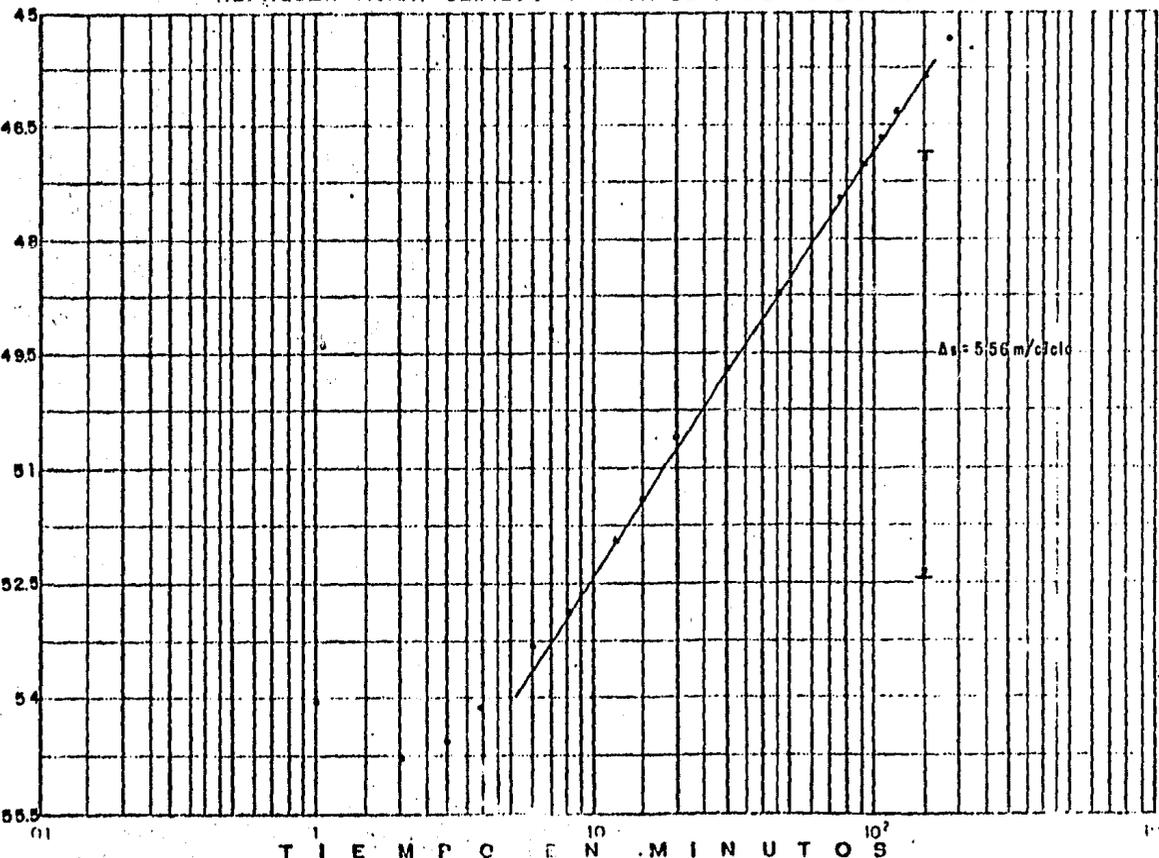
FIGURA 56.1.1

VALLE DE: AGUANAVAL
 LUGAR: TRUJILLO
 POZO N° 1071 PROF. 200 mts.
 COTAZO (S) DE A mts.
 Ø DIAM. 20.32 cm. CAUDAL 37.0 lps
 FICHA N.º 42.09 mts. CUADRO 50
 FECHA: 5-OCT-1961 DURACION 3.0 hrs.

TIEMPO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA EN METROS
0	74.18
0.25	
0.50	
0.75	
1.00	54.07
2.00	54.84
3.00	54.62
4.00	54.22
5.00	53.37
6.00	52.85
12.00	51.92
15.00	51.40
30.00	49.71
45.00	48.71
60.00	48.01
90.00	47.01
120.00	46.32
150.00	45.81
180.00	45.40
210.00	
240.00	
270.00	
300.00	
330.00	
360.00	
390.00	
420.00	
450.00	
480.00	
510.00	

PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA EN METROS

REPRESENTACION SEMILOGARITMICA DE PRUEBAS DE BOMBEO



ETAPA DE RECUPERACION

OBSERVACIONES:

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

$$T = 1.22 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{seg}$$

$$T = \frac{0.183 \times 37 \times 10^{-3}}{556}$$

FIGURA 5.6.1.2

6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

- a) Los valores medios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial son de 400 mm, 16°C y 2 200 mm, respectivamente; el clima es del tipo BSL Kw (w) (e), es decir se trata de un clima seco, estepario, templado con verano cálido, temperatura

media anual de 16°C, con régimen principal de lluvias en verano y de menor importancia en invierno.

La corriente más importante dentro de la zona de estudio es el Río Aguanaval, el cual a la salida de aquella, drena un volumen medio anual de $34.7 \times 10^6 \text{ m}^3$.

b) El acuífero de la cuenca media del Aguanaval, está constituido por materiales granulares depositados en rocas generalmente impermeables o que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento; lateralmente también lo limita este tipo de rocas, de origen volcánico principalmente.

c) El espesor de los sedimentos granulares, de acuerdo a la información que proporcionaron los perfiles geoelectrónicos, varía entre 100 y 600 m. Los materiales que presentan mejores condiciones acuíferas son aquellos cuyas resistividades varían entre 11 y 61.

En general se observó que a profundidades menores de 250 m, los sedimentos presentan baja resistividad, que se atribuyen al mayor contenido de finos.

d) El censo de aprovechamientos proporcionado por la Residencia de Geohidrología y de Zonas Áridas, reveló la existencia de 766 captaciones de agua subterránea, mismas que están concentradas en la porción central del valle.

e) El volumen de agua extraído en el ciclo 1981 fué de 73 millones de m³, por lo que el acuífero se encuentra en equilibrio hidrodinámico o ligeramente subexplotado, ya que la recarga resultó de 88 millones de m³, ésta condición prevalece para cuando la precipitación anual es superior a la media.

f) Los materiales del acuífero presentan variaciones granulométricas, tanto horizontales como verticales, que originan anisotropía y heterogeneidad de su permeabilidad, características reflejadas en el variable rendimiento de los aprovechamientos de aguas subterráneas.

En efecto, la transmisividad va de 0.3 al 31×10^{-3} m²/seg.

g) Los niveles freáticos de norias corresponden a sistemas libres de flujo subsuperficiales, locales, colgados y de carácter temporal, generados por la infiltración en los canales de distrito 34 y en los arroyos de escurrimiento torrencial.

h) Los niveles estáticos de la zona de saturación regional en general no se encuentran a profundidades excesivas, ya que varían entre 10 y 60 m; tales niveles corresponden a pozos cuya profundidad varía entre 100 y 250 m.

- i) Regionalmente el escurrimiento subterráneo posee dirección sur-norte y gradientes de 1.2 a 8.3×10^{-3} , en la porción sur de la zona de estudio, y de 2.5 a 5×10^{-3} , en la porción norte de la misma.

Una porción del flujo subterráneo, gobernado por su marco hidrogeológico, descarga al Río Aguanaval, en el tramo del mismo comprendido entre los poblados de Altamira y Río Medina, en la porción norte de la citada zona de estudio, como pudo constatarse ya que a partir de ésta última población el río presenta escurrimiento en todo tiempo.

6.2

RECOMENDACIONES

- a) Continuar con las observaciones de niveles piezométricos con intervalos de 3 meses, pero cuidando que las lecturas se hagan siempre en los mismos meses.
- b) Complementar mediante perfiles geofísicos y perforaciones exploratorias el conocimiento de la geometría del acuífero.
- c) Incrementar la extracción de agua subterránea en un volumen de 10 millones de $m^3/año$, como máximo, en áreas donde no exista concentración de aprovechamientos.
- d) Continuar con el control hidrométrico de las captaciones a fin de precisar y conocer los volúmenes

anuales de explotación.

- e) Instalar una estación hidrométrica sobre el Río Agua naval, aguas abajo del poblado de Altamira, a fin de poder conocer el funcionamiento hidrológico de la corriente y la descarga del acuífero al río, con el objeto de conocer el volumen que ésta está aportando a la presa Cazadero, situada aguas abajo.
- f) Realizar un estudio isotópico que permita mejorar el conocimiento de su funcionamiento hidráulico y del balance de aguas subterráneas, estudio que deberá realizarse también a muestras de agua obtenidas en los pozos exploratorios que se recomienda perforar, sobretodo del agua contenida en los materiales gruesos para definir si existe una estratificación del agua o bien si el agua contenida en éstos tiene una renovación apreciable.
- g) Iniciar la elaboración del modelo matemático del acuífero para seleccionar alternativas para su manejo y explotación racional.

Dentro de otro tipo de recomendaciones que se pueden hacer para un mejor control del agua contenida en el acuífero, están:

- h) La utilización de mejores sistemas de riego por parte de los agricultores de esta región para evitar el desperdicio de agua.

- i) Evitar que el trabajo ejecutado sea olvidado en el archivo, como sucede con muchos estudios de este tipo.
- j) Vigilar que las recomendaciones que aquí se proponen se lleven a cabo, para lograr el mejor aprovechamiento del acuífero.
- k) Procurar no llegar a la sobre-explotación del acuífero, ya que esta zona depende en gran parte de éste, tanto en agua potable como en la producción agrícola.
- l) Evitar las decisiones del tipo político sean llevadas a cabo, como perforar pozos en áreas sobre explotadas, mediante el convencimiento a las autoridades respectivas de los males que ocasiona este efecto.
- m) Entrenar debidamente a las brigadas de campo, así como dotarlos del equipo adecuado para evitar errores en las mediciones.

