

2
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DEL
ESTADO DE ZACATECAS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

VICTOR MANUEL CASTAÑÓN ARCOS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Ciudad Universitaria

1994





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.



**EL PRESENTE TRABAJO SE IMPRIMIO CON APOYO
DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA.**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-057

SR. VICTOR MANUEL CASTAÑON ARCOS
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Enrique Espinosa Amador, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo

ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR DEL ESTADO DE ZACATECAS

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

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 29 de julio de 1993.
EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*EGLM*gggt*

A MIS PADRES

CON ADMIRACION Y CARIÑO

**Por que gracias a su esfuerzo y
sacrificios he logrado culminar
esta etapa de mi desarrollo.**

A MIS HERMANOS Y FAMILIARES

Por todo su apoyo y comprensión.

A MIS COMPAÑEROS Y MAESTROS

**Y a todas todas aquellas personas
que de una u otra manera participaron
en la realización de este trabajo.**

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a la Comisión Nacional del Agua, a través de la Gerencia de Aguas Subterráneas, por todo el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

De igual manera, al personal técnico de la Gerencia Estatal en Zacatecas por todas las facilidades dadas durante la recopilación de información y el trabajo de campo.

De manera especial agradezco a los Ingenieros

**Martha Lozano Castillo.
Roberto Sención Aceves.
Enrique Espinosa Amador.
Héctor Luis Macías González.
Rubén Martínez Guerra.
J. Joel Gutiérrez Arroyo.
Emiliano Campos Madrigal.**

Por sus sugerencias, comentarios y apoyo que fueron importantes para el desarrollo y culminación del presente trabajo.

"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO

PRELIMINAR DEL ESTADO DE

ZACATECAS"

"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR DEL ESTADO DE ZACATECAS"

I N D I C E

I INTRODUCCION

I.1 OBJETIVOS	1
I.2 ANTECEDENTES	1
I.3 METODO DE TRABAJO	4
I.3.1 TRABAJO DE CAMPO	4
I.3.2 TRABAJO DE GABINETE	4

II GENERALIDADES

II.1 LOCALIZACION	6
II.2 VIAS DE COMUNICACION	6
II.3 POBLACION Y CULTURA	7
II.4 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS	8

III CLIMATOLOGIA

III.1 CLIMA Y VEGETACION	10
III.2 TEMPERATURA	11
III.3 PRECIPITACION	11
III.4 EVAPORACION POTENCIAL	12

IV GEOLOGIA

IV.1 FISIOGRAFIA	13
IV.2 GEOMORFOLOGIA	15
IV.3 ESTRATIGRAFIA	17
IV.4 GEOLOGIA HISTORICA Y TECTONICA	27
IV.5 CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LAS ROCAS	29

V HIDROLOGIA SUPERFICIAL

V.1 GENERALIDADES	32
V.2 ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES	33
V.3 USO ACTUAL DEL AGUA SUPERFICIAL	36
V.4 BALANCE DE AGUAS SUPERFICIALES	37

VI HIDROGEOQUIMICA

VI.1 MUESTREO Y ANALISIS DEL AGUA SUBTERRANEA	38
VI.2 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS	38
VI.2.1 TEMPERATURA	38
VI.2.2 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	39
VI.2.3 POTENCIAL DE HIDROGENO	39
VI.2.4 SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	40
VI.2.5 CATIONES	41
VI.2.6 ANIONES	44
VI.3 FAMILIAS DEL AGUA	48
VI.4 CALIDAD DEL AGUA	49
VI.4.1 AGUA POTABLE	49
VI.4.2 AGUA PARA RIEGO	49
VI.4.3 AGUA PARA ABREVADERO	51
VI.5 INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA	52

VII HIDROLOGIA SUBTERRANEA

VII.1 ACUIFEROS	53
VII.2 PIEZOMETRIA	55
VII.2.1 PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO	55
VII.2.2 ESQUEMA GENERAL DEL FLUJO SUBTERRANEO	57
VII.2.3 EVOLUCION DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA	59
VII.3 PRUEBAS DE BOMBEO	62
VII.4 RECARGA Y DESCARGA DE LOS ACUIFEROS	63
VII.5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS	63

VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 66

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE FIGURAS

- 1.- LOCALIZACION DEL ESTADO DE ZACATECAS.
- 2.- VIAS DE COMUNICACION.
- 3.- DIVISION POLITICA DEL ESTADO.
- 4.- LOCALIZACION DE ESTACIONES.
- 5.- HISTOGRAMAS MENSUALES.
- 6.- HISTOGRAMAS ANUALES.
- 7.- ISOYETAS MEDIAS ANUALES (1963-1983)
- 8.- PROVINCIAS FISIOGRAFICAS.
- 9-11 SECCIONES GEOLOGICAS ESQUEMATICAS.
- 12.- REGIONES GEOHIDROLOGICAS.
- 13.- ZONAS GEOHIDROLOGICAS.
- 14.- ZONAS GEOHIDROLOGICAS DE EXPLOTACION INTENSIVA.
- 15.- DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER.
- 16-18 FAMILIAS DEL AGUA.
- 19-21 DIAGRAMAS DE WILCOX.
- 22.- VOLUMENES DE EXTRACCION POR USO EN EL ESTADO.
- 23-42 PRUEBAS DE BOMBEO .

INDICE DE CUADROS

- 1.- MUNICIPIOS CON MAYOR POBLACION EN EL ESTADO.
- 2.- TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL.
- 3.- TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL.
- 4.- PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL.
- 5.- PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL.
- 6.- EVAPORACION PROMEDIO MENSUAL.
- 7.- EVAPORACION PROMEDIO ANUAL.
- 8.- CORRELACION ESTRATIGRAFICA.
- 9.- PRINCIPALES ALMACENAMIENTOS DEL ESTADO.
- 10.- BALANCE DE AGUAS SUPERFICIALES.
- 11.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE AGUANAVAL.
- 12.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE CALERA.
- 13.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE CHUPADEROS
- 14.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE GUADALUPE-BAÑUELOS.

- 15.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE JEREZ.
- 16.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE LA BLANCA.
- 17.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE LORETO.
- 18.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE OJOCALIENTE.
- 19.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE TRANCOSO.
- 20.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS ZONA DE VILLA HIDALGO.
- 21.- CONCENTRACIONES EXTREMAS Y PROMEDIO DE LOS IONES.
- 22.- FAMILIAS DE AGUA PREDOMINANTES.
- 23.- NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA.
- 24.- TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS A LA SALINIDAD DEL AGUA.
- 25.- RESUMEN DE APROVECHAMIENTOS POR USO.
- 26.- RESUMEN DE PRUEBAS DE BOMBEO.
- 27.- BALANCE GEOHIDROLOGICO.

INDICE DE PLANOS

- 1.- GEOLOGICO.
- 2.- HIDROGEOLOGICO.
- 3.- LOCALIZACION DE APROVECHAMIENTOS.
- 4.- SALINIDAD TOTAL.
- 5.- CONCENTRACION DE SODIO.
- 6.- CONCENTRACION DE BICARBONATOS.
- 7.- PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO.
- 8.- ESQUEMA GENERAL DEL FLUJO SUBTERRANEO.
- 9.- EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO.
- 10.- EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO.

INTRODUCCION

El estado de Zacatecas es una de las entidades federativas con menor índice de precipitación pluvial y, por consiguiente, una de las que tienen mayores carencias de recursos hidráulicos. El creciente desarrollo agrícola y la explosión demográfica están generando mayores demandas de agua, que debido a la insuficiencia de las fuentes superficiales, han tenido que ser sustentadas por los aprovechamientos del agua subterránea.

Ante la escasez de recursos hídricos superficiales, la disponibilidad del agua subterránea juega un papel determinante en el desarrollo de Zacatecas; es por ello que la localización de zonas favorables para su explotación resulta de gran interés para el crecimiento agrícola, ganadero o urbanístico, especialmente cuando se trata de áreas aledañas a la ciudad de Zacatecas, la cual padece graves problemas de abastecimiento. La escasez de cuencas subterráneas lo suficientemente grandes para garantizar el suministro de agua potable, a largo plazo, a esta ciudad, ha provocado que las fuentes de abastecimiento se diversifiquen y se sitúen en lugares más apartados.

En este trabajo se consideran únicamente las diez zonas geohidrológicas de explotación intensiva, donde se ubican los principales polos de desarrollo agrícola, en las porciones centro y suroriental del estado, con una superficie de 13 084 kilómetros cuadrados (km²), que ha sido cubierta mediante estudios geohidrológicos, permitiendo conocer las características, comportamiento y condiciones de explotación de los acuíferos denominados: "Aguanaval", "Calera", "Chupaderos", "Guadalupe-Bañuelos", "Jerez", "La Blanca", "Loreto", "Ojocaliente", "Trancoso" y "Villa Hidalgo".

Hacia el norte del estado, el clima semidesértico, las condiciones hidrogeológicas del subsuelo y la escasa precipitación hacen más crítica la disponibilidad del agua subterránea. Aunado a ello, el espesor reducido de los acuíferos, los bajos caudales obtenidos en los pozos perforados y la alta salinidad del agua, hacen que la región sea poco propicia para su explotación. Cabe mencionar que en las partes norte, sur, noroccidental y occidental de la entidad, que abarcan una superficie de 56 381 km², sólo se han realizado estudios de prospección.

Por otro lado, dado que el agua proveniente de los escasos escurrimientos superficiales (ríos y arroyos) no es constante durante todo el año, su utilización se ve reducida a ciertas épocas y sólo cuando se dispone de presas es posible almacenarla para su posterior aprovechamiento.

En la mayoría de los acuíferos, el intenso bombeo efectuado por la gran cantidad de pozos perforados ha rebasado la recarga natural, provocando su sobreexplotación, en especial la de aquellos situados en la porción centro y suroriental del estado, que es donde se presentan las mejores condiciones geohidrológicas.

Dada la importancia que para el estado representan las aguas subterráneas, el presente estudio pretende proporcionar la información necesaria para la elaboración de programas destinados a hacer un uso más eficiente del vital líquido.

Este trabajo se realizó tomando como base la información disponible, tanto de los estudios previos como la proveniente de la Gerencia Estatal de la C.N.A. en Zacatecas, la cual fue recopilada, procesada y/o reinterpretada por el autor con el propósito de reunirla de manera sintetizada en un solo documento.

Para el caso de la Hidrología Subterránea, se actualizaron los balances de aguas subterráneas de cada una de las zonas geohidrológicas que comprende el estudio, lo que permite tener conocimiento, a la fecha, de las características geohidrológicas de cada una de ellas, siendo éste su principal objetivo y aporte.

I.1 OBJETIVOS.

Los objetivos que se persiguen en el presente estudio son los siguientes:

- a) Definir las condiciones de explotación de los acuíferos localizados en el estado.
- b) Conocer el tipo y calidad del agua existente en los acuíferos.
- c) Establecer el esquema general del flujo subterráneo.
- d) Determinar la recarga y descarga de los acuíferos.
- e) Establecer los volúmenes de extracción que pueden ser aprovechados, sin perjudicar las condiciones actuales.
- f) Recomendar aquellas áreas que sean favorables para la perforación de pozos de exploración y explotación del agua subterránea.
- g) De acuerdo a los resultados obtenidos, proponer las políticas explotación futura.

I.2 ANTECEDENTES.

El desarrollo agrícola del estado está basado en la explotación del agua subterránea. Actualmente el número de aprovechamientos se ha incrementado de manera alarmante y sin control, lo que ha provocado su concentración y, como consecuencia, el abatimiento progresivo de los niveles estáticos en algunos valles, dando como resultado natural la sobreexplotación de los acuíferos.

En el estado de Zacatecas se han realizado una gran cantidad de estudios geohidrológicos, todos ellos para la SARH, entre los que mencionaremos los más recientes:

En 1977, Consultores, S.A. llevó a cabo el "Estudio Geohidrológico de la zona de Ojocaliente" cuyos objetivos fueron la determinación del esquema general del flujo subterráneo, el tipo y calidad del agua, así como las condiciones de explotación y la potencialidad de los acuíferos existentes. En este trabajo se concluye que existe una gran concentración de aprovechamientos en la porción sur del valle y la presencia de aguas termales que son el producto de la circulación del agua a través de las rocas riolíticas que subyacen al acuífero granular.

En 1980, se realizó la "Actualización del Estudio Geohidrológico en el Valle de Loreto Zac.", estableciendo como objetivo principal determinar la factibilidad de extraer volúmenes adicionales de agua del subsuelo y, en su caso, recomendar su explotación adecuada. Se concluyó que existe un parteaguas hidrodinámico a la altura del poblado de Crisóstomos, que ha invertido la dirección del flujo, que originalmente ocurría hacia el valle de Chicalote, en Aguascalientes. Se menciona también que las variaciones geológicas, tanto horizontales como verticales, de las capas acuíferas determinan su compleja estructura y geometría y que hidrogeológicamente existen varias familias de agua. Establece también que no es recomendable incrementar la extracción del agua subterránea, especialmente donde están concentradas las captaciones.

En 1981, el trabajo de "Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca Media del Aguanaval" tuvo, también, como objetivo definir la factibilidad de extraer volúmenes adicionales de agua subterránea y, en su caso, recomendar la distribución adecuada del bombeo. Concluye que el acuífero se encuentra en equilibrio hidrodinámico o ligeramente subexplotado y establece que los materiales que lo constituyen presentan variaciones granulométricas, tanto horizontales como verticales, que originan anisotropía y heterogeneidad en su permeabilidad, reflejadas en el rendimiento variable de los aprovechamientos. Recomienda incrementar la extracción en un volumen de 10 millones de metros cúbicos por año ($Mm^3/año$) como máximo, en aquellas zonas donde no exista la concentración de pozos.

En ese mismo año, la compañía Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S.A. efectuó las "Actividades de Carácter Geohidrológico en las Zonas de Chupaderos, Villa Hidalgo y La Blanca, Zacatecas"; trabajo que tenía como objetivos cuantificar la magnitud, procedencia y distribución de la recarga de los acuíferos, los volúmenes de extracción para cada valle, así como definir si existe o no la comunicación hidrogeológica entre ellos y, en su caso, conocer los volúmenes de agua intercambiables. Con base en los estudios geofísicos, determina la existencia de un posible parteaguas subterráneo de dirección norte-sur en el Valle de Chupaderos; mientras que para la parte oriental no se indica la existencia de una frontera. La frontera entre los valles de Villa Hidalgo y Villa García se sitúa en las inmediaciones del poblado de González Ortega, mientras que su frontera con el valle de Loreto se localiza en la zona comprendida entre la ciudad de Zacatecas y el poblado de Santa Mónica.

En 1982, se llevó a cabo el "Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona de Troncoso, Zac." cuyo objetivo principal fue la definición del funcionamiento de sus acuíferos, estableciendo su geometría, características hidrodinámicas, comportamiento geohidrológico, así como conocer sus condiciones de explotación, definir la disponibilidad de agua y conocer la relación geohidrológica con los valles adyacentes. Concluye que el área estudiada y la de Chupaderos forman parte de una misma unidad geohidrológica y define un parteaguas hidrodinámico a la altura de El Carmen, en la porción sur de la zona. Asimismo, establece que el acuífero aparentemente no presenta efectos de sobreexplotación y que sus variaciones, tanto horizontales como verticales, producen una compleja geometría y estructura que provocan una marcada anisotropía del mismo.

En esa misma fecha, se realizó el "Estudio Geohidrológico de la Zona de Guadalupe-Bañuelos, Zac.", con la finalidad de determinar las condiciones de explotación del acuífero y definir la interrelación hidrogeológica con los valles adyacentes. De él se desprende que en la zona de Guadalupe, las extracciones no habían rebasado la potencialidad del acuífero, mientras que la zona de Bañuelos mostraba efectos de sobreexplotación. En lo que respecta a la interrelación hidrogeológica, concluye que existe continuidad de los acuíferos tanto al sur de la zona de Bañuelos como hacia el norte de la de Guadalupe; sin embargo hacia el oriente y poniente no existe comunicación debido a la presencia de estructuras geológicas de baja permeabilidad que actúan como fronteras laterales.

En 1984, el "Estudio de Prospección Geohidrológica del área de Genaro Codina", tenía como objetivos principales determinar las posibilidades acuíferas de las rocas volcánicas ácidas como fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Zacatecas y localizar las áreas más favorables para la perforación de pozos exploratorios. Con base en los resultados geoelectrónicos obtenidos, se determinó que las rocas referidas resultaron de interés geohidrológico, únicamente a profundidad, en el perfil eléctrico ubicado al norte del área estudiada.

En 1992, la "Actualización del Estudio Geohidrológico del Valle de Aguanaval, Zac." concluye que el acuífero de la parte central de la cuenca tiene un espesor medio de 400 m, constituido por una alternancia de aluviones, conglomerados, rocas riolíticas fracturadas, tobas y materiales piroclásticos asociados que crean condiciones de semiconfinamiento; limitado lateralmente por calizas, areniscas, lutitas y derrames riolíticos compactos.

En la porción suroccidental infiere la presencia de 2 acuíferos separados por una capa semipermeable que funciona como acuitardo, constituida por tobas líticas y/o lentes arcillosos. El acuífero inferior es el que se extiende por toda la cuenca. Calcula una recarga de agua subterránea del orden de 80 Mm³/año, mientras que la descarga estimada es de 102 Mm³/año. Por otra parte, establece que es factible la extracción adicional de 10 Mm³/año en el extremo norte del valle.

Por parte de la Gerencia Estatal de la CNA en Zacatecas, se llevan a cabo recorridos piezométricos periódicos, toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos y actualización de los balances geohidrológicos de algunas de las zonas geohidrológicas del estado.

Recientemente (1991), se concluyó la modelación matemática del acuífero de Calera y se tienen como proyectos para este año los modelos de simulación de los acuíferos de las zonas geohidrológicas de Loreto y Chupaderos. De igual manera, están contempladas las actividades para reglamentar la extracción del agua subterránea en las zonas de Calera y Ojocaliente, la elaboración del plano de vulnerabilidad de los acuíferos de la entidad, el estudio de factibilidad de recarga artificial al acuífero de la zona de Guadalupe-Bañuelos y la continuación de la recopilación e integración de estudios geofísicos, hidrogeoquímicos y perforaciones realizadas en el estado por la CNA y otras dependencias.

I.3 METODO DE TRABAJO.

Para poder cumplir con los objetivos planteados en el presente estudio, el trabajo se dividió en dos partes: trabajo de campo y trabajo de gabinete.

I.3.1 TRABAJO DE CAMPO.

Se realizaron las siguientes actividades

RECONOCIMIENTO GEOLOGICO.- Se llevó a cabo mediante caminamientos previamente seleccionados y con verificación de los sitios de interés; se describieron macroscópicamente las unidades litológicas presentes, atendiendo también a sus características estructurales e hidrogeológicas.

LECTURA DE LOS NIVELES ESTATICOS.- Esta actividad se efectuó, únicamente en aquellos sitios en los que existía duda en la información piezométrica, utilizando una sonda eléctrica, la cual consta de un cable graduado que en la parte inferior tiene una plomada y dos electrodos, cuenta además con un amperímetro que registra el momento en que los electrodos hacen contacto con el nivel del agua dentro del pozo.

La nivelación de brocales, el muestreo del agua y las pruebas de bombeo fueron hechos, en parte, por el personal técnico de la Gerencia Estatal de Zacatecas de la CNA y otros tomados de estudios contratados por esa dependencia.

I.3.2 TRABAJO DE GABINETE.

Primeramente se procedió a la recopilación y análisis de la información disponible referente al área de estudio, tales como: planos topográficos, geológicos e hidrológicos, tesis, trabajos previos, etc.. Dicha información se obtuvo de diferentes instituciones y dependencias gubernamentales como CNA, UNAM, IPN, IMP, SARH, INEGI y DGG.

Con base en las cartas topográficas 1:250 000 de la DGG se delimitó el área de estudio y se elaboró el plano base a escala 1 : 750 000 en el que se vació toda la información recabada durante el trabajo de campo. Asimismo, se elaboraron los planos geológico e hidrogeológico, en los que se muestra la gran variedad de rocas que afloran en las diferentes zonas del estado.

Con el objeto de mostrar gráficamente las condiciones climatológicas que prevalecen en la entidad, se dibujaron los histogramas de precipitación, temperatura y evaporación con los datos obtenidos de las estaciones climatológicas que fueron elegidas para tal fin, tratando que éstas se encontraran distribuidas en todo el estado.

A partir de los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua obtenidas, se elaboraron los diagramas de Piper y de Wilcox, con el propósito de conocer el tipo o familia de agua y la calidad del agua para riego, respectivamente. Con estos mismos datos se dibujaron los planos de igual concentración de los diferentes iones y de sólidos totales disueltos.

Con los datos obtenidos de la lectura de los niveles estáticos se trazaron las curvas de igual valor, las cuales se muestran en los planos de profundidad al nivel estático y de elevación y evolución de los niveles del agua subterránea.

II GENERALIDADES

II.1 LOCALIZACION.

Geográficamente, el estado de Zacatecas se localiza en la región centro norte del país, a una altura media sobre el nivel del mar de 2 230 metros (m). Está limitado por los paralelos 25°09' y 21°01' de latitud norte y los meridianos 100°48' y 104°20' de longitud oeste (figura No.1). Tiene una superficie de 75 040 kilómetros cuadrados (km²), que equivale al 4 % de la total del país, ocupando, por su extensión, el octavo lugar entre los estados de la República Mexicana.

Limita al norte con el estado de Coahuila, al este y noreste con San Luis Potosí, al sur con Aguascalientes, al sur y suroeste con Jalisco y por último, al oeste y noroeste con el estado de Durango. En pequeñas áreas colinda con los estados de Nuevo León, Guanajuato y Nayarit.

II.2 VIAS DE COMUNICACION.

El estado se encuentra bien comunicado tanto internamente como con el resto del país. Sin embargo, las vías de comunicación con que cuenta no satisfacen sus necesidades, pues aunque posee 892 kilómetros (km) de carreteras, menos del 50% de ellas están pavimentadas; asimismo, la infraestructura ferroviaria responde, fundamentalmente, a las necesidades de transporte de minerales.

Dentro de las vías terrestres, cuenta con 4 carreteras federales importantes que atraviesan su territorio (figura No. 2). La carretera federal No. 45, que comunica a la ciudad de Zacatecas con Aguascalientes y Durango, la No. 49 San Luis Potosí-Zacatecas, la No. 54 Zacatecas-Saltillo y la No. 41, Zacatecas-Guadalajara. Cuenta además, con carreteras estatales y una gran cantidad de caminos rurales que colocan al estado en el primer lugar a nivel nacional, en cuanto a la longitud de estos caminos, permitiendo la comunicación de todas las poblaciones mayores de 500 habitantes con los centros de desarrollo más importantes del estado.

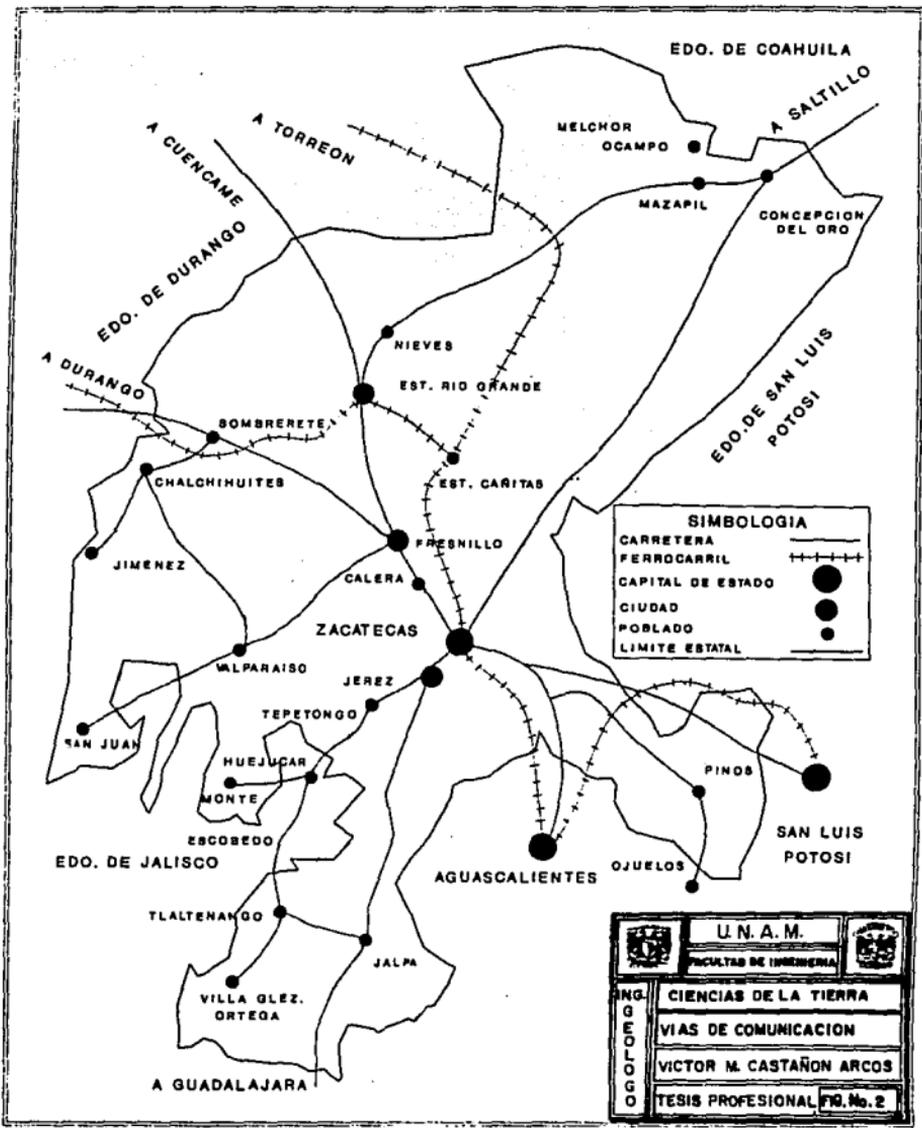
El acceso por ferrocarril también es fácil ya que se cuenta con dos rutas de importancia nacional: una enlaza a las ciudades de Aguascalientes y Zacatecas y, a la altura de la estación de Cañitas de Felipe Pescador, se bifurca hacia la ciudad de Durango y a Torreón; la otra ruta que atravieza al estado es la que comunica a las ciudades de Aguascalientes y San Luis Potosí.

Por lo que respecta a la comunicación aérea, cuenta con un aeropuerto nacional ubicado en las inmediaciones de la ciudad de Zacatecas, diseñado para recibir aviones comerciales medianos; opera con dos rutas, una que comunica a Zacatecas con Durango y con Mazatlán y otra, con Aguascalientes, San Luis Potosí y el Distrito Federal.

LOCALIZACION DEL ESTADO DE ZACATECAS



	U.N.A.M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
ING. GEOLOGO	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	LOC. DEL EDO. DE ZACATECAS	
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS	
	TESIS PROFESIONAL [FG. No. 1]	



II.3 POBLACION Y CULTURA.

Políticamente, el estado de Zacatecas está dividido en 56 municipios (figura No. 3) y contaba con una población de 1 276 323 habitantes, en el censo poblacional de 1990. Entre 1950 y 1986, la población del estado mostró una disminución significativa en cuanto a su participación del total nacional, pasando de 2.6% a 1.6%. Para el año 2000 se estima que esta contribución sea del orden del 1.3%.

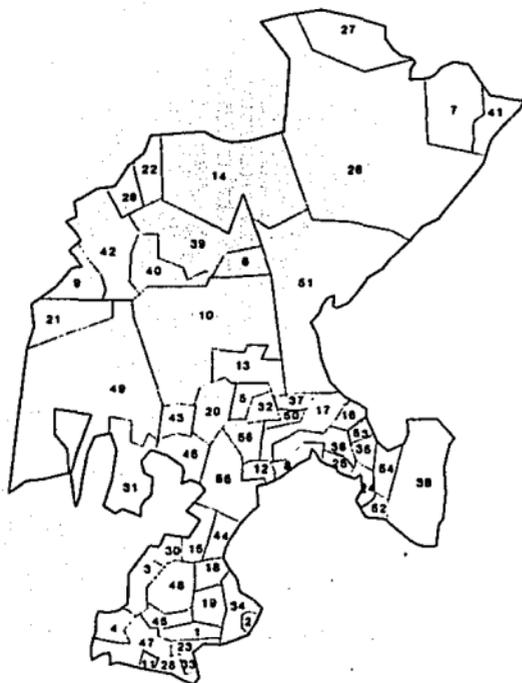
Zacatecas presenta una elevada dispersión de sus asentamientos humanos en la mayor parte de su territorio. La densidad promedio es de 15 habitantes/km², que representa menos de la mitad de la nacional de 34 habitantes/km², la cual sitúa al estado entre los ocho menos densamente poblados del país.

De acuerdo a los resultados del XI Censo de Población y Vivienda de 1990, los municipios más poblados son: Fresnillo con un 12.55% de la población estatal, Zacatecas (8.5%), Guadalupe (6.48%), Sombrerete (4.98%), Pinos (4.66%), Jerez (4.54%) y Río Grande (4.53%). Esto indica que el 46.24% de la población total del estado habita en estos 7 municipios, mientras que en otros 27 la participación en la población total es inferior al 1.6% (tabla No. 1).

En 1980, la población urbana de la entidad representó apenas el 37.5% de la total, una proporción muy inferior a la media nacional que fue de 66.3%. Por su parte, la población rural resultó dominante; aunque ha reducido gradualmente su participación dentro de la total, mostrando en la última década un crecimiento de 0.8%, en tanto que el de la población urbana fue de 3.5%.

Los indicadores sobre educación muestran que Zacatecas ha logrado avances similares a los del promedio nacional en cuanto a alfabetización y educación básica. En lo que se refiere a educación primaria, todos los municipios cuentan con centros escolares, mientras que a nivel secundaria, se cuenta con escasos planteles; incluso en 15 municipios se carece de ellos, lo que dificulta la continuación de estudios a los egresados de la enseñanza primaria. Cuenta además con 67 escuelas de instrucción media superior (bachillerato), 10 de educación normal y 16 de educación superior.

Como producto de la descentralización, la administración estatal asume su responsabilidad en materia educativa al constituir la Dirección General de Servicios Coordinados de Educación Pública, lo que orienta todos los esfuerzos educativos en el estado. La integración del Sistema Estatal de Educación permite hacer un uso más eficiente y racional de las instancias, de los recursos humanos y financieros disponibles para asegurar la educación básica a la mayoría demandante y fortalecer los servicios educativos a nivel medio superior.



- 1.- APOZOL
- 2.- APULCO
- 3.- ATOLUHA
- 4.- BENITO JUAREZ
- 5.- CALERA
- 6.- CANITAS DE FELIPE ESCADOF
- 7.- CONCEPCION DEL ORO
- 8.- CUAUHTEMOC
- 9.- CHALCHIHUITES
- 10.- FPESNILLO
- 11.- GARCIA DE LA CADENA
- 12.- GENARO CODINA
- 13.- GENERAL EMILIO ESTRADA
- 14.- GENERAL FRANCISCO MURGUIA
- 15.- GENERAL JOAQUIN AMAFO
- 16.- GENERAL FANFILO NATEPA
- 17.- GUADALUPE
- 18.- HUANUSCO
- 19.- IALFA
- 20.- JEFEC
- 21.- JIMENEZ DE TEUL
- 22.- JUAN ALDAMA
- 23.- JUCHITAN
- 24.- LOPEZO
- 25.- LUIS MOYA
- 26.- MACAPIL
- 27.- MELCHOR OCAMPO
- 28.- MEZQUITAL DEL ORO

- 29.- MIGUEL AUZA
- 30.- MONTE
- 31.- MONTE ESCOBEDO
- 32.- MORELOS
- 33.- MICHUAN DE ESTRADA
- 34.- MICHELAN DE MEJIA
- 35.- NOFIA DE ANGELES
- 36.- OJCALIENTE
- 37.- PANUJO
- 38.- FINOS
- 39.- RIO GRANDE
- 40.- SAIN ALIO
- 41.- SALVADOR EL
- 42.- SOMEREFETE
- 43.- SUSTICACAN
- 44.- TAVASCO
- 45.- TEFECMITLAN
- 46.- TEFETONGO
- 47.- TEUL DE GONZALEZ ORTEGA
- 48.- TLATENANGO DE SANCHEZ ROMAN
- 49.- VALPARAISO
- 50.- VELAZQUEZ
- 51.- VILLA DE COS
- 52.- VILLA GARCIA
- 53.- VILLA GONZALEZ ORTEGA
- 54.- VILLA HIGALCO
- 55.- VILLANUEVA
- 56.- ZACATECAS

ING. GEOLOGO	 U.N.A.M. 
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	DIVISION POLITICA DEL EDO.
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 3

MUNICIPIOS CON MAYOR POBLACION EN EL ESTADO DE ZACATECAS

MUNICIPIO	POBLACION	% DEL TOTAL
FRESNILLO	160,181	12.55
ZACATECAS	108,556	8.50
GUADALUPE	82,770	6.48
SOMBRERETE	63,546	4.98
PINOS	59,550	4.66
JEREZ	57,974	4.54
RIO GRANDE	57,834	4.53
TOTAL	590,411	46.24

TABLA No. 1**POBLACION ESTATAL 1'276,323 HABITANTES.****FUENTE: XI CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA (1990)**

El avance registrado en la educación superior es significativo, ya que se cuenta actualmente con instituciones que atienden diversas áreas de la ciencia y la cultura para la formación de profesionales e investigadores que impulsen el desarrollo integral del estado.

Dentro de los diversos factores que determinan la calidad de la vida, los servicios de salud constituyen un elemento fundamental para garantizar su crecimiento económico que se traduce en mejores condiciones de vida para la población. Como producto de la descentralización de los servicios de salud se ha podido cumplir no sólo con la cobertura de atención, sino también racionalizar esfuerzos y recursos de las diferentes instituciones que integran el sector salud. Sin embargo, se presentan condiciones desfavorables ya que las tasas de mortalidad infantil, habitantes por médico y cama hospitalaria son superiores a las registradas a nivel nacional.

Situaciones similares presentan los indicadores de vivienda, empleo y alimentación, lo cual ubica a la entidad por debajo de la media nacional, de tal manera que, comparada con el resto de las entidades, se encuentra entre las 10 de mayor pobreza relativa.

II.4) ASPECTOS SOCIOECONOMICOS.

La estructura productiva de Zacatecas se encuentra sustentada, de manera importante, por el sector agropecuario, que significó en 1980 el 23% del Producto Interno Bruto (PIB) estatal, en tanto que a nivel nacional dicha actividad representó el 8.4%. Sobresale también la minería, con una participación del 11.3%, superior al promedio del país de 7%. En cambio, la entidad no cuenta con un desarrollo industrial significativo ya que tan sólo un 4% de su producción proviene del sector manufacturero, porcentaje casi 6 veces menor a la media nacional. (Cuaderno básico para la planeación de Zacatecas, 1986. INEGI).

Según datos del V Informe de Gobierno (1991), el 40% del PIB estatal es aportado por el sector agropecuario, el 20% por la industria, 19% comercio, 13% minería y 8% por el turismo. Actualmente los sectores industrial y turístico muestran tendencias ascendentes en su participación dentro de la economía, mientras que la minería presenta un decaimiento notable.

En lo que respecta a las actividades agrícolas, los principales productos de la entidad son: frijol, maíz, chile seco, durazno, guayaba, alfalfa y uva, que en conjunto aportaron, en 1980, cerca del 90% del valor de la producción agrícola estatal.

A nivel nacional, Zacatecas es el primer productor de chile seco y frijol, con participaciones de 50% y 22%, respectivamente. En la producción de guayaba ocupa el segundo lugar con 19%, en sorgo forrajero (19%) se sitúa en tercer lugar, al igual que en la producción de uva y es el quinto productor de durazno en el país con un 10.2%. Las principales áreas agrícolas se localizan, por una parte, en la franja limítrofe entre la región

de los valles y el altiplano, orientada de noroeste a sureste y por otro lado, en los fondos de los valles; casi totalmente dentro de la región semiseca.

Cabe mencionar que el lento crecimiento de la economía zacatecana está determinado, en gran medida, por el comportamiento del sector agropecuario, el cual enfrenta una serie de problemas que limitan su desarrollo, entre los cuales pueden mencionarse: bajos niveles de precipitación pluvial, baja calidad de los suelos, estructura productiva tradicional e insuficiente apoyo crediticio, asistencia técnica y capacitación de los productores.

En cuanto a la actividad minera, el estado de Zacatecas cuenta con 17 distritos y otras zonas potencialmente explotables que lo colocan en un lugar preponderante dentro de la economía nacional. La extracción de minerales metálicos aporta el 19% de la producción nacional, situando al estado entre los tres primeros productores del país. Los productos más representativos de la minería zacatecana son en primer término la plata, que en 1984 representó el 60% del valor de la producción del estado; zinc, el 23.8%; plomo el 8.1%; cobre el 5.3% y oro 2.5%. A nivel nacional, el estado ocupa el primer lugar en la producción de plata, el segundo en cobre, plomo y zinc y el cuarto en oro. Cuenta también con yacimientos de minerales no metálicos como fosforita, wollastonita, fluorita, barita, caolín y bentonita, que a pesar de ser explotados en pequeña escala representan una fuente de trabajo permanente.

La distribución de la minería está relacionada con el límite de la amplia zona de rocas volcánicas que conforman la región serrana, al poniente y suroeste de la entidad, y los afloramientos de rocas sedimentarias y metamórficas que existen tanto en la zona de valles, en las estribaciones orientales de la sierra, como en diversos lugares del altiplano.

La ganadería representa el 26% del PIB de Zacatecas y el 2.7% del total del sector a nivel nacional. Durante la década de 1970-1980, esta actividad tuvo una participación decreciente dentro del producto total estatal, ya que de un 16% en 1970, pasó al 8.8% en 1980. Más de la mitad de la superficie del estado es apta para la ganadería (alrededor de 2.5 millones de hectáreas son de pastos naturales en cerros y 1.3 en llanuras), no obstante lo cual, la actividad se ha caracterizado por aportar bajos rendimientos e ingresos.

La silvicultura representa un valor muy pequeño dentro del PIB de Zacatecas (0.4%). Esta actividad es susceptible de desarrollarse en aproximadamente 400,000 hectáreas (6.2% de la superficie total); de estas, 27% corresponde a especies maderables y 73% a las no maderables.

En cuanto a la localización industrial se observa una concentración en los principales centros urbanos del estado. Tan sólo en los municipios de Zacatecas, Fresnillo, Jerez, Río Grande y Guadalupe, se ubicó el 54% de la población económicamente activa del sector en 1980 y el 50% de los establecimientos comerciales.

Por la riqueza en tradiciones históricas y culturales, su estratégica ubicación geográfica y sus bellezas naturales, permiten afirmar que el estado de Zacatecas cuenta con un importante potencial turístico, que a la fecha no ha sido completamente aprovechado.

III CLIMATOLOGIA

III.1 CLIMA Y VEGETACION.

En términos generales, se puede considerar que el clima que impera en el estado de Zacatecas es seco, con una temperatura media anual de 16°C y variaciones extremas de 35°C como máxima y 6°C como mínima, y precipitación media anual de 510 milímetros (mm) con valores extremos de 900 mm como máxima y 324 mm como mínima (Síntesis Geográfica de Zacatecas, 1981).

Los climas semisecos se localizan en las regiones central y oriental del estado, en la región de transición entre la zona desértica y la Sierra Madre Occidental. En menor grado, se distribuyen los climas templados, en la parte occidental del estado, dentro de las zonas de sierra. Los climas semicálidos se restringen a pequeñas regiones localizadas en el extremo sur y suroeste de la entidad y no son dignos de considerarse debido a su poca extensión.

Aunque predomine el clima seco en casi toda la entidad, y éste represente una limitante para la agricultura, se ha podido desarrollar una actividad agrícola y frutícola en las zonas de Río Grande y Fresnillo, en la de Cañón de Villanueva y en las de Tabasco, Huanusco y Jalpa. Dicha actividad está basada en el cultivo de durazno, uva, manzana y alfalfa, aprovechando las aguas de los ríos Aguanaval, Juchipila y Lazos.

Con respecto a la vegetación, se presenta un gradiente decreciente de humedad en sentido sur-suroeste hacia el norte-noreste, a lo largo del cual se van sucediendo las comunidades vegetales de selva baja caducifolia, matorral subtropical, pastizal, bosque mixto de pino y encino, matorral crasicaule (cactáceas arbustivas y/o arborescentes; acompañadas de arbustos espinosos, como el maguey y el nopal, y abundantes leguminosas) y matorral subinermes (arbustos de hoja pequeña y caediza mezclados con plantas espinosas e inermes).

Debido a la importancia que la agricultura representa para el estado, es fundamental conocer la distribución de los fenómenos meteorológicos durante el año y su periodicidad o incidencia. De estos fenómenos, los registros principales se obtienen de las heladas y granizadas.

En cuanto a las heladas, éstas se presentan del orden de 17 a 85 días al año, con la mayor incidencia en la porción central y la menor, en pequeñas áreas hacia el sureste y sur de la entidad. Este tipo de fenómeno se presenta principalmente en los meses de diciembre y enero, comenzando las primeras heladas en septiembre y las últimas en mayo.

Con respecto a las granizadas, se presentan en un rango de 0 a 2 días por año en la mayor parte del estado, aunque existen áreas donde la incidencia es de 2 a 4 días, dentro de los municipios de Sombrerete, Zacatecas, García de la Cadena, Sain Alto, Monte Escobedo, Nochistlán de Mejía, Tabasco, Mazapil y Concepción del Oro.

Para el análisis de las condiciones climatológicas del estado de Zacatecas, se recabaron los datos de temperatura, precipitación y evaporación potencial de los registros obtenidos por el Servicio Meteorológico Nacional, para el período 1963-1983, de 11 estaciones representativas, cuya ubicación se muestra en la figura No. 4; y con ellos se calcularon los promedios anuales y mensuales para el mismo período.

III.2 TEMPERATURA.

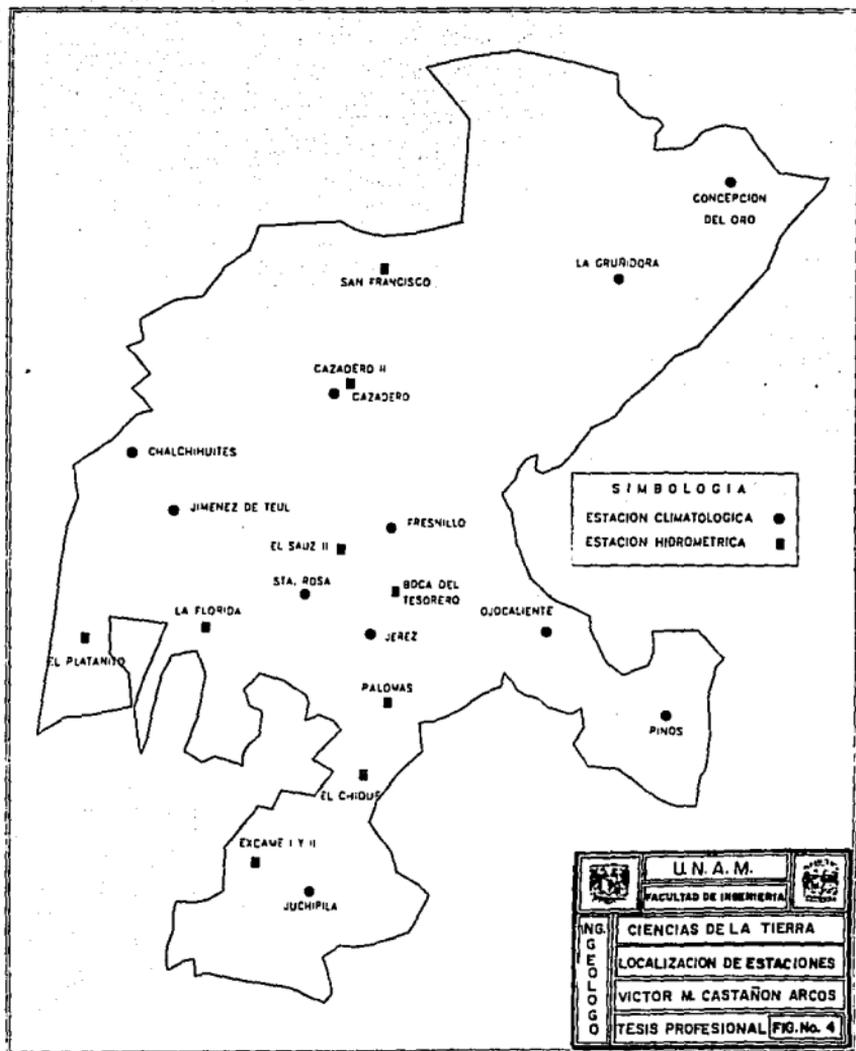
Los valores de la temperatura media mensual se presentan en la tabla No. 2 y con ellos se elaboraron los histogramas de la figura No. 5. De esto se desprende que la temperatura experimenta un incremento notable de febrero a junio, mientras que el descenso se presenta de julio a enero. Los valores máximos se registran durante los meses de mayo y junio, y los mínimos, durante los meses de diciembre y enero. La temperatura mínima fue de 10°C, registrada en la estación Presa Santa Rosa para el mes de enero, mientras que la máxima de 27°C se registró en el mes de junio en la estación Juchipila. El valor de la media mensual es de 17°C .

En la tabla No. 3 se muestran los valores de la temperatura media anual, con los cuales se construyeron los histogramas de la figura No.6. En ellos se observa que, para el período analizado, las temperaturas más elevadas se registraron en los años de 1968, 1972 y 1982; mientras que 1966 y 1976 fueron los años menos calurosos. Se presentan valores extremos de 14 y 30°C, con una media anual también de 17°C; registrándose, invariablemente, las temperaturas más elevadas en la estación Juchipila.

III.3 PRECIPITACION.

En la tabla No. 4 se presentan los valores de la precipitación promedio mensual, con los que se elaboraron los histogramas de la figura No. 5, para el período 1963-1983, en los que se observan valores que varían de 2.4 mm como mínima, registrada en la estación Chalchihuites para el mes de abril, a 202 mm como máxima, ocurrida durante el mes de julio en la estación Juchipila.

De los histogramas de la figura No. 5 se puede establecer que la temporada de lluvias se presenta, de manera general, durante el período comprendido entre los meses de junio y septiembre de cada año; registrándose los valores más bajos en los meses de febrero, marzo y abril, mientras que julio y agosto aparecen como los meses más lluviosos.



TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)
(1963-1983)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAZADERO	10.8	11.8	15.2	18.4	20.6	22.0	21.0	20.4	19.3	16.6	13.5	11.3
CONCEPCION DEL ORO	10.7	12.1	15.2	18.3	18.9	20.7	20.1	19.9	19.0	16.3	13.6	11.3
CRALCHIHUYES	12.3	13.3	15.9	18.0	20.3	20.3	19.2	19.3	19.3	17.2	15.6	12.5
FRESNILLO	12.1	12.8	15.6	18.4	20.5	20.7	19.3	19.5	18.1	16.7	14.3	12.3
JEREZ DE GARCIA S.	12.1	13.4	15.7	18.7	21.0	21.4	19.6	18.9	18.6	16.0	14.6	12.9
JIMENEZ DE TEUL	11.6	12.6	14.9	17.4	19.2	20.4	19.8	19.3	18.8	16.8	14.1	12.1
JUCHIPILA	17.3	18.6	21.4	24.0	26.0	26.9	25.0	24.6	24.5	23.0	20.2	17.9
LA GRANUDORA	12.2	13.3	17.3	20.8	23.6	24.7	24.1	23.3	22.2	19.4	15.7	12.9
OJOCALIENTE	11.2	11.8	15.4	17.6	19.6	19.8	18.6	18.6	17.8	15.5	13.6	12.3
PIÑOS	12.8	13.7	16.1	18.6	19.0	19.2	17.8	18.0	17.9	15.5	14.8	13.4
PRESA SANTA ROSA	9.7	10.6	13.2	16.3	18.4	19.1	17.8	17.6	16.7	14.9	12.4	10.6

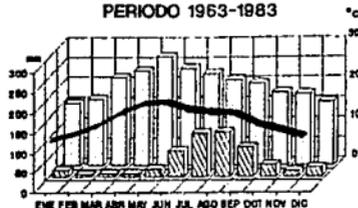
TABLA No. 2

TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL (°C)
(1963-1983)

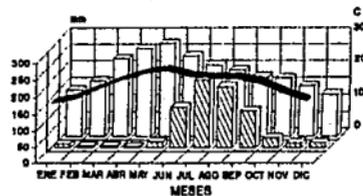
ESTACION	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	PROM
CAZADERO	17.2	17.0	16.8	16.4	16.6	16.4	17.3	16.4	17.0	17.5	16.6	17.0	16.8	16.2	16.6	16.7	16.4	16.9	16.7	17.3	15.9	16.7
CONCEPCION DEL ORO	16.2	16.7	16.1	15.6	16.4	16.7	16.5					16.6	16.7	15.4	16.8	16.4	16.5	16.8	16.9	17.4	15.9	16.4
CRALCHIHUYES	17.3	16.9	17.5	16.4	17.3	16.8	17.5	17.8	17.9	17.6	17.0	18.4	17.7	17.0	17.2	17.0	15.6	13.5	15.9	15.3	17.3	16.9
FRESNILLO	17.0	16.8	16.9	16.1	16.0	16.4	16.9	16.0	15.7	16.1	15.7	15.7	15.5	14.5	15.8	15.5	16.1	16.0	20.2	20.2	19.9	16.9
JEREZ DE GARCIA S.	15.5	14.7	15.8	15.9	15.8	15.3	18.1	18.2	18.0	18.4	17.9	16.7	17.6	17.0	17.2	17.4	17.0	17.7	17.8	16.9	16.9	16.9
JIMENEZ DE TEUL	16.3	16.4	16.1	16.4	16.4	16.2	16.9	15.9	15.5	16.1	17.0	17.5	17.0	15.7	16.3	16.3	17.0	16.6	16.3	16.8	16.0	16.4
JUCHIPILA	21.4	21.1	21.4	23.4	27.4	29.4	22.6	23.7	22.8	23.3	21.8	21.3	21.4	21.3	21.5	21.5	21.8	22.2	21.5	22.0	20.8	22.5
LA GRANUDORA	19.2	19.4	20.1	19.1	19.4	18.7	18.3	18.3	18.9	19.2	18.3	18.8	19.3	18.5	19.4	19.0	19.0	19.3	19.1	21.1	19.4	19.1
OJOCALIENTE	15.8	15.8	15.6	15.1	16.0	16.2	16.3	16.0	16.0	16.6	16.7	16.2	15.1	15.1	17.2	15.4	15.4	16.4	15.9	17.2	15.2	15.9
PIÑOS	16.7	16.8	16.8	16.2	16.5	16.8	16.2	16.5	16.9	16.3	16.4	15.4	16.3	14.0	16.9	15.8	16.5	16.8	16.8	16.8	17.3	16.4
PRESA SANTA ROSA	15.0	15.2	14.7	14.5	14.9	14.7	15.3	14.7	15.0	14.9	14.5	14.9	14.7	14.4	14.8	14.8	14.9	15.0	14.9	14.5	14.1	14.8

TABLA No. 3

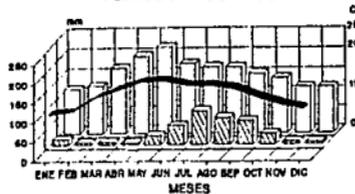
ESTACION JEREZ
PERIODO 1963-1983



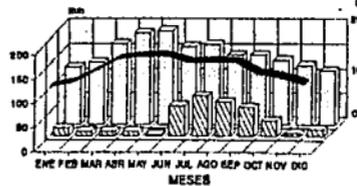
ESTACION JUCHIPILA
PERIODO 1963-1983



ESTACION OJOCALIENTE
PERIODO 1963-1983

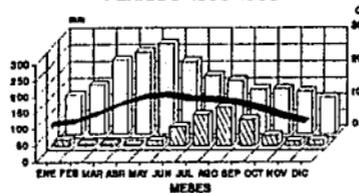


ESTACION PINOS
PERIODO 1963-1983



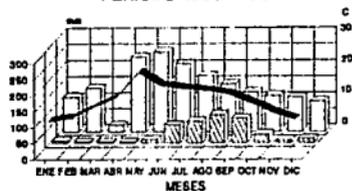
■ TEMPERATURA ▨ PRECIPITACION □ EVAPORACION

ESTACION SANTA ROSA
PERIODO 1963-1983



ING. GEOLOGO	 U.N.A.M. 
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	(CONT) HISTOGRAMAS MENSUALES
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL, FIG. No.5

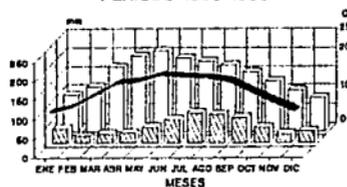
ESTACION GAZADERO
PERIODO 1963-1983



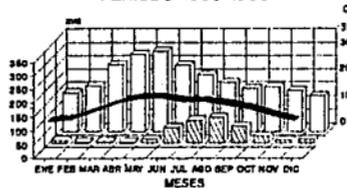
ESTACION CHALCHIHUITES
PERIODO 1963-1983



ESTACION CONCEPCION
PERIODO 1963-1983

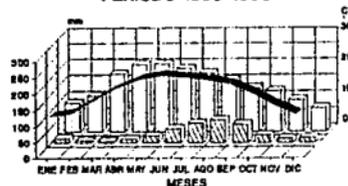


ESTACION FRESNILLO
PERIODO 1963-1983

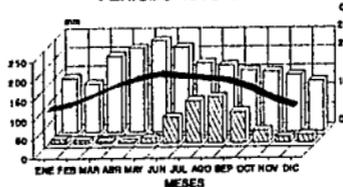


■ TEMPERATURA ▨ PRECIPITACION □ EVAPORACION

ESTACION LA GRUÑIDORA
PERIODO 1963-1983



ESTACION JIMENEZ
PERIODO 1963-1983



	U. N. A. M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
ING. G. E. O. L. O. G.	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	HISTOGRAMAS MENSUALES	
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS	
	TESIS PROFESIONAL	FIG. No. 5

PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (mm)
(1963-1983)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAXADERO	8.4	5.5	5.0	4.4	13.7	58.7	70.7	91.6	79.2	28.5	10.5	15.0
CONCEPCION DEL ORO	37.9	18.0	24.0	27.1	41.5	60.5	77.9	73.9	65.8	40.9	24.0	31.3
CHALCHINUIYES	9.4	10.8	5.7	2.4	10.8	63.7	130.9	138.4	104.5	27.6	10.9	11.6
FRESWILLO	11.6	4.5	6.7	4.2	15.7	57.2	82.5	92.7	61.9	27.4	13.3	15.7
JEREZ DE GARCIA S.	7.2	6.1	8.7	8.8	20.7	67.7	112.2	115.1	72.7	32.2	15.6	25.3
JIMENEZ DE TEUL	12.6	9.5	6.3	1.7	16.1	67.6	109.3	118.2	81.3	34.1	16.3	21.1
JUCHIPILA	12.4	6.2	6.6	5.5	20.7	124.7	202.2	183.2	112.6	31.2	16.1	17.9
LA CRUJIDORA	16.4	9.2	6.1	12.7	23.7	45.5	63.1	74.0	60.3	25.5	15.1	17.8
OJOCALIENTE	15.6	6.9	8.3	6.4	24.5	50.3	88.5	70.7	63.3	28.5	9.1	8.4
PIÑOS	16.7	11.0	10.8	10.8	33.7	63.8	83.9	71.3	60.3	32.6	7.7	15.1
PRESA SANTA ROSA	19.1	6.2	6.8	4.6	17.3	58.6	96.1	118.9	80.9	32.3	15.4	17.1

TABLA No. 4

PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL (mm)
(1963-1983)

ESTACION	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	PROM
CAXADERO	517	383	387	406	502	476	297	408	517	302	593	281	317	380	385	395	206	287	406	212	452	386
CONCEPCION DEL ORO	598	490	570	651	445	990	444					191	583	895	339	451	330	346	569	483	512	523
CHALCHINUIYES	690	670	634	737	671	912	406	599	702	409	744	529	526	490	499	531	264	202	494	206	355	527
FRESWILLO	745	253	162	457	556	464	263	403	652	289	578	264	499	686	326	399	222	319	463	332	529	393
JEREZ DE GARCIA S.	422	477	665	610	707	656	284	695	861	341	489	316	657	459	443	536	344	476	505	404	461	505
JIMENEZ DE TEUL	739	567	519	608	737	510	429	401	591	549	782	121	386	606	412	399	367	639	406	372	495	497
JUCHIPILA	795	657	718	748	924	877	602	791	907	553	722	806	624	688	751	758	619	836	638	634	872	739
LA CRUJIDORA	224	259	419	381	411	549	292	350	469	359	442	197	381	733	344	416	306	195	415	269	350	370
OJOCALIENTE	452	460	435	511	709	606	199	440	581	335	622	405	384	270	175	265	191	226	229	82	459	385
PIÑOS	488	405	476	554	710	260	170	333	428	312	482	444	504	721	168	391	350	453	391	310	431	418
PRESA SANTA ROSA	431	249	482	587	703	501	293	635	616	370	647	370	401	632	428	419	253	376	424	512	598	474

TABLA No. 5

En la tabla No.5 se muestran los valores de la precipitación promedio anual, con los cuales se construyeron los histogramas de la figura No.6. Se puede observar que 1967 y 1968 fueron los años con mayor incidencia de lluvias, mientras que en 1969 y 1979 se presentaron los valores más bajos. El valor mínimo de 82 mm se registró en la estación Ojocaliente para el año de 1982, mientras que la máxima fue de 990 mm y se registró en la estación Concepción del Oro en el año de 1968. La ubicación de las estaciones se presenta en la figura No. 7 que aparece al final de este capítulo.

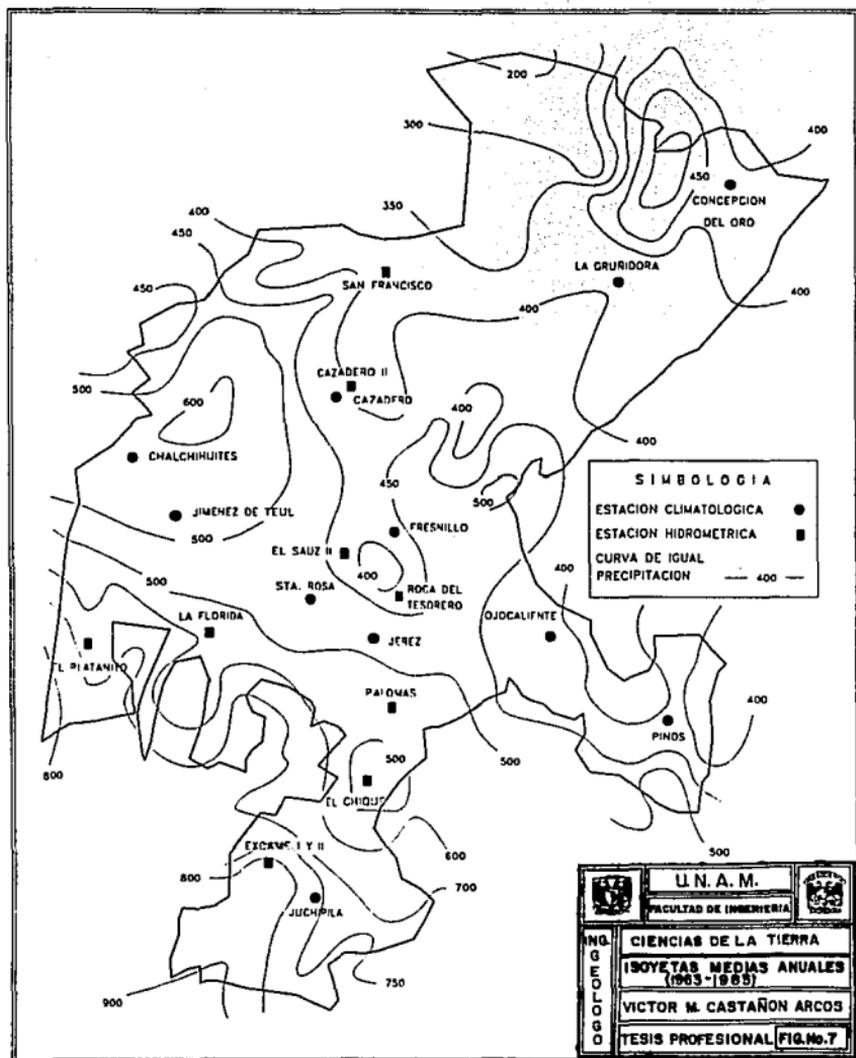
Tomando en cuenta que el número de estaciones climatológicas no es suficiente para la elaboración del plano estatal de isoyetas, éste se elaboró tomando como base el que presenta la S.A.R.H. en el estudio de elaboración y trazo de isoyetas medias anuales de la República Mexicana, para el período 1931-1970, además de que existe una marcada semejanza con los datos obtenidos de las estaciones consideradas como representativas de las condiciones de precipitación.

En la figura No.7 se muestran las curvas de igual valor de precipitación (isoyetas), que reflejan la distribución espacial de las mismas. En ella se observa que, de manera general, los valores mínimos se registran en el norte del estado -en donde las condiciones climatológicas son las más adversas- aumentando gradualmente hacia el sur. En términos generales, la precipitación media anual varía de 370 a 740 mm, con una media de 482 mm.

III.4 EVAPORACION POTENCIAL.

En lo que respecta a la evaporación potencial, los valores promedio mensuales están representados en la tabla No. 6, con los que se elaboraron los histogramas de la figura No. 5. En ellos se observa que la evaporación varía de 73 a 295 mm, registrándose evaporaciones mayores durante los meses de abril y mayo; mientras que en diciembre y enero se presentan los valores más bajos.

Por otro lado, en la tabla No.7 se muestran los valores promedio anuales, con los que se construyeron los histogramas de la figura No.6. En ella se puede observar que, para el período analizado, el valor máximo de evaporación fue de 3143 mm, registrado en la estación Jerez en el año de 1968; mientras que el valor mínimo fue de 1441 mm, en la estación Pinos, para el año de 1969. El valor medio anual resultó ser del orden de los 2033 mm.



SIMBOLOGIA

- ESTACION CLIMATOLOGICA
- ESTACION HIDROMETRICA
- - - CURVA DE IGUAL PRECIPITACION
- 400 —

ING. GEOLOGICO	U.N.A.M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
CIENCIAS DE LA TIERRA		
ISOYETAS MEDIAS ANUALES (1963-1968)		
VICTOR M. CASTAÑON ARCOS		
TESIS PROFESIONAL FIG.No.7		

EVAPORACION PROMEDIO MENSUAL (mm)
(1963-1983)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAXADERO	110.8	139.6	21.8	235.1	251.0	213.5	176.1	150.6	125.6	115.0	109.6	97.1
CONCEPCION DEL ORO	93.7	114.8	167.9	198.2	212.1	192.5	184.2	173.5	153.9	130.4	105.2	85.9
CHALCHIHUITES	141.3	141.4	186.2	189.9	206.3	169.5	130.0	124.5	123.6	142.0	133.4	144.4
FRESNILLO	139.8	165.2	245.8	283.7	294.8	242.2	206.9	177.8	155.3	161.4	148.6	128.8
JEREZ DE GARCIA S.	155.3	165.4	218.8	238.2	272.1	242.0	228.5	213.0	203.4	180.4	177.7	157.5
JIMENEZ DE TEUL	137.5	123.2	194.9	216.6	236.4	218.9	176.0	170.4	155.4	152.5	143.4	127.9
JUCHIPILA	137.8	164.0	230.7	262.4	276.7	238.3	209.4	195.8	175.4	173.1	149.5	125.8
LA GRUBIDORA	82.9	109.5	177.4	205.8	208.4	193.2	178.5	157.4	134.7	125.1	97.7	73.1
OJOCALIENTE	115.8	124.9	170.4	200.5	221.7	180.7	172.6	172.1	155.1	143.4	121.6	120.7
PINOS	119.3	128.6	166.8	187.6	192.2	161.3	164.6	144.6	144.4	134.0	122.6	111.8
PRESA SANTA ROSA	121.7	153.5	229.1	253.1	277.4	223.9	183.4	167.3	140.2	141.6	133.5	114.6

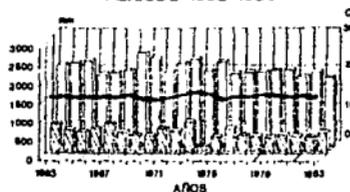
TABLA No. 6

EVAPORACION PROMEDIO ANUAL (mm)
(1963-1983)

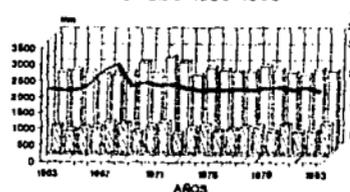
ESTACION	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	PROM	
CAXADERO	1864	1933	1908	1823	1782	1843	2047	1905	1864	1939	1893	1962	1995	1808	1879	1963	2134	2166	1932	2188	2015	1945	
CONCEPCION DEL ORO	1886	1959	2030	1751	2013	1689	1876						1794	1844	1675	1929	1628	1835	1775	1569	1852	1827	1811
CHALCHIHUITES				1650	1660	1753	1821	1630	1662	1498	1678	1607	1802	1769	1947	1858	2285	2070	2277	2185		1832	
FRESNILLO	2238	2044	2385	1968	2084	2189	2603	2453	2442	2575	2594	2523	2679	2226	2196	2278	2360					2344	
JEREZ DE GARCIA S.	2193	2871	2694	2847	3079	3143	3261	3094	3056	2434	1972	2072	2117	1842	1854	2005	2135	2155	1707	2491	2515	2449	
JIMENEZ DE TEUL	2129	2194	2247	1879	1924	2001	2473	2329	1958	2159	2276	1966	2211	1894	1936	1958	1981	2011	1836	1955	1800	2053	
JUCHIPILA	2282	2337	2281	2204	2222	2282	2566	2306	2734	2569	2199	2401	2327	2288	2301	2444	2339	2265	2196	2362	2322	2344	
LA GRUBIDORA	1680	1688	1724	1791	2017	1840	1894	1732	1787	1773	1664	1838	1821	1629	1774	1695	1652	1752	1696	1698	1637	1742	
OJOCALIENTE	1810	1845	1951	1858	1912	1825	1940	1814	1941	1969	2018	2175	2009	1995	1882	1908	1881	1764	1724	1944	1790	1903	
PINOS	1911	2082	1932	1762	1843	1813	1641	1449	1526	1578	1805	1799	1651	1388	1754	1613	1948	1998	1927	2022	2084	1777	
PRESA SANTA ROSA	2281	1950	2397	2042	2046	2074	2428	2268	1982	2196	2149	2211	2146	1938	2131	2230	2324	2232	2011	1956	1902	2139	

TABLA No. 7

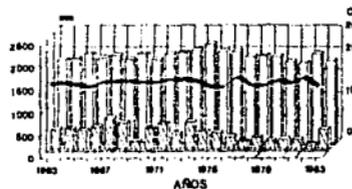
ESTACION JIMENEZ
PERIODO 1963-1983



ESTACION JUCHIPILA
PERIODO 1963-1983



ESTACION OJOCALIENTE
PERIODO 1963-1983

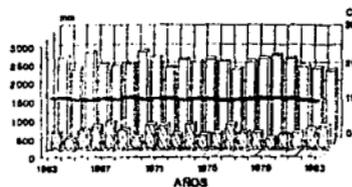


ESTACION PINOS
PERIODO 1963-1983



■ TEMPERATURA ▨ PRECIPITACION □ EVAPORACION

ESTACION SANTA ROSA
PERIODO 1963-1983



U. N. A. M.	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ING G E O L O G O	CIENCIAS DE LA TIERRA (cont) HISTOGRAMAS ANUALES
VICTOR M. CASTAÑON ARCOS	
TESIS PROFESIONAL FIG. No. 6	

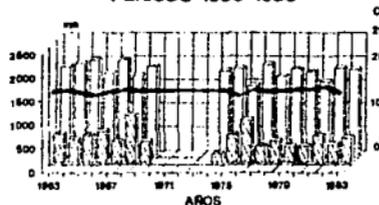
ESTACION CAZADERO
PERIODO 1963-1983



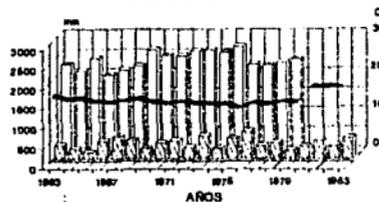
ESTACION CHALCHIHUITES
PERIODO 1963-1983



ESTACION CONCEPCION
PERIODO 1963-1983



ESTACION FRESNILLO
PERIODO 1963-1983

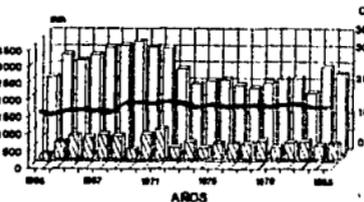


■ TEMPERATURA ▨ PRECIPITACION □ EVAPORACION

ESTACION LA GRUÑIDORA
PERIODO 1963-1983



ESTACION JEREZ
PERIODO 1963-1983



ING. G E O L O G O	 U. N. A. M. 
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	HISTOGRAMAS ANUALES
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 6

IV GEOLOGIA

IV.1 FISIOGRAFIA.

El estado de Zacatecas está ubicado dentro de cuatro provincias fisiográficas, según la clasificación de Raisz, 1964: Sierra Madre Occidental, Mesa Central, Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico (Figura No. 8).

SIERRA MADRE OCCIDENTAL. Se extiende desde Sonora hasta Jalisco, de noroeste a sureste, y limitada en el sur por la provincia del Eje Neovolcánico. Es un gran sistema montañoso formado por rocas volcánicas de composición ácida e intermedia que alcanzan espesores de hasta 1800 m, que constituyen el afloramiento más extenso de ignimbritas y rocas volcánicas de carácter ácido en el mundo. Está formada por una extensa meseta volcánica afectada por numerosas fallas normales sobre todo en los flancos, que oscurecen su apariencia homogénea y pseudohorizontal. El borde oriental baja gradualmente hacia las regiones llanas del centro, en tanto que el borde occidental constituye una terminación abrupta, por la presencia de fallas normales de gran desplazamiento.

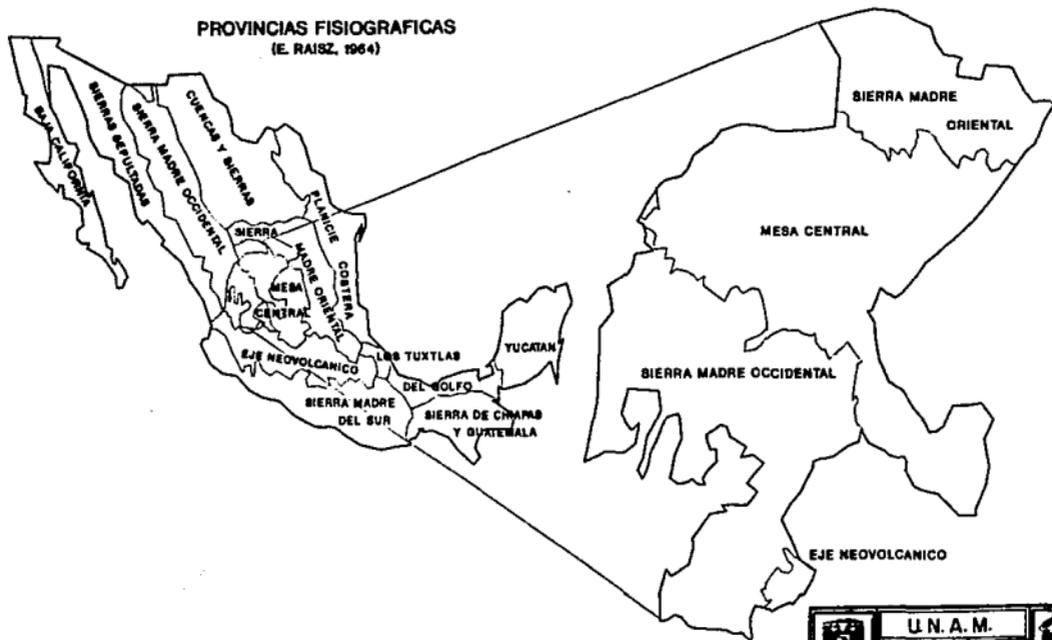
En la porción central de la sierra se encuentran materiales volcánicos depositados en forma de pseudoestratos horizontales que conforman las elevadas mesetas típicas de esta provincia. Otro rasgo muy particular es la presencia de profundos cañones en el flanco occidental de la sierra, producto de la acción erosiva de los ríos facilitada por la existencia de rasgos litológicos y tectónicos característicos, como es la presencia de fallas y fracturas, erosión diferencial, etc.

Dentro del estado de Zacatecas, esta provincia se caracteriza por presentar una serie de sierras altas, alargadas y rematadas por mesetas; alternadas con pequeños valles alineados en dirección preferencial norte-sur. Comprende el 39% de la superficie total del estado, abarcando la zona sur, centro y oeste.

En esta región se originan los ríos de régimen intermitente Juchipila, Jerez, Tlaltenango, Colotlán, Valparaíso, Atenco, Aguanaval y Chalchihuites; los cuales después de atravesar la entidad, vierten sus aguas hacia los estados de Jalisco, Durango y Nayarit.

MESA CENTRAL. Esta provincia fisiográfica comprende parte de los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes y Guanajuato. En el estado de Zacatecas se localiza en la parte centro-norte y sureste de la entidad, entre las dos grandes sierras del norte de México: la occidental y la oriental, y limitada al sur por el Eje Neovolcánico. Se caracteriza por presentar una combinación de amplias llanuras y sierras dispersas de poca elevación y de corta longitud, principalmente de naturaleza volcánica; predominando las superficies planas. Abarca el 43 % de la superficie total del estado.

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS
(E. RAISZ, 1964)



ING G E O G R A F I A	 U. N. A. M. 
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PROVINCIAS FISIOGRAFICAS
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 8

SIERRA MADRE ORIENTAL. Esta faja orogénica constituye el rasgo tectónico de rocas sedimentarias mesozoicas de mayor continuidad estructural en toda la República Mexicana. Comprende parte de los estados de Durango, Coahuila, Zacatecas; Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Veracruz, Hidalgo y Puebla. Se extiende desde sus límites con el Eje Neovolcánico en las cercanías de Pachuca, Hgo. en sentido paralelo a la costa del Golfo de México hasta la altura de Monterrey N.L., lugar donde se desvía hacia el oeste para adoptar una dirección franca este-oeste, extendiéndose hasta los límites con la Sierra Madre Occidental al norte de Cuernavaca, Dgo., para adquirir nuevamente una orientación similar.

En el estado de Zacatecas se localiza en el extremo nor-noreste, abarcando el 17 % de su superficie total. Está formada por la continuidad de montañas estrechamente plegadas de rocas sedimentarias marinas del Cretácico y Jurásico Superior, principalmente calizas y areniscas, definiendo sierras alineadas en dirección noroeste-sureste que adquirieron un rumbo este-oeste sólo en el extremo norte.

EJE NEOVOLCANICO. Esta provincia está formada por una enorme masa de rocas volcánicas acumulada durante una gran cantidad de episodios eruptivos sucesivos, iniciados a mediados del Terciario y continuados hasta el Reciente, que fueron emitidos a través de un importante número de aparatos volcánicos. La integran grandes sierras volcánicas, extensas coladas de lava, conos y depósitos de arena y ceniza dispersos entre extensas llanuras. Su característica más importante es la presencia de una cadena de estratovolcanes que atraviesan al país casi en línea recta a lo largo del paralelo 19, los cuales constituyen las principales alturas de México. Entre estos volcanes destacan el Volcán de Colima, el Nevado de Toluca, el Popocatepetl, el Iztaccihuatl, La Malinche, el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba.

En el estado de Zacatecas esta provincia se localiza únicamente en una pequeña porción del sureste, y representa tan sólo el 1 % de su superficie total.

IV.2 GEOMORFOLOGIA

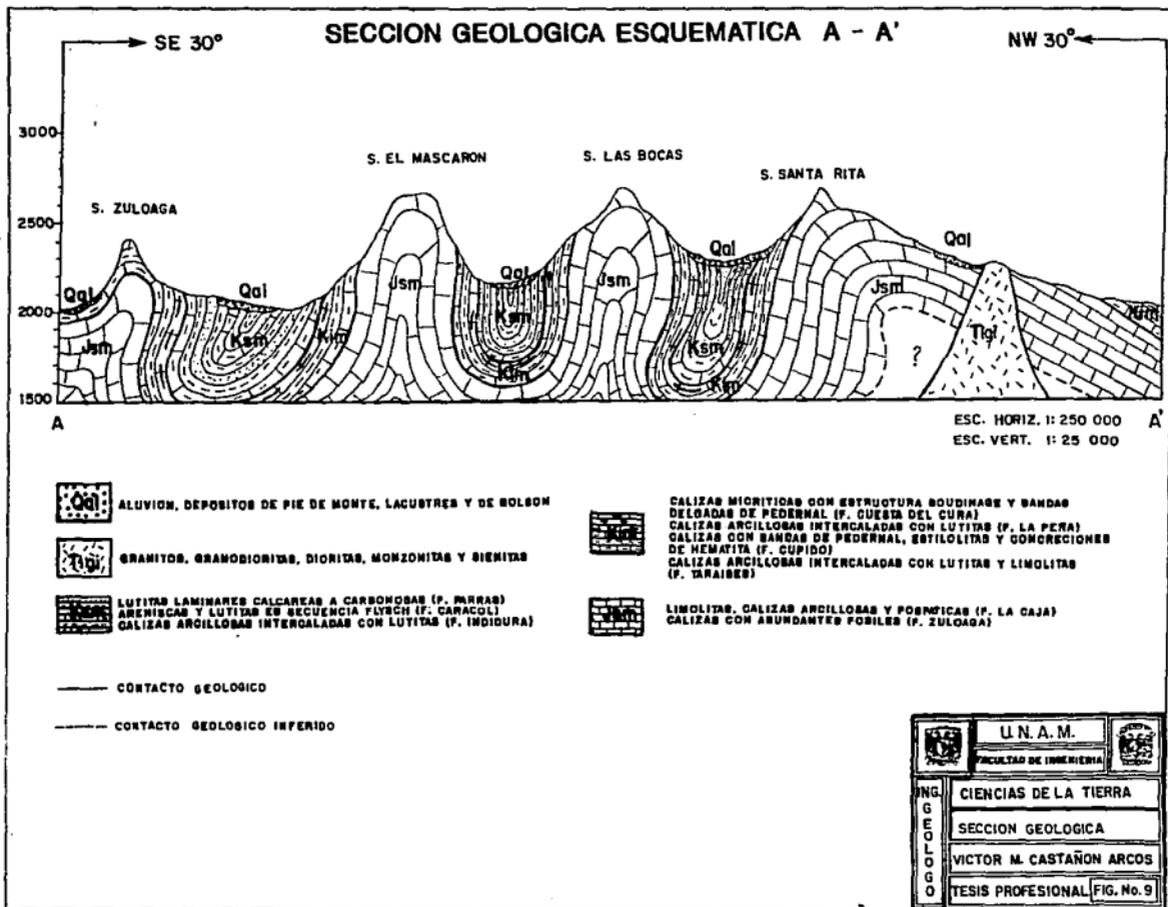
Aunque hablar de la geomorfología del estado de Zacatecas implica grandes problemas, ya que cambios importantes se suceden en áreas relativamente pequeñas; es posible describirla, de manera general, haciendo referencia a las provincias fisiográficas dentro de las cuales se encuentra ubicada la entidad.

Los rasgos geomorfológicos de la Sierra Madre Oriental están representados por una serie de sierras plegadas, alargadas en dirección general hacia el noroeste, constituidas por sedimentos marinos del Cretácico y Jurásico. La intensa erosión, producto de los procesos exógenos a que ha estado expuesta esta región, ha modelado la geomorfología actual, dando como resultado un relieve montañoso surcado por un drenaje principalmente dendrítico, característico de pliegues anticlinales y valles sinclinales estrechos, que varía entre los 1000 y 1200 msnm, con alturas máximas de 2800 msnm en las sierras de Santa Rita, Zuloaga, El Mascarón y San Julián (Figuras Nos. 9 y 10).

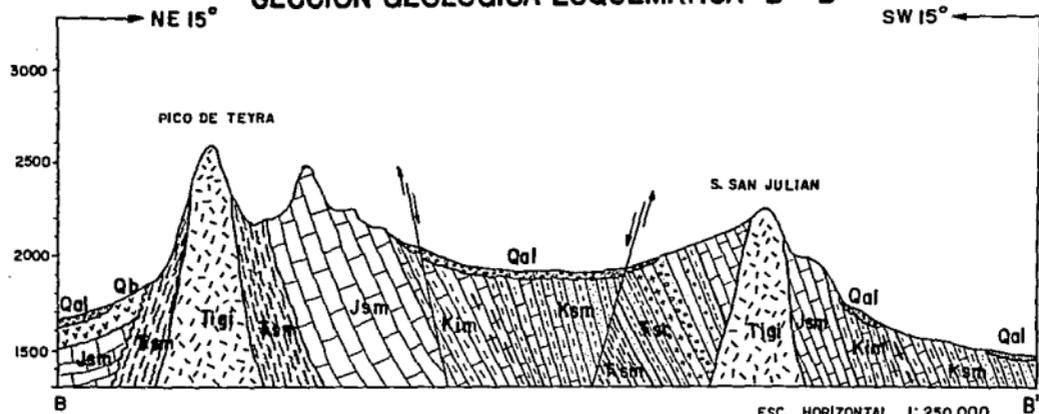
Las formas topográficas se presentan desde suaves hasta ligeramente abruptas, acentuándose donde se presenta una unidad estratigráfica competente, como es el caso de la Caliza Zuloaga que forma el núcleo de los anticlinales y constituye las mayores elevaciones del área. Las montañas han sido erosionadas en forma característica de manera que presentan contornos redondeados, de pendientes suaves, y con extensos abanicos aluviales al pie de las mismas. Algunas de estas sierras se encuentran cortadas por cañones, cuyo desarrollo se ha visto favorecido por la presencia de fallas y fracturas. Hacia el sur disminuye el relieve topográfico, originando sierras de menor elevación.

Las sierras se encuentran separadas por amplios valles que funcionan como cuencas endorreicas, aumentando en extensión hacia el sur. La región es drenada por sistemas dendríticos de corrientes intermitentes que fluyen hacia los valles, en donde desaparecen por evaporación e infiltración y sólo en las partes más bajas de las cuencas forman lagunas o zonas de inundación.

La Mesa Central se caracteriza por presentar predominio de los procesos exógenos sobre los endógenos, de tal forma que se han formado extensas planicies de las que sobresalen cerros, lomeríos y mesas, muchos de los cuales prácticamente han alcanzado su nivel base de erosión. En el norte de esta región, cerca del límite con la Sierra Madre Oriental, las principales elevaciones están constituidas por calizas que han resistido los efectos de la erosión, mientras que las formaciones calcáreo-arcillosas tienden a formar puertos, cuencas y valles alargados. Las principales elevaciones de esta zona son las sierras de Santa Cristina y Guadalupe de Las Corrientes, cuyas elevaciones sobrepasan los 2500 msnm, sobre un nivel base de 1900 msnm que presentan las partes más bajas, con una topografía de formas redondeadas y pendientes suaves. Es común también la presencia de abanicos aluviales o conos de deyección depositados al pie de las sierras, que demuestran su estado avanzado de erosión.



SECCION GEOLOGICA ESQUEMATICA B - B'



ESC. HORIZONTAL 1:250 000
 ESC. VERTICAL 1: 25 000

- ALUVION, DEPOSITOS DE PIE DE MONTE, LACUSTRES Y DE BOLSÓN
- TERRANES BASÁLTICOS
- GRANITOS, GRANODIORITAS, DIORITAS, MONZONITAS Y SIENITAS
- LUTITAS LAMINARES CALCÁREAS A CARBONOSAS (F. MARRAS)
ARENISICAS Y LUTITAS DE SECUENCIA FLYSCH (F. CARACOL)
CALIZAS ARCILLOSAS INTERCALADAS CON LUTITAS (F. INDIGURA)
- LIMOLITAS, CALIZAS ARCILLOSAS Y FOSFÁTICAS (F. LA CAJA)
CALIZAS CON ABUNDANTES FÓSILES (F. ZULOAGA)

- CALIZAS MICRITICAS CON ESTRUCTURA BOLDINARE Y BANDAS DELGADAS DE PEDERNAL (F. CUESTA DEL CURA)
CALIZAS ARCILLOSAS INTERCALADAS CON LUTITAS (F. LA PERA)
CALIZAS CON BANDAS DE PEDERNAL, ESTILOLITAS Y CONCRECIONES DE HEMATITA (F. CUPIDO)
CALIZAS ARCILLOSAS INTERCALADAS CON LUTITAS Y LIMOLITAS (F. TRAISES)
- LUTITAS, ARENISCAS, LIMOLITAS Y CONGLOMERADOS INTERESTRAFIFICADOS CON ROCAS VOLCÁNICAS (F. MAZAS)
- LUTITAS, ARENISCAS, ESQUISTOS Y FILITAS (F. ZACATECAS)
FILITAS SERICITICAS, PIZARRAS, ARENISCAS Y DOLOMITAS (F. TAYAY)

- DISCORDANCIA
- FALLA NORMAL
- CONTACTO GEOLOGICO

ING G E O L O G O	U. N. A. M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	SECCION GEOLOGICA	
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS	
TESIS PROFESIONAL, FIG. No. 10		

Otro rasgo característico de esta zona es la presencia de extensas cuencas endorreicas, conocidas en el norte del país como barriales, cuya orientación general es noroeste-sureste. Las áreas planas y bajas están ocupadas comúnmente por sedimentos lacustres y por partículas de la Formación Caracol. Los lomeríos están constituidos principalmente por areniscas y lutitas, mientras que las mesas están formadas por derrames basálticos.

Hacia el sur se mantiene la característica de relieve bajo y la presencia de lagos salinos en las partes bajas de los valles. Las llanuras se presentan rodeadas de pequeñas sierras aisladas y angostas que siguen preferencialmente una orientación noroeste-sureste, algunas de las cuales corresponden a estructuras producidas por plegamiento y otras por actividad volcánica y vestigios de erosión de sus productos piroclásticos, tal es el caso de la región de Ojocaliente y Pánfilo Natera. Existen también montañas complejas constituidas por rocas metamórficas del Triásico-Jurásico, en ocasiones intrusionadas por cuerpos plutónicos.

Las elevaciones generalmente presentan formas redondeadas debido a que están constituidas por calizas o materiales piroclásticos fácilmente erosionables, en ocasiones corresponden a los afloramientos de cuerpos intrusivos. Las mesas presentan superficies planas en la parte superior constituida por derrames riolíticos, mientras que las laderas muestran superficies escarpadas debido a que están formadas por materiales piroclásticos, originando un proceso de erosión diferencial.

En esta región los escurrimientos son de régimen intermitente y con drenaje de tipo dendrítico poco integrado, de cursos divagantes que desaparecen por infiltración al llegar a los abanicos aluviales o por evaporación en las partes bajas de los valles. El río Aguanaval es su corriente principal, fluyendo en dirección preferencial norte-sur hacia los estados de Durango y Coahuila.

El rasgo geomorfológico más representativo de la Sierra Madre Occidental es la presencia de una extensa meseta riolítica que alcanza hasta los 2500 msnm, cortada abruptamente por profundos cañones, dando como resultado de la erosión fluvial, la formación de un gran número de mesetas de menor extensión, ligeramente inclinadas hacia el poniente (Figura No.11). Hacia la región de Valparaíso, Monte Escobedo y Jiménez de Teúl se localizan las partes más altas y escarpadas, en las sierras de Valparaíso, Sombrerete, Chapultepec, Fresnillo, La Moneda de Cinco Pesos y la Sierra Negra, cuyas elevaciones sobrepasan los 2700 msnm y se elevan 600 m sobre el nivel del terreno.

A diferencia de otras zonas de la Sierra Madre Occidental, en Zacatecas las mesas sobrepasan los 2500 msnm, están alargadas en sentido norte-sur y sus cañones no son tan profundos, interrumpiéndose para dar lugar a estrechos valles que después vuelven a encañonarse.

Hacia el sur del estado, la región de Villanueva-Jalpa-Juchipila se caracteriza por presentar sierras que sobrepasan los 2500 msnm, alargadas en sentido norte-sur; tal es el caso de las sierras de Nochistlán y Morones, las cuales alternan con valles estrechos y alargados que con frecuencia presentan terrazas y lomeríos producto de la erosión de sus antiguos fondos.

El Eje Neovolcánico está representado por sistemas de lomeríos de pendientes suaves separados por pequeños valles; también se localizan algunos aparatos volcánicos de tipo cinerítico de poca altitud asociados con mesetas. Las corrientes que se originan en esta región son de régimen intermitente, drenaje dendrítico y son afluentes del Río Juchipila.

IV.3 ESTRATIGRAFIA.

En el estado de Zacatecas se encuentran aflorando tanto rocas sedimentarias como ígneas y metamórficas, que en conjunto representan un registro estratigráfico que comprende desde el Paleozoico hasta el Reciente (Tabla No. 8).

Las rocas más antiguas de la región son rocas metamórficas paleozoicas que se localizan en la región noroccidental de la entidad, estas rocas pertenecen a las formaciones Caopas y Rodeo del Paleozoico Tardío (Plano No. 1).

El Mesozoico está representado por la secuencia de rocas sedimentarias marinas y metamórficas de las formaciones Taray y Zacatecas del Triásico Tardío y las capas rojas de la Formación Nazas. Sobreyaciendo, en ocasiones a esta última formación y en otras a las rocas metamórficas paleozoicas, se localizan las rocas sedimentarias jurásicas que se encuentran aflorando en el norte del estado. Dentro del Cretácico se encuentra incluida la secuencia de rocas sedimentarias marinas, correspondientes a la provincia geológica denominada por Pemex (1980) como cuenca mesozoica del centro de México, aflora ampliamente en el norte y noreste de la entidad, así como la secuencia vulcanosedimentaria que aflora en la región centro y sureste, atribuida a la formación durante este período de un arco de islas que representa la base de la Sierra Madre Occidental.

El Cenozoico está representado por rocas ígneas extrusivas e intrusivas terciarias de composición muy variada y conglomerados continentales. El Cuaternario comprende a los derrames basálticos y los depósitos de pie de monte y aluviones.

PALEOZOICO METAMORFICO (Pzm)

Las rocas que constituyen el basamento de la región son rocas metamórficas que pertenecen a las formaciones Caopas y Rodeo.

La Formación Caopas representa la unidad estratigráfica más antigua que aflora en el estado, fue designada formalmente con este nombre por Rogers *et al.* (1961) al referirse a una secuencia de rocas intensamente deformadas que se encuentra solamente en el flanco occidental de la Sierra de San Julián, aflorando en las cercanías del poblado de Caopas, Zac., al que proponen como localidad tipo. Esta unidad presenta un aspecto homogéneo y está

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

ERA	PERIODO	EPOCA	CENOZOICO						
			CUATERNARIO	TERCIARIO					
				EDAD					
MESOZOICO	CRETACICO	RECIENTE	ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION	
		PLEISTOCENO	G. PERIBARZ			G. PERIBARZ			
		PLIOCENO	BASALTO			BASALTO			
		MIOCENO							
		OLIGOCENO							
		EOCENO		F. MAUCHILA		F. MAUCHILA			
		PALEOCENO							
		SUPERIOR	MAESTRICHTIANO						
			CAMPANIANO		F. PARRAS	F. PARRAS	EPD. DIFUNTA		
			SANTONIANO						F. PARRAS
			CONIACIANO		F. CARACOL	F. CARACOL	F. PARRAS		
			TURONIANO	F. INDIURA	F. INDIURA	F. INDIURA	F. INDIURA	F. INDIURA	F. INDIURA
			CENOMANIANO						
		INFERIOR	ALBIANO		F. CUESTA DEL CURA				
			SUPERIOR				F. CUESTA DEL CURA		
			MEDIO				F. AURORA		
			INFERIOR						
			NEOCOMIANO	F. LA PERA	F. LA PERA	F. LA PERA	F. LA PERA	F. LA PERA	F. LA PERA
			BARREMIANO	F. CUPIDO	F. CUPIDO	F. CUPIDO	F. CUPIDO	F. CUPIDO	F. CUPIDO
		JURASICO	HAUTERVIANO						
			MALANGINIANO	F. TARAISES	F. TARAISES	F. TARAISES	F. TARAISES	F. TARAISES	F. TARAISES
			HERRASIANO						
			TITHONIANO						
			KIMMERIDGIANO	F. LA CAJA	F. LA CAJA	F. LA CAJA	F. LA CASITA	F. LA CAJA	F. LA CAJA
OXFORDIANO	F. ZULDAGA		F. ZULDAGA	F. ZULDAGA	F. LA CLORITA	F. ZULDAGA	F. ZULDAGA		
TRIASICO	INF. MED. SUP.								
	CALLOVIANO								
	BATHONIANO								
	BAJOCIANO								
	TOARCIANO	F. NAZAS			F. NAZAS				
	PLEINSBACHIANO								
INF. MED. SUP.	SINEMURIANO								
	HEYTANGIANO								
	RETIANO	F. ZACATECAS			F. ZACATECAS	F. ZACATECAS	F. NAZAS		
	NORIANO								
	CARNIANO						F. ZACATECAS		
	LADIANO						F. TARAY		
ANISIANO									
SCYTHIANO									
PALEOZOICO	PERMICO		F. RINCO		F. RINCO		F. RINCO		
	PENNSILVANICO		F. CAOPAS		F. CAOPAS		F. CAOPAS		

1), 2) y 3) TOLEDO B., 1967
4) ROGERS ET AL., 1961

5) CASTAÑEDA A., 1965
6) PRESINTE ESTUDIO

||||| AUSENTE POR EROSION
O NO DEPOSITO

▨ NO AFLORA

TABLA No. 8

constituida por esquistos sílfecos de color verdoso que al intemperizar adquieren una coloración parda-amarillenta. Se desconoce su espesor y edad, pero por su posición estratigráfica, probablemente se trata de metasedimentos del Paleozoico Superior (Rogers *et al.*, *op. cit.*)

La datación radiométrica hecha por Fries (1965) en cristales de zircón es especulativa, ya que dicho mineral es de origen ígneo y por lo tanto, la edad del Triásico Superior que se obtuvo podría corresponder al periodo de metamorfismo durante el cual se formó el mineral.

Sobreyaciendo a los esquistos Caopas, algunas veces concordantemente y otras en discordancia angular, se encuentran los esquistos de la Formación Rodeo, nombre propuesto formalmente por Rogers *et al.* (*op. cit.*), para una secuencia de esquistos, cuyos mejores afloramientos se localizan a lo largo del arroyo que bisecta al poblado de El Rodeo, Zac., en la Sierra de San Julián.

Esta formación está constituida por una secuencia de rocas que varían de esquistos a filitas, en ocasiones intensamente deformadas, que presentan una gran variedad de colores: púrpura, violeta, gris, verde o amarillento. Las rocas verdosas son más abundantes en la parte superior y están formadas en su mayor parte por esquistos cloríticos, con algunas capas de material metavolcánico.

Por su posición estratigráfica, dado que subyace a la Formación Zacatecas del Triásico Superior, y por su grado de metamorfismo, Rogers *et al.* (*op. cit.*) le asignan una edad correspondiente al Paleozoico. Se desconoce el espesor de esta unidad; sin embargo, Aguilera T.G., (1975) reporta 996 m, según una sección medida 2.5 km al NE del Cerro Europa.

TRIASICO SUPERIOR MARINO (Tsm).

El registro estratigráfico para este periodo está representado por dos unidades: la Formación Taray y la formación Zacatecas.

La Formación Taray es el nombre con el que Córdoba (1964) designó a la secuencia que sobreyace a la Formación Rodeo, proponiendo como localidad tipo al Arroyo del Taray situado al oeste del Pico de Teyra. Litológicamente está constituida por filitas sericíticas, pizarras y areniscas, interestratificadas con dolomías. Aunque en esta región la sección estratigráfica probablemente está repetida por fallamiento y plegamiento, el mismo autor considera que por lo menos están expuestos 630 m de la formación. Aflora al norte del estado, en el área del Pico de Teyra y Caopas.

La formación Zacatecas es el nombre informal con el que Carrillo B. (1968) se refirió a una secuencia de lutitas y areniscas de color gris verdoso y gris oscuro que contienen fósiles marinos característicos del Triásico Superior, definiendo como localidad tipo al Arroyo Pimienta, localizado al occidente de la Cd. de Zacatecas; lugar en donde Buckhardt (1930) la describió como esquistos silíceos y arcillosos de color negro a azul oscuro, que alternan con areniscas tobáceas de color verde, con lutitas grises y verdes, sin aplicarle nomenclatura litoestratigráfica.

La litología de esta formación es muy variada, esencialmente está formada por lutitas, areniscas, filitas y pizarras predominando en ciertas zonas las lutitas o las areniscas y en otras se presentan en secuencia alternante (flysch), con bajo grado de metamorfismo. Se han identificado, en algunas regiones del estado y hacia el distrito minero de Charcas, S.L.P., metaconglomerados y metariolitas asociadas a las rocas anteriores.

Los afloramientos de esta unidad se encuentran restringidos a pequeñas áreas localizadas en la sierra de Teyra, al norte y occidente de la Cd. de Zacatecas, al oriente de Ojocaliente -en el área de Pastoria- y al norte de Villa Hidalgo.

TRIASICO SUPERIOR CONTINENTAL (Tsc).

Las rocas depositadas durante este período corresponden a la Formación Nazas, nombre con el que Pantoja-Ator (1963) se refirió a una secuencia de rocas volcánicas interestratificadas con lutitas, areniscas y conglomerados de color rojo a verde claro, que presentan un intenso fracturamiento. El nombre de esta unidad litoestratigráfica se tomó de la estación Nazas, localizada sobre la vía del ferrocarril Torreón-Durango. El autor correlacionó esta unidad con la Formación Huizachal, expuesta cerca de Ciudad Victoria, Tamaulipas, y le atribuyó una edad probable Triásica Tardía.

En el área de Apizolaya, Córdoba (*op. cit.*) describe a la formación como una secuencia de rocas de 155 m de espesor constituida por limolita verde y conglomerado en la base; en la parte media se presenta una lava oscura de 30 m de espesor; y en la parte superior lutita, limolita y conglomerado.

En la Sierra del Toro, en el área de El Cardito, García Calderón (1974) describe una sección incompleta de 23.5 m de espesor, constituida en su base por lutita de color rojo, en la parte media una riolita gris y toba de color rosa, y la parte superior constituida por toba, ceniza volcánica compacta de color gris violáceo y un conglomerado riolítico de color morado parduzco. En ambos casos, por su posición estratigráfica, se le asigna una edad correspondiente al Triásico Superior.

Hacia el área de Salinas, S.L.P. la formación presenta un incipiente metamorfismo regional en su secuencia completa. En esta misma localidad, Toledo, B. (1987) menciona que la naturaleza real del contacto con la unidad suprayacente (Formación Zuloaga) puede ser tectónica, ya que la base de esta formación se observa recrystalizada hasta el grado de presentar mármol cataclástico y pliegues de arrastre en los estratos menos competentes.

Los principales afloramientos de esta unidad se localizan en el norte del estado: en el flanco oriental de la Sierra San Julián y en la Sierra de Teyra.

JURASICO SUPERIOR MARINO (Jsm).

El Jurásico Superior está representado por los sedimentos marinos que constituyen a las formaciones Zuloaga y La Caja.

Imlay (1938) definió como Formación Zuloaga a la secuencia que Burckhardt (1921) llamó "Caliza con Nerineas". En su localidad tipo- sierra del Sombrerito, al norte de Melchor Ocampo, Zac.,- está representada por 550 m de caliza de color gris oscuro, en capas gruesas a masivas hasta de 3 m de espesor, con nódulos de pedernal negro y abundantes fragmentos de bivalvos, gasterópodos y corales.

Diversos autores coinciden en dividirla en dos miembros: El inferior formado por caliza de color gris claro a ligeramente oscuro con manchas rojizas y amarillentas, de estratificación delgada, con nódulos de pedernal y abundantes fósiles y el miembro superior que contiene una secuencia de estratos gruesos de caliza microcristalina de color gris oscuro. Es común la presencia de horizontes de calizas arcillosas. La Caliza Zuloaga se encuentra ampliamente distribuida en todo el norte del estado, generalmente formando el núcleo de los anticlinales. Esta formación tiene una expresión morfológica característica, ya que contrasta con las unidades sub y suprayacentes por su color más claro y su mayor resistencia a la erosión. Las determinaciones paleontológicas han permitido asignarle una edad oxfordiana.

La Formación Zuloaga es correlacionable con los terrígenos de la Formación La Gloria y las evaporitas y carbonatos oolíticos de la Formación Olvido. Se correlaciona también con la Formación San Andrés de la Cuenca Tampico-Misantla y con la calcarenita Tepeji del estado de Veracruz.

En cuanto a la Formación La Caja, fue nombrada formalmente por Imlay (*op. cit.*), proponiendo como localidad tipo la Vereda del Quemado en el flanco meridional de la Sierra de La Caja, en Cedros, Zac. Presenta una gran variedad litológica; incluye limolitas, limolitas calcáreas, calizas arcillosas y calizas fosfáticas, en estratos delgados, laminares y con bandas de pedernal.

En su localidad tipo la formación tiene un espesor de 23 m; pero en otros lugares varía de 30 a más de 400 m. Por su contenido fosilífero, pelecípodos y amonitas, ha sido datada como del Kimmeridgiano-Tithoniano (Rogers *et al. op. cit.*)

Aflora en extensas áreas en el norte del estado, sobreyaciendo concordantemente a la Formación Zuloaga y, de la misma manera, subyace a la Formación Taraises.

La presencia de amonitas sugiere un ambiente infranerítico para el depósito de esta formación. Se correlaciona con la Formación La Casita del norte y noreste de México, y con las formaciones Pimienta y Tamán de la Cuenca Tampico-Misantla.

CRETACICO INFERIOR VULCANOSSEDIMENTARIO (Kiv).

Las rocas que pertenecen a esta serie constituyen un paquete vulcanosedimentario formado por dos unidades litológicas, siendo la más antigua el Grupo Noria de Angeles, nombre informal con el que se conoce a la secuencia de areniscas y lutitas tipo flysch con metamorfismo incipiente que afloran en el centro-sur y sureste del estado.

Sobreyaciendo a esta unidad se presenta la secuencia vulcanosedimentaria de la Formación Chilitos, constituida por rocas volcánicas de composición basáltica-andesítica con intercalaciones de limolitas, margas, calizas y lutitas, mostrando en ocasiones un ligero metamorfismo. Esta unidad se encuentra aflorando en la región centro y sureste del estado, en el área de Fresnillo, parte de la Sierra de Zacatecas y en una pequeña porción situada entre Ojocaliente y Real de Angeles.

En donde mejor se conoce esta unidad es en el Distrito Minero de Fresnillo, en el que se determinó un espesor de 500 m por obras mineras y barrenación. Por su posición estratigráfica se le ha asignado una edad correspondiente al Hauteriviano-Barremiano.

CRETACICO INFERIOR MARINO (Kim).

El Cretácico Inferior está representado por los sedimentos marinos que dieron origen a las lutitas, calizas, areniscas, limolitas y pedernal que constituyen a las formaciones Taraises, Cupido, La Peña y Cuesta del Cura, las cuales afloran ampliamente en el norte del estado.

La Formación Taraises fue definida por Imlay (1936), designando como localidad tipo al Cañón de Taraises, en la parte occidental de la Sierra de Parras, Coahuila. La litología de

esta formación puede separarse en dos unidades: la inferior constituida por una secuencia de calizas arcillosas de color gris claro, de grano fino y estratificación delgada, con intercalaciones delgadas de lutita y limolita; la superior consiste de calizas en estratos medianos a gruesos, con amonitas, belemnitas y pequeños nódulos de pedernal. En su localidad tipo presenta un espesor de 140 a 170 m. Por su contenido fosilífero y posición estratigráfica se le asigna una edad del Berriasiano-Hauteriviano (Córdoba, *op. cit.*, 1964).

Se correlaciona con las formaciones Barril Viejo y La Mula del norte de Coahuila; así como con la Formación Carbonera del norte de Durango, con las calizas de la Formación Tamaulipas Inferior y con la formación Valdecañas del área de Fresnillo, Zac.

La Formación Cupido -definida por Imlay (1937), en el cañón del Mimbres, en la porción oriental de la sierra de Parras, Coahuila- está constituida por una serie de calizas de color gris azulosas al intemperismo y gris oscuro al fresco, su textura es fina y su estratificación varía de gruesa a masiva. Presenta bandas de pedernal, estilolitas, piritas diseminadas y concreciones de hematita. El espesor de esta unidad es muy variado, llegando a alcanzar hasta más de 500 m. Se le asigna una edad correspondiente al Hauteriviano-Aptiano (Arvizu; L.G., 1978).

Esta formación se correlaciona con la parte superior de la Formación Tamaulipas Inferior y con las formaciones Las Vigas y Parritas del occidente de la sierra de Parras.

La Formación La Peña fue descrita por Imlay (1936) en la Sierra de Parras, Coahuila. Su localidad tipo está en el flanco septentrional de la sierra de Taraises, cerca de la estación La Peña. Está constituida por una caliza de color gris claro a crema, amarillento al intemperismo, en estratos que varían de 0.5 a 1.5 m; intercalados con lutitas de color amarillento y calizas arcillosas. Constituye un horizonte índice debido a su naturaleza arcillosa, contrasta su expresión morfológica con la de las formaciones que la limitan. Se le ha ubicado dentro del periodo de tiempo Aptiano-Albiano Temprano (Rogers *et al.*, *op. cit.*)

Se correlaciona con la Formación Otates de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación Cuchillo del valle del Río Conchos en Chihuahua, y con la Formación Las Uvas en el área de Acatita, en el estado de Coahuila.

En cuanto a la Formación Cuesta del Cura, ésta fue definida por Imlay (1936), quien propuso como localidad tipo la Cuesta del Cura, ubicada en el flanco septentrional de la Sierra de Parras, a 6 km al occidente de la ciudad de Parras, Coahuila. Está constituida por calizas micríticas de color gris oscuro y negro en estratos delgados a medianos, ondulados, con estructura boudinage y con bandas delgadas de pedernal. En la localidad tipo presenta un espesor de 73 m, pero en algunos afloramientos llega a alcanzar los 300 m. Aparte de los afloramientos localizados en el norte del estado, también se encuentra expuesta en pequeñas áreas del sureste. Por su posición estratigráfica y contenido faunístico, se le ha asignado una edad correspondiente al Albiano-Cenomaniano (García Calderón *op. cit.*)

Esta unidad se correlaciona con las formaciones Tamaulipas Superior y El Abra de la Cuenca Tampico-Misantla, así como con la Formación Kiamichi del Grupo Oachita, al este de Texas. Probablemente sea correlacionable con las formaciones Cerro Gordo y Caliza Fortuna del área de Fresnillo, Zac. (Toledo B. C., *op. cit.*)

CRETACICO SUPERIOR MARINO (Ksm).

El Cretácico Superior está representado en el estado de Zacatecas por los sedimentos marinos que forman las rocas de las formaciones Indidura, Caracol y Parras, las cuales afloran en la parte central y norte del estado, con escasos afloramientos en la porción suroriental.

La Formación Indidura fue descrita originalmente por Kelly (1936), en la región Las Delicias, Coahuila. Posteriormente, Imlay, midió en la sierra de Parras una sección completa de esta formación con un espesor de 652 m. Litológicamente está formada por calizas arcillosas de estratificación delgada, intercaladas con lutitas de color amarillento y lutitas calcáreas. Por su posición estratigráfica y contenido fosilífero se le asigna una edad correspondiente al Cenomaniano Temprano-Turoniano Tardío (Arvizu L.G., *op. cit.*)

Se correlaciona con la Formación Agua Nueva de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación Soyatal de la Plataforma San Luis-Valles, y con la Formación Eagle Ford del noreste y sur de Texas.

La Formación Caracol fue definida por Imlay (1937), designando como localidad tipo al arroyo del Caracol en la sierra de San Angel, Coahuila. La unidad consta de una serie de areniscas y lutitas tipo flysch en estratos delgados a medianos. El espesor es muy variable, llegando a alcanzar hasta los 1050 m en una sección medida en el flanco septentrional de la sierra La Caja (Arvizu, *op. cit.*). Se le asigna una edad correspondiente al Turoniano Tardío-Santoniano.

Esta unidad se correlaciona con la Formación San Felipe y con la Lutita Parras en el noreste de México, con la Formación Austin de Coahuila y Texas, con la Formación Ojinaga de Chihuahua y con la Formación Mezcala del sur de México.

La Formación Parras fue descrita originalmente por Imlay (1936), proponiendo como localidad tipo las lomas de San Pablo, al oriente de Parras, Coahuila. Está constituida por lutitas que varían de calcáreas a carbonosas, en estratos delgados y laminares, de color gris oscuro a negro, con algunos horizontes de areniscas en la parte inferior. Por su contenido faunístico y posición estratigráfica se le ha situado en el Campaniano (Arvizu, *op. cit.*).

Una sección completa en el cañón de La Casita tiene un espesor de 1525 m; mientras que en otro afloramiento situado al sur de Terminal, Zacatecas, en el flanco septentrional de la sierra La Caja presenta un espesor de 1000 m (Rogers *et al.*, *op. cit.*). Esta unidad es correlacionable con las formaciones Caracol, San Felipe y Austin del noreste de México.

TERCIARIO CONTINENTAL (Tc).

El Terciario está representado por los sedimentos continentales de la Formación Ahuichila, nombre con el que (Rogers *et al.*, *op. cit.*) designaron a una secuencia de rocas clásticas de edad Eoceno-Oligoceno; proponiendo como localidad tipo a la Colonia Ahuichila, localizada en el punto donde convergen los límites entre los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas.

En su localidad tipo alcanza su máximo desarrollo, presentando un espesor de 280 m. Se distinguen dos unidades bien definidas; en la parte inferior se presentan fragmentos finos de caliza y arenisca arcósica poco consolidados, mientras que hacia la parte superior el conglomerado es mal clasificado y presenta clásticos gruesos de caliza, pedernal y limolita, adquiriendo mayor consistencia que el resto de la secuencia.

La naturaleza netamente calcárea indica que su depósito se llevó a cabo antes de que iniciara el vulcanismo terciario. Debido a que la formación carece de fósiles, la edad es un tanto incierta; sin embargo, se establece que su depósito se efectuó después del plegamiento ocasionado por la orogenia Laramide, o sea que pudiera corresponder al Eoceno Superior-Oligoceno Inferior (Ledezma, G.O., 1981).

Estos depósitos afloran de manera aislada, principalmente en la porción norte y centro del estado. Se correlaciona con el Conglomerado Rojo de Guanajuato y el de Zacatecas y con el Conglomerado El Morro del estado de Hidalgo.

Hacia la región sureste de la Sierra de Zacatecas se encuentra aflorando el Conglomerado Rojo de Zacatecas constituido por fragmentos de esquistos, filitas, andesitas y basaltos, y menor proporción de rocas graníticas y riolíticas, areniscas, calizas, y pedernal, unidos por un cementante arcillo-calcáreo.

El conjunto de depósitos clásticos se encuentra expuesto de manera aislada, principalmente en la región norte y centro del estado.

CUATERNARIO CONTINENTAL (Qal).

Dentro de esta clasificación están incluidos todos los materiales continentales de depositación reciente: pies de monte, depósitos aluviales y lacustres. Estos materiales tienen una amplia distribución en todo el estado, localizándose tanto en las planicies como en las cuencas, valles y en los flancos de las montañas. Los depósitos de pie de monte se localizan en las partes bajas de las sierras y están constituidos por materiales mal clasificados y poco compactados.

Los abanicos aluviales están formados por fragmentos mal clasificados que van desde las arcillas hasta las gravas y cantos rodados. Los aluviones pueden llegar a formar planicies y rellenar los lechos de las corrientes fluviales.

Los depósitos lacustres se localizan en las partes bajas de las planicies y valles, donde se presentan cuerpos de agua intermitentes. Están constituidos por materiales finos del tamaño de los limos y arcillas.

TERCIARIO ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS (Tige).

Dentro de esta agrupación genérica se incluyen a todas las rocas ígneas extrusivas que fueron emplazadas durante el Terciario. Litológicamente presentan una gran variedad de composiciones, ya que incluyen a rocas tales como basaltos, andesitas, tobas, brechas, ignimbritas y riolitas.

Estas rocas, principalmente las ignimbritas y riolitas, se encuentran ampliamente distribuidas por todo el estado, presentándose los afloramientos más extensos en la parte sur y suroccidental del estado, pertenecientes a la Sierra Madre Occidental. Constituyen la Sierra de Nochistlán, Morones y de Valparaíso, en donde forman grandes escarpes y mesetas características de esa provincia fisiográfica.

CUATERNARIO VOLCANICO BASALTICO (Qb).

A este período pertenecen los derrames basálticos que se presentan como pequeñas mesas aisladas, aflorando más ampliamente en la parte noroccidental de la Hoja Camacho y en el flanco occidental del Pico de Teyra; se trata de basaltos de olivino, escoriáceos, de estructura amigdaloides y algunas veces fluidal. Su espesor varía de 10 a 20 m.

Se interpreta que el magma fue emplazado en la superficie a través de fracturas, ya que no se ha reconocido algún aparato volcánico en las áreas donde están expuestos los basaltos. Por su posición estratigráfica y su grado de alteración, se les asigna una edad correspondiente al Pleistoceno (Ledezma, *op. cit.*).

TERCIARIO ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS (Tigi).

Dentro de esta clasificación se incluyen a todas las rocas ígneas intrusivas que se encuentran aflorando de manera aislada. La composición es muy variada, incluye a las granodioritas, dioritas, granitos, monzonitas, cuarzomonzonitas, sienitas, diabasas y pórfidos dacíticos y andesíticos.

Los afloramientos de estos cuerpos intrusivos están muy restringidos, localizándose principalmente en la región noreste del estado, en las sierras de El Astillero, El Mascarón, Las Bocas y Santa Rita; alojándose en el núcleo de los anticlinales, principalmente en la Caliza Zuloaga y algunas veces asociados con mineralización económicamente explotable.

En la porción norte se localizan los cuerpos intrusivos de Concepción del Oro, Providencia, Noche Buena, Santa Rosa, Matchuapil y Pico de Teyra; todos de composición granodiorítica.

Hacia el área de Pánfilo Natera, aflora el intrusivo de mayor extensión en el estado, con un área de 100 km²; variando su composición de diorita a cuarzomonzonita. El resto de los intrusivos se localizan al noreste de Luis Moya y al norte de Villa Hidalgo.

Generalmente se presentan en forma de stocks y diques que son fáciles de identificar, ya que su coloración rojiza clara contrasta con la de los demás tipos de rocas; además, debido a que se erosionan fácilmente, se presentan en forma de lomeríos redondeados de pendientes suaves.

IV.4 GEOLOGIA HISTORICA Y TECTONICA.

En el estado de Zacatecas las rocas más antiguas que se encuentran aflorando pertenecen a las secuencias metamórficas que constituyen las formaciones Caopas y Rodeo, consideradas de edad paleozoica.

Durante el Triásico Tardío los mares invaden esta región y se produce el depósito de las areniscas y lutitas de la Formación Zacatecas, además de la secuencia de areniscas y dolomías de la Formación Taray; influenciada al mismo tiempo por la actividad volcánica ocasionada por los movimientos de reacondo cortical a fines de la orogenia permo-triásica "Marathon-Ouachita". Para el depósito de la Formación Nazas la influencia volcánica se incrementa, lo cual se comprueba en la composición litológica de esta formación. Sobre estas rocas se depositó la secuencia sedimentaria que aflora en forma amplia en todo el Geosinclinal Mexicano.

El intervalo Jurásico Inferior-Jurásico Medio no está representado en el área, lo cual no ha podido determinarse si corresponde con un periodo de erosión o no depósito. Durante el Jurásico Tardío (Oxfordiano), se inicia una transgresión del mar, instalándose un ambiente sedimentario de plataforma calcárea en el que se deposita la Caliza Zuloaga, mientras que hacia las facies litorales se depositaba la Formación La Gloria influenciada por el aporte de terrígenos provenientes de la Península de Coahuila. El evento transgresivo se generaliza cubriendo los antiguos terrenos continentales, estableciéndose comunicación con el ambiente marino del pacífico. Esto deja un conjunto de islas alineadas que funcionaron como fuente de aporte de los sedimentos clásticos (Imlay, 1936).

Durante el Kimmeridgiano-Tithoniano los mares se profundizan más y se produce un cambio en las condiciones físico-químicas que inhibieron poco a poco la precipitación calcárea y favorecieron la acumulación de una secuencia arcillo-calcárea y los depósitos de fosfatos y pedernal que constituyen a la Formación La Caja. Simultáneamente al depósito de los sedimentos calcáreos del Cretácico Temprano, se origina la acumulación de la secuencia vulcanosedimentaria que constituyen al Grupo Noria de Angeles y a la Formación Chilitos, como resultado de la presencia de un arco insular situado al occidente de la región, en un elemento paleogeográfico llamado Mar Mexicano.

Para el Berriasiano-Hauteriviano se mantienen las condiciones de aguas profundas, aunque también hubo aporte de clásticos finos, que al depositarse dieron origen a la Formación Taraises. Durante el Neocomiano Tardío-Aptiano Temprano la transgresión marina reduce las áreas que aún quedaban de la recién formada Isla de Coahuila y Península de Aldama, depositándose en las márgenes continentales facies de plataforma de alta energía de la Formación Cupido (Imlay 1936). En el Aptiano Tardío se produce un mayor aporte de terrígenos, provenientes de las zonas positivas, originadas por movimientos epeirogénicos, que dan lugar al depósito de la secuencia arcillo-calcárea de la Formación La Peña.

Durante el Albiano-Cenomaniano continúa la transgresión, se profundiza la cuenca y desaparecen las islas; se produce un cambio en el régimen de sedimentación de clástico a eminentemente calcáreo, provocando el depósito de una secuencia alternante de carbonatos, lentes y bandas de pedernal que dan origen a la Formación Cuesta del Cura. Esta transgresión debió alcanzar una gran extensión, ya que la formación se puede identificar tanto en el norte como en el centro del país.

Durante el intervalo Cenomaniano-Turoniano nuevamente se produce un cambio en el régimen de sedimentación, variando esta vez de calcáreo a clástico, propiciando la acumulación de los sedimentos que dieron origen a la Formación Indidura. De acuerdo con De Cserna (1956), esta formación representa el inicio de un depósito cíclico de tipo flysch que principió en el Cenomaniano Tardío y continuó hasta el Paleoceno. La sedimentación flysch se incrementó a partir del depósito de la Formación Caracol, durante el Turoniano, que se llevó a cabo bajo condiciones similares a las de la parte superior de la Formación Indidura, pero con un incremento notable en el tamaño de los terrígenos, según se aprecia por la presencia de areniscas dentro de la secuencia de lutitas.

Para el Campaniano, las condiciones anteriores se intensifican y como consecuencia de las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide, el mar comienza a retirarse y se produce un abundante aporte de sedimentos terrígenos finos que dieron origen a las lutitas de la Formación Parras en una cuenca restringida ya que sólo en esa porción se encuentran sedimentos de esas características.

A fines del Cretácico Tardío se manifiesta la Orogenia Laramide en toda su magnitud, durante la cual los sedimentos acumulados en el Geosinclinal Mexicano fueron comprimidos por fuerzas tectónicas que produjeron pliegues anticlinales y sinclinales angostos y alargados que al emerger del fondo del mar dieron forma a la Sierra Madre Oriental. Al mismo tiempo que se desarrollaba la orogenia ocurrió el emplazamiento de los cuerpos intrusivos, alojándose preferencialmente en el núcleo de los anticlinales y propiciando la formación de yacimientos minerales asociados a las aureolas de metamorfismo.

Después del plegamiento, tuvo lugar el reacomodo cortical provocado por los esfuerzos de tensión en las rocas, formándose de esta manera numerosas fosas tectónicas, conocidas en el norte del país como bolsones o barriales. Con este evento se activó la erosión y se depositaron grandes volúmenes de detritos rocosos en los sinclinales y en las fosas tectónicas - depósito tipo molassa- que constituyen la Formación Ahuichila de edad Eoceno-Oligoceno (Ledezma, G., 1981), en completa discordancia angular con el resto de las rocas subyacentes.

En el Eoceno se inicia un periodo de actividad volcánica asociada al margen convergente desarrollado en el occidente del país, durante el cual se emplazó la primera de las dos grandes secuencias de rocas calcoalcalinas que conforman la Sierra Madre Occidental. Después de un periodo de inactividad volcánica, en el Oligoceno se inicia la acumulación de la secuencia ignimbrítica que constituye la cubierta de la sierra y que representa el afloramiento más extenso de este tipo de rocas en el mundo.

Durante el Plio-Pleistoceno se interrumpe la tranquilidad tectónica y comienza una nueva etapa de actividad volcánica, esta vez de composición basáltica, formando extensas mesas que modificaron la morfología del paisaje, principalmente de la región noroccidental del estado.

Desde entonces a la fecha, la región ha quedado expuesta a los procesos erosivos que han provocado la acumulación de abundantes depósitos de pie de monte y aluviones que rellenan las cuencas y valles intermontanos.

IV.5 CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LAS ROCAS.

Dentro de las características hidráulicas más importantes que las rocas deben tener para funcionar como acuíferos están la capacidad de almacenar y transmitir el agua a través de ellas, las cuales están determinadas, entre otras propiedades, por su porosidad, permeabilidad y transmisividad.

La porosidad representa una medida de la cantidad de agua que contiene la roca por unidad de volumen y se define como la relación que existe entre el volumen de espacios vacíos y el volumen total de la roca. Es de tipo primaria cuando los intersticios se originaron durante el proceso de formación de la roca y secundaria cuando se debe a procesos posteriores, como es el caso del fracturamiento y la disolución. En las rocas clásticas dicha propiedad está determinada por la forma, disposición y tamaño de las partículas; siendo inversamente proporcional a esta última. De esta manera, las arcillas y limos contienen más agua que las arenas y gravas.

La propiedad que tienen las rocas de permitir la circulación del agua a través de ellas bajo la acción del gradiente hidráulico es llamada permeabilidad y es de gran importancia, ya que de ella depende la velocidad de circulación del agua subterránea. Los factores que controlan la permeabilidad son el tamaño, distribución, grado de cementación o compactación de las partículas y las propiedades del fluido (densidad, viscosidad, temperatura). Es de particular importancia el tamaño, ya que influye de manera directamente proporcional; es por ello que las arenas y gravas son más permeables que las arcillas.

De acuerdo al comportamiento similar de las rocas con respecto a su capacidad de almacenamiento y circulación a través de ellas, se han clasificado en unidades geohidrológicas de alta, media y baja permeabilidad (Plano No.2).

UNIDAD DE PERMEABILIDAD ALTA (U1).

Dentro de esta unidad geohidrológica están incluidos los depósitos clásticos continentales del Cuaternario, constituidos por el aluvión, depósitos de pie de monte y de bolsón; en el caso de los depósitos lacustres la permeabilidad se ve reducida notablemente debido a que contienen una mayor proporción de arcillas.

Los aluviones presentan permeabilidad media a alta debido al hecho de que están formados por clastos mal clasificados; constituyen acuíferos freáticos "colgados" de escaso potencial, si su espesor es reducido, pero cuando este es considerable generalmente llegan a representar la fuente principal de agua subterránea. Su recarga ocurre tanto en la superficie propia del valle como en el contacto con las rocas que conforman las sierras aledañas.

Los depósitos de pie de monte, aunque están conformados por materiales granulares mal clasificados, poseen permeabilidad favorable que facilita la infiltración del agua de lluvia, alimentando a los acuíferos granulares regionales.

Esta unidad es la más importante desde el punto de vista geohidrológico, ya que en ella se localiza la mayor parte de los aprovechamientos del agua subterránea y debido al espesor considerable que alcanza en las cuencas y planicies.

UNIDAD DE PERMEABILIDAD MEDIA (U2).

Dentro de esta clasificación se incluyen a las rocas que pertenecen a la Formación Nazas, principalmente las rocas volcánicas, las cuales presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento que permite la infiltración. Debido a la poca extensión de sus afloramientos, pueden llegar a constituir acuíferos locales.

Las rocas sedimentarias marinas del Jurásico Superior están constituidas por calizas, calizas arcillosas y limolitas que pertenecen a las formaciones Zuloaga y La Caja. La importancia geohidrológica de estas rocas, al igual que las del Cretácico Inferior, radica en el hecho de que fueron afectadas por los eventos tectónicos que produjeron pliegues, fallas y fracturas que provocan permeabilidad secundaria. En el caso de la Formación La Caja, la permeabilidad es menor debido a que está constituida por una secuencia calcáreo-arcillosa.

Presenta permeabilidad media la secuencia calcárea del Cretácico Inferior que constituye a las formaciones Cuesta del Cura y Cupido, las cuales presentan permeabilidad secundaria debido a su fracturamiento y, en el caso de la primera, un grado ligero de disolución, pudiendo llegar a formar acuíferos locales de comportamiento complejo. La permeabilidad es menor en las formaciones Taraises y La Peña debido a su naturaleza calcáreo-arcillosa.

Las rocas ígneas extrusivas, principalmente las riolitas e ignimbritas, presentan permeabilidad secundaria debido a su alto grado de fracturamiento. Representan la unidad de mayor área de exposición y funcionan como zona de recarga, cuando se localizan en las partes topográficamente más altas, facilitando la infiltración del agua hacia zonas más profundas en las que las características de permeabilidad y porosidad permiten el almacenamiento. Dependiendo de su posición estratigráfica, respecto a la unidad de permeabilidad alta y de su grado de fracturamiento, pueden funcionar también como acuitardos y, ocasionalmente, como los principales sistemas acuíferos.

Los conglomerados terciarios de las formaciones Ahuichila y el Conglomerado Rojo de Zacatecas pertenecen a esta unidad, lo mismo que los derrames basálticos cuaternarios que presentan una estructura vesicular y permeabilidad secundaria por fracturamiento.

UNIDAD DE PERMEABILIDAD BAJA (U3)

En esta unidad geohidrológica se incluyen a las rocas metamórficas paleozoicas de las formaciones Caopas y Rodeo y a la secuencia de rocas sedimentarias y metamórficas que constituyen a las formaciones Taray y Zacatecas; aunque presentan fracturamiento moderado, las fracturas se encuentran rellenas de arcilla. Generalmente funcionan como barreras impermeables o como basamento del acuífero.

También presentan baja permeabilidad las rocas sedimentarias marinas del Cretácico Superior que conforman las secuencias arcillosas y calcáreo-arcillosas de las formaciones Parras, Caracol e Indidura. Las rocas ígneas intrusivas pertenecen a esta misma unidad ya que generalmente funcionan como fronteras impermeables al flujo. Cuando se encuentran fracturadas e intemperizadas llegan a presentar permeabilidad alta, capaz de almacenar agua y susceptible de explotarse por medio de norias.

Dentro de esta misma unidad se incluyen además a las rocas de la secuencia vulcanoclástica del Cretácico Inferior que constituyen al Grupo Noria de Angeles y a la Formación Chilitos, debido a que su litología comprende principalmente rocas arcillosas que funcionan como horizontes impermeables. El metamorfismo de bajo grado que afecta a la secuencia completa reduce aún más la permeabilidad, llegando a constituir fronteras impermeables al flujo subterráneo. Localmente, la Formación Chilitos llega a presentar permeabilidad secundaria por fracturamiento, sobre todo cuando en su litología predominan las rocas volcánicas.

V HIDROLOGIA SUPERFICIAL

V.1 GENERALIDADES.

La red hidrológica del estado de Zacatecas está dividida por dos grandes vertientes: al norte, la vertiente del Golfo de México drena aproximadamente el 62% de la superficie del estado, con corrientes integradas de los ríos Aguanaval y El Salado; al sur la vertiente del Océano Pacífico drena el 38% restante, siendo su corriente principal el Río Lerma-Santiago con su sistema de drenaje integrado.

El estado de Zacatecas se encuentra dividido en 4 regiones hidrológicas (Figura No. 12).

La Región Hidrológica (RH) No.36 "Nazas-Aguanaval" tiene una superficie total de 94 372 km², de los cuales el 63.2% (59 632 km²) corresponden a la cuenca del Río Nazas, y el 36.8% restante (34 740 km²) a la del Río Aguanaval; ésta última queda comprendida dentro del estado de Zacatecas; drena aproximadamente el 23.6% de la superficie norte y noroeste del estado; dentro de ella se encuentran las cuencas del río Aguanaval, Laguna de Mayrán y Viesca, y las subcuencas de Arroyo San Bartolo, río Aguanaval (San Bartolo y Presa El Cazadero), río Trujillo, Laguna de San Simón, Valle de Cedros y Zona de Viesca.

La Región RH No.37 "El Salado" drena el 39.9% de las superficies noroccidental y oriental de la entidad y está formada por las cuencas de Sierra de Rodríguez, Matchuala, Camacho-Gruñidora y Fresnillo-Yesca y las subcuencas El Salado, Concepción del Oro, San Pablo y Presa San José Los Pilares.

Región RH No.11 Presidio-San Pedro. Esta región penetra poco dentro del estado ya que sólo drena el 3.8% de su superficie nororiental, abarcando únicamente la cuenca del río San Pedro.

Región RH No.12 Lerma-Chapala-Santiago. Drena el 32.7% de la superficie suroccidental del estado, formando las cuencas de los ríos Santiago-Guadalajara, Verde Grande, Juchipila, Bolaños y Huaynamota.

REGIONES HIDROLOGICAS DE MEXICO



- 1.-BAJA C. NORTE-ENBENADA
- 2.-BAJA C. CENTRO-ESTE
- 3.-BAJA C. SUROESTE
- 4.-BAJA C. NOROESTE-LAGUNA BALADA
- 5.-BAJA C. CENTRO-SURESTE
- 6.-BAJA C. SURESTE
- 7.-RIO COLORADO
- 8.-SONORA NORTE
- 9.-SONORA SUR
- 10.-SINALOA
- 11.-RIO PRESIDIO Y R. SAN PEDRO
- 12.-LERRMA-CHAPALA-SANTIAGO
- 13.-RIO NUCCICLA
- 14.-RIO AMECA
- 15.-COSTA DE JALISCO
- 16.-RIO ARMERIA Y COAHUYAMA
- 17.-COSTA DE MICHOACAN
- 18.-RIO BALSAS
- 19.-COSTA GRANDE GUERRERO

- 20.-COSTA CHICA DE GUERRERO
- 21.-COSTA DE OAXACA
- 22.-TEHUANTEPEC
- 23.-COSTA DE CHIAPAS
- 24.-RIO BRAVO
- 25.-RIO SAN FERNANDO Y BOTO LA MARINA
- 26.-RIO PANUCO
- 27.-RIO TUXPAN-NAUTLA
- 28.-RIO PAPALOAPAN
- 29.-RIO CORTAZACALCOB
- 30.-RIO ORIJALVA-USUMACINTA
- 31.-YUCATAN PONIENTE
- 32.-YUCATAN NORTE
- 33.-YUCATAN ORIENTE
- 34.-CUENCAS CERRADAS DEL NORTE
- 35.-MAPIM
- 36.-RIO NAZAS Y AGUANMAL
- 37.-RIO BALADO

ING. GEOLOGO	 U. N. A. M. 
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	REGIONES HIDROLOGICAS
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
TESIS PROFESIONAL FIG. No.12	

V.2 ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES.

Dentro del estado, la **Región RH No. 11** únicamente comprende la cuenca del río San Pedro, la cual ocupa una superficie de 2 816 km². Su corriente principal es el río Súchil que tiene como afluente principal al Chalchihuites; lleva agua durante casi todo el año, pasa por Súchil, Zac., de donde toma su nombre, para continuar hacia el oeste en el estado de Durango.

La **Región RH No. 12** es la más importante, ya que en ella se localiza la mayor parte de los aprovechamientos tanto de obras de infraestructura hidráulica como de escurrimientos. Tiene una superficie de 24 561 km² dentro del estado de Zacatecas, quedan comprendidas 5 cuencas; denominadas: "Santiago-Guadalajara", "Verde Grande", "Juchipila", "Bolaños" y "Huaynamota"

Río Santiago-Guadalajara. Dentro del estado es mínimo lo que le corresponde, aproximadamente 751 km² que generan un volumen de escurrimiento medio anual de 51 millones de metros cúbicos (Mm³) de los cuales solo 1 Mm³ se aprovecha para usos doméstico y pecuario a través de pequeños bordos, el resto, 50 Mm³, salen hacia el estado de Jalisco. El Río Santiago recorre 524 km desde su salida en el lago de Chapala hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Las corrientes principales de esta cuenca tienen su origen en el estado de Zacatecas, pero es en Jalisco donde tienen su mayor aprovechamiento, ya que es ahí donde confluyen con el río Grande Santiago.

Río Verde Grande. Tiene una superficie de 2908 km² dentro del estado que genera un escurrimiento medio anual del orden de los 108 Mm³, 57 Mm³ se almacenan en 27 presas para riego y los 51 Mm³ restantes escurren hacia los estados de Jalisco y Aguascalientes. Esta corriente es el primer afluente importante que recibe el río Santiago por la derecha; se origina a 20 km al sur de la ciudad de Zacatecas, en la parte más elevada de su cuenca, recorriendo una distancia de 350 km hasta su confluencia, 10 km al norte de la ciudad de Guadalajara.

Río Juchipila. Comprende una superficie de 6909 km², con un escurrimiento virgen de 374 Mm³/año; a través de 30 presas de almacenamiento, 830 bordos y 140 plantas de bombeo para riego se captan y aprovechan aproximadamente 258 Mm³, los 116 Mm³ sobrantes salen hacia el estado de Jalisco. El río Calvillo, procedente del estado de Aguascalientes, aporta un volumen de 30 Mm³/año hacia esta cuenca. El colector principal de esta cuenca recorre una longitud de 250 km hasta su confluencia con el río Grande Santiago, la cual ocurre a 43 km al norte de Guadalajara; nace a 10 km al sur de la ciudad de Zacatecas, sigue una dirección suroeste y solamente en los últimos 18 km confluye hacia el oeste.

Río Bolaños. Ocupa una superficie de 8552 km² dentro de la entidad, área que genera un volumen de escurrimiento medio anual de 408 Mm³, de los cuales 106 Mm³ se almacenan en 26 presas para riego y 560 bordos para usos doméstico y abrevadero; los restantes 302 Mm³ salen hacia el estado de Jalisco. Su corriente principal (el río Colotlán) recorre una distancia de 320 km hasta unirse con el río Grande Santiago, 40 km al noroeste de Tequila, Jal.

Río Huaynamota. Drena una superficie de 5440 km². Debido a la abrupta topografía de la región, de los 329 Mm³/año que escurren superficialmente, sólo 12 Mm³ se almacenan y los 317 Mm³ sobrantes salen hacia el estado de Jalisco. Su corriente principal (río San Juan) recorre una longitud de 280 km hasta su confluencia con el río Santiago, la cual ocurre a 40 km al noreste de Tepic, Nay.; se origina a 12 km al sureste de Chalchihuites, Zac. y tiene una dirección general hacia el suroeste. El río Huaynamota es, por su tamaño, el segundo en importancia como afluente derecho del río Santiago.

A la **Región RH No. 36** se le conoce con el nombre de "Región Lagunera" y constituye una amplia cuenca cerrada dentro de la Mesa Central. En el estado de Zacatecas tiene una superficie de 17 690 km², comprendiendo 2 cuencas: La del río Aguanaval y la de las lagunas de Mayrán y Viesca.

Río Aguanaval. Formado por la confluencia de los ríos Sain Alto y Trujillo, fluye en dirección general hacia el norte; apenas iniciado su curso, son almacenadas sus aguas en la presa El Cazadero, situada en el límite de los municipios de Sain Alto y Río Grande, Zac.; del poblado de Cazadero a San Juan de Guadalupe recorre una distancia de 135 km a lo largo del colector general, pasando por los ríos Grande y San Francisco, Zac., y a 30 km aguas arriba de San Juan de Guadalupe sale del estado de Zacatecas para continuar su curso hacia el estado de Durango. En el tramo que queda comprendido dentro de Zacatecas, el río tiene varios afluentes, siendo más importantes los que se unen por su margen izquierda. La superficie drenada por este río es de 12340 km², área en la que se generan 336 Mm³ anuales de escurrimiento, de los cuales 240 Mm³ se almacenan en 23 presas, 1165 bordos y 14 derivadoras o tomas directas para el riego; el resto, 195 Mm³, salen hacia el estado de Durango y la Región de la Laguna.

Lagunas de Mayrán y Viesca. Comprende una superficie de 5350 km² con volumen de escurrimiento medio anual de 100 Mm³, de los cuales sólo 1 Mm³ se almacena en pequeños bordos y los 99 Mm³ restantes escurren hacia la Región de la Laguna. La Región RH No. 36 está integrada básicamente por las cuencas cerradas de las lagunas de Viesca y Mayrán; ambas cuentan con un alimentador principal: en el caso de la laguna de Mayrán es el río Nazas y en el de la laguna de Viesca es el río Aguanaval. La porción correspondiente al estado de Zacatecas influye poco dentro de esta cuenca.

La región RH No. 37 ocupa una superficie de 29973 km² dentro de la entidad en la que se genera un volumen de escurrimiento medio anual de 408 Mm³, de los que 53 Mm³ se aprovechan mediante 19 presas de almacenamiento para riego, 3770 bordos para usos doméstico y abrevadero, así como tomas directas; los 355 Mm³ restantes son susceptibles de almacenarse a través de obras pequeñas debido a que la condición de cuenca cerrada de esta región impide que dicho volumen escurra superficialmente hacia otros estados. Es una de las vertientes interiores más importantes del país, todo su conjunto hidrográfico está constituido por una serie de cuencas cerradas de muy diferentes dimensiones y en su mayor extensión parece de corrientes superficiales permanentes. Una característica de esta región es la presencia de lagunas intermitentes con agua salada, entre las que destacan: la Laguna Santa Ana, Santa Clara, Las Casas, José Caligüey y El Barril.

La descripción hidrográfica de esta región resulta un tanto complicada, sobre todo cuando hay que referirse concretamente a su hidrometría, pues son muy pocas las corrientes que a la fecha han sido medidas sistemáticamente. En el estado de Zacatecas se presenta este problema y por lo mismo, los nombres de las cuencas llevan el de la localidad principal. Las cuencas que quedan comprendidas parcialmente dentro del estado son las siguientes:

Mathuala. Su superficie es de 973 km², de los que la mayor parte pertenecen al estado de San Luis Potosí, por lo que lleva el nombre de una de las localidades más importantes de dicha entidad. El aprovechamiento máximo no corresponde al estado de Zacatecas, pero sí la aportación a la cuenca, ya que las corrientes principales tienen su origen en la entidad, drenando hacia la parte central de esta cuenca.

Sierra de Rodríguez. Tiene una superficie dentro del estado de 3967 km² y carece de corrientes perennes de importancia. Toma su nombre de la parte más elevada de la zona, de donde fluyen en época de lluvias algunos pequeños arroyos que drenan a esta cuenca.

Camacho-Gruñidora. Tiene una superficie de 8252 km²; no tiene corrientes importantes y toma su nombre de dos localidades del norte del estado.

Fresnillo-Yesca. Cubre una superficie dentro del estado de 11874 km²; carece de corrientes importantes y su nombre lo adquiere de dos localidades del estado ubicadas al noroeste de la ciudad de Zacatecas.

Otras cuencas 4907 km².

V.3 USO ACTUAL DEL AGUA SUPERFICIAL.

Existen en el estado 120 almacenamientos, con el propósito de almacenar y manejar eficientemente las escasas fuentes de agua superficial, que en conjunto representan una capacidad útil de 696 Mm³, destinados en su totalidad a la agricultura (Tabla No. 9).

Dentro de la Región RH No. 11 sólo se localiza una presa de importancia que es la presa El Maestranzo o Los Coroneles; está ubicada en el municipio de Chalchihuites, sobre el arroyo Las Flores y tiene una capacidad de 5 millones de metros cúbicos (Mm³) que benefician a 585 hectáreas (ha).

En la Región RH No.12 se localiza el mayor número de aprovechamientos, los cuales suman un total de 26. Sobresalen, la presa Miguel Alemán, que es la segunda en importancia dentro del estado por su capacidad de almacenamiento de 71.6 Mm³, beneficia un total de 7 000 ha; la presa El Chique tiene una capacidad de 64.3 Mm³ que son utilizados para la irrigación de 1 695 ha; la presa Julián Adame Alatorre, con una capacidad de 38 Mm³, irriga 2 500 ha; la presa Ramón López Velarde o Boca del Tesorero; Achimec y otras de menor importancia.

En la Región RH No. 36 son ocho los aprovechamientos que sobresalen: la presa Leobardo Reynoso, que es la mayor del estado por su capacidad de almacenamiento, de 118 Mm³, irriga un total de 4 892 ha; la presa El Cazadero con una capacidad de 31 Mm³ irriga 2 325 ha; la presa Santa Rosa, con una capacidad de 14 Mm³, que irrigan un total de 509 ha; el resto de los almacenamientos varían en su capacidad entre 6.5 y 1.6 Mm³.

En la Región RH No. 37 se localizan almacenamientos de poca capacidad, pero de gran importancia debido a su escasez. Esto se debe a que esta es la zona más seca del estado y en la que se tiene el menor índice de precipitación pluvial. Entre los almacenamientos más importantes destacan las presas Calera, La Bomba y Arroyo de Enmedio, con una capacidad promedio de 2 Mm³. Existen además pequeñas obras o bordos para uso doméstico, aunque en la mayoría de los casos son utilizados como abrevaderos.

PRINCIPALES ALMACENAMIENTOS DEL ESTADO DE ZACATECAS

NOMBRE	MUNICIPIO	CAPACIDAD (M ³)	CORRIENTE APROVECHADA	BENEFICIO	
				HECTAREAS	FAMILIAS
Leobardo Reynoso	Fresnillo	118.0	Aguanaval	4 892	771
Miguel Alemán	Tepechitlán	71.6	Tlaltepango	7 000	1 276
El Chique	Tabasco	64.3	Juchipila	1 695	982
Julián Adame Alatorre	Villanueva	38.0	Juchipila	2 500	630
El Cazadero	Salm Alto	31.0	Aguanaval	2 325	1 676
Ramón López Velarde	Jerez	27.0	Jerez	1 710	429
Achoqués	Apozol	20.0	A. La Boquilla	700	129
Las Agujas	Río Grande	16.0	A. Las Agujas	710	330
José López Portillo	Ayulco	14.0	A. Tenayuca	2 570	679
Santa Rosa	Fresnillo	14.0	Río Chico	509	165
La Villita	Tepechitlán	10.0	A. San Pedro	2 250	343
Independencia Nacional	H. Escobedo	10.0	A. Santa Yreusa	1 240	213
Achimac	Tepeongo	9.0	A. El Morillo	676	675
Las Palomas	Villanueva	8.0	Palomas	655	176
Lerato	Río Grande	8.0	A. Tetillas	680	73
Lobatos	Valparaiso	7.4	Pajaritos	408	180
Federalillo	Gandalupe	6.0	A. de la Plata	960	275
Gómez Farías	Villanueva	6.0	Juchipila	700	179
Carta de los deberes y derechos	Fresnillo	6.0	Río Chico	457	169
Uribe Alba	Apozol	5.8	A. Clavellinas	370	115
El Maestranso	Chalchihuites	5.0	A. El Maestranso	585	118

TABLA No. 9

V.4 BALANCE DE AGUAS SUPERFICIALES

La lluvia que se precipita sobre el estado de Zacatecas constituye la única fuente natural de recarga, tanto de los escurrimientos como de los mantos acuíferos. El volumen promedio anual de lluvia que recibe la entidad asciende a los 32 916 Mm³, de los cuales 2 299 Mm³ (7%) escurren superficialmente; 577 Mm³ (2 %) se infiltran en el subsuelo alimentando los acuíferos y los 30 040 Mm³ restantes (91 %) retornan a la atmósfera por evapotranspiración (Tabla No. 10).

Por otro lado, anualmente salen del estado 1 168 Mm³ distribuidos de la siguiente manera: 94 Mm³ hacia el estado de Durango a través del río Guadiana; 172 Mm³, que deja pasar el río Aguanaval hacia los estados de Durango y Coahuila; el río Santiago deja escapar un caudal de 735 Mm³ hacia los estados de Jalisco y Nayarit; 122 Mm³, más hacia Jalisco por el río Juchipila y los 45 Mm³ restantes fluyen hacia Aguascalientes y Jalisco a lo largo del cauce del río Verde. No existen aportaciones importantes de agua superficial proveniente de los estados colindantes y la utilización del recurso superficial es del orden de los 354 Mm³ anuales.

De lo anterior se desprende que, tomando como base el volumen medio anual de precipitación y las pérdidas por efecto de la evapotranspiración, infiltración, salidas hacia otros estados y la utilización, existe una disponibilidad de 777 Mm³.

**BALANCE DE AGUAS SUPERFICIALES
(CANTIDADES EN Mm³)**

LLOVIA 32,916	DISTRIBUCION DE LA LLOVIA		VOLUMEN MEDIO ANUAL
	ESCORRIMIENTO SUPERFICIAL		2,299
	INFILTRACION		577
	EVAPOTRANSPIRACION		30,040
	SALIDAS Y EXTRACCION		VOLUMEN MEDIO ANUAL
	EVAPOTRANSPIRACION		30,040
	INFILTRACION		577
	AGUA SUPERFICIAL QUE ESCAPA HACIA OTROS ESTADOS		1,160
	EXTRACCION DE AGUA SUPERFICIAL		354
	DISPONIBILIDAD		777

TABLA No. 10

FUENTE: GERENCIA ESTATAL DE LA CNA EN ZACATECAS (1991).
(MODIFICADO).

VI. HIDROGEOQUIMICA

La geoquímica aplicada al estudio del agua subterránea es una herramienta auxiliar que se utiliza junto con la hidrogeología y geofísica, entre otras, para conocer el funcionamiento de los acuíferos.

Tomando en cuenta que la mayor parte del agua almacenada en los acuíferos proviene de la precipitación pluvial, ésta al infiltrarse en el subsuelo, circula a través de ellas, disolviendo las sales minerales que contiene y alterando su composición química inicial. De esta manera, el comportamiento químico del agua depende de la solubilidad y composición de las rocas que atraviesa, así como de los factores que la afectan como son la composición original del agua, el tiempo y área de contacto con las formaciones, longitud del recorrido, temperatura del agua y de las rocas y velocidad de circulación.

Debido a la estrecha relación que guarda la composición del agua con el funcionamiento general del acuífero, a partir de ella es posible obtener la dirección del flujo subterráneo, identificar las zonas de recarga, las rocas por las que circula y la calidad del agua para los diferentes usos.

VI.1 MUESTREO Y ANALISIS DEL AGUA SUBTERRANEA.

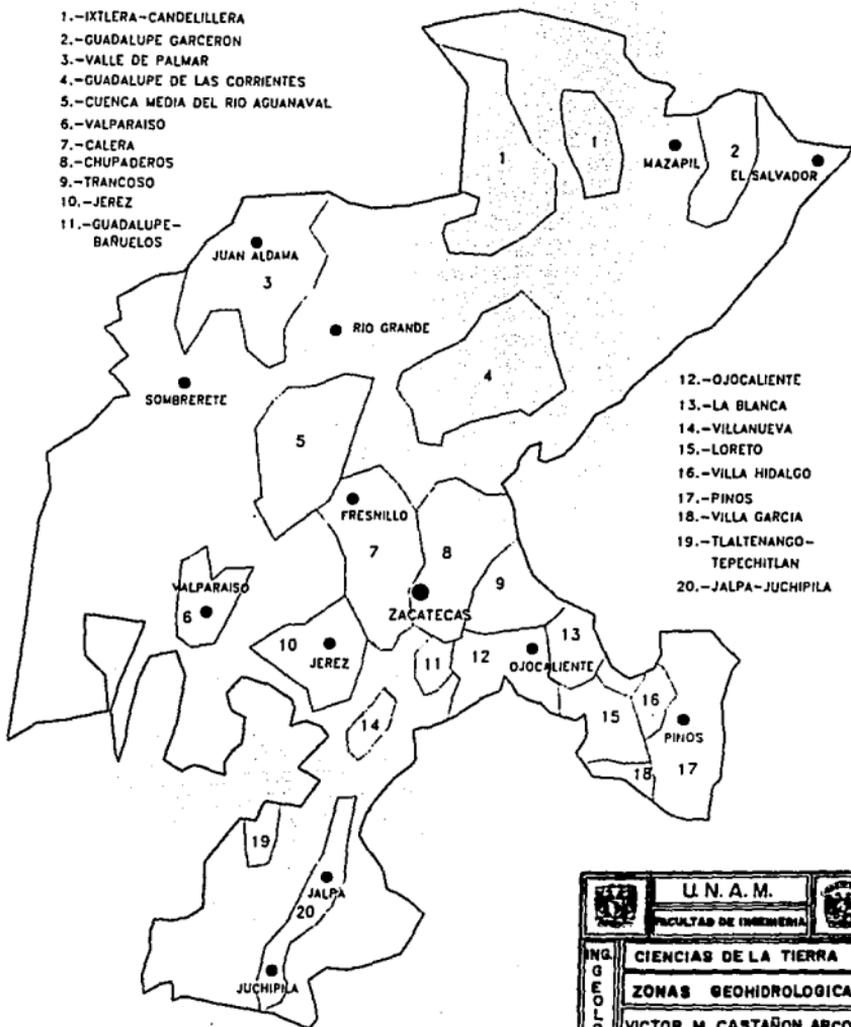
Se recabó la información de los resultados de análisis químicos realizados por la Gerencia Estatal en Zacatecas de la Comisión Nacional del Agua (CNA), y los de estudios previos realizados para cada una de las 10 zonas geohidrológicas de explotación intensiva, seleccionando de 20 a 25 muestras disponibles más representativas de cada una de ellas, seleccionadas por las características constructivas de los pozos y por su ubicación geográfica (figuras Nos. 13 y 14). Se utilizaron las determinaciones de temperatura, pH, alcalinidad, conductividad eléctrica, aniones y cationes principales y sólidos totales disueltos.

VI.2 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS.

VI.2.1 TEMPERATURA.

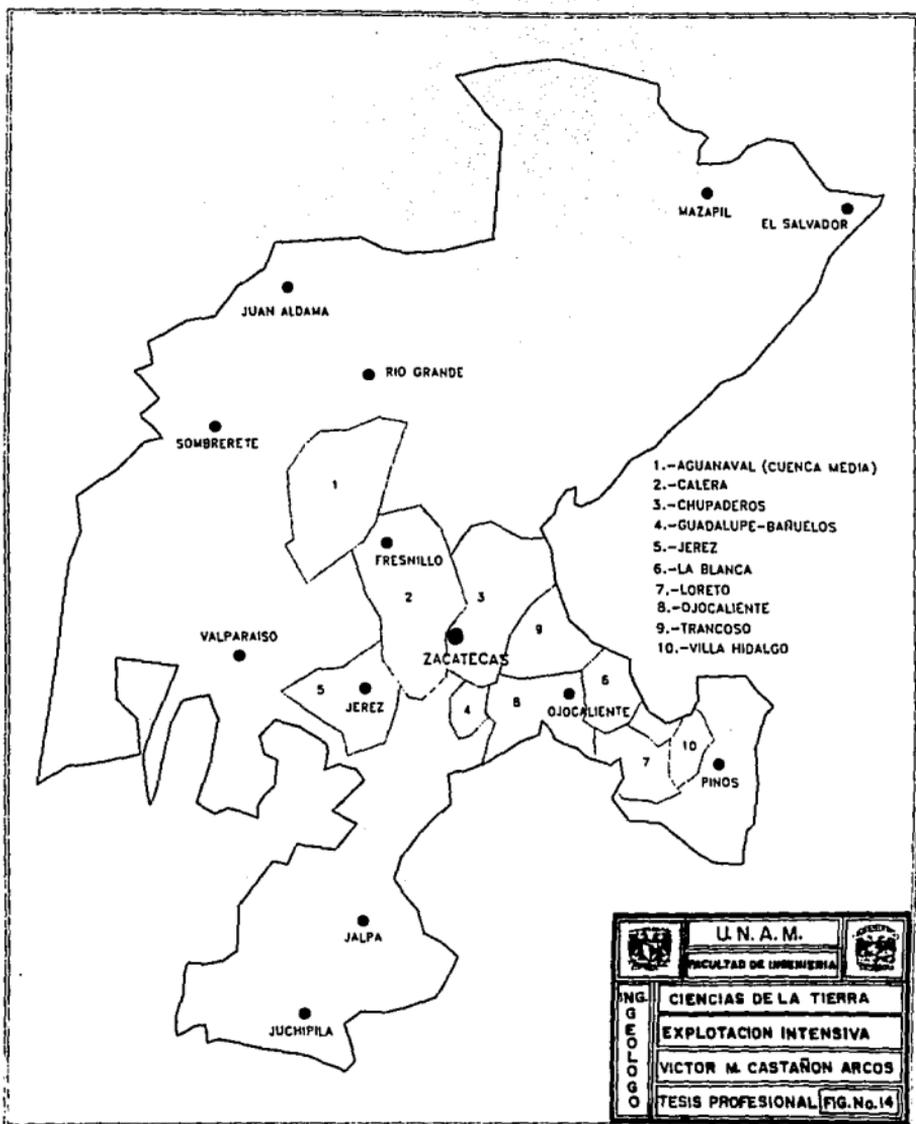
Las aguas subterráneas muestreadas registraron valores de temperatura poco variables, entre 22 y 25 °C, a excepción de las localizadas en el valle de Ojocaliente en donde alcanzan hasta 30 °C en los aprovechamientos Nos. 5, 66, 389 y 411, que manifiestan el hidrotermalismo de la zona, asociado a la presencia de rocas riolíticas fracturadas aun calientes en la base del acuífero, a través de las que circula el agua, estableciéndose comunicación hidráulica con los sedimentos granulares de la parte superior.

- 1.-IXTLERA-CANDELILLERA
- 2.-GUADALUPE GARCERON
- 3.-VALLE DE PALMAR
- 4.-GUADALUPE DE LAS CORRIENTES
- 5.-CUENCA MEDIA DEL RIO AGUANAVAL
- 6.-VALPARAISO
- 7.-CALERA
- 8.-CHUPADEROS
- 9.-TRANCOSO
- 10.-JEREZ
- 11.-GUADALUPE-BAÑUELOS



- 12.-OJOCLIENTE
- 13.-LA BLANCA
- 14.-VILLANUEVA
- 15.-LORETO
- 16.-VILLA HIDALGO
- 17.-PINOS
- 18.-VILLA GARCIA
- 19.-TLALTENANGO-TEPECHITLAN
- 20.-JALPA-JUCHIPILA

ING. GEOLOGO	U. N. A. M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	ZONAS GEOHIDROLOGICAS
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 13



- 1.-AGUANAVAL (CUENCA MEDIA)
- 2.-CALERA
- 3.-CHUPADEROS
- 4.-GUADALUPE-BARUELOS
- 5.-JEREZ
- 6.-LA BLANCA
- 7.-LORETO
- 8.-OJOCALIENTE
- 9.-TRANCOSO
- 10.-VILLA HIDALGO

ING. G. E. O. L. O. G. O.	 U.N.A.M. 
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	EXPLOTACION INTENSIVA
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG.No.14

VI.2.2 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C.E.).

Se define como la capacidad que tiene el agua para conducir la electricidad y representa un método rápido, sencillo y económico para estimar su calidad química, ya que es proporcional al contenido de sales disueltas. Debido a que esta propiedad está en función directa con la temperatura, suele referirse a 25 °C; de esta manera, sus variaciones serán únicamente función del tipo y concentración de los iones disueltos.

La unidad de medida es el mho/cm, recíproco del ohm que se utiliza para medir la propiedad inversa: la resistividad; sin embargo se usa el micromho (μmho), debido al hecho de que la mayoría de las aguas naturales tienen conductividades inferiores a 1mho/ cm.

$$\mu\text{mho} / \text{cm} = 10^{-6} \text{ mho} / \text{cm}$$

El agua químicamente pura tiene una C.E. muy baja, aproximadamente 0.055 $\mu\text{mhos/cm}$, el agua de lluvia varía entre 5 y 30, el agua subterránea de 30 a 5000 $\mu\text{mhos/cm}$; la presencia de más iones en solución incrementa la conductividad.

De los resultados de los análisis químicos practicados a las muestras del agua subterránea (tablas Nos. 11 a 20) se observa que, de manera general, las aguas que contienen bicarbonato y calcio registran los valores más bajos de conductividad, comparados con aquellos que además presentan concentraciones de sulfatos y cloruro de sodio. Dichos valores multiplicados por 0.75 proporcionan una estimación gruesa respecto al total de sólidos totales disueltos en partes por millón (ppm).

VI.2.3 POTENCIAL DE HIDROGENO (pH).

Para determinar el carácter de acidez o alcalinidad del agua se realiza la medición del pH, que al igual que las dos propiedades anteriores, su lectura se lleva a cabo primero en el campo, al momento de la toma de la muestra. Es también, función directa de la temperatura, por lo que se acostumbra referirla a una constante de 18 ó 25 °C. Los valores de pH menores de 7 indican la presencia de aguas ácidas y cuando sobrepasan dicho valor se consideran alcalinas.

De las 10 zonas geohidrológicas que comprende el estudio, en 7 de ellas predomina el agua ligeramente alcalina, con valores de pH que oscilan entre 7.2 y 7.8. Estas zonas son: Aguanaval, Chupaderos, Guadalupe-Bañuelos, La Blanca, Loreto, Ojocaliente y Trancoso; en Calera y Villa Hidalgo se tiene agua de tipo neutro, mientras que para la zona de Jerez, el amplio rango de los valores de pH, de 5.5 a 8.5, impide definir el carácter general del agua subterránea. Puede ser consecuencia de mezclar datos de norias y pozos indistintamente, pero

no se comprueba en la zona de Guadalupe-Bañuelos, en la que a pesar de que se registran valores de pH ácido y alcalino, sí se manifiesta el carácter ligeramente alcalino del agua, asociado a las aguas bicarbonatadas.

En las dos zonas referidas, ante la carencia de análisis químicos realizados en muestras de agua provenientes de pozos, se incluyeron en las tablas los resultados de los análisis practicados al agua de las norias, pero no son tomados en cuenta ni para la Hidrogeoquímica ni para la Hidrología Subterránea ya que esto puede ocasionar confusión y errores derivados de la toma de muestras y niveles de distintos sistemas acuíferos, contaminación superficial, etc..

VI.2.4 SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (S.T.D.).

Son las sustancias que se encuentran disueltas en el agua como resultado de la disolución de los minerales que constituyen las rocas y suelos por los que ésta circula. Aunque representan el residuo que queda al evaporar el agua, no siempre son indicativos de la suma total de todas las concentraciones iónicas analizadas, ya que durante el proceso de evaporación se pierden los iones volátiles y los bicarbonatos se transforman en carbonatos. En ese sentido, su valor proporciona un índice del ataque del agua sobre las rocas y de la solubilidad y facilidad de remoción de las sales minerales del subsuelo.

De cualquier manera, como los elementos volátiles se encuentran en concentraciones muy bajas, el valor de S.T.D. se considera representativo de la suma de los iones disueltos en el agua. La determinación de esta propiedad es de utilidad práctica, ya que de ella depende el uso apropiado que se le dará al recurso. Además, su distribución espacial permite definir el esquema general del flujo subterráneo e identificar las zonas de recarga.

En todas las zonas geohidrológicas se tiene agua de tipo "dulce" debido a que el contenido de S.T.D. no excede las 1000 ppm, a excepción de algunas muestras muy localizadas, como es el caso del pozo No. 587 de la zona de Calera con 1155 ppm; los aprovechamientos Nos. 1487 y 1665 de la zona de Chupaderos con 1585 y 1053 ppm, respectivamente; la captación No. 52 del valle de Guadalupe-Bañuelos, con 1310 ppm, y el pozo No. 88 de la zona de La Blanca, con 1012 ppm (ver plano No. 3).

Para la presentación del plano de S.T.D., primero se procedió a la elaboración de los planos de igual concentración para cada uno de los valles, a escala 1: 50 000 ó 1: 100 000, para dibujarlos después en el plano estatal. De manera general, se observa que los valores más bajos se presentan en los aprovechamientos localizados en las partes altas de los valles, de donde proviene la recarga, incrementándose hacia el centro de los mismos por mayor distancia recorrida y en las partes bajas de las cuencas por efecto de la evaporación, e influenciados por la trayectoria preferencial del flujo subterráneo (plano No. 4).

Los abanicos aluviales representan una importante fuente de recarga, y se infiere que los bajos contenidos de STD son debidos a que las corrientes torrenciales, originadas en las montañas, producen un descenso en la concentración por el lavado de los materiales, para posteriormente desaparecer por infiltración antes de llegar a la parte baja de los valles.

VI.2.5 CATIONES.

Se realizaron las determinaciones de calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}) y sodio (Na^+), siendo este último el que se presenta en mayores concentraciones en las diferentes zonas geohidrológicas, aunque en el valle de Guadalupe-Bañuelos predomina el calcio, y en una porción de la zona de La Blanca domina el sodio, mientras que en otra, el calcio, sin que se pueda notar una predominancia general, pero en todas ellas siempre supera al magnesio.

SODIO (Na^+).

Suele presentarse asociado al ión cloruro, en concentraciones hasta de 150 ppm en las aguas dulces. Proviene del ataque sobre los feldspatos sódicos y otros silicatos, del lavado de sedimentos de origen marino, de la mezcla con el agua del mar, disolución de la sal gema y sulfato sódico, contaminación urbano-industrial y de la concentración del agua de lluvia.

Para el caso que nos ocupa, tiene como fuente principal la disolución de los feldspatos sódicos y otros silicatos que constituyen las rocas volcánicas que afloran en vastas regiones de la porción centro-sureste del estado, a partir de las cuales se originaron los sedimentos granulares que rellenan los valles. En la tabla No. 21 se presentan los valores máximos y mínimos de cada una de las zonas geohidrológicas, así como su respectiva media aritmética.

Por ser el catión predominante, únicamente se elaboró el plano de igual concentración de sodio (plano No. 5), vaciado de los planos de cada valle.

En la zona de Aguanaval se registran valores entre 58 y 73 ppm, en la parte centro-norte de la cuenca, entre los poblados Rancho Grande y José María Morelos, aunque los valores máximos, de 116 y 192 ppm, se obtuvieron en las muestras de los pozos 1017 y 1026, respectivamente, localizados en el extremo norte. En general, las concentraciones se incrementan de sur a norte, hasta alcanzar los valores más altos en la zona cercana al lago La Salada, y continuar hacia el norte, en la parte baja de la cuenca, evidenciando la trayectoria preferencial del flujo subterráneo en esa misma dirección.

La zona de Calera registra valores mínimos que oscilan entre 0 y 30 ppm en los extremos sur y norte, aumentando las concentraciones hacia la parte central hasta alcanzar los 98 y 111 ppm, en los pozos localizados al sur del poblado Santa Ana.

CONCENTRACIONES EXTREMAS Y PROMEDIO DE LOS DIFERENTES IONES ANALIZADOS

ZONA GEORIDROLÓGICA	STD			Ca ⁺⁺			Mg ⁺⁺			Na ⁺		
	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.
AGUANAVAL	855	93	373	87	12	30	27	0	11	192	0	52
CALERA	1155	354	499	288	20	48	116	5	30	111	0	55
CHUPADEROS	1585	400	598	83	19	32	169	15	48	151	23	61
GUADALUPE-BARUELOS	1710	316	554	144	24	66	49	17	29	269	2	50
JEREZ	750	130	371	132	8	41	30	4	14	100	3	45
LA BLANCA	1012	306	480	74	10	43	44	7	16	220	3	56
LORETO	935	289	501	116	24	46	31	2	22	153	24	62
OJOCALIENTE	780	227	481	88	28	47	26	0	12	131	45	76
TRANCOSO	385	251	334	32	19	23	19	0	8	73	27	50
VILLA HIBALGO	488	312	422	40	12	23	24	9	17	68	9	37

ZONA GEORIDROLÓGICA	HCO ₃ ⁻			CO ₃ ⁻			Cl ⁻			SO ₄ ⁻		
	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.
AGUANAVAL	448	40	214	0	0	0	63	7	19	144	0	62
CALERA	347	183	256	45	4	19	472	23	57	117	13	30
CHUPADEROS	412	174	287	0	0	0	207	11	57	638	0	100
GUADALUPE-BARUELOS	854	232	371	0	0	0	177	21	58	251	13	39
JEREZ	404	48	172	27	4	11	50	10	25	229	15	105
LA BLANCA	520	92	252	23	0	3	180	26	47	347	20	76
LORETO	640	183	286	22	0	8	112	24	40	112	13	36
OJOCALIENTE	694	188	275	40	0	11	103	32	47	54	9	22
TRANCOSO	265	171	220	0	0	0	21	11	17	10	5	7
VILLA HIBALGO	305	203	265	40	12	23	35	7	25	41	5	13

En la zona de Chupaderos los valores más altos se registran en dos regiones; una localizada al centro del valle, con 73 y 91 ppm y otra, en el extremo norte, al noreste de González Ortega, cuyas concentraciones oscilan entre 100 y 119 ppm. En general, se observa que el contenido de sodio se incrementa de los flancos oriental y occidental, considerados como las áreas de recarga, hacia el centro de la misma, y de sur a norte, poniendo de manifiesto trayectorias de flujo subterráneo en iguales sentidos. En el flanco occidental, las concentraciones varían de 37 a 151 ppm en una distancia muy corta, entre los pozos Nos. 1487 y 1490, lo cual puede indicar que la zona se encuentra sujeta a procesos de evaporación y/o contacto del agua con evaporitas.

En la zona de Jerez, los valores más bajos se presentan en los aprovechamientos localizados en la periferia de la cuenca, debido probablemente al hecho de que se encuentran más cercanos a las fuentes de recarga que constituyen las rocas riolíticas que lo delimitan, la dirección del flujo se hace evidente, ya que las concentraciones se incrementan de sur a norte en toda la porción central.

En la zona de La Blanca se observan contenidos máximos del orden de 83 a 220 ppm, en la región comprendida entre Rancho Nuevo y Pánfilo Natera, paralela a la orientación de los lagos El Sapo, El Tule y El Salado, lo que podría atribuirse a la presencia de sedimentos arcillosos, de baja permeabilidad, mayor tiempo de permanencia del agua y/o concentración por evaporación. En la periferia de la cuenca, los contenidos son bajos; hacia los extremos norte y sur se definen dos áreas de recarga: la primera localizada entre El Saucito y San José El Saladillo, donde los valores varían de 24 a 47 ppm, y la otra entre San José de los Llanos y San Pablo, con rangos de 3 a 10 ppm.

La zona de Loreto presenta valores que fluctúan entre 24 y 153 ppm, con las concentraciones más bajas en los aprovechamientos localizados en los flancos oriental y occidental, de los cuales proviene la recarga, aumentando gradualmente hacia el centro del valle; en el área que circunda al poblado Tierra Blanca, en la porción occidental, y entre Estancia de Animas y Villa González Ortega, en el extremo norte, se registran contenidos que varían de 38 a 153 y de 84 a 102 ppm, respectivamente, que pueden deberse a que estas zonas se encuentran sujetas a procesos de evaporación.

En el área de Ojocaliente, las concentraciones van de 45 a 131 ppm, localizándose los valores más bajos en la periferia y con un muy marcado incremento en los contenidos, en el sentido norte-sur, desde los 45 ppm, en el poblado Cerrito de la Cruz, hasta Luis Moya y, más aun, hacia los límites con el estado de Aguascalientes, en donde se registran los valores máximos, reflejando de esta manera la dirección preferencial del flujo subterráneo.

En "Trancoso", los análisis químicos existentes están restringidos a la porción sur del valle, variando su contenido de sodio de 27 a 73 ppm, aunque es de esperarse que las concentraciones se incrementen hacia el norte hasta las inmediaciones del lago Casa Blanca, siguiendo la dirección del flujo subterráneo.

En lo que respecta a la zona de Villa Hidalgo, el contenido de sodio oscila entre 9 y 68 ppm, con los valores más bajos en los aprovechamientos localizados en las partes topográficamente más altas, por donde circula la recarga proveniente de las montañas que lo delimitan. Las concentraciones se incrementan de sur a norte, hacia el lago El Salitre, reflejando la trayectoria preferencial del flujo subterráneo.

CALCIO (Ca⁺⁺).

El calcio es un constituyente importante de las rocas por lo que es común encontrarlo disuelto en las aguas subterráneas, presentándose en forma disociada como ión bivalente Ca⁺⁺. Es muy soluble y precipita fácilmente como CaCO₃ al variar el pH o la presión de CO₂. Junto con el magnesio contribuye a la dureza del agua.

En el agua de lluvia se presenta en concentraciones menores de 1 ppm, mientras que en las aguas "dulces" puede llegar a alcanzar hasta 250 ppm. Procede principalmente de la disolución de las rocas carbonatadas, como la caliza y la dolomía, del yeso y la anhidrita, así como de las rocas detríticas que tienen como cementante al CaCO₃. En menor proporción se origina del ataque a los feldespatos y otros silicatos cálcicos y de la concentración del agua de lluvia.

Para las zonas en cuestión, su presencia se debe a la disolución de las rocas calizas cretácicas que se encuentran aflorando en pequeñas áreas de las zonas de La Blanca, Loreto, Ojocaliente y Trancoso, y al ataque del agua sobre los feldespatos cálcicos de las rocas volcánicas, ampliamente distribuidas en todas ellas.

Las concentraciones son muy variables según se puede observar en la tabla No. 21.

MAGNESIO (Mg⁺⁺).

El magnesio es el catión que se encuentra en menor concentración en las 10 zonas geohidrológicas; es un constituyente importante de las rocas ígneas y carbonatadas. Su presencia en las aguas subterráneas se debe a diferentes causas: disolución de dolomías y calizas dolomíticas; ataque sobre los silicatos magnésicos y ferromagnesianos; mezcla con agua de mar; localmente, debido al lavado de rocas evaporíticas y magnésicas, y por contaminación industrial y minera.

Se considera que la presencia de este ión en el agua se debe a la disolución de los piroxenos, anfíboles y otros minerales ferromagnesianos, como el olivino y las micas, que constituyen las rocas volcánicas terciarias y cuaternarias que se encuentran aflorando por toda

la porción centro-sureste del estado, y, en menor proporción, debido a la presencia de horizontes evaporíticos. Localmente, se origina por efecto de la evaporación en las partes más bajas de las cuencas, y por contaminación minera. Las máximas concentraciones se localizan en las zonas de Calera y Chupaderos, en tanto que las mínimas se registran en las de Trancoso, Aguanaval y Ojocaliente.

IV .2.6. ANIONES.

Se determinaron las concentraciones de bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}), cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-}), siendo el primero el que se encuentra en mayores concentraciones en las 10 zonas geohidrológicas, objeto de esta tesis.

BICARBONATOS (HCO_3^-) Y CARBONATOS (CO_3^{2-}).

Se encuentran en estrecha relación, ya que en las aguas alcalinas se produce la disociación de los iones de bicarbonatos en iones de carbonatos. Proviene de la disolución de las rocas carbonatadas como las calizas y dolomías, y de la incorporación del bióxido de carbono (CO_2) al agua, lo cual incrementa su poder de disolución.

La presencia de estos iones le confieren la alcalinidad al agua y junto con el CO_2 representan el principal medio de control del pH. Se precipitan fácilmente como carbonato de calcio (CaCO_3), y junto con el magnesio producen la dureza del agua. El bicarbonato se forma a través de las reacciones químicas producidas entre el agua, las rocas y el CO_2 tanto atmosférico como del suelo. Los bicarbonatos son solubles, mientras que los carbonatos no lo son, con excepción de los de sodio, potasio y amonio.

Como ya se mencionó, el bicarbonato se encuentra en mayores concentraciones, en tanto que los carbonatos son los que presentan las menores concentraciones; de hecho, sólo se registran valores en las zonas de Calera, Jerez, La Blanca, Loreto y Ojocaliente, con un rango de variación de 0 a 45 ppm. La explicación a esta característica radica en el hecho de que la mayor parte de las aguas analizadas son ligeramente alcalinas o neutras, mientras que para que se produzca la disociación de los iones de bicarbonato en iones de carbonato se requiere que en las aguas alcalinas el pH sea superior a 8.2. Por debajo de este valor, los iones de carbonato se unen al hidrógeno para dar lugar a los iones de bicarbonato.

En las zonas en estudio, la presencia de estos iones se debe, principalmente, a la disolución de las calizas y a las reacciones químicas que se producen entre el agua, el CO_2 y las rocas. En ocasiones, las altas concentraciones locales se deben a los efectos de la evaporación.

Por ser el anión predominante, únicamente se elaboró el plano de configuración de este ión (plano No. 6) Las concentraciones más bajas de carbonatos se registran en la zona de La Blanca y las más altas en el valle de Calera. Los valores extremos en la concentración de estos iones se presentan en la tabla No. 21.

La zona geohidrológica "Aguanaval" registra valores de 40 a 448 ppm, con una media de 214 ppm: las concentraciones mínimas se presentan en la porción centro-sur del valle, donde el contenido varía de 40 a 176 ppm; mientras que los máximos valores, entre 260 y 448 ppm, se localizan en el extremo norte, en la parte baja de la cuenca, asociado a rocas carbonadas.

En la zona de Calera, el contenido de bicarbonatos varía de 183 a 347 ppm, con un promedio de 256 ppm: las máximas concentraciones se presentan entre Llano Blanco del Norte y Ramón López Velarde, oscilando entre 293 y 347 ppm; mientras que los valores mínimos, entre 183 y 237 ppm, se registran en el extremo norte de la cuenca, en la zona comprendida entre Hidalgo y Santa Ana.

En la zona de Chupaderos los valores extremos son de 174 y 412 ppm, con una media de 287 ppm. Los valores mínimos se presentan hacia los flancos, aumentando el contenido hacia el centro del valle, en el sentido de la dirección del flujo subterráneo. En el extremo occidental se vuelve a presentar la anomalía detectada en la configuración del sodio, lo cual comprueba que en dicha región los valores máximos en las concentraciones de estos iones se deben a los procesos de evaporación y/o disolución de horizontes evaporíticos.

Por otro lado; en la zona de Guadalupe-Bañuelos se tienen las máximas concentraciones de este ión, con valores extremos de 232 y 854 ppm y una media de 371 ppm. Los valores máximos corresponden a las muestras de las norias Nos. 51 y 52, con 855 y 628 ppm, localizadas en el extremo norte, muy cercanas al lago La Zacatecana, lugar donde se almacenan las aguas negras procedentes de las ciudades de Guadalupe y Zacatecas, cuyos contaminantes pueden alcanzar niveles más profundos. Las concentraciones de las muestras de pozos registran valores que oscilan entre 281 y 561 ppm. El valor máximo se presenta en el pozo No. 4, ubicado en el extremo sur del área, que podría ser ocasionado por el contacto del agua con calizas.

En la zona de Jerez se presentan variaciones en el contenido de 48 a 404 ppm, con un promedio de 172 ppm. Los máximos valores se registran en el extremo sur del valle, en la región comprendida entre Ermita de Guadalupe e Ignacio Zaragoza; en tanto que las concentraciones mínimas se localizan en la porción norte, manifestando una trayectoria del flujo subterráneo de norte a sur.

En la zona de La Blanca las concentraciones varían de 92 a 520 ppm, con una media de 252 ppm. Los valores más bajos se presentan en los extremos norte y sur, produciéndose un incremento marcado hacia el centro del valle, en las inmediaciones del lago El Tule, en donde el contenido oscila entre 445 y 520 ppm, por efecto de alta evaporación que ahí se produce.

Para el caso de la zona de Loreto las concentraciones fluctúan entre 183 y 640 ppm, con una media de 286 ppm. Los valores más elevados se observan en la porción occidental del valle, en las inmediaciones de Tierra Blanca, mientras que los más bajos se detectaron al este de Loreto, en los aprovechamientos cercanos a la presa San Marcos, la cual es considerada como una fuente importante de recarga debido a que está emplazada sobre rocas riolíticas fracturadas.

La zona de Ojocaliente presenta valores extremos de 188 y 494 ppm, con una media de 275 ppm. Se observa que las concentraciones más bajas se localizan en el extremo norte del área, entre Nuevo Mundo y Cerrito de la Cruz, y en los aprovechamientos localizados en la periferia del valle, produciéndose un aumento en el contenido hacia el centro de la cuenca y alcanzar los valores más altos en la porción sur, en los límites con el estado de Aguascalientes. En el pozo No. 351, localizado en Estación Berriozabal, se detectaron 356 ppm debido posiblemente a que el agua está en contacto con rocas calizas.

En la zona de Trancoso las concentraciones varían de 171 a 265 ppm, teniendo como promedio 220 ppm. Los valores más bajos se registran en el sur de la zona y se incrementan hacia el centro. Aunque no existen análisis químicos para los aprovechamientos localizados en el extremo norte, es de esperarse un aumento en esa dirección por mayor distancia recorrida y por procesos de evaporación en las proximidades del lago Casa Blanca, hacia donde circulan las aguas tanto superficiales como subterráneas para continuar su recorrido en la zona de Chupaderos.

Por último, en la zona de Villa Hidalgo se registran valores extremos de 203 y 305 ppm, con una media de 265 ppm. Las concentraciones más bajas se presentan en los aprovechamientos localizados tanto al sur del valle como en su perímetro, incrementándose hacia el centro del mismo, en dirección del lago El Salitre.

CLORUROS (Cl).

Generalmente se asocia al ión sodio, en especial en las aguas salinas. En el agua dulce se presentan en concentraciones entre 10 y 250 ppm, mientras que en el agua de mar pueden llegar a alcanzar hasta 21000 ppm.

La mayor parte del cloruro presente en el agua subterránea se debe al lavado de sedimentos de origen marino; mezcla con el agua de mar en las zonas costeras; disolución de la sal común y de los minerales de las rocas evaporíticas; concentración por evaporación de los cloruros existentes en el agua de lluvia; aguas congénitas fósiles; disolución de las partículas de material sólido de la atmósfera, especialmente en regiones áridas; en menor proporción procede de algunos minerales que constituyen las rocas ígneas y metamórficas y por contaminación urbana e industrial.

En la tabla No. 21 se presentan los valores extremos para cada una de las 10 zonas geohidrológicas, así como sus respectivas medias aritméticas. De ella se desprende que las máximas concentraciones se registran en las zonas de Calera, Chupaderos y Guadalupe-Bañuelos, y las mínimas en Trancoso y Aguanaval.

Estatalmente, se observa que el contenido de cloruros se incrementa de las partes topográficamente altas hacia el centro de las cuencas y en la dirección preferencial del flujo subterráneo. Los valores más altos se registran en aquellas zonas ya detectadas en las que se produce un aumento en la concentración por efecto de la evaporación; o bien, por contacto del agua con horizontes evaporíticos, como puede ser el caso del pozo No. 587 localizado en el extremo septentrional de la zona de Calera que registra la máxima concentración con 472 ppm, que exceden las 250 ppm fijadas como límite por las normas de calidad.

El cloruro presente en el agua subterránea de la región tiene como fuente principal el contacto con horizontes evaporíticos, la concentración por evaporación de los cloruros existentes en el agua de lluvia en los lagos intermitentes, los cuales al secarse dejan costras salinas. También se debe a la disolución de algunos minerales que constituyen las rocas ígneas y metamórficas (apatito, sodalita, etc.) y a la de las partículas sólidas de la atmósfera. En el área de Guadalupe-Bañuelos el lago La Zacatecana constituye una fuente importante de contaminación ya que ahí se descargan las aguas residuales provenientes de las ciudades de Zacatecas y Guadalupe.

SULFATOS (SO₄⁻²).

El ión sulfato procede de la disolución del yeso y la anhidrita; del lavado de materiales formados en un ambiente marino o en zonas áridas; de la concentración del agua de lluvia en el suelo; oxidación de los sulfuros que contienen las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias; y por contaminación urbana, industrial y agrícola.

Los valores extremos en el contenido de este ión se presentan en la tabla No. 21, en donde se observa que las máximas concentraciones se registran en las zonas de Jerez, Chupaderos y La Blanca; mientras que las mínimas se detectaron en Trancoso, Villa Hidalgo y Ojocaliente.

De manera general, las concentraciones siguen el patrón descrito ya anteriormente para otros iones; presentando los valores más bajos en los aprovechamientos localizados en las partes topográficamente más altas, donde tiene lugar la recarga, y aumentando hacia el centro de las cuencas. Los valores máximos se registran ya sea por mayor recorrido, por efecto de la evaporación del agua de lluvia almacenada, y/o contacto del agua subterránea con horizontes evaporíticos. Todo ello controlado por la dirección preferencial del flujo subterráneo, que como ya describimos es de sur a norte, con excepción de las zonas de Jerez, Loreto y Ojocaliente en las que la trayectoria es en sentido opuesto.

Las muestras que rebazan la norma de calidad de 250 ppm para este ión se detectaron en el pozo No. 212 de la zona de La Blanca, con 347 ppm; y en los Nos. 1665 y 1487 de la zona de Chupaderos, con 252 y 638 ppm, respectivamente.

Se considera que la presencia de sulfatos en el agua subterránea del área de estudio tiene como fuentes principales la disolución de los horizontes evaporíticos que aunque pueden presentarse localmente, aportan cantidades muy importantes de este ión; la concentración por efecto de la evaporación del agua de lluvia almacenada en las partes bajas de las cuencas y por oxidación de los sulfuros presentes en las rocas. En el área del lago La Zacatecana, la contaminación urbana puede llegar a presentar problemas de calidad del agua para la zona de Guadalupe-Bañuelos. En las zonas de actividad agrícola intensiva, el uso de fertilizantes puede llegar a aportar cantidades significativas de sulfatos, al igual que la contaminación minera.

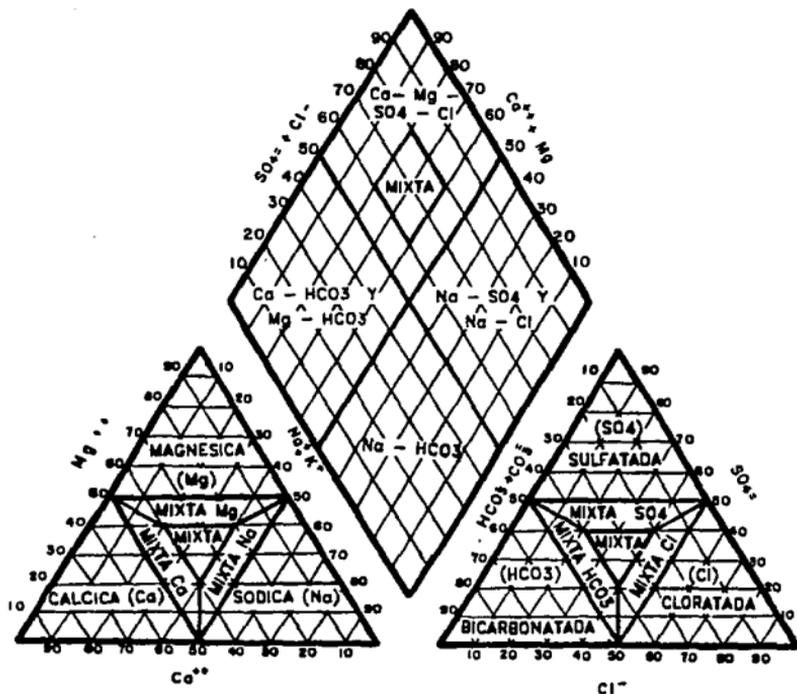
IV.3 FAMILIAS DEL AGUA.

Para la interpretación de los resultados de los análisis químicos se utilizaron los diagramas de Piper, con el propósito de clasificar las muestras de agua de acuerdo a los aniones y cationes predominantes.

Este diagrama está formado por dos triángulos equiláteros en la parte inferior y un rombo central superior. Los lados de ambos se encuentran divididos en partes iguales que representan los valores de reacción en por ciento (figura No. 15). El subtotal de todos los cationes se toma como el 100% y a partir de ello se calculan los porcentajes de reacción de cada uno de ellos, haciendo lo mismo con los aniones. En el triángulo izquierdo se grafican los cationes y en el derecho los aniones. Los puntos se proyectan sobre el rombo central intersectándose en un tercer punto que representa al carácter químico del agua.

Actualmente, se dispone de paquetes de computación que ahorran todo este trabajo, tal es el caso del "Ground Water" (GW) en el que se introducen directamente las concentraciones de los diferentes iones seleccionados para cada una de las muestras y aparece en forma conjunta la representación puntual de cada una de ellas.

Se hizo esto para cada una de las 10 zonas geohidrológicas y posteriormente se englobaron en donde se presentaba la mayor concentración, con el objeto de determinar la familia o familias del agua más representativas de cada cuenca (figuras Nos. 16, 17 y 18). Los resultados se resumen en la tabla No. 22.



U.N.A.M.	
INSTITUTO DE INGENIERIA	
ING. GEOLOGO	CIENCIAS DE LA TIERRA
	DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 15

FAMILIAS DEL AGUA PREDOMINANTES.

ZONA GEOHIDROLOGICA	FAMILIAS DEL AGUA
AGUANAVAL	Sódica-Bicarbonatada Mixta Sódica-Bicarbonatada
CALERA	Sódica-Bicarbonatada Mixta-Magnésica-Bicarbonatada
CHUPADEROS	Mixta Magnésica-Bicarbonatada Magnésica-Bicarbonatada
GUADALUPE-BANUELOS	Mixta Cálctica-Bicarbonatada Cálctica-Bicarbonatada
JEREZ	Mixta Sódica-Bicarbonatada Mixta Cálctica-Bicarbonatada
LA BLANCA	Mixta Sódica-Bicarbonatada Sódica-Bicarbonatada
LORETO	Mixta-Bicarbonatada Mixta Sódica-Bicarbonatada
OJOCALIENTE	Sódica-Bicarbonatada Mixta Sódica-Bicarbonatada
TRANCOSO	Sódica-Bicarbonatada Mixta-Bicarbonatada
VILLA HIDALGO	Mixta Sódica-Bicarbonatada

TABLA No. 22

IV.4. CALIDAD DEL AGUA.

El agua que se destina a los diferentes usos debe cumplir con normas de calidad en cuanto a sus características físico-químicas y bacteriológicas. De esta manera, al comparar los resultados de los análisis químicos con las normas de calidad podemos asignarle un uso apropiado al agua subterránea de una determinada región.

IV.4.1. AGUA POTABLE.

Las normas de calidad en cuanto al agua potable destinada al consumo humano son fijadas por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) y en México por la Secretaría de Salud (S.S.). Estas se muestran en la tabla No. 23 y son generales ya que únicamente se refieren al contenido de STD y a las concentraciones de los iones más comunes, pero pueden ser ajustadas según sean los requerimientos de cada uso y las características particulares de cada región.

De manera general, el agua de la región es de tipo "dulce" ya que su contenido de STD no sobrepasa las 1000 ppm, con excepción de las 5 muestras de los pozos ya mencionados. Sólo uno de ellos, el No. 1487 de la zona de Chupaderos, rebasa las 1500 ppm fijadas como máximo permisible por la O.M.S., las 4 restantes exceden ligeramente las 1000 ppm establecidas por la S.S.

IV.4.2. AGUA PARA RIEGO.

Con el propósito de determinar la calidad del agua para riego se utilizaron los diagramas de Wilcox (1948), en los que se grafican los parámetros de conductividad eléctrica (C.E.) y la relación de adsorción del sodio (RAS), este último se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Las unidades de la C.E. son los $\mu\text{mhos/cm}$ y del RAS los miliequivalentes por litro (meq/l). En este tipo de diagramas se tiene 4 tipos diferentes de conductividad y 4 de concentración de sodio que van de baja a muy alta, (C1 S1, C1-S2, C1-S3, C1-S4, etc.) al

NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA (en ppm)

CARACTERISTICA	O. M. S.		S. S. A. PERMISIBLE
	ACEPTABLE	PERMISIBLE	
S. T. D.	500	1500	1000
SODIO (Na)	20	175	---
CALCIO (Ca)	75	200	---
MAGNESIO (Mg)	50	150	125
BICARBONATOS (HCO ₃)	350	800	---
CLORUROS (Cl)	200	600	250
SULFATOS (SO ₄)	200	400	250
DUREZA	---	---	300
pH	7 - 8.5	6.5 - 9.2	---

TABLA No. 23

combinarse entre si resultan 16 campos distintos. Por ejemplo C1-S2 representa un agua de baja salinidad y concentración media de sodio. En función del campo en el que se ubiquen las muestras, se podrá asignar el agua para el riego de cultivos específicos, según sean sus características de tolerancia respecto al contenido de sales.

Esto es con el objeto de prevenir los posibles efectos nocivos, tanto en los suelos como en las plantas, que puede ocasionar la utilización de aguas con cierto contenido de sales, y las medidas que se deben tomar para su cultivo.

Con los datos de C.E. y las concentraciones de calcio, magnesio y sodio para las muestras de cada valle, en el paquete Ground Water se calcula directamente el RAS, y después aparecen graficadas la totalidad de ellas en forma conjunta. Se siguió este procedimiento para cada una de las 10 zonas geohidrológicas y se agruparon en el campo donde se localizaba el mayor porcentaje.

En las figuras Nos. 19, 20 y 21 se representa la clasificación de Wilcox predominante para cada una de las zonas.

Las muestras analizadas en el valle de Aguanaval quedan ubicadas casi en su totalidad dentro del campo C2-S1 (90%), 5 % se clasifican como C-S1 y el 5 % restante como C3-S1.

En el valle de Calera el 92 % de las muestras pertenece a la clase C2-S1 y el 8 % restante a la clase C3-S1.

En la zona de Chupaderos el 65% de las muestras analizadas se clasifican como C2-S1, el 30% como C3-S1 y el 5 % restante como C4-S1.

Para el caso de las zonas de Guadalupe-Bañuelo y Jerez las muestras provenientes de pozos se clasifican como C2-S1.

En la zona de La Blanca el 75 % de las muestras pertenece a la clase C2-S1, el 20% a la C3-S1 y el 5% restante a la clase C3-S2, mientras que en la zona de Loreto el 90% se clasifica como C2-S1 y el 10% restante como C3-S1.

En la zona de Ojocaliente el 90 % de las muestras se clasifica como C2-S1, el 5% como C1-S1 y el 5 % restante como C3-S1. Para las zonas de Trancoso y Villa Hidalgo la totalidad de las muestras pertenece a la clase C2-S1.

La clase C1-S1 es agua de buena calidad ya que tiene baja salinidad y bajo contenido de sodio que se puede utilizar para el riego de toda clase de cultivos y en cualquier tipo de suelo.

La clase C2-S1 contiene salinidad media y bajo contenido de sodio; con lavados ligeros del terreno puede utilizarse sin ningún problema, seleccionando cultivos medianamente tolerantes a las sales (tabla No. 24).

A la clase C3-S1 pertenecen las aguas de alta salinidad y bajo contenido de sodio, las cuales no pueden utilizarse en los suelos con drenaje eficiente, requiriendo de lavados constantes. Deben seleccionarse cultivos resistentes a las salinidades.

Las muestras clasificadas como C4-S1 son aguas de muy alta salinidad y bajo contenido de sodio cuya utilización en condiciones normales no es apropiada para el riego. En suelos permeables de buen drenaje y con lavados periódicos pueden cultivarse especies resistentes a la salinidad.

La clase C3-S2 representa agua con alto contenido de sales y concentración moderada de sodio. Los suelos regados con esta agua

requieren de un manejo especial para el control de la salinidad, aún en el caso de que presenten un buen drenaje. En los suelos de textura gruesa con buena permeabilidad y en los de origen orgánico pueden llegar a utilizarse. Los cultivos seleccionados deben ser muy tolerantes a las sales.

IV.4.3 AGUA PARA ABREVADERO.

Dado que el agua de la región, desde el punto de vista físico-químico, ha sido clasificada como apta para el consumo humano, podemos afirmar que también lo es para el abrevadero del ganado, ya que los animales son capaces de ingerir agua con mayor contenido de sales, sin que esto sea perjudicial para ellos.

Según McKee y Wolf (1963), los límites máximos de STD en ppm para el ganado son los siguientes:

GANADO	STD
AVICOLA	2,860
PORCINO	4,290
EQUINO	86,430
BOVINO	10,100
OVINO	12,900

**RESISTENCIA A LA SALINIDAD
DEL AGUA**

CULTIVOS	T O L E R A N C I A		
	ALTA	MEDIA	BAJA
F R U T A L E S	Palma datilera	Granada Higuera Olivo Uva Melón	Peral Manzano Naranja Toronjo Ciruelo Almendro Chabacano Durazno Fresa Limonero Aguacate
H O R T A L I Z A S	Betabel Espárrago Espinacas	Jitomate Brócoli Col Coliflor Lechuga Papa Zanahoria Cebolla Chicharo Calabaza Pepino	Rábano Apio Ejotes
C O M U N E S	Cebada Remolacha azucarera Algodón	Centeno Trigo Avena Arroz Sorgo Maíz Girasol	Aluvias

TABLA No. 24

IV.5. INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA

En términos generales, el agua subterránea de la porción centro-sureste del estado posee una salinidad muy baja; de hecho se le clasifica como dulce debido a que su contenido de STD no excede las 1000 ppm. Esta condición hidrogeoquímica tan favorable es característica de las regiones volcánicas en las que el agua tiene una corta permanencia en el subsuelo, como producto de su rápida circulación a través de las formaciones acuíferas, constituidas, en este caso; principalmente por rocas volcánicas fracturadas y clásticos derivados de la erosión. Otros factores que influyen en esta propiedad son la gran resistencia que oponen las rocas al ataque químico del agua y las relativamente cortas distancias de recorrido.

Las concentraciones más bajas de STD se presentan en las partes topográficamente más altas de las cuencas y en el contacto con los depósitos de pie de monte, por lo que son consideradas como las principales áreas de recarga. El contenido se incrementa hacia el centro de las mismas, en la dirección natural del flujo subterráneo; los valores máximos se deben a la concentración por efecto de la evaporación del agua de lluvia que se almacena en las partes más bajas, las cuales al desaparecer dejan costras salinas que con las primeras lluvias de la temporada se disuelven y se incorporan al acuífero o bien, debido a la presencia local de pequeños horizontes evaporíticos.

Los iones predominantes que se encuentran disueltos en el agua subterránea son el sodio, calcio y bicarbonato; los dos primeros provenientes de la disolución de los feldespatos sódicos y cálcicos, además de otros silicatos, que constituyen a las rocas ígneas y a sus productos de erosión que forman el relleno de los valles. La presencia del bicarbonato como catión dominante y la baja salinidad son indicadores de que el agua es de reciente infiltración. Por lo anterior, las relaciones iónicas más comunes son :



Los cambios locales de estas relaciones son atribuibles a diversos factores, tales como disolución de rocas calizas, contacto del agua con horizontes evaporíticos y/o concentración por evaporación.

VII. HIDROLOGIA SUBTERRANEA

VII.1 ACUIFEROS.

Los acuíferos que sustentan los mayores desarrollos agrícolas, urbanos e industriales son los siguientes: "Aguanaval", "Calera" "Chupaderos", "Guadalupe-Bañuelos", "Jerez", "La Blanca", "Loreto", "Ojocaliente", "Trancoso" y "Villa Hidalgo" (figura No. 14).

El acuífero "Calera" es el más importante desde el punto de vista de su explotación, cubre un área de 1730 km², en la que se localizan 1475 aprovechamientos inventariados, que en total extraen un promedio anual de 117 Mm³. Está constituido por sedimentos granulares de origen lacustre que varían en su tamaño de arcillas y limos a arenas y gravas, con intercalaciones de material piroclástico y derrames lávicos de composición andesítica-riolítica. Los espesores oscilan entre los 50 y 450 m, determinados tanto por exploraciones geofísicas como por perforaciones. Las pruebas de bombeo realizadas aportan valores de transmisividad de 0.10 a 16.6×10^{-3} m²/s.

De menor extensión que el anterior, son los acuíferos "Ojocaliente" y "Chupaderos", con una superficie de 890 y 1326 km², respectivamente, formados por sedimentos granulares de tamaño muy variable que van desde los limos y arcillas hasta las arenas y gravas, con espesores que oscilan entre los 200 m, en los flancos del valle, y los 400 m en la parte central. La parte inferior está constituida por rocas riolíticas.

En el primero se encuentran inventariados un total de 592 aprovechamientos del agua subterránea mediante los cuales se extrae un volumen anual de 113 Mm³. La presencia de termalismo en la zona se atribuye a la circulación de las aguas a través de las rocas riolíticas fracturadas que lo comunican hidráulicamente con los materiales granulares, a los que alimenta. Para el caso del acuífero "Chupaderos", el inventario revela la existencia de 861 aprovechamientos, por medio de los cuales se extraen 110 Mm³/año. La transmisividad varía de 0.25 a 19×10^{-3} m²/s, con un promedio de 4.5×10^{-3} m²/s, mientras que para la zona de Ojocaliente los valores oscilan entre 0.7 y 12.60×10^{-3} m²/s, con una media de 1.4×10^{-3} m²/s.

Con una extensión de 2600 km², el acuífero "Aguanaval" tiene un total de 763 aprovechamientos inventariados mediante los cuales se extraen 83 Mm³/año. Está constituido por sedimentos granulares de origen fluvial, con un espesor que alcanza los 250 m en la parte central del valle, depositados sobre un substrato de conglomerados y rocas ígneas generalmente impermeables, pero que ocasionalmente pueden llegar a presentar permeabilidad secundaria por fracturamiento. La transmisividad presenta valores que oscilan entre 0.05 y 16.5×10^{-3} m²/s, con promedio de 4×10^{-3} m²/s.

Siguiendo en orden de importancia, por su explotación, el acuífero "Loreto" se encuentra ubicado en la parte suroriental del estado, cubriendo un área de 1000 km², en la que se encuentran distribuidos 724 aprovechamientos subterráneos, que en su conjunto extraen un volumen anual de 78 Mm³. Con base en los resultados obtenidos de las exploraciones

geoeléctricas y los cortes litológicos de pozos se determinó que está formado por depósitos granulares aluviales y lacustres de granulometría fina a media, conglomerados de arenas y gravas de rocas sedimentarias y volcánicas incluidas en una matriz arcillosa o arcillo-arenosa, con intercalaciones de derrames y tobas riolíticas, compactas o fracturadas. Los notables cambios laterales, tanto verticales como horizontales, son el reflejo de la compleja estructura y geometría de las capas en el subsuelo. La transmisividad obtenida a partir de las pruebas de bombeo varía de 0.21 a $12.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con una media de $1.94 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

El acuífero "Jerez" abarca un área de 1623 km^2 en la que se tienen inventariados un total de 470 aprovechamientos, mediante los cuales se extrae un volumen anual de 30 Mm^3 . Está constituido por intercalaciones de sedimentos granulares que varían de arcillas a gravas, conglomerados de fragmentos de rocas volcánicas en una matriz arcillo-arenosa, tobas y riolitas que presentan una compleja estructura y geometría en el subsuelo. Las pruebas de bombeo realizadas en el área aportaron datos de transmisividad que oscilan en el rango de 0.18 a $37.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con un promedio de $4.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Las exploraciones geofísicas llevadas a cabo en el área han detectado hasta 350 m de espesor del acuífero.

El acuífero "Villa Hidalgo" se localiza en la parte suroriental del estado, cubriendo una superficie de 865 km^2 , en la que se tienen inventariados un total de 565 aprovechamientos subterráneos, que en conjunto extraen un volumen anual de 30 Mm^3 . La parte superior está constituida por depósitos de abanicos aluviales de gravas y arenas de permeabilidad variable producto de la desintegración de rocas riolíticas; con un espesor que alcanza los 100 m . Debajo de esta unidad se presenta una alternancia de conglomerados, tobas y brechas, generalmente poco permeables, mientras que la parte inferior está conformada por rocas riolíticas compactas. Los valores de transmisividad varían de 0.04 a $45.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con un promedio de $2.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Con una superficie de 700 km^2 , el acuífero "Trancoso" tiene un total de 129 aprovechamientos mediante los que se extrae un volumen de agua anual de 28 Mm^3 . Está formado por intercalaciones de depósitos aluviales y lacustres de grano fino a medio -arcillas a gravas-, conglomerados de fragmentos de rocas sedimentarias y volcánicas incluidos en una matriz arcillo-arenosa y, en menor proporción, tobas riolíticas compactas y fracturadas, que en superficie funcionan como fuentes de recarga. Esta secuencia presenta cambios laterales que reflejan una compleja estructura y geometría en el subsuelo. Las transmisividades oscilan entre 0.30 y $17.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con un valor medio de $4.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Los cortes litológicos de los pozos perforados en esta zona alcanzan hasta los 250 m de profundidad; sin embargo, los sondeos eléctricos identifican capas acuíferas hasta los 450 m .

El acuífero "La Blanca" abarca un área de 1200 km^2 en la que existen 513 aprovechamientos subterráneos que extraen un volumen de $28 \text{ Mm}^3/\text{año}$. Esencialmente está formado por depósitos de abanicos aluviales constituidos por fragmentos de granulometría muy variable, desde limos y arcillas hasta arenas y gravas. Hacia la parte inferior, ocasionalmente se presentan tobas riolíticas que en superficie bordean el valle y son buenas transmisoras del agua, por lo que son su fuente principal de recarga. Los valores de transmisividad varían de 0.07 a $11 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con un promedio de $1.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Por último, el acuífero de menor extensión, pero no por ello el menos importante, es "Guadalupe-Bañuelos", que comprende una superficie de 300 km², en la que se tienen inventariados 200 aprovechamientos -en su mayor parte norias-, mediante los cuales se extrae un volumen anual de 8 Mm³, principalmente para suministro de agua potable a las ciudades de Guadalupe y Zacatecas, de ahí su importancia como zona de reserva. Está formado por materiales granulares de compactación variable, en ocasiones con matriz arcillosa, y rocas riolíticas fracturadas que en conjunto no sobrepasan los 100 m de espesor. Los valores de transmisividad varían de 1.5 a 12×10^{-3} m²/s, con un promedio de 7.1×10^{-3} m²/s. Dicha región se encuentra rodeada por sierras constituidas por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas de naturaleza impermeable que funcionan como fronteras hidrológicas que delimitan lateralmente al valle, tanto al oriente como al occidente.

VII.2 PIEZOMETRIA.

Con el propósito de registrar y observar las fluctuaciones del nivel estático (N.E.) en el transcurso del tiempo, se recabó la información piezométrica para el periodo 1980-1993, obtenida, en diversos recorridos, por la Gerencia Estatal de la CNA en Zacatecas. Al igual que en el captulo anterior, únicamente se consideran las 10 zonas de explotación extensiva; para cada una de ellas se elaboraron los planos de curvas de igual valor de profundidad, elevación y evolución del nivel estático a escala 1: 100 000 ó 1: 50 000 y, posteriormente, fueron vaciados en el plano estatal a escala 1:750 000.

De acuerdo a los datos de los censos y la actualización de ellos (1993), existen en la entidad un total de 7790 aprovechamientos inventariados, 5258 pozos y 2532 norias, de los cuales 6089 son de uso agrícola, 1145 para dotación de agua potable; 508 para fines doméstico y abrevadero y 48 para usos industriales (tabla No. 25 y fig. No. 22). De ellos se extrae anualmente un volumen promedio de 690 Mm³.

VII.2.1 PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO

Influenciada tanto por la configuración topográfica como por el bombeo y la recarga, la profundidad del agua subterránea en la entidad oscila entre 15 y poco menos de 100 m (ver plano No. 7). Los valores más altos se localizan hacia el sur de la zona de Guadalupe-Bañuelos y en la zona de Ojocaliente, mientras que los más bajos se presentan en las partes bajas de los valles de Calera, Guadalupe-Bañuelos y La Blanca.

**RESUMEN DE APROVECHAMIENTOS POR USO
EN EL ESTADO DE ZACATECAS**

ZONA GEOMORFOLOGICA	U S O S				TOTAL
	AGRICOLA	MUNICIPAL DOMESTICO	PECUARIO	INDUSTRIAL	
* CUENCA MEDIA DEL RIO AGUANAVAL	668	48	47	0	763
** CUENCA ALTA DEL RIO AGUANAVAL	42	7	2	0	51
* CALERA	1295	108	54	18	1475
* CHUPADEROS	738	41	70	4	861
* GUADALUPE-BABUICOS	120	64	15	1	200
GUADALUPE DE LAS CORRIENTES	13	20	83	0	116
GUADALUPE GARZARON	23	61	58	1	143
IXTLERA-CANDELILERA	2	75	0	0	77
JALPA-JUCHIPILA	39	10	4	0	53
* JEREZ	326	125	16	3	470
* LA BLANCA	470	27	16	0	513
* LOBETO	639	32	48	5	724
* OJOCALIENTE	486	83	17	6	592
PALMAR	28	84	4	2	118
PINOS	48	102	0	6	156
TLALTENANGO-TEPECHTLAN	19	5	1	0	25
* TRANCOSO	103	24	0	2	129
VALPARAISO	163	19	0	0	162
VILLANUEVA	47	21	5	0	73
** VILLA DE COS-EL MEZQUITE	107	7	16	0	130
VILLA GARCIA	239	143	12	0	394
* VILLA HIDALGO	494	39	32	0	565
T O T A L	6089	1145	508	48	7790

TABLE No. 20

* ZONAS GEOMORFOLOGICAS QUE COMPRENDE EL PRESENTE TRABAJO.

** NUEVAS ZONAS GEOMORFOLOGICAS QUE SE MANEJAN EN LA GERENCIA ESTATAL.

Para la cuenca media del Río Aguanaval, la profundidad al nivel del agua (1990) varía de 20 a 30 m en la parte central del valle, aumentando gradualmente hasta los 70 hacia la zona montañosa de la sierra de Chapultepec, al oriente, y la de Fresnillo, al suroeste. En la parte norte las profundidades oscilan entre los 30 y 50 m.

La zona de Calera presenta profundidades (1993) que fluctúan entre los 20 y 40 m para la parte centro-norte del valle, entre Ramón López Velarde y Santa Ana, en dirección de la laguna del mismo nombre, localizándose los niveles más someros en la zona que circunda al poblado Morfín Chávez, al oriente de Fresnillo, en donde existe una gran concentración de norias que explotan los niveles freáticos. Hacia los flancos oriental y occidental aumenta la profundidad hasta los 60 m, mientras que al sur del área, los valores varían de 10 a 80 m.

La profundidad al espejo del agua (1990) en la porción septentrional del valle de Chupaderos varía de 20 a 40 m, en tanto que hacia los extremos oriental y occidental se localizan depresiones que alcanzan los 60 y 80 m, respectivamente, producidas por la concentración del bombeo. Al sur de la zona se localiza una extensa región con orientación norte-sur, desde el poblado El Bordo Buenavista hasta cruzar la carretera Zacatecas-Ojocaliente en donde las profundidades son de 10 m, región aprovechada mediante una gran cantidad de norias, aumentando hacia los flancos oriental y occidental hasta los 30 m.

Para el valle de Guadalupe-Bañuelos (1990), la piezometría revela profundidades al nivel del agua que varían de 5 a 40 m, incrementándose en sentido este-oeste, desde las inmediaciones del lago La Zacatecana hacia Guadalupe; y de 5 a 20 m en sentido norte-sur hasta el poblado de Laguna Honda. Controlada por la topografía, la profundidad al N.E. en la región occidental se incrementa de 50 a 80 m, desde Bañuelos hacia la zona montañosa. Las máximas profundidades, de 80 a 90 m, se localizan en el extremo sur, entre los poblados de Perales y Viboritas.

En la zona de Jerez la profundidad al nivel del agua (1993) es de 40 m en toda la parte central del valle, a lo largo del río Jerez, aumentando gradualmente hasta los 60 m hacia las laderas montañosas que lo delimitan. Al norte del valle, las profundidades varían de 60 a 70 m.

Los niveles del agua subterránea (1990) en el valle de La Blanca presentan valores de 20 a 25 m para la zona que circunda a los lagos El Tule y El Salado, incrementándose lateralmente conforme se asciende topográficamente, a través de curvas que siguen sensiblemente la configuración del terreno. Los valores máximos, 70 m, se presentan al occidente del área, entre los poblados La Tesorera, El Saucito y Guanajuatillo.

En el valle de Loreto las profundidades mínimas al nivel del agua (1990) se localizan en la porción centro-sur, entre esta localidad y Tierra Blanca, quedando envuelta por la curva 40 m. Se incrementa hasta los 50 m hacia el flanco occidental, en el límite con el estado de Aguascalientes, mientras que hacia el oriente se alcanzan los 60 m de profundidad. Al norte de la zona, entre los poblados de Estancia de Animas y Villa González Ortega, la profundidad al N. E. oscila entre 40 y 50 m.

La zona geohidrológica de Ojocaliente presenta profundidades al N.E. (1993) que fluctúan entre los 40 y 80 m, registrándose los valores mínimos en las inmediaciones de la localidad que da nombre al valle, hasta Cerrito de la Cruz, en el norte, y en el extremo sur del área, en el límite con el estado de Aguascalientes; incrementándose hacia los extremos este y oeste hasta los 60 m en las laderas de las montañas. Tanto en la porción sur como en la norte la profundidad al nivel del agua subterránea varía de 50 a 70 m, mientras que hacia el suroeste, entre la estación Berriozabal y Piedra Gorda, los valores oscilan entre 70 y 80 m.

El valle de Trancoso registra valores de profundidad al espejo del agua (1993) que varían de 20 a 60 m, localizándose los mínimos -entre 20 y 30 m- en la zona que rodea a la lago Casa Blanca, entre La Luz y San Ignacio. Hacia el sur y suroccidente se incrementa hasta alcanzar los 60 m.

Para el caso de la zona de Villa Hidalgo, la información piezométrica recabada (1993) revela que en la porción centro-norte se registran profundidades al nivel del agua de 30 m, que se incrementan hasta los 50 m, controladas por la topografía del terreno, tanto hacia el extremo oriental como al occidental. Entre las localidades El Maguey y La Purísima se define un parteaguas subterráneo a partir del cual las profundidades descienden tanto al oriente como al occidente hasta los 20 m, hacia las zonas de la presa El Cedazo y el lago El Salitre, respectivamente.

VII.2.2 ESQUEMA GENERAL DEL FLUJO SUBTERRANEO.

Con base en la información proveniente de la nivelación de los brocales de aprovechamientos y de las observaciones piezométricas, se elaboró el plano No. 8, en el que se presenta el esquema general del flujo subterráneo. En condiciones naturales, el agua circula de las áreas de recarga a las de descarga, controlada por factores tales como las estructuras geológicas presentes, la distribución espacial de la recarga y ritmo de explotación. El agua que se precipita sobre las montañas se infiltra o escurre superficialmente hacia las partes bajas, alimentando los acuíferos, en donde las características de permeabilidad y porosidad lo permiten, o bien continúa su curso subterráneo aguas abajo a lo largo del valle.

El esquema general del flujo subterráneo (1990), para la cuenca media del río Aguanaval, presenta una dirección preferencial de suroeste a norte, paralela a la trayectoria de escurrimiento de dicho río, con alimentaciones laterales procedentes de las sierras de Chapultepec y Fresnillo, al noroeste y sureste, respectivamente.

La elevación del N.E. (1993), en el valle de Calera, presenta valores extremos de 2120 y 2040 msnm, decreciendo gradualmente de sur a norte desde el poblado de Morelos hasta el norte de Ramón López Velarde e Hidalgo, al oriente de Fresnillo, donde se localiza la mayor concentración de aprovechamientos.

Para el valle de Chupaderos la dirección preferencial del flujo (1990), -de sur a norte- se origina al oriente de Guadalupe, con la curva 2180 msnm, hasta la 1940, en las inmediaciones de los lagos Pardillo y Las Casas. Al noreste del poblado El Bordo Buenavista se localiza un pequeño cono, definido por la equipotencial 1960 msnm, en el que además confluyen tanto la trayectoria originada en dicha localidad como el flujo proveniente del valle de Trancoso. Al sur de Chupaderos se localiza otra zona depresiva a la que se dirigen los escurrimientos procedentes de las laderas del flanco occidental y los que se originan al oriente, en el límite con el estado de San Luis Potosí.

Debido a los diferentes problemas que se presentaron durante la lectura piezométrica en el valle de Guadalupe-Bañuelos -ademes sellados, casetas cerradas, pozos tapados, etc.-, la escasa información únicamente permite definir una tendencia general del flujo subterráneo de sur a norte, hacia el lago La Zacatecana. En la porción sur del área se esboza una trayectoria hacia el sureste.

Respecto al valle de Jerez, el esquema general del flujo subterráneo (1993), muestra una dirección preferencial de norte a sur, paralela al curso del río Jerez. Se observan dos conos: uno que rodea al poblado San Antonio, al sur del área, y otro que hace lo propio en la localidad de Ermita de Guadalupe, definidos por las equipotenciales 1890 y 1940 msnm, respectivamente; al que confluyen también las alimentaciones procedentes de los flancos montañosos oriental y occidental.

En el valle de La Blanca (General Pánfilo Natera) la configuración del nivel estático (1990), pone de manifiesto una trayectoria preferencial hacia el norte a lo largo de toda su extensión, alimentada por el flujo que se origina en las zonas montañosas que lo delimitan. Inicia en la curva 2070 msnm y continúa hasta la 2020, siguiendo la orientación que forman los lagos El Tule, El Salado y El Salitral, estos dos últimos localizados ya dentro del estado de San Luis Potosí.

Para el caso del valle de Loreto, la red de flujo subterráneo (1990), inicia con una trayectoria hacia el suroeste, en el tramo comprendido entre los poblados de Villa González Ortega y Estancia de Animas, de la curva 2070 a la 2060 msnm, para finalmente continuar con dirección preferencial norte-sur hasta el cono que envuelve las localidades de Tierra Blanca y Loreto, en donde se localiza la mayor concentración de aprovechamientos.

La disposición de las curvas equipotenciales en el valle de Ojocaliente (1993), muestra una trayectoria preferencial del flujo de norte a sur, iniciando con la curva 2040 msnm, al suroriente de Trancoso, alterada ligeramente en las áreas de concentración de aprovechamientos y alimentada lateralmente por el flujo que se origina en las zonas montañosas que lo rodean. En el extremo sur del área se presenta un cono, definido por la envolvente 1900 msnm, al que también convergen los flujos originados tanto en la porción septentrional del estado de Aguascalientes, como aquellos que se generan en la región serrana localizada al sur de San José de los Llanos.

En el valle de Trancoso, la red del flujo subterráneo (1993), pone de manifiesto que este ocurre de las partes altas hacia el centro de la cuenca, de la equipotencial 2070 a la 2020 msnm, alimentando una dirección preferencial de sur a norte que tiende a descargar hacia el lago Casa Blanca y continuar en la porción suoriental de la zona geohidrológica de Chupaderos.

Por último, la distribución de las curvas de igual valor de elevación del N.E. en el valle de Villa Hidalgo (1993), demuestra la presencia de dos direcciones preferenciales del flujo que convergen en la parte central del valle: la primera se origina desde el sureste hacia el norte con la equipotencial 2160 msnm en el poblado de Estancia de Guadalupe, al oriente de la región. La segunda inicia, también con el mismo valor, en la localidad Guadalupe Victoria con una trayectoria hacia el suroriente. Estas trayectorias sufren alteraciones debido a la existencia de dos zonas de concentración de bombeo, una localizada al sur de Ignacio Zaragoza y la otra al occidente de Villa Hidalgo. El escurrimiento que se dirige a la segunda depresión, continúa hacia el norte para descargar en el lago El Salitre.

VII.2.3 EVOLUCION DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA.

Para determinar la variación de la posición de la superficie piezométrica en el transcurso del tiempo, se analizaron dos períodos de evolución: una larga y otra corta, los cuales se presentan en los planos Nos. 9 y 10, respectivamente.

Del análisis de la información piezométrica en el período 1980-1990 se desprende que en el área de la cuenca media del río Aguanaval se presentan abatimientos que varían de 3 a 10 m, con un promedio anual de 0.5 m. Se presentan tres zonas bien definidas por la curva 3 negativa con orientación paralela al río Aguanaval y sólo en donde se concentra el bombeo se presentaron descensos de hasta 10 m. Para el intervalo 1989-1991 se registraron abatimientos que oscilan entre 0.5 y 4 m.

La evolución del N.E. en el valle de Calera (1983-1993), muestra una extensa zona con abatimientos mínimos de 5 m desde Morfín Chávez, por el norte, hasta Morelos en el sur, aumentando hacia la parte central, en donde se presentan descensos de hasta 10 m en los sitios en que se concentra tanto el bombeo agrícola como el que se destina al abastecimiento de agua potable a las ciudades de Fresnillo y Zacatecas. Al sur, en el valle de Benito Juárez, se presentan evoluciones negativas del orden de los 4 a 10 m como máximo, en la zona en que se localizan las extracciones para uso público-urbano de la ciudad de Zacatecas. El abatimiento medio anual para este período varía de 0.5 a 1.0 m en el valle de Calera y de 0.5 a 0.8 m en el de Benito Juárez. Para el lapso 1991-1993, se observa que los niveles estáticos no sufrieron variaciones en la mayor parte del área. Hacia la porción norte se localiza un cono de abatimiento de 0.5 m que coincide con la zona de mayor concentración de aprovechamientos, y descensos de 2 m en donde se presentan las mayores extracciones.

Para el valle de Chupaderos, la evolución 1980-1990 presenta abatimientos de 5 m a lo largo y ancho de la zona que rodea la porción centro-norte del mismo, desde los lagos El Pardillo y Las Casas, en el extremo norte, hasta el poblado El Bordo Buenavista, en el sur. Hacia la parte oriental, en los límites con el estado de San Luis Potosí, se localiza un gran cono de abatimiento de 15 m que engloba los poblados de El Garabato, El Aguila, El Palmar, Vinvaleta, El Durazno y La Encarnación, en una región de concentración del bombeo. Al occidente, y orientado paralelamente a la carretera Zacatecas-Concepción del Oro, se localiza otra depresión piezométrica de 10 m, en la región del distrito de riego del ejido San Antonio del Ciprés; englobando a su vez dos zonas de concentración de bombeo localizadas en el extremo norte y sur, de 12 y 15 m, respectivamente.

Hacia la porción sur del valle se presenta un estrecho y alargado cono de abatimiento de 2 m, orientado en sentido norte-sur que envuelve los poblados Agua Bendita, Tacoaleche, Zoquite y Santa Mónica, coincidiendo con la zona de concentración de norias. El abatimiento promedio anual para este período varía de 0.5 a 1.5 m en la región centro-norte, mientras que en la porción sur los niveles freáticos no han sufrido variaciones importantes.

Para el lapso 1988-1990 se presentaron descensos del nivel estático de 0.5 m para toda la parte centro-norte y de 1 m en donde se concentra la extracción, con un promedio anual de abatimiento de 0.5 m.

Respecto al valle de Guadalupe-Bañuelos, la evolución del N.E. durante el período 1989-1991 no mostró variaciones importantes para la mayor parte del área. Al sur de Guadalupe, entre los poblados San Ramón, Cieneguita y Las Mangas, se registraron abatimientos de 0.5 y 1.0 m, al igual que al suroriente de San Jerónimo. En la región que rodea a la localidad de Viboritas los descensos fueron de 1.0 m, en tanto que al sur de San Francisco las Cumbres alcanzaron los 2 m.

La evolución del nivel estático correspondiente al intervalo 1983-1993 en el valle de Jerez detecta la presencia de conos de abatimiento provocados por la explotación intensiva que se realiza en estas áreas. Los descensos varían de 5 a 10 m, con valores locales de 15 m y un promedio anual de 1 m. Al norte, entre los poblados Luis Moya y El Centro se localiza una zona de descenso del N.E. de 10 m en la que se encuentran concentradas una gran cantidad de norias. Al sur y norte de Ermita de Guadalupe se presenta otra depresión con este mismo valor. En el área de Jerez de García Salinas y al suroccidente de la Ex-hacienda de Buenavista los abatimientos varían de 5 a 10 m.

Para el intervalo 1991-1993 los abatimientos registrados oscilan entre 1 y 2 m, con valores máximos de 5 m en las zonas de mayor extracción, coincidiendo la localización de los conos con la descrita en la evolución larga.

La explotación intensiva que se lleva a cabo en el valle de La Blanca ha provocado la presencia de dos conos de abatimiento orientados en sentido suroeste-noreste para el período 1980-1990, definidos por la envolvente de -5 m. En la depresión que se localiza al oriente de Pánfilo Natera se presenta una zona interior de concentración del bombeo con descensos de 10 m. El abatimiento promedio anual para este intervalo varía de 0.5 a 1.0 m. Para el lapso

1987-1990 se registraron descensos del nivel estático de 0.5 a 1.0 m, con un promedio anual de 0.5 m y, aunque más pequeños, la misma localización de los conos.

Los abatimientos registrados durante el intervalo 1980-1990 en el valle de Loreto varían de 5 a 10 m en el extremo norte. Al oriente y occidente de Maravillas se localiza un cono de abatimiento de 10 m que se extiende hacia el norte y engloba a la localidad de Estancia de Animas, en tanto que alrededor de Tierra Blanca se presenta otra depresión de 5 m de evolución negativa hasta el límite con el estado de Aguascalientes, la cual encierra una pequeña zona de concentración del bombeo en la que se registran abatimientos de 10 m para este mismo período. La evolución del N.E. para el período 1987-1990 muestra una amplia zona de abatimiento de 1 m localizada al noroccidente de Loreto, con depresiones máximas de 2, y 4 m hacia la región de Jarillas y Tierra Blanca, respectivamente. Al norte del valle, entre Estancia de Animas y Villa González Ortega se registraron abatimientos de 1 y 2 m, mientras que al sur de esta misma localidad los descensos fueron de 4 m. Para este lapso el promedio anual de abatimiento varía de 0.5 a 1.0 m.

Con respecto al valle de Ojocaliente, la evolución del N.E. para el intervalo 1982-1993 manifiesta descensos de 5 y 8 m para la parte norte; en la porción centro-sur, entre Ojocaliente y Luis Moya, varían de 5 a 20 m con los abatimientos máximos en las zonas donde se concentra el bombeo: inmediaciones de Ojocaliente y hacia el extremo sur del valle, en el límite con el estado de Aguascalientes. En el extremo suroccidental de la zona, entre Piedra Gorda y Ciudad Cuauhtémoc, se presenta un cono de abatimiento local de 10 m, producto de la fuerte extracción que ahí se lleva a cabo. El abatimiento medio anual varía de 0.5 a 2.0 m, mientras que para el lapso 1992-1993 fue de 0.5 m, con zonas de descenso de 1.0 m que coinciden con la localización de los detectados en la evolución larga.

Para el caso de la zona de Trancoso, la evolución del N.E. durante el período 1982-1990 refleja abatimientos que oscilan entre 3 y 5 m para la mayor parte del área con valores máximos de 10 m en las zonas donde se concentra la extracción tanto para fines agrícolas como para abastecimiento de agua potable, localizadas al norte y noreste de El Carmen.

Los descensos del nivel estático registrados por la evolución 1983-1993 varían de 5 a 10 m, en las zonas de concentración de las extracciones localizadas una al occidente de Villa Hidalgo, en la parte central del valle, y la otra al suroccidente, entre Ignacio Zaragoza y La Arquera. Por otra parte, el período 1991-1993 muestra en estas mismas zonas pequeños conos de abatimiento con valores de 1 y 2 m, por lo que se mantiene el mismo promedio anual de descenso de 0.5 a 1.0 m. En la mayor parte del área los niveles del agua subterránea mantuvieron su posición.

VII.3 PRUEBAS DE BOMBEO.

Con el propósito de conocer las características hidrodinámicas de los acuíferos localizados en la entidad, se reinterpretaron un total de 25 pruebas de bombeo de corta duración en sus etapas de abatimiento, recuperación o ambas, según los datos disponibles (tabla No. 26), cuyo tiempo varió de 1 a 8 hrs. para la primera fase, y de 1 a 6 hrs. para la segunda, dependiendo de la operación de los pozos y del comportamiento de los niveles dinámicos. Sólo en el pozo No. 57 de la zona de Guadalupe-Bañuelos la duración fue de 69 y 18 hrs., respectivamente.

Los datos fueron recabados de estudios previos realizados para la SARH y de las pruebas efectuadas por la Gerencia Estatal de la CNA en Zacatecas, los que sirvieron para conocer la transmisividad de los materiales que constituyen los acuíferos en diferentes puntos (plano No. 3). Puesto que no se contó con pozo de observación en ninguna de las pruebas, no fue posible calcular el coeficiente de almacenamiento S; asignando un valor general en función del tipo de acuífero y de la litología mostrada en los cortes litológicos: 0.1 para acuíferos libres y 0.01 para los de tipo semiconfinado.

Para la interpretación de las pruebas se utilizó el software GW (Ground Water) por el método de Jacob que es aplicable a observaciones en el mismo pozo de bombeo, en acuíferos libres o confinados cuyo espesor sea mucho más grande que los abatimientos producidos. En las gráficas se observa un tramo recto del abatimiento para un cierto intervalo de tiempo a partir del inicio del bombeo, produciéndose después cambios de pendiente o estabilización del nivel, efectos indicativos de penetración parcial, cambios laterales de permeabilidad o semiconfinamiento; por lo que la T calculada corresponde a los materiales captados por el cedazo (figuras Nos. 23 a 42).

La expresión que se utiliza para obtener la transmisividad es la siguiente:

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

en donde:

T = Transmisividad en m²/s

Q = Caudal de extracción constante en m³/s.

Δs = Pendiente de la recta de ajuste en un ciclo

RESUMEN DE PRUEBAS DE BOMBEO

ZONA GEOHIDROLÓGICA	No. DE POZO	DIÁMETRO DE DESCARGA (cm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	CAUDAL (lps)	CAUDAL ESPECÍFICO (lps/m)	DURACION (hrs)		TRANSMISIVIDAD ($\times 10^{-3}$ m ² /s)	
							A	R	A	R
ACUMAYAL	594	15.24	17.67	27.80	24	2.37	6	5	1.82	2.10
	1185	15.24	54.29	63.37	23	2.51	7	6	2.07	1.87
CALERA	33	15.24	34.60	52.00	49	2.82	7		2.57	
	78	15.24	20.47	36.71	6	0.37	6		0.29	
	237	15.24	29.95	46.66	40	2.39	8		2.68	
	252	15.24	35.28	41.88	40	6.06	7		5.51	
CUPADEROS	1437	20.32	79.41	104.33	54	2.16		4		2.03
	1449	15.24	16.04	56.90	40	0.98		5		0.77
	1509	20.32	30.66	51.40	36	1.73		4		1.74
	1737	15.24	43.62	70.11	25	0.94	5		0.76	
GUADALUPE- BARBELOS	43	15.24	10.52	33.00	12	0.53	8		0.43	
	57	15.24	42.20	53.75	12	1.04	69	18	2.54	3.02
JEREZ	236	20.32	22.85	35.25	64	5.16	8	3	4.30	4.54
	77	20.32	21.56	43.90	37	1.65	8	6	1.48	1.58
LA BLANCA	35	20.32	28.90	44.29	18	1.17	1	2	0.53	0.57
	291	15.24	16.20	52.22	23	0.63	1	1	0.33	0.39
LORETO	406	20.34	46.86	82.97	28	0.77	6	4	0.72	0.65
	645	20.32	65.07	88.68	14	0.59	5	2	0.37	0.33
OJOCALIENTE	123	15.24	26.53	61.45	16	0.46	6	5	0.31	0.33
	404	10.16	30.63	42.59	11	0.92	5	2	0.53	0.78
TRANCOSO	32	20.32	23.73	55.67	54	1.69	6	1	1.33	1.15
	78	15.24	20.15	27.36	20	2.77	6	2	1.68	1.59
VILLA HIDALGO	65	20.32	52.28	73.49	23	1.08	4		0.91	
	72	15.24	68.75	78.77	25	2.49	4		1.77	
	251	15.24	63.37	79.90	18	1.09		4		0.90
	405	15.24	38.80	46.42	33	4.33	4		3.07	

A = ABATIMIENTO

R = RECUPERACION

TABLA No. 26

VII.4 RECARGA Y DESCARGA DE LOS ACUIFEROS

La precipitación pluvial representa la única fuente de recarga natural de los acuíferos, ésta y los escurrimientos superficiales que genera, se infiltran a través de las rocas volcánicas y sedimentarias fracturadas, ampliamente expuestas en las sierras y lomeríos, a lo largo de los cauces, en los piamontes y directamente sobre los valles.

A causa de la creciente actividad agrícola, la recarga natural se ha modificado. De esta manera, la construcción de presas y bordos altera el curso de los escurrimientos superficiales y la infiltración que se produce a lo largo de su curso. Además, la recarga inducida también se produce por la recarga vertical en los vasos de almacenamiento, por pérdidas en los canales de conducción, por retornos de riego y por el abatimiento excesivo de los niveles freáticos.

La descarga más importante es la artificial, que se realiza por medio del bombeo, a través de un total de 7790 aprovechamientos del agua subterránea diseminados en todo el estado que, como ya se mencionó, extraen un promedio anual de 690 Mm³. La descarga natural se lleva a cabo de diferentes maneras: por evapotranspiración en las zonas donde el nivel freático es somero (menor de 10 m) --extremo norte del valle de Calera, norte y sur del valle de Chupaderos y hacia el norte de Guadalupe-Bañuelos--; por flujo base, únicamente en algunos tramos del río Aguanaval; en menor proporción, las salidas por flujo subterráneo tienen lugar en el valle de Ojocaliente hacia el vecino estado de Aguascalientes, y en el valle de Trancoso, hacia la zona geohidrológica de Chupaderos.

VII.5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

Uno de los aspectos más importantes en el estudio geohidrológico de una determinada región es sin duda alguna la cuantificación del recurso hidráulico que existe en ella. Para evaluar el potencial de un acuífero se hace uso de la ecuación de balance de aguas subterráneas, la cual se basa en el principio de conservación de la materia.

Esta ecuación, en su forma más simple, puede expresarse de la siguiente manera:

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

Es decir:

$$Eh + Rv - Sh - Dn - B - Ev = \pm \Delta V \text{ —————(1)}$$

en donde:

- Eh = Entradas subterráneas.
- Rv = Recarga vertical.
- Sh = Salidas subterráneas.
- Dn = Descargas naturales (manantiales)
- B = Bombeo.
- Ev = Evapotranspiración.
- ΔV = Cambio de almacenamiento.

Dependiendo de como se presenten la recarga y la descarga de los acuíferos durante un intervalo de tiempo determinado, podemos simplificar la ecuación al eliminar los términos que no actúan en el área. De esta manera, en un acuífero limitado por barreras impermeables no se presentan Eh ni Sh, lo mismo sucede con Ev cuando no existen niveles freáticos someros y con Dn si no hay descargas naturales del acuífero.

La cuantificación para un intervalo de tiempo está basada en aspectos tan importantes como la determinación de la evolución y elevación de los niveles estáticos a partir de la piezometría, la hidrometría de las extracciones y la asignación de los parámetros hidrodinámicos del acuífero obtenidos de las pruebas de bombeo (coeficiente de almacenamiento S y transmisividad T).

Para el cálculo de los volúmenes de Eh y Sh se utiliza la red de flujo trazada en el plano de elevación del nivel estático y considerando la ley de Darcy, mediante la siguiente fórmula:

$$Q = T i B \text{ ————— (2)}$$

donde

- T = transmisividad del acuífero [m²/s]
- i = gradiente hidráulico [adimensional]
- B = ancho del canal de flujo [m]

Las descargas naturales (Dn) se cuantifican directamente mediante el aforo de los manantiales o de los cauces de los ríos perennes en las estaciones hidrométricas seleccionadas

La determinación de los volúmenes de extracción por bombeo (B) se realiza con base en el censo de aprovechamientos, seleccionando aquellos pozos que tengan una mayor influencia en el volumen total, debido a las características de su equipo y/o régimen de operación; la elección del método para cuantificar depende del uso a que se destinen. Entre los más utilizados están: medidor total de flujo (lectura directa), consumo de energía eléctrica y caudal, método de la escuadra, caudal y reloj horario de trabajo del equipo de bombeo, superficie y lámina de riego.

La evapotranspiración (Ev) es un término difícil de cuantificar debido a que depende de factores como tipo y densidad de la vegetación, humedad ambiental, granulometría de los materiales, etc. Sólo tiene importancia cuando en la zona existen niveles freáticos someros, se calcula tomando como valor la evaporación potencial media.

El cambio de almacenamiento (ΔV) se calcula a partir de los planos de evolución piezométrica y del coeficiente de almacenamiento del acuífero, mediante la expresión:

$$\pm \Delta V = S \sum_{j=1}^{na} a_j h_j$$

en donde "S" es el coeficiente de almacenamiento, "a_j" es un elemento de área de evolución piezométrica "h_j" y "na" es el número de elementos en que está dividida el área de balance.

En la tabla No. 27 se presentan los cálculos de las entradas y las salidas subterráneas.

Al ser sustituida la ecuación (1), la recarga total del estado resulta ser del orden de 492 Mm³/año, perteneciendo: 426 Mm³/año a la recarga vertical y 66 Mm³/año a la recarga por entradas subterráneas

Al compararse este valor con el bombeo, resulta un déficit de agua subterránea de 136 Mm³/año, que se están extrayendo del almacenamiento no renovable del subsuelo zacatecano, es decir:

$$R_t - B = D$$

en donde:

R_t = Recarga total

B = Bombeo

D = Déficit

Por todo lo anterior, es necesario evitar que continúe el incremento del bombeo en los sitios donde existan pronunciados conos de abatimiento.

BALANCE GEOHIDROLÓGICO

(CANTIDADES EN MILLONES DE METROS CÚBICOS/AÑO)

ZONA GEOHIDROLÓGICA	Eh	Sh	D	± AVS	Rv	Rt	D	CONDICIÓN DE EXPLOTACIÓN
AGUAMAYAL	9	7	85	-29	49	58	-27	SOBREEXPLOTADO
CALERA	6	0	117	-39	65	71	-16	SOBREEXPLOTADO
CHUPAMEROS	2	1	110	-19	92	94	-16	SOBREEXPLOTADO
GUADALUPE- BARUELOS	0	0	0	-----	10	10	+ 2	SOBREEXPLOTADO*
JEREZ	12	0	30	- 2	16	28	- 2	EQUILIBRIO
LA BLANCA	9	0	30	- 1	23	32	+ 2	EQUILIBRIO
LORETO	11	0	70	- 6	43	56	-24	SOBREEXPLOTADO
OJOCALIENTE	4	1	112	- 3	90	94	-10	SOBREEXPLOTADO
TRANCOSO	5	2	20	- 9	17	22	- 6	SOBREEXPLOTADO
VILLA HIMALGO	0	0	30	- 1	21	29	- 1	EQUILIBRIO
T O T A L	66	11	620	-109	426	492	-136	

TABLA No. 27

Eh = ENTRAMAS SUBTERRÁNEAS

Rv = RECARGA VERTICAL

Sh = SALIDAS SUBTERRÁNEAS

Rt = RECARGA TOTAL

D = EXTRACCIÓN POR BOMBEO

D = DISPONIBILIDAD

± AVS = CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

* ZONA DE RESERVA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
A LAS CIUDADES DE ZACATECAS Y GUADALUPE.

VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

El estado de Zacatecas está dividido en 20 zonas geohidrológicas, de las cuales únicamente 10 han sido cubiertas mediante estudios geohidrológicos, abarcando una superficie de 13 084 km² de la porción centro-suroriental de la entidad; estas zonas son: Aguanaval, Calera, Chupaderos, Guadalupe-Bañuelos, Jerez, La Blanca, Loreto, Ojocaliente, Trancoso y Villa Hidalgo.

El agua subterránea de la región se clasifica como de tipo "dulce" ya que su contenido total de sales no excede las 1000 ppm, con excepción de algunas muestras muy localizadas. Es químicamente apta para el consumo humano y para fines agrícolas, dado que la concentración de sus iones principales no rebaza las normas de calidad existentes. De igual manera, en forma general, las familias de agua predominantes son la sódica-bicarbonatada y la mixta sódica-bicarbonatada; asimismo, la clase de agua para riego que domina es la C2-S1, que corresponde a agua de salinidad media y bajo contenido de sodio, que es apropiada para el riego de cultivos medianamente tolerantes a las sales, en todo tipo de suelos.

Los acuíferos, en su mayoría son del tipo "libre", conformados por sedimentos clásticos de granulometría y permeabilidad muy variada -arenas, gravas y arcillas-; en su parte inferior, se presentan conglomerados, tobas y rocas riolíticas con permeabilidad secundaria, que muestran cambios notables tanto verticales como horizontales, reflejando la compleja estructura y geometría de las capas en el subsuelo. Localmente, se presentan condiciones de semiconfinamiento debido a la presencia de capas semipermeables constituidas por tobas y/o lentes arcillosos, como es el caso de Villa Hidalgo, Aguanaval y Ojocaliente; la parte superior generalmente forma sistemas freáticos "colgados" de escaso potencial, que sólo abastecen norias de bajo rendimiento.

El esquema general del flujo subterráneo muestra trayectorias preferenciales de sur a norte en casi todas las zonas geohidrológicas, con excepción de Ojocaliente, Jerez y Loreto, en las que la dirección se presenta en sentido opuesto, con alimentaciones laterales provenientes de los flancos montañosos que las delimitan. Así, el agua fluye de las partes topográficamente más altas hacia el centro de los valles y continúa con la dirección preferencial, la cual sufre alteraciones notables en las zonas de concentración del bombeo.

La recarga de los acuíferos ocurre principalmente en el contacto de los materiales granulares con los afloramientos de rocas, generalmente ígneas, que los delimitan; por infiltración del agua de lluvia en las rocas con permeabilidad secundaria; en los cauces de los arroyos que escurren torrencialmente hacia el centro de los valles, y por la infiltración vertical que se produce a lo largo y ancho de la superficie de los mismos. Esta última, debido, por una parte, a los volúmenes precipitados y por otra, a los retornos de riego y pérdidas en los canales de conducción de los distritos de riego.

Por otro lado, la descarga más importante es la que se lleva a cabo de manera artificial a través del bombeo; sin embargo, también existe salida por flujo base en un pequeño tramo del extremo norte de la cuenca del río Aguanaval, y por flujo subterráneo, en el valle de Ojocaliente, hacia el vecino estado de Aguascalientes.

La condición de explotación está definida únicamente para el área de balance; aunque esta característica no se altera para la mayoría de las zonas geohidrológicas, no puede hacerse extensiva para toda la superficie de los valles de Jerez, La Blanca y Villa Hidalgo, en los que se tienen áreas en donde la existencia de pozos y la explotación del recurso es poco significativa.

A pesar de los efectos perjudiciales ocasionados por el sobrebombeo de los mantos acuíferos, el sector agrícola continúa incrementando sus demandas, especialmente en aquellas zonas en las que la situación es más crítica y en donde no existe disponibilidad de agua subterránea para mantener el régimen actual de explotación, mucho menos para satisfacer las demandas a largo plazo.

De continuar con el ritmo actual de abatimiento en las zonas sobreexplotadas, la agricultura de riego por bombeo pronto dejará de ser redituable, ya que cualquier incremento en la extracción provocará mayor profundización de los niveles del agua, con el consecuente aumento en los costos de operación del equipo por consumo de energía eléctrica y/o combustible, y el inminente acortamiento en la duración del agua subterránea que puede ser económicamente extraída. Ante ello, resulta obvio que el desarrollo sostenido de la entidad dependerá, en gran medida, de la eficiencia con que se utilice el recurso hidráulico y de las medidas que se implementen para atenuar los efectos de la sobreexplotación.

Las descargas residuales urbanas e industriales, entre estas últimas las originadas por las minas, han iniciado su proceso de degradación de la calidad del agua subterránea, que de continuar podría poner en grave riesgo la potabilidad del agua y constituir verdaderos problemas de salud pública. Esto resulta particularmente evidente en la zona de Guadalupe-Bañuelos, en donde se localiza el sistema "Bañuelos-San Ramón" para suministro de agua potable a las ciudades de Zacatecas y Guadalupe y en donde se ubica la presa La Zacatecana como almacenamiento de las aguas residuales procedentes de estas mismas ciudades, constituyendo un foco importante de contaminación del agua. Hacia las zonas de Loreto y Ojocaliente, el agua del subsuelo contiene, además, cantidades significativas de metales pesados que rebasan los valores máximos permisibles.

De todo lo expuesto anteriormente, resulta evidente que en las 10 zonas estudiadas del estado de Zacatecas, el balance hidrológico es desfavorable: el volumen disponible de aguas superficiales se utiliza íntegramente en las actividades agrícolas y el déficit de aguas subterráneas asciende a los 136 Mm³/año, que se está extrayendo del almacenamiento no renovable de los acuíferos. De las diez zonas geohidrológicas que comprende este trabajo, únicamente Jerez, La Blanca y Villa Hidalgo se mantienen en condición de equilibrio, mientras que en el resto de ellas se presenta una clara sobreexplotación, con abatimiento

medio de 1 m/año. Sin embargo, las otras diez zonas, que no se contemplaron en esta tesis por falta de apoyo piezométrico, están subexplotadas y sólo han sido cubiertas mediante estudios de prospección geohidrológica; éstas y pequeños valles intermontanos presentan posibilidades acuíferas, susceptibles de ser aprovechados para futuras demandas.

RECOMENDACIONES.

Dada la problemática de sobreexplotación de los acuíferos y la necesidad de preservar para el futuro las reservas de agua subterránea que todavía guarda el subsuelo de la entidad, resulta de vital importancia llevar a la práctica las medidas de control que permitan una reducción sustancial de los efectos provocados por tal condición geohidrológica.

En este sentido, es necesario impedir cualquier incremento de la extracción, principalmente para uso agrícola, en los sitios donde se presentan conos de abatimiento pronunciado, con descensos considerables en los niveles del agua y con concentración de aprovechamientos; y reservar para usos prioritarios, como son el público urbano, el doméstico y de abrevadero, los volúmenes que aun pueden extraerse de los acuíferos sobreexplotados, con el propósito de prolongar su vida útil en beneficio del desarrollo armónico de la entidad, de equilibrar la relación extracción-recarga, de evitar el deterioro de la calidad del agua y el minado de la reserva no renovable. Asimismo, es importante la reglamentación de las extracciones y vigilar el estricto cumplimiento de los decretos de veda que rigen en todo el estado, con la finalidad de impedir la construcción de nuevos aprovechamientos, procurando una distribución más racional y equitativa del agua entre todos los usuarios.

Se propone, en el sector agrícola, implantar programas orientados al uso eficiente del agua, mediante la tecnificación del riego, revestimiento de canales, uso de aguas residuales de calidad aceptable para cierto tipo de cultivos tolerantes y la diversificación de los mismos, fomentando aquéllos de menor uso consuntivo.

Para liberar las fuentes de abastecimiento que tienen las industrias, será necesario promover la utilización de aguas residuales tratadas, lo cual incrementaría la oferta de agua en beneficio de la producción agrícola; condicionar las nuevas solicitudes de aprovechamientos para uso industrial a aquellos usuarios que adquieran los derechos de pozos agrícolas vigentes, y presionarlos en el sentido de la instalación de sistemas que garanticen el uso eficiente del agua, y la construcción de sus propias plantas de tratamiento.

Establecer el control sistemático de monitoreo de la calidad del agua tanto superficial como subterránea, para detectar cualquier avance de la contaminación. A este respecto, se recomienda incluir en los análisis físico-químicos la determinación de las concentraciones de metales pesados, con el objeto de identificar los contaminantes que se están infiltrando en el subsuelo como producto del lavado de los desechos generados por la industria minera.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA.

Por otro lado, deben continuar las observaciones piezométricas, realizándose preferentemente dos veces al año: una durante la temporada de estiaje y la otra después de concluir la época de lluvias, de tal manera que permitan conocer el comportamiento de los niveles del agua subterránea. Esto es de suma importancia ya que la escasa información con que cuenta la zona de Guadalupe-Bañuelos y los problemas que se presentaron durante la toma de la lectura del nivel estático -pozos sellados, casetas cerradas, etc.- impidió el cálculo del balance, siendo el valor de recarga estimado. De igual forma, se recomienda la realización de pruebas de bombeo de larga duración que cuenten con pozo de observación para conocer el coeficiente de almacenamiento regional de los acuíferos y llevar a cabo la hidrometría de las extracciones; para ello sería ideal que todos los aprovechamientos con caudales de extracción importantes instalaran un medidor total de flujo para poder, de esta manera, conocer los volúmenes reales que se están extrayendo de los acuíferos.

Por último, fomentar la realización de los modelos de simulación de acuíferos, con el propósito de contar con una herramienta confiable que permita el manejo eficiente del agua subterránea mediante la elección de las políticas de explotación más adecuadas para lograr tal finalidad.

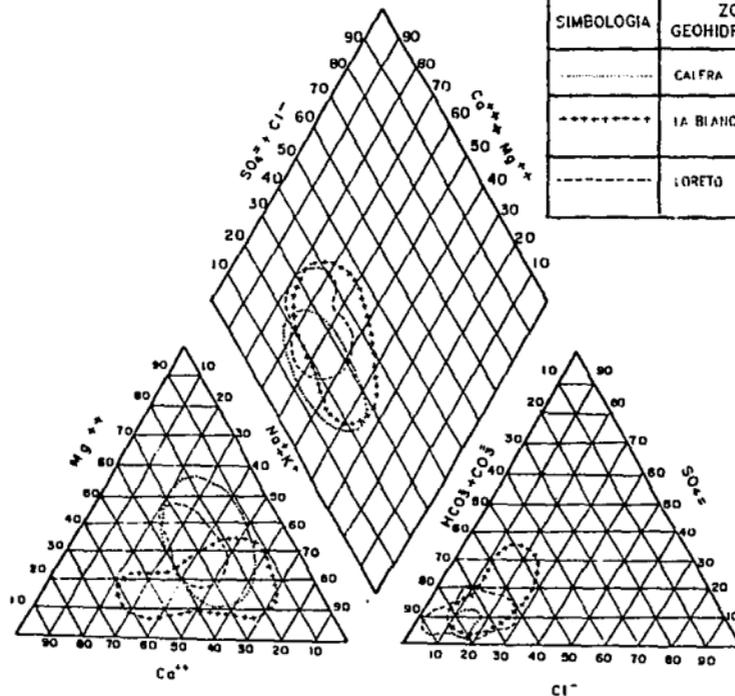
BIBLIOGRAFIA

- 1) Aguilera Torres, G., 1975 Estudio Geológico Minero de la región El Jazmín, Caopas municipio de Mazapil, Zac. Tesis Profesional. ESIA. IPN.
- 2) André Palomino, J.P., 1993. Estudio Geohidrológico de las Zonas de La Blanca y Loreto, Zacatecas. Tesis Profesional. Fac. de Ingeniería. UNAM.
- 3) Arvizu Lara, G., 1978. Geología General de la Hoja Concepción del Oro, Zac. Tesis Profesional. Fac. de Ingeniería. UNAM.
- 4) Castañeda A., F., 1985. Geología Económica del Distrito Minero de Charcas, S.L.P. Geología Económica de México. F.C.E.
- 5) Córdoba A., D., 1965. Resumen de la Geología de la Hoja Apizolaya, Estados. de Zacatecas y Durango. Carta Geológica de México. Serie 1: 100 000. Hoja Apizolaya 13-I (9). Instituto de Geología. UNAM.
- 6) Custodio Llamas, E., 1976. Hidrología Subterránea. Tomos I y II. Edit. Omega, S.A. Barcelona, España.
- 7) Davis S., N. y De Wiest, R., 1971. Hidrogeología. Edit. Ariel. 1a. edición. Barcelona, España.
- 8) Eguluz de Antuñano, S., 1985. Posibilidades Petroleras en el Mar Mexicano. Revista de Ingeniería Petrolera. Vol. 25. No. 8.
- 9) García Calderón, J., 1974. Investigación Hidrogeológica en la Región El Cardito, Zac. Tesis de Doctorado. Fac. de Ciencias. UNAM.
- 10) INEGI, 1981. Síntesis Geográfica de Zacatecas.
- 11) INEGI, 1986. Cuaderno Básico para la Planeación de Zacatecas.
- 12) INEGI, 1990. Anuario Estadístico del Estado de Zacatecas.
- 13) Lesser Illades, J.M., 1985. Hidrogeoquímica, División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería. UNAM.
- 14) Lohman S. W., 1977. Hidráulica Subterránea. Editorial Ariel. Barcelona, España.

- 15) Ledezma Guerrero, O., 1981. Resúmen de la Geología de la Hoja Camacho, Estados de Zacatecas y Durango. Carta Geológica de México. Serie 1: 100 000. Hoja Camacho 13R-1 (12). Instituto de Geología. UNAM.
- 16) Rogers C. et al., 1961. Reconocimiento Geológico de los Depósitos de Fosfatos del norte de Zacatecas y áreas adyacentes de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí. Consejo de Recursos Naturales no Renovables. Boletín No. 56.
- 17) S.A.R.H., 1974. Estudio Geohidrológico de la Zona de La Blanca, Zac.
- 18) S.A.R.H., 1977. Estudio Geohidrológico de la Zona de Ojocaliente, Zac.
- 19) S.A.R.H., 1980. Actualización del Estudio Geohidrológico en el Valle de Loreto, Zac.
- 20) S.A.R.H., 1981. Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca Media del Aguanaval, Zac.
- 21) S.A.R.H., 1981. Estudio Geohidrológico del Valle de Jerez, Zac.
- 22) S.A.R.H., 1981. Actividades de Carácter Geohidrológico en las Zonas de Chupaderos, Villa Hidalgo y La Blanca, Zac.
- 23) S.A.R.H., 1982. Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona de Trancoso, Zac.
- 24) S.A.R.H., 1983. Estudio Geohidrológico de la Zona de Guadalupe-Bañuelos, Zac.
- 25) S.A.R.H., 1984. Estudio de Prospección en el área de Genaro Codina, Zac.
- 26) S.A.R.H., 1992. Actualización del Estudio Geohidrológico del Valle de Aguanaval, Zac.
- 27) Toledo Bante C., 1987. Estudio Geológico de las Cartas Salinas de Hidalgo, Espíritu Santo y Moctezuma, en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. Tesis Profesional. Fac. de Ingeniería. UNAM.

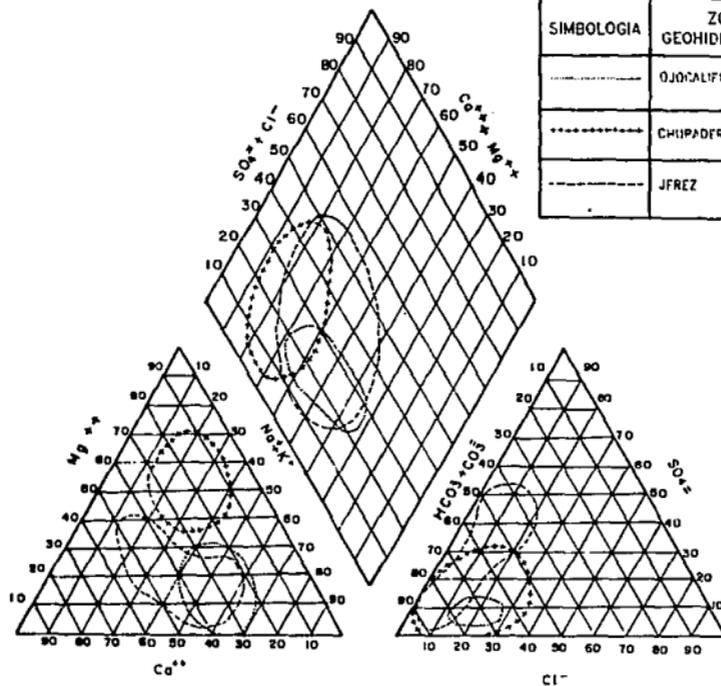
ILUSTRACIONES

(FIGURAS Y TABLAS)



SIMBOLOGIA	ZONA GEOHIDROLÓGICA	FAMILIA DEL AGUA
-----	CAJIRA	Mixta Sódica-Ricarbónica Mixta-Mg-Ricarbónica
-----	LA BLANCA	Mixta Sódica-Ricarbónica Sódica-Ricarbónica
-----	LORETO	Mixta-Ricarbónica Mixta Sódica-Ricarbónica

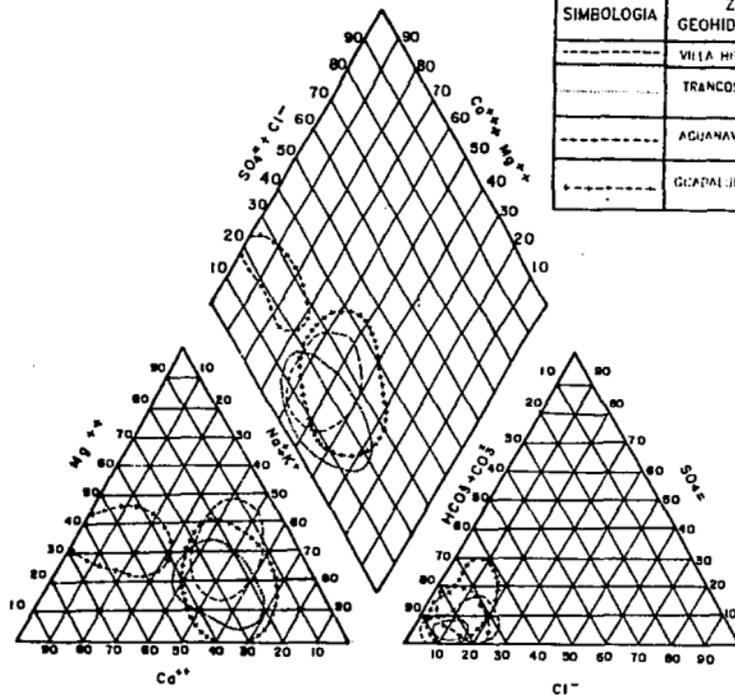
ING. GEOLOGÍA	U.N.A.M.	
	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	DIAGRAMA DE PIPER	
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS	
TESIS PROFESIONAL		FIG. No. 15



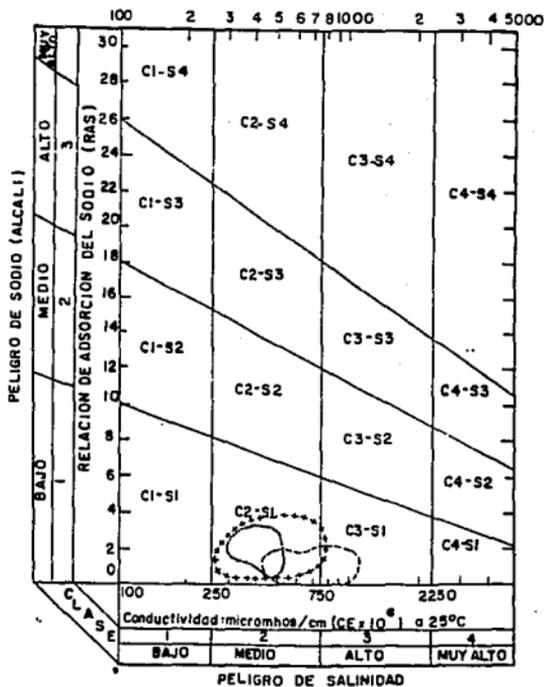
SIMBOLOGIA	ZONA GEOHIDROLÓGICA	FAMILIA DEL AGUA
-----	OJOCALIFTE	Sódica-Bicarbonatada Mixta Sódica-Bicarbonatada
-----	CHIPADROS	Mixta Mg-Bicarbonatada Magnésica-Bicarbonatada
-----	JFREZ	Mixta Sódica-Bicarbonatada Mixta Calcio-Bicarbonatada

ING. GEOLOGO	 U.N.A.M. 
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	DIAGRAMA DE PIPER
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
TESIS PROFESIONAL FIG. No. 17	

SIMBOLOGIA	ZONA GEOHIDROLOGICA	FAMILIA DEL AGUA
-----	VILLA HIRALGO	Mista Sódica-Bicarbonato
.....	TRANCOSO	Sódica-Bicarbonato Mista-Bicarbonato
-----	ADJANAVAL	Sódica-Bicarbonato Mista Sódica-Bicarbonato
-----	GUADALUPE-BARRIOS	Mista Calcio-Bicarbonato Calcio-Bicarbonato

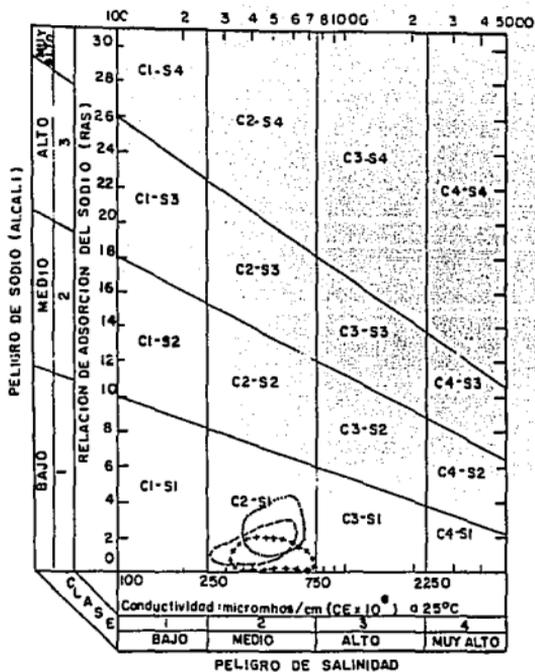


ING. GEOLOGO	U.N.A.M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	DIAGRAMA DE PIPER
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 18



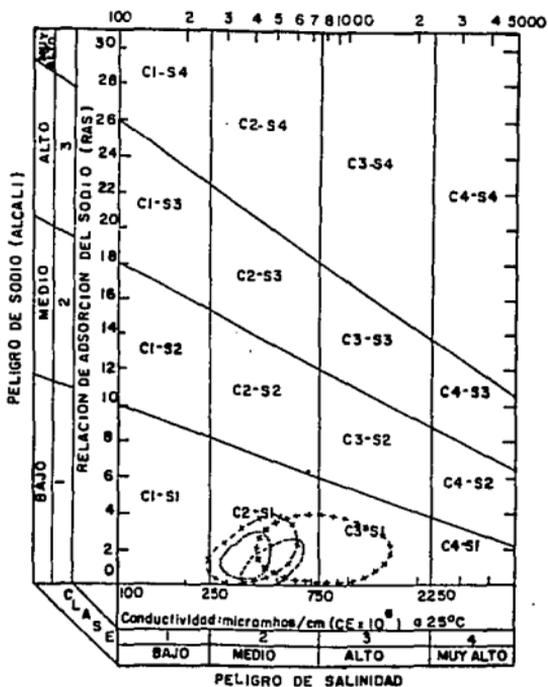
SIMBOLOGIA	ZONA GEOHIDROLOGICA	CLASIFICACION
.....	GALERA	G2 - S1
-----	QUADALUPE-BARUELOS	G2 - S1 G3 - S1
+++++	JEREZ	G2 - S1

ING. GEOLOGO	U.N.A.M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	DIAGRAMA DE WILCOX	
VICTOR M. CASTAÑON ARCOS		
TESIS PROFESIONAL FIG.N. 19		



SIMBOLOGIA	ZONA GEOHIDROLOGICA	CLASIFICACION
.....	OJOCALIENTE	C2 - S1
-----	LORETO	C2 - S1
+++++	LA BLANCA	C2 - S1

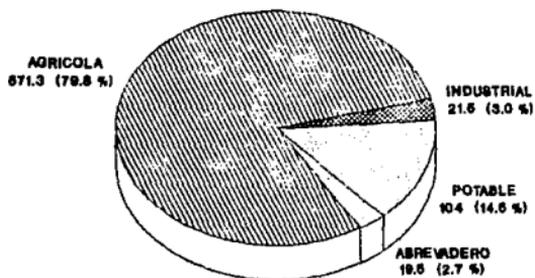
	U.N.A.M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
ING. G E O L O G O	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	DIAGRAMA DE WILCOX	
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS	
	TESIS PROFESIONAL FIG No. 20	



SIMBOLOGIA	ZONA GEOHIDROLOGICA	CLASIFICACION
-----	VILLA HIDALGO	C2 - S1
+++++	CHUPADEROS	C2 - S1 C3 - S1
.....	TRANCOSEO	C2 - S1
-+-----	AQUANAL	C2 - S1

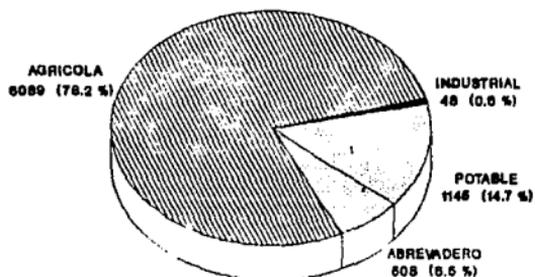
ING G E O L O G I A	U. N. A. M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	DIAGRAMA DE WILCOX	
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS	
TESIS PROFESIONAL		FIG. No. 21

**VOLUMENES DE EXTRACCION POR USO
EN EL ESTADO DE ZACATECAS**
(CANTIDADES EN MILLONES DE m³/AÑO)



VOLUMEN DE EXTRACCION = 715.30 Mm³/AÑO

**DISTRIBUCION DE APROVECHAMIENTOS POR USO
EN EL ESTADO DE ZACATECAS**

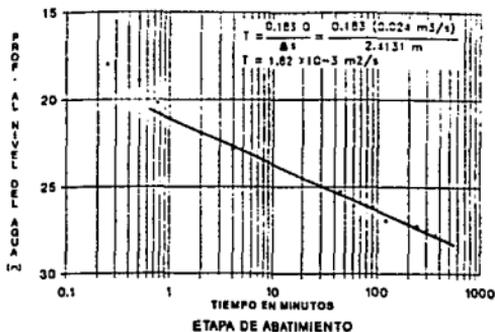


TOTAL DE OBRAS = 7 790

FIGURA No. 22

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE AGUANAVAL
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 594

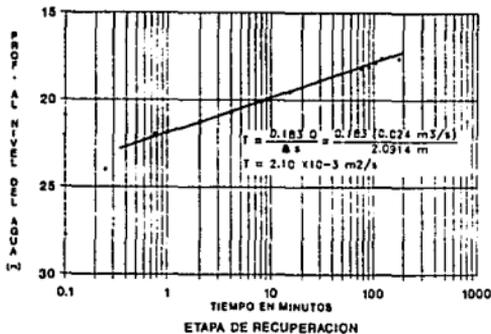
TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	17.60
0.25	18.29
0.50	18.51
0.75	19.08
1.00	19.86
2.00	21.23
4.00	20.76
6.00	20.12
15.00	19.56
30.00	18.91
45.00	18.55
60.00	18.75
75.00	18.23
90.00	18.11
120.00	17.98
150.00	17.61
240.00	17.60
300.00	17.53



ETAPA DE ABATIMIENTO

TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	17.67
0.25	18.08
0.50	18.96
0.75	20.20
1.00	21.05
2.00	21.91
4.00	22.62
6.00	23.51
15.00	24.22
30.00	24.99
45.00	25.29
60.00	26.09
90.00	26.19
120.00	26.95
180.00	27.05
240.00	27.27
300.00	27.45
360.00	27.90

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE AGUANAVAL
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 594

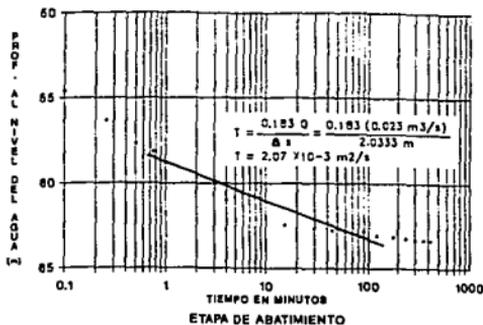


ETAPA DE RECUPERACION

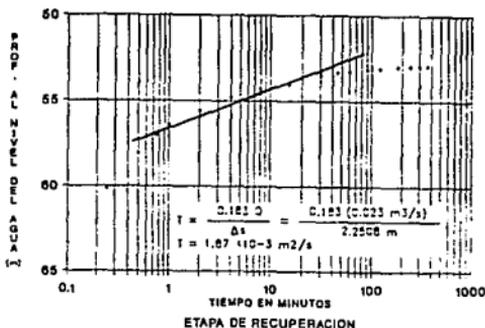
ING. GEOLOGO	 U.N.A.M. 
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL (FIG. No. 23)

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE AGUANAVAL
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 1165

TIEMPO ACUMULADO (MINUTOS)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	54.29
0.25	56.35
0.50	57.68
0.75	58.18
1.00	58.76
2.00	59.70
4.00	61.00
8.00	62.16
15.00	62.66
30.00	62.85
45.00	62.80
60.00	62.82
90.00	62.85
120.00	62.87
180.00	62.85
240.00	62.82
300.00	62.81
360.00	62.85
420.00	62.87



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE AGUANAVAL
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 1165

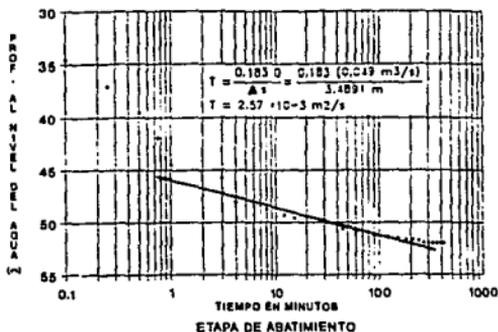


TIEMPO ACUMULADO (MINUTOS)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	62.37
0.25	60.15
0.50	58.12
0.75	57.06
1.00	56.45
2.00	56.61
4.00	54.82
8.00	54.32
15.00	54.09
30.00	53.48
45.00	53.55
60.00	53.25
90.00	53.15
120.00	53.10
180.00	53.00
240.00	52.96
300.00	52.96
360.00	52.93

ING. GEOLOGO	 U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	PRUEBA DE BOMBEO	
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS TESIS PROFESIONAL FIG. No. 24	

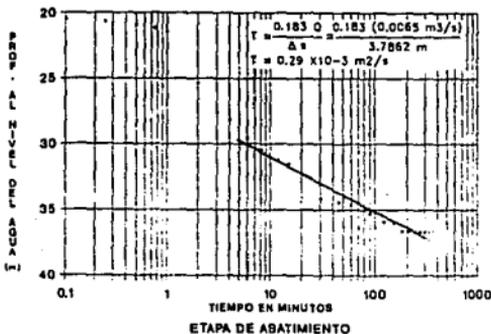
ZONA GEOHIDROLÓGICA DE CALERA
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 33

Tiempo (min)	Nivel (m)
1.00	32.00
1.25	32.00
1.50	32.00
1.75	32.00
2.00	32.00
2.25	32.00
2.50	32.00
2.75	32.00
3.00	32.00
3.25	32.00
3.50	32.00
3.75	32.00
4.00	32.00
4.25	32.00
4.50	32.00
4.75	32.00
5.00	32.00
5.25	32.00
5.50	32.00
5.75	32.00
6.00	32.00
6.25	32.00
6.50	32.00
6.75	32.00
7.00	32.00
7.25	32.00
7.50	32.00
7.75	32.00
8.00	32.00
8.25	32.00
8.50	32.00
8.75	32.00
9.00	32.00
9.25	32.00
9.50	32.00
9.75	32.00
10.00	32.00
10.25	32.00
10.50	32.00
10.75	32.00
11.00	32.00
11.25	32.00
11.50	32.00
11.75	32.00
12.00	32.00
12.25	32.00
12.50	32.00
12.75	32.00
13.00	32.00
13.25	32.00
13.50	32.00
13.75	32.00
14.00	32.00
14.25	32.00
14.50	32.00
14.75	32.00
15.00	32.00
15.25	32.00
15.50	32.00
15.75	32.00
16.00	32.00
16.25	32.00
16.50	32.00
16.75	32.00
17.00	32.00
17.25	32.00
17.50	32.00
17.75	32.00
18.00	32.00
18.25	32.00
18.50	32.00
18.75	32.00
19.00	32.00
19.25	32.00
19.50	32.00
19.75	32.00
20.00	32.00
20.25	32.00
20.50	32.00
20.75	32.00
21.00	32.00
21.25	32.00
21.50	32.00
21.75	32.00
22.00	32.00
22.25	32.00
22.50	32.00
22.75	32.00
23.00	32.00
23.25	32.00
23.50	32.00
23.75	32.00
24.00	32.00
24.25	32.00
24.50	32.00
24.75	32.00
25.00	32.00
25.25	32.00
25.50	32.00
25.75	32.00
26.00	32.00
26.25	32.00
26.50	32.00
26.75	32.00
27.00	32.00
27.25	32.00
27.50	32.00
27.75	32.00
28.00	32.00
28.25	32.00
28.50	32.00
28.75	32.00
29.00	32.00
29.25	32.00
29.50	32.00
29.75	32.00
30.00	32.00
30.25	32.00
30.50	32.00
30.75	32.00
31.00	32.00
31.25	32.00
31.50	32.00
31.75	32.00
32.00	32.00
32.25	32.00
32.50	32.00
32.75	32.00
33.00	32.00
33.25	32.00
33.50	32.00
33.75	32.00
34.00	32.00
34.25	32.00
34.50	32.00
34.75	32.00
35.00	32.00
35.25	32.00
35.50	32.00
35.75	32.00
36.00	32.00
36.25	32.00
36.50	32.00
36.75	32.00
37.00	32.00
37.25	32.00
37.50	32.00
37.75	32.00
38.00	32.00
38.25	32.00
38.50	32.00
38.75	32.00
39.00	32.00
39.25	32.00
39.50	32.00
39.75	32.00
40.00	32.00
40.25	32.00
40.50	32.00
40.75	32.00
41.00	32.00
41.25	32.00
41.50	32.00
41.75	32.00
42.00	32.00
42.25	32.00
42.50	32.00
42.75	32.00
43.00	32.00
43.25	32.00
43.50	32.00
43.75	32.00
44.00	32.00
44.25	32.00
44.50	32.00
44.75	32.00
45.00	32.00
45.25	32.00
45.50	32.00
45.75	32.00
46.00	32.00
46.25	32.00
46.50	32.00
46.75	32.00
47.00	32.00
47.25	32.00
47.50	32.00
47.75	32.00
48.00	32.00
48.25	32.00
48.50	32.00
48.75	32.00
49.00	32.00
49.25	32.00
49.50	32.00
49.75	32.00
50.00	32.00
50.25	32.00
50.50	32.00
50.75	32.00
51.00	32.00
51.25	32.00
51.50	32.00
51.75	32.00
52.00	32.00
52.25	32.00
52.50	32.00
52.75	32.00
53.00	32.00
53.25	32.00
53.50	32.00
53.75	32.00
54.00	32.00
54.25	32.00
54.50	32.00
54.75	32.00
55.00	32.00



Tiempo (min)	Nivel (m)
1.00	29.17
1.25	29.74
1.50	29.95
1.75	29.95
2.00	29.95
2.25	29.95
2.50	29.95
2.75	29.95
3.00	29.95
3.25	29.95
3.50	29.95
3.75	29.95
4.00	29.95
4.25	29.95
4.50	29.95
4.75	29.95
5.00	29.95
5.25	29.95
5.50	29.95
5.75	29.95
6.00	29.95
6.25	29.95
6.50	29.95
6.75	29.95
7.00	29.95
7.25	29.95
7.50	29.95
7.75	29.95
8.00	29.95
8.25	29.95
8.50	29.95
8.75	29.95
9.00	29.95
9.25	29.95
9.50	29.95
9.75	29.95
10.00	29.95
10.25	29.95
10.50	29.95
10.75	29.95
11.00	29.95
11.25	29.95
11.50	29.95
11.75	29.95
12.00	29.95
12.25	29.95
12.50	29.95
12.75	29.95
13.00	29.95
13.25	29.95
13.50	29.95
13.75	29.95
14.00	29.95
14.25	29.95
14.50	29.95
14.75	29.95
15.00	29.95
15.25	29.95
15.50	29.95
15.75	29.95
16.00	29.95
16.25	29.95
16.50	29.95
16.75	29.95
17.00	29.95
17.25	29.95
17.50	29.95
17.75	29.95
18.00	29.95
18.25	29.95
18.50	29.95
18.75	29.95
19.00	29.95
19.25	29.95
19.50	29.95
19.75	29.95
20.00	29.95
20.25	29.95
20.50	29.95
20.75	29.95
21.00	29.95
21.25	29.95
21.50	29.95
21.75	29.95
22.00	29.95
22.25	29.95
22.50	29.95
22.75	29.95
23.00	29.95
23.25	29.95
23.50	29.95
23.75	29.95
24.00	29.95
24.25	29.95
24.50	29.95
24.75	29.95
25.00	29.95
25.25	29.95
25.50	29.95
25.75	29.95
26.00	29.95
26.25	29.95
26.50	29.95
26.75	29.95
27.00	29.95
27.25	29.95
27.50	29.95
27.75	29.95
28.00	29.95
28.25	29.95
28.50	29.95
28.75	29.95
29.00	29.95
29.25	29.95
29.50	29.95
29.75	29.95
30.00	29.95
30.25	29.95
30.50	29.95
30.75	29.95
31.00	29.95
31.25	29.95
31.50	29.95
31.75	29.95
32.00	29.95
32.25	29.95
32.50	29.95
32.75	29.95
33.00	29.95
33.25	29.95
33.50	29.95
33.75	29.95
34.00	29.95
34.25	29.95
34.50	29.95
34.75	29.95
35.00	29.95
35.25	29.95
35.50	29.95
35.75	29.95
36.00	29.95
36.25	29.95
36.50	29.95
36.75	29.95
37.00	29.95
37.25	29.95
37.50	29.95
37.75	29.95
38.00	29.95
38.25	29.95
38.50	29.95
38.75	29.95
39.00	29.95
39.25	29.95
39.50	29.95
39.75	29.95
40.00	29.95
40.25	29.95
40.50	29.95
40.75	29.95
41.00	29.95
41.25	29.95
41.50	29.95
41.75	29.95
42.00	29.95
42.25	29.95
42.50	29.95
42.75	29.95
43.00	29.95
43.25	29.95
43.50	29.95
43.75	29.95
44.00	29.95
44.25	29.95
44.50	29.95
44.75	29.95
45.00	29.95
45.25	29.95
45.50	29.95
45.75	29.95
46.00	29.95
46.25	29.95
46.50	29.95
46.75	29.95
47.00	29.95
47.25	29.95
47.50	29.95
47.75	29.95
48.00	29.95
48.25	29.95
48.50	29.95
48.75	29.95
49.00	29.95
49.25	29.95
49.50	29.95
49.75	29.95
50.00	29.95
50.25	29.95
50.50	29.95
50.75	29.95
51.00	29.95
51.25	29.95
51.50	29.95
51.75	29.95
52.00	29.95
52.25	29.95
52.50	29.95
52.75	29.95
53.00	29.95
53.25	29.95
53.50	29.95
53.75	29.95
54.00	29.95
54.25	29.95
54.50	29.95
54.75	29.95
55.00	29.95

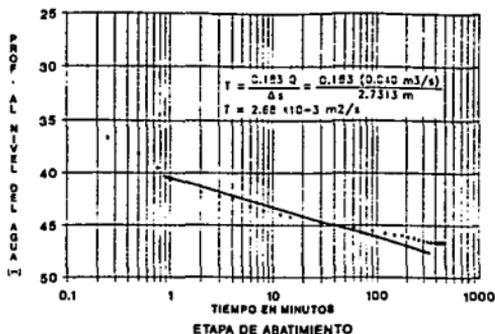
ZONA GEOHIDROLÓGICA DE CALERA
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 78



ING. GEOLOGO	U. N. A. M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 25

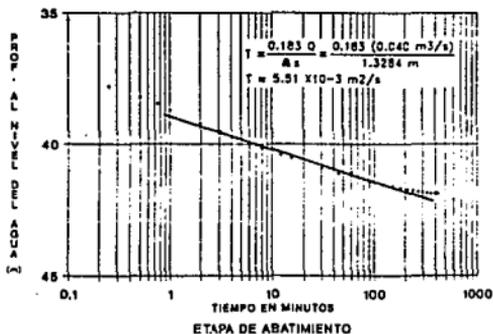
ZONA GEOHIDROLÓGICA DE CALERA
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 237

TIEMPO (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (cm)
0.50	39.95
0.75	39.70
1.50	39.10
2.25	39.50
3.00	39.50
4.50	40.00
6.00	41.00
7.50	41.00
9.00	42.75
10.50	42.50
12.00	43.20
13.50	43.00
15.00	44.00
16.50	44.70
18.00	44.70
19.50	45.00
21.00	45.20
22.50	45.75
24.00	45.70
25.50	45.90
27.00	46.00
28.50	46.10
30.00	46.20
31.50	46.20
33.00	46.20
34.50	46.20
36.00	46.20
37.50	46.20
39.00	46.20
40.50	46.20
42.00	46.20
43.50	46.20
45.00	46.20
46.50	46.20
48.00	46.20



TIEMPO (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (cm)
0.50	39.20
0.75	39.00
1.50	38.20
2.25	38.10
3.00	38.70
4.50	39.20
6.00	39.30
7.50	39.70
9.00	39.90
10.50	40.10
12.00	40.10
13.50	40.50
15.00	40.50
16.50	41.00
18.00	41.00
19.50	41.10
21.00	41.10
22.50	41.10
24.00	41.10
25.50	41.10
27.00	41.10
28.50	41.10
30.00	41.10
31.50	41.10
33.00	41.10
34.50	41.10
36.00	41.10
37.50	41.10
39.00	41.10
40.50	41.10
42.00	41.10
43.50	41.10
45.00	41.10
46.50	41.10
48.00	41.10

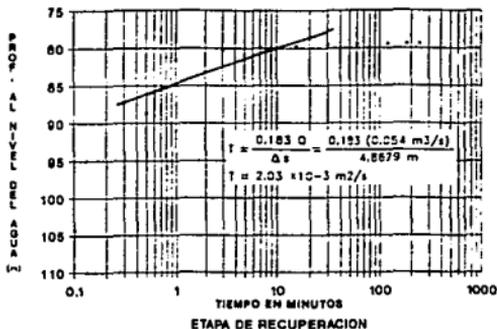
ZONA GEOHIDROLÓGICA DE CALERA
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 262



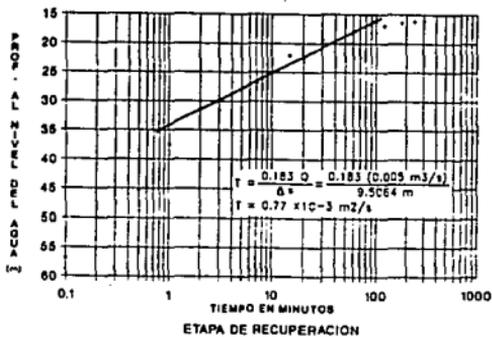
ING. GEOLOGO	U.N.A.M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 26

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE CHUPADEROS
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 1437

TIEMPO DESCARGA (min/hrs)	PROP. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	104.33
0.50	88.45
1.00	81.57
1.50	80.23
7.00	79.45
15.00	79.78
30.00	79.66
60.00	79.60
120.00	79.50
180.00	79.44
240.00	79.41



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE CHUPADEROS
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 1449

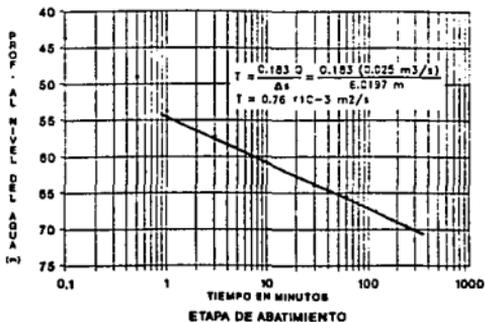


TIEMPO DESCARGA (min/hrs)	PROP. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	54.90
0.50	43.27
1.00	37.55
1.00	31.60
7.00	28.78
15.00	22.09
30.00	19.47
60.00	17.43
120.00	16.91
180.00	16.44
240.00	16.19
300.00	16.04

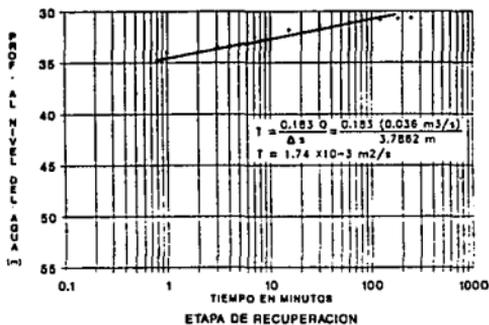
ING GEO LOGO	U.N.A.M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 27

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE CHUPADEROS
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 1737

TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.50	43.62
0.75	45.12
1.20	51.77
3.00	57.23
7.00	60.01
15.00	62.01
32.00	64.00
60.00	65.55
120.00	67.54
180.00	68.76
240.00	69.51
300.00	70.15



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE CHUPADEROS
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 1509

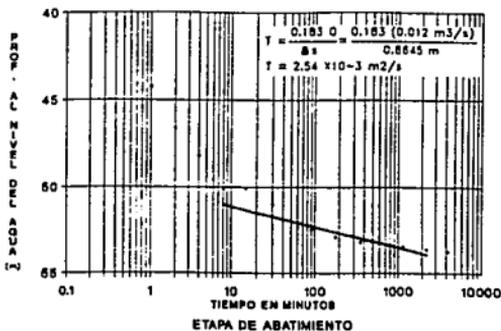


TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.50	51.60
0.75	57.67
1.00	54.62
3.00	53.43
7.00	52.50
15.00	51.85
30.00	51.11
60.00	51.48
120.00	50.83
180.00	50.71
240.00	50.66

ING. GEOLOGO	U. N. A. M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR N. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 28

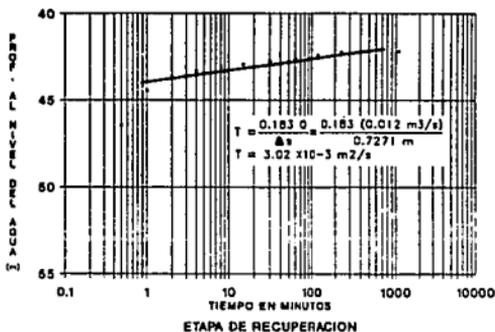
ZONA GEOHIDROLÓGICA GUADALUPE-BARUELOS
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 57

TIEMPO RECORRIDO (MINUTOS)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	42.19
1.00	44.24
2.00	46.00
4.00	48.21
8.00	50.10
15.00	50.08
30.00	51.02
45.00	52.30
60.00	52.45
80.00	52.90
100.00	53.20
120.00	53.54
140.00	53.49
160.00	53.64
180.00	53.75



ETAPA DE ABATIMIENTO

ZONA GEOHIDROLÓGICA GUADALUPE-BARUELOS
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 57

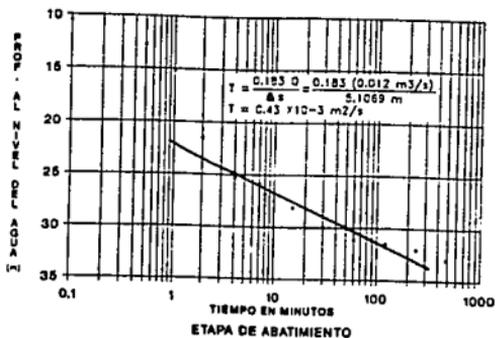


ETAPA DE RECUPERACION

TIEMPO RECORRIDO (MINUTOS)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	53.72
0.50	56.54
1.00	54.57
2.00	55.68
4.00	53.35
8.00	53.14
15.00	52.98
30.00	52.77
60.00	52.61
120.00	52.44
240.00	52.24
480.00	52.19

ING. GEOLOGO	U.N.A.M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 29

ZONA GEOHIDROLÓGICA GUADALUPE-BARUELOS
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 43

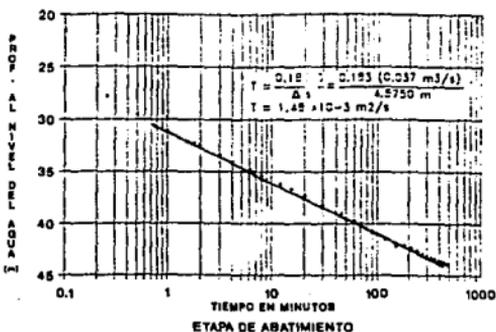


TIEMPO ACUM. (min)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	19.52
0.50	22.72
1.00	25.16
3.00	27.52
7.00	29.38
15.00	30.88
30.00	32.11
60.00	33.08
120.00	33.76
180.00	34.30
240.00	34.63
480.00	35.08

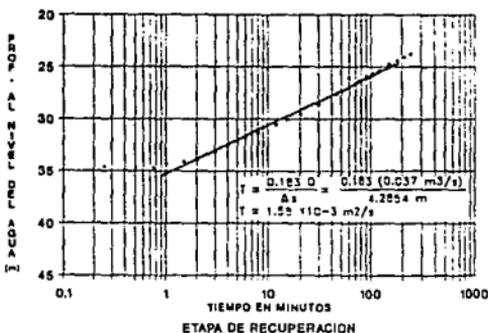
U. N. A. M.	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ING. GEOLOGO	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 90

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE JEREZ
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 77

TIEMPO (minutos)	PROF. (m)
0.50	31.50
0.75	27.53
1.50	29.50
2.25	28.52
3.00	28.50
3.75	28.47
4.50	28.47
5.25	28.45
6.00	28.45
6.75	28.45
7.50	28.45
8.25	28.45
9.00	28.45
9.75	28.45
10.50	28.45
11.25	28.45
12.00	28.45
12.75	28.45
13.50	28.45
14.25	28.45
15.00	28.45
15.75	28.45
16.50	28.45
17.25	28.45
18.00	28.45
18.75	28.45
19.50	28.45
20.25	28.45
21.00	28.45
21.75	28.45
22.50	28.45
23.25	28.45
24.00	28.45
24.75	28.45
25.50	28.45
26.25	28.45
27.00	28.45
27.75	28.45
28.50	28.45
29.25	28.45
30.00	28.45
30.75	28.45
31.50	28.45
32.25	28.45
33.00	28.45
33.75	28.45
34.50	28.45
35.25	28.45
36.00	28.45
36.75	28.45
37.50	28.45
38.25	28.45
39.00	28.45
39.75	28.45
40.50	28.45
41.25	28.45
42.00	28.45
42.75	28.45
43.50	28.45
44.25	28.45
45.00	28.45



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE JEREZ
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 77

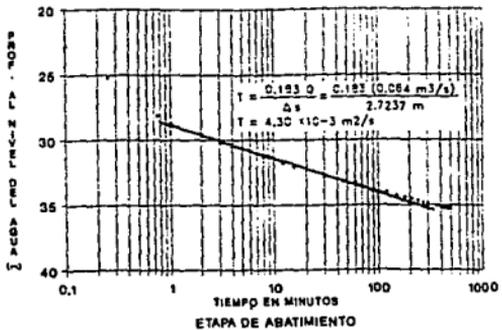


TIEMPO (minutos)	PROF. (m)
0.50	32.00
0.75	30.00
1.50	29.00
2.25	28.75
3.00	28.50
3.75	28.42
4.50	28.34
5.25	28.26
6.00	28.18
6.75	28.10
7.50	28.02
8.25	27.94
9.00	27.86
9.75	27.78
10.50	27.70
11.25	27.62
12.00	27.54
12.75	27.46
13.50	27.38
14.25	27.30
15.00	27.22
15.75	27.14
16.50	27.06
17.25	26.98
18.00	26.90
18.75	26.82
19.50	26.74
20.25	26.66
21.00	26.58
21.75	26.50
22.50	26.42
23.25	26.34
24.00	26.26
24.75	26.18
25.50	26.10
26.25	26.02
27.00	25.94
27.75	25.86
28.50	25.78
29.25	25.70
30.00	25.62
30.75	25.54
31.50	25.46
32.25	25.38
33.00	25.30
33.75	25.22
34.50	25.14
35.25	25.06
36.00	24.98
36.75	24.90
37.50	24.82
38.25	24.74
39.00	24.66
39.75	24.58
40.50	24.50
41.25	24.42
42.00	24.34
42.75	24.26
43.50	24.18
44.25	24.10
45.00	24.02

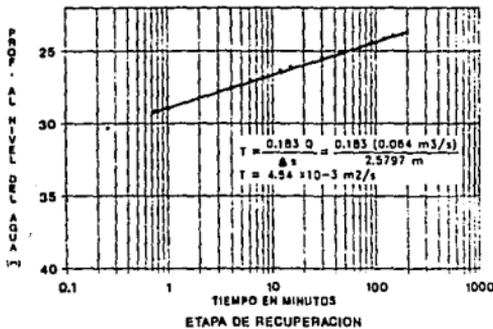
ING. GEOLOGO	U.N.A.M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 31

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE JEREZ
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 236

TIEMPO (minutos)	PROF. DEL AGUA (m)
0.50	22.83
0.75	23.21
0.90	24.06
0.75	24.14
1.00	24.72
2.00	25.34
1.00	26.20
1.00	26.44
0.50	26.90
0.50	27.30
1.00	27.33
1.00	27.57
30.00	32.62
45.00	33.28
60.00	33.31
90.00	33.88
120.00	34.43
150.00	34.31
180.00	34.44
210.00	34.37
240.00	34.73
270.00	34.81
300.00	34.90
330.00	35.17
360.00	35.14
420.00	35.10
450.00	35.24
480.00	35.20



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE JEREZ
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 236

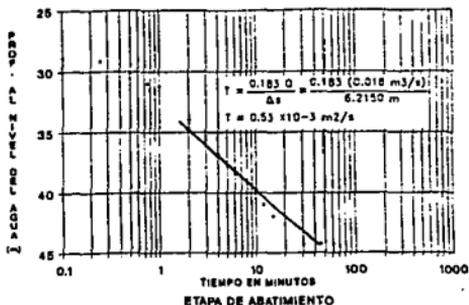


TIEMPO (minutos)	PROF. DEL AGUA (m)
0.50	25.20
0.75	26.34
0.50	26.60
0.75	27.11
1.00	26.42
2.00	26.32
1.00	27.70
1.00	27.49
0.50	27.00
0.50	28.77
1.00	28.29
15.00	28.17
30.00	27.66
45.00	27.26
60.00	26.97
90.00	26.48
120.00	26.14
150.00	25.92
180.00	25.83

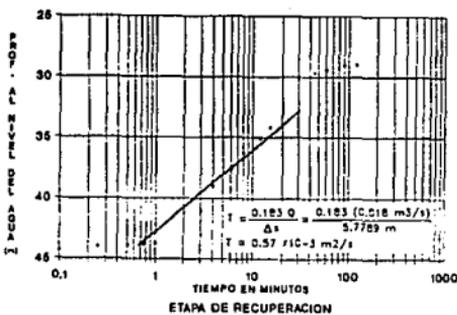
ING. GEOLOGO		U. N. A. M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA		
	CIENCIAS DE LA TIERRA		
	PRUEBA DE BOMBEO		
VICTOR M. CASTAÑON ARCOS			
TESIS PROFESIONAL FIG. No. 32			

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE LA BLANCA
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 35

TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROP. AL NIVEL DEL AGUA (%)
0.00	28.90
0.25	29.17
0.50	29.50
0.75	31.00
1.00	31.25
2.00	34.00
3.00	35.60
4.00	36.00
6.00	38.40
8.00	39.70
12.00	41.00
15.00	41.97
30.00	44.32
45.00	44.38
60.00	44.29



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE LA BLANCA
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 35

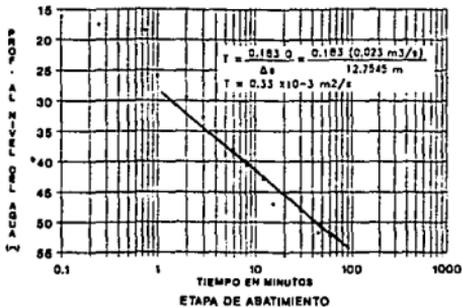


TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROP. AL NIVEL DEL AGUA (%)
0.00	44.29
0.25	44.00
0.50	43.90
0.75	43.60
1.00	43.70
2.00	41.20
3.00	41.00
4.00	39.80
6.00	37.50
8.00	36.30
12.00	35.10
15.00	34.20
30.00	30.17
45.00	29.60
60.00	29.45
90.00	29.37
120.00	29.20

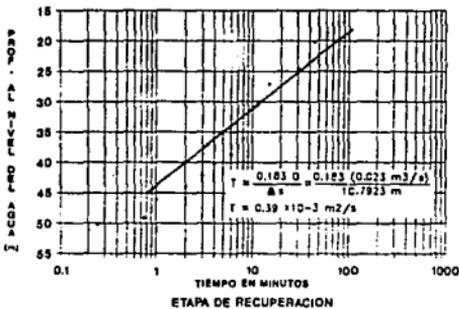
ING. GEOLOGO	 U. N. A. M. 
	FACULTAD DE INGENIERÍA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 88

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE LA BLANCA
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 291

TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROP. AL NIVEL DEL AGUA (%)
0.00	16.20
0.25	17.36
0.50	18.32
0.75	19.30
1.00	21.90
2.00	26.14
3.00	32.79
4.00	35.19
6.00	36.23
8.00	40.50
12.00	43.90
15.00	47.00
30.00	48.10
45.00	51.73
60.00	52.22



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE LA BLANCA
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 291

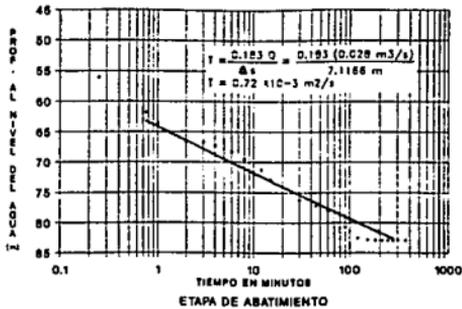


TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROP. AL NIVEL DEL AGUA (%)
0.00	32.22
0.25	30.72
0.50	30.00
0.75	29.11
1.00	28.19
2.00	24.00
3.00	22.10
4.00	20.23
6.00	18.79
8.00	18.12
12.00	16.10
15.00	17.15
30.00	24.00
45.00	25.18
60.00	18.73
90.00	16.20

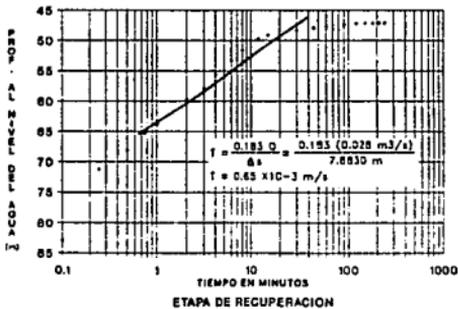
ING. GEOLOGO	U. N. A. M.
	FACULTAD DE INGENIERÍA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑON ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 84

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE LORETO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 408

TIEMPO DESCARGA (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	48.86
0.25	56.99
0.50	59.95
0.75	61.00
1.00	63.67
2.00	66.93
3.00	66.75
4.00	67.36
6.00	68.32
8.00	69.56
12.00	71.06
15.00	73.00
30.00	76.32
45.00	77.17
60.00	78.96
90.00	80.78
120.00	82.57
150.00	82.99
180.00	82.92
210.00	82.96
270.00	82.97
300.00	82.97
360.00	82.97



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE LORETO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 408

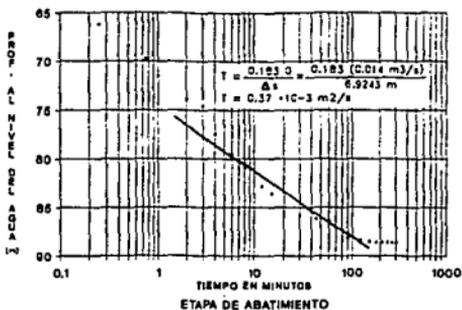


TIEMPO DESCARGA (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	82.97
0.25	71.32
0.50	66.75
0.75	65.29
1.00	63.60
2.00	59.50
3.00	57.99
4.00	55.67
6.00	53.32
8.00	51.63
12.00	49.79
15.00	48.15
30.00	48.00
45.00	47.90
60.00	47.60
90.00	47.40
120.00	47.21
150.00	47.18
180.00	47.16
210.00	47.11
240.00	47.09

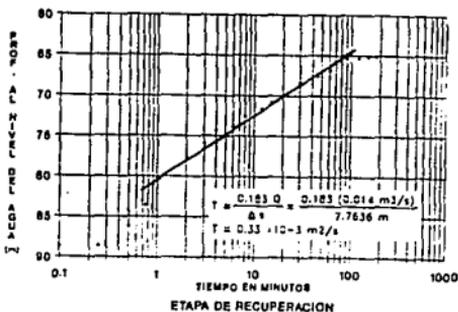
ING. GEOLOGO	 U. N. A. M. FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	PRUEBA DE BOMBEO	
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS	
TESIS PROFESIONAL		FIG. No. 98

TIEMPO (min)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	83.07
0.75	84.70
0.50	86.43
0.75	89.75
1.00	91.19
2.00	93.90
3.00	94.90
4.00	97.51
6.00	99.13
8.00	99.98
12.00	92.90
15.00	93.60
30.00	95.84
45.00	96.70
60.00	98.42
75.00	98.15
120.00	98.43
150.00	98.55
180.00	98.59
210.00	99.03
240.00	99.05
270.00	99.07
300.00	99.44

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE LORETO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 665



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE LORETO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 666

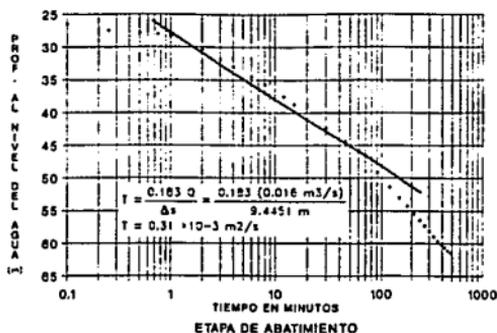


TIEMPO (min)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	88.48
0.75	88.45
0.50	88.45
0.75	88.47
1.00	88.46
2.00	87.69
3.00	88.00
4.00	88.34
6.00	87.81
8.00	87.13
12.00	87.63
15.00	89.85
30.00	88.34
45.00	87.58
60.00	88.79
90.00	85.38
120.00	85.31
150.00	85.14

ING. GEOLOGO	U. N. A. M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 88

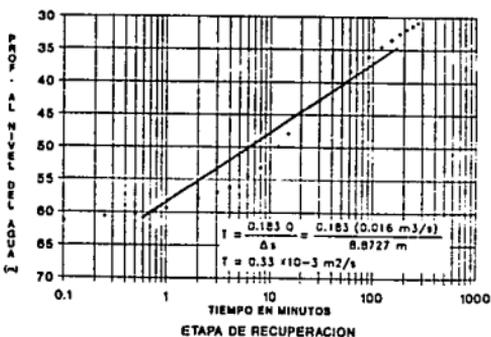
TIEMPO (HORAS:MINUTOS)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	26.53
0.25	27.51
0.50	27.89
0.75	28.09
1.00	28.32
2.00	30.13
3.00	31.88
4.00	33.05
6.00	34.57
8.00	35.71
12.00	37.60
15.00	38.72
30.00	42.56
45.00	44.44
60.00	45.98
90.00	49.18
120.00	51.36
150.00	53.06
180.00	54.34
210.00	55.58
240.00	56.50
270.00	57.51
300.00	58.72
330.00	59.99
360.00	59.83
390.00	60.15
420.00	60.45
450.00	61.07
480.00	61.43

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE OJOCALIENTE
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 123



TIEMPO (HORAS:MINUTOS)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	61.43
0.25	60.87
0.50	60.50
0.75	59.83
1.00	59.38
2.00	57.92
3.00	56.93
4.00	56.16
6.00	54.60
8.00	53.17
12.00	49.91
15.00	47.94
30.00	43.76
45.00	40.10
60.00	38.34
90.00	36.16
120.00	34.19
150.00	33.19
180.00	32.58
210.00	31.90
240.00	31.38
270.00	30.89

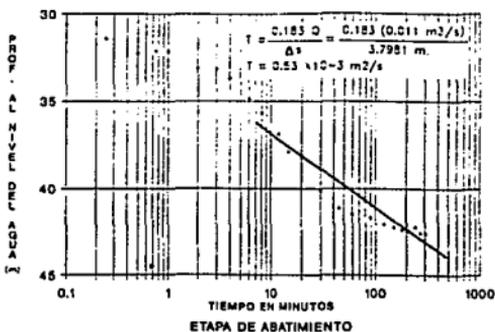
ZONA GEOHIDROLÓGICA DE OJOCALIENTE
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 123



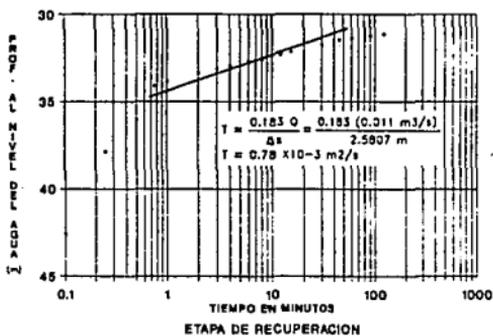
	U. N. A. M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
ING. GEOLOGO	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	PRUEBA DE BOMBEO	
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS	
	TESIS PROFESIONAL	FIG. No. 57

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE OJOCALIENTE
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 404

TIEMPO ACUMULADO (MINUTOS)	PROP. AL NIVEL DEL ASMA (%)
0.00	10.43
0.25	21.44
0.50	32.28
0.75	32.72
1.00	32.17
2.00	33.10
3.00	33.17
4.00	33.71
6.00	34.90
8.00	35.70
12.00	36.90
15.00	37.91
30.00	40.12
45.00	41.13
60.00	41.69
90.00	41.71
120.00	42.06
150.00	42.25
180.00	42.28
210.00	42.43
240.00	42.23
270.00	42.57
300.00	42.59



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE OJOCALIENTE
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 404

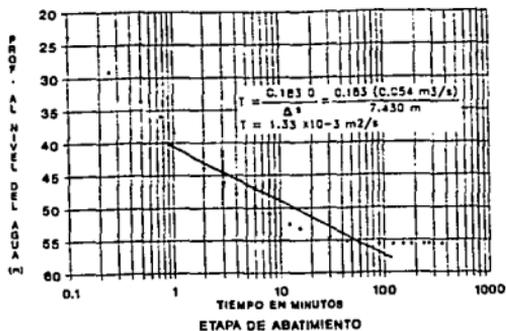


TIEMPO ACUMULADO (MINUTOS)	PROP. AL NIVEL DEL ASMA (%)
0.00	42.59
0.25	37.84
0.50	36.06
0.75	34.12
1.00	33.85
2.00	33.46
3.00	33.13
4.00	32.99
6.00	32.72
8.00	32.57
12.00	32.33
15.00	32.16
30.00	31.76
45.00	31.48
60.00	31.38
90.00	31.26
120.00	31.14

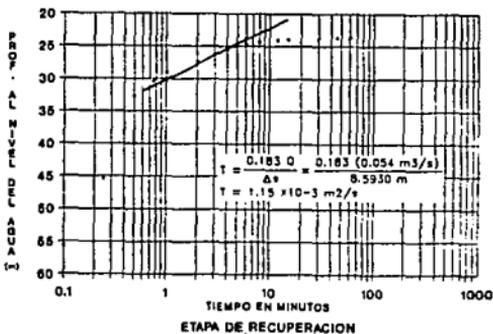
 U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERÍA	

ZONA GEOLÓGICA DE TRANCOSO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 32

TIEMPO (CARGA) DEL TOUR (MINUTOS)	PROF. AL NIVEL DEL TOUR (M)
3.00	23.73
5.25	29.15
6.50	32.66
6.75	31.98
1.00	36.45
2.00	43.89
3.00	48.21
4.00	47.85
6.00	49.76
8.00	50.94
12.00	52.45
15.00	53.21
22.00	54.63
45.00	55.21
60.00	55.60
90.00	55.62
129.00	55.65
150.00	55.61
180.00	55.62
240.00	55.65
270.00	55.67
300.00	55.67
360.00	55.67



ZONA GEOLÓGICA DE TRANCOSO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 32

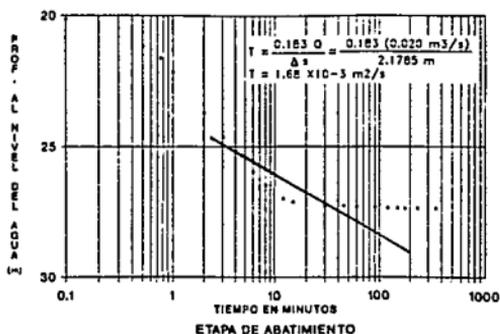


TIEMPO (CARGA) DEL TOUR (MINUTOS)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (M)
6.00	55.67
6.75	49.36
6.50	32.70
6.75	30.44
1.00	29.15
2.00	27.39
3.00	26.31
6.00	25.48
6.00	24.70
8.00	24.36
12.00	24.04
15.00	23.97
30.00	23.79
45.00	23.73
60.00	23.73

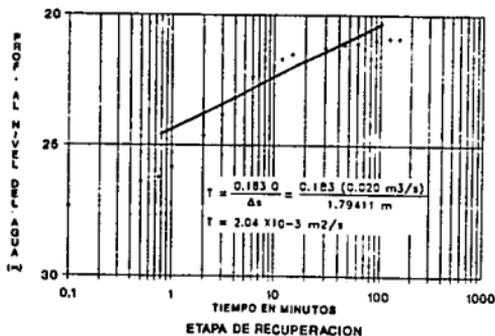
ING. GEOLOGO	U. N. A. M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	PRUEBA DE BOMBEO	
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS	
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 30	

TIEMPO DESCARGA (minutos)	PROP. AL NIVEL DEL AGUA (%)
0.00	22.15
0.10	21.16
0.75	21.62
1.00	22.16
2.00	23.71
3.00	24.63
4.00	25.17
6.00	25.97
8.00	26.69
12.00	27.50
15.00	27.12
30.00	27.28
45.00	27.27
60.00	27.29
90.00	27.32
120.00	27.31
150.00	27.31
180.00	27.36
240.00	27.36
360.00	27.36

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE TRANCOSO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 78



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE TRANCOSO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 78

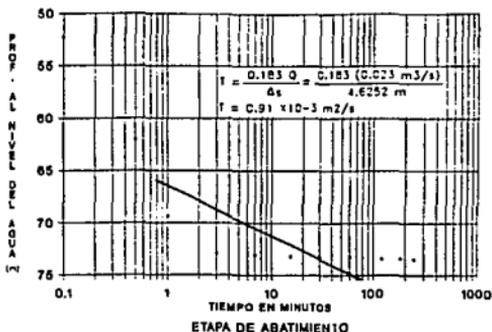


TIEMPO DESCARGA (minutos)	PROP. AL NIVEL DEL AGUA (%)
0.00	27.36
0.75	28.61
0.50	28.22
0.75	25.84
1.00	24.63
2.00	23.83
3.00	23.16
4.00	22.60
6.00	22.02
8.00	21.67
12.00	21.49
15.00	21.27
30.00	21.15
45.00	21.07
60.00	20.98
90.00	20.87
120.00	20.87

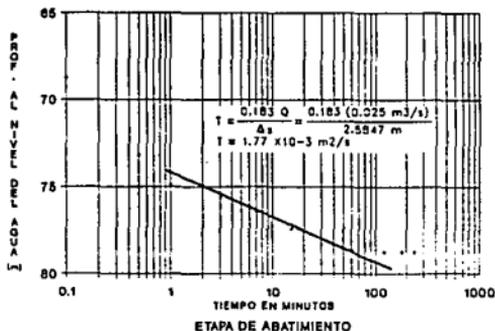
ING. GEOLOGO	U. N. A. M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 40

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE VILLA HIDALGO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 65

TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	51.29
0.30	62.06
1.00	69.39
3.00	72.96
7.00	73.08
15.00	73.18
30.00	73.23
60.00	73.27
120.00	73.43
180.00	73.47
240.00	73.49



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE VILLA HIDALGO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 72

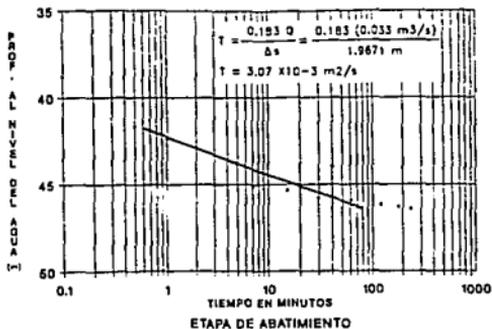


TIEMPO ACUMULADO (minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	68.75
0.50	73.21
1.00	74.89
3.00	75.84
7.00	76.43
15.00	77.04
30.00	78.15
60.00	78.68
120.00	78.77
180.00	78.77
240.00	78.77

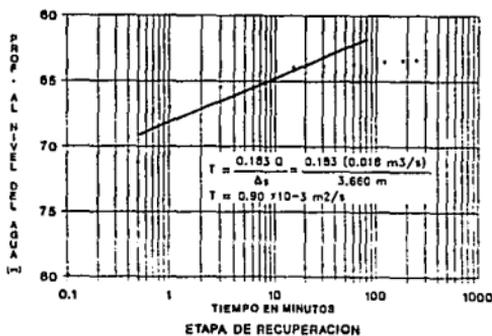
	U. N. A. M.		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
ING. G E O L O G O	CIENCIAS DE LA TIERRA		
	PRUEBA DE BOMBEO		
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS		
TESIS PROFESIONAL			FIG. No. 41

ZONA GEOHIDROLÓGICA DE VILLA HIDALGO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 405

TIEMPO ACUMULADO (en minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	58.85
8.50	41.87
1.00	42.35
3.00	44.96
7.00	45.09
15.00	45.38
30.00	45.61
60.00	45.95
120.00	46.16
180.00	46.30
240.00	46.42



ZONA GEOHIDROLÓGICA DE VILLA HIDALGO
PRUEBA DE BOMBEO POZO No. 261



TIEMPO ACUMULADO (en minutos)	PROF. AL NIVEL DEL AGUA (m)
0.00	79.90
8.50	71.18
1.00	67.04
3.00	65.48
7.00	64.40
15.00	64.00
30.00	63.85
60.00	63.73
120.00	63.53
180.00	63.41
240.00	63.37

ING. GEOLOGO	U. N. A. M.
	FACULTAD DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	PRUEBA DE BOMBEO
	VICTOR M. CASTAÑÓN ARCOS
	TESIS PROFESIONAL FIG. No. 42

**RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
ZONA GEOHIDROLOGICA DE AGUANAVAL, ZAC.**

No. APROV.	pH	C.E. pabos/cm	C A T I O N E S						A N I O N E S						S.T.D. ppm		
			Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ⁻		Cl ⁻			SO ₄ ⁻	
			ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l		ppm	meq/l
508	7.5	250	22	1.10	7	0.58	27	1.17	147	2.41	0	0.00	9	0.25	11	0.23	223
542	7.4	300	25	1.25	7	0.58	32	1.39	156	2.56	0	0.00	9	0.25	24	0.50	255
690	7.5	410	27	1.35	23	1.92	24	1.04	252	4.13	0	0.00	11	0.31	5	0.10	345
711	7.0	520	29	1.45	20	1.62	58	2.52	260	4.26	0	0.00	21	0.59	38	0.79	428
908	7.7	380	31	1.55	17	1.42	27	1.17	202	3.31	0	0.00	14	0.39	24	0.50	318
915	7.3	180	18	0.90	3	0.25	16	0.70	105	1.72	0	0.00	9	0.25	0	0.00	153
924	7.5	370	33	1.65	17	1.42	24	1.04	176	2.88	0	0.00	21	0.59	28	0.58	300
996	7.3	540	43	2.15	2	0.17	62	2.69	223	3.65	0	0.00	26	0.73	37	0.77	405
1017	6.9	1100	87	4.35	18	1.50	116	5.04	448	7.34	0	0.00	43	1.21	134	2.79	855
1026	7.4	840	24	1.10	0	0.00	192	8.35	410	6.72	0	0.00	34	0.96	103	2.14	770
1032	7.8	430	24	1.20	7	0.58	50	2.17	195	3.21	0	0.00	26	0.73	26	0.54	338
1037	7.4	470	24	1.20	24	2.00	46	2.00	201	3.29	0	0.00	19	0.53	67	1.39	383
1093	7.2	130	13	0.65	0	0.00	0	0.00	40	0.65	0	0.00	17	0.48	8	0.17	93
1110	7.4	560	45	2.25	27	2.25	32	1.39	143	2.34	0	0.00	17	0.48	144	3.00	410
1162	7.1	460	12	0.60	8	0.67	67	2.91	244	4.00	0	0.00	7	0.20	10	0.21	350
1169	7.2	590	40	2.00	4	0.33	68	2.95	255	4.20	0	0.00	26	0.73	44	0.92	450
1170	7.7	490	32	1.60	2	0.17	70	3.04	202	3.31	0	0.00	26	0.73	47	0.98	389
1185	7.4	430	30	1.50	24	2.00	28	1.22	223	3.66	0	0.00	14	0.39	31	0.64	351
1190	7.5	460	21	1.05	14	1.17	73	3.17	233	3.82	0	0.00	21	0.59	48	1.00	413
1259	7.4	260	27	1.35	4	0.33	28	1.22	157	2.57	0	0.00	10	0.25	5	0.10	231

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

No. APRO.	TEMP. °C	pH LAB.	C.E. $\mu\text{mhos}/\text{c}$	ALC. ppm	DUREZA ppm	S.T.O. ppm	CATIONES						ANIONES							
							Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ⁼		Cl ⁻		SO ₄ ⁼	
							ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l
7	28	7.50	390	225	150	442	36	1.79	14	1.15	83	3.60	238	3.90	18	0.59	35	0.98	18	0.37
30	23	7.00	440	262	205	486	40	1.99	25	2.08	59	2.56	293	4.80	13	0.43	33	0.93	23	0.49
83	23	7.00	400	255	150	400	52	2.59	50	4.41	57	2.49	219	3.58	27	0.89	26	0.73	14	0.29
117	24	7.00	460	300	230	514	20	0.99	43	3.58	66	2.88	293	4.80	36	1.19	35	0.98	21	0.43
132	22	6.00	480	285	210	527	20	0.99	39	3.25	69	3.00	329	5.39	9	0.29	33	0.93	28	0.58
209	24	7.00	350	210	120	393	28	1.39	12	0.98	65	2.82	237	3.88	9	0.29	26	0.73	15	0.31
213	25	7.50	340	240	180	437	36	1.79	22	1.83	53	2.30	274	4.19	9	0.29	20	0.51	13	0.27
240	23	7.00	340	210	190	387	44	2.19	19	1.56	38	1.63	219	3.58	18	0.59	32	0.90	17	0.35
248	24	7.00	320	107	120	354	24	1.19	14	1.15	60	2.60	183	2.99	22	0.73	28	0.79	23	0.47
269	24	7.50	410	240	190	476	44	2.19	19	1.56	60	2.63	283	4.63	4	0.13	35	0.98	31	0.64
308	23	7.00	380	255	210	489	40	1.99	26	2.16	56	2.45	202	4.94	4	0.13	32	0.90	29	0.60
320	23	7.00	460	307	250	550	36	1.79	39	3.25	58	2.52	347	5.68	13	0.43	32	0.90	25	0.52
354	24	7.00	500	240	250	415	24	1.19	46	3.83	28	1.24	228	3.73	31	1.03	35	0.98	23	0.47
369	23	7.00	380	232	130	432	24	1.19	17	1.42	73	3.17	256	4.19	9	0.29	30	0.84	23	0.47
402	22	7.00	440	210	200	398	32	1.59	29	2.42	39	1.69	219	3.58	18	0.59	33	0.93	28	0.58
413	24	7.00	460	217	220	381	20	0.99	43	3.58	21	0.92	236	3.86	13	0.43	23	0.64	23	0.47
471	23	7.00	420	240	210	412	52	2.59	19	1.58	37	1.60	238	3.90	27	0.89	26	0.73	13	0.27
491	24	7.00	380	247	110	496	36	1.79	50	4.42	98	4.26	293	4.80	4	0.13	39	1.10	21	0.43
500	21	6.00	460	255	180	508	48	2.39	14	1.16	75	3.26	293	4.80	9	0.29	42	1.18	27	0.56
562	24	7.00	800	232	260	688	76	3.79	17	1.41	111	4.82	219	3.58	31	1.03	129	3.63	85	1.77
581	23	7.00	700	225	380	594	96	4.79	34	2.83	30	1.30	219	3.58	27	0.89	71	2.00	117	2.43
587	23	7.00	1700	247	1200	1155	288	14.37	116	9.66	0	0.00	210	3.44	45	1.49	472	13.29	24	0.50
590	24	7.00	800	242	285	568	28	1.39	52	4.33	70	3.04	228	3.73	36	1.19	79	2.22	75	1.56
617	24	7.00	470	240	245	531	28	1.39	42	3.50	31	1.35	256	4.19	18	0.59	35	0.98	21	0.43
619	25	7.00	470	262	270	464	36	1.79	43	3.58	29	1.26	283	4.63	18	0.59	33	0.93	22	0.45

**RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
ZONA GEOHIDROLOGICA DE CHUPADEROS, ZAC.**

No. APROV.	pH	C.E. $\mu\text{mhos/cm}$	C A T I O N E S						A N I O N E S						S.T.D. ppm		
			Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ²⁻		Cl ⁻			SO ₄ ²⁻	
			ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l		ppm	meq/l
1156	7.0	540	24	1.22	34	2.78	35	1.53	335	5.50	0	0.00	16	0.46	0	0.00	456
1399	7.2	600	41	2.06	36	2.96	23	1.00	341	3.96	0	0.00	71	2.00	22	0.45	448
1418	8.1	590	26	1.32	38	3.16	33	1.43	174	4.86	0	0.00	65	1.84	19	0.40	401
1429	7.6	510	19	0.98	30	2.46	38	1.67	267	4.38	0	0.00	32	0.90	5	0.10	402
1461	7.6	520	22	1.12	26	2.12	46	2.02	289	4.74	0	0.00	17	0.50	12	0.25	423
1481	7.6	550	26	1.30	32	2.68	50	2.16	301	4.94	0	0.00	23	0.64	34	0.71	484
1482	7.4	540	26	1.30	33	2.70	32	1.39	293	4.80	0	0.00	25	0.70	10	0.20	430
1487	7.4	2400	38	1.90	169	13.90	151	6.56	412	6.76	0	0.00	126	3.55	638	13.38	1585
1490	7.5	820	26	1.32	65	5.40	37	1.59	281	4.60	0	0.00	50	1.40	125	2.60	595
1504	7.2	910	45	2.26	53	4.40	57	2.50	223	3.66	0	0.00	61	1.73	188	3.75	621
1552	7.6	1000	38	1.92	71	5.82	100	4.34	274	4.50	0	0.00	106	3.00	216	4.50	824
1557	7.7	760	26	1.32	49	4.00	52	2.26	268	4.40	0	0.00	24	2.10	47	1.40	551
1561	7.8	500	21	1.04	30	2.44	50	2.16	284	4.66	0	0.00	16	0.45	34	0.70	443
1583	7.6	1120	26	1.32	65	5.32	119	5.18	317	5.20	0	0.00	87	2.45	209	4.35	830
1657	7.0	510	34	1.60	30	2.48	28	1.24	281	4.60	0	0.00	32	0.90	5	0.10	417
1664	7.7	680	18	0.92	60	4.96	31	1.34	285	4.68	0	0.00	58	1.65	48	1.00	505
1665	7.7	1500	83	4.14	75	6.14	123	5.34	299	4.90	0	0.00	207	5.85	252	5.25	1053
1724	7.4	490	22	1.10	15	1.28	73	3.16	265	4.34	0	0.00	11	0.30	14	0.30	488
1761	7.2	830	56	2.78	38	3.10	56	2.46	268	4.40	0	0.00	97	2.75	72	1.50	602
1775	7.2	550	24	1.22	16	1.34	91	3.89	293	4.80	0	0.00	21	0.60	38	0.80	485

TABLA No.13

**RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
ZONA GEOHIDROLOGICA DE GUADALUPE-BANUELOS, ZAC.**

No. APROV.	pH	C.E. µmhos/cm	C A T I O N E S							A N I O N E S							S.T.D. ppm
			Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ²⁻		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		
			ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	
2	5.6	610	38	1.90	34	2.86	16	0.70	305	5.00	0	0.00	46	1.30	16	0.34	334
4	7.3	1030	104	5.20	36	3.00	53	2.30	561	9.20	0	0.00	57	1.60	16	0.34	610
10	7.5	690	58	2.90	22	1.80	2	0.10	323	5.30	0	0.00	21	0.60	40	0.83	438
12	7.2	630	70	3.50	25	2.10	2	0.10	305	5.00	0	0.00	28	0.80	42	0.87	420
14	7.5	670	68	3.40	19	1.60	2	0.10	366	6.00	0	0.00	39	1.10	22	0.47	370
24	7.6	930	80	4.00	49	4.10	30	1.30	355	5.50	0	0.00	103	2.90	45	0.95	672
27	7.9	850	60	3.00	24	2.00	71	3.10	427	7.00	0	0.00	39	1.10	47	0.99	566
36	7.7	530	60	3.00	24	2.00	32	1.40	293	4.80	0	0.00	50	1.40	27	0.57	316
40	7.7	480	40	2.00	22	1.80	30	1.30	232	3.80	0	0.00	43	1.20	22	0.46	350
49	7.7	530	24	1.20	24	2.20	44	1.90	244	4.00	0	0.00	46	1.30	20	0.42	344
51	7.6	1900	104	5.20	37	3.10	269	11.70	854	14.00	0	0.00	177	5.00	23	0.48	1710
52	7.4	1850	144	7.20	29	2.40	218	9.50	628	10.30	0	0.00	121	3.40	251	5.24	1310
57	7.7	610	56	2.80	17	1.40	34	1.50	293	4.80	0	0.00	46	1.30	32	0.47	358
62	7.5	790	82	4.10	26	2.20	23	1.00	335	5.50	0	0.00	43	1.20	22	0.47	530
84	7.7	610	60	3.00	25	2.10	16	0.70	281	4.60	0	0.00	43	1.20	20	0.42	414
86	7.8	610	40	2.00	43	3.40	18	0.80	329	5.40	0	0.00	43	1.20	13	0.28	514
92	8.4	730	54	2.70	31	2.60	41	1.80	287	4.70	0	0.00	39	1.10	27	0.57	454
98	7.8	730	56	2.80	28	2.30	41	1.80	317	5.20	0	0.00	67	1.90	28	0.58	444
99	7.5	630	50	2.50	29	2.40	16	0.70	323	5.30	0	0.00	46	1.30	28	0.58	400
151	7.6	850	78	3.90	31	2.60	41	1.80	372	6.10	0	0.00	71	2.00	41	0.85	524

**RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA.
ZONA GEOHIDROLOGICA DE JEREZ, ZAC.**

No. APDO.	TEMP. °C	pH LAB.	C.E. pabos/cm	S.T.D. ppm	CATIONES						ANIONES							
					Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ²⁻		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻	
					ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l
2	24	7.2	230	200	14	0.70	7	0.58	44	1.91	54	0.88	5	0.17	30	0.84	100	2.08
17	24	7.1	300	148	8	0.40	22	1.83	29	1.26	48	0.78	5	0.17	28	0.56	50	1.04
20	24	7.3	751	371	36	1.80	8	0.67	70	3.04	138	2.26	9	0.30	38	0.84	150	3.12
30	24	7.2	487	234	18	0.90	9	0.75	62	2.69	72	1.18	8	0.26	35	0.98	100	2.08
37	24	6.2	800	379	24	1.20	7	0.58	60	2.61	156	2.56	12	0.40	30	0.84	150	3.12
47	24	6.0	285	222	20	1.00	8	0.67	10	0.43	72	1.18	5	0.17	10	0.28	25	0.52
56	24	5.5	240	130	20	1.00	15	1.25	10	0.43	60	0.98	4	0.13	10	0.28	25	0.52
91	24	8.0	751	412	58	2.90	4	0.33	70	3.04	100	1.64	12	0.40	20	0.56	150	3.12
134	24	7.5	600	398	40	2.00	6	0.50	64	2.78	200	3.27	18	0.60	15	0.42	100	2.08
157	24	6.5	675	475	63	3.15	16	1.33	40	1.74	180	2.95	9	0.30	18	0.28	200	4.16
160	24	7.5	700	544	82	4.10	22	1.83	50	2.17	240	3.93	9	0.30	15	0.42	200	4.16
161	24	6.5	560	264	49	2.45	17	1.42	56	2.43	174	2.85	6	0.20	28	0.56	229	4.77
170	24	7.7	487	470	44	2.20	19	1.58	3	0.13	100	1.64	15	0.50	50	1.40	150	3.12
171	24	7.0	534	518	62	3.12	12	1.00	34	1.48	190	3.11	12	0.40	40	1.13	150	3.12
175	24	7.4	2037	750	132	6.60	17	1.43	54	2.35	240	3.93	12	0.40	50	1.41	150	3.12
179	24	6.1	668	440	49	2.45	24	2.00	52	2.26	168	2.75	6	0.20	40	1.13	100	2.08
180	24	8.1	584	350	24	1.20	12	1.00	12	0.52	150	2.46	18	0.60	40	1.13	100	2.08
188	24	8.5	510	312	40	2.00	8	0.67	64	2.78	210	3.44	12	0.40	15	0.42	29	0.60
193	24	7.4	434	273	24	1.20	7	0.58	12	0.52	132	2.16	15	0.50	20	0.56	75	1.56
212	24	8.1	751	373	40	2.00	18	0.83	64	2.78	164	2.69	19	0.63	40	1.13	100	2.08
239	24	6.5	700	574	34	1.70	18	1.50	100	4.35	404	6.62	27	0.90	18	0.28	50	1.04
249	24	6.5	500	438	34	1.70	30	2.50	52	2.26	360	5.90	6	0.20	10	0.28	15	0.31
252	24	7.0	600	300	40	2.00	12	1.00	50	2.17	204	3.34	9	0.30	15	0.42	100	2.08
262	24	8.2	600	300	40	2.00	24	2.00	32	1.39	190	3.11	6	0.20	40	1.13	100	2.08
263	24	7.0	500	407	30	1.50	10	0.83	24	1.04	300	4.92	19	0.60	18	0.51	25	0.52

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

No. APROV.	pH	C.E. μ hos/cm	C A T I O N E S						A N I O N E S						S.T.D. ppm		
			Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ²⁻		Cl ⁻			SO ₄ ²⁻	
			ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l		ppm	meq/l
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
36	8.0	699	28	1.40	29	2.42	7	0.30	150	2.46	0	0.00	70	1.97	75	1.56	393
39	8.0	699	32	1.60	26	2.17	3	0.13	180	2.95	0	0.00	180	5.07	35	1.56	393
48	8.0	732	40	2.00	17	1.42	10	0.43	186	3.05	6	0.20	40	1.13	50	1.04	339
88	7.2	900	46	2.30	11	0.92	220	9.57	445	7.30	0	0.00	61	1.72	229	4.77	1012
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
106	7.2	825	74	3.70	15	1.25	100	4.35	520	8.52	0	0.00	44	1.24	53	1.10	806
108	7.2	880	60	3.00	16	1.33	142	6.17	501	8.21	0	0.00	53	1.44	54	1.13	826
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
141	7.5	435	36	1.80	10	0.83	41	1.78	241	3.95	0	0.00	35	0.99	35	0.73	398
157	8.5	749	28	1.40	22	1.83	7	0.30	92	1.51	3	0.10	30	0.84	150	3.12	330
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
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
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
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	306
212	7.9	1133	50	2.50	44	2.67	144	6.26	228	3.74	18	0.60	40	1.13	347	7.23	727
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
324	7.4	400	54	2.70	7	0.58	29	1.26	213	3.49	0	0.00	26	0.73	35	0.73	364
336	7.3	400	57	2.85	8	0.67	24	1.04	232	3.80	0	0.00	35	0.99	93	1.94	449
344	7.3	1134	66	3.30	20	1.67	7	0.30	183	3.00	3	0.10	60	1.69	100	2.08	432

TABLA No. 16

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

No. APROV.	pH	C.E. μmhos/cm	C A T I O N E S						A N I O N E S						S.T.O. ppm		
			Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺	HCO ₃ ⁻		CO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻			
			ppm	mcq/l	ppm	mcq/l		ppm	mcq/l	ppm	mcq/l	ppm	mcq/l	ppm		mcq/l	
357	7.5	600	36	1.80	24	2.00	84	3.65	302	4.95	13	0.43	39	1.10	46	0.96	544
365	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
394	7.1	480	40	2.00	29	2.42	39	1.70	237	3.89	4	0.13	53	1.49	28	0.58	430
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
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
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
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
452	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
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
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
548	7.3	500	44	2.20	19	1.58	82	3.56	293	4.80	0	0.00	51	1.43	53	1.10	542
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
572	6.9	440	44	2.20	31	2.58	38	1.65	311	5.10	0	0.00	30	0.85	24	0.50	478
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
695	7.3	480	32	1.60	2	0.16	105	4.56	274	4.49	4	0.13	30	0.84	41	0.85	488
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
782	7.4	360	40	2.00	14	1.16	44	1.91	237	3.88	4	0.13	26	0.73	15	0.31	380
846	7.1	930	116	5.80	26	2.16	58	2.52	347	5.68	13	0.43	112	3.15	57	1.18	729
886	7.2	480	36	1.80	29	2.42	62	2.70	293	4.80	18	0.60	35	0.99	25	0.52	498
923	7.3	340	44	2.20	26	2.16	39	1.64	237	3.88	9	0.30	41	1.15	35	0.73	431

TABLA No. 17

**RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
ZONA GEOHIDROLOGICA DE OJOCALIENTE, ZAC.**

No. APRO.	TEMP. (°C)	pH LAB.	C.E. µmhos/cm	ALC. ppm	DUREZA ppm	S.T.D. ppm	CATIONES						ANIONES							
							Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻	
							ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l
5	29.0	7.52	530	237	150	475	36	1.79	14	1.15	80	3.51	270	4.42	9	0.29	51	1.43	15	0.31
30		7.47	460	210	140	380	40	1.99	9	0.74	59	2.60	210	3.44	32	0.73	35	0.98	9	0.18
52	19.0	7.22	590	262	210	478	40	1.99	26	2.13	51	2.21	320	5.24	0	0.00	32	0.90	9	0.91
66	29.0	7.38	565	270	175	528	36	1.79	20	1.64	91	3.97	274	4.49	27	0.89	49	1.39	31	0.64
71	23.0	7.38	520	262	150	512	38	1.89	13	1.06	92	4.00	283	4.63	18	0.59	44	1.24	24	0.49
82		7.38	680	237	230	532	64	3.19	16	1.31	53	2.77	289	4.73	0	0.00	64	1.80	36	0.74
98	24.8	7.49	530	240	120	513	32	1.59	9	0.74	102	4.47	291	4.77	4	0.13	48	1.35	27	0.56
113		7.53	530	219	100	449	36	1.79	2	0.16	88	3.88	267	4.37	0	0.00	38	1.07	18	0.37
116		7.12	760	255	405	780	84	4.10	0	0.00	131	5.70	494	8.09	0	0.00	44	1.24	27	0.56
153		7.17	490	244	180	477	48	2.39	14	1.15	73	3.18	241	3.94	28	0.93	48	1.35	27	0.56
182		7.42	530	237	168	484	42	2.09	15	1.23	74	3.23	270	4.42	9	0.29	42	1.18	32	0.66
243		7.58	365	195	105	393	28	1.39	8	0.65	77	3.25	201	3.29	18	0.59	34	0.95	27	0.56
265	22.0	7.40	695	243	230	538	58	2.89	20	1.64	66	2.89	296	4.85	0	0.00	72	2.03	26	0.54
274	22.7	7.30	590	2279	1162	546	50	2.49	9	0.74	95	4.15	303	4.36	18	0.59	49	1.38	22	0.45
287	23.2	7.52	475	162	228	492	36	1.79	18	1.48	79	3.45	279	4.57	9	0.29	53	1.49	18	0.37
292		7.46	535	265	243	565	52	2.59	14	1.15	109	4.75	296	4.85	13	0.43	54	1.52	27	0.56
296		7.48	465	217	155	227	44	2.19	11	0.90	58	2.55	265	4.34	0	0.00	40	1.12	9	0.18
305		7.38	450	253	200	461	72	3.59	4	0.32	61	2.65	226	3.70	40	1.33	44	1.24	14	0.29
321		7.46	495	204	155	425	40	1.99	12	0.98	62	2.72	248	4.06	0	0.00	45	1.26	18	0.37
322		7.36	860	237	270	623	88	4.39	12	0.98	77	3.36	289	4.73	0	0.00	103	2.90	54	1.12
351		7.65	555	292	200	551	56	2.79	14	1.15	72	3.16	356	5.83	0	0.00	35	0.98	18	0.37
365		7.47	440	225	145	420	42	2.09	9	0.74	66	2.88	237	3.88	18	0.59	34	0.95	14	0.29
389	29.5	7.55	450	228	150	437	34	1.69	15	1.23	76	3.32	256	4.19	10	0.33	48	1.35	18	0.37
411	29.0	7.48	483	195	155	392	36	1.79	15	1.23	51	2.22	237	3.88	0	0.00	40	1.12	13	0.27
415		7.56	375	177	145	349	43	2.14	9	0.74	45	1.96	188	3.08	13	0.43	37	1.04	14	0.29

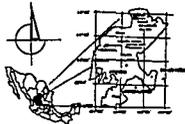
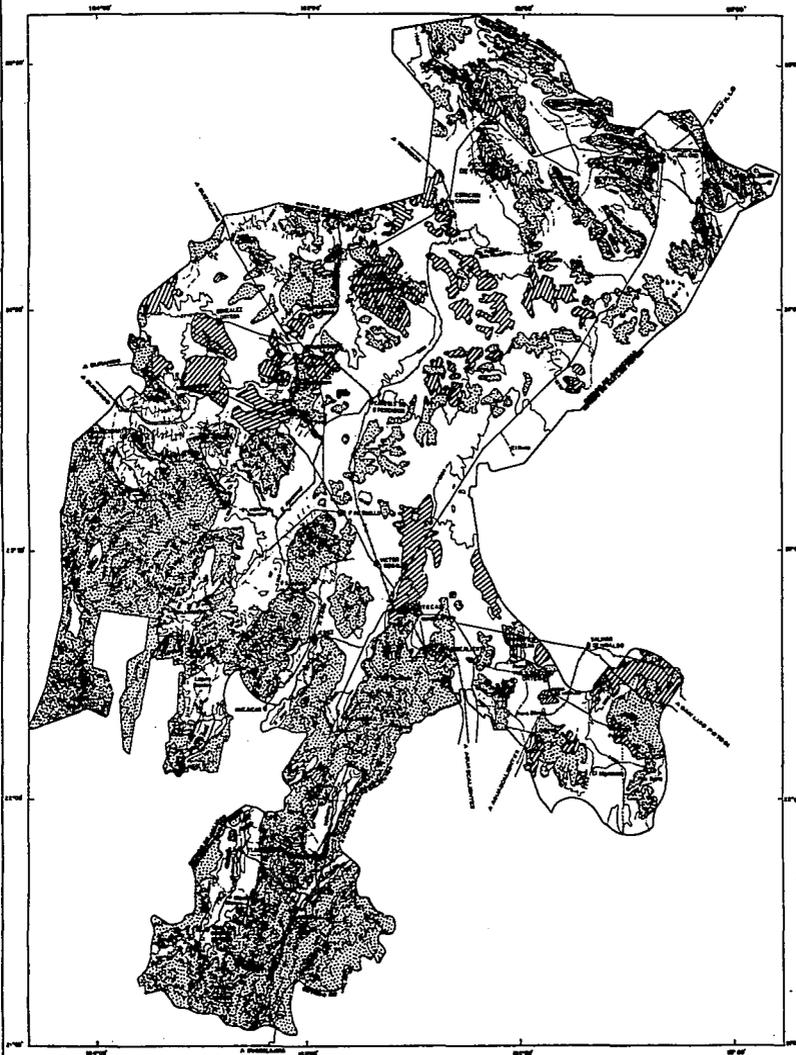
TABLA No. 18

**RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
ZONA GEOHIDROLOGICA DE TRANCOSO, ZAC.**

No. APROV.	pH	C.E. mghos/cm	C A T I O N E S						A N I O N E S						S.T.D. ppm		
			Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ⁻		Cl ⁻			SO ₄ ⁻	
			ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l		ppm	meq/l
28	7.2	495	20	1.00	4	0.33	64	2.78	217	3.56	0	0.00	21	0.59	10	0.21	345
34	7.2	425	23	1.15	5	0.42	61	2.65	228	3.74	0	0.00	20	0.56	10	0.21	355
35	7.2	440	20	1.00	0	0.00	73	3.17	221	3.62	0	0.00	21	0.59	10	0.21	353
40	7.0	280	27	1.35	6	0.50	28	1.22	171	2.80	0	0.00	11	0.31	5	0.10	251
43	7.2	370	24	1.20	14	1.12	35	1.52	222	3.64	0	0.00	16	0.45	5	0.10	324
44	7.1	400	20	1.00	7	0.58	58	2.52	220	3.62	0	0.00	16	0.45	7	0.15	336
48	7.3	390	19	0.95	7	0.58	54	2.35	215	3.52	0	0.00	17	0.48	5	0.10	323
50	7.6	460	32	1.60	19	1.58	27	1.17	265	4.31	0	0.00	14	0.39	7	0.15	385

**RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA
ZONA GEOHIDROLOGICA DE VILLA HIDALGO, ZAC.**

No. APROV.	pH	C.E. micro/cm	C A T I O N E S						A N I O N E S						S.T.D. ppm		
			Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ²⁻		Cl ⁻			SO ₄ ²⁻	
			ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l		ppm	meq/l
52	7.0	480	40	2.00	24	2.00	18	0.78	305	5.00	0	0.00	12	0.34	5	0.10	421
62	7.1	550	19	0.95	21	1.75	47	1.83	278	4.56	0	0.00	28	0.79	16	0.34	454
68	6.9	470	15	0.75	23	1.92	27	1.17	283	4.64	0	0.00	25	0.70	5	0.10	423
69	7.2	530	14	0.70	23	1.92	40	1.74	276	4.52	0	0.00	32	0.90	8	0.17	442
77	7.2	480	12	0.60	18	1.50	41	1.78	293	4.80	0	0.00	9	0.25	5	0.10	423
79	6.9	580	13	0.65	19	1.58	68	2.96	281	4.60	0	0.00	28	0.79	38	0.79	488
89	7.1	560	30	1.50	9	0.75	57	2.48	268	4.40	0	0.00	26	0.73	41	0.85	482
90	7.0	550	25	1.25	15	1.25	51	2.22	287	4.70	0	0.00	34	0.96	12	0.25	470
123	7.1	590	25	1.25	17	1.42	43	1.87	261	4.28	0	0.00	35	0.99	7	0.15	422
164	7.0	460	24	1.20	12	1.00	39	1.69	243	3.99	0	0.00	31	0.87	5	0.10	394
388	7.1	370	25	1.25	16	1.33	9	0.39	203	3.32	0	0.00	18	0.51	5	0.10	312
411	7.1	430	26	1.30	16	1.33	23	1.00	205	3.36	0	0.00	32	0.90	14	0.29	354
913	7.0	550	18	0.90	17	1.42	54	2.35	293	4.80	0	0.00	28	0.79	19	0.40	478
1991	7.0	390	32	1.60	13	1.08	12	0.52	235	3.86	0	0.00	7	0.20	5	0.10	341



SIMBOLOGIA

- CIVIL: _____
- PUBLICA: _____
- CARRETERA FEDERAL, ESTATAL: _____
- TERRECIERIA: _____
- PERDICIARIA: _____
- POSA: _____
- RIO: _____
- ARROYO: _____
- CURVA DE NIVEL: _____
- LIMITE ESTATAL: _____

LEYENDA UNIDADES GEOHIDROLÓGICAS

PERMEABILIDAD ALTA UI

ALUVIAL, DEPOSITOS DE PIE DE MONTE, LACUSTRES Y DE BOMBEO (6a)

PERMEABILIDAD MEDIA [Pattern]

- DEPOSITOS BASALTIICOS (6a)
- CONGLOMERADOS (7a)
- SOLIZAS (8a) Y SOLIZAS INTERSTICIALES (7a)
- SOLIZAS Y SOLIZAS ARGILLOAS (6a)
- SOLIZAS (7a)
- ROCAS VOLCÁNICAS INTERCALADAS CON ARGILLOAS, LUTITAS Y CONGLOMERADOS (7a)

PERMEABILIDAD BAJA [Pattern]

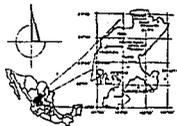
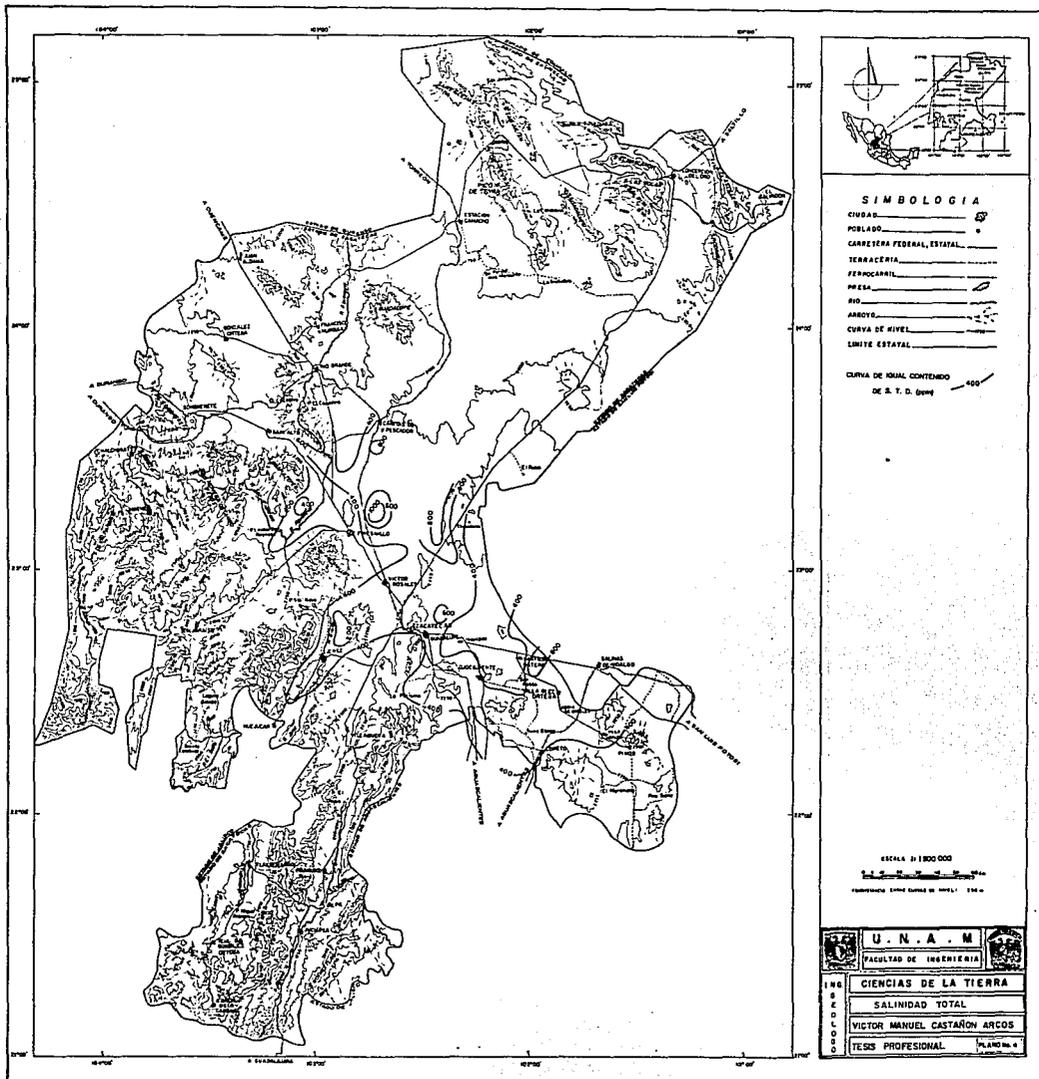
- ROCAS ÍGNEAS INTERSTICIALES (7a)
- SOLIZAS ARGILLOAS, LUTITAS Y ARGILLOAS (6a)
- ROCAS VOLCÁNICAS, LUTITAS, LUTITAS Y ARGILLOAS (6a)
- ARGILLOSAS, FILITAS, PIZARRAS, LUTITAS Y ARGILLOSAS (7a)
- ESQUISTOS (7a)
- ESQUISTOS Y FILITAS (7a)

ESCALA 1:500 000

PROYECTADO POR: _____

COORDINADO POR: _____

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CIENCIAS DE LA TIERRA
PLANO GEOHIDROLÓGICO
VICTOR MANUEL CASTAÑÓN ARCOS
TESIS PROFESIONAL PLANO No. _____



SIMBOLOGIA

- CIUDAD
- POBLADO
- CARRERA FEDERAL, ESTATAL
- TERACERCA
- FERROCARRIL
- PRESA
- RIO
- ANCHO
- CURVA DE NIVEL
- LIMITE ESTATAL

CURVA DE NIVEL CONTENIDO
DE S. T. D. 100m

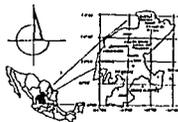
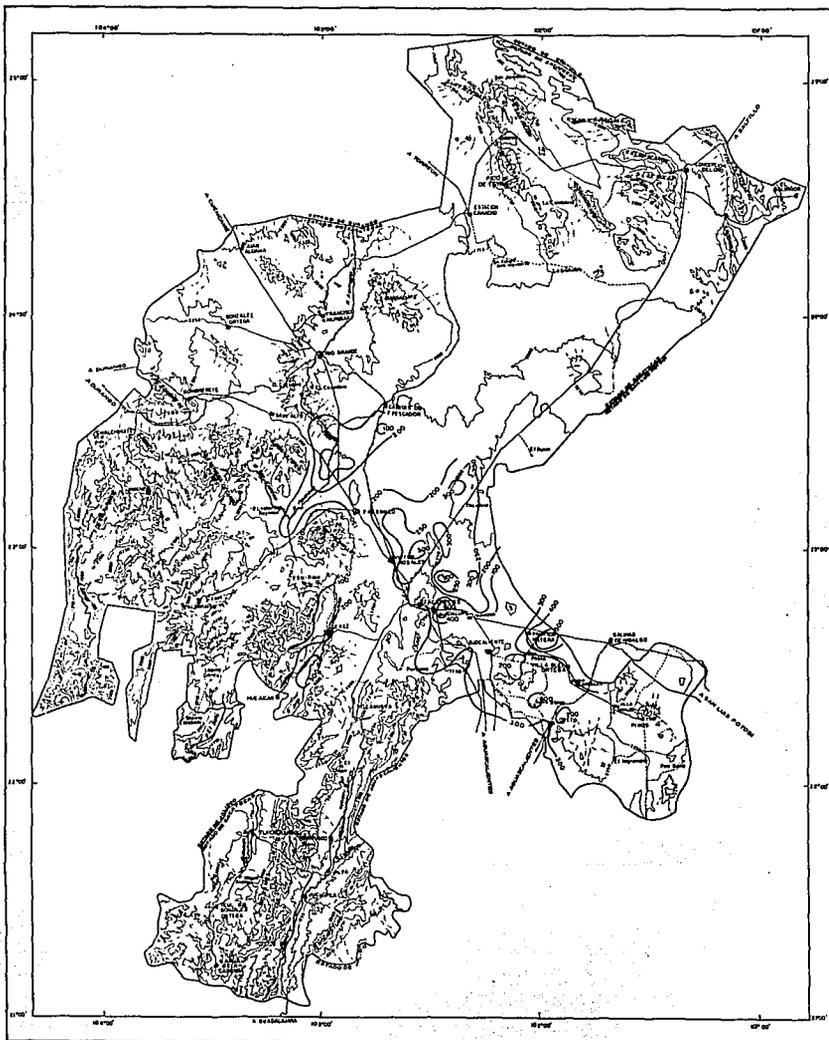
ESCALA 1:100,000



VERIFICACION EN EL CENTRO DE VERACRUZ 1952

	U. N. A. M.	
FACULTAD DE INGENIERIA		
CIENCIAS DE LA TIERRA		
SALINIDAD TOTAL		
VICTOR MANUEL CASTAÑÓN ARCOS		
TESIS PROFESIONAL PLANO No. 6		

I
N
S
T
I
T
U
T
O



SIMBOLOGIA

CIUDAD	_____
POBLADO	•
CARRERA FEDERAL, ESTATAL	—
TERRACERIA
FERROCARRIL	—+—+—+—
PRESA	_____
RIO	~~~~~
ARROYO	~~~~~
CURVA DE NIVEL	_____
LIMITA ESTATAL	_____

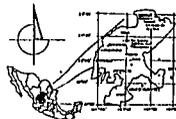
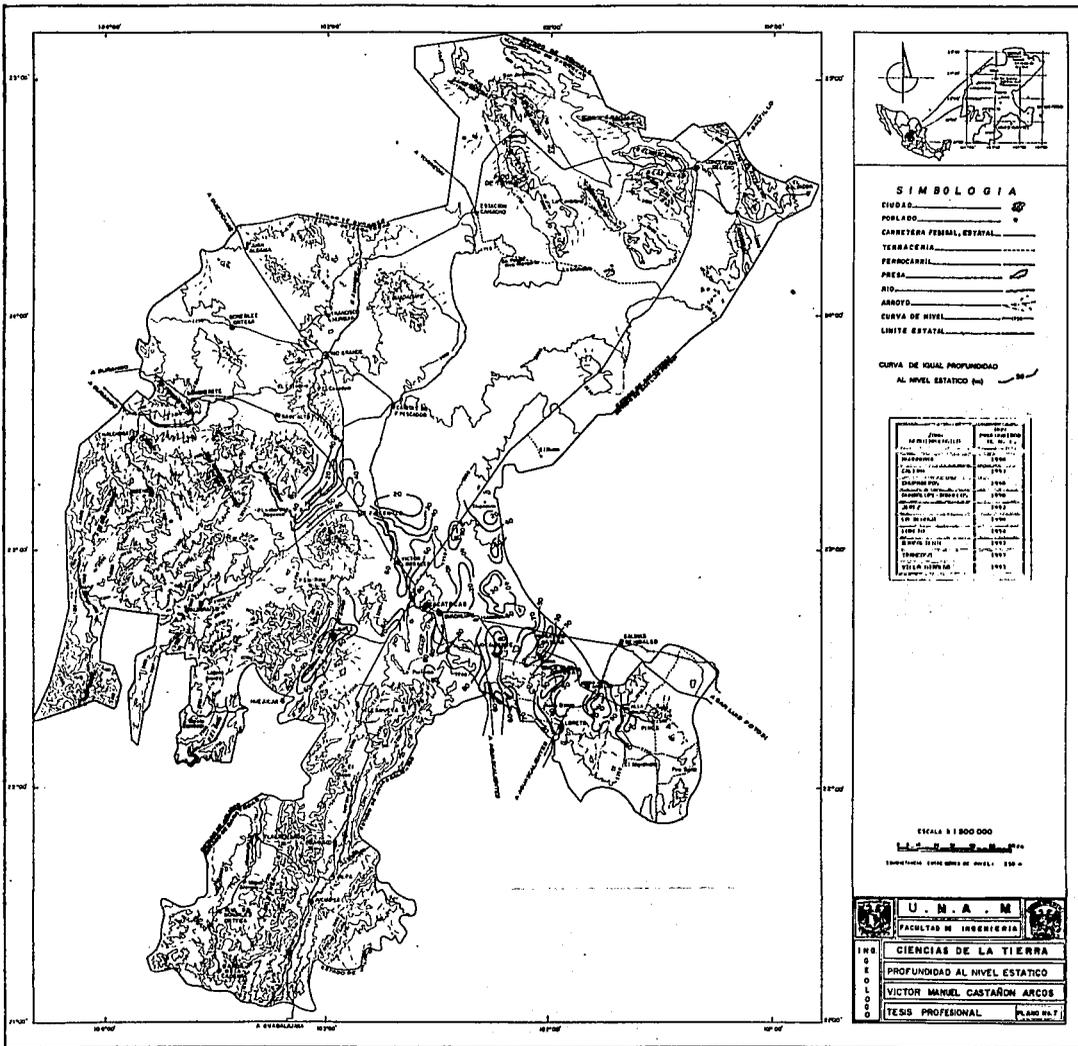
CURVA DE NIVEL CONTENIDO
DE BICARBONATOS (ppm) _____

ESCALA 1:500 000

1:500 000

1:500 000

I N S T I T U T O N A C I O N A L D E I N G E N I E R I A	U. N. A. M.	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
	CIENCIAS DE LA TIERRA	
	CONCENTRACION DE BICARBONATOS	
	VICTOR MANUEL CASTAÑON ARCOS	
TESIS PROFESIONAL		
PLANO No. 1		



SIMBOLOGIA

- Ciudad:
- POBLADO:
- CARRETERA FEDERAL, ESTATAL:
- TERRACERIA:
- FERROCARRIL:
- PREA:
- RIO:
- ARROYO:
- CURVA DE NIVEL:
- LIMITE ESTATAL:

CURVA DE IGUAL PROFUNDIDAD
AL NIVEL ESTÁTICO (m)

PROYECTO	FECHA	PROFESOR
PROYECTO DE INVESTIGACION	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL PLAN	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL DISEÑO	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL TEXTO	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL DISEÑO	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL TEXTO	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL DISEÑO	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL TEXTO	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL DISEÑO	1960	DR. M. CASTAÑÓN
ELABORACION DEL TEXTO	1960	DR. M. CASTAÑÓN

ESCALA 1:800 000

 CORRECCION POR CURVA DE NIVEL: 1:500

U. N. A. M.

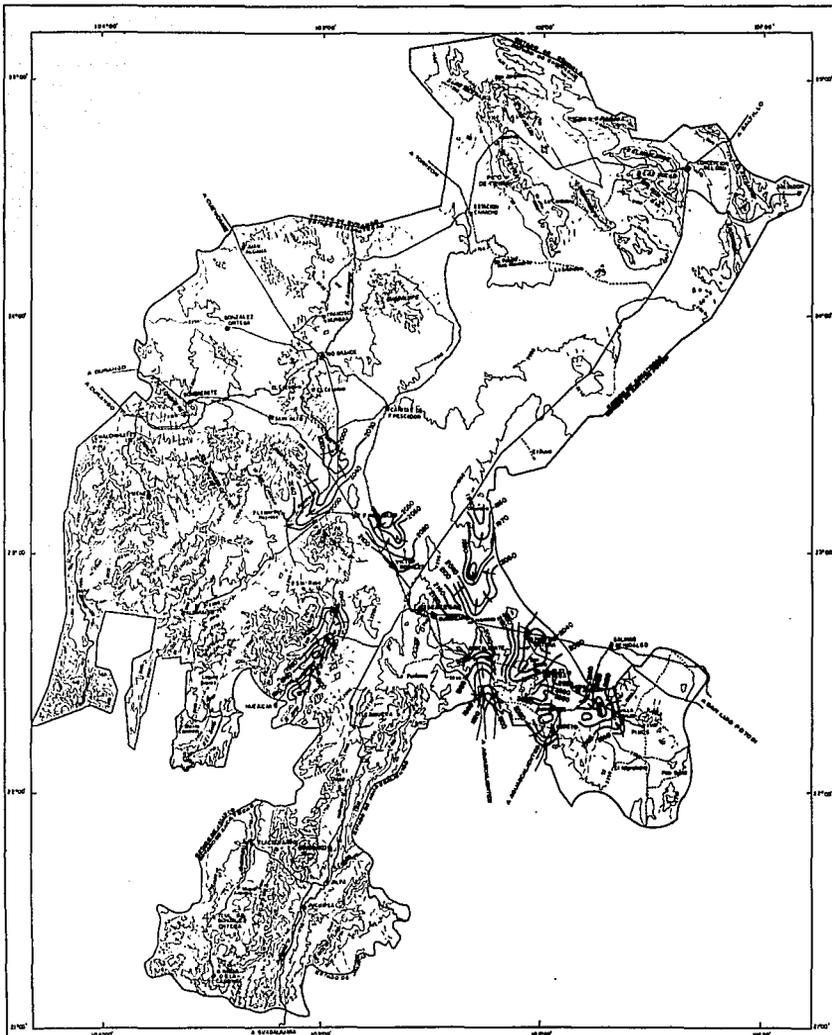
FACULTAD DE INGENIERIA

CIENCIAS DE LA TIERRA

PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO

VICTOR MANUEL CASTAÑÓN ARCOS

TESIS PROFESIONAL PLANO 047



SIMBOLOGIA

- CIUDAD: _____
 POBLADO: _____
 CARRETERA FEDERAL, ESTATAL: _____
 TERRACERÍA: _____
 FERROCARRIL: _____
 PUEBLO: _____
 RIO: _____
 ARROYO: _____
 CURVA DE NIVEL: _____
 LIMITE ESTATAL: _____

CURVA DE NIVEL ELEVACION DEL ESTADICO ESTADON (metros) _____

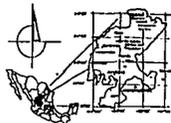
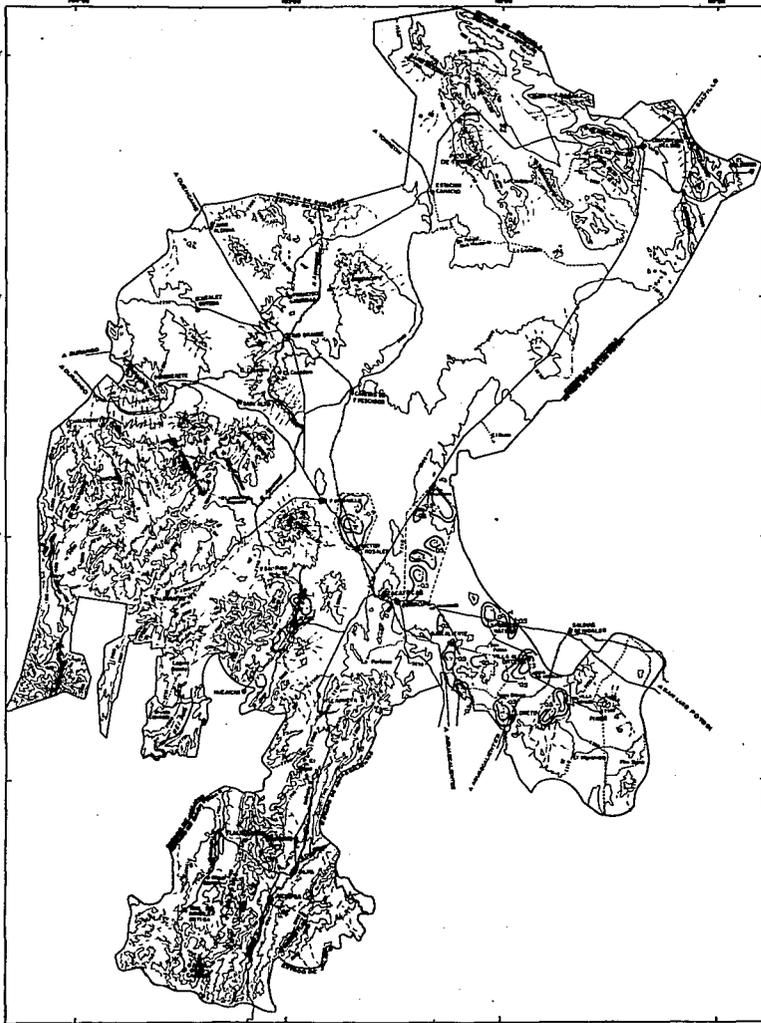
DIRECCION DEL FLUJO GOBIERNALMO _____

Característica	Valor
Superficie total	101,000 km ²
Superficie agrícola	1,500,000 ha
Superficie forestal	1,500,000 ha
Superficie ganadera	1,500,000 ha
Superficie industrial	1,500,000 ha
Superficie urbana	1,500,000 ha
Superficie rural	1,500,000 ha
Superficie agrícola	1,500,000 ha
Superficie forestal	1,500,000 ha
Superficie ganadera	1,500,000 ha
Superficie industrial	1,500,000 ha
Superficie urbana	1,500,000 ha
Superficie rural	1,500,000 ha

ESCALA 1:800,000

ESTADISTICA CENSO 1970

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSO	U. N. A. M. PRODUCTOS DE INGENIERIA
	CIENCIAS DE LA TIERRA
	ESCUELA GENERAL DEL FLUJO SUBTERRANEO
	VICTOR MANUEL CASTAÑON ARCOS TESIS PROFESIONAL



SIMBOLOGIA

- CIUDAD:
 POLICIA:
 CÁMERA FOMENTAL, ESTATAL:
 FERROCARRIL:
 PRESA:
 RIO:
 ARROYO:
 CURVA DE NIVEL:
 LIMITE ESTATAL:

CURVA DE NIVEL EVOLUCION
 DEL NIVEL ESTATICO (m)

Altitud (m)	Área (km ²)
0-100	1,000
100-200	1,000
200-300	1,000
300-400	1,000
400-500	1,000
500-600	1,000
600-700	1,000
700-800	1,000
800-900	1,000
900-1,000	1,000
1,000-1,100	1,000
1,100-1,200	1,000
1,200-1,300	1,000
1,300-1,400	1,000
1,400-1,500	1,000
1,500-1,600	1,000
1,600-1,700	1,000
1,700-1,800	1,000
1,800-1,900	1,000
1,900-2,000	1,000
2,000-2,100	1,000
2,100-2,200	1,000
2,200-2,300	1,000
2,300-2,400	1,000
2,400-2,500	1,000
2,500-2,600	1,000
2,600-2,700	1,000
2,700-2,800	1,000
2,800-2,900	1,000
2,900-3,000	1,000
3,000-3,100	1,000
3,100-3,200	1,000
3,200-3,300	1,000
3,300-3,400	1,000
3,400-3,500	1,000
3,500-3,600	1,000
3,600-3,700	1,000
3,700-3,800	1,000
3,800-3,900	1,000
3,900-4,000	1,000
4,000-4,100	1,000
4,100-4,200	1,000
4,200-4,300	1,000
4,300-4,400	1,000
4,400-4,500	1,000
4,500-4,600	1,000
4,600-4,700	1,000
4,700-4,800	1,000
4,800-4,900	1,000
4,900-5,000	1,000

AREA DE BALANCE

ESCALA 1:500,000

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERÍA

CIENCIAS DE LA TIERRA

EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

VICTOR MARCEL CASTAÑON ARCOS

TESIS PROFESIONAL PLANO 50x70