

L
200



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LAS ZONAS
DE LA BLANCA Y LORETO, ZACATECAS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

JEAN PAUL ANDRE PALOMINO

MEXICO, D. F.

1993.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL.

- I.- INTRODUCCION.
 - II.- GENERALIDADES.
 - III.- CLIMATOLOGIA.
 - IV.- GEOLOGIA.
 - V.- HIDROGEOQUIMICA.
 - VI.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA.
 - VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.
- ILUSTRACIONES.

INDICE.

	PAG.
I.- INTRODUCCION.	
I.1.- OBJETIVOS.....	2
I.2.- ANTECEDENTES.....	3
I.3.- METODO DE TRABAJO.....	5
I.3.1.- TRABAJOS DE CAMPO.....	6
I.3.2.- TRABAJOS DE GABINETE.....	7
II.- GENERALIDADES.	
II.1.- LOCALIZACION, EXTENSION Y POBLACIONES.....	9
II.2.- VIAS DE COMUNICACION.....	10
II.3.- ASPECTOS HISTORICOS.....	11
II.4.- ASPECTOS SOCIOECONOMICOS.....	13
III.- CLIMATOLOGIA.	
III.1.- VEGETACION.....	16
III.2.- PRECIPITACION PLUVIAL.....	17
III.3.- TEMPERATURA.....	18
III.4.- EVAPORACION POTENCIAL.....	19
III.5.- CLASIFICACION DEL CLIMA.....	21

IV.- GEOLOGIA.

IV.1.- FISIOGRAFIA.....	23
IV.1.1.- HIDROGRAFIA.....	24
IV.1.2.- OROGRAFIA.....	26
IV.2.- GEOMORFOLOGIA.....	28
IV.3.- ESTRATIGRAFIA.....	30
IV.4.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	49
IV.5.- GEOLOGIA HISTORICA Y TECTONICA.....	54
IV.7.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LAS ROCAS.....	57

V.- HIDROGEOQUIMICA.

V.1.- MUESTREO Y ANALISIS QUIMICO.....	61
V.2.- CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA.....	62
V.2.1.- POTENCIAL HIDROGENO (pH).....	62
V.2.2.- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.....	63
V.2.3.- DUREZA.....	64
V.2.4.- SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD).....	65
V.2.5.- CATIONES.....	67
V.2.6.- ANIONES.....	72
V.3.- FAMILIAS DE AGUA.....	76
V.4.- CALIDAD DEL AGUA.....	77
V.4.1.- AGUA POTABLE.....	78
V.4.2.- AGUA PARA RIEGO.....	78
V.4.3.- AGUA PARA ABREVADERO.....	80
V.4.4.- AGUA PARA LA INDUSTRIA.....	81
V.5.- INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA.....	82

VI.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA.

VI.1.- PIEZOMETRIA.....	84
VI.1.1.- PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO.....	86
VI.1.2.- ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO.....	87
VI.1.3.- EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO.....	88
VI.2.- PRUEBAS DE BOMBEO.....	90
VI.3.- FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUIFEROS.....	92
VI.3.1.- RECARGA Y DESCARGA DE LOS ACUIFEROS..	93
VI.4.- ECUACION DE BALANCE.....	95

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VII.1.- CONCLUSIONES.....	102
VII.2.- RECOMENDACIONES.....	105

BIBLIOGRAFIA.

ILUSTRACIONES.

I.- INTRODUCCION.

El área de estudio se encuentra, en su mayoría, dentro del estado de Zacatecas, ubicada al sureste del mismo. En la parte norte, se encuentra el estado de San Luis Potosí y al sur, el de Aguascalientes (Fig.I.1).

El desarrollo de la agricultura en esta región, durante los últimos años, ha mostrado claras formas de expansión. Esto se debe a que la infraestructura agrícola ha recibido un fuerte impulso, lo cual ha ocasionado un incremento de las hectáreas incorporadas al riego. Buena parte de dicho desarrollo está sustentado en la explotación del agua subterránea, la cual se inició desde el año de 1946 mediante la perforación de norias. Sin embargo, como a través del tiempo se ha incrementado la perforación de pozos, se propició el descenso progresivo de los niveles estáticos, inutilizando a gran número de norias y ocasionó la necesidad de profundizar cada vez más las captaciones de la zona en cuestión.

Actualmente, el número de aprovechamientos ha aumentado en forma desmedida y poco planeada, provocando la concentración de los mismos hacia las partes centrales de los valles y una severa explotación de los acuíferos. Otro factor que ha provocado el sobrebombeo es la proliferación de pozos clandestinos, así como el ineficiente aprovechamiento de las aguas superficiales.

El presente estudio pretende proporcionar una mayor información del área, para conocer mejor el funcionamiento de los acuíferos y poder planear, de manera más eficiente, el aprovechamiento racional del agua subterránea.

I.1.- OBJETIVOS.

Los objetivos del estudio son los siguientes:

a) Definir las condiciones de explotación en que se encuentran los acuíferos.

b) Conocer el tipo y calidad del agua de los acuíferos del área de estudio.

c) Definir la geometría, las dimensiones y las condiciones de funcionamiento de los acuíferos de la zona de interés.

d) Determinar las características hidráulicas de las rocas que se encuentran en el área estudiada.

e) Establecer el esquema general del flujo subterráneo.

f) Cuantificar la recarga de los acuíferos.

g) Determinar los volúmenes aprovechables de agua subterránea, sin que se perjudiquen los acuíferos.

h) Recomendar zonas favorables para la perforación de pozos de agua.

i) Proponer políticas y recomendaciones para la adecuada explotación de los acuíferos.

1.2.- ANTECEDENTES.

La antigua Dirección de Aguas Subterráneas, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, realizó en 1970 el "Estudio Geohidrológico Preliminar del Valle de Loreto, Zacatecas", con el cual se pretendió estimar su potencialidad y características hidráulicas. Los resultados del estudio pusieron de manifiesto que los niveles de agua, en algunas porciones del valle, se estaban abatiendo en forma progresiva a consecuencia del bombeo; aunque no se determinó si era un efecto local o regional.

En el año de 1974, la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, realizó el "Estudio Geohidrológico de la Zona de La Blanca, Zacatecas". El objetivo de ese trabajo era el de conocer, en forma preliminar, la potencialidad de los recursos hidráulicos subterráneos, así como, las condiciones del funcionamiento de los acuíferos. Se llegó a la conclusión de que el acuífero se encontraba en condiciones de equilibrio y que era posible incrementar la explotación del mismo en un 25 a 50 %.

En septiembre de 1979, la misma Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, inició la actualización del censo de aprovechamientos de agua subterránea, que se concluyó en junio de 1980. Por medio de ese censo se dió a conocer el notable incremento de aprovechamientos de agua subterránea, el cual fue de un 20 % aproximadamente.

En el año de 1980, la S.A.R.H. realizó la "Actualización del Estudio Geohidrológico de la Zona de Loreto, Zacatecas". En dicho estudio se realizaron muestreos y análisis físico-químicos del agua subterránea, nivelación topográfica de brocales de pozos piloto y 35 sondeos eléctricos verticales, entre otras actividades. Sus objetivos principales fueron el poder definir las condiciones de explotación del acuífero, la recarga del mismo, la factibilidad de extraer volúmenes adicionales de agua del subsuelo y recomendar la explotación adecuada del recurso hídrico. En este trabajo se determinó que el acuífero se encontraba sometido a una severa sobreexplotación, con abatimientos de entre 5 y 25 metros y con una extracción anual de 68 millones de m³.

Cuatro años más tarde, en 1984, la S.A.R.H. realizó el trabajo llamado "Estudio Geohidrológico de la Zona de La Blanca, Zacatecas", cuyo objetivo principal fue determinar las condiciones actuales del funcionamiento del acuífero, así como de su aprovechamiento y la recarga que recibe. Como conclusiones del estudio, se determinó que ha habido un aumento en el número de pozos inactivos, debido a los altos costos de operación de los

mismos. El volumen aproximado de extracción anual en la zona fue de 38 millones de m³.

La Comisión Nacional del Agua (C.N.A) ha continuado con la obtención de niveles piezométricos, lo cual permite tener una mayor información acerca de la evolución y comportamiento de los acuíferos. Para el presente estudio, se utilizó la información del período comprendido entre diciembre de 1980 a diciembre de 1989 para La Blanca y de diciembre de 1981 a enero de 1990, para Loreto.

Por otro lado, existe una tesis de una zona cercana, ubicada al este del área estudiada, denominada "Estudio Geológico de las Cartas de Salinas Hidalgo, Espiritú Santo y Moctezuma en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas" (Carlos Toledo Bante, 1987. Tesis UNAM). Dentro de los objetivos que se perseguían en ese trabajo estaban establecer la estratigrafía de la zona, realizar una cartografía geológica, así como un análisis estructural.

I.3.- METODO DE TRABAJO.

Para la realización de esta tesis se efectuaron diferentes actividades, tanto de campo como de gabinete.

I.3.1.- TRABAJOS DE CAMPO.

Se llevó a cabo el reconocimiento del área de estudio en forma general, definiendo sus límites, las condiciones geológicas y topográficas.

El reconocimiento geológico de la zona se realizó mediante la verificación de diferentes puntos de interés, llevándose a cabo las descripciones de las muestras y de los afloramientos, tomando en cuenta, también, los aspectos estructurales (fallas, fracturas, pliegues, etc.) e hidrogeológicos (permeabilidad, porosidad, dirección del flujo, zonas de recarga, etc.).

La lectura de los niveles estáticos se tomó por medio de una sonda eléctrica, la cual se introdujó en los distintos pozos piloto para conocer la posición de los niveles piezométricos en cada zona geohidrológica.

Además, se realizó el muestreo del agua subterránea obteniendo, el olor, color, sabor, la temperatura, la conductividad eléctrica y el potencial hidrógeno (pH), para que, posteriormente, se llevaran al laboratorio de la Gerencia Estatal donde se les aplicaron los análisis físico-químicos respectivos, y así, poder determinar la dureza total, la resistividad, pH, contenido de sólidos totales disueltos (STD) y de iones contenidos en el agua.

Con el fin de conocer el volumen de extracción del agua

subterránea, se efectuó la hidrometría de las captaciones, donde se recabaron los datos referentes al tiempo de operación de los alumbramientos, superficie regada, los tipos de cultivos, número de habitantes y de ganado. Como apoyo, para lo anterior, se utilizó la información existente sobre el uso del agua en la región.

I.3.2.- TRABAJOS DE GABINETE.

Primeramente, se procedió con la recopilación y análisis de la información existente del área de estudio y sus alrededores; los datos fueron obtenidos de diferentes dependencias, institutos y universidades, como: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.), Comisión Nacional del Agua (C.N.A.), Instituto Meteorológico Nacional, Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.), Instituto de Geología de la U.N.A.M. e Instituto Politécnico Nacional (I.P.N.).

Con apoyo de ocho cartas topográficas de INEGI con una escala 1:50 000, se delimitó el área estudiada y así, se elaboró el plano base, con una escala 1:100 000, que serviría para la realización posterior de otros planos: geológico, geohidrológico, localización de aprovechamientos, sólidos totales disueltos, igual contenido de los diferentes iones, profundidad al nivel estático, elevación y evolución del nivel estático; asimismo, se realizaron tres secciones geológicas y dos geohidrológicas de la zona.

Con los datos obtenidos de las estaciones climatológicas se llevaron a cabo las tablas de: precipitación promedio mensual y anual, temperaturas promedio mensual y anual, y evaporación promedio mensual y anual. Posteriormente, por medio de dichos datos, se hicieron las gráficas correspondientes a cada una de las estaciones climatológicas.

Los análisis químicos de las muestras de agua se procesaron y se representaron en los diagramas de Piper y de Wilcox, para conocer las familias y la calidad del agua por uso. Los resultados obtenidos se vaciaron en el plano base para poder trazar líneas de valores iguales (isolíneas) de los diferentes iones contenidos en el agua y conocer su distribución espacial y su origen. Cabe mencionar que ya existían algunos análisis químicos de estudios anteriores, los cuales fueron reinterpretados.

Por medio de la información obtenida de los niveles estáticos se trazaron las curvas de igual de profundidad al nivel estático, así como los de elevación y evolución del mismo. Con los resultados de las diez pruebas de bombeo seleccionadas, las cuales fueron efectuadas en diferentes aprovechamientos ubicados dentro de las dos zonas geohidrológicas que comprenden el presente estudio, se determinaron algunas de las características hidráulicas de los acuíferos principales que se encuentran en el área de estudio.

II.- GENERALIDADES.

II.1.-LOCALIZACION, EXTENSION Y POBLACIONES.

El área de estudio se localiza en la porción suroriental del estado de Zacatecas, cuyos límites físicos son: el estado de San Luis Potosí al noreste y el estado de Aguascalientes al suroeste. Geográficamente, se encuentra entre los paralelos 22°07' y 22°52' de latitud norte y entre los meridianos 101°47' y 102°07' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, y cuenta con una superficie de 3580 km², aproximadamente (Fig. II.1).

Dentro del área de estudio existen dos zonas geohidrológicas, la de "La Blanca" y la de "Loreto", cuyas extensiones aproximadas son de 984 km² y de 987 km², respectivamente. Las altitudes de la región, varían entre los 2000 y 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Las principales poblaciones comprendidas dentro del área de estudio son las siguientes: Loreto, General Pánfilo Natera (anteriormente llamada La Blanca), El Saucito, Guanajuatillo, La Tesorera, Pozo Jarillas, Santa Elena, San Pablo, Cerritos de Agua, Estancia de Animas, Villa González Ortega, Maravillas, Tierra Blanca, EL Tepetate, Guadalupe de Atlas y Villa García, dentro del estado de Zacatecas; Zacatón, Villa de Ramos y Palma Pegada, en el estado de San Luis Potosí; Asientos, Tepezalá, Clavellinas y El Copetillo, en el estado de Aguascalientes.

La población de General Pánfilo Natera se encuentra a 51 km al sureste de la ciudad de Zacatecas y la localidad de Loreto a 84 km de la misma, en línea recta.

Políticamente, dentro del área de estudio, se encuentran diez municipios, ya sea parcial o totalmente, los cuales son: General Pánfilo Natera (La Blanca), Loreto, Luis Moya, Noria de Angeles, Ojo Caliente, Villa González Ortega y Villa Hidalgo, dentro del estado de Zacatecas (Fig. II.2); Villa de Ramos y Salinas, en el estado de San Luis Potosí; y Asientos, en el estado de Aguascalientes. De estos municipios, Loreto es el que cuenta con un mayor número de habitantes, seguido por Ojo Caliente y Asientos. En la tabla No. II.1 se presentan los datos de la población existente en cada uno de los municipios anteriores para el año de 1990.

II.2.- VIAS DE COMUNICACION.

La zona está comunicada por el camino de terracería No. 57, que une las poblaciones de Ojo Caliente y Pinos, pasando por los poblados de General Pánfilo Natera, Santa Elena, Villa González Ortega y Noria de Angeles. Este camino entronca con la carretera federal No. 49, a la altura del poblado de General Pánfilo Natera, la cual comunica a las ciudades de San Luis Potosí y Zacatecas. También, existe un ramal de Santa Elena a Villa de Ramos, pasando por los poblados de San José El Saladillo y Zacatón. Existe otro camino de terracería, el cual une las

poblaciones de Loreto con Luis Moya, pasando por Tierra Blanca y El Coecillo. Otra vía de comunicación importante es la carretera estatal No. 61, que une a la ciudad de Aguascalientes con Loreto y llega hasta la localidad de San Marcos. La distancia de Loreto a Aguascalientes por esta carretera es de 65 km.

Por último, también existe el ferrocarril que comunica a las ciudades de San Luis Potosí con Aguascalientes, el cual cruza la zona en dirección suroeste, tocando las poblaciones de Francisco I. Madero, Guadalupe Victoria, Loreto y San José del Río (Fig. II.3). En general, los municipios localizados dentro de la zona estudiada están bien comunicados y cuentan con servicio postal, telegráfico y telefónico, así como, con señales de televisión de cobertura nacional.

II.3.- ASPECTOS HISTORICOS.

Los primeros pobladores dentro de la región fueron los chichimecas, los zacatecos y los huichichiles, principalmente. El descubrimiento de la plata de Zacatecas motivó la expedición de Juan de Tolosa y la explotación de las primeras minas, las cuales fueron organizadas y pagadas por un reducido grupo de veteranos y cateadores, como fueron el Capitán Cristóbal de Oñate, Diego de Ibarra y Baltazar Temiño de Buñuelos. Así, el 8 de septiembre de 1546, cuando Juan de Tolosa y sus acompañantes acampan al pie del cerro de La Bufa, fue cuando inició la colonización de las extensas llanuras norteañas y se abrió la puerta a un mundo

diferente al que hasta entonces conocían los españoles, produciéndose un fuerte movimiento migratorio.

En el año de 1700, se llevó a cabo la fundación del poblado de La Blanca por un grupo de gambusinos, encabezados por el señor Francisco Fernández Palos, quien tenía un hijo sacerdote que inició la construcción de una capilla en el año de 1800 y es donde actualmente se encuentra el templo parroquial. Esa misma familia construyó una hacienda de beneficio de metales, cuyo nombre actual es hacienda de Beleña.

En el año de 1928, se erige el municipio de La Blanca. El nombre de La Blanca proviene de una tradición que hace alusión a las tunas blancas que se producían en la región. El 20 de octubre de 1957, por el Decreto Oficial No. 141, dejó el municipio de llamarse La Blanca y se le da el nombre de General Pánfilo Natera, en honor del ilustre general revolucionario, quién en el año de 1913 organizó un gobierno provisional para poder reestablecer el orden constitucional.

Por otra parte, el poblado de Loreto fue parada ocasional del tren de pasajeros que comunicaba a las ciudades de Aguascalientes y San Luis Potosí, a partir de 1889. En 1895, se estableció una estación de ferrocarril y una pequeña bodega, para el embarque de Chile y cebolla a dichas ciudades y a Tampico.

Las poblaciones de Loreto y Bimbaletes, así como otras rancherías, fueron segregadas al municipio de Villa García, el 8

de octubre de 1931. Por el Decreto No. 5 del H. Congreso del Estado, fueron convertidas en el municipio de Bimbaletes, quedando en ese lugar la cabecera municipal. Sin embargo, el 29 de mayo de 1935, mediante el Decreto No. 227, dicha cabecera fue trasladada a Loreto, llevando desde entonces ese nombre.

II.4.- ASPECTOS SOCIOECONOMICOS.

La importancia económica del área de estudio radica principalmente en su producción agrícola, la cual es de temporal en la mayor parte de las zonas de cultivo, y, en menor proporción, regadas con agua subterránea. Los cultivos más importantes en la región son el frijol, el chile y el maíz, y en menor escala la vid, la cebolla, el ajo, la col y la papa.

Otra actividad económica importante es la minería, que ha logrado mantener un aceptable ritmo de crecimiento. En la región se extrae principalmente oro, plata, plomo, cobre, zinc, manganeso y wollastonita. Aproximadamente, a 8 km al sur del poblado de Noria de Angeles, dentro del municipio del mismo nombre, se localiza la mina Real de Angeles. Dicho poblado se fundó en el siglo XVI al descubrirse el mineral del Real de San Nicolás de los Angeles, y de ahí se obtiene una producción muy importante de plata a nivel mundial, así como de otros minerales que contienen plomo y zinc. Las reservas calculadas para el año de 1982 fueron, de 85 millones de toneladas, con leyes de 75 gr/ton de plata, 1.0 % de plomo, 0.92 % de zinc y cantidades

recuperables de cadmio (Pearson, 1988). Actualmente, la producción de la mina es de 18,000 toneladas al día.

La población económicamente activa (PEA) en 1990, para el municipio de Loreto era de 8,289 habitantes y en Pánfilo Natera de 4,973 personas, las cuales se dedican principalmente a actividades primarias siguiendo en orden de importancia los que se ocupan en los sectores secundario y terciario. En la tabla No. II.3, se presentan las principales actividades económicas de los municipios de Zacatecas que se encuentran en el área de estudio.

Con respecto a la educación, en la población de Loreto se cuenta con la infraestructura adecuada para impartir educación formal y complementaria en los niveles elemental (preescolar y primaria), medio (secundaria, bachillerato y técnico) y superior (ciclo normal). En el poblado de General Pánfilo Natera hay educación en los niveles elemental y medio. En ambas localidades, la población analfabeta es mínima con respecto al total de la misma.

Las cifras del número total de viviendas existentes en 1986 y las estimaciones hasta el año de 1990, en los municipios de Loreto y General Pánfilo Natera, se presentan en la tabla No. II.2. Los servicios públicos que se se ofrecen por parte de los municipios son los siguientes: alumbrado público, energía eléctrica, agua potable y alcantarillado, parques, centros deportivos y recreativos, panteones, vialidad, seguridad pública y servicios de salud.

NUMERO DE HABITANTES POR MUNICIPIO.

ESTADO	MUNICIPIO	POBLACION TOTAL
ZACATECAS	1) GENERAL PAMFILO NATERA	20,735
	2) LORETO	34,565
	3) LUIS MOYA	11,501
	4) NORIA DE ANGELES	12,177
	5) OJO CALIENTE	33,327
	6) VILLA GONZALEZ ORTEGA	12,233
	7) VILLA HIDALGO	14,065
SAN LUIS POTOSI	8) VILLA DE RAROS	28,631
	9) SALTINAS	21,721
AGUASCALIENTES	10) ASIENTOS	32,214

Fuente: INEGI. Cifras preliminares del censo de población de 1990.

TABLA No. 11.1

NUMERO DE VIVIENDAS

MUNICIPIOS	1986	1987 1988 1989 1990 (E S T I M A C I O N E S)			
G. PAMFILO NATERA	2,683	2,704	2,725	2,746	2,767
LORETO	4,327	4,380	4,433	4,486	4,541

Fuente: Los Municipios de Zacatecas, 1987.
Enciclopedia de los Municipios de México.

TABLA No. 11.2

PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONOMICAS POR MUNICIPIO.

MUNICIPIO	AGRICULTURA	GANADERIA	INDUSTRIA	MINERIA	TURISMO
G. PANFILD MATERA	Frijol, maiz, trigo, avena, vid, durazno, manzana, alfalfa.	Bovinos, ovinos, caprinos, equinos, porcinos, aves, colmenas.	Balconeria, panaderia, tortilleria.	Sulfato de plata, wolastonita, feldspate, pb, cu.	Grutas y cavernas del cerro de Guajustillo.
LORETO	Maiz, frijol, avena, cebada, tomate, chile, col, ajo, col, cebolla, vid, durazno, manzana, alfalfa.	Bovinos, ovinos, caprinos, porcinos, equinos, colmenas, aves.	Balconeria, carpinteria, ropa, deshidratadoras de Chile.		Plaza principal de Loreto.
LUIS NOYA	Frijol, maiz, trigo, avena, vid, durazno, manzana, alfalfa, praderas.	Bovinos, ovinos, caprinos, equinos, porcinos, aves, colmenas.	Ropa, panaderia, tortilleria, vinos, latices, balconeria.		Balneario Kalhúa, Jardín Juárez, Templo San Francisco.
MORIA DE ANGELES	Frijol, trigo, avena, cebada, vid, durazno.	Bovinos, ovinos, caprinos, equinos, aves, colmenas.	Panaderias, balconerias, tortillerias.	Ag, Pb, Cu, Zn.	Mina Real de Angeles, Plaza principal.
DJO CALIENTE	Frijol, maiz, trigo, avena, cebada, cebolla, tomate, col, vid, manzana.	Bovinos, caprinos, porcinos, equinos, colmenas, aves.	Moste, vino, balconeria, deshid. de Chile, partes p/ maquinaria, enlatadora.	Au, Ag, Cu.	Balneario de Djo Caliente.
VILLA GONZALEZ ORTEGA	Maiz, frijol, avena, cebada, chile, tomate, col, vid, alfalfa.	Bovinos, ovinos, equinos, porcinos, aves, colmenas.	Block/Tubo concreto, tortilleria, panaderia, balconeria.	Ag.	Templo de Santa Teresa, hacienda "El Carro".
VILLA HIDALGO	Maiz, frijol, trigo, cebada, alfalfa, vid, avena.	Bovinos, ovinos, caprinos, porcinos, equinos, aves, colmenas.	Panaderia, tortilleria, balconeria.	Au, Ag, Pb, Cu.	Cuevas del Corriño.

Fuente: Los Municipios de Zacatecas, 1987. Enciclopedia de los Municipios de México.

Tabla No. 11.3

III.- CLIMATOLOGIA.

Para realizar el análisis de las condiciones climatológicas dentro del área estudiada, se obtuvo la información relativa a la precipitación, temperatura y evaporación potencial, para el período de 1970-1983, en seis de las estaciones, y en la estación Reforma, para el período de 1973-1983.

Cabe mencionar que hay poca información climatológica disponible, ya sea porque se encuentra incompleta o porque los datos de las estaciones no cubrían un período de tiempo muy largo. Por lo anterior, no fue posible tomar en cuenta los datos de otras estaciones que se encontraban en la región o cercana a ella.

Las estaciones cuya información fue analizada son las siguientes: El Rusio, La Honda (Guadalupe Victoria), San Antonio del Ciprés, Trancoso y Villa Hidalgo, dentro del estado de Zacatecas; Ramos (Villa de) y Reforma, en el estado de San Luis Potosí.

El área de estudio se encuentra comprendida, en su mayor parte, dentro de la Región Hidrológica No. 37 (El Salado) y una pequeña porción al sur, pertenece a la Región Hidrológica No. 12 (Lerma-Chapala-Santiago). La localización de las estaciones climatológicas, así como de las regiones hidrológicas se presentan en la figura III.1.

Con base en la información recabada se elaboraron las diferentes tablas y gráficas, donde se puede observar la relación existente entre la precipitación, la temperatura y la evaporación potencial promedio, tanto mensual como anual.

III.1.- VEGETACION.

En el área de estudio no existe un porcentaje muy elevado de tipos de vegetación, la cual se ve influenciada por los factores climáticos, topográficos y edáficos.

En los valles de la zona es donde se realiza la mayor parte de las actividades agrícolas, tanto de temporal como de riego. Gran parte de la agricultura de temporal presenta bajos rendimientos, mientras que la agricultura de riego se realiza a menor escala pero con mejores rendimientos.

La vegetación más representativa de la región es la siguiente: huisache (*Prosopis juliflora* y *Acacia farnesiana*), chaparro prieto (*Acacia sp*), cardenche (*Opuntia sp*), nopales (*Opuntia sp*), escobilla (*Baccharis sp*), palma zacatecana (*Yucca de cipiens*), pastizal natural e inducido.

III.2.- PRECIPITACION PLUVIAL.

El término de precipitación utilizado en hidrología incluye todas las formas de agua que se depositan en la superficie terrestre, derivadas del vapor de agua que contiene la atmósfera.

En general, las nubes se forman por enfriamiento del aire por debajo del punto de saturación, asociada con un descenso térmico y de presión. La intensidad y la cantidad de precipitación dependerán del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical (García Calderón, 1974). La precipitación pluvial, específicamente, es aquella que se presenta en forma de lluvia.

La cantidad de agua caída se expresa en milímetros (1 mm equivale a un litro de agua sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado) y es registrada por medio de un pluviómetro.

En la tabla No. III.1 se muestran los valores de precipitación promedio mensual de las siete estaciones, mediante los cuales se elaboraron las gráficas de las figuras III.3.1 y III.3.2. Se puede observar que el período de lluvias se presenta de junio a septiembre, siendo el mes de julio el de mayor precipitación; en los meses restantes ocurren lluvias esporádicas. Normalmente, en la región se presentan aguaceros torrenciales de corta duración, los cuales no favorecen a la infiltración; las lluvias de baja intensidad y larga duración, son las que llgan a recargar verticalmente mejor a los acuíferos.

PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL.

(mm)

PERIODO 1970-1983

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1) EL RUBIO	14.1	8.2	2.5	8.1	16.9	54.6	77.9	71.9	54.4	24.6	13.8	12.0
2) LA HONDA	16.3	7.4	2.2	7.4	16.2	53.9	86.8	65.0	55.2	19.8	11.5	11.4
3) S. ANTONIO C.	14.7	3.8	2.7	2.2	19.3	81.6	88.8	86.1	87.4	24.9	12.2	21.4
4) TRANCOSO	14.8	6.2	2.3	5.7	30.9	81.5	81.1	77.2	73.0	33.2	14.0	20.6
5) VILLA HGO.	6.1	3.9	1.1	5.7	17.1	73.4	74.6	83.1	58.9	14.0	5.1	10.9
6) RAMOS	15.7	8.1	2.7	4.7	19.2	68.4	76.0	68.1	69.1	38.6	15.1	13.3
7) REFORMA	13.8	5.9	2.6	14.5	31.3	58.7	86.7	75.9	44.6	40.4	15.8	18.2

TABLA No. III.1

La precipitación promedio mensual varía de un valor mínimo de 1.1 mm, calculado para la estación Villa Hidalgo en el mes de marzo, a un valor máximo de 88.8 mm en la estación San Antonio del Ciprés, en el mes de julio. En forma general, los valores más bajos se registran durante los meses de febrero, marzo y abril, mientras que los más altos se tienen en julio y agosto.

En la tabla No. III.2 se ilustran los valores de precipitación promedio anual, con los cuales se elaboraron las gráficas de las figuras III.4.1 y III.4.2, donde se puede observar que los años con menor precipitación fueron los de 1974 y 1982, y los años con mayor precipitación fueron los de 1973 y 1976. En general, la precipitación media anual varía de 359 mm a 451 mm, obteniéndose como promedio pesado una altura de 403 mm de lluvia para la zona en cuestión. Con los valores de precipitación promedio anual, también, se elaboró la figura III.2, la cual presenta la distribución espacial de la precipitación por medio de líneas de igual precipitación o isoyetas, para el período de 1970-1983. Para la elaboración de dicha figura, se consideró el plano de Isoyetas Medias Anuales de la República Mexicana para el período de 1931-1970, de la S.A.R.H.

III.3.- TEMPERATURA.

La temperatura se expresa en términos de la diferencia que existe entre el calor absorbido por la superficie terrestre y el calor emitido por las radiaciones solares. El calor emitido por

PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL

(mm)

PERIODO 1970-1983

ESTACION	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	PROM.
1) EL RUSIO	348.0	432.0	345.6	346.8	277.2	282.0	550.8	271.2	463.2	354.0	324.0	306.0	338.4	387.6	366.2
2) LA HONDA	414.0	373.2	397.6	464.4	222.0	423.6	516.0	249.6	343.2	253.2	330.0	300.0	292.8	460.8	360.8
3) S. ANTONIO C.	392.4	642.0	451.2	568.8	285.6	561.4	594.0	300.0	664.8	250.3	258.0	516.0	339.6	498.8	469.0
4) TRANCOSO	422.8	628.4	465.6	656.4	328.8	481.2	606.0	399.6	426.0	290.4	238.0	442.0	303.6	589.2	448.5
5) VILLA HGO.	330.0	566.4	362.4	568.8	218.0	615.6	328.0	284.4	352.8	218.0	288.0	216.0	192.0	508.8	360.9
6) BANDS	456.6	616.0	394.0	782.4	254.4	470.0	643.6	272.4	402.4	276.8	235.2	187.2	116.4	468.0	398.2
7) REFDRNA	--	--	--	1041.6	248.6	477.0	649.2	234.4	344.4	225.6	292.0	424.8	320.4	320.4	416.3

TABLA No. III.2

dichas radiaciones se transmite rápidamente por los movimientos convectivos que se producen en la atmósfera.

La medición de la temperatura se obtiene mediante de un termómetro de mercurio, colocado en cada estación climatológica.

Los valores de temperatura media mensual se presentan en la tabla No. III.3. Con esos valores se elaboraron las gráficas de las figuras No. III.3.1 y III.3.2. Se puede observar que los valores máximos se registraron de abril a julio y los mínimos en diciembre, enero y febrero. En general, la temperatura media mensual varía de 11 a 20 °C.

En la tabla No. III.4 se presentan los valores de la temperatura media anual. Con estos valores se elaboraron las gráficas de las figuras No. III.4.1 y III.4.2. Los años que registraron temperaturas más elevadas fueron los de 1980 y 1982, mientras que los de menor temperatura fueron 1971 y 1973. Así, la temperatura media anual varía de 15 a 19 °C, con un promedio de 17 °C.

III.4.- EVAPORACION POTENCIAL.

El término de evaporación se refiere al paso del estado líquido al gaseoso de una sustancia, a la temperatura ambiente. La evaporación principia antes de que la lluvia llegue a la superficie terrestre; sin embargo, desde el punto de vista

TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL.
 (°C)
 PERIODO 1970-1983

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1) EL RUSIO	14.3	15.0	18.4	20.3	21.7	22.3	20.6	20.6	20.2	18.7	16.2	14.4
2) LA MORDA	11.5	12.1	15.5	17.7	19.7	19.2	19.1	17.8	17.3	15.8	13.4	12.0
3) S. ANTONIO C.	13.7	14.6	18.3	20.2	21.2	21.1	20.2	19.5	19.3	17.9	15.4	14.4
4) TRANCOSO	12.8	12.8	15.8	16.1	19.4	19.3	18.3	17.5	17.1	16.0	14.3	12.7
5) VILLA HRO.	13.8	13.8	16.1	19.5	20.1	20.1	18.6	18.9	18.1	16.8	14.8	13.2
6) BARDOS	14.2	15.5	18.5	20.0	21.1	21.1	20.1	20.0	20.0	18.2	15.9	14.4
7) REFORMA	9.1	9.7	12.7	14.5	15.9	15.9	15.1	14.1	14.1	12.9	10.5	9.5

TABLA No. III.3

**TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL
(°C)
PERIODO 1970-1983**

ESTACION	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	PROM.
1) EL RUSIO	17.8	16.4	17.1	16.9	18.4	19.9	19.3	18.9	19.4	18.8	19.8	19.2	20.4	18.1	18.6
2) LA NENGA	15.6	14.9	16.3	15.4	15.7	16.8	15.3	14.4	15.8	15.9	16.1	16.2	16.7	15.3	15.8
3) S. ANTONIO C.	17.8	16.8	16.3	16.4	16.9	17.9	18.1	19.3	19.9	19.0	17.6	18.7	18.7	18.5	18.0
4) TRANCOSO	15.5	15.7	16.1	15.1	15.1	15.7	15.2	16.0	16.4	16.8	16.9	16.5	17.9	17.8	16.1
5) VILLA HNO.	17.3	16.5	17.2	16.6	17.1	16.5	16.1	16.8	16.3	17.1	17.4	16.4	17.3	16.8	16.8
6) BARDOS	19.0	18.2	19.3	19.3	19.2	19.1	18.8	18.4	17.5	17.5	17.7	16.1	16.3	19.1	18.3
7) REFORNA	--	--	--	16.4	16.8	16.4	16.1	16.5	16.3	16.0	16.7	14.3	16.4	15.4	16.3

TABLA No. III.4

hidrológico, se considera la evaporación de la lluvia que ha caído a la superficie terrestre y no de la que se pierde en el camino por este fenómeno físico.

Por otra parte, se conoce como evaporación potencial a la capacidad de evaporación que existe en una zona determinada, calculada en condiciones artificiales, y se refiere a la cantidad de agua que puede ser evaporada. La estimación de la evaporación es difícil de realizar debido a que se ve influenciada por diferentes factores y sufre considerables variaciones de carácter local, por lo cual, en el presente estudio se utilizaron los datos de la evaporación potencial obtenidos de las estaciones climatológicas.

Los principales factores que influyen en la evaporación son los meteorológicos y los físico-químicos. Entre los primeros se tienen: la radiación solar, la temperatura del agua y del aire (en las gráficas realizadas en las figuras III.3.1, III.3.2, III.4.1 y III.4.2 se puede observar que al haber un incremento de la temperatura también lo hay en la evaporación potencial, lo cual es más notorio en las gráficas mensuales), la presión atmosférica y del vapor de agua, la velocidad de los vientos (en el área de estudio los vientos predominantes son los del sureste, con una velocidad de 8 km por hora), entre otros. Dentro de los factores físico-químicos que afectan a la evaporación se tienen la concentración de sales disueltas en el agua y las características relacionadas con la superficie de evaporación, tales como son el tipo de suelo, la vegetación, la topografía,

etc.

La medición de la evaporación potencial se realiza por medio de un evaporímetro, siendo el más utilizado el llamado "tanque de evaporación", que consiste en un depósito de forma circular donde se observa la pérdida de agua por evaporación a través de una regla graduada.

En la tabla No. III.5, se presentan los valores de la evaporación potencial promedio mensual y en la tabla No. III.6 los valores de evaporación potencial promedio anual. Con estos datos se elaboraron las gráficas de las figuras III.3.1, III.3.2, III.4.1 y III.4.2, donde se observa que la evaporación máxima se presentó durante los meses de abril y mayo, mientras que la mínima fue en diciembre y enero. La evaporación potencial promedio asciende de enero a mayo y desciende de junio a diciembre. En general, la evaporación potencial promedio anual en la zona es de 2213 mm.

III.5.- CLASIFICACION DEL CLIMA.

En base a las características climatológicas descritas, y en la clasificación de Köppen, modificada por E. García en 1964, para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana, el clima es del tipo seco a semiseco estepario, con régimen de lluvias en verano y templado con verano cálido (BSwk).

EVAPORACION PROMEDIO MENSUAL.

(mm)

PERIODO 1970-1983

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1) EL RUBIO	146.3	166.6	227.1	253.8	268.7	232.8	207.4	199.5	180.8	173.7	148.2	135.9
2) LA MONDA	140.5	157.8	214.4	225.9	235.0	212.7	195.4	180.6	159.9	153.9	174.4	125.1
3) S. ANTONIO C.	134.8	159.8	220.1	246.5	258.3	220.9	203.5	179.2	168.5	164.0	134.7	147.4
4) TRANCOSO	142.6	157.6	227.1	257.5	268.9	213.0	189.4	165.7	143.8	140.9	139.0	121.7
5) VILLA HGO.	179.7	173.6	229.6	258.6	266.1	245.1	198.0	200.1	188.9	161.1	148.2	140.6
6) RAMOS	125.2	133.9	190.7	215.8	215.6	189.1	188.5	181.7	166.5	151.6	126.0	128.1
7) REFORMA	103.2	117.9	159.5	200.0	191.1	180.9	168.9	150.5	132.0	119.8	105.1	100.0

TABLA No. III.5

EVAPORACION PROMEDIO ANUAL

(mm)

PERIODO 1970-1983

ESTACION	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	PROM.
1) EL RUSIO	2029.2	2500.0	2584.0	2547.6	2576.4	2554.0	2337.7	2175.6	2292.0	2295.6	2324.4	2215.2	2425.2	2014.0	2340.1
2) LA HONDA	2031.6	2230.0	2329.2	2362.0	2222.4	2245.2	2105.2	2085.6	1916.4	2175.6	2245.2	1897.2	2220.4	1916.4	2140.5
3) S. ANTONIO C.	2342.4	2300.4	2287.2	2205.6	2250.0	2181.6	2130.0	2140.0	2280.0	2354.4	2265.6	2184.0	2283.6	2106.0	2237.1
4) TRANCOSO	2442.0	2234.4	2230.0	2314.0	2359.2	2311.2	2060.0	2164.0	2272.0	2232.0	1924.0	1755.6	2179.2	1851.6	2167.3
5) VILLA HGO.	2289.6	2400.4	2263.2	2240.4	2345.6	2082.4	2001.6	2150.4	2066.4	2084.4	2133.6	1852.0	2175.6	1952.4	2309.6
6) BANDS	1840.0	1771.2	2030.0	2194.0	2337.6	2122.0	1942.0	2140.0	1944.0	2050.0	2070.0	1765.2	1837.2	2103.6	2012.5
7) REFORMA	--	--	--	2131.2	2276.4	2436.0	2100.0	2190.0	2209.2	2216.4	2197.2	2053.2	2270.0	2004.0	2190.2

TABLA No. III.6

En la región se presentan las siguientes variantes del clima:

- Semicálido-semiseco.- Con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5. La precipitación media anual tiene un rango que fluctúa entre 450 y 500 mm, en la región y la temperatura media anual tiene un valor que oscila entre 18 y 20 °C. Esta variante se localiza al sur del área de estudio.

- Templado-semiseco.- Presenta lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2. La precipitación media anual tiene un rango de variación entre 400 y 500 mm; la temperatura media anual es menor de 18 °C. Cabe señalar, que esta variante es la de mayor extensión e influencia en el estado de Zacatecas, así como en el área de estudio.

En la figura III.5 se presentan los diferentes tipos de climas en el estado de Zacatecas.

IV.- GEOLOGIA.

IV.1.- FISIOGRAFIA.

El área de estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica del Altiplano Mexicano o La Mesa Central, propuesta por Raisz (1964), que se ubica en la parte central de México y está limitada al norte y al este por la Sierra Madre Oriental, al oeste por la Sierra Madre Occidental y al sur por el Eje Neovolcánico (Fig. IV.1). Esta provincia se caracteriza por ser una zona de amplias planicies, que pueden estar interrumpidas por sierras dispersas, que en su mayoría son de origen volcánico y se puede diferenciar de la provincia de Cuencas y Sierras porque presenta mayores elevaciones; sus valles tienen extensiones más planas y, en lugar de tener sierras alargadas, se encuentran colinas bajas.

Dentro de La Mesa Central esta la subprovincia de Los Llanos de Ojuelos, localizada en la porción sureste del estado de Zacatecas y noreste del estado de Aguascalientes. Se caracteriza por tener llanos con elevaciones de 2000 a 2200 msnm, sierras de materiales volcánicos al occidente, un sistema de lomeríos de litología compleja que se extiende de norte a sur en la zona oriente y en el sur hay un extenso sistema de mesetas de rocas volcánicas félsicas (SPP, 1988). La zona que comprende el presente estudio, se encuentra casi totalmente dentro de esta subprovincia.

IV.1.1.- HIDROGRAFIA.

La mayor parte de la área de estudio se localiza en la Región Hidrológica No. 37, denominada "El Salado", y una pequeña porción, en el sur, pertenece a la Región Hidrológica No. 12, denominada "Lerma-Chapala-Santiago" (Fig. III.1).

La Región Hidrológica No. 37 se localiza en la altiplanicie septentrional y es una de las vertientes interiores más importantes del país. Está constituida por una serie de cuencas cerradas de diferentes dimensiones y en su mayor extensión carece de corrientes superficiales permanentes, por ello son muy pocas las corrientes que se han medido sistemáticamente.

En la figura IV.2 se presentan los ríos más importantes dentro del estado de Zacatecas así como de algunos estados limítrofes.

El área de estudio carece de corrientes superficiales, excepto durante la época de lluvias o en períodos de lluvias extraordinarias, produciéndose arroyos torrenciales que escurren de las zonas más elevadas hacia las pequeñas lagunas, tanques, presas y bordos diseminados en las partes más bajas. Dichas captaciones pueden llegar a secarse en la época de estiaje.

Las lagunas presentan niveles de agua variables dependiendo de los volúmenes recibidos y por el período subsecuente de sequía. En algunas zonas se forman costras de sal sobre la

superficie del suelo cuando se evapora el agua de dichas lagunas y esto se explica por las altas concentraciones de sales disueltas en el agua. Las lagunas más importantes se localizan en la porción norte del área de estudio y son las siguientes: El Salado, Las Pilas, San Antonio, La Chiripa, El Tule, El Sapo y Las Cruces. El nivel que registran las lagunas no representan el nivel freático regional, ya que al parecer son sólo aguas estancadas sobre zonas impermeables.

Entre los arroyos con mayor caudal durante la época de lluvias se pueden citar los siguientes: El Muerto, San Patricio, Las Blancas y El Jaral.

En la parte sur del área de estudio se encuentra una pequeña corriente que escurre hacia el valle de Chicalote, donde se origina el río del mismo nombre.

En términos generales, se puede considerar que el drenaje es de tipo dendrítico en las partes altas de las sierras y cambia su configuración en los valles a paralelo y subparalelo, donde llegan a desaparecer las corrientes. En la porción norte, algunas corrientes fluyen hacia las lagunas que se encuentran en las planicies.

Los principales aprovechamientos superficiales corresponden a diferentes tanques, como son el Santa Elena, San Gil, El Refugio, etc., los cuales tienen capacidades de almacenamiento muy bajas y se utilizan para fines domésticos y de abrevadero.

La presa San Marcos, ubicada al norte de la población de San Marcos, constituye la obra de aprovechamiento de las aguas superficiales más importante de la zona. Esta presa está construída sobre el arroyo San Marcos, el cual, aguas arriba se conoce con el nombre de El Muerto; cuenta con una capacidad de 7 millones de metros cúbicos y fue proyectada para regar una superficie de 500 hectáreas. Sin embargo, el embalse no se ha llenado desde que fue construído por que la presa se encuentra en una zona donde existen rocas riolíticas fracturadas por donde se pierde parte del agua, además de que el escurrimiento del arroyo no fue el esperado.

IV.1.2.- OROGRAFIA.

Las sierras de Zacatecas se encuentran distribuídas principalmente en las porciones occidental, centro y sur del estado. También existen algunas sierras localizadas al noreste que interrumpen a las llanuras que se encuentran en esa región. La orientación principal de las sierras es noroeste-sureste, aunque algunas sierras localizadas en la parte central y sur del estado tienen una orientación preferencial norte-sur (Fig. IV.2).

El área de estudio presenta algunas sierras en las porciones occidental y sur principalmente, mientras que en las partes oriental y noreste se encuentran pequeñas mesetas y cerros.

En el norte del área de estudio se encuentran planicies

extensas donde se han desarrollado algunas lagunas. Dichas planicies presentan altitudes que van de los 2050 a los 2100 msnm y se encuentran rodeadas de mesetas y cerros cuyas elevaciones son de 200 y 300 metros sobre las planicies. En la porción noroeste, al norte del poblado de Guanajuatillo, se localiza una sierra cuya orientación preferencial es NW-SE, con elevaciones que llegan hasta los 2500 msnm y con una pendiente no muy pronunciada. Hacia el sur, en la parte central del área de estudio y donde se encuentra el poblado de Pastoría, se localiza la sierra del mismo nombre, con una orientación preferencial N-S y cuya orientación cambia hacia el NE. Tiene una elevación máxima de 2300 msnm y presenta pendientes moderadas.

En el sur se encuentra el valle de Loreto, el cual tiene una orientación N-S; en la parte más baja de este, se presenta una altitud del orden de los 2050 a 2100 msnm y las sierras que lo rodean, tienen alturas de hasta 450 metros sobre la planicie.

En la porción suroeste se encuentra la sierra de Asientos, con una orientación preferencial N-S y una elevación máxima de 2500 msnm, de pendiente moderada a pronunciada en algunas zonas.

Finalmente, en la porción sureste se localiza la sierra de San Marcos cuya orientación preferencial es NW-SE cambiando hacia el suroeste en la parte más cercana al valle; presenta formas suaves, un drenaje incipiente y su elevación máxima es de 2500 msnm en la zona localizada al suroeste del poblado de Rancho Nuevo.

IV.2.- GEOMORFOLOGIA.

La Geomorfología se encarga del estudio del relieve terrestre, resultado de la interacción de los procesos endógenos y exógenos, los cuales actúan en estrecha relación.

Los procesos endógenos son aquéllos producidos esencialmente por las fuerzas internas y están controlados por la energía interna, por la acción de la fuerza de la gravedad y por las fuerzas relacionadas con la rotación de la Tierra. Dentro de estos procesos se pueden considerar el tectonismo, el magmatismo, el metamorfismo y el hidrotermalismo entre otros.

Los procesos exógenos son aquéllos que son producidos generalmente por fuerzas externas, sobre la superficie terrestre. Estos procesos están condicionados principalmente por la energía de la radiación solar, el clima, la fuerza de la gravedad y la actividad de los organismos. Los principales procesos exógenos son el intemperismo, la erosión o denudación y la acumulación de los materiales producto de los procesos anteriores. Estos procesos producen un modelado permanente en la superficie terrestre, nivelando las elevaciones y rellenando las depresiones.

En la parte noroeste, suroeste y central principalmente del área de estudio, se encuentran elevaciones topográficas compuestas de rocas sedimentarias. Estas rocas fueron deformadas durante el Cretácico Tardío y principios del Terciario Temprano,

produciéndose plegamientos. Las formas que presentan estas unidades son lomeríos redondeados con pendiente suave.

En la parte occidental, cerca del poblado de Pastoría, se presenta una sierra alargada con una orientación NE-SW, formada por rocas metamórficas del Triásico Superior, las cuales están intrusionadas por cuerpos plutónicos del Terciario que llegan a formar elevaciones topográficas contrastantes de hasta 2300 msnm.

En la parte oriental se localizan algunas mesetas y restos de volcanes de pequeñas elevaciones, los cuales están formados por piroclastos y derrames de composición riolítica. Al noreste del área, se encuentran derrames basálticos de grandes extensiones, que forman mesas.

Las sierras localizadas al sur del área de estudio están formadas esencialmente por rocas volcánicas extrusivas de composición riolítica, del Terciario. Las formas que presentan estas sierras son relativamente suaves, aunque llegan a presentar en algunas partes pendientes pronunciadas. Estas sierras forman parte de las estribaciones orientales de la Sierra Madre Occidental.

En la zona también existen depósitos de pie de monte, formados por materiales transportados y acumulados por las aguas torrenciales, los cuales llegan a formar lomeríos redondeados con pendiente suave principalmente en la parte central del área de estudio. En las partes más bajas se localizan zonas de

acumulación de materiales clásticos, volcánicos y lacustres, que han llegado a formar planicies de extensiones variables donde se han desarrollado suelos de pequeños espesores. Estas acumulaciones son producto de la acción de los procesos exógenos.

IV.3- ESTRATIGRAFIA.

Dentro del área de estudio se encuentran aflorando rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas, las cuales tienen un rango estratigráfico que va desde el Triásico Superior hasta el Reciente, como se puede observar en la tabla de correlación estratigráfica de la figura IV.3.

TRIASICO SUPERIOR.

Formación Zacatecas (TR-m).

Esta formación fue propuesta por Carrillo Bravo (1968), refiriéndose a una secuencia de lutitas y areniscas de color gris verdoso y gris oscuro, que contienen fósiles marinos de edad Triásico Tardío. También existen en esta formación pizarras, esquistos, gneis y meta-riolitas.

Como localidad tipo Carrillo Bravo designó al arroyo Pimienta, Zac. Anteriormente en este mismo lugar, Burckardt

(1905) reportó numerosos fósiles marinos del Triásico Superior y describió a la secuencia como "esquistos silíceos y arcillosos de color negro o azul oscuro que alternan con areniscas probablemente tobáceas generalmente verdosas con lutitas verdosas y grises", sin aplicarle ninguna nomenclatura litoestratigráfica.

Las rocas de esta formación se encuentran aflorando en la parte central del área de estudio, en las cercanías del poblado de Pastoría, Cerritos de Agua y El Tule.

Las pizarras presentan una textura de grano fino y contienen micas en abundancia; tienen un lustre satinado con un color gris y pardo verdoso. Los esquistos tienen un color verde a gris verdoso y los principales minerales que presentan son clorita, moscovita, cuarzo y feldespatos. Estos minerales se encuentran dispuestos en planos paralelos presentando una clara foliación. Los gneis presentan un bandeamiento marcado, los cuales no se encuentran muy difundidos dentro de la zona estudiada. Las meta-riolitas son rocas de color verde que al parecer originalmente fueron tobas riolíticas; presentan estructuras masivas con un fracturamiento moderado y algunas fracturas se encuentran rellenas de material arcilloso.

Estas rocas son producto del metamorfismo regional ocurrido en esta zona y en algunas partes se encuentran intrusionadas por granitos y granodioritas del Terciario. Le sobreyacen discordantemente rocas volcánicas ácidas, conglomerados terciarios y en algunos lugares rocas sedimentarias cretácicas.

JURASICO.

Formación La Caja (Jlc).

La Formación La Caja fue definida originalmente por Imlay (1938) para designar una secuencia de calizas limolíticas de color pardo y blanquecinas con bandas de pedernal, limolitas calcáreas, calizas arcillosas fosfatadas, calizas de color gris claro a pardo y limolitas.

La localidad tipo se encuentra en la vereda del Quemado, localizada en la Sierra de La Caja, en Cedros, Zac.

La Formación La Caja solamente se encuentra aflorando al oriente del poblado de Villa González Ortega y se presenta en forma de montículos aislados.

Esta formación se encuentra constituida dentro del área de estudio por una secuencia de limolitas de color gris claro a pardo y tienen al intemperismo un color pardo; estas rocas están intercaladas con calizas de grano grueso y calizas arcillosas del mismo color. También tiene algunos horizontes ricos en fosforita. Se presenta en estratos delgados de 10 a 20 cm de espesor.

La Formación La Caja sobreyace concordantemente a la Formación Zuloaga y subyace de la misma forma a la Formación Taraises. Sin embargo, dentro del área de estudio no se

observaron ninguno de estos contactos.

La edad atribuida a la Formación La Caja es Kimmeridgiano-Ti-toniano con base al registro fósil constituido primordialmente por amonitas y por su posición estratigráfica. Esta formación es correlacionable con la Formación La Casita, del norte y noreste de México así como con la Formación Pimienta del área de Tamanzuchale, S.L.P.

Por la presencia de amonitas dentro de esta formación, se sugiere que el depósito debió haber sido en un ambiente infranerítico. Imlay (1943) propone que la abundancia de amonitas y la relativa escasez de moluscos bentónicos puede relacionarse más a un exceso de lodo en la zona donde se efectuó el depósito que a la profundidad de la misma.

CRETACICO INFERIOR.

Formación Taraises (Kit).

Imlay (1936) denominó como Formación Taraises a una secuencia compuesta por dos miembros. El miembro inferior está constituido por calizas de color gris, de estratificación delgada y con un espesor aproximado de 70 m. El miembro superior está compuesto por calizas y calizas arcillosas de estratificación delgada y con nódulos de pedernal.

La localidad tipo de esta formación se encuentra en la parte occidental de la Sierra de Parras, en el Cañon de Taraises, donde presenta un espesor de 140 a 166 m.

La Formación Taraises presenta características litológicas similares a la Formación Cupido dentro del área de estudio, por lo que fue difícil diferenciar a ambas formaciones. Se localiza en la porción sur, cerca del poblado de Villa García y en algunos afloramientos en la parte central del presente estudio.

Esta formación está constituida por calizas wackestone de color gris claro y al intemperismo presentan un color gris oscuro. La estratificación varía de mediana a gruesa y contiene algunos lentes de pedernal.

Dentro del área de estudio no se identificó el contacto inferior de la Formación Taraises, el cual es concordante con la Formación La Caja. Subyace concordante y transicionalmente a la Formación Cupido, cuyo contacto es difícil de precisar.

A la Formación Taraises se le asigna una edad correspondiente al Berriasiano-Hauteriviano. Se correlaciona con las formaciones Barril Viejo y La Mula del norte de Coahuila, con la Formación Carbonera del norte de Durango y con las calizas de la Formación Tamaulipas Inferior.

Formación Cupido (Kic).

Esta formación fue descrita por primera vez por Imlay (1937), asignándole como localidad tipo la parte norte de una de las paredes del cañon del Mimbres, en la porción central de la Sierra de Parras, Coah., en donde se encuentra sobreyaciendo a la Formación Taraises y subyaciendo a la Formación La Peña.

La Formación Cupido se localiza cerca del poblado de Villa García y en algunos afloramientos de la porción central del área de estudio, cerca del poblado de Pastoría.

Las rocas que constituyen a esta formación son calizas que se presentan en estratos gruesos, con un color gris claro a gris oscuro y al intemperismo presentan un color gris azulado. Tienen una textura fina y es común encontrar concreciones de hematita, pirita diseminada, líneas estilolíticas y un gran número de lentes y nódulos de pedernal de color gris. Localmente se llegan a presentar algunas capas delgadas de limolitas calcáreas.

La Formación Cupido se encuentra sobreyaciendo concordante y transicionalmente a la Formación Taraises dentro del área de estudio; no se observó el contacto superior con la Formación La Peña y esto se debe a que no fue depositada dentro de la zona o fue erosionada.

Con base a su contenido faunístico, a esta formación se le ha colocado al final del Hauteriviano y principios del Aptiano. Se

correlaciona con la Formación Tamaulipas Inferior, con las formaciones Las Vigas y Parritas del occidente de la Sierra de Parras y con la Formación Sligo del sur y centro de Texas.

El ambiente de depósito de esta formación, de acuerdo a sus características litológicas y faunísticas, fue bajo condiciones infraneríticas con una circulación restringida de aguas provocándose la formación de hematita y pirita (Toledo B., 1987).

Formación Cuesta del Cura (Kicc).

Imlay (1936) describió por primera vez esta unidad refiriéndose a una caliza compacta de estratificación delgada y ondulante de color gris oscuro cuyo espesor es de 70 m aproximadamente y su localidad tipo se encuentra a 6.5 km al oeste de Parras, Coah.

Esta formación se localiza en la parte occidental del área de estudio principalmente, cerca de los poblados de Tepezalá y el Saucito.

Las rocas que la conforman son calizas wackestone de color gris claro y presentan un color gris oscuro al intemperismo; presenta estratos delgados a medianos con estratificación ondulante. En algunas partes se presentan nódulos y lentes de pedernal con unos 3 cm de espesor. Hay algunas intercalaciones de lutitas de color gris claro de pequeños espesores.

El contacto inferior de dicha formación no se encontró dentro del área de estudio; en otras zonas, dicho contacto ha sido detectado con la Formación La Peña. El contacto superior es concordante y transicional con la Formación Indidura y se marca donde desaparecen las calizas medianas con bandas de pedernal y comienzan a aparecer estratos calcáreo-arcillosos con horizontes de bentonita.

Basándose en la posición estratigráfica además de las amonitas encontradas, Rogers (1961) estimó que la Formación Cuesta del Cura abarca desde principios del Albiano hasta principios del Cenomaniano. Se correlaciona con la Formación El Abra de la Plataforma de Valles-San Luis, así como con la Formación Kiamichí del Grupo Oachita, al este de Texas.

La Formación Cuesta del Cura se depositó en un ambiente de aguas profundas de cuenca lo cual se refleja en la presencia de lentes y bandas de pedernal, así como, por los fósiles planctónicos que contiene. La presencia de arcillas se puede deber a una interrupción en la sedimentación calcárea por variaciones en el nivel de compensación de los carbonatos (Toledo B., 1987).

CRETACICO SUPERIOR.

Formación Indidura (Ksi).

La Formación Indidura fue originalmente descrita por Kelly (1936), en el extremo meridional de la Sierra de Santa Ana, a 19.3 km al suroeste de Delicias, Coah. Esta formación consiste en este lugar de calizas masivas, lutitas y calizas laminares con fósiles del Albiano Superior, Cenomaniano y Turoniano.

Las rocas de esta formación se encuentran ampliamente distribuidas dentro del área de estudio, principalmente en las porciones central y sur de la misma.

Esta formación se encuentra constituida por intercalaciones de calizas y lutitas, generalmente de estratificación delgada a laminar; presentan un color gris oscuro al fresco y un color pardo amarillento al intemperismo. Tiene aspecto lajeado y en algunas partes se pudo apreciar un fracturamiento intenso; hacia la base de esta formación se presentan algunas capas de bentonita y yeso, así como, algunos lentes de pedernal.

La Formación Indidura sobreyace en forma concordante y transicional a la Formación Cuesta del Cura y subyace del mismo modo a la Formación Caracol y este contacto se puede situar donde aparecen las areniscas de esta última formación.

Según su contenido faunístico y de acuerdo a su posición estratigráfica, a esta formación se le asigna una edad Cenomaniano Inferior-Turoniano Superior (Tardy, 1974).

Esta formación se correlaciona con la Formación Agua Nueva, con la Formación Soyatal del margen oeste de la Plataforma de San Luis Valles y con el miembro inferior de la Formación Tamasopo del prospecto El Huizache, S.L.P.. También se correlaciona con la Formación Eagle Ford del noreste de México y sur de Texas.

El depósito de los sedimentos de esta formación se efectuó en un mar que iba disminuyendo en profundidad; la regresión de los mares del Cenomaniano propició un aporte de terrígenos, producto de los movimientos ascendentes durante las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide, dando lugar a una alternancia pre-flysch de calizas y lutitas (Arvizu L., 1978). La presencia de capas de bentonita, se relaciona con un vulcanismo asociado ocurrido dentro de la zona donde se depositó la Formación Indidura.

Formación Caracol (K8c).

Imlay (1937) consideró como Formación Caracol a una serie de lutitas, areniscas y tobas devitrificadas con cantidades subordinadas de caliza; esta formación presenta muchas variaciones en su litología. Se distingue de la Formación Indidura por la presencia de tobas y areniscas.

La localidad tipo de la Formación Caracol se encuentra en el

arroyo El Caracol que se encuentra en la Sierra San Angel, la cual se ubica en la parte oriental de la Sierra de Parras, Coah.

Los afloramientos de esta formación se encuentran distribuidos en diferentes lugares del área de estudio, como son: en la mina de Real de Angeles (ubicada al sur del poblado de Noria de los Angeles), entre los poblados de Tepezalá y Asientos, en las cercanías de los poblados de Palma Pegada y Villa de Ramos.

La Formación Caracol está constituida por lutitas y calizas arcillosas de color gris verdoso y al intemperismo presentan un color pardo rojizo; estas rocas se encuentran intercaladas con limolitas y areniscas arcólicas, las cuales presentan un color gris oscuro a verdoso y pardo rojizo a amarillento al intemperismo. Las areniscas presentan granos de feldespatos, cuarzo de formas angulares a subangulares con algo de sericita y clorita, los cuales se encuentran adheridos por medio de un cementante calcáreo. El espesor de los estratos varía de 10 a 60 cm, siendo comúnmente de 30 cm; presentan una estratificación gradada generalmente.

La Formación Caracol cubre en forma concordante y transicional a la Formación Indidura y se encuentra cubierta en forma discordante por rocas volcánicas y depósitos continentales del Terciario y del Cuaternario.

Imlay (1944), de acuerdo al contenido faunístico y a la

posición estratigráfica, le ha asignado a esta formación una edad Conaciano-Santoniano.

La Formación Caracol se correlaciona con la Formación San Felipe, con la Formación Parras, con el miembro superior de la Formación Tamasopo y con la Formación Austin de Coahuila y Texas.

Se ha interpretado que el ambiente en el cual se depositó esta formación debió haber sido un ambiente de aguas someras con un aporte de terrígenos, provocado por los movimientos tectónicos, consecuencia de las pulsaciones de la orogenia Laramide.

TERCIARIO.

Conglomerado Rojo (Tcgr).

El conglomerado rojo se localiza en la parte sur del área de estudio, cerca de los poblados de Emilio Carranza y Rancho Nuevo; también se encuentra en la parte occidental, al norte del poblado de El Tepetate.

Este conglomerado se presenta en estratos gruesos y masivos y está constituido principalmente por clastos calcáreos redondeados con una abundante matriz limolítica de color rojizo. Los clastos presentan un rango granulométrico amplio que va desde arenas

hasta bloques, los cuales son de calizas de diversas texturas, pedernal negro, areniscas y granitos. Este conglomerado presenta una resistencia baja a la erosión, presentando formas del relieve suaves y donde se encuentra cubierto por rocas volcánicas, que son más resistentes, llega a formar puertos de erosión. En algunas zonas se encuentra cubierto por una gruesa capa de caliche, lo que dificulta su reconocimiento. Se diferencia principalmente de la Formación Ahuichila por la presencia de la matriz limolítica con su color rojo característico, por su posición estratigráfica y su edad.

Sobreyace discordantemente a las formaciones mesozoicas y subyace de igual manera a la Formación Ahuichila, rocas volcánicas terciarias y a los depósitos cuaternarios.

De acuerdo a su posición estratigráfica, se le puede asignar una edad Paleoceno-Eoceno.

Se correlaciona con la Formación Cenicera que se localiza en el Arroyo de la Cenicera, cerca del poblado de Villa Retes, S.L.P., en la cual Labarthe et al. (1982), reportaron cierto contenido de polen de las especies *Clasopollis*, sp. y *M. Triatriopollanites*, sp. características del Paleoceno-Eoceno. También se puede correlacionar con la Formación Guanajuato, la cual está constituida por un conglomerado rojo con intercalaciones de arenisca y con una matriz limolítica oxidada, la cual contiene fósiles de vertebrados del Terciario Temprano (Edwards, 1955).

Por las características que presenta este conglomerado rojo, se sugiere un ambiente de depósito continental, tal vez como abanicos aluviales, con clastos que presentan un cierto transporte.

Formación Ahuichila (Tcg).

Esta formación fue estudiada primeramente por Kellum (1932); luego por Imlay (1938) y Rogers et. al. (1957). Sin embargo no fue sino hasta 1961 cuando Rogers la definió como Formación Ahuichila y le asignó como localidad tipo la colonia Ahuichila, situada cerca del punto donde convergen los límites estatales de Coahuila, Durango y Zacatecas.

La Formación Ahuichila se encuentra distribuida en los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas (Arvizu L., 1978). Dentro del área de estudio se localiza distribuida principalmente en las porciones occidental y norte.

Esta formación está constituida por un conglomerado que presenta clastos de areniscas, calizas, riolitas, pedernal y esquistos, en una matriz areno-arcillosa. En algunas partes se apreciaron huecos dejados por los fragmentos menos resistentes a la erosión. El color de estos conglomerados varía de pardo a pardo rojizo.

El contacto inferior de la Formación Ahuichila es discordante con todas las demás rocas preexistentes. Aparece intercalada con rocas volcánicas. El contacto superior es también discordante con los depósitos cuaternarios.

Se correlaciona con el Conglomerado Rojo de Guanajuato y de Zacatecas, así como con el conglomerado El Morro del estado de Hidalgo. Según Fries (1955), por su posición estratigráfica, la edad de esta formación es considerada del Eoceno Tardío al Oligoceno Tardío, lo cual se reafirma por su relación estratigráfica con las rocas volcánicas del Oligoceno.

CUATERNARIO.

DEPOSITOS RECIENTES.

Con este término genérico se agrupan las acumulaciones recientes de origen continental. En el área de estudio se diferenciaron depósitos de pie de monte (Qpi), depósitos lacustres (Qla), depósitos aluviales (Qal) y depósitos residuales (Qre).

La distribución de estos depósitos es muy amplia dentro del área de estudio; los más abundantes son los aluviones, los cuales se localizan principalmente en las zonas más bajas de los valles llegando a formar planicies.

Los depósitos de pie de monte consisten en materiales clásticos acumulados en las partes bajas de las sierras y mesetas; están generalmente constituidos por brechas y conglomerados mal clasificados y poco compactos. Este tipo de depósitos se encuentran principalmente rodeando afloramientos de roca ígnea.

Los depósitos lacustres se encuentran localizados en las planicies de la porción norte del área de estudio y se presentan donde hay masas de agua intermitentes, así como, en el entorno de las mismas. Están formados por limos y arcillas con cantidades subordinadas de arenas y sales.

Los depósitos aluviales son los que presentan una mayor distribución espacial dentro de la zona estudiada y sus constituyentes son: arenas, arcillas, gravas y cantos rodados, los cuales se presentan mal clasificados y poco compactados, y en algunas zonas se encuentran cubiertos por caliche. Los aluviones llegan a formar planicies aluviales y rellenan los lechos de las corrientes fluviales.

Los depósitos residuales se encuentran generalmente en las partes altas de las sierras y mesetas, donde se localizan rocas ígneas, tanto intrusivas como volcánicas. Estos depósitos están formados por materiales arcillosos principalmente, los cuales son producto de la alteración de rocas preexistentes in situ.

Los espesores de los depósitos recientes son muy variables y

pueden llegar a tener varias decenas y hasta centenas de metros. Cubren discordantemente a las diferentes unidades expuestas en el área, por lo que se considera que pertenecen al Cuaternario.

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS.

Granitos y Granodioritas (Tgr).

Según Bravo N. (1986), se han reconocido dos periodos de actividad ígnea intrusiva en la región, los cuales dieron origen a los stocks y apófisis de batolitos, emplazados en la secuencia mesozoica. El primero de ellos originó a los intrusivos graníticos que se localizan en los poblados de Pánfilo Natera (La Blanca), La Tesorera y Guanajuatillo, y al sur de Pastoria, con una posible edad Laramídica. El segundo período de intrusión llega a formar diques y stocks de composición granítica, ubicado al norte de los poblados de Tepezalá y Asientos.

Estas rocas se encuentran aflorando principalmente en la porción occidental; los afloramientos se presentan como prominencias topográficas con peñascos redondeados y llegan a formar lomeríos en la parte noreste del área de estudio.

La composición de los intrusivos varía de granítica a granodiorítica, los cuales son de color gris claro con tonos rosados y presentan una textura fanerítica; los minerales que se

pudiéron observar son cuarzo y feldespatos, así como, algunos minerales ferromagnesianos. En algunas zonas, estas rocas presentan capas de alteración constituídas por arcillas, óxidos y cloritas, con espesores de hasta 2 m aproximadamente.

El origen de estas rocas se relaciona con las intrusiones ocurridas a finales del Cretácico y principios del Terciario, como producto de la Orogenia Laramide. Estas intrusiones se emplazaron principalmente en los pliegues preexistentes deformando aún más a las rocas sedimentarias. Estas rocas ígneas intrusionan a todas las unidades mesozoicas localizadas dentro del área de estudio.

ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS.

Tobas y Derrames Riolíticos (Tvr).

Estas rocas se encuentran ampliamente distribuidas dentro del área de estudio, principalmente en las porciones sur y occidental. Llegan a formar escarpes, cantiles, mesetas y sierras; al norte de Tepezalá y de Villa García, por ejemplo, se encuentran cantiles de más de 50 m de altura.

Estas rocas están constituidas por secuencias de tobas, ignimbritas y tobas líticas, intercaladas con derrames de composición riolítica. Estas rocas muestran una pseudo-estratificación y las texturas más sobresalientes que presentan son la afanítica y la eutaxítica; en algunas partes se pudieron

observar fenocristales de cuarzo, feldespatos y fragmentos de pómez, todos ellos en una matriz afanítica. Estas rocas tienen un color pardo rosado y al intemperismo presentan un color gris, con cierto fracturamiento que va de moderado a intenso en algunos lugares.

En la parte norte del área de estudio se depositó una toba arcillo-arenosa que aparentemente es producto de la última fase de vulcanismo ácido en la región y se distingue por estar constituida de fragmentos de pómez y piroclastos con una mala compactación; los espesores que presenta son variables y se encuentra rellenando las partes más bajas de los valles llegando a formar planicies. Estas rocas sobreyacen discordantemente a las rocas mesozoicas, a las rocas intrusivas terciarias, al conglomerado rojo y a la formación Ahuichila, con la cual se llega a interdigitar. Están cubiertas discordantemente por rocas volcánicas basálticas y por los depósitos cuaternarios.

Aparatos Volcánicos y Derrames de Basalto (Tsb).

Estas rocas volcánicas básicas se localizan en el extremo noreste del área de estudio, al sur del poblado de Villa de Ramos y norte de Santa Lucía.

Se pueden reconocer dos secuencias, una de carácter piroclástica y la otra lávica. La primera está constituida por brechas volcánicas y tobas de composición basáltica, que llegan a

formar conos cineríticos. Entre los piroclástos se observan cenizas, lapilli, bloques escoriaeos y bombas volcánicas. La secuencia lávica consiste en basaltos de color negro con una textura merocristalina porfídica con fenocristales de plagioclasa (labradorita) y olivino. Los basaltos por lo general presentan una estructura vesicular, llegan a formar bloques con cierto fracturamiento y se encuentran cubiertas por caliche en algunas zonas.

Estas rocas sobreyacen discordantemente a las rocas cretácicas y terciarias, tanto volcánicas como a los conglomerados. Subyacen de igual manera a los depósitos recientes del Cuaternario.

Por la posición estratigráfica que presentan estas rocas se le atribuye una edad pliocénica y pudiendo llegar hasta el Pleistoceno.

IV.4.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Dentro del área de estudio se encuentran diferentes estructuras, como son anticlinales, fallas normales y fracturas.

Las rocas sedimentarias de esta región fueron afectadas por varios períodos de plegamiento, que en ocasiones son difíciles de reconocer. Posteriormente estas rocas fueron intrusionadas en la parte occidental del área de estudio, lo cual produjo un mayor

plegamiento.

Dentro de los rasgos más sobresalientes que se tienen en la región son los anticlinales constituidos por rocas cretácicas, conocidos con los nombres de La Tesorera, Antiguo y La Sauceda de Mulatos. El anticlinal de La Tesorera se ubica en la parte norte, cerca del poblado de La Tesorera; su orientación es NW-SE y sus capas buzan casi simétricamente con echados de 30° aproximadamente. El anticlinal Antiguo se localiza al oeste del poblado de Pastoria y tiene una orientación NNW-SSE. El anticlinal de La Sauceda de Mulatos se encuentra al sur del anticlinal Antiguo, el cual presenta una orientación preferencial N-S. Estas estructuras fueron afectadas por cuerpos plutónicos que produjeron un desplazamiento y un metamorfismo de contacto en las rocas sedimentarias. Al sur del poblado de Pastoria se encuentra una falla normal con una orientación NW-SE, la cual fue producto del emplazamiento de los intrusivos.

Al sur del poblado de Noria de Angeles, donde se encuentra la mina de Real de Angeles, se localiza un anticlinal cuya orientación preferencial es NW-SE. El flanco sur de este anticlinal se presenta bien preservado mientras que el flanco norte está erosionado.

En la porción occidental del área de estudio se encuentra una falla normal regional, la cual presenta una orientación preferencial NNE-SSW y aparentemente esta falla es la continuación de la falla oriental del graben donde se encuentra

la ciudad de Aguascalientes. Esta falla normal pertenece a un sistema de fallas regionales, las cuales son producto del emplazamiento de los cuerpos intrusivos y por los esfuerzos distensivos ocurridos en la región durante el Terciario Tardío, y se originaron posteriormente a la orogenia Laramide.

Las rocas volcánicas riolíticas y los cuerpos intrusivos presentan un fracturamiento que va de moderado a intenso, con dos orientaciones preferenciales: NW-SE y NE-SW. Las rocas sedimentarias también llegan a presentar un cierto fracturamiento con las mismas orientaciones, producto de los esfuerzos a que fueron sometidas.

En las figuras IV.4, IV.5 y IV.6 se presentan las secciones geológicas realizadas dentro del área de estudio, las cuales se elaboraron con el apoyo de cortes litológicos y registros eléctricos realizados en distintos pozos perforados por la Compañía Minera de Real de Angeles en 1975 y cuyas profundidades varían de 150 a 200 m. Los cortes litológicos de los pozos exploratorios se presentan en la figura IV.7.

La sección geológica A-A' presenta una orientación SE 82°, la cual comienza al norte del poblado de Tepezalá y finaliza al norte de Emilio Carranza, cruzando transversalmente al valle de Loreto. La sección B-B' tiene una orientación principal SE 70°, la cual cambia su orientación a NE 62°; comienza al sureste del poblado de San José de los Llanos y termina al sur de Noria de los Angeles, cruzando transversalmente la parte norte del valle

de Loreto . La sección C-C' tiene una orientación NE 77° y comienza al noroeste del poblado de Guanajuatillo y termina al sur de Caliches; corta transversalmente al valle de La Blanca así como a los aparatos volcánicos que se encuentran en la parte norte del área de estudio. La localización de las secciones geológicas se presentan en el Plano Geológico (Plano No. 1.)

Dentro del área de estudio se realizaron una serie de sondeos eléctricos verticales de resistividad (S.E.V.), de los cuales se escogieron los más representativos. Se reconocieron cinco unidades geofísicas, las cuales son las siguientes: A) con resistividades de 4 a 330 ohms por metro, que se correlaciona con depósitos recientes; B) materiales granulares con arcillas, cuyas resistividades van entre 1 y 117 ohms por metro; C) se correlaciona con tobas y derrames riolíticos, con resistividades entre 57 y 200 ohms por metro; D) rocas similares a la unidad anterior, pero con fracturamiento y alteración, con resistividades menores, que van de 10 a 65 ohms por metro; E) esta unidad presenta las mayores resistividades, las cuales son superiores a 100 ohms por metro y se correlaciona con rocas ígneas y metamórficas. En el plano No. 3 se presenta la ubicación de los perfiles geoelectricos. La interpretación de dichos perfiles se presenta en las figuras IV.8 y IV.9.

El perfil geofísico I tiene una longitud aproximada de 13.5 km; se localiza sobre el camino de terracería que une a los poblados de Loreto y Luis Moya, continuando por la carretera que va de Loreto a San Marcos. Esta sección contiene 12 sondeos y su

orientación es NW-SE.

El perfil II tiene una longitud aproximada de 12 km; parte de la vía de ferrocarril, al norte de San Blas, y llega al camino que une los poblados de Tierra Blanca y Maravillas. Contiene 11 sondeos y su orientación es SE-NW.

El perfil III tiene una longitud aproximada de 11.5 km; se inicia al oriente del poblado de Jarillas y termina al poniente de Cerritos de Agua. Contiene 5 sondeos y su orientación es W-E y en extremo occidental cambia su orientación al NW. En esta sección se detectó la falla normal que se localiza en la parte occidental del área de estudio, así como, una discontinuidad geoelectrónica que al parecer se presenta por tener en contacto a rocas ígneas intrusivas y extrusivas con materiales granulares y tobas alteradas de resistividades mucho menores.

El perfil IV tiene una longitud aproximada de 13.5 km; se inicia al norte de la laguna El Salado, pasando por el poblado del Zacatón termina en el sitio denominado Potrero Los Arenalitos. Contiene 4 sondeos y su orientación es N-S.

De acuerdo con los cortes litológicos y los registros eléctricos se determinó que los acuíferos del área de estudio están formados por depósitos aluviales, de pie de monte, lacustres de grano fino a medio (arcillas, arenas, gravas), por conglomerados de gravas y arenas con una matriz arcillosa, con intercalaciones de tobas y derrames riolíticos.

IV.5.- GEOLOGIA HISTORICA Y TECTONICA.

En la región dentro de la cual se encuentra el área de estudio, se considera que el basamento está formado por rocas metamórficas de posible edad paleozoica.

Durante el Triásico Tardío se llevo a cabo una transgresión marina que permitió el depósito de una secuencia de lutitas y areniscas, intercaladas con rocas volcánicas félsicas que dieron lugar a la Formación Zacatecas. Probablemente durante el Jurásico se produjo la emersión de las rocas paleozoicas y las rocas de la Formación Zacatecas, que originaron la aparición de una serie de islas que se encontraban alineadas con la península de Coahuila (Bravo, N., 1986). Estas islas estuvieron expuestas a los procesos exógenos, los cuales produjeron el aporte de sedimentos clásticos que se depositaron en ciertas cuencas originando secuencias de limolitas, calizas arcillosas y calizas, todas ellas pertenecientes a la Formación La Caja.

En el Cretácico Temprano se produjeron movimientos descendentes en la región, lo cual aumentó la profundidad de los mares y fueron desapareciendo las islas. Lo anterior produjo un cambio en la sedimentación, la cual varió de sedimentos clásticos a calcáreos, produciéndose el depósito principalmente de calizas, con nódulos y bandas de pedernal pertenecientes a las formaciones Taraises, Cupido y Cuesta del Cura.

Para el Cretácico Tardío es notable el incremento de material

terrígeno derivado de la erosión de las porciones central y occidental de México, precedentes de la fase orogénica laramídica (González G., 1976). Los cambios ocurridos en el régimen de sedimentación originó a la secuencia pre-flysh de calizas y lutitas de la Formación Indidura. Los levantamientos ocurridos durante esta época produjeron elementos positivos que posteriormente fueron erosionados, aportando aún más material terrígeno dando lugar a la secuencia flysh de la Formación Caracol.

A finales del Cretácico y principios del Terciario tuvo lugar la Orogenia Laramide, originando una serie de plegamientos y emplazamiento de los cuerpos intrusivos localizados en la parte occidental del área de estudio. Estas intrusiones de composición granítica y granodiorítica, ocuparon preferentemente los núcleos de los anticlinales (Bravo N., 1986). Por otra parte, durante ésta época se emplazaron rocas ígneas a lo largo de una margen continental que estuvo sujeta a convergencia en la porción occidental de México. Se originaron dos grandes secuencias calcoalcalinas, de las cuales la secuencia superior es la que se encuentra dentro del área de estudio. Esta secuencia está formada predominantemente por rocas volcánicas de composición riolítica a partir de grandes y numerosas calderas, las cuales estuvieron acompañadas por pequeñas emanaciones de lava basáltica y raramente por rocas intermedias. La mayor parte de este vulcanismo se realizó en un corto intervalo, que empezó hace 34 millones de años y finalizó hace 27 millones de años (Mc Dowell, 1981).

Los conglomerados que aparecen en la región pertenecen al Terciario Temprano y son producto de la erosión de las rocas preexistentes formando depósitos continentales de tipo molasse, posteriores al período de fuertes plegamientos que dieron origen a la Sierra Madre Oriental (De Cserna, 1956).

El último evento tectónico ocurrido dentro de la región fue durante el Terciario Tardío y está representado por un fallamiento normal con una orientación preferencial N-S, NE-SW y NW-SE, siguiendo el modelo de la provincia de Cuencas y Sierras elevadas a lo largo del flanco este de la provincia de la Sierra Madre Occidental y formó grabens como el valle donde se encuentra la ciudad de Aguascalientes (Pearson, 1988).

Finalmente, durante el Cuaternario se tiene la acumulación de materiales aluviales, depósitos de pie de monte y lacustres, que se encuentran rellenando los valles y llegan formar planicies en algunas zonas.

IV.6.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LAS ROCAS.

Para facilitar el estudio de las características hidráulicas de las rocas se han clasificado y agrupado en tres unidades geohidrológicas:

- U1 Unidad de rocas con permeabilidad alta.
- U2 Unidad de rocas con permeabilidad media.
- U3 Unidad de rocas con permeabilidad baja.

Se considera como una unidad geohidrológica al conjunto de rocas pertenecientes a una o varias formaciones, que presentan el un comportamiento similar con respecto al movimiento y almacenamiento del agua subterránea dentro de ellas. La distribución de las unidades geohidrológicas dentro del área de estudio se presenta en el Plano Geohidrológico (Plano No.2).

U1 Unidad de rocas con permeabilidad alta.

Dentro de esta unidad se consideran los depósitos aluviales y los depósitos de pie de monte.

Los aluviones se encuentran ampliamente difundidos dentro del área de estudio y estan constituidos por sedimentos clásticos con buena permeabilidad. Desde el punto de vista geohidrológico, estos materiales forman el principal acuífero del cual se extrae prácticamente toda el agua que abastece la zona.

Los depósitos de pie de monte están formados por brechas y conglomerados, los cuales aunque presentan una permeabilidad favorable, tienen una importancia geohidrológica mínima por tener una distribución muy local.

U2 Unidad de rocas con permeabilidad media.

Dentro de esta unidad se consideran a las formaciones Taraises, Cupido, Cuesta del Cura, el Conglomerado Rojo, la Formación Ahuichila y las tobas y derrames, riolíticos y basálticos.

Las formaciones Taraises, Cupido y Cuesta del Cura del Cretácico presentan un cierto fracturamiento ocasionado por los esfuerzos a que estuvieron sometidas, lo que ha permitido que adquieran una permeabilidad secundaria; en estas formaciones se llegan a constituir acuíferos de distribución errática y comportamiento complejo.

El Conglomerado Rojo y la Formación Ahuichila están constituidos por clastos mal clasificados y una matriz limosa y arcillo calcárea respectivamente, las cuales hacen que disminuya la permeabilidad. Pueden llegar a actuar como zonas locales de recarga y posiblemente como acuíferos donde disminuyen los materiales arcillosos.

Las tobas y derrames riolíticos a través de su fracturamiento

definen posibilidades acuíferas heterogéneas. Por otra parte, las rocas basálticas actúan geohidrológicamente como rocas transmisoras por su fracturamiento moderado, pero su permeabilidad disminuye por la alteración que presentan; además, su distribución es restringida, ya que sólo se presentan en la porción noreste del área de estudio.

U3 Unidad de rocas con permeabilidad baja.

Dentro de esta unidad se consideran a las formaciones Zacatecas, La Caja, Indidura, Caracol, a los depósitos lacustres y residuales, a los granitos y granodioritas, así como, de algunos afloramientos de ignimbritas que se presentan en forma masiva y compacta. Los materiales pertenecientes a esta unidad geohidrológica actúan como barreras para los acuíferos.

La Formación Zacatecas contiene gran cantidad de material arcilloso, por lo cual funciona como una unidad con permeabilidad baja. Las formaciones La Caja, Indidura y Caracol presentan calizas intercaladas con lutitas y limolitas; los materiales arcillosos hacen que se tengan permeabilidades muy bajas.

Los depósitos lacustres y los residuales se comportan como unidades impermeables en función de su alto contenido arcilloso, aunque la distribución de estas unidades dentro del área de estudio es muy reducida.

V.- HIDROGEOQUIMICA.

La hidrogeoquímica junto con otras ciencias como son la geología, la geofísica y la hidrología, permiten conocer en forma más completa el comportamiento de los acuíferos, lo cual ayuda a planear, de una manera más racional, la explotación de los mismos.

Cuando el agua de lluvia precipita, lleva consigo sales disueltas en concentraciones bajas, las cuales se incrementan al entrar en contacto con los materiales que se encuentran en la superficie terrestre. El agua es una sustancia químicamente muy activa que tiene gran facilidad de disolver y reaccionar con otras sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas. Por ello, cuando el agua se infiltra y circula en el subsuelo, disuelve y produce cambios en las rocas con las cuales entra en contacto. La composición química del agua dependerá de la solubilidad y la composición de las rocas por las cuales circula y de los factores que afectan la solubilidad como son: la previa composición química del agua, la temperatura del agua y de las rocas, el tiempo y el área de contacto del agua con las formaciones, la longitud del recorrido, así como las velocidades de circulación a través de las distintas rocas.

Por medio de los resultados de los análisis químicos del agua se elaboraron los diagramas de Piper y de Wilcox para determinar la familia a la que pertenecen las diferentes muestras de agua y

la calidad de las mismas, tanto para uso doméstico como para riego. También se realizaron los planos correspondientes a la distribución de los iones (aniones y cationes) por medio de las curvas de igual contenido o concentración (isolineas), para determinar las posibles zonas de recarga, la dirección del flujo del agua subterránea, así como las zonas con mayor o menor permeabilidad, dependiendo de la composición y concentración de sales en el agua. Cabe mencionar, que los análisis químicos utilizados, sólo contaban con las determinaciones de los principales iones que hay en el agua y en base a ellos se obtuvo la calidad del agua para los diferentes usos.

V.1.- MUESTREO Y ANALISIS QUIMICO.

Se seleccionaron los análisis de 50 muestras realizados en estudios anteriores, de los cuales 25 pertenecen a la zona geohidrológica de La Blanca (Tabla V.1) y 25 a la de Loreto (Tabla V.2). La selección de los análisis químicos se llevó acabo tomando en cuenta la distribución espacial y el tipo de aprovechamiento (pozo, noria o manantial), ya que en ocasiones éstos corresponden a sistemas acuíferos diferentes. Por ello, se utilizaron los datos obtenidos de los pozos solamente. En el plano No. 3 se presenta la localización de los aprovechamientos con análisis químicos.

El muestreo se efectuó por medio de la utilización de frascos de polietileno de un litro de capacidad, los cuales se llenaron

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
ZONA GEOHIDROLOGICA DE LA BLANCA, ZAC.

APROVE- CHAMIENTO No.	pH	C.E. µmhos/cm	C A T I O N E S						A N I O N E S					SD ppm			
			Cu ⁺⁺ ppm	Fe ⁺⁺ ppm	Mg ⁺⁺ ppm	Na ⁺ ppm	HCO ₃ ⁻ ppm	CO ₃ ⁻ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ⁻ ppm							
1) 32	7.3	405	40	2.00	11	0.92	33	1.43	223	3.66	0	0.00	35	0.99	31	0.65	373
2) 35	7.6	410	26	1.30	13	1.08	47	2.04	213	3.49	0	0.00	35	0.99	47	0.98	381
3) 88	7.2	980	46	2.30	11	0.92	220	9.57	445	7.30	0	0.00	61	1.72	229	4.77	1012
4) 94	7.2	450	44	2.20	9	0.75	47	2.04	223	3.66	0	0.00	35	0.99	36	0.75	394
5) 101	7.5	810	26	1.30	14	1.17	189	8.22	342	5.93	0	0.00	53	1.49	156	3.25	860
6) 106	7.2	825	74	3.70	15	1.25	100	4.35	520	0.52	0	0.00	44	1.24	53	1.10	886
7) 108	7.2	880	68	3.00	16	1.33	142	6.17	501	8.21	0	0.00	53	1.44	54	1.13	826
8) 116	7.3	770	51	2.55	15	1.25	96	4.17	399	6.54	0	0.00	53	1.49	70	1.46	684
9) 121	7.3	348	55	2.75	8	0.67	35	1.52	223	3.66	0	0.00	26	0.73	25	0.52	372
10) 128	7.5	429	37	1.85	13	1.08	40	1.74	213	3.49	0	0.00	26	0.73	79	1.65	408
11) 141	7.5	435	36	1.80	10	0.63	41	1.78	241	3.95	0	0.00	35	0.99	35	0.73	398
12) 146	8.0	1240	10	0.50	6	0.50	344	14.96	325	5.33	27	0.90	115	3.24	307	6.40	1131
13) 161	7.6	525	32	1.60	14	1.17	49	2.13	232	3.80	0	0.00	44	1.24	57	1.19	428
14) 175	7.7	400	34	1.70	14	1.17	46	2.00	269	4.41	0	0.00	26	0.73	24	0.50	411
15) 179	7.5	515	31	1.55	12	1.00	83	3.61	334	5.48	0	0.00	26	0.73	27	0.56	513
16) 192	8.6	360	10	0.50	12	1.00	49	2.13	157	2.57	23	0.77	35	0.99	20	0.42	386
17) 236	7.4	445	31	1.55	15	1.25	42	1.83	223	3.66	0	0.00	35	0.99	77	1.60	423
18) 279	7.7	750	16	0.80	12	1.0	198	8.24	315	5.16	0	0.00	53	1.49	198	4.13	784
19) 291	7.3	1400	29	1.45	21	1.75	244	10.61	380	6.23	0	0.00	176	4.96	252	5.25	1102
20) 301	7.6	870	27	1.35	10	0.83	197	8.57	278	4.56	0	0.00	88	2.48	187	3.90	787
21) 312	7.9	950	4	0.20	3	0.25	234	10.20	343	5.62	27	0.90	53	1.49	168	3.50	832
22) 323	7.4	380	53	2.65	9	0.75	29	1.26	213	3.49	0	0.00	35	0.99	25	0.52	364
23) 324	7.4	480	54	2.70	7	0.58	29	1.26	213	3.49	0	0.00	26	0.73	35	0.73	364
24) 326	7.5	360	51	2.55	8	0.67	28	1.22	195	3.20	0	0.00	26	0.73	36	0.75	344
25) 336	7.3	400	57	2.85	8	0.67	24	1.04	232	3.30	0	0.00	35	0.99	93	1.94	449

TABLA V.1

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
ZONA GEOHIDROLOGICA DE LORETO, ZAC.

APROVE- CHARIENTO No.	pH	C.E. µmhos/cm	C A T I O N E S						A N I O N E S						STD ppm			
			Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ⁻		Cl ⁻			SO ₄ ⁻		
			ppm	mg/l	ppm	mg/l	ppm	mg/l	ppm	mg/l	ppm	mg/l	ppm	mg/l	ppm	mg/l	ppm	mg/l
26) 357	7.5	600	36	1.80	24	2.00	84	3.65	202	4.95	13	0.43	39	1.10	46	0.96	544	
27) 345	6.4	750	52	2.60	14	1.17	102	4.43	247	4.05	13	0.43	49	1.38	112	2.33	589	
28) 394	7.1	400	40	2.00	29	2.42	39	1.70	237	3.89	4	0.13	53	1.49	28	0.58	430	
29) 396	7.3	440	40	2.00	29	2.42	41	1.78	238	3.90	22	0.73	37	1.04	24	0.50	431	
30) 404	7.3	550	44	2.20	19	1.58	69	3.00	247	4.05	9	0.30	48	1.35	53	1.10	489	
31) 408	7.4	440	44	2.20	19	1.58	53	2.30	256	4.20	13	0.43	31	0.87	23	0.48	439	
32) 422	7.3	490	36	1.80	19	1.58	57	2.48	256	4.20	4	0.13	35	0.99	27	0.56	434	
33) 424	7.0	500	36	1.80	26	2.17	63	2.74	293	4.80	4	0.13	39	1.10	31	0.65	492	
34) 449	7.3	420	40	2.00	24	2.00	48	2.09	256	4.20	4	0.13	46	1.30	21	0.44	439	
35) 462	7.6	380	36	1.80	29	2.42	46	2.00	274	4.49	4	0.13	35	0.99	28	0.58	452	
36) 524	7.6	500	44	2.20	24	2.00	67	2.91	292	4.79	13	0.43	35	0.99	43	0.90	518	
37) 533	7.2	520	44	2.20	31	2.58	65	2.83	292	4.79	18	0.60	35	0.99	59	1.23	544	
38) 558	7.3	1240	88	4.40	7	0.58	153	6.65	640	10.49	0	0.00	24	0.68	23	0.48	935	
39) 572	6.9	460	44	2.20	31	2.58	38	1.65	311	5.10	0	0.00	30	0.85	24	0.50	478	
40) 597	7.4	500	48	2.40	17	1.42	63	2.74	256	4.20	13	0.43	31	0.87	51	1.06	479	
41) 620	7.4	450	44	2.20	29	2.42	32	1.39	247	4.05	13	0.43	31	0.87	31	0.65	427	
42) 623	7.3	380	36	1.80	17	1.42	48	2.09	237	3.89	0	0.00	30	0.85	28	0.58	396	
43) 624	7.3	320	36	1.80	14	1.17	43	1.87	237	3.89	0	0.00	23	0.65	15	0.31	368	
44) 664	7.3	550	48	2.00	14	1.17	89	3.87	292	4.79	0	0.00	39	1.10	55	1.15	529	
45) 732	7.4	280	24	1.20	21	1.75	24	1.04	183	3.00	0	0.00	24	0.68	13	0.27	289	
46) 764	7.3	400	36	1.80	12	1.00	59	2.57	274	4.49	0	0.00	26	0.73	7	0.15	414	
47) 795	7.4	520	48	3.40	22	1.83	23	1.08	237	3.89	4	0.13	23	0.65	75	1.56	452	
48) 816	7.1	430	40	2.00	19	1.58	62	2.70	274	4.49	18	0.60	26	0.73	23	0.48	462	
49) 886	7.2	480	36	1.89	29	2.42	62	2.70	293	4.80	18	0.60	35	0.99	25	0.52	498	
50) 908	7.1	320	28	1.40	29	2.42	22	0.96	228	3.74	4	0.13	21	0.59	14	0.29	346	

TABLA V.2

totalmente para evitar la gasificación de ciertos componentes. Al obtener la muestra en el campo se deben de tomar datos del aprovechamiento y su localización, temperatura y el pH del agua, así como la conductividad. En el laboratorio se determinaron las características físico-químicas de las muestras de agua, tales como: resistividad, pH, determinación de los sólidos totales disueltos (STD), además de las concentraciones de los principales cationes (Ca, Mg, Na) y aniones (HCO_3 , CO_3 , Cl y SO_4), los cuales se reportan en partes por millón (ppm) y en miliequivalentes por litro (meq/l), para su posterior utilización en los planos y diagramas.

Las temperaturas registradas en las muestras de agua de los aprovechamientos localizados dentro del área de estudio presentaron una temperatura mínima de 22 °C y una máxima de 29 °C, con un promedio aritmético de todas las muestras de 25 °C.

V.2.- CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA.

V.2.1.- POTENCIAL HIDROGENO (pH).

Los valores del pH varían dentro de la zona de La Blanca de 7.2 a 8.6 con un promedio aritmético de 7.5. En el aprovechamiento No. 192, localizado al norte del poblado de Santa Elena, se presenta el valor más alto de pH de ambas zonas. En la zona de Loreto los valores varían de 6.4 a 7.6, con un promedio

de 7.3. Por lo anterior, se considera que el agua de ambas zonas varía de neutra a ligeramente alcalina, excepto en los aprovechamientos Nos. 365 y 572, localizados al norte del poblado de Estancia de Animas y al norte de Loreto respectivamente, que presentan un tipo de agua ligeramente ácida.

Cabe señalar que los carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, fosfatos, silicatos y boratos aumentan el valor del pH, lo cual produce una mayor acidez en el agua.

V.2.2.- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.

La conductividad es una medida de la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica y es directamente proporcional a la cantidad de sales disueltas en el agua, por lo cual es una medida indirecta de los sólidos totales disueltos (STD). En las muestras de agua analizadas se puede observar que al haber un incremento en los sólidos totales disueltos, también lo hay en la conductividad.

La conductividad es el inverso de la resistividad y las unidades en que se expresan son el micromho entre centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) y el ohm por centímetro (ohm-cm), respectivamente.

La conductividad eléctrica del agua está en función de su temperatura, la concentración iónica y el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disociación, movilidad, etc.). El agua de

lluvia presenta un rango de valores de 5 a 30 $\mu\text{mhos/cm}$, mientras que el agua subterránea presenta un rango de 30 a 5000 $\mu\text{mhos/cm}$ (Tinajero, 1985).

En la zona de La Blanca los valores varían de 348 $\mu\text{mhos/cm}$ en el aprovechamiento No. 121, localizado al norte del poblado de G. Pánfilo Natera, hasta 1400 $\mu\text{mhos/cm}$ en el aprovechamiento No. 291, el cual se ubica al norte de El Zacatón.

En la zona de Loreto los valores varían de 280 $\mu\text{mhos/cm}$ en el aprovechamiento No. 732, localizado al este del poblado de Loreto, hasta 1240 $\mu\text{mhos/cm}$ en el aprovechamiento No. 558, el cual se localiza al este de Tierra Blanca.

Los valores de baja conductividad eléctrica pueden indicar fuentes de alimentación de los acuíferos, mientras que los valores de mayor conductividad indican zonas con bajas permeabilidades y una mayor lentitud de circulación del agua subterránea.

V.2.3.- DUREZA.

A la capacidad del agua para consumir jabón o producir incrustaciones se le conoce como dureza (Custodio, 1976).

La dureza total se expresa por medio del contenido total de los iones de calcio más magnesio, en miliequivalentes por litro:

Dureza total = contenido total en Ca^{++} + Mg^{++}

D (meq/l) = r Ca + r Mg; donde: r = meq/l.

La dureza total también se puede expresar en ppm de CaCO_3 o grados franceses ($^{\circ}\text{F}$):

D (ppm CaCO_3) = (Ca ppm/20 + Mg ppm/12) 50.

En la zona de La Blanca la dureza varía de 23 a 248 ppm de CaCO_3 , con un promedio de 132 ppm. En la zona de Loreto los valores varían de 140 a 260 ppm de CaCO_3 , con un promedio de 200 ppm.

V.2.4.- SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD).

Los sólidos totales disueltos representan la suma de las diferentes sales disueltas en el agua, es decir, la suma de aniones y cationes; también, pueden incluir constituyentes orgánicos y agua de cristalización. En el plano No. 4 se muestra la concentración de los sólidos totales disueltos dentro del área de estudio.

En la zona de La Blanca, los valores de STD varían de 306 a 1131 ppm, con un promedio de 588 ppm. La menor cantidad de STD se tiene en la porción occidental del área, al norte de G. Pánfilo Natera, donde aparentemente hay una zona de recarga. La mayor cantidad de STD se tiene en los aprovechamientos Nos. 146, 291, y

88 localizados al norte de la laguna El Salado, al noroeste del poblado del Zacatón y al sureste de G. Pánfilo Natera, respectivamente. En general, las mayores concentraciones de STD se presentan en la parte central y norte de la zona. Esto se puede deber a un mayor tiempo de contacto del agua con las formaciones y por procesos de evaporación a los que está sujeta esta parte de la cuenca.

En la Zona de Loreto se presentan valores que van de 289 a 935 ppm, con un promedio de 475 ppm. Las menores concentraciones de STD se tienen en los aprovechamientos Nos. 732, 908, 624 y 623. El primero de ellos, se localiza entre el poblado de Loreto y la presa San Marcos; esta presa constituye una importante zona de recarga por la infiltración del agua que se encuentra en el embalse, ya que esta construida sobre riolitas fracturadas. Los otros tres aprovechamientos se localizan al oeste de Loreto, donde también se presenta un lugar con un importante recarga. Las mayores concentraciones se tienen en la parte central y norte del valle, particularmente en el aprovechamiento No. 558, el cual se localiza al noreste del poblado de Tierra Blanca.

En general, se puede concluir que los aprovechamientos localizados en las zonas topográficamente más altas presentan cantidades menores de STD y se incrementan paulatinamente hacia las partes bajas de las cuencas. Asimismo, existe una disminución en el contenido de STD, donde las zonas montañosas tienen contacto con los depósitos de pie de monte y los depósitos aluviales, por lo cual se supone que en ese sitio existe una

recarga. Lo anterior se puede comprobar por el hecho de que la mayoría de los arroyos que se originan en las montañas y sierras tienden a desaparecer hacia los valles.

En la zona de La Blanca, los valores de STD se incrementan de la parte occidental hacia el oriente, por lo cual se deduce que el flujo subterráneo sigue esta misma dirección (del occidente hacia la porción central del valle) . En Loreto, el flujo va de las zonas montañosas localizadas en las porciones occidental y oriental, hacia el centro y noreste del valle, donde se presentan las mayores concentraciones de STD.

V.2.5.- CATIONES.

CALCIO (Ca⁺⁺).

El calcio proviene de casi todo tipo de suelos y de rocas, especialmente de las calizas, las dolomías, el yeso y la anhidrita. También es abundante en muchas aguas naturales y en salmueras.

Es muy soluble y precipita fácilmente como CaCO₃ cuando hay variaciones en el pH o la presión parcial de CO₂, es afectado por el cambio de bases y junto con el magnesio contribuye a la dureza del agua, la cual origina un gran consumo de jabón. Se puede incrustar en tuberías y ademes.

Las concentraciones del ion calcio en la zona de La Blanca varían de 4 a 74 ppm, con un promedio de 37 ppm. En general, los valores se incrementan de oeste a este.

En la zona de Loreto la variación es de 24 a 88 ppm, con un promedio de 42 ppm. Los valores más bajos se encuentran donde se localiza el poblado de Loreto. Los valores se incrementan de la porción sur y occidental del valle hacia el centro del mismo. Al noreste de Tierra Blanca, en el aprovechamiento No. 558 es donde se tiene la mayor concentración de calcio, posiblemente por ser una zona con alta evaporación y de baja permeabilidad.

En el plano No. 5 se presentan las concentraciones del ion calcio.

Dentro del área de estudio, la presencia del calcio se debe a la disolución de calizas y, en menor escala, de minerales evaporíticos como el yeso y la anhidrita de la Formación Indidura. Además, por la presencia de algunos minerales tales como: feldespatos calcicos, anfíboles y piroxenos contenidos principalmente en las rocas ígneas de composición riolítica y basáltica.

MAGNESIO (Mg⁺⁺).

El magnesio es un componente importante en las rocas ígneas y de algunas rocas carbonatadas como las dolomías. Proviene de la disolución de la mayoría de los suelos y de algunas salmueras que

contienen cantidades abundantes de este elemento, así como por contaminación industrial y mineral (Custodio, 1976). Es más soluble que el calcio y más difícil de precipitar. El magnesio junto con el calcio son los principales responsables de la dureza y del agua incrustante.

Las concentraciones del ion magnesio en la zona de La Blanca varían de 3 a 21 ppm, con un promedio de 11 ppm. Los valores más bajos se registran en la porción occidental, donde se encuentra el poblado de G. Pánfilo Natera, los cuales se incrementan hacia el centro y norte de la cuenca; donde se encuentran las lagunas El Sapo, El Tule y El Salado se tienen las concentraciones más elevadas, al parecer por la alta evaporación que se tiene en ese lugar.

En la zona de Loreto las concentraciones van de 7 a 31 ppm, con un promedio de 22 ppm. Los valores más bajos se encuentran en las partes que bordean al valle y se incrementan hacia la parte central del mismo.

En el plano No. 6 se presentan las curvas de igual contenido del ion magnesio.

La presencia del magnesio dentro del área de estudio se debe por la disolución de algunos minerales que constituyen a las rocas ígneas, como son los anfíboles, piroxenos, micas (biotita) y el olivino presente en las rocas basálticas. También por procesos de evaporación que se llevan a cabo en las planicies y

por contaminación proveniente de las minas localizadas dentro de la región.

SODIO (Na⁺).

El sodio proviene del agua de mar y por la disolución de la mayoría de las rocas y suelos; esta presente en minerales evaporíticos, feldespatos, feldespatoides y otros silicatos contenidos en rocas ígneas, en salmueras, en cambios de base con arcillas de origen marino y por desperdicios industriales y drenajes. Tiene una alta solubilidad y difícilmente precipita, como el calcio y el magnesio. Puede efectuar intercambios iónicos y reemplazar a otros cationes en arcillas minerales; generalmente se encuentra asociado al cloro, con el cual forma cloruro de sodio. Las aguas con concentraciones elevadas en sodio, son perjudiciales a las plantas, porque reducen la permeabilidad de los suelos y son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas (Custodio, 1976). El único proceso de movilización del ion sodio de las aguas naturales es el intercambio iónico, el cual actúa cuando este ion esta presente en cantidades muy elevadas (S.N. Davis y R. De Wiest, 1971).

En la zona de La Blanca, los contenidos de sodio varían de 24 a 344 ppm, con un promedio de 103 ppm. Las concentraciones más bajas se localizan cerca del poblado El Saucito, al norte de G. Pánfilo Natera, lo cual hace suponer que este lugar es una importante zona de recarga. Los valores aumentan hacia el este y

al norte de la cuenca; la concentración más elevada se presenta al norte de la laguna El Salado, debido a la presencia de depósitos lacustres constituidos principalmente por limos y arcillas, y por los efectos de la evaporación. El incremento que existe en el contenido de sodio hacia el norte puede estar relacionado con la dirección que sigue el flujo del agua.

En la zona de Loreto, las concentraciones tienen una variación de 22 a 153 ppm, con un promedio de 58 ppm. Las concentraciones más bajas se encuentran al suroeste del poblado de Guadalupe de Atlas y al oeste de la presa San Marcos, mientras que las mayores concentraciones se presentan al norte del valle. En el aprovechamiento No. 558, localizado al norte de Tierra Blanca, tiene el mayor contenido de sodio y esto se debe probablemente por ser una zona de baja permeabilidad.

En el plano No. 7 se presentan las curvas de igual contenido del ion sodio.

Las principales fuentes de sodio dentro del área de estudio corresponden a la disolución de los feldespatos sódicos que constituyen a las riolitas y en menor grado a los basaltos. También las lutitas de origen marino pueden aportar ciertas cantidades de sodio.

V.2.6.- ANIONES.

BICARBONATO (HCO_3^-) Y CARBONATO ($\text{CO}_3^{=}$).

Los bicarbonatos y carbonatos provienen de la incorporación del bióxido de carbono en el agua y de la disolución de rocas carbonatadas como son las calizas y las dolomías. La alcalinidad de las aguas es debida casi exclusivamente a la presencia de estos iones. Se pueden precipitar con mucha facilidad como CaCO_3 y en combinación con el calcio y el magnesio producen la dureza en el agua. Los bicarbonatos son solubles mientras que los carbonatos son insolubles con excepción de los carbonatos de sodio, potasio y amonio. La disociación de los iones bicarbonato en carbonato comienza a tener efecto a partir de un valor de pH superior a 8.2; mientras que debajo de este valor, la mayor parte de los iones carbonato se unen al hidrógeno para dar lugar a los iones bicarbonato. Dentro del área de estudio, la mayoría de las muestras presentan valores de pH debajo de 8.2, con excepción del aprovechamiento No. 192 que tiene un pH de 8.6; es por ello que las concentraciones de bicarbonatos reportados en los análisis químicos sean mucho mayores a las de los carbonatos. Para los valores de pH menores a 4.5, la mayoría de los iones bicarbonato pasan a moléculas de ácido carbónico (S.N. Davis y R. De Wiest, 1971).

Las concentraciones del ion bicarbonato en la zona de La Blanca varían de 157 a 520 ppm, con un promedio de 291 ppm. Los valores del ion carbonato son muy reducidos y se llegan hasta 27

ppm. Los valores de bicarbonatos más bajos se encuentran al norte del poblado de G. Pánfilo Natera y al sur de la cuenca, los cuales se incrementan hacia el centro de la zona, donde se localiza la laguna El Tule.

Las concentraciones del ion bicarbonato en la zona de Loreto varían de 183 a 640 ppm, con un promedio de 276 ppm. Los valores de carbonatos también son bajos y la mayor concentración es de 22 ppm. Las menores concentraciones de bicarbonatos se tienen en la porción occidental de la zona y donde se encuentra la presa San Marcos. Los valores más altos se encuentran hacia el centro del valle, donde se localiza el poblado de Tierra Blanca.

En el plano No. 8 se presentan las curvas de igual contenido del ion bicarbonato.

La presencia de bicarbonatos y carbonatos se debe principalmente por la disolución de calizas y, en menor grado, a la de feldespatos, piroxenos y anfíboles presentes en las rocas ígneas; además, por efecto de la evaporación que hay en las zonas más bajas.

CLORURO (Cl⁻).

El ion cloruro proviene del agua del mar (donde las concentraciones varían entre 1800 y 21000 ppm) y de la disolución de rocas y suelos, en especial de las evaporitas. Por

contaminación de desechos urbanos e industriales, en salmueras naturales, por el lavado de terrenos de origen marino, en las aguas termales y fósiles, y en menor escala por la disolución de rocas ígneas, de vidrio y gases volcánicos.

Los cloruros son muy estables en disolución y difícilmente precipitan; no se oxidan ni se reducen en aguas naturales y, en general, se asocian al ion sodio, especialmente en aguas muy salinas (Custodio, 1976).

En la zona de La Blanca los valores varían de 26 a 176 ppm, con un promedio de 49 ppm. Las concentraciones más bajas se encuentran en la porción occidental y se incrementan hacia el oriente.

En la zona de Loreto las concentraciones tienen una variación de 21 a 49 ppm, con un promedio de 34 ppm. Los valores más bajos se encuentran hacia el sur del valle y se van incrementando hacia el centro y al norte del mismo.

Las curvas de igual contenido del ion cloruro se presentan en el plano No. 9.

En el área de estudio, la existencia de cloruros se puede deber a la disolución de rocas evaporíticas, de micas y hornblendas de las rocas ígneas y metamórficas, y del vidrio volcánico.

SULFATO (SO₄⁼).

El ion sulfato proviene de la disolución de rocas evaporíticas, como son el yeso y la anhidrita. Las arcillas orgánicas pueden proporcionar grandes cantidades de sulfatos mediante la oxidación de la marcasita y la pirita. En agua de drenaje de minas y en algunos desechos industriales. Fuentes menos importantes son las emanaciones volcánicas y la oxidación de sulfuros procedentes de las rocas ígneas.

La mayoría de los compuestos sulfatados se disuelven fácilmente en el agua. Entre los compuestos más comunes que se encuentran en la naturaleza, el sulfato de bario es el menos soluble.

En la zona de La Blanca, las concentraciones tienen una variación de 20 a 307 ppm, con un promedio de 93 ppm. Los valores más bajos se presentan en la parte suroeste del valle y los más altos en el norte y noreste.

En la zona de Loreto los valores varían de 7 a 112 ppm, con un promedio aritmético de 35 ppm. Las menores concentraciones se tienen al sur del valle y las más altas, al norte del mismo.

Las curvas de igual contenido del ion sulfato se presentan en el plano No.10.

La presencia del ion sulfato en el área de estudio se puede

deber a la disolución de minerales evaporíticos y de arcillas orgánicas y por la oxidación de minerales sulfurosos. Además, las actividades mineras que se realizan en la región pueden aportar cantidades importantes de sulfatos.

V.3.- FAMILIAS DE AGUA.

Con el objeto de poder clasificar las muestras de agua de una región, se utilizó el Diagrama de Piper. Este diagrama consiste en dos triángulos y un rombo central; en el triángulo de la izquierda se grafican en forma puntual los principales cationes y en el de la derecha los principales aniones, ambos en porcentajes de miliequivalentes por litro (meq/l). Cuando un punto se grafica dentro de la parte central de alguno de los triángulos, donde no existe un ion que predomine, se considera que el agua es del tipo "mixto". En el rombo central se proyectan los puntos graficados en los triángulos y en la intersección de estos se tendrá un tercer punto que representa el carácter químico de la muestra. Los Diagramas de Piper se ilustran de la figura V.1 a la V.6, de las cuales las tres primeras pertenecen a la zona de La Blanca y las otras tres a la zona de Loreto.

En el plano No. 11 se delimitaron los diferentes tipos o familias de agua que existen en el área de estudio. Las familias de agua predominantes en la zona de La Blanca son la Sódica-Bicarbonatada y la Mixta-Sódica-Bicarbonatada, mientras que en la zona de Loreto predominan la Mixta-Bicarbonatada y la Mixta-

Sódica-Bicarbonatada. La presencia de este tipo de aguas, donde predominan el ion bicarbonato y el ion sodio, se puede deber a la amplia distribución de calizas y riolitas que hay en el área de estudio. Las aguas Sódica-Bicarbonatada y la Mixta-Sódica-Bicarbonatada se concentran en las partes centrales de las cuencas, probablemente por el efecto de la evaporación que tiene lugar en estas zonas.

V.4.- CALIDAD DEL AGUA.

Las aguas subterráneas y superficiales que se utilizan para satisfacer las necesidades de agua potable de las zonas urbanas así como la que se destina a la agricultura, ganadería e industria, necesita cumplir con ciertos requisitos respecto al contenido de ciertos iones, a sus propiedades físico-químicas y a la presencia de materia orgánica.

La calidad del agua se determina a partir de los análisis efectuados a las muestras de agua, los cuales se comparan con los límites máximos permisibles o normas de calidad del agua utilizada como potable, para riego, en abrevaderos y en la industria. Cabe mencionar que las normas que se presentan en este estudio son generales y deben ser siempre ajustadas a cada caso en particular, de acuerdo a las circunstancias locales y al uso que será destinada el agua.

V.4.1.- AGUA POTABLE.

Para conocer la calidad del agua para uso potable, en la tabla No. V.3, se comparan los resultados de los análisis físico-químicos con las normas de calidad del agua de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) y de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.) que actualmente es la Secretaría de Salud (S.S.).

En general, las muestras de agua analizadas cumplen con las normas de calidad, en sus características químicas, para su uso potable, ya que no superan o son iguales a los límites máximos permisibles.

V.4.2.- AGUA PARA RIEGO.

Cuando se necesita conocer la calidad del agua para riego, se utiliza la clasificación de Wilcox (1948), en la cual, por medio de la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción del sodio (RAS), se obtiene la clase de agua para riego.

Para poder detectar los riesgos que hay en la utilización del agua con fines agrícolas, se tienen que tomar en cuenta los efectos nocivos producidos por el sodio y la tolerancia de las plantas frente a distintas sales, ya que cuando hay alta salinidad en el agua se afecta notoriamente a los cultivos. La adsorción del sodio por el suelo produce la dispersión de la

NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA.

CARACTERISTICAS QUIMICAS	D.M.S.		S.S.A. MAXIMO PERMITIDO	ZONA DE LA BLANCA			ZONA DE LORETO		
	MAXIMO ACEPTABLE	MAXIMO PERMITIDO		MIN.	MAX.	PROM.	MIN.	MAX.	PROM.
pH (adimensional)	7-8.5	6.5-9.2	---	7.2	8.6	7.5	6.4	7.6	7.3
DUREZA T. (ppm de CaCO ₃)	---	---	300	23	248	132	140	260	200
CALCIO (ppm)	75	200	---	4	74	37	24	88	42
MAGNESIO (ppm)	50	150	125	3	21	11	7	31	22
SODIO (ppm)	20	175	---	24	344	103	22	153	58
BICARBONATOS (ppm)	350	800	---	157	520	291	163	440	276
CLORUROS (ppm)	200	600	250	26	176	49	21	49	34
SULFATOS (ppm)	200	400	250	20	307	93	7	112	35
S.T.D. (ppm)	500	1500	1000	306	1131	588	289	935	475

TABLA No. V.3

ESTE TIPO DE SALIN DE LA BLANCA.

fracción arcillosa, disminuyendo su permeabilidad y provocando la formación de una costra superficial que influye negativamente en la germinación de las semillas y en la salida del tallo. Además, el sodio puede aumentar la dureza del agua, debido al intercambio iónico del calcio y del magnesio con el sodio; la intensidad del intercambio posible entre estos iones se expresa por la fórmula siguiente:

$$RAS = \frac{Na}{\frac{(Ca + Mg)^{1/2}}{2}}$$

Donde: RAS= relación de adsorción del sodio
(en miliequivalentes por litro).

En las figuras V.7 y V.8, se presentan los nomogramas de clasificación de la zona de La Blanca, y en las figuras V.9 y V.10, los de la zona de Loreto.

En la zona de La Blanca, el 60 % de las muestras pertenece a la clase C2-S1, el 20 % a la clase C3-S2, el 12 % a la C3-S1 y el 8 % restante, a la C3-S4.

En la zona de Loreto, el 96 % de las muestras pertenece a la clase C2-S1 y el 4 % restante, a la clase C3-S1.

La clase C2-S1 es de salinidad media con poco sodio; esta clase de agua puede utilizarse para riego en casi todos los suelos, si se hacen lavados ligeros. Se pueden sembrar plantas moderadamente tolerantes a las sales en la mayoría de los casos;

sin embargo, las plantas sensitivas al sodio, como algunos frutales (fruto con hueso) y aguacate, pueden acumular concentraciones dañinas de sodio.

La clase C3-S1 es altamente salina y con poco sodio; esta agua no puede utilizarse en suelos de drenaje deficiente y se tienen que seleccionar plantas que sean bastante tolerantes a las sales.

La clase C3-S2 tiene una salinidad alta con un contenido medio de sodio; aún cuando exista un drenaje adecuado, se requiere un manejo especial para el control de la salinidad. Esta agua puede utilizarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.

La clase C3-S4 es altamente salina y con muy alto contenido de sodio; este tipo de agua no es recomendable para el riego, a menos de que se utilice un control de la salinidad y una selección de plantas muy tolerantes a las sales.

En la tabla V.4 se presentan las tolerancias que tienen los diferentes cultivos a las sales.

V.4.3.- AGUA PARA ABREVADERO.

El agua utilizada en granjas y ranchos debe cumplir normalmente con los mismos requisitos que el agua potable, aunque

**TOLERANCIAS RELATIVAS DE
LOS CULTIVOS A LAS SALES.**

	MUY TOLERANTES	MEDIANAMENTE TOLERANTES	POCO TOLERANTES
F R U T I V O S	Palma Datilera	Granada Higuera Olivo Vid Melón	Peral Manzano Naranja Toronja Ciruela Almendro Chabacano Durazno Fresa Limonero Aguacate
H O R T I C U L T U R A S	Betabel Espárragos Espinacas	Jitomate Brócoli Col Coliflor Lechuga Papas Zanahoria Cebolla Chicharos Calabaza Pepinos	Rábano Aplo Ejotes
C E R E A L E S	Cebada (grano) Remolacha azu- carera Algodón	Ceneno (grano) Trigo (grano) Avena (grano) Arroz Sorgo (grano) Maiz Linaza Girasol Higuera	Alubias

TABLA V.4

los animales pueden ingerir agua con una mayor concentración de sales.

Los límites máximos de STD en partes por millón para algunos animales, según Mckee y Wolf (1963), son los siguientes:

Aves.....	2,860
Cerdos.....	4,290
Caballos.....	6,430
Ganado Lechero.....	7,150
Ganado para carne.....	10,100
Borregos.....	12,900

V.4.4.- AGUA PARA LA INDUSTRIA.

La clase de agua requerida para la industria dependerá en gran medida de las instalaciones utilizadas y del tipo de industria. Una forma rápida de catalogar el agua para la industria es, conociendo su dureza (Lesser, 1985).

En general, a las muestras de agua con menos de 60 ppm de CaCO_3 se les llama blandas, hasta 120 ppm moderadamente blandas, hasta 180 ppm duras y por encima de 180 ppm, muy duras (Durfor y Becker, 1964). A las muestras de agua del área estudiada se les puede considerar como aguas moderadamente blandas a duras.

Los límites de dureza para la industria textil es de 25 ppm, para la papelera es de 100 ppm y en derivados del petróleo es de 350 ppm (John Hem, 1970).

V.5.- INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA.

Las dos zonas geohidrológicas que comprenden el área de estudio contienen agua dulce, ya que la mayoría de los aprovechamientos no tienen concentraciones de sólidos totales disueltos (STD) mayores de 1000 ppm.

La dirección del flujo, según los valores de los diferentes iones y de los sólidos totales disueltos, es de las partes topográficamente más altas hacia las porciones centrales de las cuencas, donde se existen concentraciones salinas más elevadas; ello se debe, a que en estos lugares, el gradiente hidráulico es menor que en las partes más elevadas, por lo que el agua se encuentra mayor tiempo en contacto con los materiales, produciéndose una mayor disolución. Cabe señalar, que en la mayor parte de los planos de curvas de igual contenido de iones y en el de STD, se aprecia que donde esta ubicado el límite entre la zona de La Blanca y la de Loreto, al norte de Estancia de Animas, las curvas no se continúan, por que hay cambios en las concentraciones de los diferentes iones; lo anterior se atribuye a que en este lugar se encuentran rocas metamórficas de baja permeabilidad, que junto con la falla normal localizada al sur del valle de La Blanca, constituyen una barrera al flujo de agua

subterránea entre ambos acuíferos.

La mayor parte de las muestras cumplen con las normas de calidad, por lo que se pueden considerar como aceptables para el consumo humano, para el riego y para abrevadero; sin embargo, para ciertos tipos de industria no son recomendables, porque son aguas que sobrepasan los límites establecidos de dureza; esto se debe a que en la región abundan rocas sedimentarias calcáreas y volcánicas, que aumentan la dureza del agua.

VI.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA.

VI.1.- PIEZOMETRIA.

Por medio de la piezometría es posible conocer las variaciones que se presentan en los niveles estáticos del agua subterránea, producidos por diferentes causas, tanto naturales como artificiales.

Los datos que se utilizaron en este capítulo, fueron obtenidos de las historias piezométricas y de los censos de aprovechamientos, efectuados por la Gerencia Estatal de Zacatecas, de enero de 1980 a enero de 1990.

En el plano No. 3, se muestra la localización de los aprovechamientos pilotos, los cuales fueron seleccionados por contar con el mayor número de lecturas de los niveles estáticos así como por su ubicación. De la zona de La Blanca se eligieron como pilotos a 55 aprovechamientos de los 515 que existen y de Loreto 35, de los 724 que hay en la zona. En las tablas VI.1 y VI.2, se presentan los datos de los meses y años que se utilizaron para la elaboración de los planos de profundidad al nivel estático, de elevación y de evolución del nivel estático.

Por medio de los resultados obtenidos del censo de aprovechamientos de 1990, se determinó que existen 513

HISTORIA PIEZOMETRICA DE LA ZONA
GEOHIDROLOGICA DE LA BLANCA, ZAC.

APROVE- CHAMIENTO No.	ELEVACION DEL BROCAL (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD		PROFUNDIDAD	
		AL N.E. DIC. 60	AL N.E. DIC. 67	AL N.E. DIC. 69	AL N.E. DIC. 69
1) 5	2103.60	5.07	7.43		7.30
2) 15	2089.44	4.46	3.92		4.00
3) 23	2113.10	1.20	1.80		1.20
4) 33	2084.90	32.60	36.95		37.10
5) 40	2044.70	20.86	28.08		29.65
6) 63	2040.77	5.60	6.60		7.60
7) 71	2047.60	20.81	26.30		27.05
8) 76	2056.46	24.00	32.70		34.30
9) 96	2049.65	17.40	26.00		25.93
10) 100	2032.16	5.30	6.45		7.30
11) 101	2076.30	36.95	52.90		53.10
12) 121	2043.45	35.63	43.05		45.30
13) 133	2096.63	36.92	72.75		74.35
14) 135	2049.94	21.30	21.35		22.15
15) 146	2050.03	27.35	23.40		24.35
16) 152	2049.75	23.18	29.05		29.62
17) 157	2084.63	41.55	47.40		49.20
18) 162	2074.17	33.11	43.05		44.12
19) 164	2043.71	34.70	43.05		43.20
20) 165	2052.34	16.05	23.53		24.30
21) 178	2047.95	7.55	7.75		7.80
22) 175	2057.41	21.64	25.72		24.30
23) 189	2071.35	37.04	40.65		40.35
24) 205	2082.19	29.33	21.70		22.04
25) 206	2125.28	6.80	6.15		5.75
26) 207	2104.77	6.72	7.22		7.38
27) 208	2098.26	3.60	5.55		5.30
28) 212	2108.90	9.60	9.50		9.40
29) 219	2076.31	43.12	44.45		46.25
30) 221	2149.07	5.95	6.10		5.75
31) 225	2140.18	8.40	8.45		7.30
32) 228	2161.67	8.00	8.35		8.25
33) 229	2202.05	18.33	16.50		15.90
34) 231	2138.20	19.45	21.50		22.30
35) 232	2062.45	30.83	32.43		33.27

TABLA VI.1

HISTORIA PIEZOMETRICA DE LA ZONA
GEOHIDROLOGICA DE LA BLANCA, ZAC.

APROVE- CHAMIENTO No.	ELEVACION DEL BROCAL (m. s. n. m.)	PROFUNDIDAD		PROFUNDIDAD	
		AL N.E. DIC. 60	AL N.E. DIC. 67	AL N.E. DIC. 67	AL N.E. DIC. 69
36) 245	2050.01	24.22	24.93		23.65
37) 248	2052.97	29.07	22.33		23.75
38) 264	2048.12	15.47	27.65		26.10
39) 260	2058.97	31.30	32.00		32.60
40) 279	2046.91	19.30	20.43		20.94
41) 284	2045.08	10.76	21.40		22.38
42) 285	2074.96	9.17	15.63		16.35
43) 291	2039.70	13.20	14.80		15.75
44) 295	2057.36	31.05	33.05		32.75
45) 326	2063.19	28.90	35.65		36.10
46) 330	2055.49	25.02	35.65		35.90
47) 335	2128.73	1.40	1.58		1.53
48) 337	2150.03	8.40	13.70		14.25
49) 338	2157.56	9.25	11.15		10.72
50) 339	2130.59	2.45	3.20		3.25
51) 341	2173.51	4.87	7.50		6.80
52) 346	2112.67	10.53	9.40		8.90
53) 349	2085.44	30.67	34.18		34.20
54) 350	2092.72	8.43	9.30		8.95
55) 351	2034.38	5.65	6.57		6.50

TABLA VI. 1

**HISTORIA PIEZOMETRICA DE LA ZONA
GEOHIDROLOGICA DE LORETO, ZAC.**

APROVE- CHAMIENTO No.	ELEVACION DEL BROCAL (m. s. n. m.)	PROFUNDIDAD AL N. E. DIC. 81	PROFUNDIDAD AL N. E. DIC. 88	PROFUNDIDAD AL N. E. ENE. 90
1) 354	2120.26	37.64	37.72	43.65
2) 355	2144.67	35.59	37.16	40.10
3) 356	2102.43	26.46	37.25	36.17
4) 365	2116.33	42.07	48.90	49.36
5) 368	2128.58	43.40	49.65	50.13
6) 370	2103.57	22.48	36.92	35.22
7) 374	2097.75	16.29	34.23	32.11
8) 379	2098.24	31.60	28.11	29.00
9) 389	2099.37	45.94	76.80	74.20
10) 394	2092.05	29.04	27.60	28.20
11) 395	2134.98	56.99	47.64	47.65
12) 404	2119.00	37.20	41.20	41.32
13) 408	2060.32	36.40	47.25	48.20
14) 409	2063.53	34.91	41.10	41.33
15) 424	2067.18	42.63	55.16	55.16
16) 445	2054.89	27.55	32.00	32.18
17) 444	2037.92	33.90	38.20	36.18
18) 482	2034.58	34.55	38.10	36.18
19) 498	2029.77	31.60	33.22	38.65
20) 560	2023.06	23.97	18.10	17.65
21) 569	2018.20	29.07	35.20	36.12
22) 572	2012.21	25.69	33.10	34.05
23) 576	2047.53	47.70	57.20	54.60
24) 580	2029.73	29.62	36.24	36.18
25) 620	2021.78	33.88	42.00	43.18
26) 623	2041.13	55.52	46.65	44.20
27) 624	2033.65	48.09	43.10	43.75
28) 636	2019.85	29.33	32.20	37.00
29) 644	2032.30	46.14	48.63	49.20
30) 732	2039.50	46.10	47.76	47.00
31) 746	2031.21	30.80	35.43	35.43
32) 751	2029.16	33.62	31.18	31.00
33) 754	2037.14	8.93	7.25	5.32
34) 764	2044.92	48.30	42.20	42.10
35) 953	2035.85	32.30	38.00	38.75

TABLA VI. 2

captaciones en la zona de La Blanca, de los cuales 399 son pozos y 114, norias, con un volumen de extracción anual de 28 millones de m³; asimismo, en Loreto existen 724 aprovechamientos, de los cuales 621 son pozos y 103, norias, con un volumen de extracción anual de 78 millones de m³. En las tablas Nos. VI.3 y VI.4, se muestran el resumen de aprovechamientos por uso y los volúmenes de extracción anual, respectivamente, para las dos zonas que comprenden el área de estudio.

Con los valores obtenidos de las profundidades al nivel estático, durante el lapso 1983-1989, se construyeron los hidrógrafos de las figuras Nos. VI.1 y VI.2; por medio de éstos, es posible observar las variaciones del nivel estático con respecto al tiempo, para detectar posibles errores de medición o bien niveles que estuvieran influenciados por el bombeo. Del análisis de los hidrógrafos realizados, se observa que en la zona de La Blanca (Fig. VI.1), los niveles de agua tienen abatimientos en los pozos Nos. 48 y 165, localizados al sur del valle; por otra lado, los pozos Nos. 245 y 279, ubicados en la parte central y norte, mantienen sus niveles con ligeras variaciones. El aprovechamiento No. 229 es una noria, cuyos niveles oscilan entre los 13 y 17 m, y se encuentra en la porción noreste del valle. En la zona de Loreto, la mayor parte de los pozos muestran abatimientos, excepto en el No. 365, el cual se localiza al norte de la zona, que tiene una ligera recuperación en sus niveles. Cabe mencionar, que los niveles de agua en los pozos de la zona de La Blanca para el período analizado, varían de 18 a 29 metros

RESUMEN DE APROVECHAMIENTOS POR USO.

ZONA GEOGRÁFICA	TIPO DE APROVECHA- MIENTO	NUMERO DE APROVECHA- MIENTOS	U S O				TOTAL
			AGRICOLA	DOMESTICO	ABREVADERO	INDUSTRIAL	
LA BLANCA	POZOS	399	362	27	10		513
	NORIAS	114	108		6		
LORETO	POZOS	621	554	28	34	5	724
	NORIAS	103	85	4	14		

TABLA No. VI.3

VOLUMENES DE EXTRACCION ANUAL.

ZONA GEOGRÁFICA	NUMERO DE APROVECHAMIENTOS POR USO	VOLUMEN DE EXTRACCION (Ha ²)	TOTAL (Ha ²)
LA BLANCA	AGRICOLA	470	23.00
	DOMESTICO	27	4.20
	ABREVADERO	16	0.80
LORETO	AGRICOLA	639	68.50
	DOMESTICO	32	3.50
	ABREVADERO	48	1.50
	INDUSTRIAL	5	4.50

TABLA No. VI.4

en los hidrógrafos seleccionados, los cuales son más someros que en la zona de Loreto, que van de 36 a 55 metros.

VI.1.1.- PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO.

Por medio del conocimiento de la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua con respecto a la superficie del terreno, se pueden establecer las zonas adecuadas para la ubicación de captaciones del agua subterránea.

En el plano No. 12. se puede apreciar que en la zona de La Blanca, las mayores profundidades al nivel del agua se presentan en las zonas topográficas más elevadas, donde se encuentran los poblados de La Tesorera, El Saucito y Guanajuatillo, al occidente del valle, con valores de 70 m; hacia la parte central de la zona, las profundidades van decreciendo hasta los 30 m. En las lagunas existen sedimentos finos, tales como arcillas y limos, que debido a su baja transmisividad dificultan el paso del agua; los niveles de agua en este lugar están a menos de 10 m de profundidad y esa parte de la cuenca es explotada por medio de norias. En la porción oriental, las profundidades se incrementan hasta los 50 m y en la parte sur-occidental, existe una área con profundidades de 10 m, donde se ubica un nivel "colgado".

En la zona de Loreto, las mayores profundidades se encuentran en las zonas que bordean al valle, donde existen las mayores

elevaciones topográficas. Los niveles van decreciendo gradualmente hasta la profundidad de 30 m, donde se encuentra el poblado de Estancia de Animas, en la porción centro-occidental del valle.

En la parte oriental de valle, al sureste de Loreto, se presentan norias con profundidades de 5 m, siendo notablemente diferentes estos niveles a los que tienen los pozos cercanos; este comportamiento se atribuye a un nivel "colgado" en las rocas riolíticas que se encuentran en ese lugar.

VI.1.2.- ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO.

Con el fin de obtener las configuraciones piezométricas, es necesario referir los niveles estáticos al nivel medio del mar, por medio de la nivelación diferencial del brocal de los pozos. En el plano No. 13, se muestra la elevación del nivel estático. Para la zona de La Blanca, se utilizaron los datos de diciembre de 1980 a diciembre de 1989 y para Loreto, los de diciembre de 1981 a enero de 1990.

En La Blanca, se determinó que las curvas de mayor elevación del nivel estático se encuentran en la porción noreste y occidental, con valores de 2160 y 2120 msnm, respectivamente; los valores van decreciendo hacia la parte central, con elevaciones de 2020 msnm. Hacia el sur los valores se incrementan hasta

llegar a 2070 msnm y en la porción norte, llegan hasta los 2025 msnm. Por otra parte, la concentración del bombeo ha provocado la formación de un cono de depresión de los niveles, con valores de 2020 msnm, al oriente de Pánfilo Natera.

En Loreto, las curvas de mayor elevación al nivel estático se encuentran en la porción norte del valle, con valores de 2070 msnm. Los valores decrecen hacia la zona central, hasta la elevación del nivel estático de 1980 msnm, al noroeste de Loreto; En este lugar se tiene un cono de depresión, hacia donde converge el flujo subterráneo. Los valores se incrementan en la parte sur del valle, hasta llegar a la elevación de 2020 msnm.

Al noroeste de Estancia de Animas, donde se localiza el límite entre ambas zonas geohidrológicas, se encuentra un parteaguas hidrodinámico, definido por la curva de igual elevación del nivel estático de 2070 msnm.

VI.1.3.- EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO.

En el plano No. 14 se presenta la evolución corta del nivel estático para el intervalo 1987-1990, y en el plano No. 15 la evolución larga, en el lapso 1980-1990.

Para la zona de La Blanca, la evolución corta abarca el periodo de diciembre de 1987 a diciembre de 1989, y para Loreto

es de diciembre de 1988 a enero de 1990. Los niveles en La Blanca han sufrido descensos hasta de 1.5 en el período mencionado, en la porción occidental y oriental, y el abatimiento anual es hasta de 0.75 m. Al sur del valle los abatimientos llegan hasta 1 m y al norte, donde esta del poblado del Zacatón, son de poco menos de 1 m. En general, el abatimiento medio anual es de 0.5 m. En Loreto, los mayores abatimientos están hacia la porción norte del valle, donde se encuentra la localidad de Villa González Ortega y al sur del valle, con abatimientos hasta de 5 m en el período mencionado y de 2.0 m por año. El abatimiento medio anual es de 1.2 m. Al oriente de la población de Loreto, hay recuperaciones de los niveles del agua subterránea que llegan hasta 0.5 m, donde existe una zona de recarga en las rocas riolíticas.

La evolución larga del nivel estático en La Blanca, abarca de diciembre de 1980 a diciembre de 1989, y en Loreto, de diciembre de 1981 a enero de 1990. En La Blanca, los niveles han descendido hasta 10 m al norte de G. Pánfilo Natera; al oriente de la laguna de El Tule los abatimientos llegan a los 10 m y en las porciones norte y sur de la zona existen descensos de 10 y 8 m, respectivamente. Solamente existe un área con recuperaciones que llegan hasta 3 m, al noreste de G. Pánfilo Natera. En los lugares con mayor abatimiento, se calculó para el mismo período, un descenso anual de 1.1 m de los niveles de agua. En Loreto han ocurrido abatimientos en la mayor parte del valle; los niveles han descendido 10 m donde se encuentra el poblado de Estancia de Animas y 9 m al noroeste de Loreto. Hay una pequeña porción

localizada al oeste de Loreto que muestra abatimientos menores, que van de 1 a 3 m, debido a la recarga que existe en ese lugar. El abatimiento promedio ocurrido donde hay mayor explotación del acuífero, es de 1.1 m por año. En La Blanca, en las porciones con mayor explotación, ha disminuido el abatimiento promedio anual del acuífero en los últimos años, de 1.1 m a 0.75 m. y en Loreto, se ha incrementado, de 1.1 m a 2.0 m por año.

VI.2.- PRUEBAS DE BOMBEO.

Con el objeto de conocer las características hidráulicas de los acuíferos, se interpretaron seis pruebas de bombeo en la zona geohidrológica de La Blanca y cuatro en la de Loreto, en sus etapas de abatimiento y recuperación. Cabe mencionar, que las pruebas de bombeo interpretadas fueron realizadas en estudios anteriores para la S.A.R.H. (Figs. VI.3 a VI.10).

Las pruebas de bombeo fueron de corta duración (de una a ocho horas) y se utilizaron para determinar la transmisividad de los materiales constituyentes de los acuíferos, en diferentes puntos. En dichas pruebas, no se contó con pozos de observación, por lo cual no se pudo calcular el coeficiente de almacenamiento; éste se determinó en base a los tipos de acuíferos (libres) y a las características litológicas. En los pozos No. 279 y 572 no fue posible realizar la interpretación de las pruebas en sus etapas de abatimiento y en los pozos No. 295 y 623, en las de

recuperación. Lo anterior se debe por que no se ajustaron a ninguno de los sistemas de flujo conocido.

El método de interpretación utilizado fue el desarrollo por C. E. Jacob, para la solución de la ecuación general del flujo en un medio poroso, el cual se aplica bajo la hipótesis de que el acuífero es homogéneo después de un largo período de tiempo. La ecuación de Jacob para observaciones realizadas en el pozo de bombeo y con un gasto constante, es la siguiente:

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

donde: T = Transmisividad en m²/seg

Q = Gasto de bombeo en m³/seg

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

En la mayor parte de las pruebas de bombeo se define un tramo recto en las gráficas, durante cierto tiempo a partir del inicio del bombeo, hasta llegar a la estabilización del nivel del agua.

Los valores de transmisividad determinados varían de 0.00027 a 0.01098 m²/seg en La Blanca, y de 0.00038 a 0.02437 m²/seg en Loreto (Tablas Nos. VI.5 y VI.6).

**RESUMEN DE PRUEBAS DE BOMBEO.
ZONA GEOHIDROLOGICA DE LA BLANCA.**

APROVE- CHAMIENTO No.	DIAM. DE DESCARGA (ca)	NIVEL ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	CAUDAL (lps)	CAUDAL ESPECIFICO (lps/m)	TA x 10 ⁻³ (m ³ /seg)	TR x 10 ⁻³ (m ³ /seg)
101	20.3	53.00	60.00	60.00	8.57	10.98	3.92
146	10.2	26.19	34.31	16.00	1.94	1.06	1.08
279		25.90	33.76	12.00	1.53	N.I.	0.61
291	15.2	16.20	52.22	23.00	0.63	0.27	0.33
295	15.2	31.18	51.20	30.00	1.50	0.48	N.I.
349	10.2	32.75	45.32	22.00	1.75	0.45	0.80

TABLA No. VI.5

**RESUMEN DE PRUEBAS DE BOMBEO.
ZONA GEOHIDROLOGICA DE LORETO.**

APROVE- CHAMIENTO No.	DIAM. DE DESCARGA (ca)	NIVEL ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	CAUDAL (lps)	CAUDAL ESPECIFICO (lps/m)	TA x 10 ⁻³ (m ³ /seg)	TR x 10 ⁻³ (m ³ /seg)
365	15.2	41.95	48.81	30.60	4.43	4.00	4.87
404	15.2	36.42	51.90	18.50	0.68	0.38	0.40
572	20.3	24.95	37.40	50.00	4.02	N.I.	24.73
623	20.3	56.59	73.16	34.00	2.05	1.29	N.I.

TABLA No. VI.6

VI.3.- FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUIFEROS.

El acuífero principal de la zona geohidrológica de La Blanca se localiza en la porción central del valle, el cual esta constituido, primordialmente, por tobas alteradas de composición riolítica y por sedimentos finos a gruesos. En las partes oriental y sur del valle, existen rocas metamórficas y sedimentarias, con permeabilidades bajas, que junto con la falla normal que pasa por esta región, constituyen una barrera lateral al flujo del agua. Al noreste de la zona, afloran piroclastos y derrames de composición basáltica que tienen una permeabilidad media, donde se llegan a formar niveles "colgados". En la porción occidental, existen calizas y rocas ígneas, tanto volcánicas como intrusivas, con permeabilidades bajas, que forman barreras al flujo del agua. En el centro del valle, hay depósitos lacustres constituidos por arcillas y limos intercalados con depósitos aluviales; los niveles de agua en este lugar están a menos de 10 m y se explotan por medio de norias. En las riolitas localizadas al occidente de G. Pánfilo Natera, existen también algunos niveles "colgados".

En el valle de Loreto, el acuífero principal está constituido por una alternancia de sedimentos granulares que varían de arcillas a gravas, conglomerados y por tobas y derrames riolíticos fracturados. Los conglomerados están formados por fragmentos de rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas, con una matriz arcillosa o arcillo-arenosa. En los flancos oriental y occidental del valle, las rocas ígneas tanto intrusivas como

volcánicas, y las rocas sedimentarias jurásicas y cretácias, limitan lateralmente a los sedimentos granulares; hacia el sur, el valle se estrecha y afloran riolitas de permeabilidad media, que funcionan como barreras laterales al flujo del agua subterránea. En las porciones norte y noroeste, las rocas metamórficas y los intrusivos de composición granítica, que tienen permeabilidades bajas, también funcionan como barreras al flujo del agua. Al este del poblado de Loreto, existe un acuífero "colgado" en las rocas riolíticas, que aparentemente tiene conexión hidráulica con los sedimentos granulares, donde hay algunas norias.

VI.3.1.- RECARGA Y DESCARGA DE LOS ACUIFEROS.

La principal recarga natural del acuífero de La Blanca, ocurre verticalmente por infiltración del agua de lluvia en los afloramientos de tobas y rocas calcáreas, así como en la planicie localizada en la porción central de la zona. Otra fuente de recarga natural, son los volúmenes de agua que escurren superficialmente de las sierras hacia las partes más bajas del valle. Las entradas horizontales de agua subterránea, provienen de la parte occidental, sur y noreste del valle, y se dirigen hacia el centro del mismo.

La descarga se efectúa principalmente de manera artificial, por el bombeo que se realiza en las planicies. Las descargas

naturales del acuífero representan una proporción poco significativa, dentro de las cuales están el flujo horizontal subterráneo que circula hacia el norte del valle y la evaporación; las pérdidas naturales de agua por evaporación son reducidas y sólo ocurren en las lagunas, donde los niveles tienen profundidades menores a 2 m, las cuales se llegan a secar durante la temporada de estiaje. Como se mencionó anteriormente, en el capítulo IV, el nivel de las lagunas no representa el nivel freático regional y aparentemente son sólo cuerpos de agua estancados sobre sedimentos de baja permeabilidad.

La recarga natural del acuífero de Loreto ocurre, al igual que en La Blanca, por la infiltración del agua que proviene de la precipitación pluvial, principalmente en las rocas volcánicas fracturadas que afloran en la parte oriental y occidental del valle, y en el contacto de estas rocas con los sedimentos granulares. Otra fuente de recarga, pero de tipo artificial, es la presa San Marcos, que está construida sobre rocas riolíticas fracturadas; esta obra constituye una fuente de recarga inducida, cuya magnitud se desconoce, pero es mínima en comparación con la recarga natural.

La descarga del acuífero de Loreto actualmente sólo ocurre de manera artificial, a través de pozos y en menor escala, por norias, concentrándose en la porción central del valle. Según estudios anteriores, antes de la década de los ochentas, existía una descarga por flujo horizontal subterráneo hacia el valle de

Chicalote, localizado al norte del estado de Aguascalientes, que desapareció al incrementarse el bombeo en el valle de Loreto. Asimismo, en la porción sur de la zona, había descargas naturales del acuífero, las cuales tenían lugar mediante pequeños manantiales, que a la fecha están secos.

En la figura VI.11, se presentan dos secciones hidrogeológicas esquemáticas pertenecientes a cada una de las zonas, donde se muestra la dirección del flujo subterráneo, el nivel estático, así como, las recargas y descargas principales de los acuíferos. La sección E - E' corresponde al valle de La Blanca y la D - D' al de Loreto y la ubicación de las mismas se encuentra en el plano No. 3.

VI.4.- ECUACION DE BALANCE.

La ecuación de balance del agua subterránea, para un intervalo de tiempo determinado, se basa en el principio de conservación de la energía, estableciéndose de la siguiente forma:

$$\text{RECARGA} - \text{DESCARGA} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO}$$

La diferencia que existe en los volúmenes de recarga y los de descarga de los acuíferos, en los intervalos de tiempo considerados, es igual a la variación que existe en sus

almacenamientos.

La recarga de los acuíferos se puede deber a las entradas horizontales del flujo subterráneo (Eh) y por la recarga vertical (Rv), en las áreas de balance correspondientes.

La descarga se tiene por las salidas horizontales por flujo subterráneo (Sh) y por la extracción realizada mediante el bombeo (B). Por lo anterior, la ecuación de balance se puede expresar como sigue:

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

Donde:

Eh = Entradas Horizontales

Rv = Recarga Vertical

Sh = Salidas Horizontales

B = Extracción por Bombeo

ΔV = Cambio de Almacenamiento del Acuífero

S = Coeficiente de Almacenamiento

Todos los volúmenes corresponden a un mismo intervalo de tiempo, para cada una de las zonas. De acuerdo con los datos disponibles y según el número de incógnitas, pueden plantearse una o varias ecuaciones correspondientes a igual número de intervalos. Generalmente las incógnitas son la recarga vertical y el coeficiente de almacenamiento.

Las entradas horizontales (Eh) y las salidas horizontales

(Sh), se calculan mediante la Ley de Darcy:

$$Q = T i B t$$

Donde:

T = Transmisividad del acuífero (m²/seg)

i = Gradiente Hidráulico

B = Ancho del Flujo (m)

t = Intervalo de Tiempo Considerado (seg)

En ambas zonas geohidrológicas se calcularon solamente las entradas por flujo subterráneo hacia las áreas de balance, porque no hay salidas subterráneas hacia otros valles o son muy pequeñas, por lo que solamente existen descargas de los acuíferos por bombeo. Los caudales se calcularon para el período de diciembre de 1980 a diciembre de 1989 en La Blanca y de diciembre de 1981 a enero de 1990 en Loreto. Las transmisividades se obtuvieron de las pruebas de bombeo y las secciones de flujo por medio del plano No. 13 de Elevación del Nivel Estático. En la tabla No. VI.7, se muestran los valores de las entradas subterráneas calculadas en cada zona.

El caudal de entrada total se multiplicó por el tiempo considerado (9 años), obteniéndose un volumen de 78.19 millones de m³ para La Blanca y de 101.48 millones de m³ para Loreto.

Los volúmenes de extracción por bombeo se cuantificaron por medio de la información correspondiente a los censos de

**CALCULO DE VOLUMENES
DE ENTRADAS HORIZONTALES.**

ZONA	CAHAL	$h_1 - h_2$ (m)	l (km)	i ($\times 10^{-3}$)	b (Km)	$T \times 10^{-3}$ (m^2/s)	DEH (m^2/s)	GEN TOT (m^2/s)	GEN TOT (m^2/s)
L O R E T O	A	20	1.5	13.33	17.6	1.29	0.3027	0.3975	11.2751
	B	5	1.2	4.17	10.2	1.29	0.0548		
L A B L A N C A	C	10	0.9	11.11	9.8	0.63	0.0686	0.2755	8.6882
	D	10	1.2	8.33	3.2	0.63	0.0756		
	E	20	0.9	22.22	5.4	0.63	0.0756		
	F	20	0.9	22.22	4.1	0.63	0.0574		
	G	20	2.1	9.52	5.6	1.07	0.0571		

TABELA VI. 7

aprovechamientos realizados durante 1980 hasta 1990. Para la zona de La Blanca, se calculó que la extracción promedio por año fue de 32.5 millones de m³, resultando una extracción de 292.5 millones de m³ durante los nueve años del balance. En Loreto, la extracción promedio anual fue de 60.67 millones de m³ y de 546.0 millones de m³ para el período de 1980 a 1989.

El cambio de almacenamiento (ΔV) para un intervalo dado, se calcula multiplicando el coeficiente de almacenamiento (S) por el volumen determinado en el área de balance correspondiente entre la posición inicial y final de la superficie piezométrica. Este volumen se obtiene a partir de las curvas de igual evolución del nivel estático, en las dos áreas de balance (Plano No. 15). El área de balance de La Blanca es de 132.80 km² y la de Loreto es de 101.75 km², las cuales se encuentran en las porciones centrales de los valles. El volumen determinado en La Blanca fue de 553.3 millones de m³ y en Loreto, fue de 539.45 millones de m³, para los nueve años del balance.

El coeficiente de almacenamiento (S) se estimó con base al tipo de acuífero y por su litología, el cual resultó ser de 0.01 para La Blanca, por ser un acuífero libre constituido por materiales mal clasificados, que van de sedimentos finos a gruesos y tobas alteradas, principalmente. Para Loreto, el coeficiente de almacenamiento asignado es de 0.10, por ser un acuífero libre que se encuentra en tobas y sedimentos granulares más gruesos. El cambio de almacenamiento en el intervalo de 1980

a 1989, resultó ser de - 5.5 millones de m³ en La Blanca y de - 53.9 millones de m³ en Loreto.

La recarga vertical (Rv) se determina despejándola de la ecuación de balance, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{En La Blanca: } Eh + Rv - B &= \pm \Delta VS \\ Rv &= \pm \Delta VS - Eh + B \\ Rv &= - 5.5 - 78.2 + 292.5 \\ Rv &= 208.8 \text{ Mm}^3 / 9 \text{ años (1980-1989)} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} \text{En Loreto: } Eh + Rv - B &= \pm \Delta VS \\ Rv &= \pm \Delta VS - Eh + B \\ Rv &= - 53.9 - 101.5 + 546.0 \\ Rv &= 390.6 \text{ Mm}^3 / 9 \text{ años (1980-1989)} \end{aligned}$$

La recarga total (Rt) es igual a la recarga vertical anual más las entradas horizontales en 1989:

$$\begin{aligned} \text{En La Blanca: } Rt &= Rv + Eh \\ Rt &= 23.197 \text{ Mm}^3 + 8.688 \text{ Mm}^3 \\ Rt &= 31.89 \text{ Mm}^3 / \text{año} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} \text{En Loreto: } Rt &= Rv + Eh \\ Rt &= 43.397 \text{ Mm}^3 + 11.275 \text{ Mm}^3 \\ Rt &= 54.67 \text{ Mm}^3 / \text{año} \end{aligned}$$

La disponibilidad de los acuíferos se obtiene de la diferencia que hay entre la recarga total y la extracción por

bombeo para el año de 1989, la cual se estimó con base en los datos de los censos de aprovechamientos:

En La Blanca: $D = R_t - B$

$$D = 31.89 \text{ Mm}^3 - 30.0 \text{ Mm}^3$$

$$D = 1.89 \text{ Mm}^3 / \text{año (1989)}$$

En Loreto: $D = R_t - B$

$$D = 54.67 \text{ Mm}^3 - 72.0 \text{ Mm}^3$$

$$D = - 17.33 \text{ Mm}^3 / \text{año (1989)}$$

De acuerdo con los resultados de los balances de aguas subterráneas se definen condiciones geohidrológicas de equilibrio para La Blanca, con una disponibilidad de 1.89 Mm^3 en 1989 y de sobreexplotación para Loreto, con un déficit de 17.33 Mm^3 en 1989.

Cabe mencionar que los valores de las recargas obtenidas son representativas para cada una de las áreas de balance, las cuales pueden llegar a diferir de las que reciben ambas zonas geohidrológicas.

Por otro lado, se debe de evitar la concentración de los aprovechamientos hacia las partes centrales de los valles, donde se presentan conos de depresión con abatimientos hasta de 10 m, en el intervalo de 1980 a 1989. Además, es necesario controlar de una manera más eficiente los volúmenes de extracción, principalmente en la zona de Loreto, para disminuir el déficit

que existe en la disponibilidad del acuífero y para que en La Blanca no se lleguen a tener también condiciones de sobreexplotación.

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VI.1.-CONCLUSIONES.

1.- El clima que prevalece en la región es del tipo seco a semiseco estepario, con régimen de lluvias en verano y templado con verano cálido (BSwk). En los meses más lluviosos, de junio a septiembre, se presentan agüeros torrenciales de corta duración, los cuales poco favorecen a la infiltración.

2.- Las rocas que afloran en la región son metamórficas, sedimentarias e ígneas, las cuales tienen un rango estratigráfico que va desde el Triásico Superior hasta el Reciente.

3.- La geometría y estructura de las formaciones acuíferas es compleja y presenta variaciones tanto laterales como verticales.

4.- El presente estudio abarcó dos zonas geohidrológicas, la de La Blanca y la de Loreto. Los acuíferos principales de ambas zonas están constituidos por una alternancia de materiales granulares que varían de arcillas a gravas, por conglomerados y por tobas de composición riolítica.

En la parte central de La Blanca, existen depósitos lacustres y aluviales formados principalmente por arcillas y limos, sobre los cuales se encuentran las lagunas de El Tule, El Sapo y El Salado. Las rocas ígneas de composición basáltica, que se

localizan en el extremo nor-oriental del valle de La Blanca, llegan a constituir acuíferos "colgados". En las riolitas que se encuentran al occidente de G. Pánfilo Natera y al sureste de Loreto, también se forman acuíferos "colgados".

5.- De acuerdo a los análisis químicos interpretados, se considera que el agua dentro de las dos zonas geohidrológicas varía de neutra a ligeramente alcalina, con un pH promedio de 7.5 para La Blanca y de 7.3 para Loreto. Con respecto a la dureza, en general son aguas moderadamente blandas a duras.

Los sólidos totales disueltos (STD) varían de 306 a 1131 ppm, con un promedio de 588 ppm, en La Blanca; en Loreto, la variación es de 289 a 935 ppm, con un promedio de 474 ppm. Como la mayoría de los aprovechamientos no sobrepasan las 1000 ppm de STD, son aguas dulces. Casi todas las muestras cumplen con las normas de calidad establecidas para el consumo humano, el riego y para abrevadero.

6.- Para el año de 1990, en la zona de La Blanca existen 513 aprovechamientos, con un volumen de extracción de 28 millones de m³ anuales. En Loreto, en el mismo año, hay 724 aprovechamientos y tienen un volumen de extracción anual de 78 millones de m³, el cual es mucho mayor al de La Blanca. El agua subterránea en la región se utiliza principalmente para la agricultura.

7.- Las profundidades de los niveles estáticos en La Blanca varían de 70 m en la porción occidental hasta los 10 m en la

parte central del valle. En Loreto, las mayores profundidades de los niveles de agua son de 50 m y se encuentran en las sierras que bordean al valle; las menores profundidades están a 30 m y se ubican en la parte central.

8.- Las configuraciones del nivel estático en La Blanca, muestran que el flujo subterráneo converge hacia el oriente de Pánfilo Natera. En la zona de Loreto, el flujo se dirige hacia el centro del valle, específicamente al norte del poblado de Loreto. En estos lugares, se forman conos de depresión, donde esta concentrada la mayoría de las captaciones de agua subterránea.

9.- Debido a la severa explotación de los acuíferos, se tienen abatimientos que llegan hasta los 10 m al norte de G. Pánfilo Natera y al oriente de la laguna del Tule, para el período 1980-1989. En Loreto, para el período 1981-1990, los descensos de los niveles varían de 5 a 10 m en la porción central del valle.

10.- En La Blanca, en los lugares con mayor explotación de los acuíferos, han disminuído los abatimientos anuales promedio en los últimos años, de 1.1 m a 0.75 m, y en Loreto, aumentaron de 1.1 m a 2.0 m aproximadamente.

11.- De acuerdo a la interpretación de las pruebas de bombeo, y a las características litológicas que existen en los acuíferos, se deduce que la transmisividad en general varía en La Blanca de 0.3 a 1.1×10^{-3} m²/s y en Loreto de 0.4 a 4.0×10^{-3} m²/s. El

coeficiente de almacenamiento asignado, de acuerdo al tipo de acuífero y por la litología, en la zona de La Blanca fue de 0.01 y en Loreto de 0.10.

12.- Las entradas naturales de aguas subterráneas en La Blanca, se presentan en las porciones sur, occidental y noreste de la zona y en Loreto, provienen de los flancos oriental y occidental del valle. En ambas zonas, el bombeo representa la principal descarga de los acuíferos.

13.- Conforme a los balances de aguas subterráneas realizados en cada una de las zonas, se definen condiciones geohidrológicas de equilibrio para La Blanca y de sobreexplotación para Loreto.

VII.2.-RECOMENDACIONES.

1.- Proseguir con la observación sistemática de los niveles piezométricos, con una frecuencia de seis meses, para disponer de mayor información que permita conocer mejor el comportamiento de los acuíferos.

2.- Llevar a cabo pruebas de bombeo de larga duración que cuenten con pozos de observación, para determinar el coeficiente de almacenamiento de los acuíferos.

3.- Restringir la construcción de aprovechamientos de agua subterránea en ambas zonas, debido a las condiciones

geohidrológicas en que se encuentran, principalmente en la porción central del valle de Loreto, donde existe una gran concentración de pozos.

4.- Debido a la complejidad geológica del área estudiada, es necesario realizar nuevas exploraciones geofísicas para obtener un mejor conocimiento de la geometría de los acuíferos, principalmente en la porción sur y oriental del valle de La Blanca, donde se encuentra la falla normal regional.

5.- Es necesario continuar con obras de captación de las aguas superficiales, aunque los volúmenes sean escasos, para que los escurrimientos puedan recargar a los acuíferos y se evite la pérdida de estos volúmenes.

6.- Realizar análisis químicos más detallados que incluyan metales pesados, para determinar si hay contaminación de los acuíferos por la influencia de las actividades mineras que se llevan a cabo en la región.

BIBLIOGRAFIA.

- 1) Arvizú Lara, G. 1978. Geología General de la Hoja Concepción del Oro, Zac. Tesis Profesional, Fac. Ing. UNAM. México.
- 2) Bravo N., J. 1986. Geología del Yacimiento Real de Angeles, Zacatecas. Geología Económica de México, F.C.E. México.
- 3) Castañeda A., F. 1985. Geología Económica del Dto. Minero de Charcas, S.L.P. Geología Económica de México, F.C.E. México.
- 4) Custodio Llamas, E. 1976. Hidrología Subterránea. Edit. Omega S.A. 1a Edición. Tomos I y II. Barcelona.
- 5) Chávez Guillén, R. 1977. El Agua Subterránea en Relación con los Fenómenos que Integran el Ciclo Hidrológico. Bol. Soc. Geol. Mexicana. Tomo XXXVIII, No. 1. PP. 29-39. México.
- 6) Davis, S.N. y De Wiest, R. 1971. Hidrogeología. Edit. Ariel. 1a Edición. Barcelona.
- 7) Eguiluz de Antuñano, S. 1985. Posibilidades Petroleras en el Mar Mexicano. Revista Ingeniería Petrolera. Vol. 25, No. 8 PP. 39-62. México.
- 8) Enciclopedia de los Municipios de México. 1987. Los Municipios de Zacatecas.

- 9) García Calderón, J. 1974. Investigación Hidrogeológica de la Región del Cardito, Zacatecas. Tesis Doctoral, Fac. Ciencias UNAM. México.
- 10) González García, R. 1976. Bosquejo Geológico de la Zona Noreste. Asoc. Mex. Geol. Petroleros. México.
- 11) Lesser I., J. M. 1985. Hidrogeoquímica. División de Educación Continua, Fac. Ing. UNAM. México.
- 12) López Portillo, J. 1975. El Estado de Zacatecas. SPP. México.
- 13) Lugo Hubp, J. 1988. La Superficie de la Tierra, un vistazo a un mundo cambiante. S.E.P., F.C.E., Conacyt. México.
- 14) Mc. Dowell, F.W. 1981. The Igneous History of the Sierra Madre Occidental and its Relation to the Tectonic Evolution of Western Mexico. Inst. de Geol. UNAM. México.
- 15) Pearson, Mark F., 1988. Mineralogy, Fluid Characteristics and Silver Distribution at Real de Angeles, Zacatecas, Mexico. Economic Geology, Vol. 83. PP. 1737-1759. U.S.A.
- 16) Raiz, E. 1964. Provincias Fisiográficas de la República Mexicana.

17) S.A.R.H. 1974. Estudio Geohidrológico de la Zona de La Blanca, Estado de Zacatecas. México.

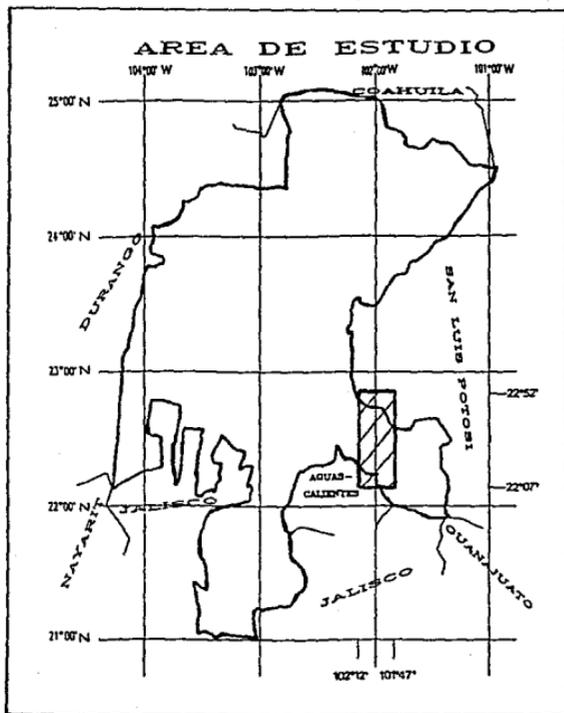
18) S.A.R.H. 1980. Actualización del Estudio Geohidrológico en el Valle de Loreto, en el Estado de Zacatecas. México.

19) S.A.R.H. 1985. Programa de Desarrollo Rural Integral del Estado de Zacatecas, 1985-1989. México.

20) Tinajero González, J. A. 1985. Aspectos Fundamentales en el Estudio del Agua Subterránea (Geohidrología). Fac. Ing. UNAM. México.

21) Toledo Bante, C. 1987. Estudio Geológico de las Cartas de Salinas Hidalgo, Espiritú Santo y Moctezuma en los Estados de San Luis Potosí y Zacatecas. Tesis profesional, Fac. Ing. UNAM. México.

ILUSTRACIONES



 AREA DE ESTUDIO

	<small> Facultad de Ciencias Universidad de Guanajuato Guanajuato, Gto. </small>	
TESIS PROFESIONAL		
AREA DE ESTUDIO		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993		
FIG. 1		

LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

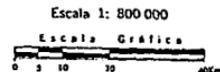


SIMBOLOS CONVENCIONALES

- CARRETERA --- FEDERAL, ESTATAL ---
- TERRACERIA - - - - -
- RIECA - - - - -
- FERROCARRIL - + + + + -
- ASENTAMIENTOS HUMANOS - - - - -
- LIMITE ESTATAL - - - - -



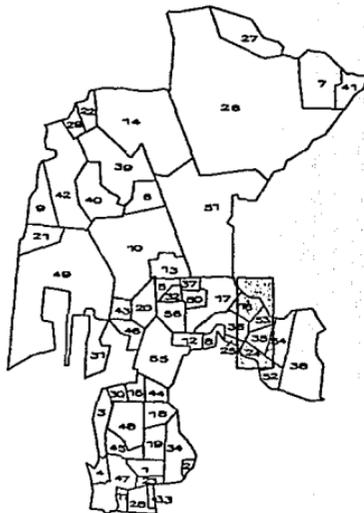
FIG. II.1



MUNICIPIOS DE ZACATECAS

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 APOCAL | 286 MARQUEZ |
| 2 APULCO | 301 MORALE |
| 3 ATOLMAN | 302 NORTE ESCOBEDO |
| 4 BENITO JUAREZ | 303 NORON |
| 5 CALERA | 304 NORONHA DE ESTRADA |
| 6 CARMONA DE PELAYO PISCARDON | 305 NORONHA DE MESA |
| 7 CONCEPCION DEL ORO | 306 NORONHA DE AMBLES |
| 8 COAHUILTECO | 307 OJOCALIENTE |
| 9 CHALCHIPUTEB | 308 PANICO |
| 10 FRESNILLO | 309 PARRIS |
| 11 GARCIA DE LA CARRERA | 310 PICO VERRAS |
| 12 GERARDO COCINA | 402 SAN ALTO |
| 13 GENERAL GONZALEZ ESTRADA | 410 SAUCILLA DE |
| 14 GENERAL FRANCISCO MURRAYA | 411 SOMBRERETE |
| 15 GENERAL JOSEPH AMARO | 412 SUSTIACAPAN |
| 16 GENERAL PUEBLO NUEVO | 413 TAMBICO |
| 17 GUADALUPE | 441 TEPICOTLAN |
| 18 GUANAJUATO | 442 TEPICOTLAN |
| 19 JALPA | 471 TEPICOTLAN |
| 20 JEREC | 480 TLAHERNANDO DE BARRON ROMAN |
| 21 JIMENEZ DEL TEJAL | 481 TLAHERNANDO |
| 22 JUAN ALDAMA | 500 VE INSURGENTES |
| 23 JUCUPILA | 510 VILLA DE COS |
| 24 LONTO | 511 VILLA GARCIA |
| 25 LUIS MOYA | 512 VILLA GONZALEZ CRISTINA |
| 26 MALPATE | 543 VILLA IGUALDO |
| 27 MELCHON OCHOA | 544 VILLAMERIN |
| 28 MELCHON DEL ORO | 647 ZACATECAS |

MUNICIPIOS



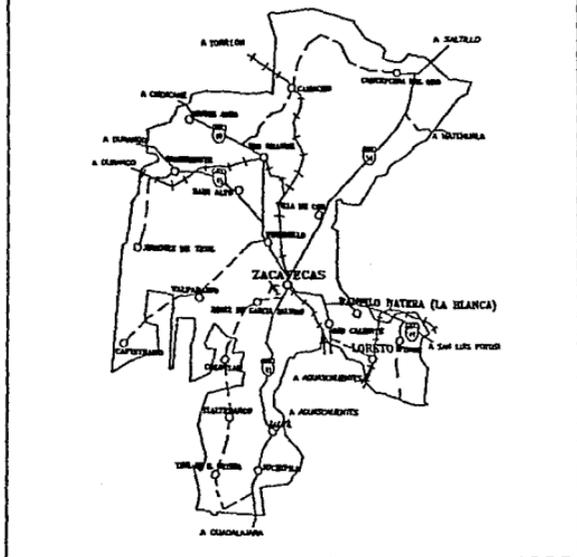
FUENTE:
El Estado de Zacatecas,
S. P. P. 1975.



AREA DE ESTUDIO

	Instituto Nacional de Estadística y Geografía Unidad de Estadística Municipal Dirección de Estadística Municipal	
FACILITADO POR		
TESIS PROFESIONAL		
MUNICIPIOS		
ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL		
1993		
FIC 112		

POBLACIONES Y COMUNICACIONES



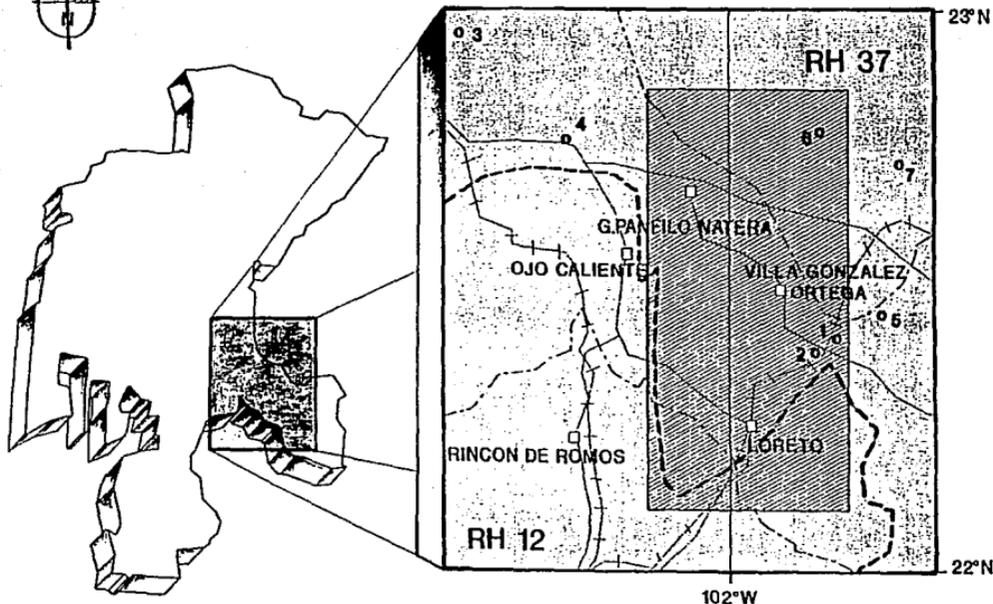
FUENTE:
El Estado de Zacatecas,
S.P.R. 1976.

SIMBOLOGIA

- CAPITAL DEL ESTADO
- POBLACIONES
- ✕ AEROPUERTO
- FERROCARRIL
- CARRETERAS
- - - TERRAZAS

	UNIVERSIDAD DE ZACATECAS INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ESTADÍSTICAS	
TESIS PROFESIONAL		
POBLACIONES Y COMUNICACIONES		
ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL		
1993	IIC-11-3	

REGIONES HIDROLOGICAS Y ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- CARRETERA --- FEDERAL, ESTATAL ---
 FERROCARRIL - - - - - +++++
 ASENTAMIENTOS HUMANOS - - - - - □
 LIMITE ESTATAL - - - - - - - - -

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.

- 1 EL RUSIO.
- 2 LA HONDA (G. VICTORIA).
- 3 SAN ANTONIO DEL CIPRES.
- 4 TRANCOSO.
- 5 VILLA HIDALGO.
- 6 RAMOS (VILLA DE).
- 7 REFORMA.

ESTACION CLIMATOLÓGICA
 LIMITE DE REGION HIDROLOGICA - - - - -
 AREA DE ESTUDIO - - - - -

Escala 1: 800 000

Escala Gráfica

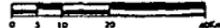
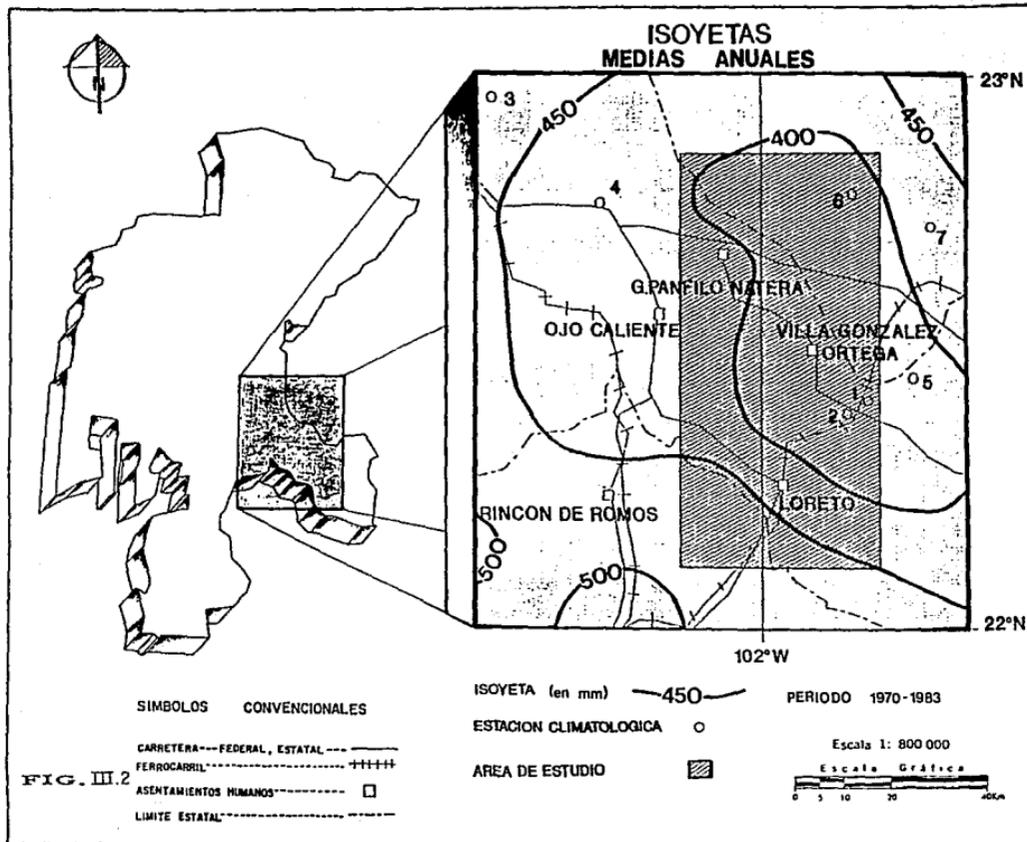
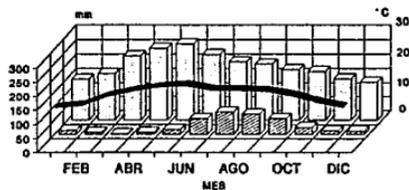


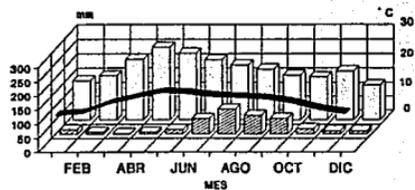
FIG. III.1



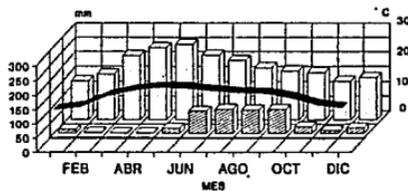
ESTACION EL RUSIO
PERIODO 1970-1983



ESTACION LA HONDA
PERIODO 1970-1983



ESTACION SAN ANTONIO DEL CIPRES
PERIODO 1970-1983



ESTACION TRANCOSO
PERIODO 1970-1983

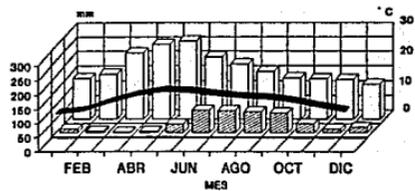
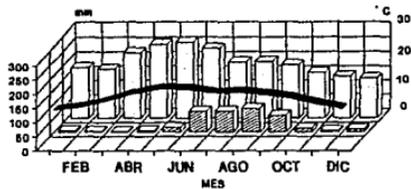
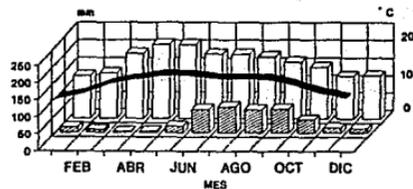


FIG. III. 3.1

ESTACION VILLA HIDALGO
PERIODO 1970-1983



ESTACION RAMOS
PERIODO 1970-1983



ESTACION REFORMA
PERIODO 1973-1983

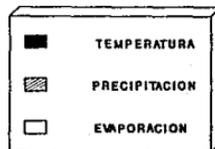
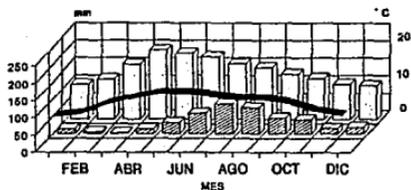
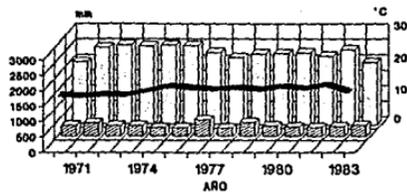
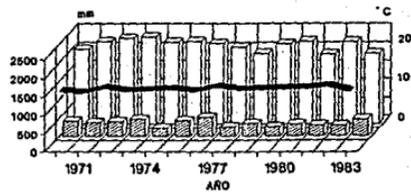


FIG. III.3.2

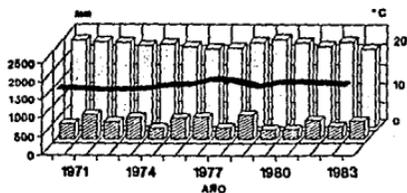
ESTACION EL RUSIO
PERIODO 1970-1983



ESTACION LA HONDA
PERIODO 1970-1983



ESTACION SAN ANTONIO DEL CIPRES
PERIODO 1970-1983



ESTACION TRANCOSO
PERIODO 1970-1983

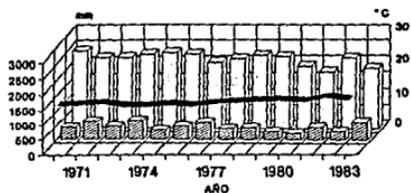
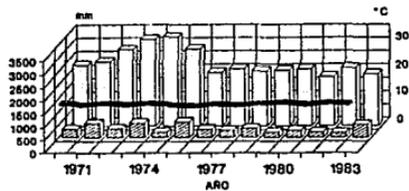
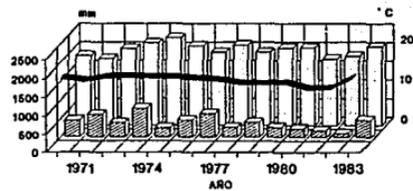


FIG. III.4.1

ESTACION VILLA HIDALGO
PERIODO 1970-1983



ESTACION RAMOS
PERIODO 1970-1983



ESTACION REFORMA
PERIODO 1973-1983

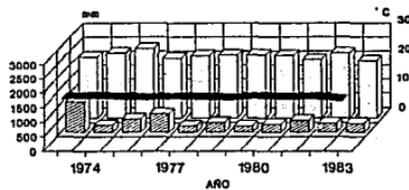


FIG. III. 4.2

CLIMAS



TIPOS DE CLIMAS

- 1.-CALIDO SUBHUMEDO
- 2.-SEMICALIDO SUBHUMEDO
- 3.-TEMPERADO SUBHUMEDO
- 4.-CALIDO SEMISECO
- 5.-SEMICALIDO SEMISECO
- 6.-TEMPERADO SEMISECO
- 7.-SEMICALIDO SECO



AREA DE ESTUDIO

FUENTE:
El Estado de Zacatecas,
S.P.P. 1975.

	INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSIDAD DE CALZAS FACULTAD DE CIENCIAS	
TESIS PROFESIONAL		
CLIMAS		
ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIC III. 5.	

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

ERA	PERIODO	EPOCA	1) DISTRITO DE CHARCAS S.L.P.					2) PROSPECTO SALINAS S.L.P.		3) SIERRA DE TEYRA ZAC.	4) CONCEPCION DEL ORO ZAC.	5) AREA DE ESTUDIO
			EDAD	1)	2)	3)	4)	5)				
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	
		PLEISTOCENO	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	ALLUVION CALICHE	
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRICHTIANO									
			CAMPANIANO									
			SANTONIANO									
			CONIACIANO		F. CARACOL				F. CARACOL	F. CARACOL		
			TURONIANO	F. INDIURA			F. INDIURA		F. INDIURA	F. INDIURA		
		CENOMANIANO		F. INDIURA								
		INFERIOR	SUPERIOR		F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA				
			MEDIO		F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA				
			INFERIOR									
			SUPERIOR	F. LA PERA			F. LA PERA		F. LA PERA	F. LA PERA		
INFERIOR			F. LA PERA									
JURASICO	INF. MED. SUP.	BARREMIANO	F. CUPIDO	F. TAMARIPAS INFERIOR		F. CUPIDO		F. CUPIDO	F. CUPIDO	F. CUPIDO		
		HAUTERIVIANO										
		VALANGINIANO	F. TARAISES	F. TARAISES		F. TARAISES		F. TARAISES	F. TARAISES	F. TARAISES		
		BERRIASIANO										
		TITHONIANO	F. LA CAJA	F. LA CAJA		F. LA CAJA		F. LA CAJA	F. LA CAJA	F. LA CAJA		
	INF. MED. SUP.	KIMMERIDGIANO										
		OXFORDIANO	F. ZULOAGA	F. ZULOAGA		F. ZULOAGA		F. ZULOAGA	F. ZULOAGA	F. ZULOAGA		
		CALLOVIANO	F. LA JOYA									
		BATHONIANO										
		BAJOCIANO										
TRIASICO	INF. MED. SUP.	TOARCIANO										
		PLEINSBACHIANO										
		SINEMURIANO										
		METTANGIANO										
		TRIASICO	F. ZACATECAS	F. NAZAS		F. ZACATECAS				F. ZACATECAS		
PERMICO	PERMICO											
	PENSILVANICO						F. COAPAS					

- 1) CASTAÑEDA A., 1985 4) TOLEDO B., 1987
 2) ARVIZU L., 1978 5) AREA DE ESTUDIO
 3) TOLEDO B., 1987

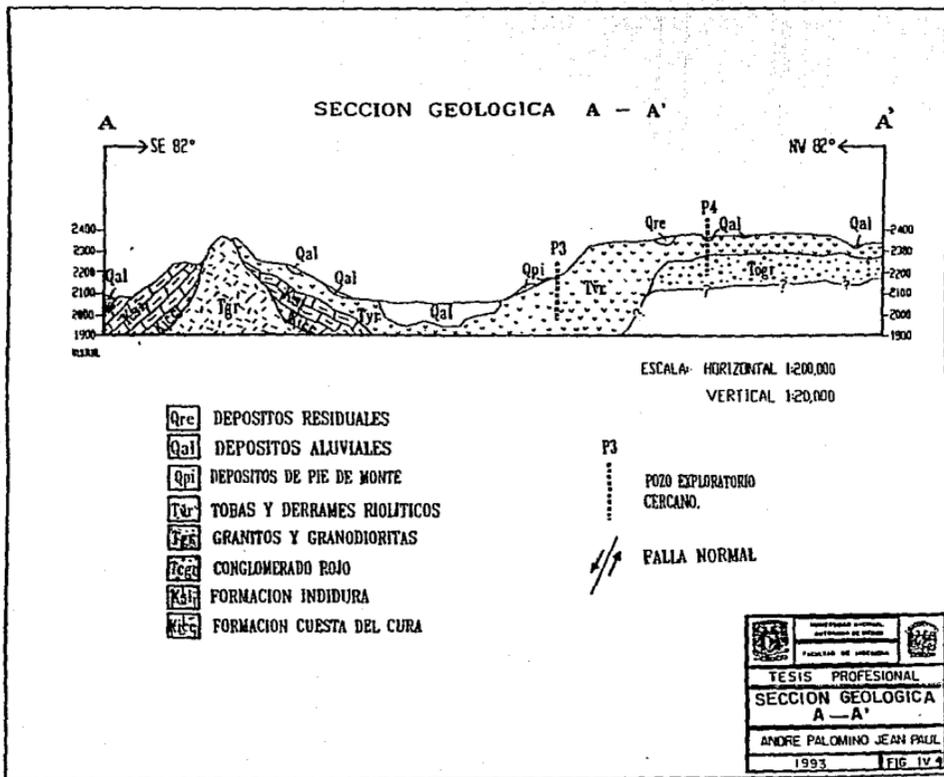


NO AFLORA

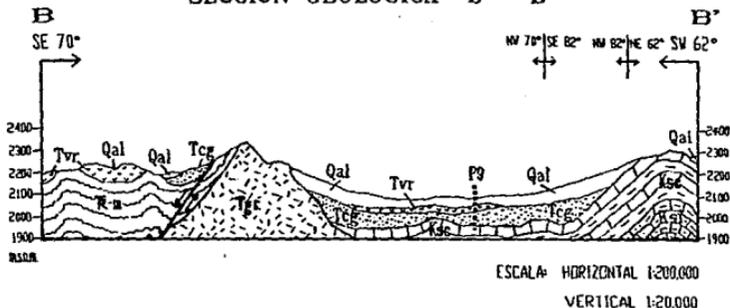


AUSENTE POR EROSION O NO DEPOSITO

FIG. IX.3



SECCION GEOLOGICA B - B'



- Qal** DEPOSITOS ALUVIALES
- Tvr** TOBAS Y DERRAMES RIOLITICOS
- Tcg** GRANITOS Y GRANODIORITAS
- Tca** FORMACION AHUICHILA
- Ase** FORMACION CARACOL
- Abi** FORMACION INDIURA
- Zac** FORMACION ZACATECAS

P9

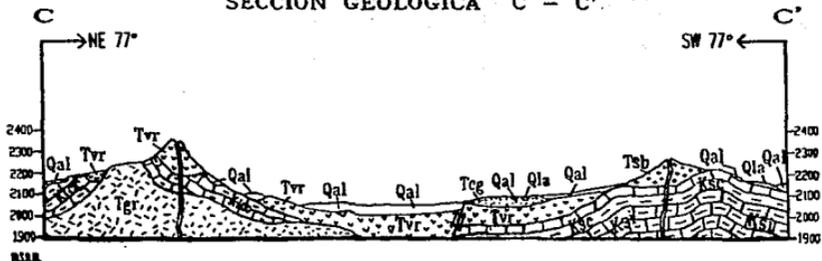
POZO EXPLORATORIO
CERCANO.



PALLA NORMAL

	Facultad de Ciencias	
TESIS PROFESIONAL		
SECCION GEOLOGICA B - B'		
ANDRE PALOMINO JEAN PALL		
1993	FIG. IV.3	

SECCION GEOLOGICA C - C'



ESCALA: HORIZONTAL 1:200,000

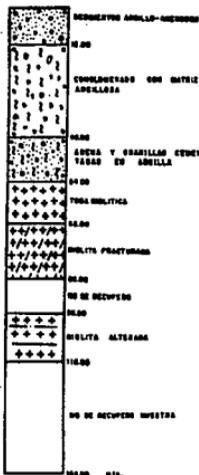
VERTICAL 1:20,000

- Qal** DEPOSITOS ALUVIALES
- Qla** DEPOSITOS LACUSTRES
- Tsb** TOBAS Y DERRAMES BASALTICOS
- Tvr** TOBAS Y DERRAMES RIOLITICOS
- Tcg** GRANITOS Y GRANODIORITAS
- Tcg** FORMACION AHUICHILA
- Tsc** FORMACION CARACOL
- Tsk** FORMACION INDIIDURA
- Tscg** FORMACION CUESTA DEL CURA

/// FALLA NORMAL

	UNIVERSIDAD NACIONAL INGENIERIA DE CHILE	
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
SECCION GEOLOGICA C - C'		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. IV.6	

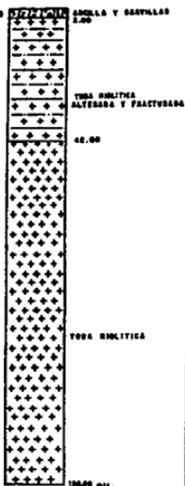
P1



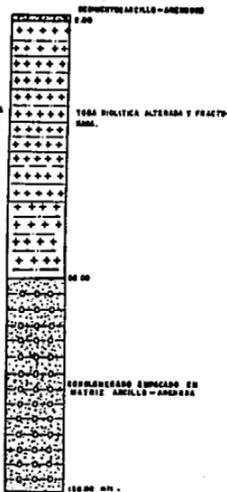
P2



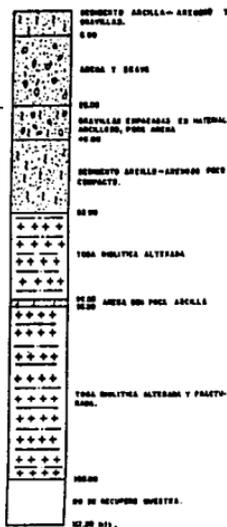
P3



P4



P7

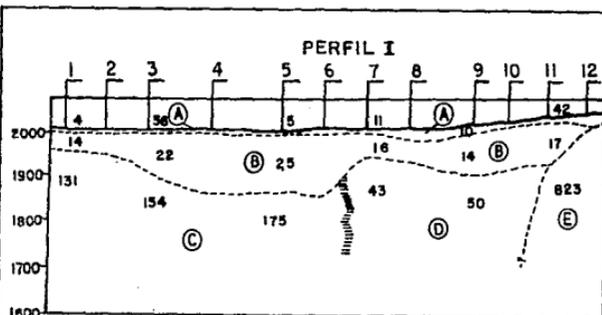


P9



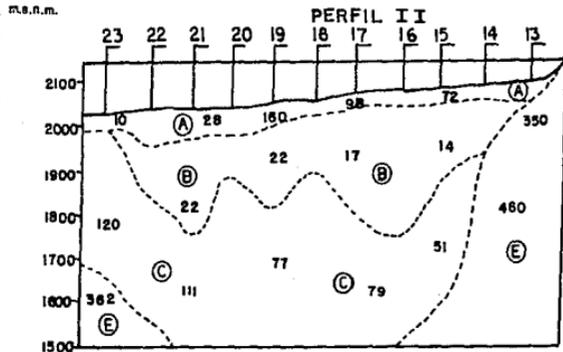
ESCALA VERTICAL: 1:1750

	UNIVERSIDAD BARRIOS AUTONOMA DE BOGOTA	
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
CORTES LITOLÓGICOS		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. IV.7	



LEYENDA

- Ⓐ RESISTIVIDAD VARIABLE ENTRE 4 Y 800 Ω-m DE CORRELACIONA CON DEPÓSITOS ALUVIALES, DE PIE DE MONTE Y MATERIALES VOLCÁNICOS, CON PERMEABILIDAD VARIABLE.
- Ⓑ RESISTIVIDAD ENTRE 1 Y 117 Ω-m DE CORRELACIONA CON MATERIALES GRANULARES CON PREDOMINIO DE AREOLLAS DE PERMEABILIDAD MEDIA A BAJA.
- Ⓒ RESISTIVIDAD ENTRE 57 Y 2000 Ω-m DE CORRELACIONA CON TOMBAS Y DERRAMES PIOLÍTICOS CON PERMEABILIDAD MEDIA.
- Ⓓ RESISTIVIDAD ENTRE 10 Y 66 Ω-m DE CORRELACIONA CON TORA PIOLÍTICA ALTERNADA Y FRACTURADA CON PERMEABILIDAD MEDIA.
- Ⓔ RESISTIVIDADES MAYORES A 100 Ω-m DE CORRELACIONA CON DERRAMES PIOLÍTICOS, IL RINERAS INTRUSIVAS Y CON IL METAMORFICAS DE BAJA PERMEABILIDAD.

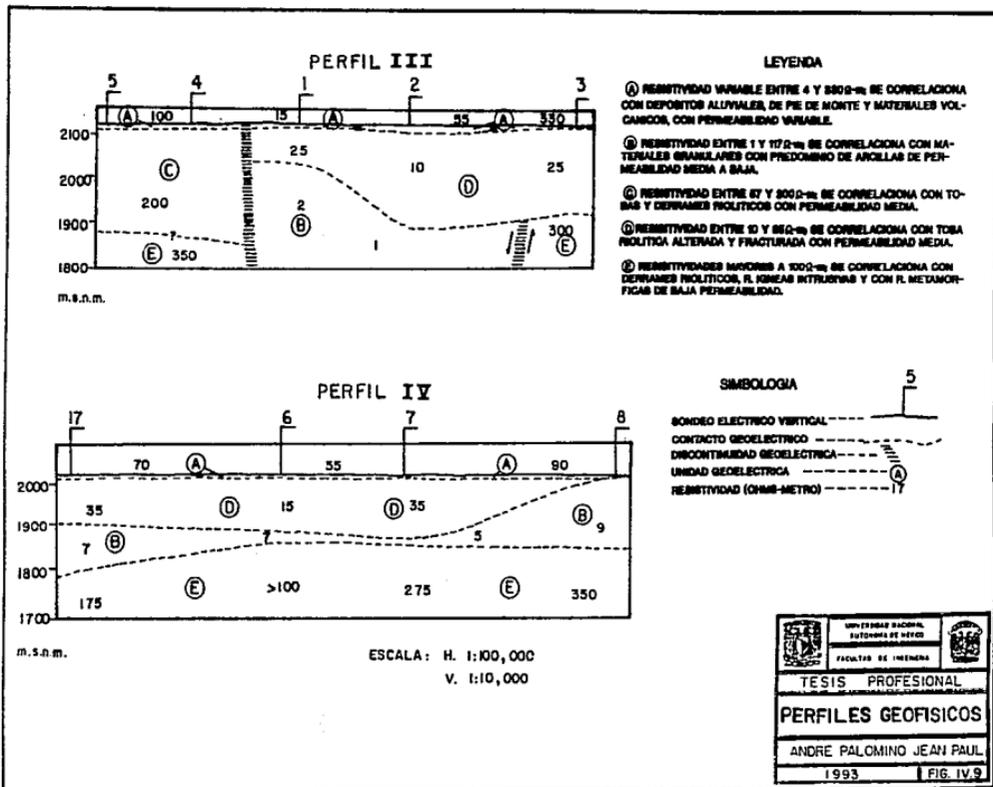


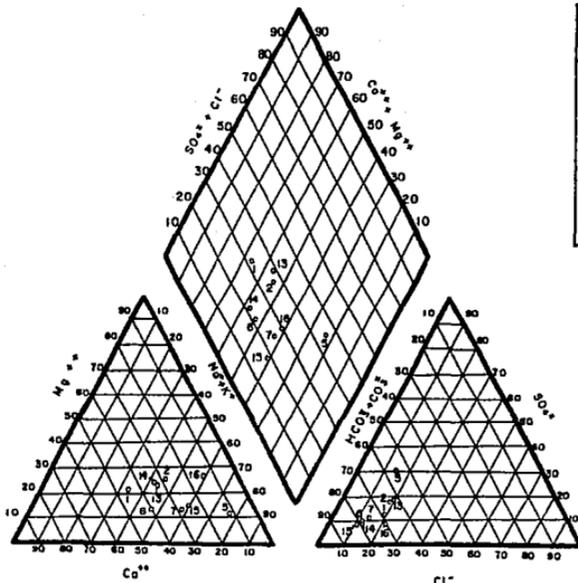
SIMBOLOGIA

- SONDEO ELECTRICO VERTICAL
- CONTACTO GEOELECTRICO
- DISCONTINUIDAD GEOELECTRICA
- UNIDAD GEOELECTRICA
- RESISTIVIDAD (OHM-METRO)

ESCALA : H. 1:100,000
V. 1:10,000

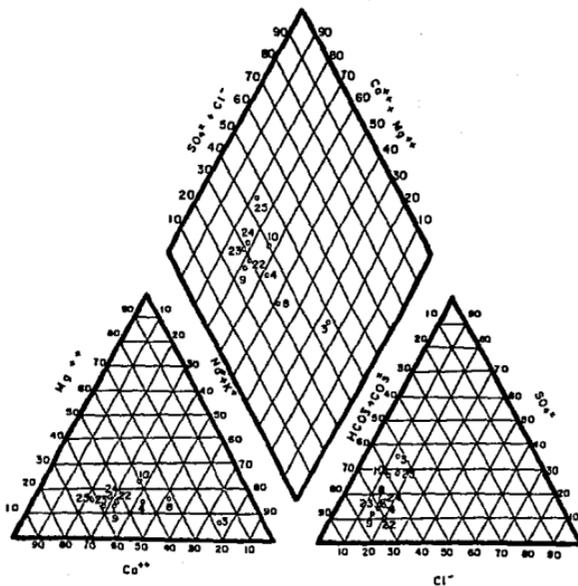
	UNIVERSIDAD NACIONAL de TUCUMÁN	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL		
PERFILES GEOFISICOS		
ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. IV.B	





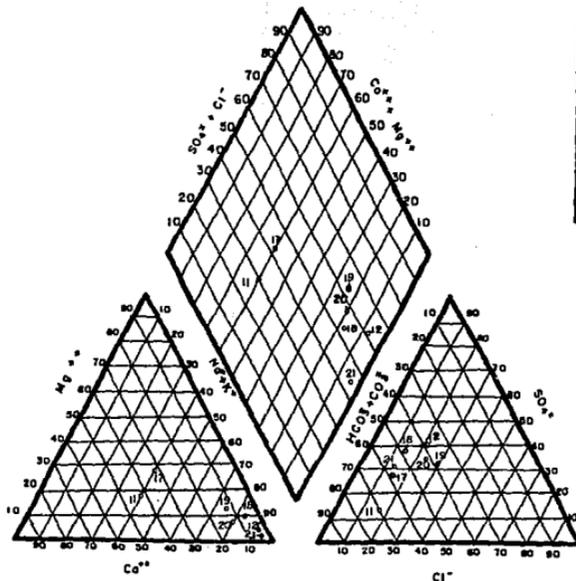
MUESTRA		CLASIFICACION
No.	APROV. No.	
1	32	MEZCLA CALCICA BICARBONATADA
2	35	MEZCLA SODICA BICARBONATADA
5	101	SODICA BICARBONATADA
6	106	MEZCLA SODICA BICARBONATADA
7	138	SODICA BICARBONATADA
13	161	MEZCLA SODICA BICARBONATADA
14	175	MEZCLA SODICA BICARBONATADA
15	179	SODICA BICARBONATADA
16	192	SODICA BICARBONATADA

	UNIVERSIDAD SANCARLOS, CATEDRAL DE CEBU Cebu, Iloilo de Negros	
TESIS PROFESIONAL		
DIAGRAMA DE PIPER		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. V.1	



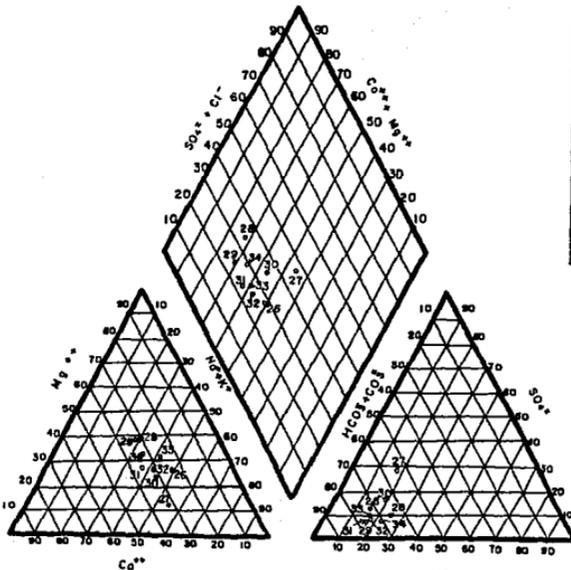
MUESTRA No.	ANOV. No.	CLASIFICACION
3	88	SODICA BICARBONATADA
4	94	NIXTA CALCICA BICARBONATADA
8	116	SODICA BICARBONATADA
9	121	CALCICA BICARBONATADA
10	128	NIXTA CALCICA BICARBONATADA
22	323	CALCICA BICARBONATADA
23	324	CALCICA BICARBONATADA
24	326	CALCICA BICARBONATADA
25	336	CALCICA BICARBONATADA

 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE AREQUIPA FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
DIAGRAMA DE PIPER		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993		FIG. V.2



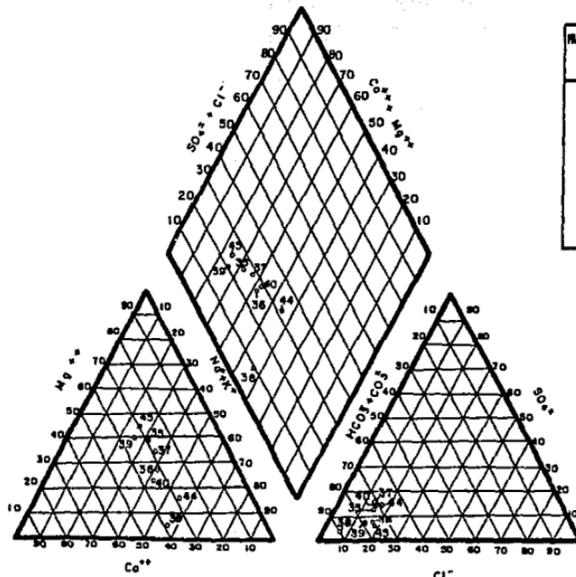
PRUEBA No.	APROV. No.	CLASIFICACION
11	141	NIXTA CALCICA BICARBONATADA
12	146	SODICA NIXTA
17	236	NIXTA SODICA BICARBONATADA
18	279	SODICA NIXTA BICARBONATADA
19	291	SODICA NIXTA
20	301	NIXTA SODICA BICARBONATADA
21	312	SODICA BICARBONATADA

	Universidad Nacional Facultad de Ciencias Ingenieros de Minas	
TESIS PROFESIONAL		
DIAGRAMA DE PIPER		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993		FIG. V. 3



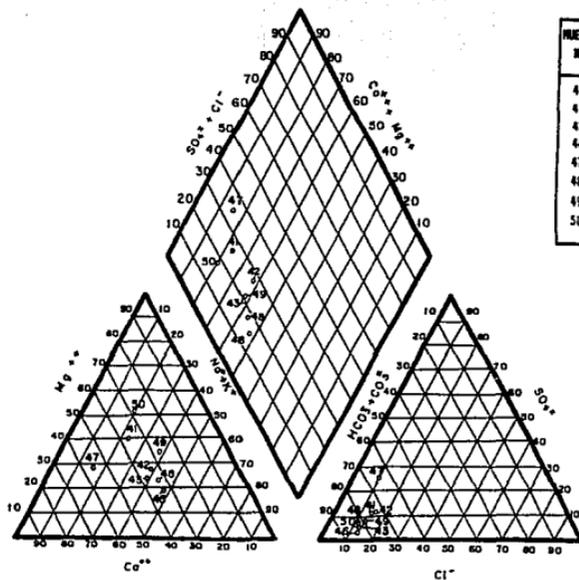
INSTR.	APROV.	CLASIFICACION
No.	No.	
26	357	NIIXTA SODICA BICARBONATADA
27	365	SODICA BICARBONATADA
28	394	NIIXTA BICARBONATADA
29	396	NIIXTA BICARBONATADA
30	404	NIIXTA SODICA BICARBONATADA
31	408	NIIXTA BICARBONATADA
32	422	NIIXTA SODICA BICARBONATADA
33	424	NIIXTA SODICA BICARBONATADA
34	449	NIIXTA BICARBONATADA

 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
DIAGRAMA DE PIPER	
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL	
1993	FIG. V. 4



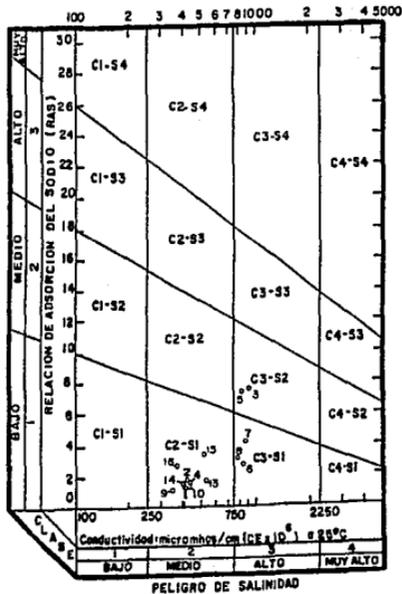
MUESTRA No.	APROV. No.	CLASIFICACION
35	442	NIXTA BICARBONATADA
36	524	NIXTA SODICA BICARBONATADA
37	533	NIXTA BICARBONATADA
38	558	SODICA BICARBONATADA
39	572	NIXTA BICARBONATADA
40	597	NIXTA SODICA BICARBONATADA
44	664	SODICA BICARBONATADA
45	732	NIXTA MAGNESICA BICARBONATADA

	UNIVERSIDAD NACIONAL de Ingenieros del Perú	
COLEGIO PROFESIONAL de Ingenieros del Perú		
TESIS PROFESIONAL		
DIAGRAMA DE PIPER		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. V. 5	



MUESTRA No.	APROB. No.	CLASIFICACION
41	620	MIXTA BICARBONATADA
42	623	MIXTA BICARBONATADA
43	624	MIXTA BICARBONATADA
46	764	MIXTA SODICA BICARBONATADA
47	795	CALCICA BICARBONATADA
48	816	MIXTA SODICA BICARBONATADA
49	886	MIXTA BICARBONATADA
50	908	MAGNESICA BICARBONATADA

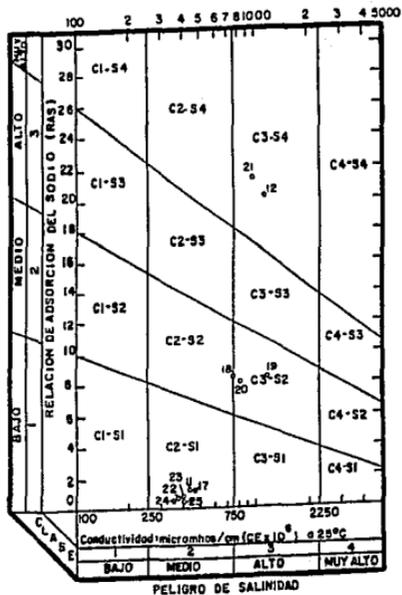
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA	
TESIS PROFESIONAL		
DIAGRAMA DE PIPER		
ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. V.6	



MUESTRA No.	APROV. No.	CLASIFICACION
1	32	C2 - S1
2	35	C2 - S1
3	88	C3 - S2
4	94	C2 - S1
5	101	C3 - S2
6	106	C3 - S1
7	108	C3 - S1
8	116	C3 - S1
9	121	C2 - S1
10	128	C2 - S1
13	161	C2 - S1
14	175	C2 - S1
15	179	C2 - S1
16	192	C2 - S1

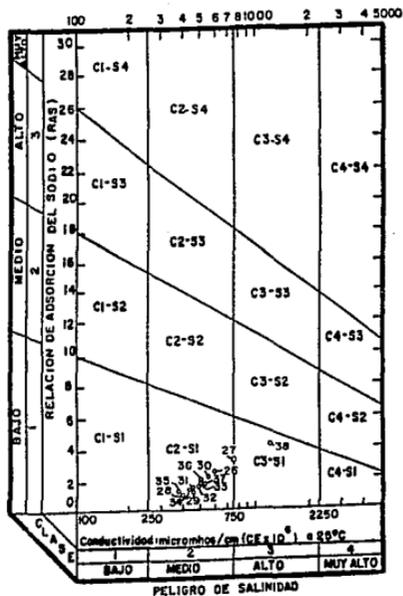


FIG. V. 7



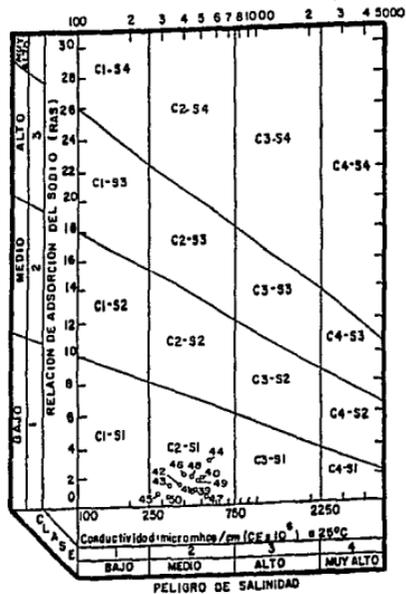
MUESTRA No.	APRON. No.	CLASIFICACION
11	141	C2 - S1
12	146	C3 - S4
17	236	C2 - S1
18	279	C3 - S2
19	291	C3 - S2
20	301	C3 - S2
21	312	C3 - S4
22	323	C2 - S1
23	324	C2 - S1
24	326	C2 - S1
25	336	C2 - S1

	UNIVERSIDAD NACIONAL del VALLE DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA		
TESIS PROFESIONAL		
DIAGRAMA DE WILCOX		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. V.8	



INVESTIGA No.	APROV. No.	CLASIFICACION
26	337	C2 - S1
27	345	C2 - S1
28	394	C2 - S1
29	396	C2 - S1
30	404	C2 - S1
31	400	C2 - S1
32	422	C2 - S1
33	424	C2 - S1
34	449	C2 - S1
35	462	C2 - S1
36	524	C2 - S1
37	533	C2 - S1
38	558	C3 - S1

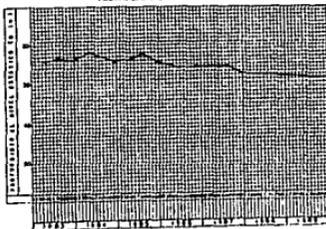
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHILE	
FACULTAD DE AGRONOMÍA		
TESIS PROFESIONAL		
DIAGRAMA DE WILCOX		
ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. V.9	



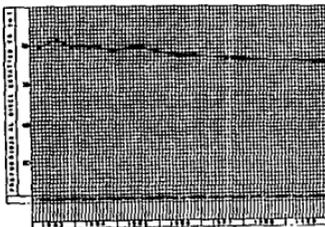
NUMERA No.	APROV. No.	CLASIFICACION
39	572	C2 - S1
40	597	C2 - S1
41	620	C2 - S1
42	623	C2 - S1
43	626	C2 - S1
44	664	C2 - S1
45	732	C2 - S1
46	764	C2 - S1
47	795	C2 - S1
48	816	C2 - S1
49	886	C2 - S1
50	908	C2 - S1



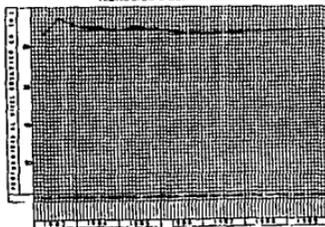
HIDROGRAFO DEL APROV. No. 48



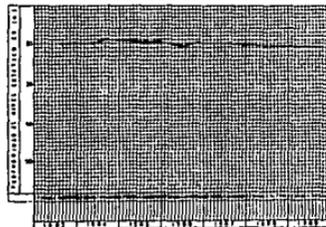
HIDROGRAFO DEL APROV. No. 185



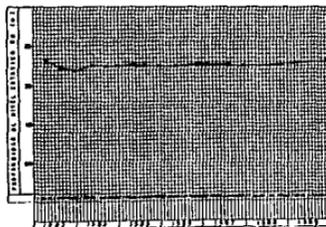
HIDROGRAFO DEL APROV. No. 229



HIDROGRAFO DEL APROV. No. 279

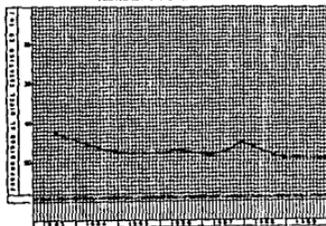


HIDROGRAFO DEL APROV. No. 245

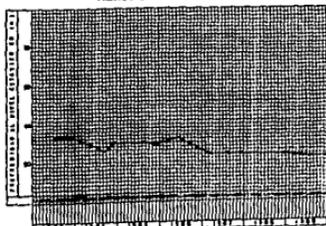


	UNIVERSIDAD NACIONAL de Ingenieros de Chile	
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
HIDROGRAFOS		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993	FIG. VI. 1	

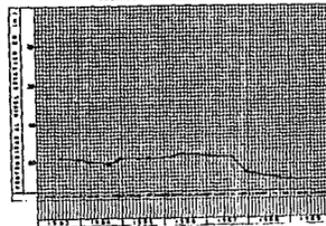
HIDROGRAFO DEL APROV. No. 366



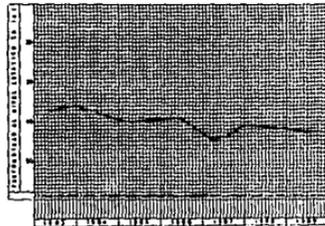
HIDROGRAFO DEL APROV. No. 406



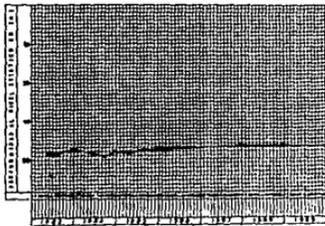
HIDROGRAFO DEL APROV. No. 424



HIDROGRAFO DEL APROV. No. 620



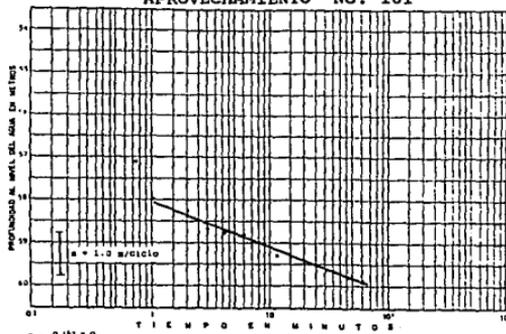
HIDROGRAFO DEL APROV. No. 732



	UNIVERSIDAD REPUBLICANA SISTEMA DE ASESORÍA	
	FACULTAD DE CIENCIAS	
TESIS PROFESIONAL		
HIDROGRAFOS		
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL		
1993		FIG. VI. 2

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL DEL AGUA (m)
0.00	53.00
0.25	54.10
0.50	55.25
0.75	57.10
1.00	58.20
2.00	58.25
3.00	58.65
4.00	58.72
6.00	58.78
8.00	59.00
12.00	59.33
15.00	59.37
30.00	59.48
45.00	59.60
60.00	59.90
90.00	60.00

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 101



$$T = \frac{0.181 \cdot Q^2}{m}$$

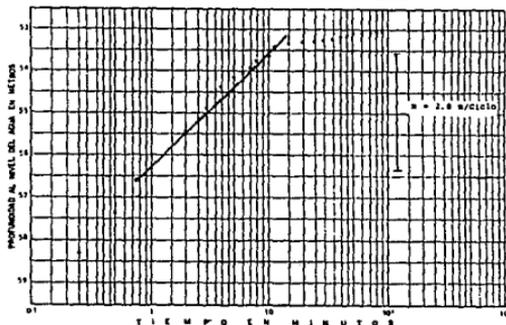
$$T = 10.58 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$C_u = 0.57 \text{ l.p.s./m}$$

ETAPA DE ABATIMIENTO

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL DEL AGUA (m)
0.00	40.00
2.25	50.20
0.50	57.41
0.75	56.63
1.00	56.30
2.00	55.48
3.00	54.98
4.00	54.40
6.00	54.03
8.00	53.76
12.00	53.43
15.00	53.37
30.00	53.20
45.00	53.08
60.00	53.04
90.00	53.02

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 101



$$T = \frac{0.181 \cdot Q^2}{m}$$

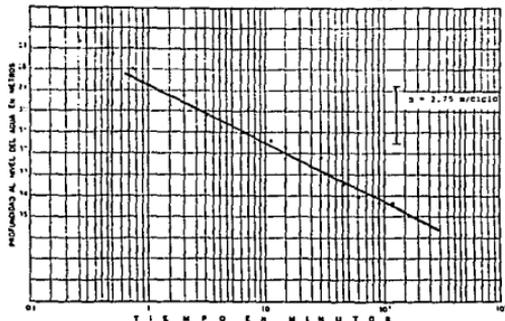
$$T = 3.92 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$$

ETAPA DE RECUPERACION

FIG. VI.3

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)
0 00	26.10
0 25	26.67
0 50	27.25
0 75	28.00
1 00	28.75
2 00	29.12
3 00	29.15
4 00	29.46
6 00	31.00
8 00	31.27
12 00	31.43
15 00	31.60
20 00	32.25
45 00	32.15
60 00	34.05
90 00	34.50
120 00	34.31

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 146



$$t = \frac{0.151 S}{Q}$$

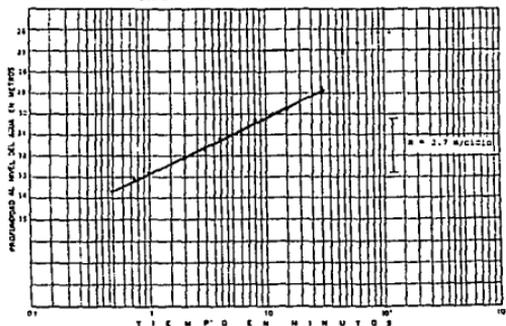
$$T = 1.06 \times 10^{-2} \frac{m^3}{seg}$$

$$Q_0 = 1.94 \text{ seg. } 1/m$$

ETAPA DE ABATIMIENTO

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)
0 00	34.31
0 25	34.00
0 50	33.75
0 75	33.12
1 00	32.00
2 00	32.10
3 00	31.75
4 00	31.22
6 00	31.00
8 00	30.25
12 00	30.00
15 00	29.75
20 00	29.45
45 00	27.12
60 00	26.66
90 00	26.15
120 00	26.15

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 146



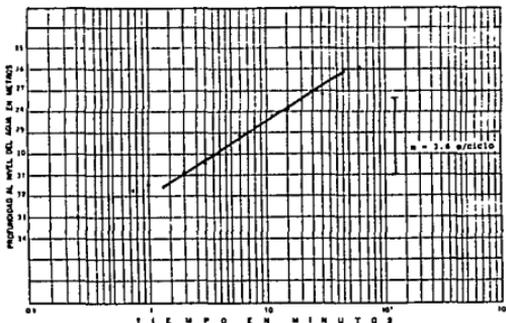
$$t = \frac{0.151 S}{Q}$$

$$T = 1.06 \times 10^{-2} \frac{m^3}{seg}$$

ETAPA DE RECUPERACION

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	33.70
0.25	32.97
0.50	32.18
0.75	31.74
1.00	31.43
2.00	30.97
3.00	30.40
4.00	29.82
6.00	29.15
9.00	28.67
12.00	28.17
15.00	27.93
20.00	27.11
35.00	26.82
60.00	25.98

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 279



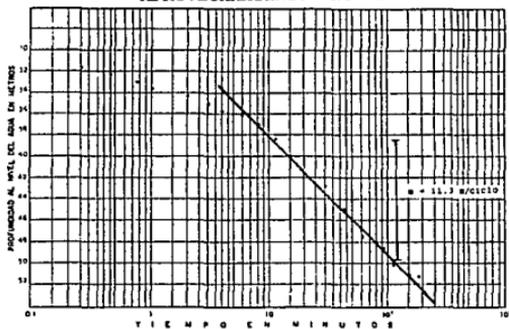
$$T = \frac{2.52 S}{a}$$

$$T = 0.61 \times 10^{-3} a^2 / \text{seg}$$

ETAPA DE RECUPERACION

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	31.30
0.25	31.25
0.50	32.21
0.75	33.00
1.00	33.63
2.00	34.22
3.00	35.00
4.00	35.72
6.00	36.10
8.00	37.05
12.00	38.50
15.00	40.00
20.00	43.00
35.00	45.10
60.00	47.54
90.00	48.50
120.00	50.23
150.00	51.10
180.00	51.20

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 295



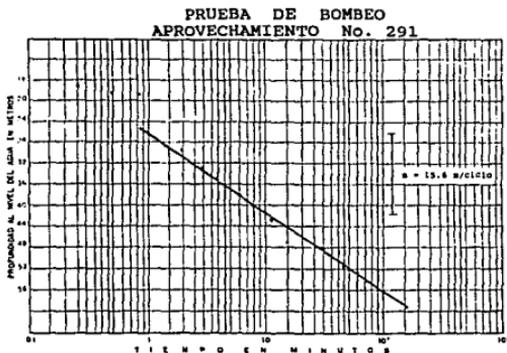
$$T = \frac{2.52 S}{a}$$

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

$$C_u = 1.3 \frac{a^2 \cdot \rho \cdot \mu}{k}$$

ETAPA DE ABATIMIENTO

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL DEL AGUA (m)
0.30	16.20
0.25	17.65
0.50	19.32
0.75	19.50
1.50	23.90
2.00	29.90
3.00	32.70
4.00	35.10
6.00	38.83
9.00	40.30
12.00	43.00
15.00	47.00
30.00	60.10
45.00	51.73
60.00	52.22



TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL DEL AGUA (m)
0.30	52.22
0.25	50.22
0.50	50.00
0.75	49.11
1.00	46.10
2.00	40.00
3.00	42.16
4.00	40.25
6.00	38.70
8.00	36.12
12.00	30.10
15.00	27.15
30.00	19.60
45.00	20.00
60.00	19.75
90.00	19.20

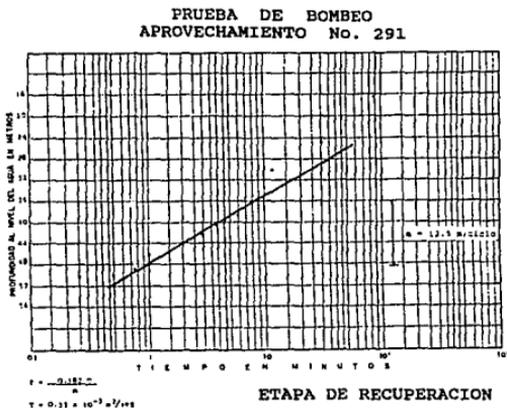
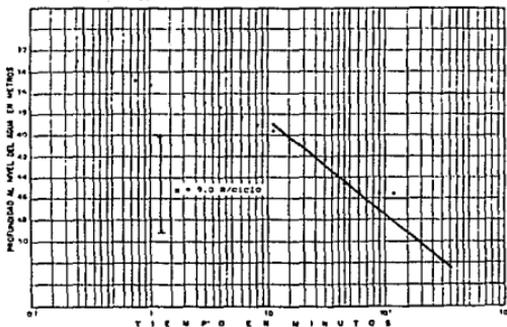


FIG. VI.6

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL DEL AGUA (m)
0.00	32.73
0.25	33.00
0.50	34.00
0.75	34.40
1.00	35.10
1.00	36.25
3.00	36.83
4.00	37.20
6.00	38.17
8.00	39.06
10.00	39.63
15.00	40.32
30.00	42.18
45.00	44.42
40.00	45.25
90.00	45.30
120.00	45.32

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 349



$$T = \frac{0.011 \cdot Q}{4}$$

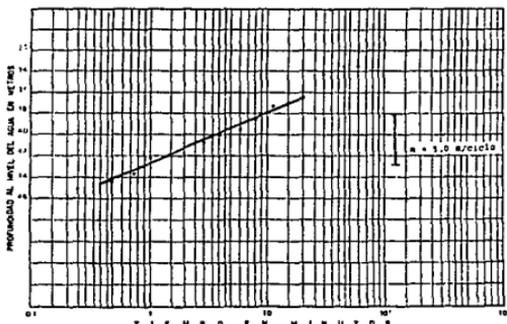
$$T = 0.45 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$T_s = 1.35 \text{ m}^2/\text{d}$$

ETAPA DE ABATIMIENTO

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 349

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL DEL AGUA (m)
0.20	45.32
0.25	45.00
3.50	44.30
0.75	43.70
1.20	42.27
2.00	41.00
3.20	40.70
4.00	40.00
6.00	39.43
8.20	38.45
12.00	37.23
15.00	37.00
30.00	34.10
45.30	33.53
60.00	33.48



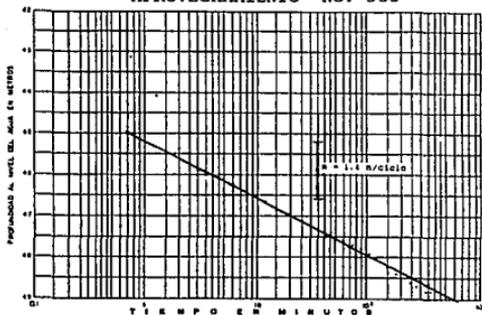
$$T = \frac{0.011 \cdot Q}{4}$$

$$T = 0.30 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$$

ETAPA DE RECUPERACION

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL DEL AGUA (m)
0 00	41.95
0 25	42 43
0 50	42 88
0 75	43 13
1 00	43 57
2 00	45 10
3 00	45 45
4 00	46 15
5 00	46 50
6 00	46 55
12 00	46 66
15 00	46 95
23 00	47 10
45 00	47 40
68 00	47 48
98 00	47 80
125 00	48 04
158 00	48 22
188 00	48 41
210 00	48 58
240 00	48 62
270 00	48 70
300 00	48 80
328 00	48 81
348 00	48 81

PRUEBA DE BOMBEO APROVECHAMIENTO No. 365

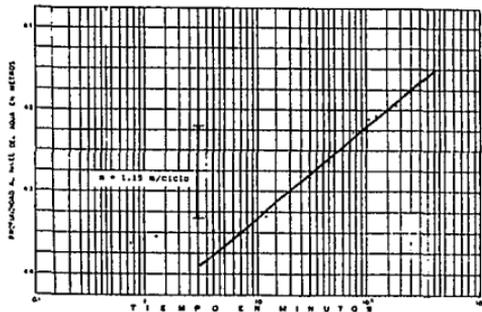


ETAPA DE ABATIMIENTO

$r = \frac{S \cdot MSL}{u}$
 $r = 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 1/200$
 $r = 2.25 \cdot 10^{-6}$

TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL DEL AGUA (m)
0 00	43.91
0 25	43.92
0 50	43 63
0 75	43 64
1 00	43 59
2 00	43 52
3 00	43 50
4 00	43 48
6 00	43 47
8 00	43 42
10 00	43 35
15 00	43 20
30 00	42 84
45 00	42 63
60 00	42 49
90 00	42 19
120 00	42 07
150 00	42 00
180 00	41 95

PRUEBA DE BOMBEO APROVECHAMIENTO No. 365



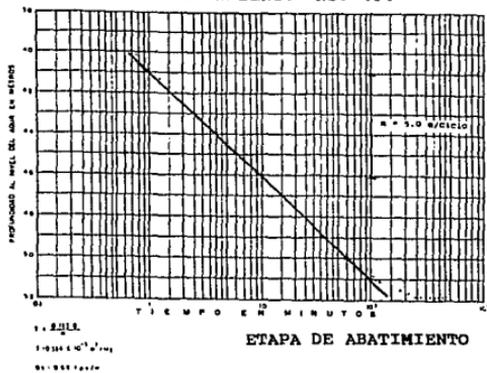
ETAPA DE RECUPERACION

$r = \frac{S \cdot MSL}{u}$
 $r = 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 1/200$

FIG. VI.8

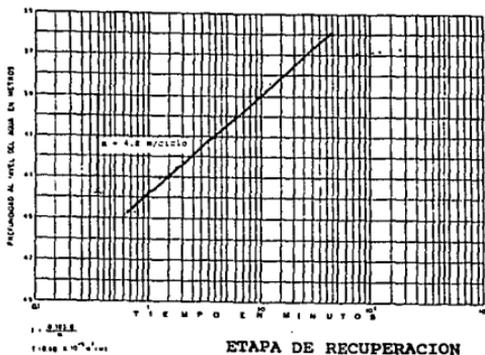
TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	36.42
0.25	38.45
0.50	39.57
0.75	40.15
1.00	40.90
2.00	42.24
3.00	43.44
4.00	44.23
4.30	45.42
9.00	46.14
12.00	47.30
15.00	47.45
30.00	48.75
45.00	49.48
48.00	49.49
90.00	50.55
120.00	51.15
150.00	51.32
190.00	51.49
210.00	51.66
240.00	51.80
270.00	51.91
300.00	51.90
330.00	51.92
360.00	51.91

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 404



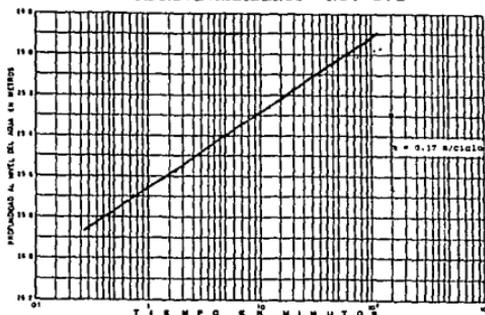
TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	51.70
0.25	48.66
0.50	46.42
0.75	44.66
1.00	43.68
2.00	42.33
3.00	41.58
4.00	40.54
4.30	39.89
9.00	39.32
12.00	38.56
15.00	37.80
30.00	37.00
45.00	37.24
60.00	37.11
90.00	36.91
120.00	36.91
150.00	36.79
180.00	36.70

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 404



TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS	PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL MAR (m)
0 00	37.48
0 25	25.99
0 50	25.79
0 75	25.69
1 00	25.45
2 00	25.33
3 00	25.49
4 00	25.43
6 00	25.26
8 00	25.21
10 00	25.26
15 00	25.22
30 00	25.10
45 00	25.05
60 00	25.03
90 00	24.99
120 00	24.97

PRUEBA DE BOMBEO APROVECHAMIENTO NO. 572

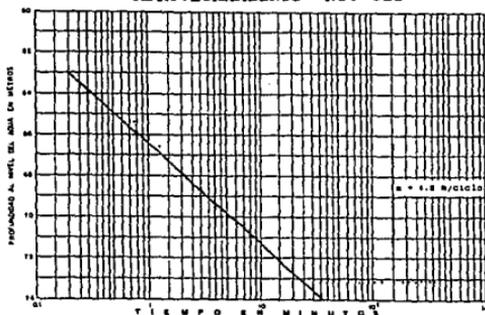


1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120.

ETAPA DE RECUPERACION

| TIEMPO ACUMULADO EN MINUTOS | PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL MAR (m) |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 0 00 | 50.59 |
| 0 25 | 48.09 |
| 0 50 | 43.56 |
| 0 75 | 45.39 |
| 1 00 | 46.82 |
| 2 00 | 48.02 |
| 3 00 | 48.75 |
| 4 00 | 49.50 |
| 4 00 | 70.35 |
| 8 00 | 70.93 |
| 12 00 | 71.64 |
| 15 00 | 72.20 |
| 30 00 | 72.80 |
| 45 00 | 73.15 |
| 60 00 | 73.23 |
| 90 00 | 73.10 |
| 120 00 | 73.16 |
| 150 00 | 73.16 |
| 180 00 | 73.16 |
| 210 00 | 73.15 |
| 240 00 | 73.16 |

PRUEBA DE BOMBEO APROVECHAMIENTO NO. 623

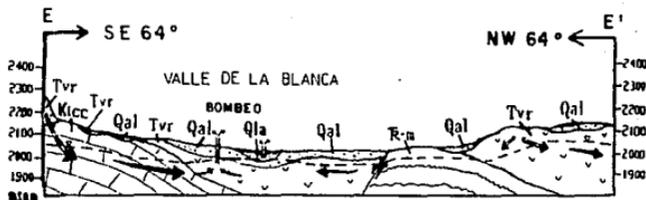


1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120.

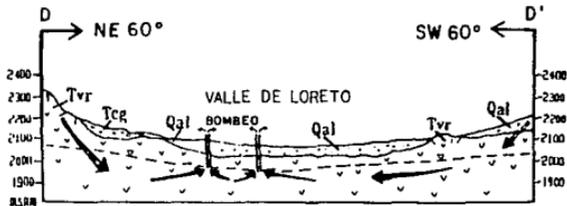
ETAPA DE ABATIMIENTO

FIG. VI.10

SECCION ESQUEMATICA E-E'



SECCION ESQUEMATICA D-D'



SIMBOLOGIA

- NIVEL ESTATICO
- FLUJO SUBTERRANEO
- APROVECHAMIENTO
- RECARGA

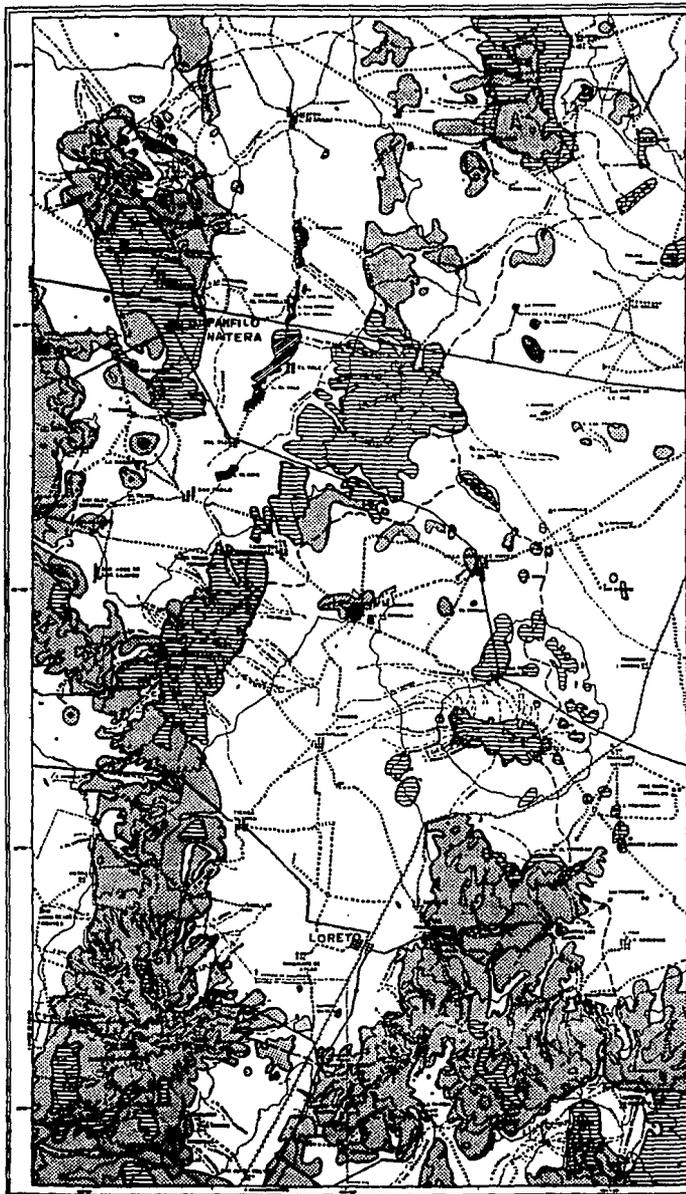
- Qal DEPOSITOS ALUVIALES
- Qla DEPOSITOS LACUSTRES
- Tvr TOBAS Y DERRAMES RIOLITICOS
- Tcg FORMACION AHUICHILA
- Kicc FORMACION CUESTA DEL CURA
- R-m FORMACION ZACATECAS

ESCALA: HORIZONTAL 1:200,000

VERTICAL 1:20,000

FALLA NORMAL

| | | |
|--------------------------|---|-----------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL ALTIPLANO DE AREQUIPA | |
| FACULTAD DE INGENIERIA | | |
| TESIS PROFESIONAL | | |
| SECCIONES | | |
| HIDROGEOLOGICAS | | |
| ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL | | |
| 1993 | | FIG. VIII |



LEYENDA

UNIDADES GEOHIDROLÓGICAS

U1 PERMEABILIDAD ALTA

INCLUYE:
DEPOSITOS ALUVIALES
Y DE PIE DE MONTE.

U2 PERMEABILIDAD MEDIA

INCLUYE A LAS FORMACIONES
TARMAS, CUPZO, C DEL CURA,
C ROJO, AMUCHILA, TORAS Y DE-
BRANES POLITICOS Y BARALTICOS.

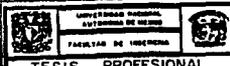
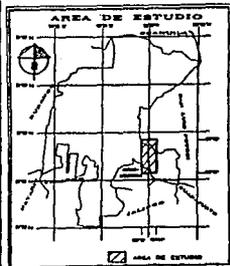
U3 PERMEABILIDAD BAJA

INCLUYE A LAS FORMACIONES
ZACRETCAS, LA CACA, INDIOURA,
CARACOL, DEPOSITOS LACUSTRES,
Y RESIDUALES, GRANITOS Y GRA-
NODIORITAS.

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

CARRERA: --- FEDERAL, ESTATAL ---
TERMINADA: ---
MEDIO: ---
FERROCARRIL: ---
ASENTAMIENTO HUMANO: --- 882
LÍMITE ESTATAL: ---
ARROYO: ---
CURVA DE NIVEL: ---
ALTIPLANAS: ---
LAGUNA, TARCOS: ---
PRESA, BARRIO: ---

KILÓMETROS
ESCALA ANFO: 1:300,000
EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 100 m



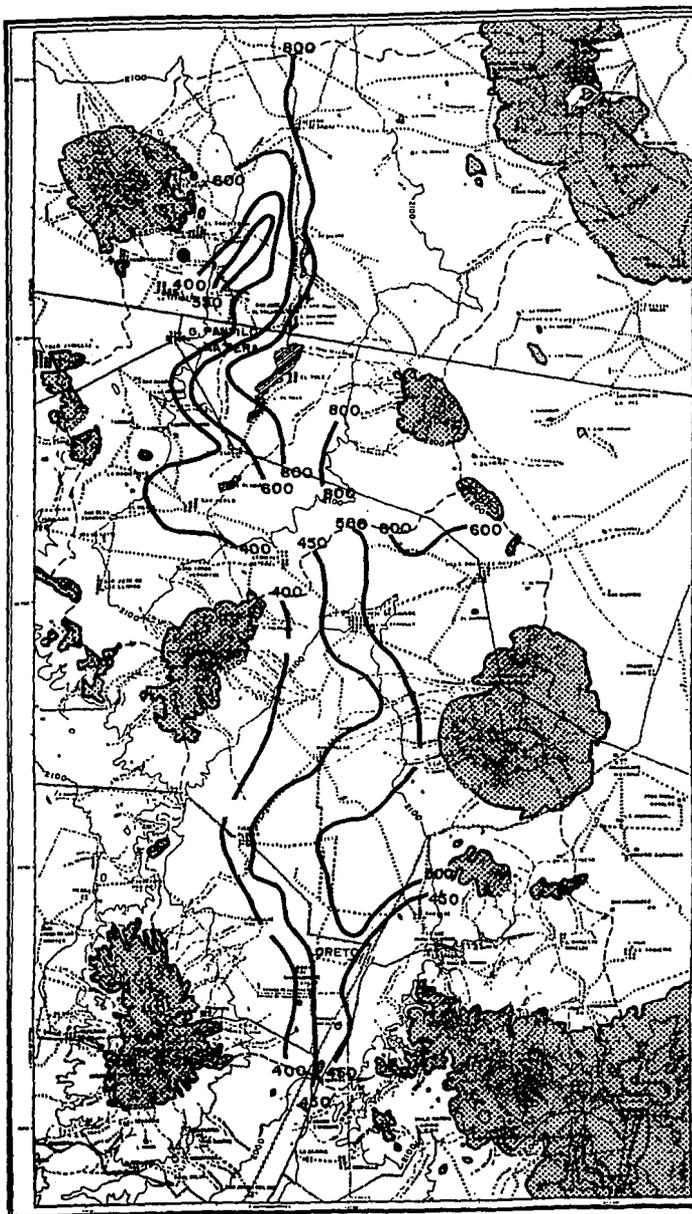
TESIS PROFESIONAL

PLANO GEOHIDROLÓGICO

ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL

1993

PLANO 2

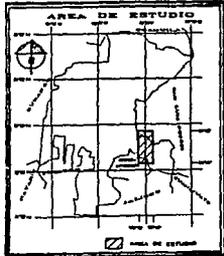
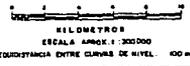


SÍMBOLOS CONVENCIONALES

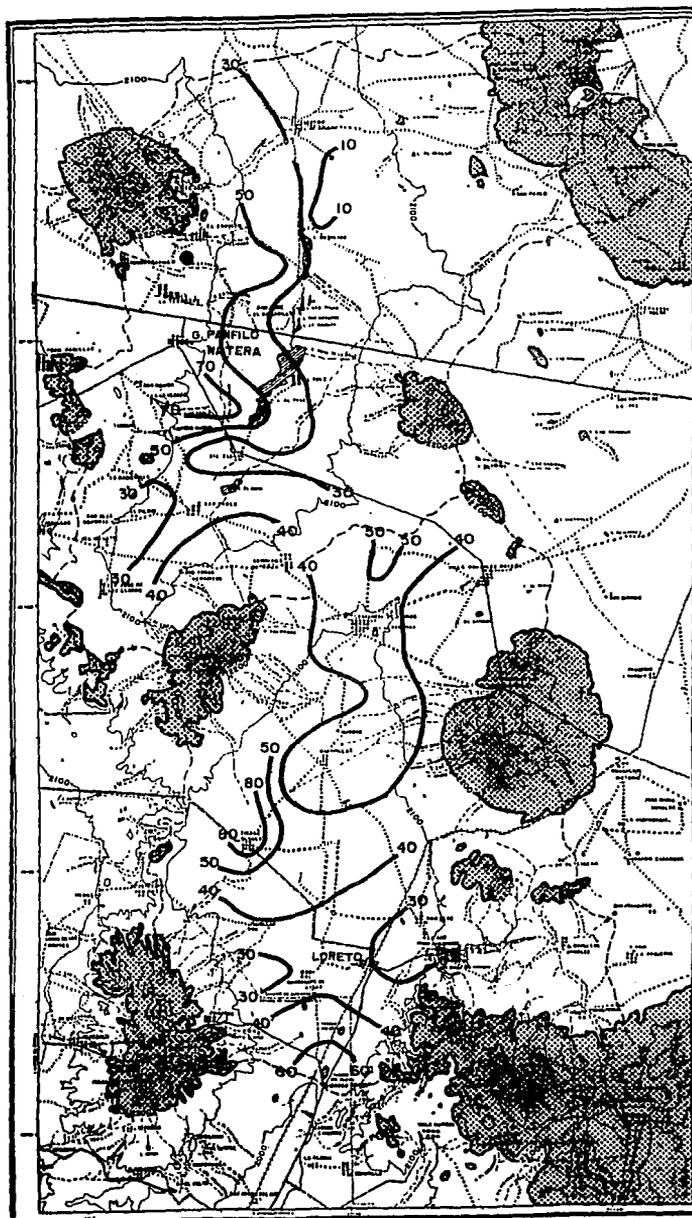
- CARRILES --- FEDERAL, ESTATAL ---
- TERRAZAS ---
- SECALA ---
- FERROCARRIL ---
- ANDEAN EN LOS PARAGUAS ---
- LIMITE ESTATAL ---
- AMBITO ---
- CURVA DE NIVEL ---
- NUMEROS ---
- LUMINA, LUMBO ---
- PIEZA, SOMBO ---

- ZONA ACUIFERA
- ZONA MONTAÑOSA

CURVA DE IGUAL
CONTENIDO DE
STD (PPM) 20



| | |
|--|--|
| INSTITUCIÓN EDUCATIVA
FACULTAD DE INGENIERIA | UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO
FACULTAD DE INGENIERIA |
| TESIS PROFESIONAL
SOLIDOS TOTALES
DISUELTOS (STD) | |
| ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL | |
| 1993 | Página 4 |



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

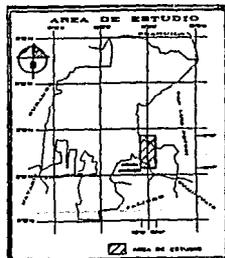
- LÍNEAS DE PERAL, ESTEAL
- PERALCERA
- MECANAS
- PERDÓNAMEN
- ALIMENTACIÓN HUMANA
- LÍMITE ESTATAL
- ARROYO
- CURVA DE NIVEL
- PARQUEAR
- LINIA, TALLE
- AREA, VENTA

- ZONA ACUIFERA
- ZONA MONTAÑOSA

- CURVA DE IGUAL
CONTENIDO DE
Ca⁺⁺ (PPM)

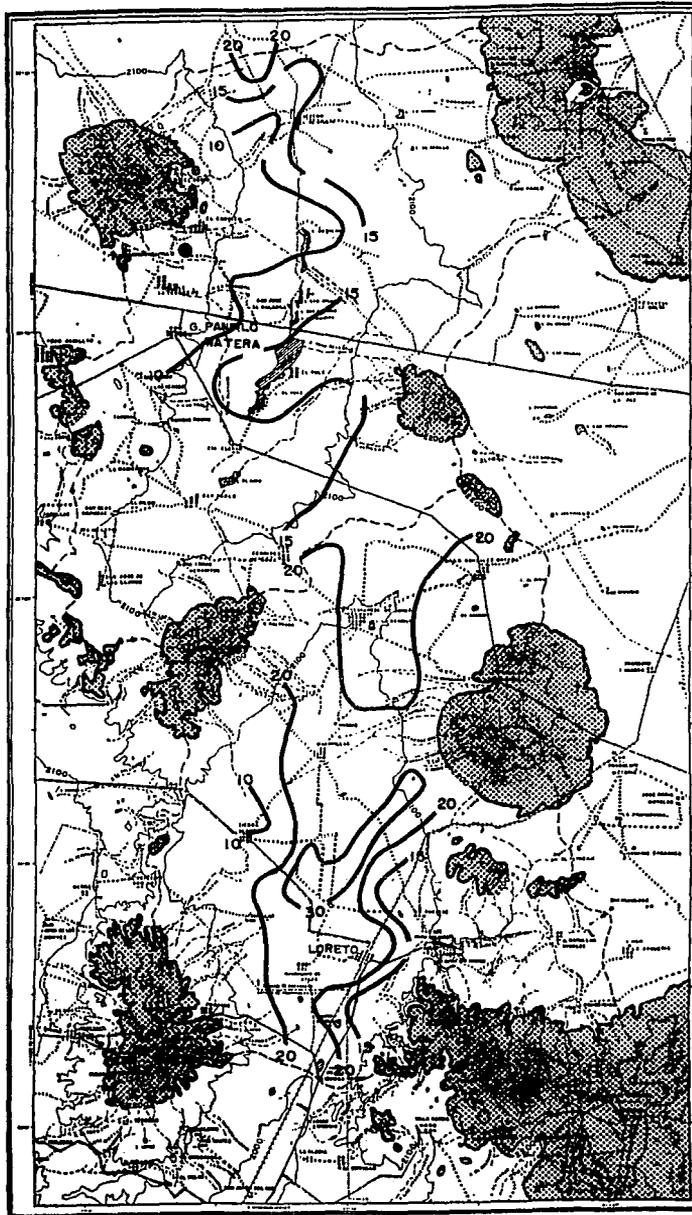


KILOMETROS
ESCALA AMPL: 1:50000
EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 100 m



| | | |
|------------------------|--|--|
| | Universidad Boliviana
del Estado de ORURO | |
| FACULTAD DE INGENIERIA | | |

TESIS PROFESIONAL
CURVAS DE IGUAL
CONTENIDO DE Ca⁺⁺
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

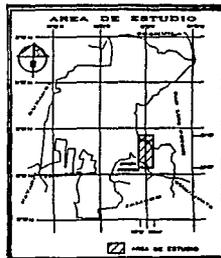
- CAMPESINA --- FEDERAL, ESTATAL ---
- FERRALLERA ---
- BUENA ---
- PROGAMAL ---
- ASENTAMIENTOS INDIANOS ---
- LIMITE ESTATAL ---
- ADRIANO ---
- CURVA DE NIVEL ---
- POZOS MINEROS ---
- LARANA, TAMBOR ---
- PRESA, BARRIO ---

- ZONA ACUIFERA
- ZONA MONTAÑOSA

CURVA DE IGUAL
CONTENIDO DE
Mg⁺⁺ (PPM)



KILOMETROS
ESCALA: 1:100,000
EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 100 m



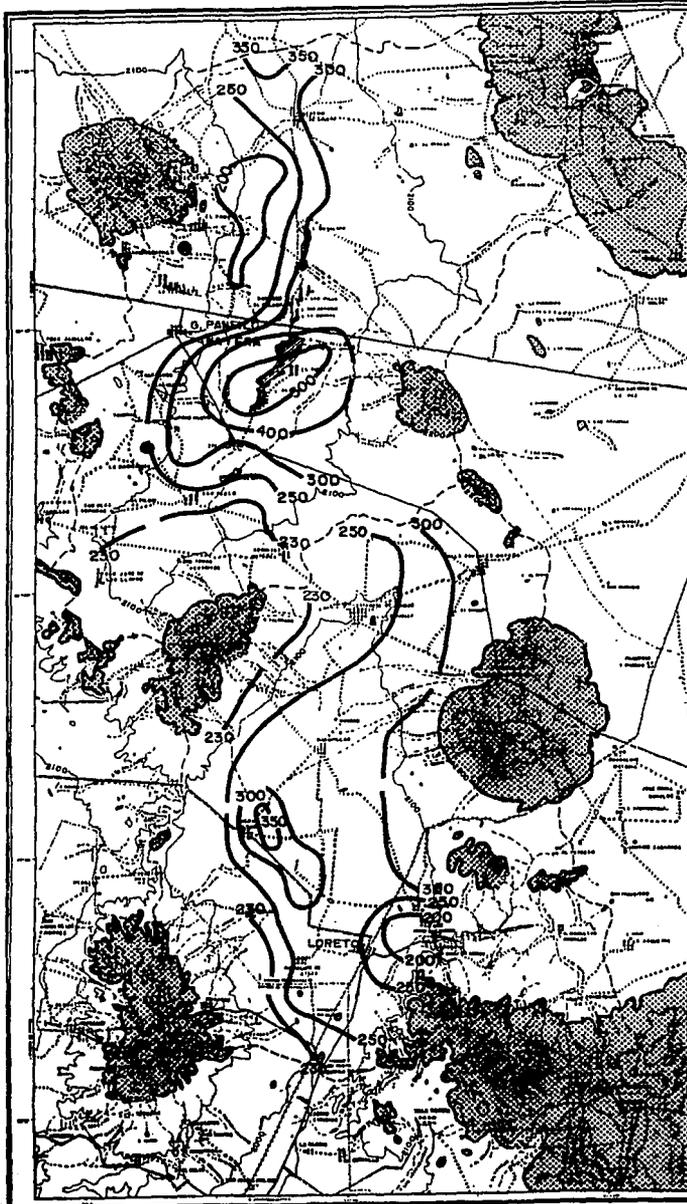
UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL ALTIPLANO DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERIA



TESIS PROFESIONAL
**CURVAS DE IGUAL
CONTENIDO DE Mg⁺⁺**
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL

1993

PLANO 8



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

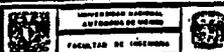
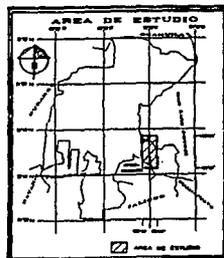
- SANITARIA --- FEDERAL, ESTATAL ---
- TERMINADA ---
- MECANA ---
- PERIÓDICO ---
- ARRETILO ---
- LÍMITE ESTATAL ---
- ARROYO ---
- CANAL DE RÍVEG ---
- PAVIMENTADO ---
- LINIA, FANQUE ---
- PIEZA, MONO ---

- ZONA ACUÍFERA
- ZONA MONTAÑOSA

CURVA DE IGUAL
CONTENIDO DE
HCO₃⁻ (PPM)



KILOMETROS
ESCALA ANTES 1:300 000
EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 100 m



TESIS PROFESIONAL
CURVAS DE IGUAL
CONTENIDO DE HCO₃⁻
ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL



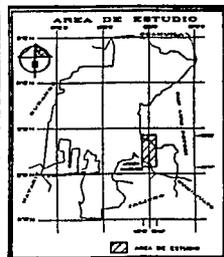
SÍMBOLOS CONVENCIONALES

CARRERA --- FEDERAL, ESTATA
TERMINAL ---
FERROCARRIL ---
ACOTAMIENTO ---
LÍMITE ESTATA ---
ARROYO ---
CURVA DE NIVEL ---
PAPELERA ---
LAGUNA, TANQUE ---
PREGA, ORO ---

ZONA ACUÍFERA 
ZONA MONTAÑOSA 

CURVA DE IGUAL
CONTENIDO DE
Cl⁻ (PPM) 

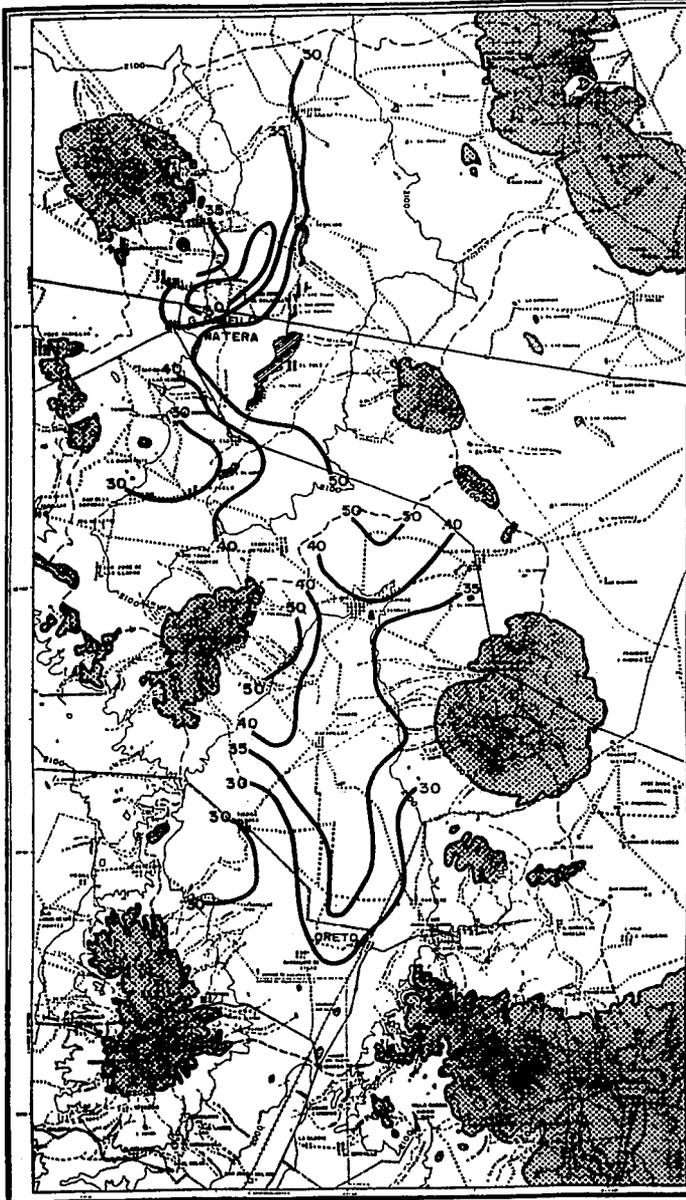

KILOMETROS
ESCALA APROX 1:30000
CORRECCIÓN ENTRE CURVAS DE NIVEL: 100

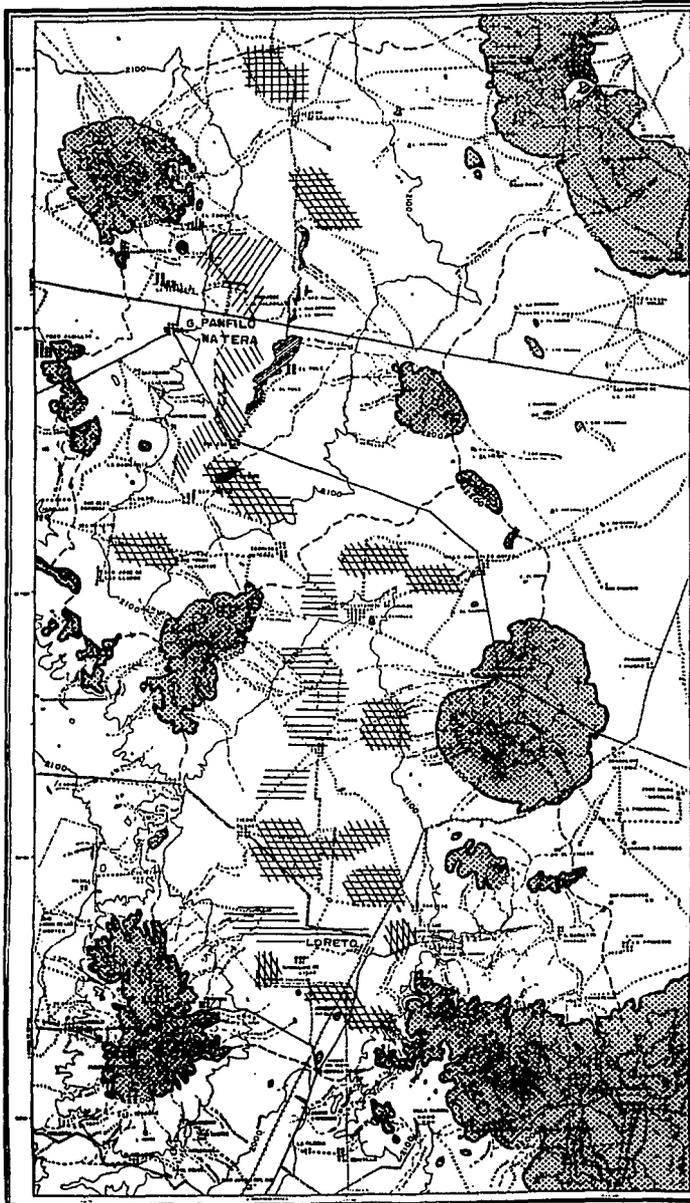


 UNIVERSIDAD NACIONAL
ESTADÍSTICA DE SUR
FACULTAD DE INGENIERIA 

TESIS PROFESIONAL
**CURVAS DE IGUAL
CONTENIDO DE Cl⁻**
ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL

[993] [PLAN 9]





SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- CARRERAS: FEDERAL, ESTATAL, - - - - -
- TERMINACIONES: - - - - -
- MEJORA: - - - - -
- PERFORACIONES: - - - - -
- ASENTAMIENTOS: - - - - -
- LÍMITE ESTATAL: - - - - -
- AMBITO: - - - - -
- CURVA DE NIVEL: - - - - -
- PARTE AGUA: - - - - -
- LADRILLA, TABIQUE: - - - - -
- PEDRA, BARRIO: - - - - -

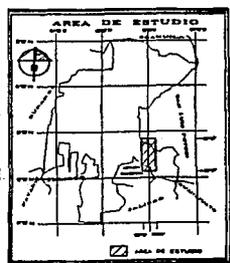
- ZONA ACUÍFERA: □
- ZONA MONTAÑOSA: ▣

FAMILIAS DE AGUA

- MIXTA SODICA BICARBONATADA
- ===== MIXTA MAGNÉSICA BICARBONATADA
- ===== SODICA MIXTA BICARBONATADA
- ===== SODICA BICARBONATADA
- ===== CALCICA BICARBONATADA



ESCALA APROX. 1:800000
EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 100 M.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS PROFESIONAL

FAMILIAS DE AGUA

ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL

1893
PLANO II



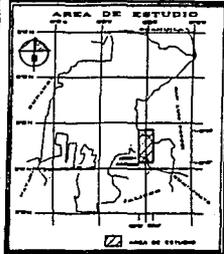
SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- CARRETERA FEDERAL, ESTATAL
- TERRACERA
- SEÑAL
- FERROCARRIL
- AYUNTAMIENTO (MUNICIPIO)
- LÍMITE ESTADAL
- ARROYO
- CURVA DE NIVEL
- PANTEÓN
- LARVA, TANQUE
- PRESA, BARRIO
- POZO PILOTO
- NORIA PILOTO
- ZONA ACUFERA
- ZONA MONTAÑOSA
- CURVA DE NIVEL ELEVACION DEL NIVEL ESTADICO

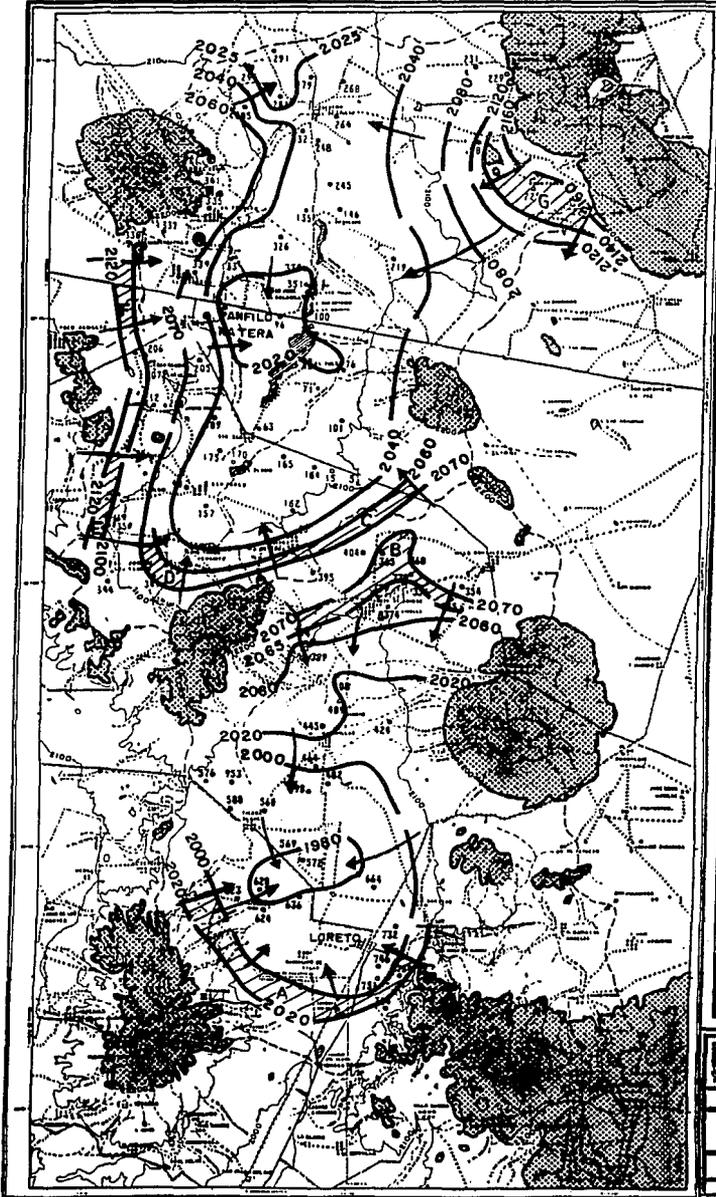
CANAL DE ENTRADA

FLUJO SUBTERRANEO

KILOMETROS
 ESCALA AMPLIADA 1:300000
 CORDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL 100 m



| | |
|--|----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA | |
| TESIS PROFESIONAL
ELEVACION DEL NIVEL ESTADICO | |
| ANDRE PALOMINO JEAN PAUL | |
| 1993 | PLANO 13 |



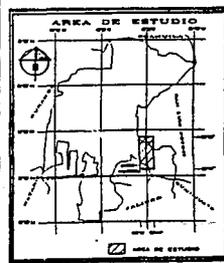


SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- CAMINEROS --- FEDERAL, ESTATAI
- FERROVIARIOS
- AEROPUERTOS
- LIMITE ESTATAI
- CURVA DE NIVEL
- LAGUNA, TANQUE
- POZO PILOTO
- NORIA PILOTO
- ZONA ACUIFERA
- ZONA MONTAÑOSA

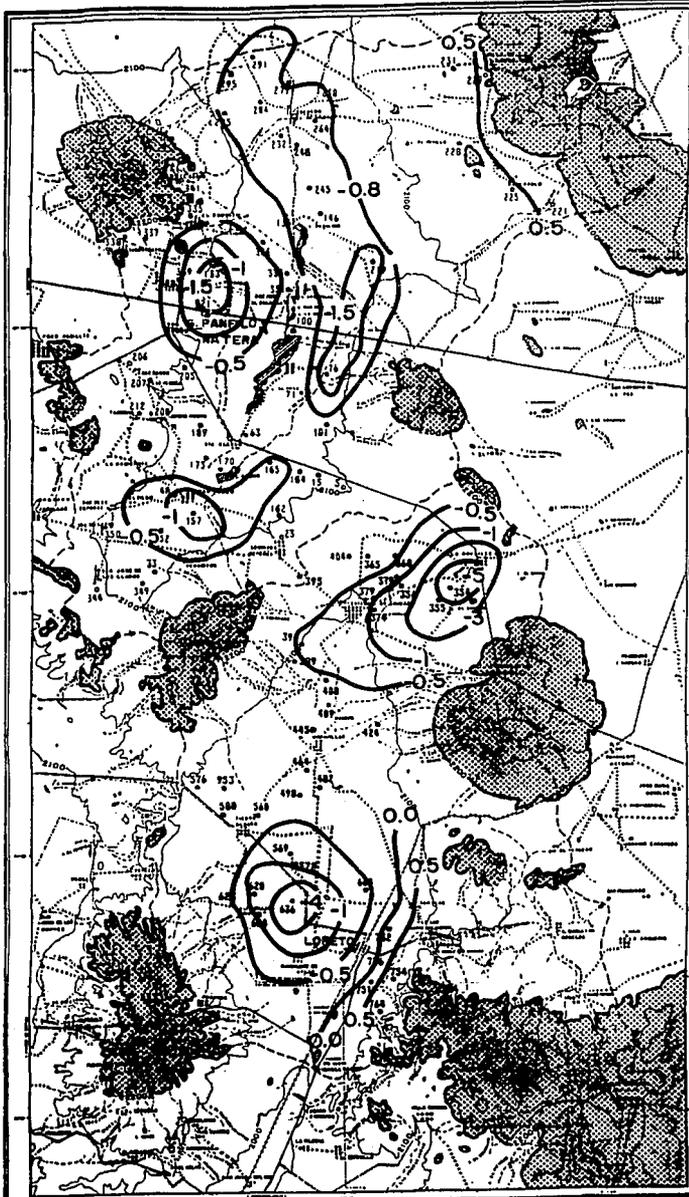
CURVA DE IGUAL EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO
-1.5'
PERIODO:
L: BLANCA: DIC 87 - DIC 89
LORETO: DIC 88 - ENE 90

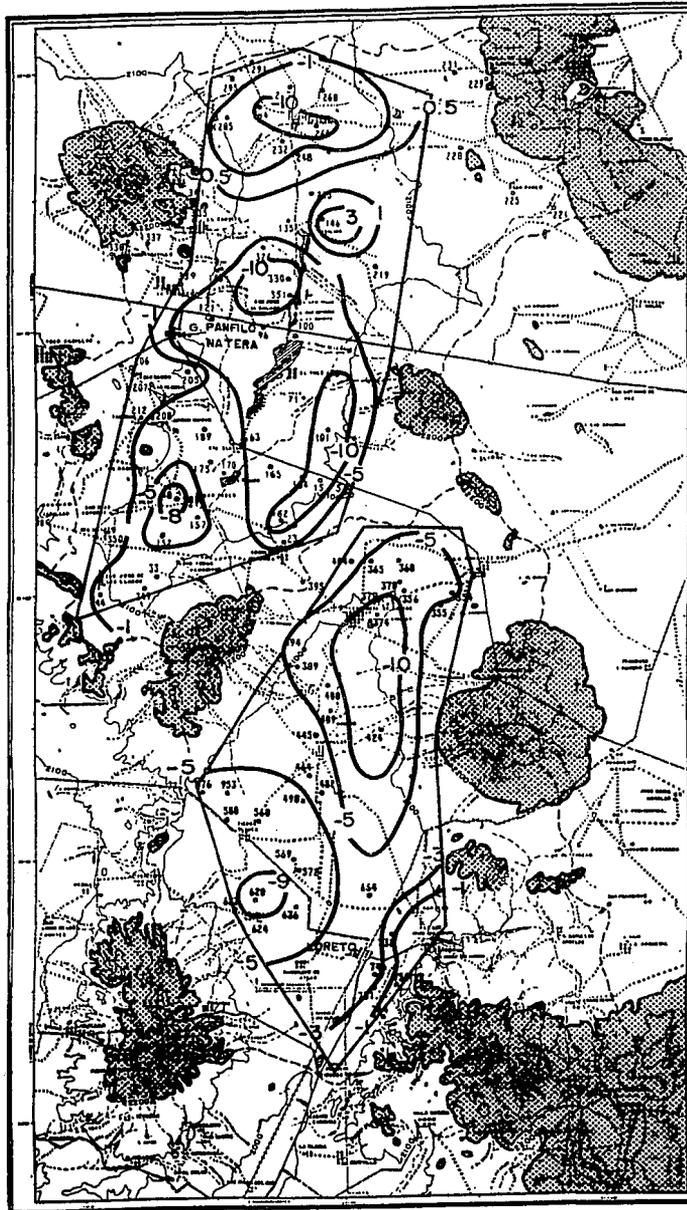
----- KILOMETROS
----- ESCALA 1:20000
----- CUADRICULA ENTRE CURVAS DE NIVEL 100 M



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL TROPICO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO 1987 - 1990
ANDRE PALOMINO JEAN PAUL
1993

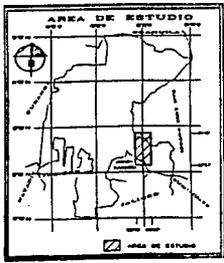
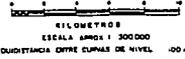




SÍMBOLOS CONVENCIONALES

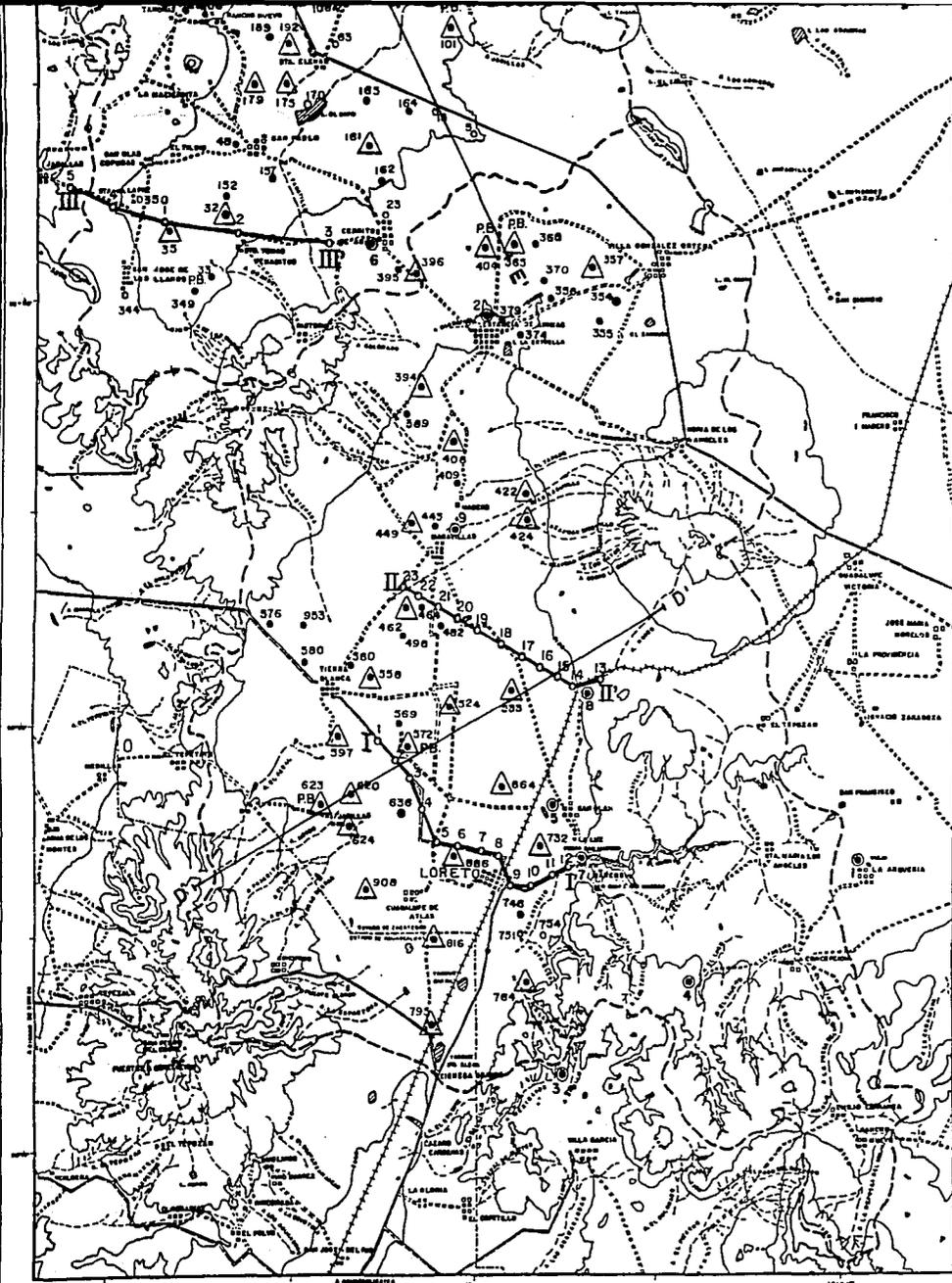
- PERÍMETRO FEDERAL, ESTATAL
- PERÍMETRO MUNICIPAL
- PERÍMETRO DE BALANCE
- PERÍMETRO DE ACUÍFERO
- PERÍMETRO DE MONTAÑA
- PERÍMETRO DE ESTADÍSTICA
- PERÍMETRO DE BALANCE
- PERÍMETRO DE ACUÍFERO
- PERÍMETRO DE MONTAÑA
- PERÍMETRO DE ESTADÍSTICA

PERIODO:
LA BLANCA: DIC 80 - DIC 89
LORETO: DIC 81 - ENE 90



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA

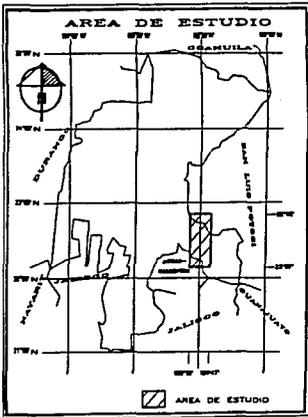
TESIS PROFESIONAL
EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 1980-1990
 ANDRÉ PALOMINO JEAN PAUL
 1993



- PARTEAGUAS
- LAGUNA, TANGUE
- PRESA, BORDO
- SECCION HIDROGEOLOGICA
- POZO EXPLORATORIO
- PERFIL GEOFISICO
- POZO PILOTO
- NORIA PILOTO
- APROVECHAMIENTO CON ANALISIS QUIMICO
- POZO CON PRUEBA DE BOMBEO



KILOMETROS
 ESCALA APROX. 1:200000
 EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL 100 M



| | | |
|--|--|--|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA | |

TESIS PROFESIONAL
LOCALIZACION DE APROVECHAMIENTOS
 ANDRE PALOMINO JEAN PAUL

FORMACION TECTONICA COHERENTE POR POSICION, ESTRUCTURA, DATOS Y METODOS CON FUERZA CLASA.

SIMBOLOS GEOLOGICOS

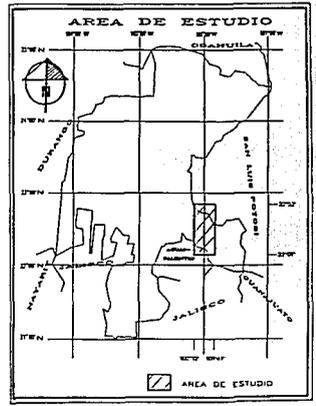
- CONTACTO GEOLOGICO: SECCION GEOLOGICA
- RUMBO Y ECHADO: ANTICLINAL
- FALLA NORMAL: VOLCAN
- FRACTURAS: FALLA NORMAL INFERIDA

SIMBOLOS CONVENCIONALES

- CARRETERA: FEDERAL, ESTATAL
- TERRACERIA
- BRECHA
- FERROCARRIL
- ASENTAMIENTOS HUMANOS
- LIMITE ESTATAL
- ARROYO
- CURVA DE NIVEL
- PARTEAGUAS
- LAGUNA, TANQUE
- PRESA, BORDO



KILOMETROS
ESCALA APROX 1:200000
EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 100 m



| | | |
|------------------------|--|--|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |

| | |
|--------------------------|---------|
| TESIS PROFESIONAL | |
| PLANO GEOLOGICO | |
| ANDRE PALOMINO JEAN PAUL | |
| 1993 | PLANO 1 |

