



6  
2 ej  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO PRELIMINAR DE LA  
ZONA DE SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN,  
QUERETARO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO**

**P R E S E N T A :**

**Eloisa Domínguez Mariani**

**FALLA DE ORIGEN**

**MEXICO, D. F.**

**1991**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis 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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## I N D I C E

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....  | I  |
| INTRODUCCION.....  | 1  |
| OBJETIVOS.....   | 5  |
| <br>   |    |
| I    GENERALIDADES.....  | 6  |
| 1.1    Antecedentes.....   | 6  |
| 1.2    Aspectos geográficos.....                                       | 7  |
| 1.3    Clima y vegetación.....   | 8  |
| 1.4    Actividades económicas.....                                     | 12 |
| <br>   |    |
| II    MARCO GEOLOGICO.....   | 14 |
| II.1    Fisiografía.....   | 14 |
| II.2    Hidrografía.....   | 16 |
| II.3    Geomorfología.....   | 17 |
| II.3    Geología regional.....   | 18 |
| II.4    Geología local.....  | 33 |
| II.5    Geología del subsuelo.....                                     | 34 |
| <br>   |    |
| III    APROVECHAMIENTOS HIDRICOS.....                                  | 48 |
| III.1    Descripción de la Cuenca Hidrológica San Juan del Río.....    | 48 |
| III.2    Infraestructura hidráulica del Distrito de Riego.....         | 49 |
| III.3    Aprovechamiento y manejo actual de los recursos hidricos..... | 53 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| IV    | HIDROLOGIA SUBTERRANEA.....  | 54  |
| IV.1  | Conformación del sistema acuífero.....   | 56  |
| IV.2  | Características hidráulicas del acuífero.....                                  | 57  |
| IV.3  | Funcionamiento geohidrológico.....   | 62  |
| IV.4  | Balance geohidrológico.....  | 67  |
| V     | ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL.....                               | 70  |
| V.1   | Análisis climático.....  | 70  |
| V.2   | Descargas de aguas superficiales y estaciones de monitoreo.....                | 76  |
| V.3   | Análisis de los parámetros utilizados.....                                     | 90  |
| VI    | HIDROGEOQUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA.....                                      | 111 |
| VI.1  | Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea.....                      | 111 |
| VI.2  | Cambio en la concentración de los iones mayores en el tiempo.....              | 129 |
| VI.3  | Rutas hidrogeoquímicas.....  | 137 |
| VII   | RELACION HIDROGEOQUIMICA ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS.....         | 142 |
| VII.1 | Análisis de resultados.....  | 142 |
| VII.2 | Potencialidad de la contaminación.....   | 144 |
| VII.3 | Relación río-acuífero.....   | 148 |
| VII.4 | Interrelación de fenómenos climáticos, aguas superficiales y subterráneas..... | 150 |
| VII.5 | Comportamiento y transformaciones hidrogeoquímicas de los contaminantes.....   | 152 |
| VIII  | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 156 |
|       | BIBLIOGRAFIA.....  | 160 |
|       | CARTOGRAFIA.....   | 166 |

## ANEXOS

### PLANOS

|      |   |     |
|------|---|-----|
| I.1  | ISQYETAS MEDIAS ANUALES.....  | 11  |
| II.1 | PLANO GEOLOGICO.....  | 31  |
| II.2 | SECUENCIAS LITOLOGICAS.....   | 37  |
| II.3 | TIPO DE ROCA IGNEA ENCONTRADA EN LA PERFORACION.....  | 42  |
| II.4 | TIPO DE ACUIFERO PUNTUAL.....   | 44  |
| IV.1 | DISTRIBUCION DE LAS CARACTERISTICAS HIDRAULICAS EN LA ZONA ACUIFERA.....                                | 49  |
| IV.2 | DISTRIBUCION DE GASTOS.....   | 61  |
| IV.3 | EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO. 1970-1990.....  | 63  |
| IV.4 | EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO. 1987-1990.....  | 64  |
| IV.5 | PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTATICO. 1987.....   | 65  |
| IV.6 | ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO. 1987.....   | 66  |
| IV.7 | ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO. 1990.....   | 68  |
| V.1  | UBICACION DE ESTACIONES DE MONITOREO, SITIOS DE DESCARGAS INDUSTRIALES Y ESTACIONES CLIMATOLOGICAS..... | 71  |
| VI.1 | DISTRIBUCION DE POZOS CON ANALISIS QUIMICOS Y RUTAS HIDROGEOQUIMICAS.....                               | 112 |
| VI.2 | ISOLINEAS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA. AÑO 1983.....   | 140 |
| VI.3 | ISOLINEAS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA. AÑO 1986.....   | 141 |

### FIGURAS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| I.1   | PLANO DE LOCALIZACION.....   | 9  |
| II.1  | FISIOGRAFIA DEL ESTADO DE QUERETARO.....   | 15 |
| II.2  | COLUMNA ESTRATIGRAFICA, SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN....   | 37 |
| II.3  | BASAMENTO DEL ACUIFERO DE SAN JUAN DEL RIO.....  | 46 |
| III.1 | DISTRITO DE RIEGO 023, SAN JUAN DEL RIO, QUERETARO.....  | 50 |
| V.1   | PRECIPITACION MENSUAL Y TEMPERATURA MEDIA ANUAL. ESTACIONES SAN JUAN DEL RIO Y PALMILLAS.....          | 73 |
| V.2   | PRECIPITACION MENSUAL Y TEMPERATURA MEDIA ANUAL. ESTACIONES P. CONSTITUCION DE 1917 Y P. LA LLAVE..... | 74 |
| V.3   | PRECIPITACION MENSUAL Y TEMPERATURA MEDIA ANUAL. ESTACIONES PASO DE TABLAS Y P. CENTENARIO.....        | 75 |
| V.4   | PRECIPITACION ANUAL. ESTACIONES S. J. DEL RIO Y PALMILLAS //   | 77 |
| V.5   | PRECIPITACION ANUAL. ESTACIONES P. LA LLAVE Y P. CONSTITUCION DE 1917.....                             | 77 |
| V.6   | PRECIPITACION ANUAL. ESTACIONES P. CENTENARIO Y P. PASO DE TABLAS.....                                 | 77 |
| V.7   | PLANO SIMPLIFICADO DE LAS DESCARGAS INDUSTRIALES Y ESTACIONES DE MONITOREO.....                        | 81 |

|                 |  |             |
|-----------------|--|-------------|
| V.8 (A)         | VARIACION EN EL TIEMPO DE O.D. ....  | 91          |
| V.8 (B)         | VARIACION EN EL TIEMPO DE D.R.O.....   | 92          |
| V.9 (A)         | VARIACION EN EL TIEMPO DE C.E.....   | 94          |
| V.9 (B)         | VARIACION EN EL TIEMPO DE S.T.....   | 95          |
| V.10 (A, B Y C) | VARIACION EN EL TIEMPO DE GRASAS Y ACEITES, SAAM Y COLIFORMES TOTALES.....                   | 96, 97 Y 98 |
| V.11 (A, B)     | VARIACION EN EL TIEMPO DE DUREZA Y PC <sub>4</sub> .....                                     | 100 Y 101   |
| V.12            | VARIACION EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO O.D. Y D.R.O.....                                   | 103         |
| V.13            | VARIACION EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE C.E. Y S.T.....                                  | 104         |
| V.14 (A, B)     | VARIACION EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE SAAM, GRASA Y ACEITES, Y COLIFORMES TOTALES..... | 105         |
| V.15            | VARIACION EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE DUREZA Y PC <sub>4</sub> .....                   | 106         |
| VI.1 a 4        | INDICES HIDROGEOQUIMICOS.....  | 116 A 119   |
| VI.5 a 8        | DIAGRAMAS DE PIPER.....  | 120 A 126   |
| VI.9            | SUBYUISION AL DIAGRAMA DE PIPER.....   | 128         |
| VI.10 Y 11      | EVOLUCION DE LOS IONES EN EL TIEMPO.....   | 130 A 131   |
| VI.12 A 19      | RUTAS HIDROGEOQUIMICAS.....  | 131 A 138   |
| VII. 1 Y 2      | FULMIES POTENCIALES DE CONTAMINACION EN ZONA INDUSTRIAL Y ZONA URBANO-AGRICOLA.....          | 147         |

#### TABLAS

|         |  |         |
|---------|--|---------|
| I.1     | PRECIPITACION MEDIA ANUAL.....   | 10      |
| II.1    | CORTES LITOLOGICOS.....  | 36      |
| III.2   | NUMERO DE APROVECHAMIENTOS POR ZONA Y POR TIPO DE USO.....                                 | 54      |
| IV.1    | RESUMEN DE PRUEBAS DE BOMBEO.....  | 59      |
| V.1     | DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES Y APROVECHAMIENTOS DOMESTICOS EN EL RIO SAN JUAN (1988)..... | 79      |
| V.2     | ANALISIS QUIMICOS DE DESCARGAS INDUSTRIALES.....   | 87      |
| V.3 A 9 | ANALISIS QUIMICOS DE ESTACIONES DE MONITOREO.....  | 83 A 89 |
| V.10    | NORMAS PARA AGUA POTABLE Y USO AGRICOLA.....   | 107     |
| V.11    | NORMAS PARA LAS DESCARGAS DE INDUSTRIAS.....   | 108     |
| DEL     | ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA SUBTERRANEA.....  | 113     |
| VI.2    | ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA SUBTERRANEA.....  | 114     |

"HAY LIBROS QUE NO PARECEN ESCRITOS  
PARA QUE LAS GENTES APRENDAN,  
SINO PARA SE ENTEREN DE QUE EL AUTOR  
HA APRENDIDO ALGO"

GOETHE



## INTRODUCCION

El agua se encuentra en todas partes: en plantas, animales y rocas, en la superficie de la Tierra, donde corre por los cauces de los rios, hasta llegar al mar; en lo alto de las montañas y en las regiones polares en forma de glaciares e incluso en el aire que respiramos.

Sin importar el momento histórico del que se trate, la importancia del papel que toma el agua en el desarrollo de cualquier sociedad, es tal, que de la abundancia o escasez, o de la calidad de un cuerpo superficial dependía el asentamiento de una comunidad, y su desarrollo posterior.

Al inicio, se aprovecharon las fuentes de que se tenían a la mano, pero al agotarse éstas, poco a poco se fue iniciando el uso de fuentes de abastecimiento subterráneas. Los cauces de las corrientes superficiales, fueron aprovechados como drenaje para aguas negras, lo cual, aunado a la falta de control en la infiltración de desechos industriales, fosas sépticas sin protección, uso excesivo de fertilizantes para uso agrícola, han producido contaminación de acuíferos. Lo anterior trae como consecuencia la disminución de la calidad de agua para consumo humano, provocando daños a la salud, problemas de excesiva salinidad para uso agrícola, etc.

La situación que guarda cada tipo de emplazamiento de agua, ya sea superficial, por ejemplo: ríos, presas, lagos, lagunas, esteros, de régimen perenne, intermitente, etc.; o subterráneo: tipo de acuífero, grado de explotación, entorno geológico, etc., le hace vulnerable en diferente grado a la contaminación, ya sea física, química ó bacteriológica. Las medidas que se tomen a fin de controlar la intoxicación presente, así como el éxito esperado son en sí mismas

sumamente costosas y lentas.

En nuestro país, poco a poco se ha ido tomando conciencia de los problemas y riesgos de contaminación que generan algunas actividades económicas. Se ha actualizado recién la legislación correspondiente, e, sin embargo, falta evaluar el daño ya causado en algunas zonas.

En particular, si coexisten, una serie de compañías dedicadas a la transformación de materia prima, algunos centros importantes de población, y actividades agrícolas en una zona con recursos hidráulicos (superficiales y subterráneos) limitados, es de esperarse que exista algún tipo de impacto de éstas actividades con respecto al ambiente.

La situación anterior es la que se encuentra en el área de San Juan del Río-Tequisquiapan, y para la cual el presente trabajo tiene como propósito mostrar el peso que tienen: la litología, la circulación de aguas negras en el cauce del río San Juan; las condiciones climáticas; y el uso de fertilizantes artificiales en el comportamiento hidrogeoquímico, la relación río-acuífero. Además se tratará de establecer la potencialidad de la contaminación de las aguas superficiales.

La distribución del presente es la siguiente:

En el primer capítulo se esbozan los antecedentes de la zona en cuanto a estudios ya practicados, las características de ubicación, comunicación y algunas generalidades económicas, de vegetación y clima. Este último aspecto será tratado más ampliamente en el Capítulo V.

En el segundo capítulo se presenta el contexto geológico de la

zona, incluye geomorfología, geología regional, geología local, así como la correlación de cortes litológicos, a fin de establecer la columna estratigráfica del área. Con este precedente, se evalúan las unidades litológicas desde el punto de vista geohidrológico.

Debido a la importancia que tiene el río San Juan, como fuente de recarga al acuífero y como principal suministro del Distrito de Riego 023, el Capítulo III se refiere a la descripción hidrológica del área; la infraestructura hidráulica y la operación del Distrito de Riego. El área, además de agua superficial, cuenta con el aprovechamiento del agua subterránea por medio de pozos, para los cuales se tienen diversos usos en las dos zonas geohidrológicas existentes, lo cual es descrito en la última parte del capítulo.

La explotación que se ha hecho del recurso hídrico subterráneo, a fin de satisfacer en mayor medida las variadas necesidades de la población, se ha visto reflejada en el ritmo de abatimiento de los niveles estáticos y que según el balance geohidrológico efectuado en 1980, se pierden del almacenamiento subterráneo 134 Mm<sup>3</sup>/año. Otro punto que trata el capítulo IV es el referente al funcionamiento geohidrológico, que será retomado en la parte correspondiente a la hidrogeoquímica subterránea.

Para la operación del distrito de riego, el río San Juan es retenido en la Presa Constitución de 1857, siendo aguas abajo de este punto, de régimen intermitente, conduciendo escasamente algún volumen de agua de escorrentía, el porcentaje mayor lo constituyen en su mayor parte descargas industriales y domésticas.

El Capítulo V, versa acerca del análisis de la calidad de las aguas superficiales, esto es, los efluentes vertidos en el río San Juan. El tratamiento que se hace a la información, permite determinar

qué parámetros son los más sobresalientes cuantitativamente, así como los sitios en que se descargan con mayor abundancia. Se evaluará en sí, la potencialidad de éstas descargas como fuente de contaminación. Al tener gran influencia del clima con las aguas superficiales, se hace un análisis de la precipitación y de la temperatura para el mismo periodo para el que existen los análisis, a fin de establecer posibles relaciones.

El comportamiento hidrogeoquímico de las aguas subterráneas será tratado en el Capítulo VI, que a partir de los análisis químicos se establece la evolución tanto en el espacio como en el tiempo de los iones, y su relación con el flujo subterráneo.

Finalmente en el Capítulo VII se analizan los resultados obtenidos y se correlacionan todos los aspectos involucrados fin de dar solución a los objetivos planteados al inicio de este trabajo.

Se presentan de manera más sucinta algunas conclusiones, que junto con ciertas recomendaciones forman la parte final de este trabajo, en el Capítulo VIII.

## O B J E T I V O S

ESTABLECER EL MARCO DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA HIDROGEOQUIMICA LOCAL.

DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA LITOLOGIA, RIO, DIRECCION DE FLUJO, CLIMATOLOGIA Y DESCARGAS SUPERFICIALES EN EL AGUA SUBTERRANEA.

ESTABLECER LA CARACTERIZACION HIDROGEOQUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA.

EVALUAR LA CALIDAD QUIMICA DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES COMO FUENTE POTENCIAL DE CONTAMINACION.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### I.1.- ANTECEDENTES.

Los estudios de evaluación geohidrológica de la zona se iniciaron con el realizado por la Compañía INSISA (Ingeniería y Sistemas, S.A.) en 1970. Entonces se observó que el flujo en condiciones casi naturales, iba de la zona de recarga, ubicada en las serranías al sur de San Juan del Río, hacia el N, y al Valle de Querétaro. La geología del área, es descrita como "rellenos aluviales del Cuaternario y circundando a éstos, depósitos aluviales del Terciario: las zonas altas están cubiertas en su mayor parte por formaciones igneas del Terciario y esporádicos conos cineríticos del Cuaternario". La calidad del agua, según pruebas de conductividad eléctrica, era muy buena, especialmente en la parte central del valle de San Juan del Río.

En 1973, Ledezma-Vega hace notar que existía mayor cantidad de pozos en San Juan del Río, que en los otros valles del estado, evidenciando así el mayor desarrollo; asimismo, presenta doce cortes litológicos que muestran que la formación de edad más reciente está constituida por tobas de granulometría variada que constituyen el relleno de los valles y que en espesor es no menor a diez metros; subyaciendo "aparece una segunda capa formada por tobas y riolita e inmediatamente se encuentra basalto".

En términos generales, cita que el acuífero está formado por "un estrato superior variable en cuanto a granulometría y grado de

compactación, formado por tobas arenosas y arcillosas, apoyado sobre un manto basáltico... (el cual) se encuentra fracturado y alterado. Con esto justifica, que la capacidad específica ( $Q_e$ ) de los pozos ubicados en este último material es elevada, aunque esto no se refleje en la productividad de los pozos establecidos en esa área.

En cuanto al flujo subterráneo, se observan aún las mismas dos direcciones referidas anteriormente, una hacia el N de la población de Tequisquiapan, con otra al NW, con valores para las elevaciones del nivel estático (ENE) de 1880 msnm en San Juan del Río a 1850 msnm en el N de Tequisquiapan y Viborillas.

En 1986, Monroy y Sandoval proponen una secuencia litoestratigráfica, que se inicia con el Grupo Pachuca (Eoceno), localmente está representado por riolitas prácticamente impermeables que funcionan como acuífugo. En tanto que, ciertas formaciones como Don Guiyno, el Grupo San Juan y la Formación Tarango, constituidas por alternancias de material piroclástico y coladas de lava, presentan diferencias verticales de permeabilidad, que las hacen comportarse como acuitardo, o bien, si presentan cantidades menores de material arcilloso, menor grado de soldamiento o mayor grado de fracturamiento, constituirán los acuíferos actualmente en explotación.

## I.2.- ASPECTOS GEOGRAFICOS.

La zona de estudio se ubica en los municipios de San Juan del Río y Tequisquiapan, en la porción centro-sur del estado de Querétaro, en un cuadro enmarcado *a grosso modo* por los paralelos  $20^{\circ}21'$  y  $20^{\circ}37'$  de Latitud Norte y los meridianos  $99^{\circ}52'$  y  $100^{\circ}05'$  de Longitud Oeste, de manera aproximada, ya que el área de estudio presenta forma

irregular.

El área mostrada en la Figura no. I.1 comprende una extensión aproximada de 582 km<sup>2</sup>. Se ubica en la unión central de las cartas denominadas F14C66 (Villa del Marqués), F14C67 (Tequisquiapan), F14C76 (La Estancia), F14C77 (San Juan del Río), escala 1:50,000, editadas por DETENAL, con las cuales se integró el plano base para el presente estudio.

Los núcleos principales de población son: San Juan del Río y Tequisquiapan, los que ocupan el 2° y el 3° lugar respectivamente, en cuanto a población e importancia económica en el estado.

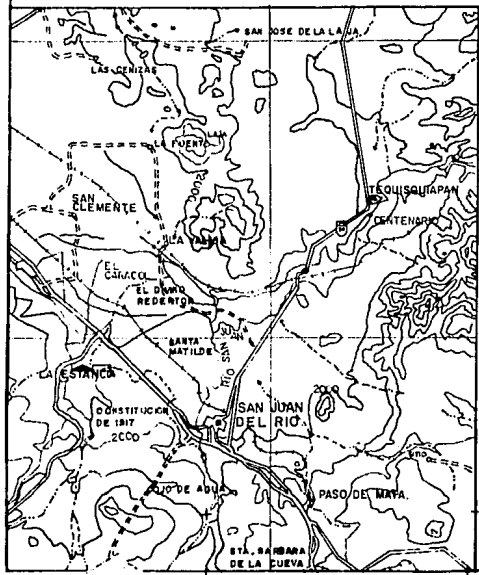
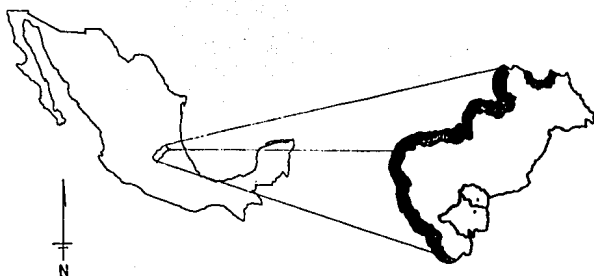
La zona está cruzada por importantes vías de comunicación como la autopista Número 57, federal, México-Querétaro, que la comunica con la capital del estado y con la ciudad de México, ésta misma vía conduc hasta San Luis Potosí; otra ruta que enlaza con la ciudad de México y con Irapuato, Gto., es la No. 45, este caso libre.

Otras arterias menores son la número 55, denominada San Juan del Río-Xilitla, además de la número 120, Pinal de Amoles-Acámbaro. En cuanto a vías ferroviarias, se encuentra la línea México-Nuevo Laredo y México-Guadalajara. Existen además numerosos caminos vecinales asfaltados y de terracería.

### I.3.- CLIMA Y VEGETACION.

Dentro del área de estudio se ubican seis estaciones climatológicas que son: Palmillas, Presa Centenario, Presa La Llave, Presa Constitución 1917, Presa Paso de Tablas y San Juan del Río,





**SIMBOLOGIA**

- ASENTAMIENTOS HUMANOS.
- CABECERA MUNICIPAL.
- CARRETERA MUNICIPAL.
- VIA DE F.F.C.C.
- RIO PERENNE.
- RIO INTERMITENTE.
- PRESA.
- CURVA DE NIVEL.

|                                |          |
|--------------------------------|----------|
| <b>U.N.A.M.</b>                |          |
| <b>FACULTAD DE INGENIERIA.</b> |          |
| <b>PLANO DE LOCALIZACION.</b>  |          |
| <b>ELOISA DOMINGUEZ M.</b>     |          |
| <b>TESIS PROFESIONAL.</b>      |          |
| 1991                           | FIG. I.1 |

100°0'

99°30'

20°30'

20°20'

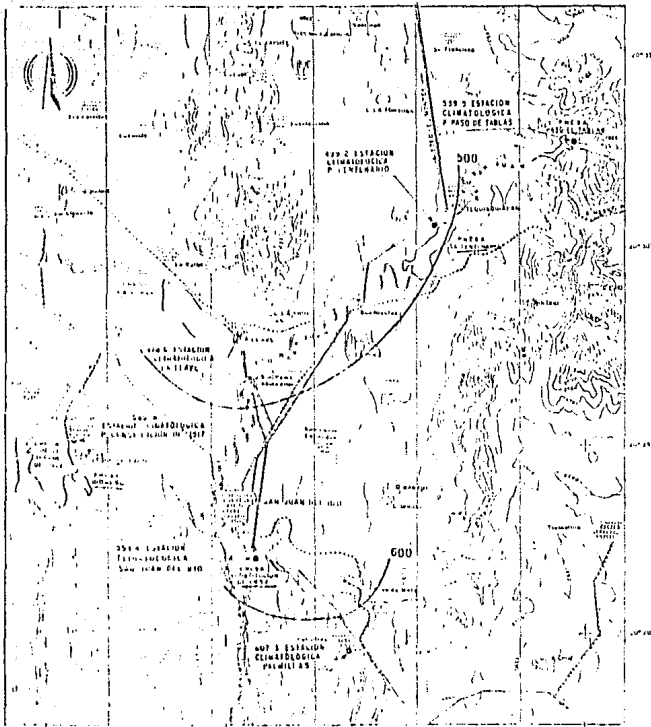
El clima predominante es semiseco o estepario, templado con un verano cálido y con temporada de lluvias en ésta misma estación, en invierno se presenta menos del 5% de la lluvia anual. Presenta carácter extremoso hacia Tequisquiapan, esto es, la oscilación térmica diaria es entre 7° y 14°C. La siguiente tabla muestra los valores de precipitación media anual que se utilizaron para elaborar el Plano I.1.

| ESTACION                   | PERIODO   | PRECIPITACION (en mm) |
|----------------------------|-----------|-----------------------|
| PRESA CENTENARIO           | 1966-1978 | 499.2                 |
| PRESA PASO DE TABLAS       | 1966-1978 | 539.9                 |
| SAN JUAN DEL RIO           | 1960-1982 | 594.4                 |
| PALMILLAS                  | 1970-1982 | 607.3                 |
| PRESA LA LLAVE             | 1970-1986 | 478.6                 |
| PRESA CONSTITUCION DE 1917 | 1960-1985 | 585.6                 |










Precipitación anual. TABLA NO. I.1

Las altitudes en el valle van de 1900 a 1950 msnm, es en ésta área donde se registran los menores índices de humedad debido a los también menores valores de precipitación. En el plano I.1, se puede observar la distribución de la precipitación anual en la zona, la cual alcanza los 500 mm en el centro del valle, incrementándose hacia las porciones montañosas ubicadas al sur de la zona, donde alcanza los 600 mm.

Para el presente estudio, se recabó información mensual de precipitación y temperatura, de los años 1984 a 1990, que se analiza con mayor énfasis en el Capítulo V.



### SIMBOLOGIA

- POBLACION 
- CARRETERA 
- CAMINO DE ACCESO 
- FFCC 
- PRESA 
- RIO 
- CUVA DE NIVEL 
- ESTACION CLIMATOLOGICA  
Valor de Precipitacion Media  
Anual en mm.  539.9
- ISOYETA (mm)  500

### ESCALA



|      |                                  |
|------|----------------------------------|
| UNAM | <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>    |
|      | <b>ESTACIONES CLIMATOLOGICAS</b> |
|      | <b>ISOYETAS</b>                  |
|      | <b>1960 - 1982</b>               |
|      | <b>ELCISA DOMINGUEZ MARIANI</b>  |
|      | <b>TESIS PROFESIONAL</b>         |
|      | 1982                             |

NOTA: ESTE MAPA FUE COMPILADO A PARTIR DE  
 LOS DATOS INCLUIDOS EN EL SIGUIENTE

En cuanto a la vegetación es muy escasa, debido a que el tipo de clima propicia lluvia poco abundante; comprende hierbas y plantas xerófitas: mezquites, huizaches, magueyes, lechuguilla y nopales. Sólo existe arbolado a orilla de los arroyos y ríos y en las regiones más favorecidas por las lluvias, como son las partes altas de las montañas.

#### I.4.- ACTIVIDADES ECONOMICAS.

La ciudad de San Juan del Rio es la segunda población de importancia en la entidad, tanto por la densidad de población, como por las actividades económicas que desarrolla, como son la industria, la agricultura, y el turismo.

En cuanto a la población, según el censo de 1990, el municipio de San Juan del Rio cuenta con 125, 335 habitantes y el de Tequisquiapan con 38, 563 habitantes. En conjunto el área alberga a 66 industrias entre las que se encuentran: transformación del ramo paplero, textil, metal-mecánica, vitivinícola, alimentaria, plástico y maquiladoras. En cuanto a la agricultura, ésta se haya concentrada en su mayoría en torno al Distrito de Riego no. 23, el cual cuenta con infraestructura para regar 85,063.75 has, por medio de 182.34 kms de canales.

Ubicada a 168 km de la ciudad de México, fue fundada en 1531 y es famosa por su agradable clima. Cuenta con atractivos turísticos como el puente de mampostería sobre el río San Juan, construido en 1847, al que se le llama el "puente de la historia" y que figura en el escudo de armas de la ciudad; existen monumentos coloniales como la iglesia de Santo Domingo, el Museo de la Santa Veracruz, la Hacienda de La Llave, que conserva un pórtico neoclásico el cual, cuenta la

tradición, fué uno de los regalos de Hernán Cortés a La Malinche.

La ciudad de Tequisquiapan se ubica a 188 km de la ciudad de México y cuenta entre sus atractivos turísticos los famosos balnearios de El Rélox, El Centenario, La Peña y otros. Como monumentos coloniales se tienen numerosas parroquias, capillas, portales y plazas de los siglos XVI a XIX. Se lleva a cabo la cría de toros de lidia en la antigua Hacienda del Virrey Luis de Velazco. Como característica del paisaje de los alrededores de Tequisquiapan, se tienen extensos viñedos. Las artesanías más características consisten en artículos de cestería de mimbre, vara y ratán, así como joyería semipreciosa que tiene gran demanda.

## C A P I T U L O   I I

### MARCO GEOLOGICO

En este capítulo comprende fundamentalmente una revisión a lo realizado con respecto al estudio del Eje Transmexicano. Se exponen las diversas teorías respecto a su origen y evolución se han elaborado a través del tiempo, haciendo énfasis en lo que corresponde al área de estudio. Los últimos dos incisos están realizados en base a algunos recorridos de campo y al análisis de cortes litológicos recopilados.

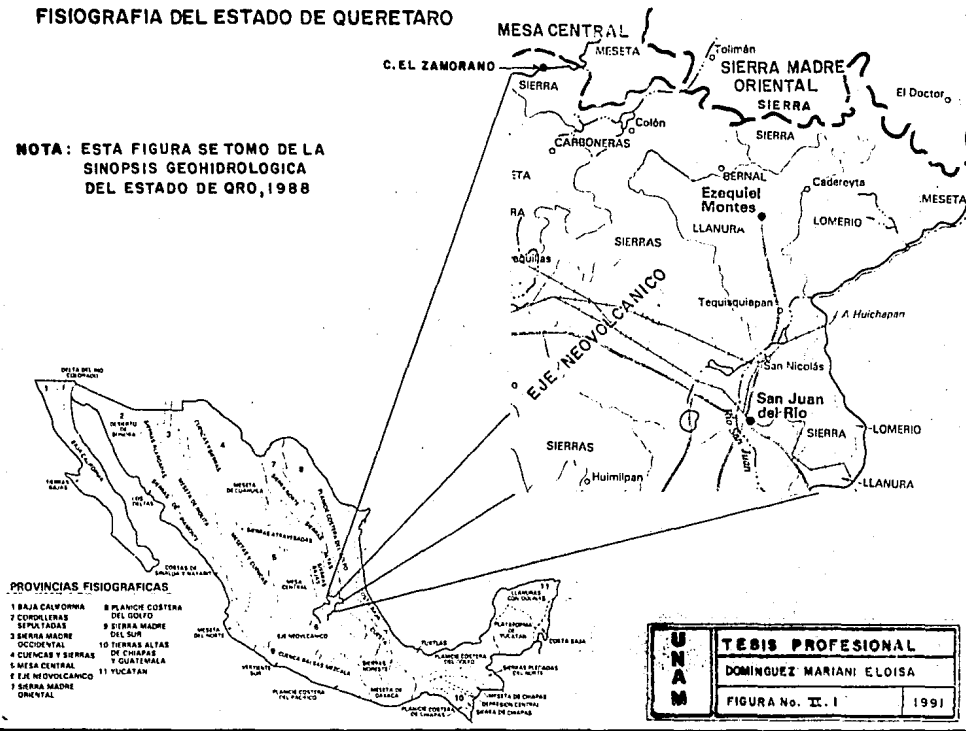
#### II.1 Fisiografía.

La clasificación de Provincias Fisiográficas para la República Mexicana ha sido ya establecida, aunque sus límites en algunos casos son imprecisos, o bien, con el avance de las investigaciones han sido ligeramente cambiados. Este es el caso de la zona de estudio, que se le ubica en diferentes provincias de acuerdo al autor consultado.

En este trabajo se decidió adoptar la clasificación de Raiz (1964), que indica que, el área de estudio se localiza en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico. Fig. II.1. Se consideró más adecuado, debido a que las características geomorfológicas y litológicas, la ubican mejor ahí. Carrasco (1988), opina que el límite septentrional, para ésta provincia, se encuentra al norte del volcán El Zamorano, esto es, un poco más al norte del límite propuesto por Raiz.

# FISIOGRAFIA DEL ESTADO DE QUERETARO

**NOTA: ESTA FIGURA SE TOMO DE LA SINOPSIS GEOHIDROLOGICA DEL ESTADO DE QRO, 1988**



En comparación, otros autores, por ejemplo Alvarez (1962), la ubica casi en los límites de la Meseta Central y la Zona de Fosas Tectónicas y Vulcanismo Reciente. López Ramos (1982), en su clasificación en provincias geológicas, define el límite la Faja Volcánica como "la línea que rodea al volcán de Colima y que avanza hacia el este, entre un curso sinuoso, cortando las cabeceras de los tributarios septentrionales del Río Balsas y la parte oriental del Pico de Orizaba. El límite de la cuenca del Río Balsas pasa por la parte sur del estado de Querétaro; de esta forma y de acuerdo a este investigador, la zona de estudio quedaría fuera del Eje Neovolcánico.

## II.2- HIDROGRAFIA.

La corriente principal es el río San Juan, que corre con dirección aproximada de S-N, desde Santa Gertrudis a San Juan del Río. Cercana a las poblaciones de San Pedro Ahuacatlán y La Llave, cambia de sentido a SW-NE, labrando su cauce entre depósitos de conglomerados y pequeños lomeríos de rocas volcánicas de carácter ácido, hasta dos o tres kilómetros adelante de Tequisquiapan, donde vira con rumbo casi W-E y escapa, por entre la serranía, hacia el oriente, donde se une con el Río Tula y forma el Río Moctezuma; aquí constituye un límite natural para los estados de Hidalgo y Querétaro.

Existen en su recorrido, meandros y llanuras de inundación de suave pendiente, en las que ahora se establecen campos agrícolas, dando al valle características de madurez. En las sierras que circundan al valle, se dibujan talwegs por los que escurren corrientes juveniles en cauces bien tallados, formando drenaje de tipo subdendrítico a paralelo; en el área de San Nicolás a Presa Centenario drenan directamente al Río San Juan.



En la actualidad, sobre todo en el valle, ya no se distingue el drenaje natural, debido al sistema de canales que sirve a la agricultura. Además de algunos bordos que detienen el curso de las escurrientías hacia el río, existen varias presas importantes en el curso del río San Juan; algunos de los antiguos arroyos son aprovechados como drenes o canales de distribución para el Distrito de Riego.

### II.3- GEOMORFOLOGIA.

El área se puede dividir fácilmente en dos partes: la sureña, en la vecindad de la ciudad de San Juan del Río, donde predominan basaltos y depósitos de toba; al oriente de esta porción, se encuentra la misma disposición de la litología, aunque se presentan además algunos lomeríos de andesita. El carácter distintivo de esta zona es, la presencia de lomeríos de poca altura (50 a 100 m) con cimas redondeadas, pendientes suaves ( $3^{\circ}$  a  $6^{\circ}$ ), estas lomas que en conjunto forman un franja de dirección este-oeste, son depósitos de toba coronados por basalto. En aquellos lugares donde la disección ha cortado al basalto y ha llegado a la toba, forma depresiones de pendiente fuerte, además de ser poco profundos.

La zona norte se ubica en la parte cercana a la ciudad de Tequisquiapan, donde forma propiamente un valle, cuyas estribaciones están conformadas grandes aparatos volcánicos de composición esencialmente ácida, con orientación NE-SW de 700, o más metros de altura sobre el nivel del valle; presentan pendiente de media a fuerte, con medio a alto grado de fracturamiento que favorece la presencia de barrancos profundos.

La parte más baja, topográficamente, la constituye el nivel base del río, el cual en la parte NE de Tequisquiapan funciona como culminación del piedemonte, con pendientes suaves a muy suaves, encontrándose constituida por sedimentos aluviales y lacustres de edad Reciente, mientras que en la parte cercana a esa población se encuentran sedimentos fluviales. Las corrientes que presenta son de tipo dendrítico y de carácter erosivo principalmente; los flancos son amplios, en los que se ubican piedemontes, que se presentan como conglomerados. producto de la acumulación de materiales de acarreo provenientes de estructuras volcánicas.

De acuerdo a la caracterización propuesta por DETENAL, la zona se encuentra en la Subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. Hacia la porción que va de San Juan del Río a Querétaro, se encuentran lomeríos de basalto, en tanto que hacia Tequisquiapan. se compone de lomas de material volcánico con valles rellenos de aluvión antiguo. Las sierras ubican en sus laderas elevaciones menores de pendiente suave.

### II.3 GEOLOGIA REGIONAL.

La faja volcánica que cruza la República Mexicana ha recibido diferentes nombres a lo largo del tiempo, tales como Eje Neovolcánico Transmexicano, Faja Neovolcánico Mexicana o Cinturón Volcánico Transmexicano. Aquí la llamaremos Faja Volcánica Transmexicana (FVT). Tiene una distribución espacial a lo ancho de la república de manera general cercana a los paralelos 19° a 21° de Latitud Norte y se extiende desde el estado de Jalisco hasta Veracruz, a lo largo de aproximadamente 100 km. Se encuentra formado por cerca de 8,000 centros eruptivos entre los que se encuentran estratovolcanes

andesíticos, conos cineríticos basálticos y andesíticos, además de algunos centros de vulcanismo riolítico, así como campos de domos riolítico-riodacítico.

Uno de los investigadores que más ha estudiado a la FVT ha sido Demant, al cual se tomará como punto de partida así como de comparación para con otros autores.

En cuanto a edad, Demant (1975) propone el Pleistoceno, ó Mioceno-Reciente para Venegas (1985), lo que representa el vulcanismo más joven del país. En las contrapartes de los principales aparatos volcánicos del país como son, el Pico de Orizaba, el Popocatepetl, el Iztacihuatl, el Nevado de Toluca y el de Colima, se originaron numerosas fosas, que en la actualidad se encuentran rellenas de sedimentos lacustres, formando cuencas endorreicas muy jóvenes, de fines del Terciario e inicios del Cuaternario.

De acuerdo a la morfología y alineación de estratovolcanes se observa que los más septentrionales se encuentran erosionados, en tanto que, los meridionales conservan su estructura, lo que podría indicar una migración del vulcanismo ácido de norte a sur. Los conos cineríticos muestran distribución amplia pero irregular.

Para el vulcanismo riolítico se han localizado cinco centros principales que son la Primavera, Los Azufres, Amealco, Huichapan y Los Humeros, los que se encuentran dentro del frente andesítico.

En cuanto al origen Demant y Shubert-Cebull en Ferriz-Mahood (1986), propone diversas hipótesis que se agrupan en tres categorías que son:

- 1) Hipótesis que relacionan la actividad volcánica con una zona

estrecha de debilidad cortical, como puede ser la extensión continental de fracturas oceánicas, una zona de sutura entre bloques cratónicos, fallas de desplazamiento lateral o una zona incipiente de extensión continental.

2) Hipótesis que asocian el magmatismo al proceso de subducción de la Placa de Cocos, atribuyendo la falta de paralelismo entre el Eje y la Trinchera a procesos tales como, cambios en la velocidad y en el ángulo de subducción, o en el espesor y edad de la placa oceánica, o a cambios durante los últimos millones de años en la velocidad u orientación de subducción.

3) Hipótesis que atribuyen la orientación del Eje Neovolcánico al régimen de esfuerzos corticales, inducido por la combinación del proceso de subducción a lo largo de la Trinchera Mesoamericana y el desplazamiento relativo entre las placas Nortamericana y la del Caribe.

Demant (1978), supone que el vulcanismo perteneciente al Eje Neovolcánico es únicamente Plio-Cuaternario, más específicamente dentro de los últimos 9 millones de años, asignándole edad Oligo-Miocénica a las vulcanitas (andesitas e igniabritas de rumbo NW-SE) pertenecientes a la Sierra Madre Occidental.

Asimismo, divide a la Faja Volcánica Mexicana en cinco zonas de acuerdo con características vulcanológicas y estructurales:

1.- Fosa tectónica Tepic-Chapala, caracterizada por estructuras con dirección NW-SE.

2.- La Fosa Tectónica de Chapala con dirección N-S.

3.- La región volcánica cuaternaria de Michoacán que presenta una dirección NE-SW, limitada al E por el Anticlinorio de Tzitzio-Huetamo y las fallas San Miguel de Allende-Taxco.

4.- La cuenca de México integrada por los valles de Toluca, México y Puebla, separadas por 4 de los 7 principales estrato-volcanes del país.

5.- La zona más oriental con dirección N-S cuyo límite es la Cadena Pico de Orizaba-Cofre de Perote.

De acuerdo con ésta división, se ubica a la zona de estudio fuera de los límites para la Faja Neovolcánica.

Otro punto son el tipo de manifestaciones que Demant caracterizó:

a) Grandes estrato-volcanes, cuyos ejemplos clásicos son el Nevado de Colima, el Volcán de Colima, Nevado de Toluca, el Popocatepetl, el Iztacihuatl, la Malinche y la cadena Pico de Orizaba-Cofre de Perote, generalmente compuestos por dacitas con abundantes fenocristales de plagioclasa y hornblenda, además de emisiones frecuentes de nubes ardientes y derrames de pómez, en forma de lahares y depósitos aluviales. Se encuentran alineados según la dirección N-S.

b) Los pequeños volcanes ó volcanes monogénicos, constituidos por materiales piroclásticos y derrames de lavas de basaltos, basaltos andesíticos y andesitas, se encuentran alineados según la dirección N-S en la Región de la Fosa Tectónica de Chapala y NE-SW en la Región al oriente de Chapala. Sin relación con los estratovolcanes a los que pueden estar próximos.

c) Los productos riolíticos son escasos y con ausencia total de ignimbritas son características de la FVM. Las riolitas se encuentran de manera notoria en el occidente del Eje Neovolcánico como en el pequeño domo de edad Cuaternario situado entre Tepic e Ixtlán del Río; otros productos ahora cubiertos por andesitas del volcán Tequila se encuentran entre Magdalena y Tequila; al SW de Guadalajara se encuentra la Caldera de la Primavera con edad menor 100,000 años y carácter potásico de las riolitas; en los Azufres, en el estado de Michoacán; Cerros Derrumbadas, próximos a Zacatecas y en la Caldera de los Humeros, donde se encontraron basaltos de carácter alcalino y pómez de composición dacítica.

La anterior es la característica distintiva del Eje Neovolcánico para Dewant (1978). Sin embargo, al encontrarse en la zona de estudio grandes volúmenes de rocas ácidas, habría que establecer su pertenencia o no al Eje Neovolcánico, o bien encontrar el proceso vulcanogenético que le dió origen.

Otro punto es la delimitación en provincias magmáticas y su evolución espacio-temporal. Dewant (1975) define cuatro en México, que para fines del presente trabajo, son tres las que se podrían encontrar relacionadas con la zona:

1) Eje Neovolcánico Transmexicano.- Con orientación E-W, interrumpida por un sistema de grabens de orientación N-S ó NW-SE y con edades desde el Oligo-Mioceno hasta el Cuaternario. Estudios geoquímicos realizados en la zona demuestran el carácter calcoalcalino de las rocas. En cuanto a la litología predominan las andesitas y las dacitas, encontrándose en menor proporción los basaltos y riolitas. De acuerdo a la evolución petrográfica se clasifica a este vulcanismo como característico de zonas de subducción.

ii) La Provincia Oriental.- La característica principal es el carácter alcalino de las lavas (tanto saturado como subsaturado), además esta franja de intrusiones y extrusiones con dirección NW-SE se une con una serie de intrusiones fisurales ácidas y básicas que cubren la paleotopografía Cenozoica y Mesozoica de la Sierra Madre oriental de grandes plegamientos sedimentarios.

El ejemplo más característico para la secuencia volcánica es la Sierra de Tamaulipas, en el se encuentran riolitas, traquitas, sienitas y fonolitas. Para el resto de las vulcanitas existen variaciones en cuanto a la composición, aunque predominan las rocas intermedias a ácidas, también existen basaltos calcoalcalinos. En cuanto al emplazamiento, como se dijo pueden rellenar la antigua topografía y aparecer así intercaladas con rocas sedimentarias como calizas. En cuanto a edades, varían desde Mioceno hasta Plioceno, intercalándose o interfiriendo con las rocas del Eje Neovolcánico.

Anteriormente Dewant (1975) supone que el vulcanismo de la Sierra Madre Oriental se prolonga hasta el área de Tulancingo, a 170 km de distancia del área. Incluso, supone la Sierra Madre Occidental se extiende desde Guadalajara hasta Tulancingo, con lo cual los límites entre estas tres provincias aparecen confusos.

iii) Provincia de la Sierra Madre Occidental. Gran cobertura de rocas ácidas (tobas y lavas igniábríticas) que bordean al Golfo de California y Pacífico. Se pueden distinguir tres fases en la actividad magmática: la primera, fase calcoalcalina de edad cretácica representada por batolitos y dioritas; la segunda, vulcanismo calco-alcalino oligocénico, básicamente andesitas y migración de cuerpos intrusivos al E y finalmente emisiones igniábríticas del Mioceno. Además, para el Plioceno-Cuaternario, se encuentran emisiones de basaltos cuaternarios, cubriendo a las igniábritas.

La descripción ubica al Área de estudio como una prolongación de la Sierra Madre Occidental.

Se han realizado estudios con un enfoque más local en el área, como el de Ortuño (1981), que abarca la porción oriental de Querétaro y el poniente de Hidalgo.

En la hoja Tequisquiapan (DETENAL) denomina ICEA a una secuencia de rocas ácidas como "riolitas, ignimbritas cristaló-vitreas, tobas riolíticas y líticas, traquitas y algunas riolacitas". Respecto al arreglo estratigráfico establece que "las tobas en general ocurren en la parte baja de la secuencia ácida, siendo cubiertas por ignimbritas(?), las cuales conforman algunas planicies con pequeños cañones hasta de 150 m de profundidad y, finalmente las riolitas y traquitas conforman unidades orográficas de cierta importancia conforman unidades de cierta importancia. Lo anterior es más típico hacia el suroeste del estado de Querétaro".

Lo anterior es un tanto impreciso, ya que, generalmente las tobas se encuentran dentro de la secuencia ignimbritica (Tign) de manera ocasional, y como un paquete de gran importancia sobreyaciendo a la secuencia de basaltos y andesitas denominada (Tlt).

Esta secuencia volcánica de edad Oligoceno Superior-Mioceno Medio constituye "la base de la secuencia volcánica cenozoica del Eje Neovolcánico", por sobreyacer "discordantemente a las rocas cretácicas ... y también de manera discordante al Fanglomerado El Morro". El autor asigna esta edad, al correlacionarla con "una secuencia de tobas ácidas de edad Oligoceno Superior, (que se encuentran) sobreyaciendo en clara discordancia al Conglomerado Rojo el cual es correlacionable con el Fanglomerado El Morro, (Edwards, 1955)".



Los espesores mayores de ésta unidad (150 a 400 m), se encuentran hacia la parte sur de su área de estudio, a la altura de Tequisquiapan.

El Fanglomerado El Morro es descrita, como conglomerados calizos bien consolidados con matriz arenosa de color rojizo, y algunos cantos rodados de rocas ígneas contemporáneas. Se encuentran con una distribución muy restringida, dentro del área abarcada por Ortuño se encontraron en los alrededores de Zimapán.

Monroy y Sandoval (1986), establecen la siguiente columna estratigráfica para las unidades volcánicas, sin profundizar en cuestiones de génesis:

Grupo Pachuca.- Perteneciente al Eoceno-Mioceno, consiste en ocho formaciones que incluyen rocas volcánicas muy falladas, intrusionadas, alteradas hidrotermalmente y mineralizadas, de composición amplia, que se extiende desde riolítica hasta basáltica. Esta formación fue descrita originalmente en la Sierra del mismo nombre.

Formación Don Guiñó.- de edad Miocénica Superior-Plioceno Inferior, que consiste en productos riolíticos y dacíticos representados por tobas soldadas o ignimbritas con pseudoestratificación e intercalaciones de material pumítico.

Grupo San Juan.- Plioceno Inferior-Plioceno Superior formada por derrames andesíticos y basálticos y en menor proporción, piroclastos, tobas lacustres y conglomerados mal cementados, con espesor de más de 150 m. Su origen se ubica en el Cerro El Astillero, al oriente de Huichapan.

Formación Tarango.- Edad Plioceno Superior, formada por depósitos

clásticos de relleno, con lentes de caliza lacustre e intercalaciones lenticulares de basalto. Se incluyen también depósitos lacustres de constitución riolítica y andesítica, con estratificación delgada y tobas arcillosas cubiertas por depósitos conglomeráticos tobáceos.

Para la secuencia cuaternaria encuentran tobas riolíticas, basaltos, tobas basálticas y depósitos aluviales.

La descripción anterior es más particular, ya que correlaciona con formaciones cronoestratigráficas ya establecidas y servirá de base para establecer la columna estratigráfica para el área de estudio. En la última parte de este capítulo se describe la columna estratigráfica del área, la que, se elaboró a partir de cortes litológicos.

Carrasco (1988) estudió en conjunto tres campos volcánicos, que son Los Azufres (Michoacán), Amealco y el Zamorano (Querétaro), cuyo origen asocia a grandes cámaras magmáticas con dimensiones estimadas en 450 a 800 km<sup>3</sup> y emplazados a poca profundidad (entre 5 y 10 km). El principal denominador a estos campos volcánicos es su naturaleza silícica, aunque también se presentan manifestaciones básicas.

Los campos riolíticos de Los Azufres (Michoacán), Amealco y El Zamorano (Querétaro), se ubican respectivamente al frente, parte media y norte de la Faja Neovolcánica. Esta zona la corta transversalmente a uno de los segmentos más angostos, lo que permitió establecer una migración del magmatismo hacia la parte meridional de la misma, que posiblemente esté vinculada con una migración similar del patrón tectónico, aunque la orientación del esfuerzo horizontal máximo (E-W) es oblicuo al vector de convergencia de las Placas Norteamericana y de Cocos.

Tomando como referencia la distancia a la Trinchera Mesoamericana

(TMA), las manifestaciones volcánicas del Área delimitada se ubican de los 320 a los 380 km. Es en función de estas distancias, que se hará referencia a la migración del vulcanismo local.

El origen de este vulcanismo se relaciona con cierta alimentación que debió existir a partir de reservorios más profundos, posiblemente dentro del manto superior o bien de la corteza inferior. Posiblemente en el ascenso de los magmas debió existir asimilación de corteza superior y más tarde alimentar a centros poligenéticos de naturaleza silícica, en la que se dieron procesos como cristalización fraccionada principalmente, y convección termogravitacional, acompañados por eventuales reinyecciones de magma máfico y con posibles mezclas de magmas.

En cuanto a estudios de geoquímica, se tiene que las relaciones de FeO y MgO tienden a disminuir hacia las zonas más alejadas de la trinchera, lo que podría significar cierto engrosamiento de la corteza, sino existiesen perturbaciones en la química del magma durante su ascenso. Para las rocas básicas existe cierto carácter toleítico y alcalino, lo que sugiere menor participación de la corteza en los procesos de transporte desde zonas de relativa profundidad. Esto es, que la zona de segregación del magma se debió ubicar dentro de la corteza inferior.

Aunque las relaciones como  $TiO_2$  y la distancia a la TMA y negativa para MgO y  $K_2O$  y la distribución de centros sísmicos sugieren que el modelo arco-trinchera no es aplicable a la RVAZ de la FVT, si intervinieron en la generación del vulcanismo en forma distinta a todo lo largo de ella, como por ejemplo en la región de Michoacán y Guanajuato, donde sí se ajusta a este modelo.

Los campos volcánicos estudiados por Carrasco, que se encuentran

cercanos al área de estudio son la Caldera de Amealco y El Zamorano se describen a continuación:

a) Amealco, una caldera asociada a volúmenes importantes de ignimbritas de composición dacítica, domos riolíticos y conos andesíticos y basálticos. Se ha inferido que el reservorio origen tenía  $792 \text{ km}^2$  y estuvo emplazado a 5 km de profundidad, mientras que las emisiones alcanzaron un radio de  $35 \text{ km}^2$ , justamente hasta el sur de San Juan del Río.

b) El Zamorano, estratovolcán andesítico con ignimbritas de composición riolítica, con reservorio origen de aproximadamente  $756 \text{ km}^2$  a una profundidad de emplazamiento de 10 km. Es una de las representaciones más alejadas del Cinturón Volcánico Transmexicano. Su morfología está profundamente disectada, por lo que, Dewant (1981) le asignó edad Mioceno-Oligoceno, aunado a los grandes volúmenes de ignimbritas, se le ha asociado más comúnmente con la Sierra Madre Occidental. Por medio de análisis de K/Ar (I.M.P.) se obtuvo una edad de 10.9 M.a. como edad máxima, que lo ubica en el Mioceno, según The American Association of Petroleum Geologist (1978) o en el Mioceno-Plioceno según Holmes (1960), y en estrecha relación con los centros silícicos de Amealco y Huichapan.

Carrasco (1987), explica la evolución espacio-temporal para el vulcanismo de la RVAZ, y establece distancias con respecto a la Trinchera Mesoamericana (TMA) para ubicar las diferentes emisiones volcánicas:

#### EOCENO-OLIGOCENO-MIOCENO INFERIOR:

A esta edad pertenecen rocas metamórficas, sedimentarias y algunas volcánicas. Se encuentran restringidas a la parte frontal o

sureña del CVTM de los 320 a 375 km.

#### MIOCENO MEDIO-MIOCENO SUPERIOR:

Se emitieron volúmenes considerables de derrames andesíticos "Andesita Mil Cumbres", asociada a la Caldera de Amealco, que en su mayoría se encuentran sepultados por rocas más recientes.. Se ubica de los 320 a los 380 km de la Trinchera Mesoamericana (TMA).

#### MIOCENO SUPERIOR:

Concentradas de los 335 a los 350 km respecto a la TMA, se encuentran riolitas e ignimbritas más antiguas de la RVAZ, así como una serie de domos de composición dacítica, que constituyen los elementos ácidos más antiguos de la RVAZ.

#### PLIOCENO:

Es el período en que se tiene la mayor actividad, con una marcada migración a mediados de este período hacia la parte centro-septentrional de la RVAZ. El vulcanismo correspondiente se extiende desde los 370 km a los 475 km (aproximadamente) en relación con la TMA. El carácter distintivo es la emisión de grandes volúmenes de ignimbritas, emitidos a partir de diferentes aparatos volcánicos. Un ejemplo es la Caldera de Amealco, otro es el Volcán el Zamorano que se ubica aproximadamente 465 km de la TMA.

Aquí la importancia de este punto, ya que lo incorpora como de edad pliocénica o a lo más miocénica con morfología y estructuras volcánicas recientes y en estrecha relación con los centros silísicos de Amealco y Huichapan, de edad pliocénica.

El vulcanismo riolítico se encuentra representado no sólo por ignimbritas originadas por diferentes aparatos volcánicos, entre ellos el tipo caldera, sino también por diferentes campos lávicos, asociados a estructuras dómicas. Se encuentra de los 440 los 455 km de la TMA. En cuanto al vulcanismo andesítico y basáltico pliocénico se encuentra distribuido de manera más amplia por medio de 30 pequeños estratovolcanes o conos escoriáceos. Estas emisiones se encuentran de 370 a 400 km de la TMA.

#### PLIOCENO INFERIOR:

El vulcanismo se distribuye a través de conos cineríticos y pequeños estratovolcanes, así como de emisiones fisurales de composición andesítico a basáltica. Se distribuye hacia la parte norte y centro-oriental de la RVAZ.

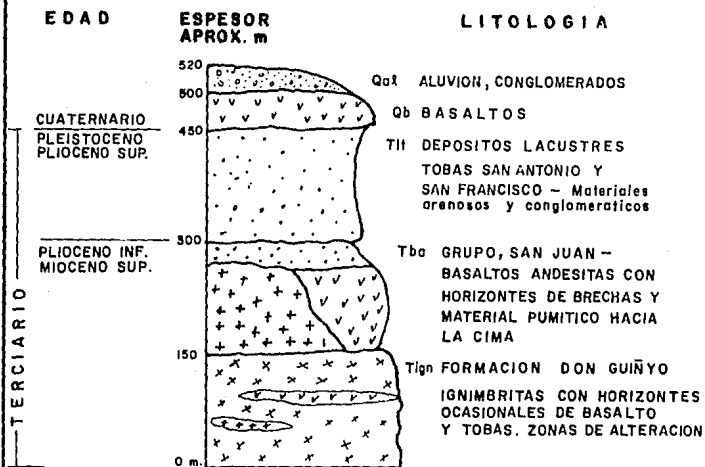
#### CUATERNARIO:

El vulcanismo se localiza en la zona sur de la Región Volcánica de los Azufres-El Zamorano, entre los 340 y 365 km, es aquí donde se ubica el campo geotérmico de los Azufres. El carácter de este vulcanismo es bimodal, donde la fracción félsica se emplaza a través de domos y los productos máficos por medio de conos cineríticos y pequeños estratovolcanes, con clara migración hacia el frente del FVT.

Para llegar a una solución respecto a la pertenencia o no a la FVT y la edad exacta, se requiere hacer un estudio de Geocronología, geoquímica a fin de definir la petrogénesis del área, ya que por las evidencias aportadas por Carrasco se propone que el límite de la Faja Volcánica se extienda hasta el Volcán El Zamorano.



# COLUMNA ESTRATIGRAFICA SAN JUAN DEL RIO - TEQUISQUIAPAN



|                  |                          |      |
|------------------|--------------------------|------|
| U<br>N<br>A<br>M | FACULTAD DE INGENIERIA   |      |
|                  | COLUMNA ESTRATIGRAFICA   |      |
|                  | TESIS PROFESIONAL        |      |
|                  | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                  | FIGURA No. II. 2         | 1991 |



## II.4 GEOLOGIA LOCAL.

La zona de estudio se puede dividir en dos entornos fácilmente observables, tomando como punto de referencia al poblado de San Juan del Rio, en una porción septentrional y otra meridional, de acuerdo con el tipo de litología y a la geomorfología, Plano II.1

La primera, en que se observa orientación general NW-SE, presenta un claro dominio de rocas ígneas riolíticas, específicamente ignimbritas y tobas (Tign) que en el área de San Clemente presenta de color crema al intemperismo, con diferentes grados de soldamiento. Forman fuertes escarpes y bloques con fracturamiento medio. Debido a que el grado de soldamiento de los depósitos de piroclastos es muy variable, incluso llega a presentarse como depósitos de ceniza, las que se pueden aprovechar como bancos de material.

Los basaltos ubicados (Tba) en el el poblado de la Valla, se presentan de color rojo óxido de textura afanítica, masiva que en ocasiones se intercalan con piroclastos de composición básica en forma de brechas, tobas liticas con coloraciones que llegan a ocre.

En el valle se encuentran depósitos aluviales, color rojizo con estratificación poco apreciable, en matriz areno-limosa, y clastos desde uno hasta varios centímetros, de composición basáltica, ignimbrita, pedernal, brecha y cuarzo.

En los alrededores de Tequisquiapan, localizados en cortes de arroyos se observaron depósitos de toba (Tlt) que presentan color gris y crema al intemperismo y tonos un tanto más claros al fresco. Así como, cristales de hornblenda, vidrio, líticos, feldspatos y poco cuarzo, poco desarrollados, en una matriz de composición arcillosa. La

porosidad y permeabilidad son poco importantes. En la parte media del camino de Tequisquiapan a Fuentezuelas se ubicó una unidad de toba poco consolidada, que presenta estratificación cruzada con gradación rítmica, de color crema al fresco.

En el poblado de la Laja, la unidad ignimbrítica (Tign), presenta al intemperismo color óxido y al fresco, color gris, marcado diaclasamiento, que produce fracturamiento en intervalos de 2 a 15 cm, lo que se ve reflejado en lajas, precisamente es esto lo que da nombre al lugar.

La segunda zona, se ubica al sur de San Juan del Río presenta aparatos volcánicos con orientación básicamente E-W y con litología predominantemente andesítico-basáltica, con horizontes ocasionales de brecha (Qb).

En la Figura II.2 se muestra la columna estratigráfica para el área en general, con la observación de que en el valle de San Juan del Río no se presentan coladas superficiales de material volcánico, encontrándose el aluvión directamente en contacto con tobas.

## II.5 GEOLOGIA DEL SUBSUELO.

A fin de conocer las unidades litológicas en que se asienta el acuífero en estudio, se recurrió tanto a información de geología superficial, recorridos de campo, así como a cortes litológicos y de terminación de pozo, que proporcionaron información acerca de los materiales encontrados, del horizonte explotado y la construcción del pozo.

Los cortes litológicos recopilados son en total treinta y siete, cuya ubicación se observa en el Plano II.1; las características generales como la clave y el nombre con que fue conocido en la época de perforación, el número de censo de SARH, la zona geohidrológica a que pertenece, la profundidad total y fecha de perforación se encuentra en la tabla II.1

La mayoría de los cortes encontrados, se ubicaron cercanos a la ciudad de San Juan del Río, pertenecen a pozos que fueron construidos para abastecer al Distrito de Riego del mismo nombre. Las obras restantes son destinadas también para uso agrícola a nivel particular, excepto dos, una para uso potable y otra para industrial.

Al analizar la litología encontrada en los cortes litológicos, se observó que se pueden diferenciar en cinco tipos de disposición de las diferentes formaciones ya descritas. La delimitación de estas zonas se encuentra en el plano II.2:

**TIPO I.**-Compuesto por material granular con roca consolidada como base, en espesores que van desde 40 hasta 143 m como máximo. Este material granular comprende en su mayoría toda de composición ácida de diversas texturas como lacustre, pumítica, litica, arenosa y diversos productos de alteración, que en los cortes litológicos son interpretados como paquetes de arena, arcilla y conglomerados.

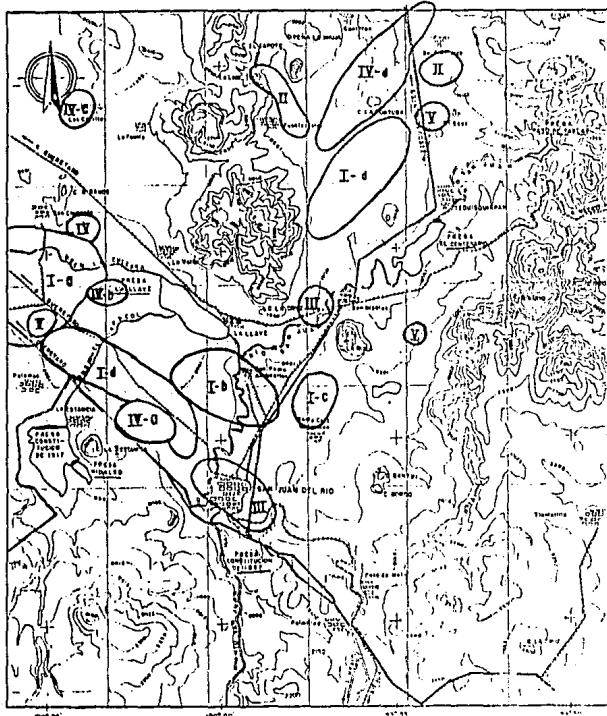
Se ubicó en dos zonas principales, una en el valle de San Juan del Río hasta la población de Pedro Escobedo y la otra en la zona de Tequisquiapan.

Dentro de la primera zona, se pueden distinguir cuatro subzonas que dan idea de la configuración y distribución del acuífero tipo de la zona. Hacia la parte noroeste de San Germán hacia Pedro Escobedo se

POZOS CON CORTE LITOLÓGICO  
SAN JUAN DEL RIO-TEQUISQUIAPAN  
ESTADO DE QUERETARO

| CLAVE DE PERFORACION | NO. POZO | NOMBRE DEL POZO | ZONA GEOH. | PROFUNDIDAD TOTAL | FECHA DE PERFORACION |
|----------------------|----------|-----------------|------------|-------------------|----------------------|
| PQJB-14              | 1024     |                 |            |                   |                      |
|                      | 34       | EL MIRADOR      | SJR        | 152               |                      |
| PHTS-1               | 64       | SAN JOSE GFE.   | TEQ        | 185.00            | 08/01/72             |
| P-2                  | 89       | BUENAVISTA      | TEQ        | 200.00            | 07/01/68             |
| PQS-3                | 91       | TEQUISQUIAPAN   | TEQ        | 165.56            | 09/01/72             |
| PQS-B-5              | 93       | EL SAUZ         | SJR        | 202.9             |                      |
| PQSB-6               | 100      | SANTA MATILDE   | SJR        | 97.55             | 12/01/71             |
|                      | 139      | EL ORGANAL      | SJR        | 357               |                      |
|                      | 168      |                 | SJR        | 158               |                      |
| P-1                  | 225      | LA LAJA         | TEQ        | 200.0             | 21/01/67             |
|                      | 371      | SAN AGUSTIN     | TEQ        | 116               | 01/02/68             |
| P-1                  | 372      | LA TORTUGA      | TEQ        | 159               | 02/01/70             |
|                      | 776      | KIMBERLY CLARK  | SJR        | 230               | 04/01/78             |
| PQSB-11              | 802      | SAN NICOLAS     | TEQ        | 240.00            | 01/01/71             |
| PQROB7549            | 907      |                 | TEQ        | 150               | 18/12/75             |
| PBQS-13              | 909      | HDA. GRANDE     | TEQ        | 394               | 02/01/72             |
| PBQS-16              | 912      | FUENTEZUELAS    | TEQ        | 390               | 01/01/72             |
| PBQS-17              | 108      | LA FUENTE       | SJR        | 148               | 01/03/72             |
| P-1                  | 53       | PARCELAS        | TEQ        | 82                | 05/01/65             |
| P-6                  | 1247     | DTO. RIEGO      | SJR        | 115.95            | 01/10/78             |
| PBQS-15              | 948      | RANCHO GFE      | TEQ        | 200               | 02/01/72             |
| PQJB-1               | 1011     | HDA. GRANDE     | SJR        | 100               | 06/01/73             |
| PQJB-3               | 1013     | LA ESTANCIA     | SJR        | 151               | 06/01/73             |
| PQJB-4               | 1014     | SAN ISIDRO      | SJR        | 150               | 12/01/72             |
| PQJB-5               | 1015     | EL CARRIZO      | SJR        | 150               | 06/01/73             |
| PQJB-6               | 1016     | LA ESTANCIA     | SJR        | 150               | 01/07/73             |
| PQJB-7               | 1017     |                 | SJR        | 200               | 01/01/73             |
| PQJB-15A             | 1025     |                 | SJR        | 150               | 01/02/74             |
| PQJB-16              | 1026     |                 | SJR        | 150               | 04/01/73             |
| PQJB-17              | 1027     | EL ORGANAL      | SJR        | 150               | 01/05/73             |
| PQJB-18              | 1028     |                 | SJR        | 150               | 01/06/73             |
| P-1                  | 1248     | DTO. RIEGO      | SJR        | 160               | 02/10/78             |
| PQJB-19              | 1029     |                 | SJR        | 150               | 01/01/74             |
| PQJB-2               | 1012     |                 | SJR        | 100               | 01/01/73             |
|                      | 33       | RANCHO ALEGRE   | SJR        | 126               | 12/03/58             |
| PQROB7620            | 776      | EL CIERVO       | SJR        | 250               | / /                  |

Tabla II - I



## SIMBOLOGIA

POBLACION



CARRETERA



CAMINO DE ACCESO



FFCC



PRESA



RIO



CURVA DE NIVEL



I GRANULAR Y COMO BASE ROCA CONSOLIDADA.

II GRANULAR CON HORIZONTES INTERESTRATIFICADOS DE ROCA CONSOLIDADA.

III DELGADO ESPESOR DE MATERIAL GRANULAR Y GRAN ESPESOR DE MATERIAL CONSOLIDADO.

IV HORIZONTE DE ROCA CONSOLIDADA Y MATERIAL GRANULAR SUBYACENTE.

V SOLO MATERIAL GRANULAR.

ESCALA



|      |   |
|------|---|
| UNAM | FACULTAD DE INGENIERIA                                      |
|      | SECUENCIAS LITOLÓGICAS<br>SEGUN LA ESTRUCTURA<br>DE LA ROCA |
|      | ELCISA DOMÍNGUEZ MARIANI<br>TESIS PROFESIONAL               |

NOTA: ESTE MAPA FUE ELABORADO CON DATOS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (CNEA).

encuentra la subzona Ia, en donde las profundidades al basamento del acuífero granular, van de 130 m en el pozo 1028 a 187.6 m en el pozo 93. La base acuífera está conformada por basalto. Hacia el SE de estas zona, al norte de San Juan del Río se encuentra la subzona Ib donde las profundidades a la base, también formada por basalto, son de 132 m en el pozo 1017, hasta 142 m en el pozo 1015.

Con el basamento un poco más somero, se encuentra la zona Ic al Este de la anterior, con profundidades de 91 a 97 m en los pozos 34 y 33 respectivamente.

La zona Id, al W de San Juan del Río, el basamento cambia de basaltos a riolita y perlita, las profundidades son también menores en un orden de 40 m en el pozo 1012 a 96 m en el pozo 1026. En el pozo 100 se encuentra, por decirlo así, el contacto entre el basalto y la riolita, las dos unidades que limitan verticalmente al acuífero.

Dentro de esta unidad, la subzona Ie que se encuentra al Este de Tequisquiapan para una amplia zona se encontraron dos pozos que son los números de 89 y 53, muestran el basamento conformado por riolita a profundidades de 55 a 70 m respectivamente.

De lo anterior se infiere que, el acuífero granular es producto de eventos volcánicos similares que depositaron varios horizontes de toba, nivelando la paleotopografía ya existente formada por materiales ígneos consolidados como riolita y basalto. Posteriormente, debido a la acción de agentes de intemperismo, pasaron a ser material arenoso empacado en una matriz arcillosa, por lo general con buena a regular permeabilidad en términos generales.

Esta es la secuencia más frecuente que conforma el acuífero: un estrato superior de espesor variable entre 7 y 140 m de tobas arenosas

y arcillosas, cuya base se encuentra sobre rocas volcánicas de diversa composición con permeabilidad secundaria.

TIPO II.- Está formado por una secuencia de material granular con algunos horizontes intercalados de material consolidado de poco espesor. Se ubicó en el valle de Tequisquiapan, en las laderas de las montañas que conforman el valle, por medio de cuatro pozos agrupados en parejas, de acuerdo a su proximidad y semejanza litológica.

Los pozos 285 y 912 ubicados al NW de Tequisquiapan están constituidos por material granular como conglomerado, arena, grava, arcilla, horizontes ocasionales de material consolidado como basalto y andesita, en espesores de pocos metros. Los pozos 372 y 373, al norte de Tequisquiapan encontraron, toba areno-arcillosa y arena fina interrumpida por una colada de basalto de 17 m de espesor.

Esta unidad se asocia a varios eventos volcánicos de diferente grado de explosividad, que produjeron tanto tobas y coladas de lava.

TIPO III. En esta parte correspondiente al material granular es muy reducida, ocupando la mayor parte roca volcánica. Uno de los tres pozos, que se encuentran en este tipo, se ubica al SW de San Nicolás, precisamente en las elevaciones montañosas que dividen a las dos zonas geohidrológicas; los otros dos pozos se ubican más al sur, cercanos a San Juan del Río.

El primero es el pozo 882, que contiene 24 m de toba y la parte restante está constituida en su parte superior por basalto y después por riolita con horizontes ocasionales de tobas y arena. Al sur de este punto, los otros dos pozos son, uno el 1011 que muestra clara predominancia de rocas ácidas, como riolita y perlita, en tanto que el 776 muestra tanto riolitas como andesitas.

Este tipo se asocia generalmente a coladas muy someras con poca cubierta aluvial, próximas a las laderas de las montañas.

TIPO IV.- Para este se encontró un espesor pequeño de material granular, asentado en material consolidado mayor espesor, sobreyaciendo a un horizonte de material granular. Se encuentra asociado a coladas someras de mayor potencia que cubrieron depósitos lacustres o depósitos de piroclastos en forma de tobas. Se encuentra próximo a aparatos volcánicos mayores, o bien a pequeños lomeríos formados por lavas.

En cuanto a su distribución, se encuentra en la parte NE del poblado de La Estancia; cercana al cerro del Organal; y al NW de Tequisquiapan desde Corral Prieto hasta el SW de la población de La Tortuga.

Se denominó como IVa a la zona que se ubica al NE del Cerro de la Estancia, donde los pozos 1013 y 1016 encontraron una cubierta de aproximadamente 100 m de material granular y después un horizonte de basalto que varía de 10 a 18 m de espesor, para después continuar con tobas; en tanto que el pozo 1248 presentó 28 m de riolita en 160 m de perforación.

La zona del Organal (IVb) contiene los pozos 1027 y 139 que muestran horizontes de andesita.

Al E de la población de Los Cerritos se encuentra la subzona IVc, con el pozo 108 en que a 30 m se encontró un horizonte de 36 m de espesor de basalto.

La zona IVd, al NW de Tequisquiapan se delimitó por medio de los



pozos siguientes: el 946 que ubicó a 106 m, una colada de andesita de 62 m de espesor; el pozo 3/1 con una colada más sencilla, a 21 m de profundidad, siendo su espesor de 12 m, continuando con 54 m de tobas, y como base riolitas; los pozos 91 y 64 encontraron en la perforación, superficialmente, 75 a 80 m de riolitas, interrumpidas por material granular, para encontrar coladas de basalto, limitando este acuífero inferiormente.

TIPO V.-Se encontró en este tipo sólo material granular, sin alcanzarse la base acuífera. Posiblemente debido a la poca profundidad de la perforación o bien por ubicarse en la parte más potente del acuífero. Los pozos en este tipo son los 909, 907, 1024 y 1027 distribuidos en toda el área de estudio. El pozo 909 está constituido por la mayor diversidad de material granular como arena, grava, arcilla, escoria en paquetes que van desde muy delgados hasta casi 6 metros. En los restantes pozos se encontraron paquetes de mayor espesor de tobas lítica, lacustre y punitica.

De lo anterior se concluye que las unidades litológicas presentes en el área, como el materiales granulares, tobas en sus diferentes estructuras y las diferentes rocas volcánicas: basalto, riolita, andesita, pueden presentar diferente comportamiento hidráulico de acuerdo al espesor, posición estratigráfica y rocas adyacentes, por lo que en vez de hablar de unidades hidrogeológicas podrían establecerse zonas hidrogeológicas, en que se distingan las diferentes combinaciones de rocas, que a su vez redundaría en diferentes tipos de acuíferos.

En el Plano II.3 se muestran los tipos de rocas que fueron encontradas en la perforación, que de acuerdo a la disposición pueden conformar diferentes acuíferos puntuales. Se tiene que los hacia la parte norte de Tequisquiapan, los acuíferos tienen por base basaltos y

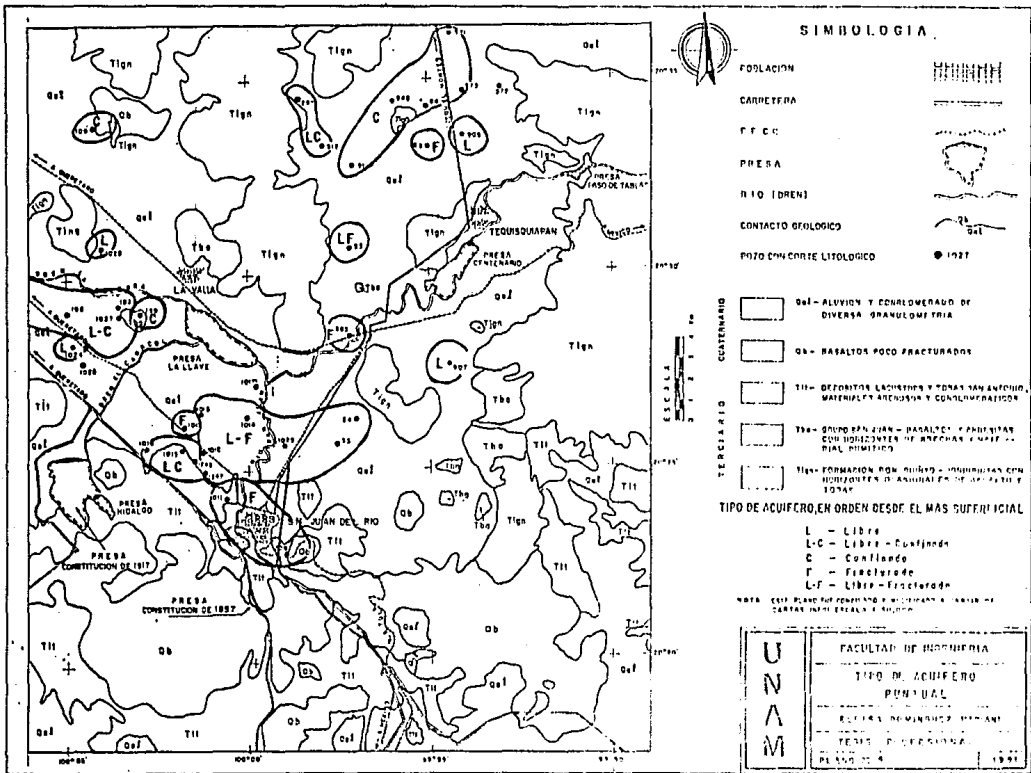


riolita, en este orden desde el más profundo; hacia San Juan del Río se tiene un poco más de variación en cuanto a tipo de roca alcanzada en la perforación. Otro punto de interés es, el gran porcentaje de aprovechamientos que se ubican en basaltos en comparación con los ubicados en rocas intermedias a ácidas, con menor grado de fracturamiento.

Otro punto importante es la posición de los N.E. de acuerdo a la zona supuestamente aportadora y el tramo ranurado de la columna de succión, ya que daría información más aproximada de las unidades explotadas. La clasificación en tipos de acuíferos puntuales, las zonas en que se distribuyen se encuentran en el Plano II.4. No se muestra una distribución regular, sin embargo da idea de las diferentes situaciones encontradas, y que, claro, siguen un patrón respecto a la geología y en consecuencia con lo anteriormente expuesto.

De ésta manera, se puede caracterizar de manera general que existe predominancia de un acuífero formado por material granular y tobas, asentado sobre rocas consolidadas fracturadas que funciona como limitante inferior. Sin embargo existen ciertas zonas en que hay un mayor dominio de roca con permeabilidad secundaria que pueden constituir en sí acuíferos, o bien, éstas rocas se encuentran en combinación con horizontes de tobas o material granular y constituir acuíferos confinados.

De manera general, la parte norte del área, desde la población de Cerritos hasta La Tortuga, presenta diversidad en cuanto a la conformación del subsuelo, donde se encuentran diversos paquetes de rocas tanto como de material granular interestratificados, lo que produce una serie de horizontes acuíferos a nivel local pero que a escala regional se comporta como acuífero libre.



### SIMBOLOGIA

- POBLACION
- CARRRETERA
- F.F.C.C.
- PRESA
- RIO (DREN)
- CONTACTO GEOLOGICO
- FOTO CON CORTE LITOLOGICO

- CUATERNARIO**
- Gsl - ALUVION Y COAGULAMIENTO DE DIVERSA GRANULOMETRIA
  - Ob - BASALTOS POCO FRACTURADOS
- TERCIARIO**
- Tii - DEPOSITOS LACUSTRES Y TORIAS SAN ANTONIO, MATERIALES ARENOSOS Y CONSOLIDADOS
  - Tbe - GRUPO PANAJUA - BASALTOS Y PORFIRITAS CON HORIZONTES DE INTERCALACION DE MATERIAL HIMATITICO
  - Tign - FORMACION PUNAJUA - MUDAS Y ARGILLAS CON HORIZONTES DE INTERCALACION DE TORIAS Y TORIAS

- TIPO DE ACUIFERO, EN ORDEN DESDE EL MAS SUPERFICIAL**
- L - Libre
  - L-C - Libre - Confinedo
  - C - Confinedo
  - F - Fracturado
  - L-F - Libre - Fracturado

NOTA: ESTE PLANO FUE REALIZADO Y CORREGIDO EN EL AÑO DE 1957

|                  |                                    |
|------------------|------------------------------------|
| U<br>N<br>A<br>M | FACULTAD DE INGENIERIA             |
|                  | TIPO DE ACUIFERO                   |
|                  | PUNAJUA                            |
|                  | ELITE DE INGENIEROS DE SAN ANTONIO |
|                  | TEMPO DE EJERCICIO                 |
|                  | PLANO 114 1957                     |

El tener una imagen de como está conformado el acuífero es bastante difícil, debido a la disposición un tanto heterogénea y anisotrópica de las unidades, sin embargo elaboró un esquema que se llevó al papel. Se construyó en base a los cortes litológicos principalmente y simplificando al máximo posible. Se elaboró una configuración en tercera dimensión tomando en cuenta las elevaciones para el basamento rocoso, de manera que, mostrara la configuración del acuífero granular. Este esquema muestra las diferencias en las profundidades que se presentan para el acuífero Figura II.3.

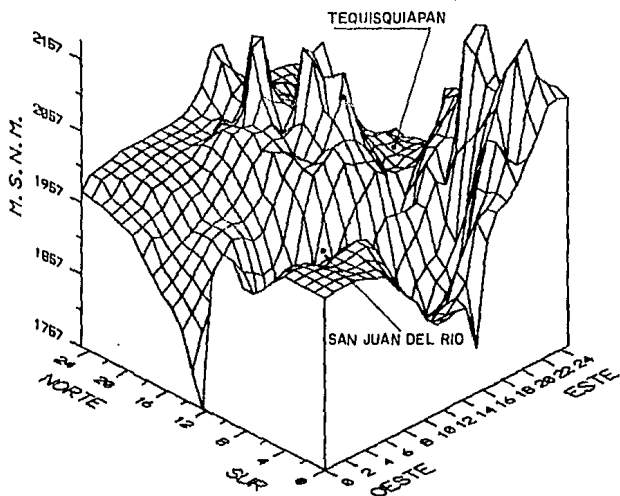
En esta representación se puede observar la diferencia que existe entre los espesores acuíferos existentes entre la zona de San Juan del Río y Tequisquiapan, presentando las mayores al sur, en tanto que el basamento es un tanto más somero hacia la parte norte del área.

Entre los dos valles e incluso dentro de cada uno de ellos se distinguen áreas conformadas diferentemente, lo cual redundo en diferente comportamiento hidráulico y en diferentes caudales obtenidos.

Hablando específicamente de San Juan del Río, la parte central del valle está compuesta por una combinación de depósitos de tobas con coladas de basaltos o riolitas como base; en algunos puntos se encontró sólo tobas y material granular. En otros sitios, sobre todo hacia el NW del área, existen acuíferos confinados por intercalación de basaltos en su mayoría, aunque también se encuentran andesitas y riolitas en menor proporción con material granular. Al sur de la zona, algunos pozos alcanzaron el acuífero compuesto por riolitas fracturadas.

La profundidad alcanzada en los pozos de San Juan del Río se encuentra entre los 97.55 a los 139 m, en el pozo No. 100 en Santa

# BASAMENTO DEL ACUIFERO DE SAN JUAN DEL RIO, QRO.



**U  
N  
A  
M**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**BASAMENTO DEL ACUIFERO DE  
SAN JUAN DEL RIO, QRO.**

**TESIS PROFESIONAL**

**DOMINGUEZ MARIANI ELOISA**

**FIGURA. No. II. 3**

**1991**

Matilde y al 139 en el Organal, respectivamente.

Los mayores caudales se ubican en la zona central donde las tobas y el material granular tienen gran espesor. Estos caudales van de los 107.3 a los 128 lps. Circundando a ésta área se encuentran dos zonas con caudales entre 50 y 95 lps.

En el valle de Tequisquiapan se encuentra diversidad de condiciones, ya que por ejemplo las rocas presentes van de basaltos a riolitas y de manera combinada entre ellas. Por ejemplo, en la parte central del valle, se encuentra toba y material granular, con roca consolidada en la base. Hacia la parte norte existen interestratificaciones, que en conjunto conforman acuíferos confinados; en otros puntos, se encontró sólo roca fracturada o bien sólo material granular, en áreas aparentemente no afectadas por coladas recientes.

En general la profundidad de la perforación en este valle es mayor con respecto a San Juan del Río, a excepción del pozo 83, los demás tienen profundidades de los 82 a los 394 m, presentando como media de los 175 m. En cuanto a los caudales, en la parte central se encuentran en el intervalo de los 23 a los 54 lps y, de 3 a 18 lps en la parte norte del valle.

## CAPITULO III

### APROVECHAMIENTOS HIDRICOS

En este capítulo se hará una descripción tanto de los recursos de agua superficial, que comprenden las fuentes naturales y las obras ingenieriles que se han construido a fin de aprovechar de mejor manera las escorrentías del Río San Juan para el abastecimiento a la agricultura, como el recurso subterráneo, que comprende los pozos que para diversos usos, se han construido.

#### III.1.- DESCRIPCION DE LA CUENCA HIDROLOGICA.

La cuenca del Río San Juan pertenece a la Región Hidrológica No. 26 del Alto Pánuco, comprende una superficie total de 5427 km<sup>2</sup>, de los cuales 3862 km<sup>2</sup> se encuentran en territorio queretano y el resto en los estados de México e Hidalgo. Las coordenadas de localización son los paralelos 19° 02' 08" y 23° 56' 48" de Latitud Norte y los meridianos 97° 43' 51" y 101° 20' 47" de Longitud Este.

Su forma es semejante a un trapezoide, con dimensiones aproximadas entre vértices con direcciones SE-NW Y SW-NE, 108 y 9 km, respectivamente.

El Río San Juan nace en el sureste del estado de México, a partir de la confluencia de los ríos Arroyo Seco y Prieto, donde cambia de nombre, para llamarse de ahí en adelante, Río San Juan.. Cruza el estado de Querétaro, de sur a norte, en el inicio recibe aportaciones de los arroyos Galindo, el Caracol, Escolásticas, la "D" y la "H"; así como un afluente artificial, el Dren La Culebra que descarga las excedencias del Distrito de Riego San Juan del Río (No. 023) a la



altura de la Presa La Llave. Aguas abajo, los arroyos El Ciervo, Cadereyta y Cerro Blanco, ingresan a la altura de Tequisquiapan; finalmente, el río Cerro Hondo se une a 18 km de la confluencia con el río Tula, donde forma el río Moctezuma.

La cuenca del río San Juan colinda al norte con la cuenca del Río Exorax, afluente izquierdo del río Moctezuma; al este limita con la cuenca del río Tula al sur y, al oeste su colindancia es la Región Hidrológica No. 12, denominada Lerma.

Esta cuenca es de gran importancia, ya que la mayor parte de sus recursos son utilizados para las actividades agrícolas del Distrito de Riego antes mencionado.

### III.2.- INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA DEL DISTRITO DE RIEGO.

Aproximadamente el 80% del área de la zona de estudio se encuentra localizada dentro del Distrito de Riego No. 23, San Juan del Río, que tiene en su punto medio  $100^{\circ}06'$  de Longitud Oeste y  $20^{\circ}35'$  de Latitud Norte, con una altitud media de 1,892 msnm. Abarca los municipios de San Juan del Río (8232 Has), Pedro Escobedo (4947 Has), Tequisquiapan (165 Has) y Amealco (56 Has). En total cuenta con una superficie de 11048-048-035 Has, con una superficie regable de 10566-095 Has. Fig. III.1

Los principales aprovechamientos superficiales son:

|                                     | Capacidad $Mm^3$ |
|-------------------------------------|------------------|
| P. Constitución de 1917             | 69.8             |
| P. San Ildelfonso (fuera del área)  | 52.7             |
| P. La Llave                    09.3 |                  |
| Bordo La Venta (fuera del área)     | 07.5             |
| Derivadora Constitución 1857        | <u>00.6</u>      |
| TOTAL                               | 134.9 $Mm^3$     |

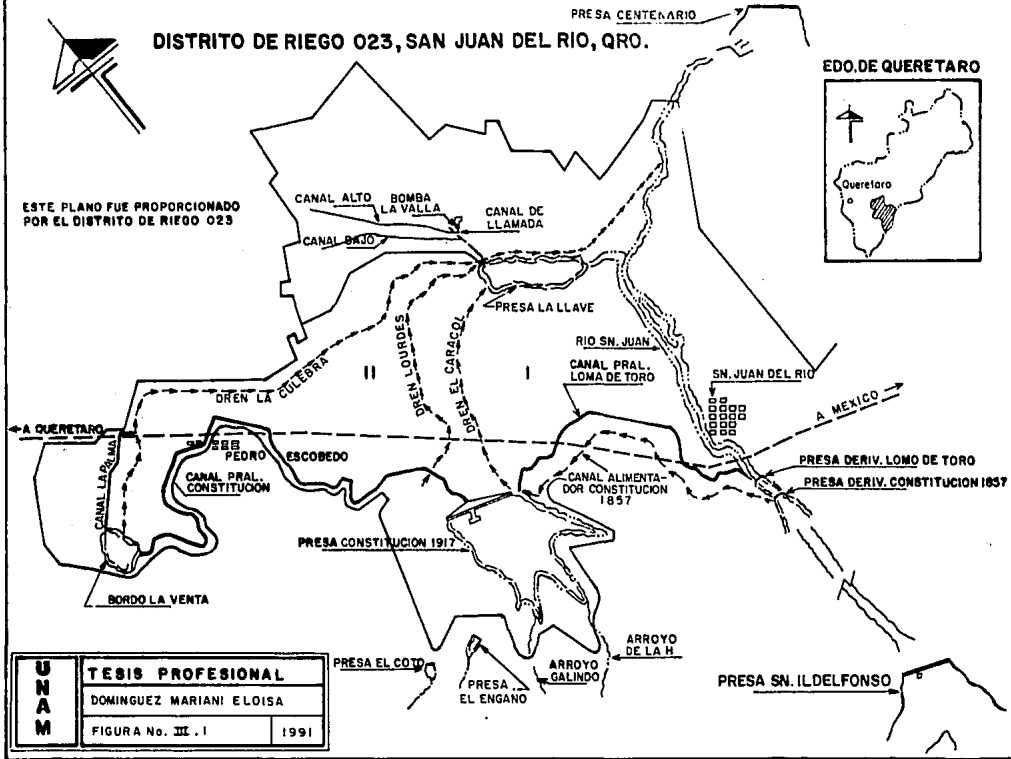
# DISTRITO DE RIEGO 023, SAN JUAN DEL RIO, QRO.

PRESA CENTENARIO

EDO. DE QUERETARO



ESTE PLANO FUE PROPORCIONADO  
POR EL DISTRITO DE RIEGO 023



|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. III . I       | 1991 |

En conjunto tienen la función de regular y almacenar los escurrimientos superficiales del río San Juan que es el dren principal de la cuenca, para posteriormente distribuirse al Distrito de Riego.

En promedio los últimos cinco ciclos agrícolas, han cultivado una extensión de 10417-000 Has por año, con un volumen de riego de 85,063.8 Mm<sup>3</sup>/año, distribuidos por medio de una red de 182.34 km de canales, de los cuales 122.8 km están revestidos.

La red de drenaje, cuenta con 91.650 km de drenes, que tienen una capacidad de 200 m<sup>3</sup>/s. La eficiencia operativa del Distrito de Riego en la utilización del agua es de 60%, mientras que el resto, 40%, se evapora o bien tiende a infiltrarse para recarga del acuífero.

En cuanto al aprovechamiento del recurso subterráneo, el Distrito cuenta con un total de 48 pozos con caudales medios de 100 a 120 lps, de los cuales, 32 se localizan en el área de estudio.

Del volumen total utilizado para el riego, el 97% corresponde a agua superficial y el 3% restante, a agua subterránea. Por lo que surge la necesidad de tratar de mantener en lo mejor posible, la calidad del agua superficial, a fin de no afectar suelos, cobertura vegetal y al acuífero ubicado ahí, que como ya se mencionó recibe aportaciones por medio de los retornos de riego.

Las láminas medias que son utilizadas en el Distrito de Riego, varían de acuerdo al método de riego y al ciclo agrícola para los diferentes cultivos; siendo los más importantes:

| CULTIVO  | METODO DE RIEGO | LAMINA MEDIA CM |
|----------|-----------------|-----------------|
| Trigo    | Melga           | 70.3            |
| Cebada   | "               | 55.0            |
| Avena"   | 35.7            | 37.5            |
| Lenteja" | 20.5            | 20.5            |
| Maíz     | Surco           | 26.3            |
| Sorgo"   | 38.6            | 38.6            |
| Frijol"  | 35.2            | 35.2            |
| Alfalfa  | Melga           | 78.1            |

Existen tres ciclos agrícolas a lo largo del año, que son:

a) Invierno, en que se utiliza el riego para cultivos como avena, forraje, cebada, lenteja, trigo y otros. Ocupa el tercer lugar en el número de hectáreas cosechadas.

b) Primavera, se utiliza el medio riego en cultivos como: chile verde, frijol, maíz, sorgo y otros. Este período, es el segundo en importancia en cuanto al número de hectáreas cosechadas.

c) Primavera, se satisfacen las necesidades del monocultivo, como es el maíz, con lluvias de temporal, ocupando el mayor número de hectáreas cosechadas.

d) Perenne, a base de riego, en cultivos como: alfalfa, frutales, vid, ocupando el menor número de hectáreas cosechadas.

En cuanto al uso de fertilizantes, los más comunes en su uso son agroquímicos como: urea hidrogenada, sulfato de amonio y sulfato de calcio simple y triple, para toda el área de cultivo.

### III.3.- APROVECHAMIENTO Y MANEJO ACTUAL DE LOS RECURSOS HIDRÍCOS.

La zona de estudio comprende parte de dos zonas geohidrológicas, que son San Juan del Río y Tequisquiapan, siendo el límite entre éstas, una línea comprendida entre la presa La Llave y el cerro La Bola.

Se ubican un total de 393 aprovechamientos subterráneos, de los cuales corresponden 170 a Tequisquiapan y 223 a San Juan del Río. Los caudales de operación mínimos son de 0.5 y de 135 lps, como máximo; representando un potencial instalado de  $1477.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual en condiciones óptimas de operación significa una extracción de  $47,285 \text{ Mm}^3/\text{s}$  para San Juan del Río y de  $7,790 \text{ Mm}^3/\text{s}$  para Tequisquiapan. TABLA III.1

Del total de aprovechamientos que son de participación oficial, 57 se encuentran en San Juan del Río y 11 en Tequisquiapan. En tanto que particulares son 166 en San Juan del Río y 159 en Tequisquiapan.

Como ya se mencionó, en la zona de San Juan del Río se asienta el Distrito de Riego No. 023, que cuenta con 48 pozos, de los cuales 37 se ubican en el área, existiendo además 92 de administración privada para el mismo uso. Para la porción de Tequisquiapan existen 53 pozos para actividades agrícolas.

Para uso potable se cuenta con 25 aprovechamientos para San Juan del Río y 11 para Tequisquiapan, dicho abastecimiento comprende a las poblaciones de San Juan del Río, Tequisquiapan, San Pedro Ahuacatlán y San Nicolás. Se tienen 15 aprovechamientos en San Juan del Río y 63 en Tequisquiapan para satisfacer las necesidades de los habitantes de las áreas rurales, en cuanto a usos doméstico y abrevadero.

El abastecimiento para usos industriales, se realiza por medio de

**NUMERO DE APROVECHAMIENTOS POR  
ZONA GEOHIDROLOGICA Y TIPO DE USO**

|                        |              | ZONA GEOHIDROLOGICA |               |       |
|------------------------|--------------|---------------------|---------------|-------|
|                        |              | SAN JUAN DEL RIO    | TEQUISQUIAPAN | TOTAL |
| Nº DE APROVECHAMIENTOS |              | 223                 | 170           | 393   |
| ACTIVOS                |              | 194                 | 129           | 323   |
| INACTIVOS              |              | 29                  | 41            | 70    |
| CAUDAL MINIMO (lps)    |              | 1.5                 |               |       |
| CAUDAL MAXIMO (lps)    |              |                     | 135           |       |
| TIPO DE USO            | RIEGO        | 127                 | 53            | 180   |
|                        | INDUSTRIAL   | 20                  | 1             | 21    |
|                        | AGUA POTABLE | 25                  | 11            | 36    |
|                        | DOMESTICO    | 12                  | 63            | 75    |
|                        | ABREVADERO   | 6                   | 1             | 7     |
|                        | COMBINADO    | 4                   | 0             | 4     |

**TESIS PROFESIONAL  
ELOISA DOMINGUEZ MARIANI**

**TABLA III. 1**

20 pozos en San Juan de Río y uno en Tequisquiapan, que proporcionan el vital líquido a las principales industrias que son petroquímica, papelera, alimenticia, textil, termoeléctrica, metalmeccánica, fertilizantes, química y plásticos.

## CAPTITULO IV

### HIDROLOGIA SUBTERRANEA

El nombre correcto para este capítulo debería ser en realidad solamente hidrogeología, ya que comprende el análisis cualitativo de las unidades geológicas del área. La información que se utilizó proviene de pruebas de bombeo, la Sinopsis Geohidrológica del Estado de Querétaro (SARN, 1988), con la que se cubrió la parte correspondiente a la parte de evaluación geohidrológica y de información piezométrica obtenida por la compañía TPESA.

La evaluación del grado de explotación del acuífero es importante, por un lado, a fin de conocer las características hidráulicas del acuífero con objeto de tenerlas en cuenta para evaluar su potencialidad como fuente de abastecimiento y la vulnerabilidad a la contaminación que en determinado momento pudiera presentar. Como un aspecto a considerar se presenta de manera breve el balance geohidrologógico realizado en 1987.

#### IV.1.- CONFORMACION DEL SISTEMA ACUIFERO.

El tratar de imaginar como se comporta el acuífero, es un tanto complicado, pero se puede tener una idea aproximada en base a varios factores como la medición de los niveles estáticos, la geología local y las características de construcción de los pozos que aprovechan el almacenamiento subterráneo y que han modificado el comportamiento natural del mismo.

El basamento del acuífero local se encuentra a mayor profundidad al NE de San Juan del Río y sur de la Presa de la Llave, donde los



materiales tobáceos y lacustres alcanzan los máximos espesores. En la zona cercana a San Juan del Río, la cobertura granular es más delgada y el material volcánico se encuentra más somero. Hacia la parte norte del área, en las poblaciones de San Clemente, los Cerritos y sobre todo la región al norte de Tequisquiapan, abundan las intercalaciones de material tobáceo y granular con coladas locales de material basáltico principalmente, aunque se presentan en algunos casos riolita o bien alternantes de estos dos materiales, con espesores variables.

Se considera que el acuífero se encuentra asentado en los paquetes de tobas y de material lacustre, con distribución anisótropa respecto a valores de conductividad hidráulica, debido a la presencia de horizontes de diferente compacidad, encontrándose bien consolidado en algunas zonas o solamente como un depósito.

Esta distribución de permeabilidad provoca que localmente presente condiciones de confinamiento, sin embargo, actúa como una sola unidad para tiempos largos de explotación mediante el "vaciado" uniforme del almacenamiento. Si además se considera que en la zona superficial y más fracturada del material volcánico, se tiene flujo vertical hacia el material granular, produciéndose una comunicación hidráulica entre el material granular y la roca volcánica, así como también flujo lateral, se considera que a escala regional se comporta como acuífero libre.

#### IV.2.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL ACUIFERO

La distribución de valores para la conductividad hidráulica, refleja la facilidad que tiene una determinada formación geológica para el almacenamiento y la transmisividad del agua subterránea. Para el área, en específico no fué posible contar con una buena cantidad de valores de transmisividad, que junto con la estimación de espesores

permitirán obtener los valores de conductividad requeridos.

Sin embargo, se consideró el parámetro caudal específico ( $Q_e$ ), que fue obtenido de pruebas de bombeo sin interpretar, realizadas en la zona, (Tabla IV. 1) como una aproximación de la transmisividad, aunque con ciertas reservas, debido a que pueden estar influidas por pérdidas del pozo por efecto de una malconstrucción, ineficiencia electromecánica, penetración parcial en la formación, etc.

La distribución de las características hidráulicas en la zona se presenta en el plano IV.1, en el cual se observa cierta zonificación para los caudales específicos, que es correlacionable con la distribución de la transmisividad y la conductividad hidráulica. Los valores menores de  $Q_e$  ( $< 10$  lps/m), se encuentran hacia los flancos del valle de San Juan del Río; ubicando los mayores ( $> 100$  lps/m) al centro, donde se encuentran los mayores espesores de material granular.

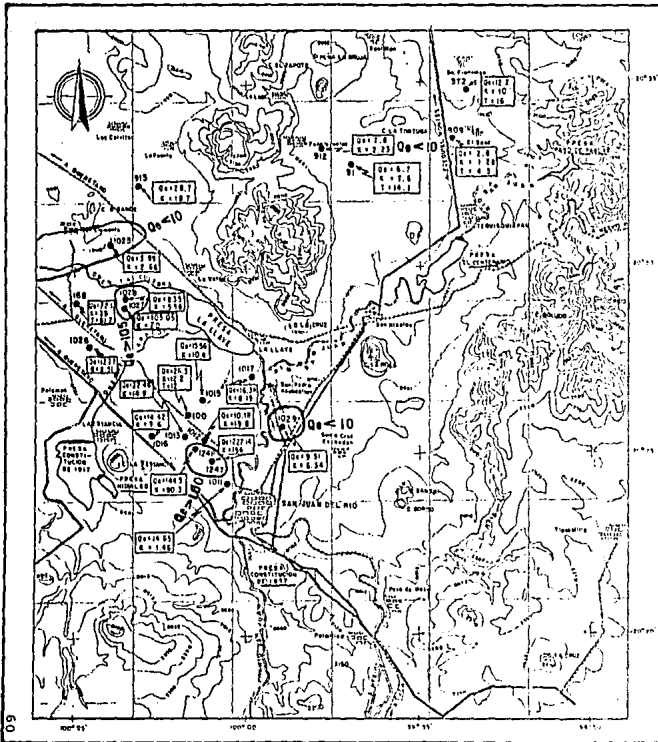
El rango de transmisividad se encuentra entre los valores de  $5.56 \times 10^{-9}$  a  $9.6 \times 10^{-5}$   $m^2/s$ , que se consideran como de muy bajas a bajas y que son un reflejo de la relación que existe con la proporción de arena y arcilla, que es variable en cualquiera de las tres dimensiones del acuífero.

Otro factor en función de las características hidráulicas del acuífero, es el caudal obtenido y que corrobora, la existencia de mayores espesores de acuífero, con los mayores valores para la conductividad hidráulica y los mayores gastos, que en este caso son mayores a 100 lps. y que en términos generales van de 3 a 128 lps  
Plano IV.2.

RESUMEN DE PRUEBAS DE BOMBEO  
ZONA DE SAN JUAN DEL REC. CUMPECARO

TABLA IV.1

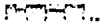
| POZO No. | MALLA No. | CAUDAL (lps) | N.E. (m) | N.D. (m) | Qe (lps/m) | DURACION (Hrs) |        | TRANSMISIVIDAD(m <sup>2</sup> /s x 10 <sup>3</sup> ) |        |        | FECHA D/A/A |
|----------|-----------|--------------|----------|----------|------------|----------------|--------|--|--------|--------|-------------|
|          |           |              |          |          |            | ABAT.          | RECUP. | ABAT.  | RECUP. | PROM.  |             |
| 1011     | GB        | 65.20        | 73.75    | 78.20    | 14.65      |                |        |  |        |        | 1989        |
| 93       | 7F        | 21.00        | 72.95    | 91.88    | 1.109      | 4              | 2.5    | 1.01   | 6.4    | 3.705  | 11/05/83    |
| 1247     | GB        | 79.50        | 45.05    | 45.40    | 227.14     |                |        |  |        |        | 1989        |
| 91       | 9E        | 60.14        | 52.50    | 61.50    | 6.682      |                |        |  |        | 14.100 |             |
| 100      | 8F        | 130.00       | 18.05    | 22.99    | 26.315     |                |        |  |        | 12.000 |             |
| 148      | 8F        | 118.00       | 22.13    | 23.66    | 77.124     |                |        |  |        | 61.700 |             |
| 909      | 10E       | 41.00        | 35.64    | 50.37    | 2.790      |                |        |  |        | 4.550  |             |
| 912      | 10E       | 53.70        | 55.30    | 62.15    | 7.840      | 4              | 2.0    |  |        |        | 31/10/85    |
| 913      | 8E        | 100.00       | 37.55    | 41.09    | 28.748     |                |        |  |        |        |             |
| 1013     | 8F        | 79.50        | 43.70    | 47.24    | 22.46      |                |        |  |        |        | 1939        |
| 1015     | 8F        | 135.10       | 24.55    | 33.23    | 15.56      |                |        |  |        |        | 1989        |
| 372      | 10E       | 44.58        | 82.91    | 86.56    | 12.210     | 4              |        |  |        | 16.000 |             |
| 1016     | 8F        | 115.20       | 43.16    | 51.15    | 14.42      |                |        |  |        |        |             |
| 1017     | 9F        | 107.30       | 23.80    | 30.35    | 16.38      |                |        |  |        |        |             |
| 1026     | 8F        | 83.50        | 29.30    | 35.84    | 12.77      |                |        |  |        |        |             |
| 1025     | 8E        | 61.00        | 45.61    | 60.90    | 3.99       |                |        |  |        |        |             |
| 1028     | 8F        | 83.50        | 38.90    | 39.00    | 835        |                |        |  |        |        |             |
| 1248     | 8G        | 79.50        | 45.50    | 46.05    | 144.54     |                |        |  |        |        |             |
| 1029     | 9F        | 71.50        | 33.98    | 41.50    | 9.51       |                |        |  |        |        |             |
| 1012     | 8F        | 128.20       | 45.05    | 85.40    | 3.18       |                |        |  |        |        |             |
| 1027     | 8F        | 111.30       | 28.38    | 34.63    | 105.05     |                |        |  |        |        |             |



**SIMBOLOGIA**

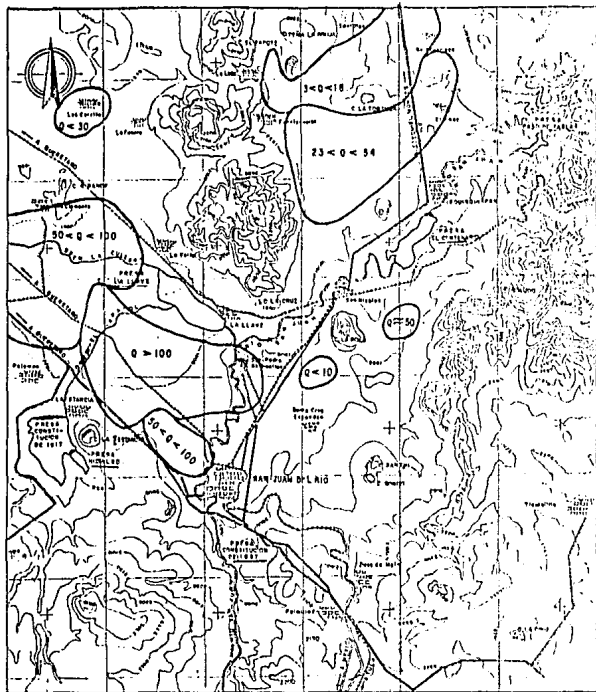
- POBLACION
  - CARRETERA
  - CAMINO DE ACCESO
  - FFCC
  - PRESA
  - RIO
  - CURVA DE NIVEL
  - POZO
- $Q_e$  = Caudal específico en lps/m  
 $K$  = Conductividad hidráulica  $\times 10^{-5}$   
 $T$  = Transmisibilidad  $\times 10^{-3} m^2/l$

**ESCALA**



|      |   |
|------|---|
| MANU | FACULTAD DE INGENIERIA                      |
|      | CARACTERISTICAS HIDRAULICAS<br>DEL ACUIFERO |
|      | ELCISA DOMINGUEZ MARIANI                    |
|      | TESIS PROFESIONAL                           |

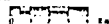
NOTA: ESTE PLANO FUE FUNDADO EN LA CARTA DE CARTAS INEGI, ESCALA 1:50,000



### SIMBOLOGIA

|   |  |
|---|--|
| POBLACION                                   |  |
| CARPETERA                                   |  |
| CAMINO DE ACCESO                            |  |
| FFCC  |  |
| PRESA                                       |  |
| RIO   |  |
| CIENAGA DE NIVEL                            |  |
| GRUPOS DE POZOS CON GASTOS MENORES A 10 LPS |  |

### ESCALA



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

DISTRIBUCION  
DE  
GASTOS

ELCISA DOMÍNGUEZ MARIANI  
INGENIERA PROFESIONAL

NOTA ESTE PLANO FUE CUMPLIDO A PARTIR DE UN PLAN IMPAL, ESCALA 1:50,000

### IV.3.- FUNCIONAMIENTO GEOHIDROLÓGICO

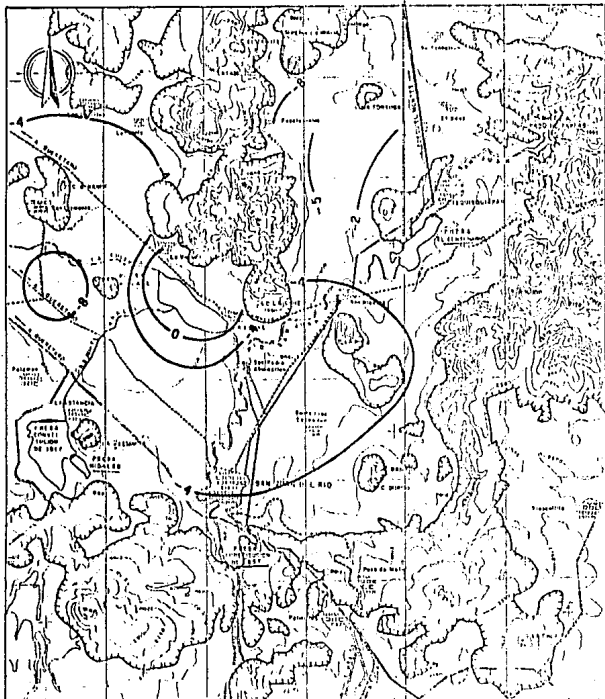
Originalmente, el movimiento del flujo subterráneo obedecía a patrones creados por la propia cuenca hidrológica del Río San Juan, pero debido a la explotación localizada y excesiva de los mantos acuíferos, este curso se fue modificado hasta formar en la actualidad conos de abatimiento de gran dimensión, como los que se localizan en la ciudad de San Juan del Río y al norte de Tequisquiapan. Todo esto trae consecuencias como el descenso en los niveles de bombeo y la desaparición de manantiales, algunos de ellos termales, además de la inutilización de multitud de norias para uso doméstico.

La superficie piezométrica regional se profundiza año con año, y aún más en época de estiaje, teniendo descensos de 15 m en la parte central del valle para el periodo 1970-1990, Plano IV.3; para el periodo de 1987 a 1990 se registra una tendencia similar, acentuando conos de abatimiento en San Juan del Río y hacia el NE de Tequisquiapan, con valores de -8 m y con una envolvente de -4 m. Plano IV.4

Las profundidades al nivel estático, en el año de 1987, (Plano IV.5) se localizan entre los valores de 10 a 50 m en el área ocupada por el riego, al parecer ésta actividad "suaviza" los efectos ocasionados por el bombeo al tenerse un retorno al acuífero de volúmenes de sobreriego. Para el área de Tequisquiapan se llega a profundidades de 70 m.

Las elevaciones del nivel estático registradas en el año 1987 muestran que, el río San Juan a pesar de no tener un escurrimiento importante sigue actuando como recarga de manera subsuperficial, esto es, ingresan al acuífero a través de los subálveos escurrimientos desde la zona sureña; otra fuente de recarga es la Presa La Llave y las elevaciones montañosas ubicadas al norte. A partir de estos dos



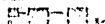


### SIMBOLOGIA

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| POBLACION                            |  |
| CARRERA                              |  |
| CAMINO DE ACCESO                     |  |
| FFCC                                 |  |
| PRESA                                |  |
| RIO                                  |  |
| CURVA DE NIVEL                       |  |
| TRONCALIA NIEMENBLE                  |  |
| ISOLINEA DE EVOLUCION<br>(en metros) |  |

NOTA: Tomada de la Sinopsis Geohidrológica,  
SARH, 1900

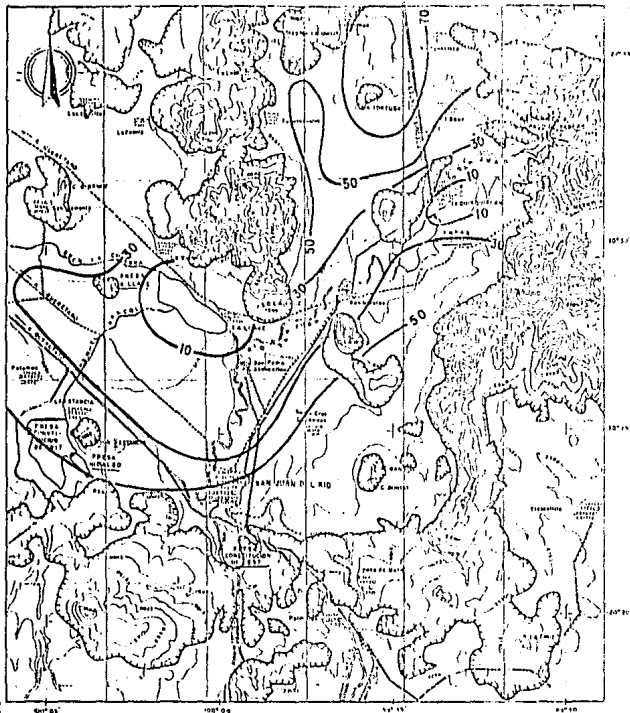
ESCALA



|   |  |
|---|--|
| U<br>N<br>I<br>V<br>E<br>R<br>S<br>I<br>D<br>A<br>D | FACULTAD DE INGENIERIA                         |
|   | EVOLUCION DEL NIVEL ESTADICO<br>1907 - 1990    |
|   | ELICISA DOMINGUEZ MARTANI<br>TESIS PROFESIONAL |

MEMORIA DE LA EVOLUCION DEL NIVEL ESTADICO DEL RIO...  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE OBRAS DE ARTES



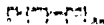


### SIMBOLOGIA

|   |  |
|---|--|
| POBLACION                                 |  |
| CARRETERA                                 |  |
| CAMINO DE ACCESO                          |  |
| FFCC                                      |  |
| PRESA                                     |  |
| RIO                                       |  |
| CURVA DE NIVEL                            |  |
| FRONTERA INTERMUNICIPAL                   |  |
| ISOLINEA DE PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO |  |

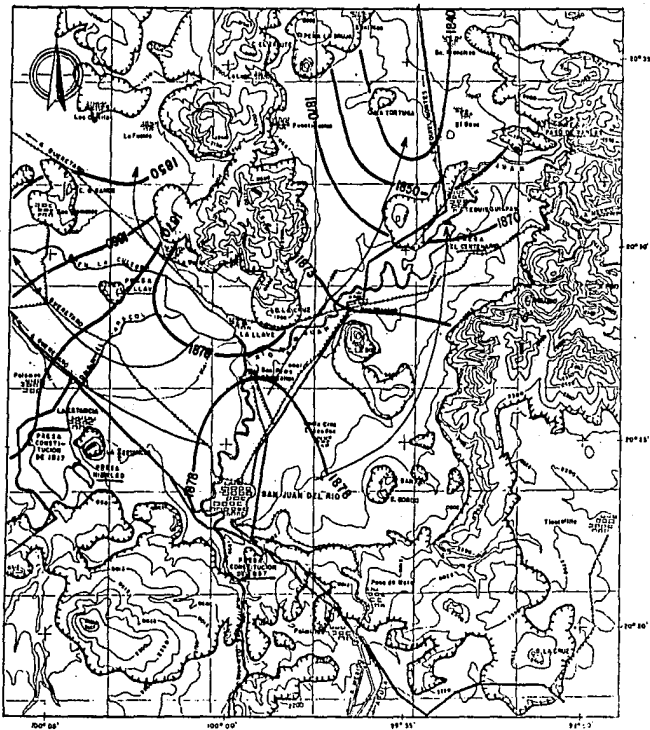
NOTA: Tomado de la Simposio Geomorfología,  
SARH, 1988

ESCALA



|   |   |
|---|---|
| U<br>N<br>I<br>V<br>E<br>R<br>S<br>I<br>D<br>A<br>D<br>E<br>L<br>M<br>A<br>N<br>U<br>E<br>L<br>B<br>A<br>S<br>T<br>I<br>A<br>N<br>O | FACULTAD DE INGENIERIA                                |
|   | PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO<br>1987                 |
|   | ELOISA DOMÍNGUEZ HERRERA<br>TESIS PROFESIONAL<br>1987 |

NOTA: ESTE ES UN MAPA SIMPOSIO DE LA COMISIÓN  
DE CARTAS GEOGRÁFICAS, SERNATUR



### SIMBOLOGIA

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| POBLACION                          |      |
| CARRETERA                          |      |
| CAMINO DE ACCESO                   |      |
| FFCC                               |      |
| PRESA                              |      |
| RIO                                |      |
| CURVA DE NIVEL                     |      |
| FRONTERA IMPERMEABLE               |      |
| ISOPIEZA<br>(en metros)            | 1850 |
| DIRECCION DEL FLUJO<br>SUBTERRANEO |      |

NOTA: Tomado de la Sinopsis Geohidrológica del Estado de Querétaro, SARH 1988.

ESCALA



|      |                                     |
|------|-------------------------------------|
| MANU | <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>       |
|      | <b>ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO</b> |
|      | <b>1987</b>                         |
|      | <b>ELOISA DOMINGUEZ MARIANI</b>     |
|      | <b>TESIS PROFESIONAL</b>            |
|      | 1987 PLANO 22.5                     |

NOTA: ESTE PLANO FUE COMPILADO A PARTIR DE CARTAS INEGI, ESCALA 1:50,000

puntos el flujo se divide tanto hacia Tequisquiapan, donde se tiene un cono de abatimiento, como hacia el NE de San Juan del Río. Plano IV.6.

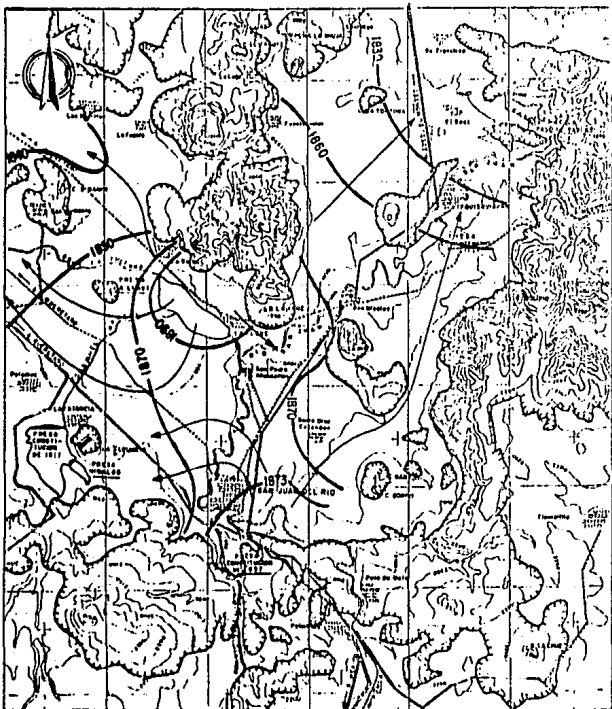
Para el año de 1990 el comportamiento del flujo subterráneo es bastante similar, con la diferencia de que los valores registrados en las equipotenciales son un tanto menores. Con excepción de la zona de Presa La Llave donde incluso las elevaciones son un tanto mayores.

La relación que existe entre río-acuífero no es muy evidente, ya que la superficie freática se encuentra a profundidades que la hacen un tanto independiente de la influencia de recarga proveniente del río, pero de acuerdo a los materiales de que está constituido el acuífero existen aportaciones desde el cauce y en toda la superficie del valle. El ingreso al acuífero de escurrimientos es vía subálveos, y está en función de las precipitaciones registradas en el año.

La infiltración al acuífero en las zonas montañosas, se inicia cuando los escurrimientos penetran a través de las fracturas en las rocas consolidadas y logran llegar a los depósitos piroclásticos, los que al tener diferentes características hidráulicas, ofrecen diversas rutas y diferentes tiempos de llegada a la parte profunda del acuífero. Las dos presas mayores del Distrito, que son la Presa Constitución de 1917 y la Presa La Llave, son también fuente de recarga, que incluso muestra mayor independencia de los efectos climáticos, que la que se produce por escurrimientos derivados de la precipitación.

#### IV.4.- BALANCE GEOHIDROLÓGICO

Las más recientes estimaciones del balance geohidrológico se encuentran en la Sinopsis Geohidrológica de Querétaro (1987), así como la ponderación de los factores que componen la recarga, así como la

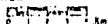


### SIMBOLOGIA

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| POBLACION                          |  |
| CARRERA                            |  |
| CAMINO DE ACCESO                   |  |
| FFCC                               |  |
| PRESA                              |  |
| RIO                                |  |
| CURVA DE NIVEL                     |  |
| FRONTERA INTERNACIONAL             |  |
| ISOPIEZA<br>(en m s n m)           |  |
| DIRECCION DEL FLUJO<br>SUBTERRANEO |  |

NOTA: Plano elaborado con informacion proporcionada por la Compañia IPESA.

ESCALA



|      |   |
|------|---|
| UNAM | FACULTAD DE INGENIERIA  |
|      | ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO  |
|      | FEB. 1990   |
|      | ELOISA DOMINGUEZ MARIANI<br>TESIS PROFESIONAL<br>19 91   PÁGINA 37, 7 |

NOTA: ESTE PLANO FUE COMPILADO A PARTIR DE CARTAS INEGI, ESCALA 1:50,000

descarga de los acuíferos. Se ha considerado que, como componente principal de la primera se encuentra la infiltración de las precipitaciones, principalmente la ocurrida en las montañas, le siguen en importancia la que se lleva a cabo en cauces, retorno de riego y la infiltración de aguas residuales.

La descarga se efectúa principalmente por efecto del bombeo, además de factores naturales como la evapotranspiración, así como la salida de escurrimientos del río San Juan.

Para el año de 1987, de acuerdo a la Sinopsis Geohidrológica en la cuenca del Río San Juan se tuvo una recarga total de 405  $Mm^3$ , que comprenden 298 por infiltración y 107 por influencia de actividades antropógenas, como son el riego, descargas industriales y pérdidas de tuberías.

La descarga del acuífero fue 539  $Mm^3$ , de los cuales 537 se efectúan por bombeo y 2  $Mm^3$  por escurrimientos y evapotranspiración. Al tener que las salidas del acuífero superan a la recarga registrada, se tiene como consecuencia que 134  $Mm^3$  se tomaran del almacenamiento subterráneo, lo que produce fuertes abatimientos que se extienden en tres dimensiones, provoca inutilización de pozos e incremento de los costos de producción.

PODRÍA BAILAR EN UN TABLADO DE AGUA  
SIN QUE SU PIE LA TURBASE,  
SIN QUE LA LASTIMARA EL AGUA.  
NO EN EL AIRE,  
QUE AL FIN ES HUMANO EL ANGEL QUE BAILA,  
!NO, EN EL AIRE NO PODRIA  
PERO SI EN EL AGUA!

AUTOR DESCONOCIDO

## CAPITULO V

### ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

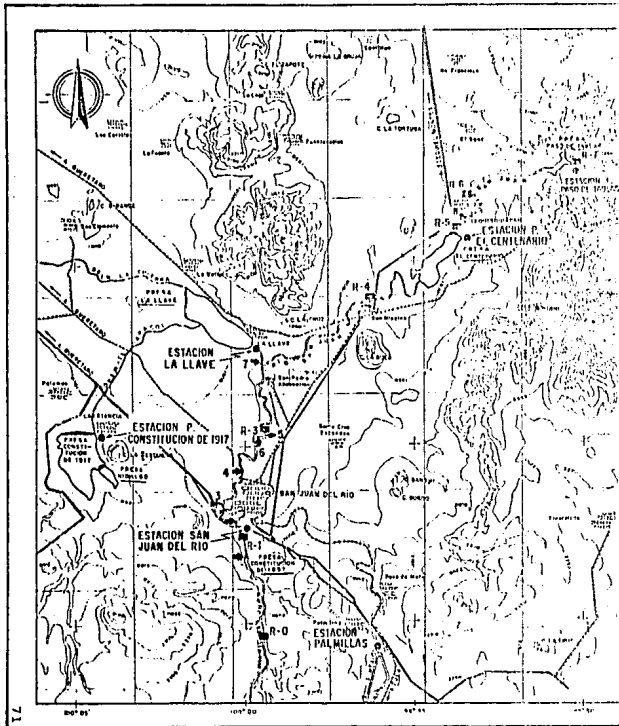
Un factor potencial para la contaminación del agua subterránea, es la descarga en superficie de efluentes industriales en el cauce de los ríos, como es el caso específico de la zona de estudio. Por esto se evaluará en el presente capítulo, la calidad de los principales efluentes existentes en el área, ya que de la concentración de esta fuente difusa de contaminación, se puede estimar la carga contaminante en peligro de infiltrarse al acuífero.

La existencia del corredor industrial de San Juan del Río ha traído consigo la descarga de cierta cantidad de materiales de desecho, que al ser vertidos en el suelo, al aire y al río producen deterioro al medio ambiente.

La Gerencia Estatal de la CNA en el estado de Querétaro ha venido realizando análisis químicos aplicados en siete puntos específicos del río San Juan, denominados estaciones de monitoreo, (Plano V.1) con una periodicidad de dos a cuatro veces al año. La ubicación de estos puntos tiene que ver, con la densidad de actividades económicas o bien, los centros de población más importantes. De aquí en adelante se hablará de estas estaciones por su nombre, el cual consiste de una "R" seguida por un guión y un número.

#### V.1 ANALISIS CLIMATICO

Un factor de gran importancia para la concentración, infiltración y permanencia en superficie de contaminantes, es el clima imperante en la región, y un componente importante a analizar es la precipitación. En el presente inciso se analizarán varias cuestiones como son:



### SIMBOLOGIA

|                        |  |
|------------------------|--|
| POBLACION              |  |
| CARRETERA              |  |
| CAMINO DE ACCESO       |  |
| FFCC                   |  |
| PRESA                  |  |
| RIO                    |  |
| CURVA DE NIVEL         |  |
| ESTACION CLIMATOLOGICA |  |
| ESTACION DE MONITOREO  |  |
| DESCARGAS MUNICIPALES  |  |

ESCALA



UNAM

**FACULTAD DE INGENIERIA**

UBICACION DE ESTACIONES DE MONITOREO, CLIMATOLOGICAS Y SITIOS DE DESCARGAS INDUSTRIALES

*ELICISA DOMINGUEZ BARRIANI*

TESIS PROFESIONAL

NOTA: TITULO DE LA OBRA Y DEL COMPLETO NOMBRE DEL AUTOR DE CADA UNO DE ELLOS, EN CASO DE SER VARIOS.



a).- La distribución en el tiempo, esto es las variaciones de la precipitación a lo largo del año y a través del período para el cual se hace el presente trabajo.

b).- La cuantía de las lluvias, parte potencial de las infiltraciones que integran parte de la recarga del acuífero.

c).- La distribución en el espacio que destacan las zonas potenciales de recarga.

d).- La cantidad de lluvia que se presenta como lluvias torrenciales dentro de un determinado mes del año, proporciona una idea de la velocidad y distribución de la infiltración y el posible lavado de los suelos con cada época de lluvia.

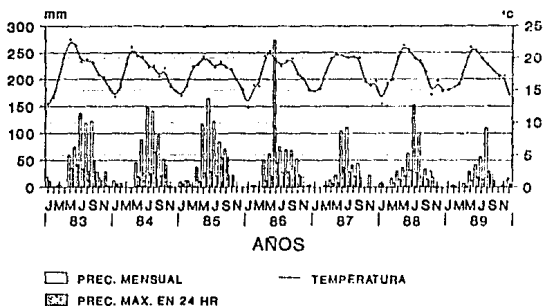
La información disponible para las estaciones climatológicas del área abarca el período de 1903-1987, en el que se realizó un análisis un tanto más detallado. (Plano V.1)

En términos generales, la época de lluvia se ubica en los meses de junio-julio a septiembre-octubre, siendo agosto el mes más lluvioso, sin presentarse precipitaciones en época invernal. Las lluvias se presentan cuando las máximas temperaturas ya han pasado, lo cual ocurre en los meses de abril-mayo (Figs. V.1 a V.3).

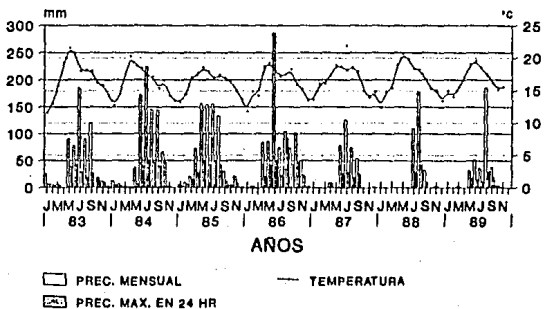
Esto trae como consecuencia que, para el cauce del río San Juan, durante la época de sequía los contaminantes se mantengan en él, hasta que la lluvia los diluye nuevamente y pasan al subsuelo. En los meses fríos y secos se encuentran en mayor concentración hasta el siguiente cambio de estación.

Se presentan algunas lluvias torrenciales esporádicas, que ocasionan escurrimientos que van a dar a corrientes o a las zonas topográficamente más bajas, donde se concentran pequeños cuerpos de

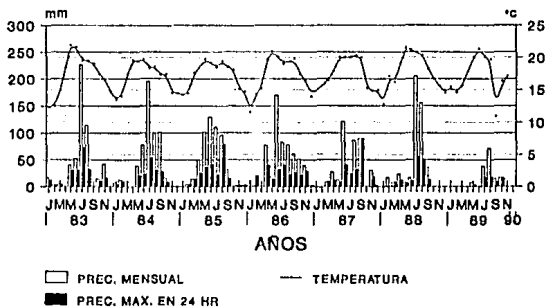
**ESTACION SAN JUAN DEL RIO**  
**PRECIPITACION MENSUAL**  
**TEMPERATURA MEDIA MENSUAL**



**ESTACION PALMILLAS**  
**PRECIPITACION MENSUAL**  
**TEMPERATURA MEDIA MENSUAL**



**ESTACION PRESA LA LLAVE  
PRECIPITACION MENSUAL Y  
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL**



**ESTACION PRESA CONSTITUCION DE 1917  
PRECIPITACION MENSUAL  
Y TEMPERATURA MEDIA MENSUAL**

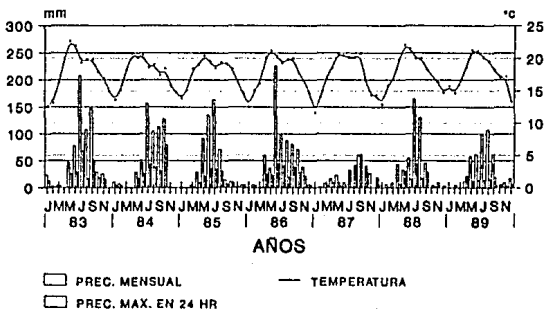
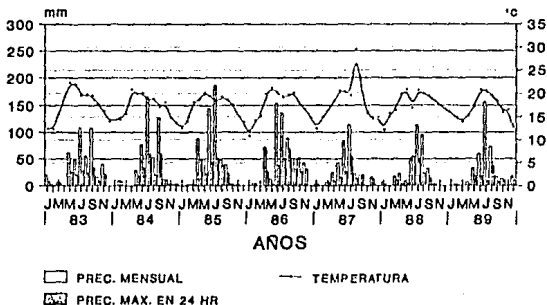
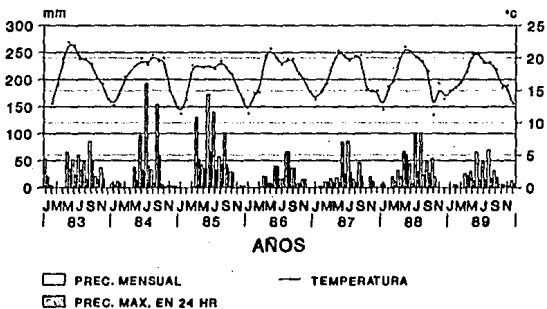


FIG. V. 2

**ESTACION PRESA CENTENARIO**  
**PRECIPITACION MENSUAL Y**  
**TEMPERATURA MEDIA MENSUAL**



**ESTACION PRESA PASO DE TABLAS**  
**PRECIPITACION MENSUAL**  
**Y TEMPERATURA MEDIA MENSUAL**



agua estancada esperando infiltrarse. Al tener la precipitación una regular distribución a lo largo de la época de lluvias, se fomenta también la continua y regular infiltración a lo largo del tiempo.

En cuanto a la precipitación anual, se tiene que en los años 1967 y 1987 se tienen bajas precipitaciones para el área en general, con un periodo de recuperación de lluvias más abundantes de 1983 a 1986 en la mayoría de las estaciones. En la zona sur, en 1988 y 1989 se presenta un poco más de precipitación (Fig. V.4). Mientras que en las otras cuatro estaciones el comportamiento es fluctuante (Fig. V.5 y 6). Las estaciones que registraron las más altas precipitaciones fueron San Juan del Río, Palmillas y P. Centenario, por arriba de los 600 mm.

Como ya se indicó, la zona sur, que corresponde a San Juan del Río presenta las más altas precipitaciones, descendiendo en valor hacia el norte, así como presentarse con regularidad. Esto es favorable para la zona de recarga natural más importante del acuífero.

## V.2 DESCARGAS DE AGUAS SUPERFICIALES Y ESTACIONES DE MONITOREO

Es una práctica común el que las industrias establecidas en una región descarguen las aguas de desecho en alguna vía, como es un río, el mar, el drenaje o alguna depresión donde lentamente se infiltren o se desequen.

Es el caso de la zona industrial de San Juan del Río, donde hasta hace pocos años se descargaba el agua de desecho, sin tratamiento mínimo, en el río, en los drenes del distrito de riego y en la Presa Constitución de 1857.

Esto poco ha disminuído, debido a la nueva "Legislación General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente" aplicada por

### PRECIPITACION ANUAL

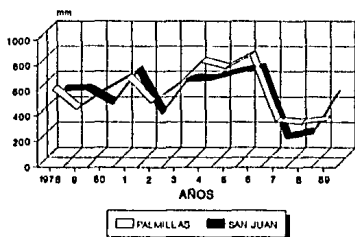


FIG. X.4

### PRECIPITACION ANUAL

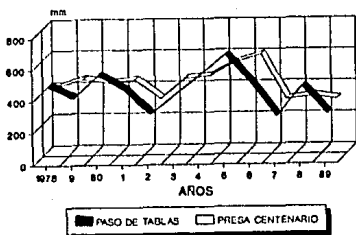


FIG. X.5

### PRECIPITACION ANUAL

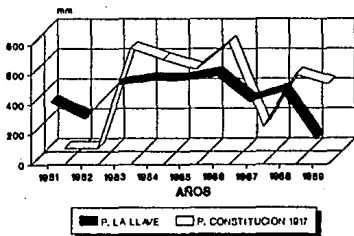


FIG. X.6

SEDUE, que tiene como uno de sus propósitos vigilar la calidad de los efluentes industriales, así como, el aumento en las tarifas por consumo de agua para uso industrial.

Las empresas que se encuentran en el área son principalmente del ramo de la transformación y comprenden: metal-mecánicas, papeleras, fertilizantes, alimenticia. Como se indicó antes, ha habido un cambio en cuanto a la calidad y número de las descargas, ya que algunas de las compañías han establecido plantas de tratamiento o bien canalizan sus descargas al drenaje municipal. Las aguas ya tratadas se descargan en el río, o se distribuyen entre ejidatarios para el riego de parcelas o bien se recicla al proceso.

Lo anterior se observa en la disminución de los volúmenes de descarga para algunas compañías en 1990, asentados en la siguiente tabla. En la Tabla V.1., se encuentra la distribución en cuanto al volumen en 1988, se incluye además información sobre algunas tomas domiciliarias existentes en las riberas del río:

|                   |          |                |
|-------------------|----------|----------------|
| Kimberly Clark    | 170 lps  | Papelera       |
| Pitsa San Juan    | 146 lps  | Textil         |
| Papeles Ponderosa | 38 lps   | Papelera       |
| Aspermex          | 1 lps    | Metal-mecánica |
| Conducel          | 0.70 lps | Metal-mecánica |
| Durcomex          | 0.03 lps | Metal-mecánica |
| Aroquim           |          | Química        |

Además descargan:

|  |        |
|--|--------|
| Al canal principal la Termoeléctrica El Sauz | 15 lps |
| Al Dren La Culebra, Quimproc (ahora Quest)   | 5 lps  |

Estas son las descargas más conocidas, aunque por otra parte existen descargas municipales menores, además de multitud de descargas

# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

## DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES Y APROVECHAMIENTOS OCESITICJE EN EL RIO SAN JUAN (1988)

| MARGEN | DISTANCIA | NOMBRE                                       | FUNCION   | Q      | VMQ <sup>2</sup> |
|--------|-----------|--|---|--------|------------------|
|        | 0.00      | R-0  | ESTACION DE MONITOREO   |        |                  |
|        | 14.4      | PRESA DERIVADORA CONSTITUCION DE 1957        | RIEGO   |        | ,50              |
| MO     |           | KIMBERLY CLARK                               | DESCARGA  | 260    |                  |
| MI     | 9.3       | TEXTIL PITSA SAN JUAN                        | DESCARGA  | 125,00 |                  |
| MR     |           | MACEDONIO GUTIERREZ<br>SERAFIN SUAREZ        | APROVECHAMIENTOS  | 11,60  |                  |
|        |           | R-1  | ESTACION DE MONITOREO   |        |                  |
|        |           | FRANCISCO HERRERA                            | APROVECHAMIENTO   |        |                  |
| MI     |           | GASOLINERIA LA VENTA                         | DESCARGA  | ,40    |                  |
| MI     |           | QUESOS SAN JUAN                              | DESCARGA  | ,80    |                  |
| MI     |           | GENARO RIOS                                  | APROVECHAMIENTO   | 12,00  |                  |
| MO     | 3.1       | COLECTOR MUNICIPAL                           | DESCARGA  | 104,10 |                  |
| MO     | 0.6       | FRACC. INDUSTRIAL VALLE DE ORD.              | DESCARGA  | ,75    |                  |
| MO     | 0.1       | PAPELES PONDEROSA, S.A.                      | DESCARGA  | 76     |                  |
|        |           | R-3  | ESTACION DE MONITOREO   |        |                  |
| MO     | 1.60      | FRACC. SAN JUAN DEL RIO                      | DESCARGA  | ,90    |                  |
|        |           | SAN PEDRO AHJACATLAN                         | 2 DESCARGAS   | 4,30   |                  |
| MO     |           | EJIDO VIXTHA                                 | APROVECHAMIENTO   | 60     |                  |
|        |           | INDUSTRIA QUIMFROC                           | DESCARGA  |        |                  |
| MI     | 6.9       | DREN LA CULEBRA Y AROMATICOS Y PETROQUIMICOS | DESCARGA DE EXCEDENTES DEL DISTRITO DE RIEGO 001 Y DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL | 20     |                  |
|        |           | EJIDO SAN NICOLAS                            | APROVECHAMIENTO   | 30     |                  |
|        |           | GUSTAVO PEREZ                                | APROVECHAMIENTO   | 11     |                  |
|        |           | R-4  | ESTACION DE MONITOREO   |        |                  |
|        | 7.3       | PRESA CENTENARIO                             |   |        | 25               |
|        |           | R-5  |   |        |                  |
|        |           | TEQUISQUIAPAN                                | 6 DESCARGAS   | 36,60  |                  |
|        |           | BALNEARIO                                    | DESCARGA  | 10     |                  |
|        |           | MUNICIPIO Y RASTRO                           | DESCARGA  | 16     |                  |
|        |           | FRACC. CLUB DE GOLF TEQUISQUIQUIAPAN         | DESCARGA  | 6      |                  |
|        |           | R-6  | ESTACION DE MONITOREO   | 1,10   |                  |
|        | 6.1       | PRESA PASO DE TABLAS                         | RIEGO   |        | ,60              |
|        |           | R-7  |   |        |                  |

TESIS PROFESIONAL  
ELOISA DOMINGUEZ MARIANI, 1991

TABLA V.1



domésticas que no pueden ser "mapeadas".

Un diagrama simplificado de las descargas actuales se ubica en la Fig. V.7, en el que se observan las descargas además de las estaciones de monitoreo que han funcionado desde 1984.

La información disponible en cuanto a análisis químicos fue proporcionada por la Unidad de Calidad del Agua de la Gerencia Estatal de Querétaro, la que ha llevado a cabo análisis químicos desde hace algún tiempo, y que para el presente trabajo abarcó de Enero de 1984 hasta Mayo de 1990. Los resultados se muestran en la serie de Tablas numeradas del V.3 a V.9. Además de que durante el año de 1988, en cuatro meses diferentes se realizaron análisis químicos a las descargas de estas industrias. Dichos análisis se muestran en la Tabla V.2.

Los parámetros no se han analizado de manera continua a lo largo de todo este tiempo, por lo que no han permitido hacer un seguimiento total de la calidad de las descargas. Se harán dos tipos de análisis, uno en base a 9 parámetros que son:

**PARAMETROS FISICOS**

Conductividad eléctrica

Sólidos totales

**PARAMETROS QUIMICOS**

Grasas y aceites

Dureza Total

Oxígeno disuelto

Fosfato total

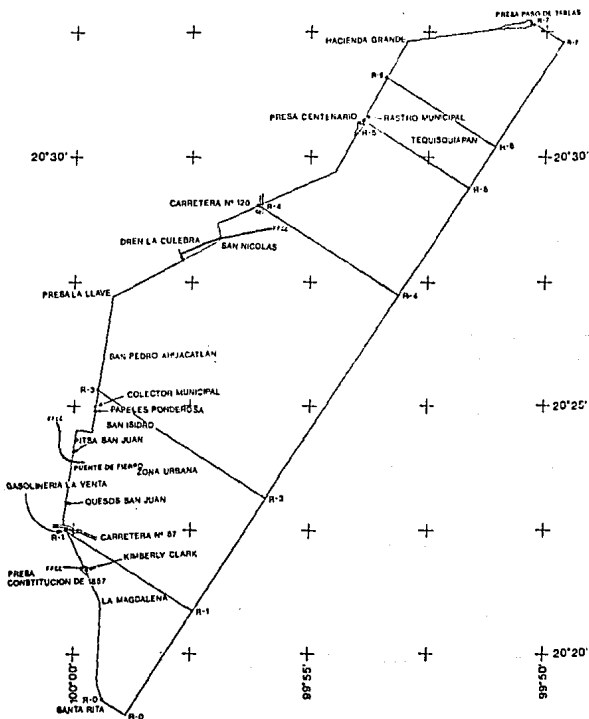
Detergentes (SAAM)

**PARAMETROS BIOLOGICOS**

Demanda bioquímica de oxígeno (DDO)

Coliformes totales

de los cuales se obtendrán las tendencias a lo largo del tiempo y las abundancias relativas para cada parámetro en cada estación, y a través



|                            |  |      |
|----------------------------|--|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>  |      |
|                            | PLANO SIMPLIFICADO DE LAS DESCARGAS INDUSTRIALES Y ESTACIONES DE MONITOREO EN EL RIO SAN JUAN, QRO |      |
|                            | TESIS PROFESIONAL  |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA   |      |
|                            | FIGURA No. V. 7  | 1991 |

## ANALISIS QUIMICOS DE DESCARGAS INDUSTRIALES

| NUM              | SITIO              | FECHA  | TEMP | pH   | COND  | CLOR  | AMON  | PLUM  | GRAS  | ACE   | OD   | DB5   | N(NH2) | NO3  | N(NO3)  | PO4(TOT) | ST      | SST | SDI | COLI TOT | COLIFEC |
|------------------|--------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|------|---------|----------|---------|-----|-----|----------|---------|
| 1                | KIMBERLY CLARK     | MAR 88 | 35   | 7    | 7,40  | 15,60 | <.1   | 237   | <.05  | 1,61  | <.1  | ,51   | 628    | 20   | 608     | <2,4E+5  | <2,4E+4 |     |     |          |         |
|                  |                    | AGO 88 | 37   | 9    | 7,10  | 43,10 | <.1   | 248   | <.05  | 4,90  | <.1  | 5,66  | 730    | 100  | 620     | <2,4E+4  | <2,4E+4 |     |     |          |         |
|                  |                    | OCT 88 | 16   | 6    | 6,90  | 13,50 | <.1   | 270   | ,71   | 16,30 | <.1  | ,01   | 1176   | 335  | 841     | 4,30E+4  | 4,30E+4 |     |     |          |         |
| 2                | GAS. LA VENTA      | MAR 88 | 25   | 7    | 7,20  | 181   | <.1   | 237   | 9,94  | 103   | <.1  | 14,10 | 3668   | 3240 | 528     | 9,30E+6  | 9,00E+5 |     |     |          |         |
|                  |                    | AGO 88 | 20   | 7    | 7,70  | 774   | 1,32  | 327   | <.05  | 4,32  | 2,69 | 21    | 1918   | 1120 | 798     | 2,40E+7  | 9,30E+6 |     |     |          |         |
|                  |                    | OCT 88 | 18   | 7    | 7,50  | 2209  | ,20   | 699   | ,92   | 26,50 | 0,11 | 42,20 | 9772   | 9250 | 522     | 1,50E+7  | 1,50E+7 |     |     |          |         |
| 3                | QUESOS SAN JUAN    | MAR 88 | 21   | 6    | 5,70  | 225   | <.1   | 2132  | <.05  | 46,20 | <.1  | 36,90 | 2260   | 480  | 1780    | 2,40E+7  | 9,30E+6 |     |     |          |         |
|                  |                    | AGO 88 | 21   | 7    | 10,50 | 446   | <.1   | 1624  | 2,41  | 66    | 2,69 | 18,10 | 3148   | 987  | 2161    | <2,4E+5  | <2,4E+5 |     |     |          |         |
|                  |                    | OCT 88 | 18   | 7    | 7,20  | 154   | <.1   | 2030  | 6,11  | 57,20 | ,79  | ,093  | 3238   | 1513 | 1725    | 4,60E+6  | 2,40E+6 |     |     |          |         |
| PUEBLO DE FIERRO | AGO 88             | 18     | 7    | 7,50 | 38,90 | 5,68  | 2,25  | ,21   | 1,41  | 1,36  | 2,42 | 594   | 515    | 79   | <2,4E+5 | <2,4E+5  |         |     |     |          |         |
|                  | OCT 88             | 16     | 7    | 7,10 | 13,50 | 1,22  | 22,50 | ,97   | 2,50  | <.1   | 1,08 | 270   | 80     | 190  | >2,4E+6 | >2,4E+6  |         |     |     |          |         |
|                  | MAR 88             | 35     | 7    | 7,80 | 17,10 | <.1   | 45,10 | <.05  | 5,67  | <.1   | 1,03 | 561   | 40     | 520  | <2,4E+5 | <2,4E+5  |         |     |     |          |         |
| 4                | PITSA SAN JUAN     | AGO 88 | 32   | 7    | 7,80  | 62,70 | 1,23  | 56,40 | <.05  | 14,30 | ,15  | 2,49  | 1140   | 200  | 940     | <2,4E+5  | <2,4E+5 |     |     |          |         |
|                  |                    | OCT 88 | 16   | 7    | 7,40  | 48,70 | <.1   | 81,20 | <.05  | 2,63  | 1,35 | 2,57  | 1154   | 355  | 801     | 93000    | 93000   |     |     |          |         |
|                  |                    | MAR 88 | 19   | 7    | 7,90  | 25    | <.1   | 124   | 1,47  | 7,25  | <.1  | 7     | 716    | 40   | 674     | 9,00E+5  | 4,00E+5 |     |     |          |         |
| DESPUES DE PITSA | AGO 88             | 18     | 7    | 7,70 | 37,20 | 62    | 62    | ,21   | 2,00  | 1,35  | 2,15 | 826   | 763    | 66   | 4,30E+6 | 4,30E+6  |         |     |     |          |         |
|                  | OCT 88             | 16     | 7    | 7,70 | 29,30 | <.1   | 105   | <.05  | 9,90  | ,26   | ,57  | 998   | 312    | 665  | 4,00E+5 | <2,4E+5  |         |     |     |          |         |
|                  | MAR 88             | 36     | 7    | 7,70 | 21,30 | <.1   | 372   | <.05  | 5,60  | <.1   | 3,02 | 3936  | 2960   | 976  | 1,50E+6 | 7,00E+5  |         |     |     |          |         |
| 5                | PAPELES PONDEROSA  | AGO 88 | 37   | 8    | 7,30  | 59,40 | <.1   | 609   | <.05  | 2,63  | <.1  | 1,58  | 3106   | 2280 | 826     | <2,4E+5  | <2,4E+5 |     |     |          |         |
|                  |                    | OCT 88 | 17   | 7    | 7,20  | 29,20 | <.1   | 947   | <.05  | 4,90  | ,94  | ,25   | 1410   | 920  | 490     | 1,10E+6  | 2,40E+5 |     |     |          |         |
|                  |                    | MAR 88 | 24   | 7    | 7,60  | 52,70 | <.1   | 1316  | 30,20 | 22,90 | <.1  | 15,50 | 1552   | 515  | 817     | 1,50E+7  | 7,50E+6 |     |     |          |         |
| 6                | COLECTOR MUNICIPAL | AGO 88 | 19   | 7    | 7     | 71,40 | <.1   | 135   | 17,70 | 19,50 | ,17  | 6,56  | 798    | 360  | 438     | >2,4E+8  | >2,4E+8 |     |     |          |         |
|                  |                    | OCT 88 | 17   | 7    | 7     | 90,20 | <.1   | 284   | 31,90 | 15    | ,36  | 17,50 | 6740   | 5840 | 900     | 9,30E+7  | 2,30E+7 |     |     |          |         |
|                  |                    | AGO 88 | 18   | 7    | 7,40  | 23    | 4,36  | 124   | ,35   | 3,05  | 1,40 | 2,72  | 1234   | 890  | 404     | <2,4E+5  | <2,4E+5 |     |     |          |         |
| 7                | DREN LA CULEBRA    | OCT 88 | 17   | 7    | 7     | 32,70 | <.1   | 325   | 15,80 | 15,30 | ,17  | 5,20  | 1020   | 293  | 727     | >2,4E+7  | >2,4E+7 |     |     |          |         |
|                  |                    | MAR 88 | 20   | 7    | 7,80  | 4,41  | 2,03  | 47,10 | <.05  | 2,59  | <.1  | 3,95  | 496    | 50   | 446     | 4,00E+4  | 4,00E+4 |     |     |          |         |
|                  |                    | AGO 88 | 21   | 7    | 7,70  | 2,03  | 2,03  | 13,50 | ,21   | 2,56  | 2,01 | 2,29  | 768    | 400  | 368     | 2,30E+5  | 2,30E+5 |     |     |          |         |
| 8                | TEO.-RASTRO MPAL.  | OCT 88 | 17   | 7    | 7,30  | 10,30 | 3,45  | 24,80 | 2,98  | 2,06  | ,79  | 1,71  | 368    | 65   | 303     | 2,30E+4  | 2,30E+4 |     |     |          |         |
|                  |                    | MAR 88 | 24   | 7    | 7,80  | 24,10 | 1,01  | 124   | 2,87  | 7,56  | <.1  | 4,42  | 448    | 80   | 368     | 1,10E+7  | 1,10E+7 |     |     |          |         |
|                  |                    | AGO 88 | 21   | 7    | 7,40  | 52    | 1,01  | 230   | 12,10 | 11,40 | ,26  | 4,23  | 518    | 180  | 333     | >2,4E+8  | >2,4E+8 |     |     |          |         |
|                  |                    | OCT 88 | 17   | 7    | 6,70  | 80,50 | <.1   | 115   | 27,20 | 32,40 | ,75  | 14,90 | 982    | 370  | 612     | 7,50E+7  | 2,30E+7 |     |     |          |         |

TESIS PROFESIONAL  
ELOISA DOMINGUEZ MARIANI

TABLA V.2

ANALISIS QUIMICOS DE AGUA SUPERFICIAL  
ESTACION DE MONITOREO R-0

| EST FECHA  | TCAMP | pHCAN | pHLAB | GRA/ACE | SOLSED | OD   | DBO   | FS4(TOT) | SAAM | TURB | Du(CaCO3) |
|------------|-------|-------|-------|---------|--------|------|-------|----------|------|------|-----------|
| R-0 FEB 87 | 25    | 7     | 7.70  | 3.47    | .50    | 2.13 | 59.20 | ,6630    | .13  | 70   | 126       |
| MAY 87     | 20    | 6     | 7.50  | 8.62    | <0.1   |      | 3.70  | ,7210    | .05  | 66   | 64        |
| AGO 87     | 20    | 6     | 6.60  | 25.10   | <0.1   | 3.75 | 1.01  | ,4630    | .06  | 62   | 34        |
| NOV 87     | 17    | 7     | 7.70  |         | <0.1   |      | 2.64  | ,2950    | 1.04 | 5    | 84        |
| MAR 88     | 22    | 7     | 7.50  | 5.93    | <.1    | 7.92 | 2.70  | ,9420    | .40  | 1E   | 75        |
| AGO 88     |       | 6     | 7,40  | 8,12    | <.1    | 3,35 | 44,60 | ,0070    | ,11  | 65   | 33,30     |
| JUN 89     | 24    | 7     | 7,70  | 15,90   | 1      | <.1  | 162   | .238     | 3,11 | 150  | 209       |
| MAY 90     | 25    | 7     | 6,70  |         | <.1    | <.1  | 71,05 |          | ,14  | 42   | 198       |

| EST FECHA  | COLOR | DuCALCIO | CaCO3 | Na    | Ca    | Mg   | RAS  | ST   | CONDUC | COLTOT | COLFEC | ESRD   | NTK   |      |
|------------|-------|----------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| R-0 FEB 87 | 125   | 101      |       | 2,850 | 2,02  | ,50  | 2,36 | 546  | 490    |        | 90000  | <.05   |       |      |
| MAY 87     | 300   |          | 27    | ,307  |       |      |      | 320  | 110    |        |        | <.05   |       |      |
| AGO 87     | 200   |          | 19    | 2,460 |       |      |      |      | 100    |        |        | ,10    |       |      |
| NOV 87     | 25    | 53       |       | 2,400 |       |      |      | 320  | 551    |        |        |        | 1.4   |      |
| MAR 88     | 200   |          | 35    | ,433  |       |      |      | 390  | 175    | 24000  |        | <.05   | 2,80  |      |
| AGO 88     | 100   |          | 16,20 | ,043  | ,32   | ,34  |      | 1588 | 81     | 4600   |        | <.05   | 1,63  |      |
| JUN 89     | 50    | 149      |       | 7,060 | 2,98  | 1,20 | 4,89 | 282  | 1702   | 4300   |        |        | 83,30 |      |
| MAY 90     | 50    |          |       | 166   | 2,170 | 3,36 | ,60  | 1,54 | 546    | 597    | 240000 | 110000 | ,10   | 4,40 |

TESTS PROFESIONAL  
ELOISA DOMINGUEZ MARIANI

TABLA V.3

ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA SUPERFICIAL  
ESTACION DE MONITOREO R-1

| EST | FECHA  | TEMP  | pH   | COND | GRVACE | SOLVED | OD    | DO    | DO    | COND | COND | COND  | COND | COND | COND | COND | COND | COND |
|-----|--------|-------|------|------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| R-1 | ENE 84 | 15    |      |      | 8.45   | 1.0    | 4.97  | 2.54  | 4     | ---- | ---- | 1.1   | 1.25 | 1.16 | 3.57 | 07   |      |      |
|     | ABR 84 | 21    |      |      | 8.25   | 1.1    | 6.90  | 3.45  | 11.70 | 1.07 | ---- | 1.1   | 1.67 | 1.04 | 1.71 | 16   |      |      |
|     | JUL 84 | 22    |      |      | 6.10   | 1.1    | 7.50  | ----  | 7.91  | 1.05 | 1.16 | 1.23  | 1.61 | ---- | 1.77 | 16   |      |      |
|     | OCT 84 | 18    |      |      | 7.14   | 1.0    | 8.50  | ----  | 16.50 | 1.43 | 1.98 | 1.51  | 1.27 | 1.17 | 1.01 | 9    |      |      |
|     | MAR 85 | 19    |      |      | 11.10  | 1.1    | 8.12  | ----  | 16.10 | 1.41 | 1.94 | 1.1   | 1.60 | 1.42 | 1.70 | 1.70 |      |      |
|     | JUN 85 | 21    |      |      | -----  | 1.1    | 5.10  | ----  | 49.50 | 1.39 | 1.43 | 1.14  | 1.40 | 1.31 | ---- | 1.10 |      |      |
|     | FEB 86 |       | 7.50 | 7    | 14.40  | 1.1    | 3.95  | ----  | 1.99  | 1.07 | 1.75 | 1.20  | 2.65 | 1.24 | 1.16 | 1.16 |      |      |
|     | ABR 86 | 16    | 7    | 7.60 | 8.33   | 1.0    |       | ----  | 23.90 |      |      | 1.1   | 1.50 | 1.29 | 9    |      |      |      |
|     | AGO 86 | 18    | 7    | 6.90 | 5.50   | 1.0    | 5.95  | ----  | 11.40 |      |      | 1.000 | 1.17 | 1.10 | 1.06 | 1.17 |      |      |
|     | NOV 86 | 17    | 6    | 7.30 | 6.53   | 1.0    | 4.27  | 1.29  |       |      |      | 1.34  | 1.17 | 1.20 | 1    |      |      |      |
|     | FEB 87 | 19    | 6    | 8.10 | 3.47   | 1.1    | 5.62  | 1.97  |       |      |      |       | 1.14 | 1.14 | 1.06 |      |      |      |
|     | MAY 87 | 22    | 7    | 7.50 | 3.82   | 1.1    |       | 1     |       |      |      |       | 1.43 | 1.15 | 2    |      |      |      |
|     | AGO 87 | 22,50 | 7    | 7.52 | 29.20  | 1.1    | 5.89  | 1.83  |       |      |      |       | 1.11 | 1.17 | 55   |      |      |      |
|     | NOV 87 | 16    | 7    | 7.90 |        | 1.1    |       | 3.48  |       |      |      |       | 1.19 | 1.27 | 19   |      |      |      |
|     | MAR 88 |       | 7    | 7.70 | 3.69   | 1.1    | 1.1   | 5.84  |       |      |      |       | 1.52 | 1.17 | 3    |      |      |      |
|     | MAY 88 |       | 7    | 7.60 | 31.40  | 1.1    | 4.83  | 18.24 |       |      |      |       | 1.70 | 1.35 | 1    |      |      |      |
|     | AGO 88 | 22    | 7    | 7.80 | 6.82   | 1.1    | 5.54  | 1.9   |       |      |      |       | 1.01 | 1.26 | 13   |      |      |      |
|     | AGO 89 | 19    | 7    | 6.80 | 5.14   | 1.0    | 10.10 | 12.10 |       |      |      |       | 1.82 | 5.48 | 3    |      |      |      |
|     | NOV 89 | 15    | 6    | 7.80 | 4.50   | 1.1    | 5.70  | 10.10 |       |      |      |       | 1.34 | 5.81 | 1    |      |      |      |
|     | MAR 90 | 13    |      | 7.40 | 12.60  | 1.1    | 1.1   | 3.14  | 1.91  |      |      |       | 1.10 | 1.30 | 15   |      |      |      |
|     | MAY 90 | 21    | 3    | 7.10 |        | 1.0    | 2.30  | 1.12  |       |      |      |       | 1.20 | 1.19 | 7    |      |      |      |

| EST | FECHA  | Du(CaCO3) | SO4   | COLOR | DuCa  | CaCO3 | Na   | Ca   | Mg   | FeS  | Cl   | Al(10) | SI  | SST | SDT | COND    | COLIT | COLIFEC | BORO | NH   |      |
|-----|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|--------|-----|-----|-----|---------|-------|---------|------|------|------|
| R-1 | ENE 84 | 128       | 48    | 150   | 109   | 1.01  | 2.16 | 1.40 | 1.90 | 7.82 | 200  | 344    | 35  | 309 | 206 | 24000   | 24000 |         |      | ---  |      |
|     | ABR 84 | 158       | 134   | 50    | 123   | 1.53  | 2.46 | 1.70 | 1.20 | 7.82 | ---  | 422    | 50  | 372 | 396 | 4300    | 1500  |         |      | ---  |      |
|     | JUL 84 | 200       | 137   | 50    | 143   | 3.41  | 2.86 | 1.14 | 2.40 | 7.82 | 144  | 545    | 75  | 511 | 516 | 9200    | 2400  |         |      | ---  |      |
|     | OCT 84 | 95        | 69    | 90    | 82    | ---   | ---  | ---  | ---  | 4.89 | 80   | 244    | 10  | 234 | 260 | 24000   | 9300  |         |      | ---  |      |
|     | MAR 85 | 160       | 108   | 10    | 113   | 2.05  | 2.26 | 1.94 | 1.60 | 9.74 | 145  | 369    | 40  | 320 | 480 | 480     | 240   |         |      | ---  |      |
|     | JUN 85 | 171       | 125   | 35    | 105   | 1.92  | 2.10 | 1.32 | 1.50 | 3.71 | 130  | 376    | 10  | 260 | 460 | 2160    | 1500  |         |      | ---  |      |
|     | FEB 86 | 133       | 45    | 60    | 97    | 1.07  | 1.94 | 1.72 | 1.90 | 7.60 | 64   | 286    | 5   | 281 | 370 | 4000    | 400   |         |      | ---  |      |
|     | ABR 86 | 222       | 68,70 |       | 160   | 1.97  | 3.20 | 1.34 | 1.32 | 9.78 | 119  | 562    | 15  | 553 | 650 | 2160    | 400   |         |      | ---  |      |
|     | AGO 86 | 73        |       | 250   | 40.90 | 78.50 | 1.79 | 1.82 | 1.84 | 9.2  | 3.93 | 27.10  | 420 | 185 | 235 | 140     |       |         |      | 1.05 |      |
|     | NOV 86 | 165       |       | 20    | 112   | 1.78  |      |      |      |      |      |        | 432 |     | 520 |         | 2300  |         |      | 1.05 |      |
|     | FEB 87 | 116       |       | 50    | 83    | 1.17  | 1.66 | 1.66 | 1.07 |      |      |        | 336 |     | 360 |         | 400   |         |      | 1.05 |      |
|     | MAY 87 | 135       |       | 30    |       | 92.50 | 1.61 |      |      |      |      |        | 268 |     | 425 |         |       |         |      | 1.05 |      |
|     | AGO 87 | 160       |       | 30    |       | 107   | 1.59 |      |      |      |      |        |     |     | 450 |         |       |         |      | 1.07 |      |
|     | NOV 87 | 205       |       | 50    | 147   | NI    |      |      |      |      |      |        | 404 |     | 179 |         |       |         |      | NI   | 28.7 |
|     | MAR 88 | 215       |       | 30    |       | 140   | 2.74 |      |      |      |      |        | 502 |     | 684 | 2400    |       |         |      | 1.05 | 4.55 |
|     | MAY 88 | 247       |       | 20    |       | 177   | 3.52 | 3.54 | 1.40 |      |      |        | 576 |     | 772 | 24000   |       |         |      | 1.20 | 1.35 |
|     | AGO 88 | 159       |       | 40    | 106   | 1.09  | 2.12 | 1.06 |      |      |      |        | 380 |     | 545 | 1500    |       |         |      | 1.05 | 1.42 |
|     | AGO 89 | 89,50     |       | 45    | 47,20 |       | 1.95 | 1.84 |      |      |      |        | 712 |     | 262 | 2400000 |       |         |      | 1.05 | 2.70 |
|     | NOV 89 |           |       | 1     | 179   |       |      |      |      |      |      |        | 624 |     | 820 | 40000   |       |         |      | 1.05 | 1.20 |
|     | MAR 90 |           |       | 15    |       | 208   | 3.80 | 4.16 | 2.18 | 2.13 |      |        | 668 |     | 887 |         | 24000 |         |      | 1.05 | 4.1  |
|     | MAY 90 |           |       | 74    |       | 213   | 3.80 | 4.26 | 2.17 | 2.11 |      |        | 726 |     | 971 | 11000   | 11000 |         |      | 1.05 | 1.8  |

TESIS PROFESIONAL  
ELOISA DOMÍNGUEZ MARIAYI

TABLA 4

ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA SUPERFICIAL  
ESTACION DE MONTEFOS #3

| EST | FECHA  | TCANF | PCAMP | pH LAB | GRADACE | DOLESD | OD   | DDO   | DDO | MMH3  | NOrg | NO2   | MMNO3 | PO4(TOT) | PO4(GT) | SAM   | Turb | Bu(CaCO3) |
|-----|--------|-------|-------|--------|---------|--------|------|-------|-----|-------|------|-------|-------|----------|---------|-------|------|-----------|
| R-3 | ENE 84 | 25    |       |        | 18.30   | <.1    | 0    | 294   | 360 |       |      |       | <.1   | 3.54     | 1.76    | .13   | 62   | 183       |
|     | ABR 84 | 36    |       |        | 18.10   | .30    | <.1  | 248   | 552 | 7.42  |      |       | 1.01  | 2.37     | 1.49    | 5.50  | 50   | 327       |
|     | JUL 84 | 23    |       |        | 20.30   | <.1    | .20  |       | 364 | 10.10 | 5.78 |       | .95   | 5.29     | 1.15    | 4.28  | 97   | 275       |
|     | OCT 84 | 24    |       |        | 27      | 1.50   | 0    |       | 523 | 1.14  | 7.92 |       | .31   | .47      | .36     | 1.01  | 163  | 240       |
|     | MAR 85 | 31    |       |        | 17.90   | .20    | 0    |       | 385 | 5.39  | 6.87 |       | <.1   | 3.49     | 2.40    | 1.37  | 35   | 250       |
|     | JUN 85 | 28    |       |        |         | .1     | 0    |       | 259 | 1.12  | 8.12 |       | .26   | 2.58     | 1.63    |       | 22   | 190       |
|     | FEB 86 | 22    | 6.50  | 7.10   | 29.20   | .10    | <.1  |       | 620 | 2.45  | 14   |       | <.1   | 4.43     | 3       | 7.66  | 199  | 319       |
|     | ABR 86 | 27    | 8     | 7.30   | 17.50   | 8      | <.1  |       | 434 |       |      |       | <.1   |          | 1.77    | 2.73  | 52   | 325       |
|     | AGO 86 | 26    | 7     | 6.90   | 21.10   | 1.40   | <.1  |       | 296 |       |      | <.002 | <.1   | 1.90     | 1.01    | 1.05  |      | 213.50    |
|     | NOV 86 | 30    | 7     | 6.80   | 29.70   | <.1    | <.1  | 223   |     |       |      |       | <.1   | 4.24     |         | 2.89  | 115  | 185       |
|     | FEB 87 | 25    | 7     | 8.20   | 36.20   | 3.50   | <.1  | 118   |     |       |      |       |       | 8.74     |         | 1.26  | 105  | 150       |
|     | MAY 87 | 29    | 7     | 6.90   | 37.20   | .80    |      | 293   |     |       |      |       |       | 6.92     |         | 3.77  | 72   | 190       |
|     | AGO 87 | 29    | 7.20  | 8      | 62.20   | 3.50   | <.1  | 507   |     |       |      |       |       | 4.59     |         | 1.25  | 88   | 130       |
|     | NOV 87 | 19    | 6.90  | 7      |         | .20    |      | 193   |     |       |      |       |       | 5.46     |         | 1.52  | 110  | 64        |
|     | MAR 88 | 7     | 6.90  | 69.10  | 37      | 2.30   | 375  |       |     |       |      |       |       | 1.00     |         | 6.03  | 302  | 405       |
|     | MAY 88 | 6.70  | 5.70  | 101.40 | 23      | <.1    | 394  |       |     |       |      |       |       | 4.55     |         | 1.32  | 61   | 303       |
|     | AGO 88 | 7     | 6.50  | 47.50  | 13      | <.1    | 173  |       |     |       |      |       |       | 5.74     |         | 1.89  | 55   | 252       |
|     | JUN 89 | 27    | 7     | 7      | 33.10   | 2      | <.1  | 243   |     |       |      |       |       | 4.76     |         | 4.85  | 300  | 194       |
|     | AGO 89 | 15    | 7     | 6.90   | 13      | 3      | 5.98 | 40.60 |     |       |      |       |       | .96      |         | 8.71  | 250  | 64.70     |
|     | NOV 89 | 23    | 7     | 7.50   | 13.30   | 8.50   | <.1  | 125   |     |       |      |       |       | 4.65     |         | 18.30 | 62   | 163       |
|     | MAR 90 | 24    | 7     | 7.60   | 56.20   | .90    | .10  | 162   |     |       |      |       |       | 3.31     |         | 2.81  | 25   | 168       |
|     | MAY 90 | 28    | 7     | 7      |         | 1.60   | <.1  | 365   |     |       |      |       |       | 7.43     |         | 4.65  | 55   | 188       |

| EST | FECHA  | SD4    | COLOR | Bu(CALCI) | ClO(CO3) | Na   | Ca   | Mg    | RAS   | Clr  | Al(TO) | ST    | SST  | SDI     | CONDUCT  | COLI     | TOT     | COLIFEC | BORO | NTK |
|-----|--------|--------|-------|-----------|----------|------|------|-------|-------|------|--------|-------|------|---------|----------|----------|---------|---------|------|-----|
| R-3 | ENE 84 | 137    | 75    | 175       | 3.27     | 3.50 | .16  | 2.40  | 31.30 | 348  | 718    | 85    | 653  | 600     | 1,10E+8  | 4,00E+5  |         |         | <.05 |     |
|     | ABR 84 | 249    | 70    | 280       | 1.19     | 5.60 | .94  | .60   | 36.20 |      |        | 104.6 | 100  | 946     | 830      | 1,50E+7  | 1,50E+7 |         | .29  |     |
|     | JUL 84 | 28     | 200   | 220       | 3.50     | 4.40 | 1.10 | 2.10  | 36.20 | 438  | 706    | 115   | 591  | 910     | 7,00E+5  | 7,00E+5  |         | .10     |      |     |
|     | OCT 84 | 156    | 150   | 253       | 3.89     | 5.06 | .54  | 2.30  | 18.60 | 312  | 890    | 65    | 825  | 780     |          |          |         | .96     |      |     |
|     | MAR 85 | 179    | 130   | 226       | 3.63     | 4.52 | .48  | 2.30  | 6.84  | 283  | 716    | 70    | 646  | 810     | >2.40E+8 | >2.40E+8 |         | .09     |      |     |
|     | JUN 85 | 104    | 85    | 164       | 3.78     | 3.28 | .52  | 2.70  | 9.78  | 258  | 642    | 65    | 577  | 690     | 4,40E+7  | 1,50E+7  |         |         |      |     |
|     | FEB 86 | 224    | 125   | 242       | 4.11     | 4.84 | 1.54 | 2.30  | 19    | 334  | 1110   | 190   | 926  | 960     | 1,10E+8  | 1,10E+8  |         |         |      |     |
|     | ABR 86 | 133.80 |       | 295       | 5.25     | 5.50 | .60  | 2.92  | 11.70 | 380  | 1460   | 125   | 1335 | 1120    | >2.40E+8 | >2.40E+8 |         |         |      |     |
|     | AGO 86 | 50     | 177   | 5.10      | 3.55     | .72  | 3.49 | 5.87  | 282   | 836  | 70     | 766   | 820  |         |          |          |         | .06     |      |     |
|     | NOV 86 | 250    | 152   | 2.88      |          |      |      |       |       | 718  |        |       | 660  |         |          |          |         |         | <.05 |     |
|     | FEB 87 | 500    | 85    | 9.66      | 1.70     | 1.90 | 1.90 |       |       | 1076 |        |       | 1200 |         |          | >2.4E+8  |         |         | <.09 |     |
|     | MAY 87 | 250    |       | 152       | 5.47     |      |      |       |       | 914  |        |       | 980  |         |          |          |         |         | <.29 |     |
|     | AGO 87 | 250    |       | 92.50     | 6.67     |      |      |       |       |      |        |       | 990  |         |          |          |         |         | .19  |     |
|     | NOV 87 | 200    | 39    | 3.90      |          |      |      |       |       | 292  |        |       | 890  | 4,20E+7 |          |          |         | NI      | 2.17 |     |
|     | MAR 88 | 500    |       | 350       | 3.65     |      |      |       |       | 1644 |        |       | 1152 | 1,10E+8 |          |          |         | .26     | 36   |     |
|     | MAY 88 | 30     |       | 303       | 4.19     | 4.44 | 1.62 |       |       | 1850 |        |       | 1027 | >2.4E+8 |          |          |         | .18     | 29.5 |     |
|     | AGO 88 | 50     | 141   | 1.23      | 2.82     | 2.22 |      |       |       | 1036 |        |       | 491  | >2.4E+6 |          |          |         | .07     | 27.7 |     |
|     | JUN 89 | >150   | 154   | 3.13      | 3.08     | .80  | 2.25 |       |       | 776  |        |       | 727  | >2.4E+5 |          |          |         |         | 243  |     |
|     | AGO 89 | 50     | 52.20 |           | 1.04     | .25  |      |       |       | 1388 |        |       | 217  | >2.4E+7 |          |          |         | .08     | 7.70 |     |
|     | NOV 89 | 50     |       | 121       |          | 2    |      |       |       | 1324 |        |       | 1228 | 1,10E+8 |          |          |         | .06     | 24   |     |
|     | MAR 90 | 100    |       | 119       | 16.70    | 2.38 | .98  | 13.04 |       | 1572 |        |       | 1689 |         |          | >2.4E+8  |         | .32     | 19.1 |     |
|     | MAY 90 | 15     |       | 119       | 12.12    | 2.38 | 1.38 | 9.06  |       | 1330 |        |       | 1352 | 2.4E+8  | 2.4E+8   |          |         | .26     | 21.2 |     |

ANALISIS QUIMICO DE AGUA SUPERFICIAL  
ESTACION DE AGUICREGO R-4

| EST | FECHA  | TEMP | pH   | COND  | Ca    | Mg   | Cl    | SO4   | NO3   | NO2  | PO4  | TOT  | AMON | AMON | SIAM | TURE | Dure  | CO2    |
|-----|--------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| R-4 | ENE 84 | 15   |      |       | 12.10 | 0.1  | 0     | 64.00 | 156   | ---  | ---  | 0.1  | 3.29 |      | 2.03 | 2.66 | 26    | 192    |
|     | ABR 84 | 25   |      |       | 8.92  | 0.1  | 0.1   | 29.50 | 140   | 7.63 | ---  | 0.1  | 3.62 |      | 1.91 | 5.27 | 9     | 272    |
|     | JUL 84 | 24   |      |       | 3.60  | .30  | 2.20  | ---   | 47.50 | .95  | 3.02 | 2.74 | 1.02 |      | .10  | 1.01 | 150   | 70     |
|     | OCT 84 | 22   |      |       | 48.70 | .10  | 0     | ---   | 125   | 1.74 | 4.88 | .26  | .35  |      | .26  | .12  | 21    | 123    |
|     | MAR 84 | 26   |      |       | 21    | 0.1  | 0     | ---   | 140   | 5.22 | 3.66 | .29  | 5.66 |      | 1.05 | 2.50 | 16    | 225    |
|     | JUN 85 | 20   |      |       | ---   | 0.1  | 0     | ---   | 110   | 5.71 | 5.15 | .26  | 1.60 |      | 1.19 | ---  | 17    | 146    |
|     | FEB 86 | 15   | 8    | 8.20  | 10.20 | 0.1  | 0.1   |       | 184   | 4.55 | 4.36 | 0.1  | 2.59 |      | 2.10 | 2.81 | 5.20  | 326    |
|     | ABR 86 | 20   | 8    | 10    | 10.20 | 0.1  | 0.1   |       | 163   |      |      | 0.1  |      |      | 2.07 | 3.26 | 52    | 222    |
|     | AGO 86 | 24   | 7    | 7.40  | 24.10 | 0.1  | 0.1   |       | 125   |      |      | 0.02 | 0.44 |      | .50  | .62  |       | 177.50 |
|     | NOV 86 | 20   | 7    | 7.60  | 14.30 | 0.1  | 0.1   | 42    |       |      |      | 0.02 | 1.60 |      | .01  | .60  |       | 155    |
|     | FEB 87 | 22   |      |       | 8.30  | 4.33 | 0.1   | 0.1   | 15.10 |      |      |      | 1.53 |      | 2.28 | 40   | 151   |        |
|     | MAY 87 | 24   | 8    | 8     | 9.24  | 0.1  |       |       | 32    |      |      |      | 3.60 |      | 3.31 | 54   | 250   |        |
|     | AGO 87 | 22   | 8    | 7.42  | 31.50 | .70  | 0.1   | 38.10 |       |      |      |      | 3.23 |      | 2.95 | 45   | 225   |        |
|     | NOV 87 | 16   | 8    | 8     |       | .10  |       | 2.25  |       |      |      |      | 3.56 |      | 2.47 | 46   | 180   |        |
|     | MAR 88 |      | 8    | 8     | 8.50  | 0.1  | .20   | 40.30 |       |      |      |      | 3.44 |      | 3.52 | 41   | 235   |        |
|     | MAY 88 | 7.30 | 8    | 54.50 | 0.1   | 0.1  | 54.13 |       |       |      |      |      | 3.52 |      | 1.52 | 27   | 263   |        |
|     | AGO 88 | 7    | 7.10 | 12.30 | 0.1   | 0.1  | 40.30 |       |       |      |      |      | 2    |      | 1.14 | 40   | 187   |        |
|     | JUN 89 | 21   | 7    | 7.10  | 3.22  | .40  | 0.1   | 30.40 |       |      |      |      | 3.00 |      | 7.69 | 250  | 214   |        |
|     | AGO 89 | 17   | 7    | 7     | 4.67  | 1.20 | 0.1   | 20.30 |       |      |      |      | 1.04 |      | 7.69 | 250  | 84.60 |        |
|     | MAR 90 | 16   |      |       | 8.90  | 21   | .20   | 4.27  | 14.20 |      |      |      |      |      | 2.59 | 27   | 200   |        |
|     | MAY 90 | 23   | 7    | 7.70  |       | 0.1  | 0.1   | 31.48 |       |      |      |      | 7.49 |      | 3.14 | 16   | 156   |        |

| EST | FECHA  | SON  | COLOR | DURA | CaCO3 | Na    | Ca   | Mg   | RAS   | Cl    | Al(10) | ST   | SST  | SDI  | COND | COLITOT   | COLIFEC   | BORD      | NIT  |         |
|-----|--------|------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|--------|------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|------|---------|
| R-4 | ENE 84 | 24   | 100   | 150  |       | 3.02  | 3.60 | .24  | 2.40  | 20.30 | 522    | 592  | 70   | 522  | 540  | (243000)  | (243000)  |           | 0.05 |         |
|     | ABR 84 | 25   | 80    | 232  |       | 3.10  | 4.64 | .92  | 1.90  | 26.40 | ---    | 752  | 90   | 702  | 720  | 150000    | 150000    |           | .22  |         |
|     | JUL 84 | 14   | 3000  | 40   |       | .46   | 1.20 | .36  | .50   | 7.82  | 81     | 1426 | 1192 | 246  | 153  | 1.10E+6   | 4.60E+5   |           | .17  |         |
|     | OCT 84 | 44   | 125   | 105  |       | 2.84  | 2.10 | .38  | 2.40  | 12.70 | 228    | 538  | 25   | 453  | 500  | 1.10E+7   | 1.10E+7   |           | .45  |         |
|     | MAR 84 | 23   | 65    | 155  |       | 3.24  | 3.10 | .98  | 2.70  | 39.10 | 310    | 536  | 95   | 443  | 670  | 4.60E+7   | 4.60E+5   |           | .14  |         |
|     | JUN 85 | 107  | 70    | 174  |       | 5.01  | 3.48 | .48  | 3.60  | 5.87  | 345    | 616  | 79   | 546  | 820  | 1.10E+6   | 1.10E+6   | ---       |      |         |
|     | FEB 86 | 179  | 70    | 286  |       | 3.77  | 5.78 | .38  | 2.10  | 21.50 | 370    | 702  | 10   | 692  | 920  | 6.00E+5   | 4.00E+5   |           |      |         |
|     | ABR 86 | 9.70 | 212   |      |       | 3.86  | 4.24 | .20  | 2.59  | 15.60 | 412    | 706  | 5    | 701  | 260  | (2.4E+05) | (2.4E+05) |           |      |         |
|     | AGO 86 |      | 50    | 132  |       | 3.29  | 2.64 | .91  | 2.48  | 31.20 | 326    | 492  | 50   | 442  | 540  |           |           |           | .07  |         |
|     | NOV 86 |      | 150   | 122  |       | 2.79  |      |      |       |       |        |      |      |      | 600  |           | (2.4E+07) |           | 0.05 |         |
|     | FEB 87 |      | 75    | 105  | 132   | 2.09  | 2.64 | 1.16 | 1.32  |       |        |      |      | 400  |      | 340       |           | 4.50E+5   | .07  |         |
|     | MAY 87 |      | 250   |      | 132   | 5.32  |      |      |       |       |        |      |      | 730  |      | 1030      | (2.4E7)   |           | .16  |         |
|     | AGO 87 |      | 125   |      | 177   | 6.64  |      |      |       |       |        |      |      |      | 600  |           |           |           | .17  |         |
|     | NOV 87 |      | 100   | 107  |       | 5     |      |      |       |       |        |      |      | 682  |      | 843       | 7.50E+6   |           | .07  | 15.54.5 |
|     | MAR 88 |      | 100   |      | 195   | 4.93  |      |      |       |       |        |      |      | 682  |      | 921       | 1.50E+5   |           | ---  | 1.1     |
|     | MAY 88 |      | 50    |      | 242   | 5.17  | 4.84 | .62  |       |       |        |      |      | 746  |      | 126       | 1.50E+5   |           | .06  | 15.5    |
|     | AGO 88 |      | 100   | 111  |       | .70   | 2.00 | .1   |       |       |        |      |      | 777  |      | 177       | 0.00E+0   |           | .07  | 7.07    |
|     | JUN 89 |      | 70    | 121  |       | 3.77  | 5.78 | .38  | 2.10  |       |        |      |      | 4132 |      | 1742      | 0.00E+0   |           |      | 12.50   |
|     | NOV 89 |      | 50    |      | 57    | 1.74  | .35  |      |       |       |        |      |      | 1322 |      | 252       | 2.4E+7    |           |      | 0.05    |
|     | MAR 90 |      | 50    |      | 142   | 16.32 | 2.39 | 1.49 | 11.47 |       |        |      |      | 1324 |      | 1535      |           | (2.4E+05) | .19  | 14.7    |
|     | MAY 90 |      | 150   |      | 119   | 9.45  | 2.58 | .78  | 7.51  |       |        |      |      | 916  |      | 1226      | 2.4E5     | 1.10E+5   | 0.05 | 6.92    |

ANALISIS QUIMICO DE AGUA SUPERFICIAL  
ESTACION DE MONITOREO R-5

| EST FECHA  | TEMP   | pH     | COND  | Ca   | Mg    | CO3   | CO2   | NO3  | NO2  | AMON | PO4  | PO4  | PO4   | PO4  | PO4  | PO4    | PO4 | PO4 | PO4 |
|------------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|--------|-----|-----|-----|
| R-5 ENE 84 | 13     |        | 10    | 1.1  | 3.07  | 6.19  | 15    |      |      |      | .77  | 2.34 | .61   | .39  | 17   | 96     |     |     |     |
| ABR 84     | 24     |        | 6.52  | .20  | 6.10  | 2.64  | 38.90 | .53  |      |      | .30  | 1.03 | .27   | 1.61 | 60   | 140    |     |     |     |
| JUL 84     | 24     |        | 5.61  | .10  | 10.10 |       | 97.50 | 1.84 | 2.32 |      | .49  | 1.70 | 1.63  | 1.01 | 15   | 173    |     |     |     |
| OCT 84     | 24     |        | 11.50 | 2    | 6.20  |       | 22.20 | .27  | 1.32 |      | 1.01 | .34  | 2.35  | 1.01 | 7    | 95     |     |     |     |
| MAR 85     | 16     |        | 12    | 1.1  | 7.51  |       | 36.10 | 1.21 | 1.70 |      | .43  | 1.74 | 1.41  | .75  | 10   | 143    |     |     |     |
| JUN 85     | 20     |        |       | 1.1  | 7.21  |       | 41.00 | 1.05 | 2.35 |      | .32  | 2.05 | 1.78  |      | 18   | 157    |     |     |     |
| FEB 86     | 20     | 8 8.10 | 11    | 1.1  | 3.55  |       | 20.40 | 1.05 | 2.32 |      | 1.48 | 2    | 1.84  | 1.41 | 2.50 | 156    |     |     |     |
| ABR 86     | 20     | 7 8.20 | 7.40  | 1.1  | 7.71  |       | 43.20 |      |      |      | .24  |      | 1.14  | 1.65 | 10   | 237    |     |     |     |
| AGO 86     | 22     | 7 7.70 | 9.84  | 1.1  | 4.97  |       | 7.60  |      |      | .04  | .16  | .52  | .51   | .64  |      | 106.70 |     |     |     |
| NOV 86     | 20     | 7 8.50 | 5.20  | 1.1  | 7.40  | 5.92  |       |      |      |      | .87  | .57  | 1.94  | 25   | 100  |        |     |     |     |
| FEB 87     | 16     | 7 8.30 | 3.53  | .10  | 6.27  | 6.50  |       |      |      |      |      | .68  | .68   | 10   | 126  |        |     |     |     |
| MAY 87     | 23     | 7 8.10 | 11.20 | 1.1  |       | 4     |       |      |      |      |      | 1.74 | 1.40  | 160  |      |        |     |     |     |
| AGO 87     | 22     | 7 7.50 | 23.80 | .50  | 3.25  | 6.77  |       |      |      |      | .92  |      | .45   | 92   | 165  |        |     |     |     |
| NOV 87     | 16     | 7 7.80 |       | 1.1  |       | 15.20 |       |      |      |      | .48  |      | 1.89  | 31   | 155  |        |     |     |     |
| MAR 88     | 13     | 8 8.10 | 8.26  | .10  | 1.1   | 51.90 |       |      |      |      | 1.58 |      | 3.13  | 37   | 193  |        |     |     |     |
| MAY 88     | 8 8.00 | 36.40  | 1.1   | 4.40 | 28.15 |       |       |      |      |      | .86  |      | .37   | 35   | 106  |        |     |     |     |
| AGO 88     | 24     | 7 7.70 | 7.98  | 1.1  | 1.04  | 38    |       |      |      |      | .71  |      | 1.37  | 15   | 119  |        |     |     |     |
| ABR 89     | 17     | 7 7    | 10.43 | 1    | .52   | 12.20 |       |      |      |      | 1.30 |      | 4.26  | 50   | 139  |        |     |     |     |
| NOV 89     | 17     | 7 8.30 | 4.50  | .10  | 3.45  | 32.50 |       |      |      |      | 2.33 |      | 10.57 | 24   | 166  |        |     |     |     |
| MAR 90     | 17     | 8.10   | 11    | .20  | 1.60  | 27    |       |      |      |      |      |      | 1.86  | 15   | 119  |        |     |     |     |

| EST FECHA  | SD4 | COLOR | DUCHA | CaCO3 | Na   | Ca   | Mg   | RAS   | Cl   | Al  | IT  | ST  | SST    | SDT     | COND    | COLITOT | COLIFEC | BORO  | NTR  |
|------------|-----|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-----|-----|-----|--------|---------|---------|---------|---------|-------|------|
| R-5 ENE 84 | 85  | 80    | 65    | 1.19  | 1.70 | .26  | 1.20 | 13.70 | 190  | 216 | 50  | 266 | 300    | 12.4E+5 | 12.4E+5 |         |         |       |      |
| ABR 84     | 99  | 250   | 105   | 1.67  | 2.10 | .84  | 1.80 | 19.40 |      | 378 | 115 | 463 | 380    | 12400   | 12400   |         |         |       |      |
| JUL 84     | 90  | 85    | 125   | 1.85  | 2.70 | .76  | 1.40 | 22.50 | 192  | 450 | 65  | 365 | 475    | 2.40E+3 | 210     |         |         |       |      |
| OCT 84     | 31  | 75    | 70    | .71   | 1.40 | .50  | .70  | 8.80  | 80   | 256 | 35  | 201 | 215    | 2.40E+4 | 124000  | .05     |         |       |      |
| MAR 85     | 40  | 25    | 115   | 1.64  | 2.30 | .56  | 1.50 | 18.40 | 168  | 392 | 65  | 327 | 405    | 124000  | 1500    |         |         |       |      |
| JUN 85     | 32  | 40    | 130   | 2.71  | 2.60 | .58  | 2.10 | 7.82  | 55   | 350 | 30  | 366 | 540    | 124000  | 124000  |         |         |       |      |
| FEB 86     | 62  | 15    | 143   | 2.40  | 2.66 | .30  | 1.90 | 23.50 | 204  | 346 | 381 | 530 | 124000 | 124000  |         |         |         |       |      |
| ABR 86     | 50  | 20    | 145   | 2.52  | 2.50 | 1.84 | 1.60 | 23.30 | 267  | 530 | 35  | 483 | 640    | 4.30E+4 | 3000    |         |         |       |      |
| AGO 86     | 50  | 86.70 |       | 1.82  | 1.87 | .58  | 1.76 | 19.40 | 130  | 246 | 25  | 223 | 360    |         |         |         |         | 1.05  |      |
| NOV 86     | 50  | 72.50 |       | 1.21  |      |      |      |       |      | 202 |     |     | 315    |         |         | 43800   |         | 1.05  |      |
| FEB 87     | 35  | 105   |       | 2.13  | 2.10 | .82  | 1.62 |       |      | 286 |     |     | 450    |         |         | 11000   |         | 1.05  |      |
| MAY 87     | 15  |       | 132   | 2.45  |      |      |      |       |      | 400 |     |     | 570    |         |         | 23000   |         | .86   |      |
| AGO 87     | 100 |       | 72.50 | 1.41  |      |      |      |       |      |     |     |     | 335    |         |         |         |         | .69   |      |
| NOV 87     | 50  | 97.50 |       | 2.50  |      |      |      |       | 1116 |     |     |     | 567    | 7.50E+4 |         |         |         | .97   | 455  |
| MAR 88     | 50  |       | 150   | 3.82  |      |      |      |       | 334  |     |     |     | 676    | 1240000 |         |         |         | 1.05  | 6.86 |
| MAY 88     | 50  | 55.50 | 1.73  | 1.11  | 1    |      |      |       | 466  |     |     |     | 642    | 2.30E+5 |         |         |         | 1.05  | 6.23 |
| AGO 88     | 60  | 60.60 |       | .73   | 1.82 | .76  |      |       | 346  |     |     |     | 475    | 2.40E+4 |         |         |         | .86   | 3.34 |
| AGO 89     | 100 | 97    |       |       | 1.94 | .84  |      |       | 412  |     |     |     | 558    | 4.30E+4 |         |         |         | .85   | 2.92 |
| NOV 89     | 10  |       | 137   |       |      |      |      |       | 420  |     |     |     | 805    | 4.30E+4 |         |         |         | 10.05 | 6.60 |
| MAR 90     | 40  |       | 74.20 | 4.23  | 1.48 | .89  | 8.48 |       | 620  |     |     |     | 1001   |         |         | 460000  |         | .25   | 7    |

TESIS PROFESIONAL  
ELOISA DOMINGUEZ MARIANI

TABLA V.7





ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA SUB-TERRESTRE  
ESTACIÓN DE MONITOREO R-7

| EST | FECHA  | TEMP | pH     | COND  | CLOR  | GRAY  | ACE   | SOL   | SE    | CA    | DEO   | DOO   | NITRO | NI    | NO    | g     | NI    | NO    | NO    | TOT   | NO    | NO    | NO    | TURB  | CO    | CO    |
|-----|--------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R-7 | ENE 84 | 16   | -----  | 5.92  | 0.1   | 5.45  | 18    | 1.95  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | ABR 84 | 25   | -----  | 19.16 | 0.1   | 5.10  | 4.26  | 27.20 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | JUL 84 | 23   | -----  | 7.60  | 0.0   | 1.50  | ----- | 22.70 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | OCT 84 | 26   | -----  | 19.40 | 0.20  | 6.20  | ----- | 28.60 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | MAR 85 | 26   | -----  | 15.16 | 0.1   | 3.04  | ----- | 20    | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | JUN 85 | 22   | -----  | ----- | 0.1   | 7.81  | ----- | 19.70 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | AGO 86 | 24   | 7 7.60 | 9.65  | 0.1   | 3.20  | ----- | 1.99  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | FEB 87 | 17   | 7 8.30 | 24.30 | 0.1   | 5.33  | 5.82  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | MAY 87 | 20   | 7 6    | 6.48  | 0.1   | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | AGO 87 | 22   | 7 7.80 | 12    | 0.20  | 1.83  | 7.10  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | NOV 87 | 19   | 7 7.60 | ----- | 0.1   | ----- | 5.75  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | MAR 88 | 18   | 8 8.20 | 22.80 | 0.1   | 2.82  | 8.20  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | MAY 88 | 6    | 6 7.70 | 34.20 | 1.40  | 4.60  | 116   | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | AGO 88 | 22   | 7 7.80 | 6.25  | 0.39  | 8.73  | 18.30 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | JUL 89 | 24   | 6 7.60 | 4.60  | 1.30  | 6.70  | 12.40 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | AGO 89 | 21   | 7 7.10 | 5.43  | 2     | 4.43  | 20.40 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | NOV 89 | 20   | 7 6.50 | 7.60  | 1     | 14    | 9.70  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | MAR 90 | 23   | -----  | 8.20  | 13.50 | 0.0   | 13.46 | 1.62  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
|     | AGO 90 | 24   | 7 7.70 | ----- | 0.1   | 2.20  | 21.56 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |

| EST | FECHA  | SOD   | COLOR | DUCK  | CREOS | NA    | CA    | Mg    | RAS   | Cl    | Al    | TO    | ST    | SST   | SDT | COND    | COL     | TOT     | COLIFEC | BOD   | NTZ   |       |       |          |   |
|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|----------|---|
| R-7 | ENE 84 | 16    | 30    | 65    | ----- | 1.92  | 1.30  | 0.50  | 2.10  | 6.84  | 222   | 310   | 25    | 256   | 600 | 1E+4E+3 | 1E+4E+3 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- |       |          |   |
|     | ABR 84 | 33    | 45    | 45    | ----- | 1.60  | 1.90  | 0.60  | 1.40  | 17.60 | ----- | 300   | 60    | 300   | 320 | 12400   | 12400   | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- |       |          |   |
|     | JUL 84 | 18    | 60    | 160   | ----- | 1.67  | 2     | 0.66  | 1.60  | 10.76 | 176   | 426   | 65    | 381   | 340 | 224000  | 1.10E+4 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- |       |          |   |
|     | OCT 84 | 19    | 50    | 68    | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 6.84  | 90    | 268   | 10    | 250   | 240 | 1.50E+2 | 3.00E+2 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- |       |          |   |
|     | MAR 85 | 23    | 15    | 95    | ----- | 1.64  | 1.66  | 0.70  | 1.60  | 11.70 | 186   | 296   | 60    | 238   | 256 | 4.60E+2 | 7.50E+1 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- |       |          |   |
|     | JUN 85 | 19    | 45    | 91    | ----- | 1.92  | 1.82  | 0.24  | 1.90  | 9.70  | 202   | 316   | 25    | 291   | 320 | 1.10E+3 | 1.10E+3 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- |       |          |   |
|     | AGO 88 | ----- | 88.40 | ----- | ----- | 1.52  | 1.75  | 0.59  | 1.65  | ----- | 161   | 246   | 5     | 241   | 260 | -----   | -----   | -----   | -----   | ----- | ----- | 0.35  |       |          |   |
|     | FEB 87 | ----- | 50    | 87    | ----- | 1.87  | 1.76  | 0.54  | 1.75  | ----- | 294   | ----- | ----- | ----- | 400 | -----   | -----   | -----   | -----   | ----- | ----- | 24000 |       |          |   |
|     | MAY 87 | ----- | 75    | ----- | ----- | 92.50 | 2.24  | ----- | ----- | ----- | 444   | ----- | ----- | ----- | 665 | -----   | F R     | -----   | -----   | ----- | ----- | 0.07  |       |          |   |
|     | AGO 87 | 22    | 50    | ----- | ----- | 82.50 | 2.03  | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 340 | -----   | -----   | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.05  |          |   |
|     | NOV 87 | ----- | 30    | 155   | ----- | ----- | 2.20  | ----- | ----- | ----- | 420   | ----- | ----- | ----- | 615 | -----   | 12400   | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.06  | 2.47     |   |
|     | MAR 88 | ----- | 50    | 75    | ----- | ----- | 2.07  | ----- | ----- | ----- | 524   | ----- | ----- | ----- | 413 | -----   | 4.00E+2 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.05  | 4.27     |   |
|     | MAY 88 | ----- | 100   | 69.90 | ----- | ----- | 2.57  | 1.92  | 0.50  | ----- | 312   | ----- | ----- | ----- | 499 | -----   | 2.30E+3 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.05  | 6.23     |   |
|     | AGO 88 | ----- | 70    | 20.20 | ----- | ----- | 0.59  | 1.62  | 0.66  | ----- | 362   | ----- | ----- | ----- | 416 | -----   | 1.10E+3 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.05  | 5.94     |   |
|     | JUL 89 | ----- | 10    | 116   | ----- | ----- | 4.16  | 7.28  | 0.0   | 5.27  | 642   | ----- | ----- | ----- | 743 | -----   | -----   | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | ----- | -----    | 8 |
|     | AGO 89 | ----- | 12    | 72.10 | ----- | ----- | ----- | 1.44  | 0.94  | ----- | 714   | ----- | ----- | ----- | 426 | -----   | 2.30E+3 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.05  | 7.38     |   |
|     | NOV 89 | ----- | 50    | ----- | ----- | ----- | 110   | ----- | ----- | ----- | 576   | ----- | ----- | ----- | 594 | -----   | 2.10E+3 | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.05  | 8.90     |   |
|     | MAR 90 | ----- | 50    | 74.20 | ----- | ----- | 2.69  | 1.48  | 0.9   | 2.47  | 316   | ----- | ----- | ----- | 466 | -----   | -----   | -----   | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.11  | 5.2      |   |
|     | AGO 90 | ----- | 50    | 74.70 | ----- | ----- | 7.26  | 1.50  | 0.68  | 8.74  | 632   | ----- | ----- | ----- | 536 | -----   | 2.40E+4 | 7.50E+2 | -----   | ----- | ----- | ----- | 0.13  | NTZ 16.2 |   |

TESIS PROFESIONAL  
ELOISA DOMÍNGUEZ MARRIARI

TABLA 4.9

lo largo del río.

El otro tipo de análisis determinará la potencialidad de contaminación por parámetro, de acuerdo a la concentración existente y a sus características toxicológicas.

### V.3 ANALISIS DE LOS PARAMETROS UTILIZADOS

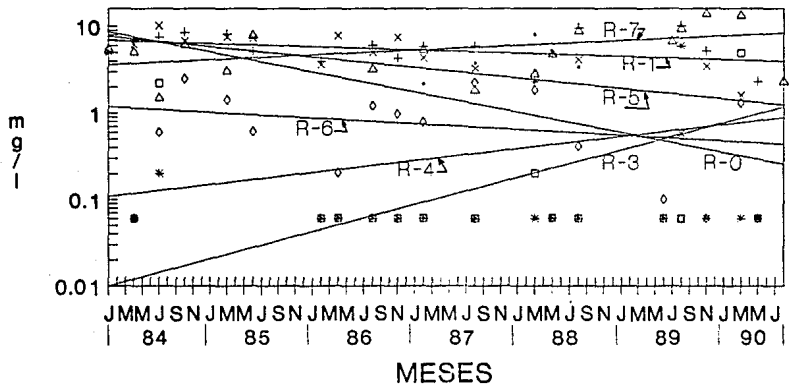
Los parámetros de los que se tiene información más o menos continua desde 1984, muestran algunos aspectos de la evolución de la calidad de las aguas residuales vertidas. En adelante se hará referencia a una serie de figuras que muestra ésta evolución y distribución tanto en el tiempo como en el espacio.

La Fig. V.8(A) muestra la variación de oxígeno disuelto (OD) que ha existido desde 1984, la cual muestra que las tendencias a incrementarse se presentan en las estaciones R-3, R-4 R-6 y R-7, mientras que en las demás estaciones ha ido disminuyendo. Este parámetro indica la capacidad de la corriente para albergar vida acuática; entre menor sea el contenido de OD, es mayor la contaminación existente.

En la figura VI.8(B) se tiene la evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que señala que solamente en R-4 ha disminuido muy levemente, en las demás estaciones se ha incrementado de diferente proporción. El concepto de DBO se define como la cantidad de oxígeno necesaria, por parte de los microorganismos para la descomposición de la materia orgánica presente en el cuerpo de agua. De lo anterior, se tiene que en todas las estaciones se ha ido incrementando la cantidad de materia orgánica en la corriente, y que con los niveles tan bajos de OD no alcanza a ser descompuesta por los microorganismos. Por lo que se encontrarán condiciones reductoras, producción de gases, reducción de sulfatos, etc.

# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN

## VARIACION DE OXIGENO DISUELTO (mg/l)

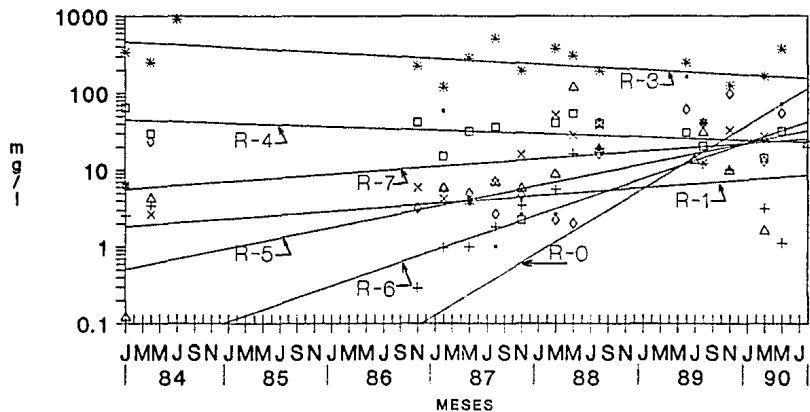


|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| — R-0 | + R-1 | - R-3 | - R-4 |
| * R-5 | o R-6 | - R-7 |       |

VALOR MINIMO PARA CONSUMO DE AGUA POTABLE , 4 mg/L

FIG. 1.8 (A)

# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN VARIACION DE D.B.O



VALOR MINIMO PARA CONSUMO DE AGUA POTABLE , 5 mg/L

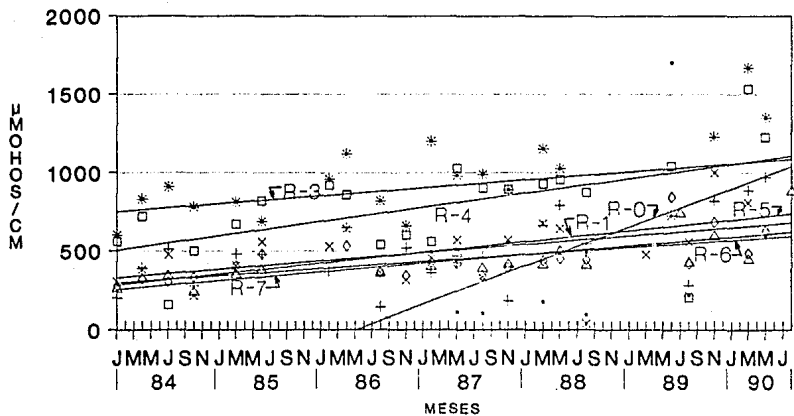
Los contenidos en sólidos totales (ST) y conductividad eléctrica (CE) muestran tendencias a incrementarse, aunque permanecen ligeramente por debajo de la norma (Fig. V.9 A y B). El contenido de ST determina el valor de la conductividad eléctrica, por lo que ambos están en función de los iones en solución, así como su tipo, ya que los ácidos, bases y sales son buenos conductores, en tanto que la materia orgánica presenta una conductividad pobre o nula.

En cuanto al contenido de grasas y aceites, se ha incrementado bastante, hasta encontrarse ya por encima de la norma. El contenido en detergentes, que se reporta como SAAM, muestra la misma tendencia a incrementarse. Aún más alarmante, es el que el contenido de coliformes totales que sobrepasa por mucho la norma (Fig. V.10 A, B y C). El grupo de bacterias coliformes incluye no solo a los microorganismos que se originan en el tubo intestinal de los animales de sangre caliente, sino también a los que provienen del suelo y de la vegetación. El alto contenido y la tendencia a incrementarse de éstos tres parámetros indica el alto grado de contaminación existente en el cauce del río.

Otro fenómeno a evaluar sería el tiempo y las condiciones de persistencia de cada parámetro al infiltrarse al subsuelo y si existe posibilidad de integrarse al acuífero. Por ejemplo, respecto al contenido de grasas y aceites, se deberá determinar si son de origen animal o bien procedentes de hidrocarburos, ya que las primeras son biodegradables y las segundas no. Revisten importancia, así mismo, por que pueden acarrear algunos contaminantes y llevarlos al subsuelo y permanecer ahí por mucho tiempo.

En cuanto al contenido de SAAM, la legislación mexicana al no obligar a la fabricación de solamente detergentes biodegradables, se infiere que los encontrados persistirán. En cuanto a los coliformes, su persistencia está dada por condiciones anaerobias y de pH básicos, que no son frecuentemente encontradas en el subsuelo. Sin embargo,

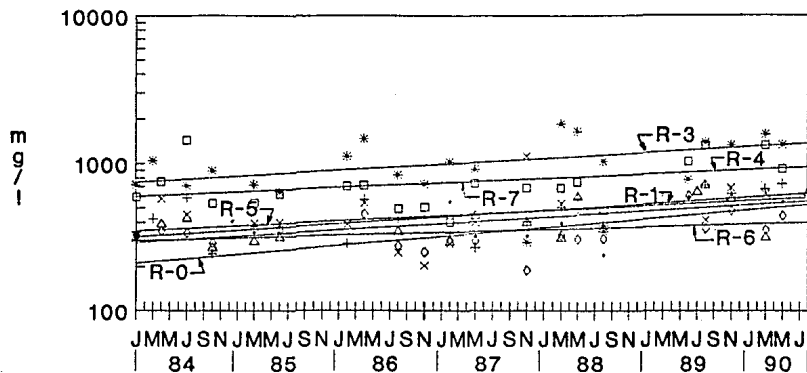
# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN VARIACION DE C.E.



|         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| —■— R-0 | —+— R-1 | —x— R-3 | —□— R-4 |
| —x— R-5 | —◇— R-6 | —△— R-7 |         |

LIMITE MAXIMO PERMISIBLE PARA AGUA POTABLE 1000 mhos/cm

# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN VARIACION DE SOLIDOS TOTALES



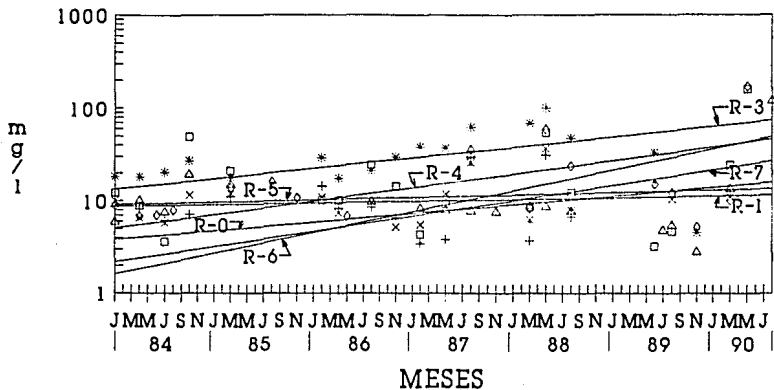
- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| — R-0 | + R-1 | * R-3 | □ R-4 |
| × R-5 | ◇ R-6 | △ R-7 |       |

LIMITE MAXIMO PERMISIBLE PARA AGUA POTABLE 1000 mg/l



# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN

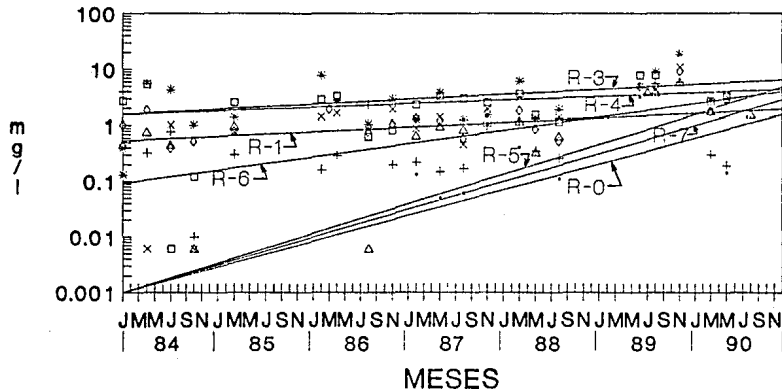
## VARIACION DE GRASAS Y ACEITES (mg/l)



- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| — R-0 | + R-1 | * R-3 | □ R-4 |
| × R-5 | ○ R-6 | △ R-7 |       |

CONCENTRACION LIMITE DE LA CONTAMINACION ADMISIBLE ES 1 mg/l

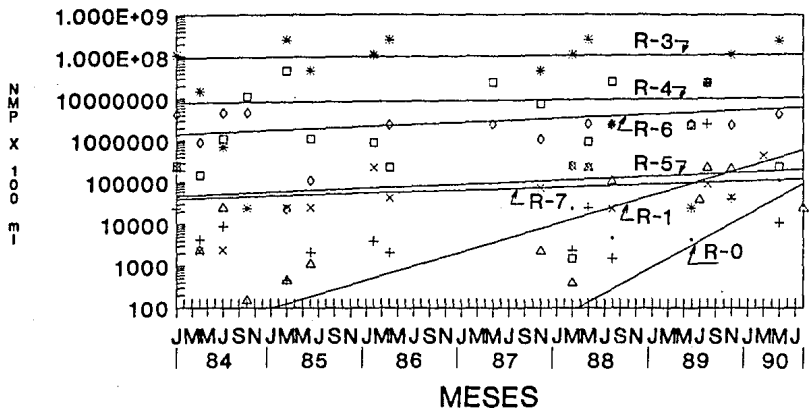
# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN VARIACION DE S.A.A.M.



R-0     
 + R-1     
 x R-3     
 □ R-4  
x R-5     
 ◇ R-6     
 △ R-7

**LIMITE MAXIMO PERMISIBLE PARA AGUA POTABLE 0.5 mg/l**  
**PARA PROTECCION DE LA VIDA ACUATICA 0.1 mg/l**

# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN VARIACION DE COLIFORMES TOTALES



- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| — R-0 | + R-1 | * R-3 | □ R-4 |
| x R-5 | ◊ R-6 | △ R-7 |       |

LIMITE MAXIMO PERMISIBLE PARA AGUA POTABLE 1000 NMP x 100 ml

como se verá más adelante se pueden presentar condiciones que favorezcan la vida o su infiltración rápida .

El contenido en dureza reportado como mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , muestra tendencias un tanto ambigüas para las diferentes estaciones, (Figura V. 11.A) ya que, en R-0 y R-1 ha aumentado la concentración, mientras que, en R-3 y R-4 disminuyen, manteniéndose igual en R-5, R-6 y R-7. La dureza se define como la capacidad para precipitar iones de calcio y magnesio, y se manifiesta como la capacidad de hacer "hervir " el jabón. Al aumentar el contenido de Ca y Mg y al ser arrastrado en la infiltración, es factible que actúe directamente en la composición del agua subterránea, es decir que sea causa del enriquecimiento en estos iones.

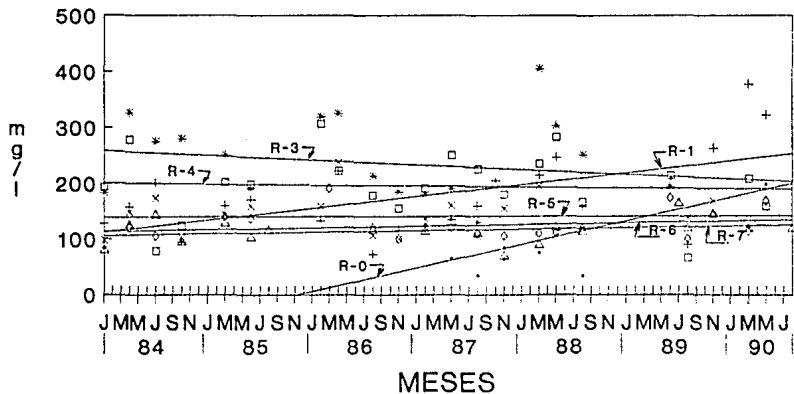
En cuanto al contenido de fosfatos, las estaciones R-1, R-0 y R-5 muestran tendencias a disminuir; mientras que en R-3, R-4, R-6 y R-7, se han ido incrementando, además de encontrarse por encima de la norma Fig. V.11.B. Los fosfatos forman parte de los nutrientes necesarios para la vida de los microorganismos, y su presencia en cantidades excesivas produce el crecimiento sin control de población algal, que a la larga puede ser causa de muerte de las corrientes, ya que acaba con el oxígeno requerido por otras especies. Su abundancia se puede asociar a excreciones humanas y de detergentes sintéticos.

Sintetizando, de los nueve parámetros que se han analizado, siete han ido en aumento y requieren vigilarse, estos son DRO, grasas y aceites, detergentes, coliformes totales, dureza y fosfatos. El contenido de OD es para algunas estaciones casi cero, en tanto sólo en R-7 se encuentra cercana a la norma. Se debe tener bajo vigilancia el contenido en ST, sobre todo en la parte que corresponde a sólidos suspendidos y sedimentables, ya que son estos los que afectan en mayor medida a la posible autoregeneración de la corriente.

Para tener la distribución de los parámetros a lo largo del río

# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN

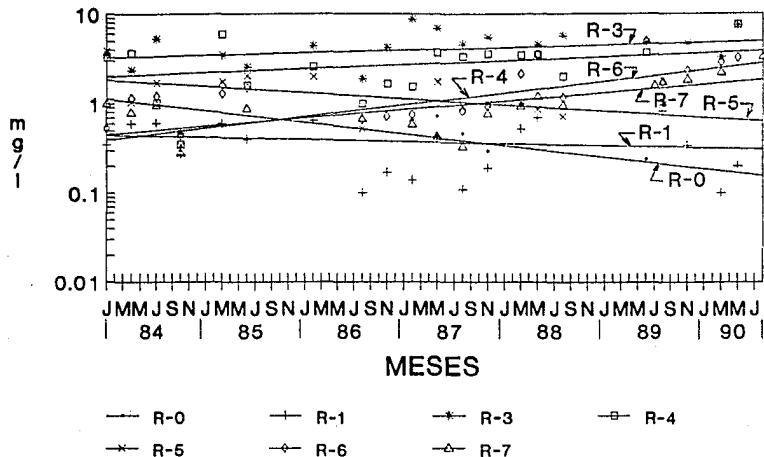
## VARIACION DE DUREZA ( $\text{CaCO}_3$ )



|         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| — R-0   | — + R-1 | — + R-3 | — □ R-4 |
| — x R-5 | — ○ R-6 | — △ R-7 |         |

ELEMENTO A CONTROLAR SI SE ENCUENTRA ENTRE 100 Y 500 mg/l

# ESTACIONES DE MONITOREO, RIO SAN JUAN VARIACION DE PO<sub>4</sub> TOTAL



PARA EMBALSES O LAGOS NO DEBERA EXCEDER DE 0.05 mg/l

PARA AGUA POTABLE DE 0.1 mg/l

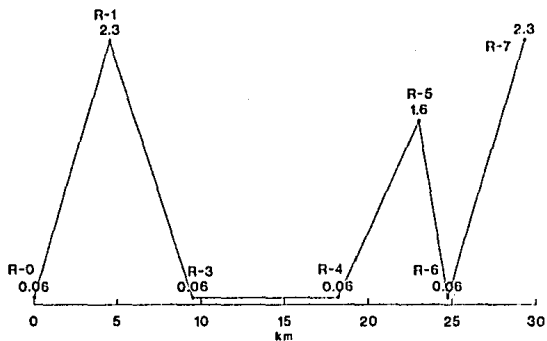
San Juan, se analizaron los datos más recientes para cada parámetro. Se observan bruscos aumentos especialmente en las estaciones R-3 y R-4, debido a que las descargas anteriores a ellas manifiestan alta carga contaminante. Es en estas estaciones donde se manifiesta que las descargas, son las más potencialmente peligrosas (Figs. V. 12 a 15). Entre las estaciones R-0 y R-7, las estaciones R-4, R-5 y R-6 muestran la mayor concentración en los siguientes parámetros, a excepción del OD en que se consideran como indicio de contaminación las menores:

| R-3                | R-4              | R-6                |
|--------------------|------------------|--------------------|
| PO <sub>4</sub>    | OD               | SAAM               |
| ST                 | PO <sub>4</sub>  | PO <sub>4</sub>    |
| DBO                | ST               | CC                 |
| Coliformes totales | CE               | Coliformes totales |
| Grasas y Aceites   | Grasas y aceites | OD                 |
| SAAM               | SAAM             |                    |
| OD                 | OD               |                    |

La tabla anterior tiene relación directa con el tipo y número de las descargas, de las cuales la suma de componentes se analiza en la siguiente estación de monitoreo; la Tabla V.1, muestra que el mayor número de descargas se encuentra antes de la estación R-3; antes de la estación de monitoreo R-4, se ubica la descarga del Dren La Culebra, que contiene los efluentes de la compañía Quimproc, que según observaciones realizadas, contiene gran cantidad de productos químicos que son dispuestos directamente en el suelo sin ningún tratamiento previo.

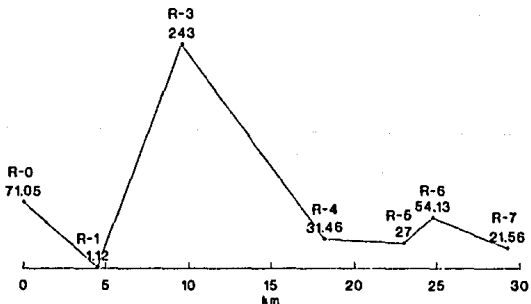
Por comparación, se muestran algunas normas para agua potable y para conservación de la fauna acuícola en la Tabla V.10, mientras que en la Tabla V.11, se hayan normas aplicadas al tipo de industrias

VARIACION DE OXIGENO DISUELTO (mg/l)  
 POR ESTACION  
 MAYO 1990



LOS DATOS DE R-5 FUERON TOMADOS EN MARZO  
 Y DE R-7 EN AGOSTO DE 1990

VARIACION DE D.B.O. (mg/l)  
 POR ESTACION  
 1990

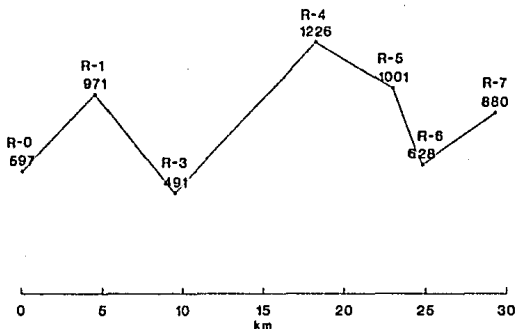


LOS DATOS FUERON TOMADOS EN MARZO R-5,  
 EN MAYO R-0, 1 Y 4, EN JUNIO R-3 Y AGOSTO  
 R-6

FIG. V 12

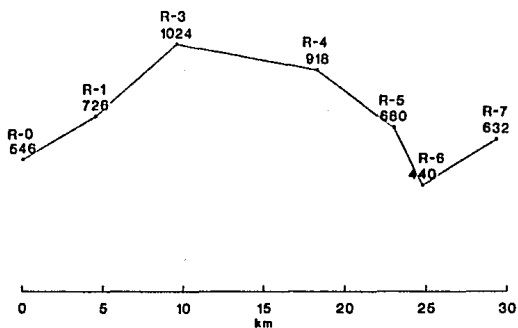


VARIACION DE C. E. ( mohos/cm)  
POR ESTACION  
MAYO 1990



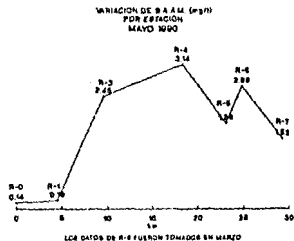
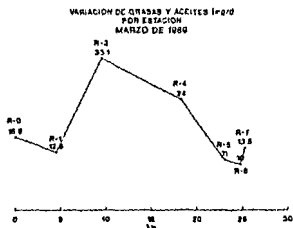
LOS DATOS DE R-5 FUERON TOMADOS EN MARZO  
Y DE R-7 EN AGOSTO DE 1990

VARIACION DE SOLIDOS TOTALES (mg/l)  
POR ESTACION  
MAYO 1990



LOS DATOS DE R-5 FUERON TOMADOS EN MARZO  
Y DE R-7 EN AGOSTO DE 1990

FIG V 13



VARIACION DE COLIFORMES TOTALES  
EN NMP X 100 ml POR ESTACION  
MAYO 1990

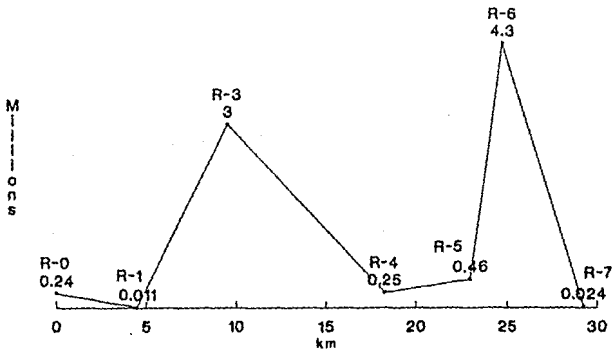
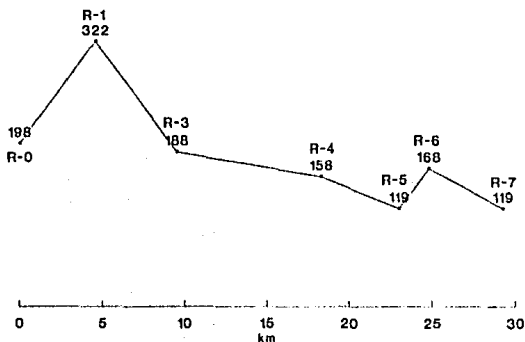


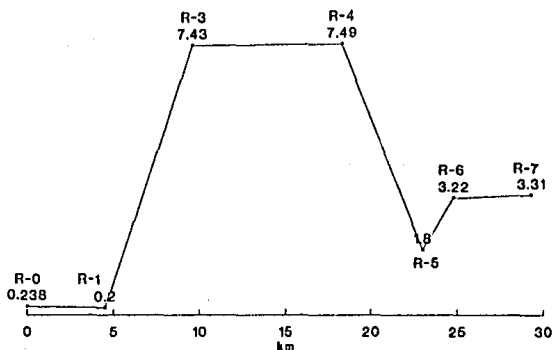
FIG. I 14

VARIACION DE DUREZA ( $\text{CaCO}_3$ ) en mg/l  
 POR ESTACION  
 MAYO 1990



LOS DATOS DE R-5 FUERON TOMADOS EN MARZO  
 Y DE R-7 EN AGOSTO DE 1990

VARIACION DE  $\text{PO}_4$  (mg/l)  
 POR ESTACION  
 MAYO 1990



LOS DATOS DE R-5, 6 Y 7 FUERON TOMADOS  
 EN AGOSTO DE 1990

FIG. V 15

NORMAS PARA CALIDAD DE AGUA POTABLE

| PARAMETRO                         | CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRICOLA (5) | NORMAS MEXICANAS DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE (4) | O . H . S .   |
|-----------------------------------|--|--|---------------|
| pH                                | 4.5 A 9.0  | 6.0 A 8.0  | 7.0 A 8.5 (1) |
| GRA Y ACE (mg/l)                  |  | AUSENTE  | 1 (2)         |
| O D (mg/l)                        |  | 5  | MINIMO 5 (3)  |
| D B O (mg/l)                      |  |  | 6 (2)         |
| TURBIEDAD (UT)                    |  | 10 (4)   | 5 (1)         |
| D Q O (mg/l)                      |  |  | 10 (2)        |
| DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> ) |  | 300  | 100 A 500 (3) |
| SO <sub>4</sub> (mg/l)            | 130  | 250  | 250 (3)       |
| COLOR (Pt-Co)                     |  | 5  | 5 (1)         |
| Cl (mg/l)                         | 147.5  | 250  | 200 (1)       |
| ST (ppm)                          |  | 1000   | 500 (1)       |
| CE ( mhos/cm)                     | 1000   |  |               |
| COL TOT (NMP/100 ml)              | 1000   |  |               |
| COL FEC (NMP/100 ml)              | 1000   | 1000   |               |
| BORO (mg/l)                       | 0.7  | 1  |               |
| NO <sub>3</sub> (mg/l)            |  | 5  | 50 (3)        |
| PO <sub>4</sub> (mg/l)            |  | 0.1  |               |
| SAAn                              |  | 0.5  |               |
| NH <sub>4</sub> (mg/l)            |  | 0.5  |               |

- (1) CONCENTRACION MAXIMA ACEPTABLE  
 (2) CONCENTRACION EN EL LIMITE DE CONTAMINACION ADMISIBLE  
 (3) CONCENTRACION LIMITE RECOMENDADA  
 (4) VALORES MAXIMOS PERMISIBLES  
 (5) NIVEL MAXIMO

FUENTES: RODIER, J., "ANALISIS DE LAS AGUAS", EDITORIAL OMEGA, 1981.  
 DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 13 DIC 1989.  
 NORMAS DE CALIDAD PARA AGUA POTABLE, SSA.

NORMAS PARA LA DESCARGA DE INDUSTRIAS

| PARAMETRO  | TIPO DE INDUSTRIAS                              |   |  |             |
|--|---|---|--|-------------|
|  | PETROQUIMICA                                    | TEXTIL  | PAPELERA   | ALIMENTICIA |
| pH   | 6 A 9   | 6 A 9   | 6 A 9  | 6 A 9       |
| GRA Y ACE  | 48  |   | 60   | 12          |
| D Q O  | 120   |   |  |             |
| SOL. SUSP.   |   | 60  |  |             |
| D B O  | 72  | 120   | 240  | 180         |
| SOL. SEDIM.  |   | 1.2   | 8.2  |             |
| SOL. SUSP. TOT.  | 85  |   | 240  | 180         |
| COLI. TOTALES  | 10,000  |   |  |             |
| PARAMETROS A VIGILAR   |   |   |  |             |
| TEMPERATURA<br>SOL. DISUELTOS<br>Cl, Co, Cu,<br>Fe, Ca, Zn,<br>Al, SO <sub>4</sub> , Pb,<br>Hg, Ni, VANADIO<br>MERCAPTANOS<br><br>ARSENICO | TEMPERATURA<br>COLOR<br>SOL. DISUELTOS<br>FENOL | TEMPERATURA<br>ALCALINIDAD<br>SOL. DISUELTOS<br>D Q O<br>N AMONIACAL<br>COLOR<br>METALES PESADOS<br>FENOLES<br>SULFUROS | NITROGENO<br>FOSFORD TOTAL<br>D Q O<br>SOL. DISUELTOS<br>ALCALINIDAD |             |

FUENTE: GACETA ECOLOGICA  
V.1., N.2  
AGOSTO DE 1989

TESIS PROFESIONAL  
DOMINGUEZ MARIANI ELOISA

TABLA V.11

existentes en la zona.

De lo anterior se tiene que las estaciones con mayor carga contaminante son la estación R-3 y R-4, siguiendo en importancia.

Se mencionaron anteriormente, los análisis practicados durante 1988 a las descargas existentes entonces, ahora servirán para evaluar que tan contaminante es cada una de éstas, con respecto a todos los parámetros considerados entonces en el análisis.

Kimberly Clark.- empresa dedicada al ramo papelerero, que cuenta con una planta de tratamiento secundario, en sus afluentes sólo presenta problemas en cuanto al contenido de coliformes totales.

Gasolinería La Venta, no cuenta con planta de tratamiento, lo que es necesario por lo menos a nivel primario, ya que presenta gran contenido en grasas y aceites, fosfatos, coliformes totales y en sólidos totales, de los que en mayor proporción son los sólidos sedimentables.

Quesos San Juan, compañía alimenticia que en sus efluentes se encuentra por encima de las normas en cuanto a grasas y aceites, DBO, sólidos totales y coliformes totales.

PITSA, compañía textil que cuenta con tratamiento secundario, y que aún así, se encuentra por encima de la norma en sólidos totales sedimentables.

Papeles Ponderosa, cuenta con tratamiento primario, se encuentra excedida en grasas y aceites, DBO, sólidos totales (en especial sólidos sedimentables) y coliformes totales.

Colector Municipal presenta altos contenidos en coliformes totales, incluso en N-NH<sub>4</sub>, lo cual revela materia en estado reductor.

Dren La Culebra, presenta niveles altos de OD, coliformes totales y fecales y de N-NH<sub>3</sub>.

Por lo que se puede ver, cierto número de empresas excede con mucho las normas existentes para cada parámetro, incluso aun cuando cuenten con algún tipo de tratamiento, este no es eficaz. La legislación actual señala ciertos parámetros a vigilar para cada tipo de empresa, los que no son tomados en cuenta, ni por las industrias ni por las instituciones encargadas de vigilar las normas.

## CAPITULO VI

### HIDROGEOQUIMICA DEL AGUA SUBTERANEA

El objetivo del presente capítulo es, establecer el comportamiento de algunos elementos químicos, como son los iones mayores en el agua subterránea, en lo que respecta a su distribución cuantitativa, las combinaciones entre sí, su evolución tanto en el espacio como en el tiempo.

La herramienta a utilizar son los análisis químicos ya realizados con anterioridad, los cuales fueron seleccionados de acuerdo al porcentaje de error en el balance iónico. Los tomados finalmente en cuenta, comprenden desde 1980 (8 análisis), 1981 (3), 1983 (22) y 1986 (15) que se muestran en la Tabla VI.1 y 2, y muestran una distribución más o menos uniforme, aunque no la ideal. Plano VI.1.

Para cumplir el objetivo principal de este capítulo, se elaboró una serie de planos y gráficas, con los cuales se trata de explicar el comportamiento de la conductividad eléctrica, algunos índices hidrogeoquímicos, familias de agua, así como la evolución de éstas en el tiempo. Así mismo, se trazaron algunas rutas del flujo subterráneo, que se siguieron por medio del enriquecimiento y evolución de los iones mayores, como son el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

#### VI.1 CARACTERIZACION HIDROGEOQUIMICA.

Los iones analizados fueron los denominados mayores, los cationes  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$  y los aniones  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ , de los cuales se analizaron las abundancias relativas de cada ión. Una manera de hacerlo de una forma rápida es por medio de la gráfica de los índices hidrogeoquímicos  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++}$  vs.  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{=}+\text{Cl}^-$  (Figs. VI.1 a 4) y





ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA SUBTERRANEA  
AREA SAN JUAN DEL RIO-TEGUISQUITAPAN, QRO.

| ANO   | FECHA        | C.E. | C.E.ESP | pH    | COND   | ICB   | RS   | NA/CALCO | HC03/SO4/CL | LI/NO3 |
|-------|--------------|------|---------|-------|--------|-------|------|----------|-------------|--------|
| 1960  | 25 JUN 1960  | 320  |         | 8.10  | 70     |       | 1.66 | 1.10     | 5.92        | 0      |
|       | 29 JUN 1960  | 400  |         | 7.60  | 80     |       | 1.64 | 1.25     | 2.56        | 0      |
|       | 35 JUL 1960  | 480  |         | 8.10  | 95     |       | 2.47 | 1.45     | 7.25        | 0      |
|       | 41 MAR 1960  | 400  |         |       | 100    |       | 1.47 | .65      | 5.47        | 0      |
|       | 43 MAR 1960  | 300  |         | 7.85  | 100    | 7.94  | 1.35 | .86      | 4.68        | .09    |
|       | 138 MAR 1960 | 400  |         | 7.60  | 135    | 8.27  | .95  | .48      | 8.81        | .10    |
|       | 307 MAY 1960 | 400  |         | 7.90  | 130    |       | .75  | .57      | 5.05        | 0      |
|       | 830 MAR 1962 | 440  |         | 8.40  | 100    | 14.70 | 2.06 | 1.20     | 5.86        | .68    |
| ----- |              |      |         |       |        |       |      |          |             |        |
|       | 71 JUL 1961  | 320  |         | 7.20  | 127.50 | 1.86  | .33  | .24      | 1.26        | .35    |
|       | 104 JUL 1961 | 520  |         | 8.20  | 141    |       | 1.46 | .89      | 7.42        | 0      |
|       | 792 SEP 1961 | 260  |         | 8.10  | 67.50  |       | 1.35 | .95      | 1.65        | 0      |
| ----- |              |      |         |       |        |       |      |          |             |        |
|       | 2 FEB 83     | 400  | 256     | 7.5-8 | 96     |       | 1.50 | .89      | 1.66        | 0      |
|       | 13 FEB 83    | 300  | 230.40  | 7-7.5 | 96     |       | 1.37 | .82      | 3.84        | 0      |
|       | 20 MAR 83    | 360  | 230.40  | 7-7.5 | 72     |       | 1.76 | 1.25     | 2.56        | 0      |
|       | 25 FEB 83    | 400  | 256     | 7.5-8 | 144    |       | 2.08 | .97      | 1.54        | 0      |
|       | 29 FEB 83    | 360  | 230.40  | 7.5-8 | 96     |       | 1.55 | .92      | 2.64        | 0      |
|       | 35 FEB 83    | 560  | 358.40  | 7.5-8 | 144    |       | 2.08 | .97      | 1.54        | 0      |
|       | 39 FEB 83    | 360  | 230.40  | 7.5-8 | 96     |       | 1.37 | .82      | 5.12        | 0      |
|       | 43 MAR 83    | 400  | 256     | 7.5-8 | 84     |       | 1.75 | 1.32     | .3          | 0      |
|       | 52 MAR 83    | 320  | 204.80  | 7.5-8 | 84     |       | 1.52 | .66      | 3.20        | 0      |
|       | 56 FEB 83    | 360  | 230.40  | 7.5-8 | 84     |       | 1.40 | .60      | 8.88        | 0      |
|       | 75 FEB 83    | 720  | 460.80  | 7.5-8 | 264    |       | 1.54 | .59      | 5.12        | 0      |
|       | 83 FEB 83    | 320  | 204.80  | 7.5-8 | 84     |       | 1.42 | 1.37     | 5.07        | 0      |
|       | 101 FEB 83   | 520  | 320     | 7-7.5 | 132    |       | 1.66 | .91      | 2.56        | 0      |
|       | 104 FEB 83   | 640  | 410     | 7.5-8 | 180    |       | 1.44 | .79      | 2.50        | 0      |
|       | 130 FEB 83   | 440  | 281.60  | 7.5-8 | 96     |       | 1.33 | .83      | 3.07        | 0      |
|       | 305 MAR 83   | 520  | 352.80  | 7-7.5 |        |       | 1.10 | .54      | 1.95        | 0      |
|       | 715 MAR 83   | 560  | 358.80  | 7-7.5 |        |       | 2.00 | 1.30     | 6.50        | 0      |
|       | 1020 ABR 83  | 400  | 256     | 7.5-8 | 108    |       | 1.36 | .77      | 2.68        | 0      |
|       | 1021 FEB 83  | 360  | 230.40  | 7.5-8 | 96     |       | 1.85 | 1.15     | 2.56        | 0      |
|       | 1230 MAR 83  | 320  | 204.80  | 7-7.5 |        |       | 2.36 | 1.59     | 1.73        | 0      |
|       | 1241 MAR 83  | 440  | 440     | 7-7.5 |        |       | 1.55 | 1.27     | 1.92        | 0      |
|       | 1247 MAR 83  | 440  | 281.60  | 7-7.5 |        |       | 1.34 | .82      | 2.56        | 0      |
| ----- |              |      |         |       |        |       |      |          |             |        |
|       | 2 FEB 86     | 280  |         | 8.30  | 84     | 18.65 | 1.35 | .84      | 17.76       | .03    |
|       | 13 FEB 86    | 225  |         | 8.23  | 81     | 7.11  | 1.49 | 1.10     | 6.84        | .10    |
|       | 25 FEB 86    | 280  |         | 8.30  | 69     | 12.60 | 1.70 | 1.16     | 14.17       | .06    |
|       | 28 FEB 86    | 300  |         | 8.20  | 77     | 16.57 | 1.65 | 1.11     | 17.66       | .04    |
|       | 41 FEB 86    | 250  |         | 8.20  | 84     | 13.77 | 1.35 | .84      | 17.32       | .04    |
|       | 45 FEB 86    | 300  |         | 8.20  | 110    | 15.84 | 1.34 | .74      | 22.05       | .03    |
|       | 56 FEB 86    | 280  |         | 8.20  | 77     | 12.78 | 1.26 | .84      | 16.24       | .04    |
|       | 83 FEB 86    | 270  |         | 8.10  | 89     | 8.56  | 1.49 | .94      | 10.25       | .06    |
|       | 100 FEB 86   | 255  |         | 8.20  | 71     | 15.25 | 1.51 | 1.10     | 17.37       | .04    |
|       | 104 FEB 86   | 355  |         | 8.30  | 91     | 18.52 | 1.61 | 1.06     | 14.10       | .04    |
|       | 138 FEB 86   | 320  |         | 8     | 103    | 7.38  | 1.09 | .60      | 10.14       | .07    |
|       | 307 FEB 86   | 340  |         | 8.10  | 107    | 12.85 | .95  | .61      | 24.26       | .03    |
|       | 830 FEB 86   | 360  |         | 8     | 107.05 | 23.11 | 2.12 | 1.14     | 13.93       | .03    |
|       | 912 FEB 86   | 230  |         | 7.90  | 71     | 9.56  | 1.47 | 1.00     | 6.57        | .06    |
|       | 1023 FEB 86  | 330  |         | 8.20  | 125    | 17.70 | 1.46 | .74      | 16.94       | .03    |

ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA  
 ÁREA SAN JUAN DEL RÍO. TEQUISQUIAPAN, QRO.

| FOJO         | FECHA | SONNEQ/L | COJMEQ/L | HCOJMEQ/L | NOJMEQ/L | CLMEQ/L | NAMEQ/L | KMEQ/L | CAMEQ/L | MJMEQ/L | CANTO MEQ/L | VERBOR |
|--------------|-------|----------|----------|-----------|----------|---------|---------|--------|---------|---------|-------------|--------|
| 25 JUN 1980  |       | ,250     | ,71      | 1,77      |          | 0       | 1,33    | ,230   | 1       | ,40     |             | 5,84   |
| 29 JUL 1980  |       | ,950     | ,17      | 2,34      |          | 0       | 1,65    | ,350   | 1,20    | ,40     |             | 1,51   |
| 35 JUL 1980  |       | ,560     | 1,22     | 2,84      |          | 0       | 2,41    | ,340   | 1       | ,90     |             | ,30    |
| 41 MAR 1980  |       | ,572     | ,17      | 2,95      |          | 0       | 1,47    | ,240   | ,10     | ,90     |             | ,27    |
| 49 MAR 1980  |       | ,450     | 0        | 2,84      |          | ,25     | 1,39    | ,320   | 1,50    | ,50     |             | 2,39   |
| 138 MAY 1980 |       | ,210     | ,71      | 2,40      |          | ,25     | 1,10    | ,200   | 1,80    | 1,10    |             | 5,73   |
| 307 MAY 1980 |       | ,590     | ,14      | 2,84      |          | 0       | 1,60    | ,330   | 1,40    | 1,20    |             | 6,50   |
| 830 MAR 1980 |       | ,320     | ,14      | 3,19      |          | ,25     | 2,16    | ,330   | 1       | 1       |             | 1,40   |
| -----        |       |          |          |           |          |         |         |        |         |         |             |        |
| 71 JUL 1981  |       | ,610     | 0        | 2,04      |          | ,71     | ,91     | ,190   | 1,50    | 1,55    |             | -6,67  |
| 104 JUL 1981 |       | ,620     | ,51      | 4,00      |          | 0       | 1,73    | ,790   | 1,80    | ,91     |             | 1,14   |
| 790 SEP 1981 |       | ,650     | 0        | 1,40      |          | 0       | 1,11    | ,170   | ,40     | ,95     |             | 7,75   |
| -----        |       |          |          |           |          |         |         |        |         |         |             |        |
| 2 FEB 83     |       | 1,400    | 0        | 2,54      |          | 0       | 1,47    | ,130   | ,50     | ,90     |             | -6,94  |
| 13 FEB 83    |       | ,690     | 0        | 3,07      |          | 0       | 1,34    | ,240   | ,90     | ,90     |             | -3,02  |
| 20 MAR 83    |       | 1,230    | 0        | 3,07      |          | 0       | 1,52    | ,320   |         |         | 1,44        | 5,41   |
| 25 FEB 83    |       | 2        | 0        | 3,07      |          | 0       | 2,50    | ,280   | 1,20    | 1,60    |             | 5,50   |
| 29 FEB 83    |       | ,600     | 0        | 3,07      |          | 0       | 1,52    | ,240   | 1,25    | ,72     |             | -2,52  |
| 35 FEB 83    |       | 2        | 0        | 3,07      |          | 0       | 2,50    | ,280   | 1,20    | 1,62    |             | 5,50   |
| 39 FEB 83    |       | ,600     | 0        | 3,07      |          | 0       | 1,34    | ,240   | 1,20    | ,72     |             | -2,37  |
| 43 MAR 83    |       | 1        | 0        | 3         |          | 0       | 1,40    | ,620   | ,72     | ,90     |             | -1,27  |
| 52 MAR 83    |       | ,800     | 0        | 2,58      |          | 0       | 1,34    | ,230   | ,95     | ,72     |             | -1,90  |
| 56 FEB 83    |       | ,490     | ,40      | 3,07      |          | 0       | 1,28    | ,240   | ,90     | ,72     |             | -9,48  |
| 75 FEB 83    |       | 1,200    | 0        | 6,14      |          | 0       | 2,50    | ,520   | 3,12    | 2,16    |             | 6,73   |
| 83 FEB 83    |       | ,800     | 1        | 2,04      |          | 0       | 1,30    | 1      | 1,20    | ,40     |             | 4,46   |
| 101 FEB 83   |       | 1,600    | 0        | 4,09      |          | 0       | 1,91    | ,500   | 1,20    | 1,44    |             | -5,96  |
| 104 FEB 83   |       | 2        | 0        | 3         |          | 0       | 1,33    | ,910   | 1,62    | 1,92    |             | -4,17  |
| 130 FEB 83   |       | 1        | 0        | 3,07      |          | 0       | 1,30    | ,290   | 1,20    | ,72     |             | -7,39  |
| 303 MAR 83   |       | 2        | 0        | 3,89      |          | 0       | 1,43    | ,340   |         |         | 3,36        | -6,41  |
| 715 MAR 83   |       | ,600     | 0        | 5,10      |          | 0       | 2,19    | 1,410  |         |         | 2,40        | 2,85   |
| 1020 ABR 83  |       | 1,200    | ,50      | 2         |          | 0       | 1,41    | ,250   | 1,44    | ,72     |             | 1,40   |
| 1021 FEB 83  |       | 1,200    | 0        | 3,07      |          | 0       | 1,91    | ,290   | ,90     | ,95     |             | -1,79  |
| 1230 MAR 83  |       | 1,200    | 0        | 2,07      |          | 0       | 2       | ,290   |         |         | 1,44        | 6,57   |
| 1241 MAR 83  |       | 1,600    | 0        | 3,07      |          | 0       | 1,52    | ,910   |         |         | 1,92        | -3,55  |
| 1247 MAR 83  |       | 1,200    | 0        | 3,07      |          | 0       | 1,39    | ,390   |         |         | 2,16        | -4,02  |
| -----        |       |          |          |           |          |         |         |        |         |         |             |        |
| 2 FEB 86     |       | ,067     | ,16      | 2,50      | ,037     | ,03     | 1,24    | ,187   | 1,12    | ,56     |             | -4,05  |
| 13 FEB 86    |       | ,033     | 0        | 2,20      | ,013     | ,22     | 1,18    | ,163   | ,90     | ,30     |             | 1,39   |
| 25 FEB 86    |       | ,050     | ,20      | 2,40      | ,011     | ,14     | 1,41    | ,180   | 1,02    | ,36     |             | 2,64   |
| 29 FEB 86    |       | ,050     | 0        | 2,66      | ,012     | ,11     | 1,46    | ,255   | 1,22    | ,32     |             | 3,54   |
| 41 FEB 86    |       | ,040     | 0        | 2,60      | ,013     | ,11     | 1,24    | ,187   | 1,02    | ,66     |             | 5,34   |
| 45 FEB 86    |       | ,040     | 0        | 3,31      | ,043     | ,11     | 1,41    | ,224   | 1,42    | ,76     |             | 4,51   |
| 56 FEB 86    |       | ,050     | 0        | 2,60      | ,020     | ,11     | 1,11    | ,180   | 1,02    | ,52     |             | 1,03   |
| 83 FEB 86    |       | ,040     | 0        | 2,66      | ,030     | ,22     | 1,41    | ,255   | 1,16    | ,60     |             | 7,74   |
| 100 FEB 86   |       | ,043     | 0        | 2,60      | ,020     | ,11     | 1,27    | ,299   | 1,18    | ,24     |             | 2,62   |
| 104 FEB 86   |       | ,114     | ,28      | 2,85      | ,037     | ,11     | 1,34    | ,390   | 1,32    | ,50     |             | 4,15   |
| 133 FEB 86   |       | ,030     | 0        | 3,16      | ,060     | ,22     | 1,11    | ,296   | 1,58    | ,48     |             | -1,32  |
| 307 FEB 86   |       | ,020     | 0        | 3,16      | ,036     | ,11     | ,66     | ,322   | 1,22    | ,920    |             | 2,05   |
| 830 FEB 86   |       | ,160     | 0        | 3,78      | ,030     | ,11     | 2,17    | ,245   | 1,32    | ,82     |             | 5,73   |
| 912 FEB 86   |       | ,090     | 0        | 2,20      | ,026     | ,17     | 1,24    | ,163   | ,62     | ,60     |             | 6,74   |
| 1020 FEB 86  |       | ,100     | 0        | 3,56      | ,027     | ,11     | 1,63    | ,214   | 1,50    | 1       |             | 6,72   |

TESIS PROFESIONAL  
 U.N.A.M., F.I., 1991  
 ELOISA DOMÍNGUEZ MARIANI

TABLA VI. 2

los Diagramas de Piper, que se muestran en las Figs. VI.5 a 8.

Donde se agruparon algunos pozos pensando en un comportamiento semejante de acuerdo a la posición geográfica. La evolución de cada pozo con respecto a los iones se muestra en otras gráficas.

El anión predominante es el ión bicarbonato, el cual se relaciona con la entrada de agua de reciente infiltración, cargada de  $\text{CO}_2$  atmosférico; en todos los análisis observados se encontró alta la proporción con respecto al  $\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^-$ ; en cuanto a los cationes, en algunos casos impera el  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ , debido tal vez a dos razones:

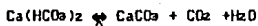
a) por influencia de las rocas básicas que existen en la parte sur del Área.

b) por "endurecimiento" o sea intercambio iónico de  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$  por Na.

Según la escala de dureza propuesta por Sawyer (1967)

- 00 - 75 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  agua blanda
- 75 - 150 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  agua moderadamente dura
- 150 - 300 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  agua dura
- 300 - ... mg/l de  $\text{CaCO}_3$  agua muy dura

la clasifica como aguas moderadamente duras, y de acuerdo a la abundancia del ión bicarbonato y la menor proporción de  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ , se tiene que es de tipo temporal, la que puede desaparecer por medio de la acción del calor y según la reacción:



Este tipo de aguas bicarbonatadas, abundantes en la zona, al salir a superficie pueden precipitar  $\text{CaCO}_3$ , debido a cambios en la tensión del  $\text{CO}_2$ .

# INDICES HIDROGEOQUIMICOS 1980

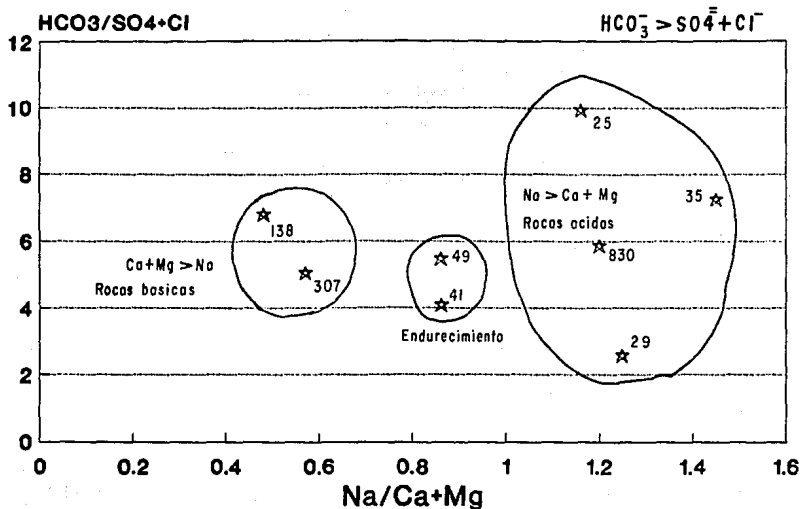


FIG. VI.1

# INDICES HIDROGEOQUIMICOS 1981

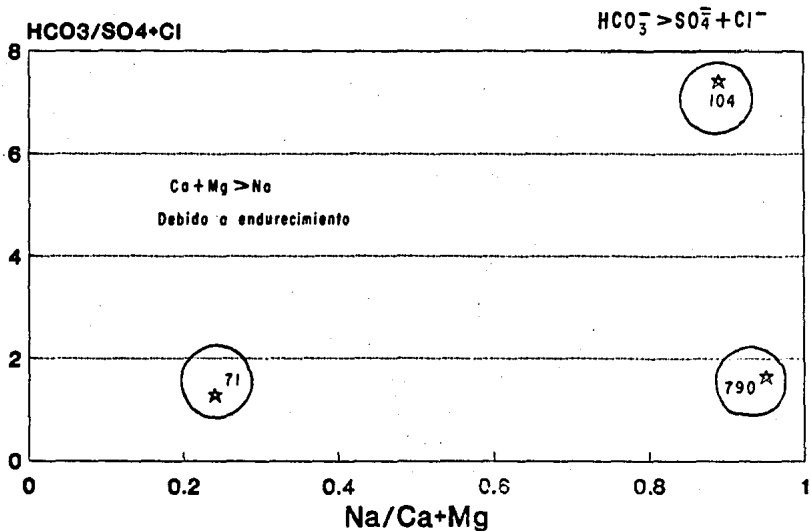


FIG. VI.2

# INDICES HIDROGEOQUIMICOS 1983

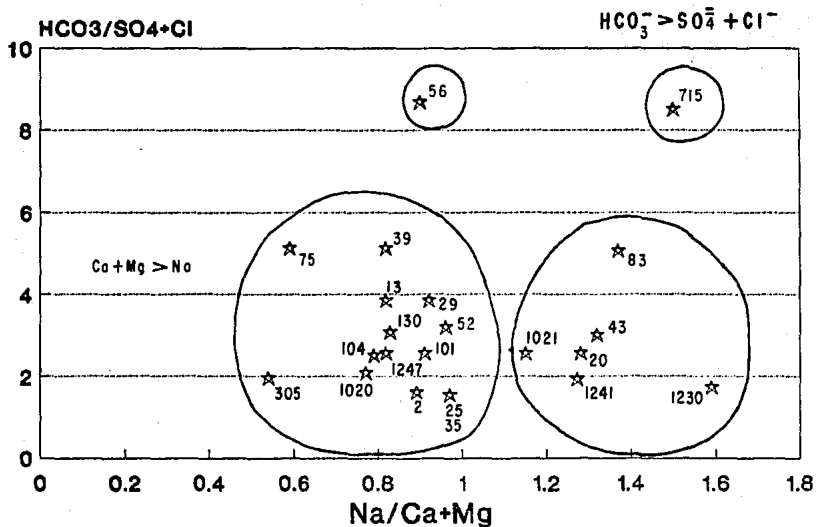


FIG. VI.3

# INDICES HIDROGEOQUIMICOS 1986

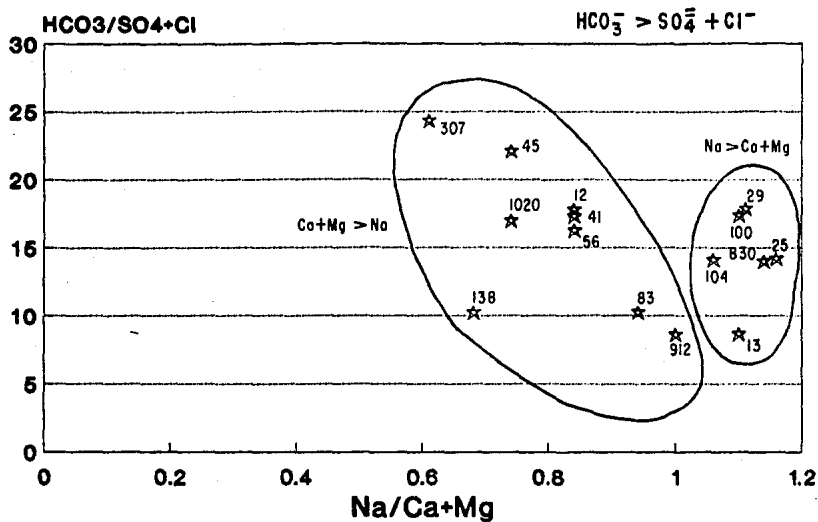
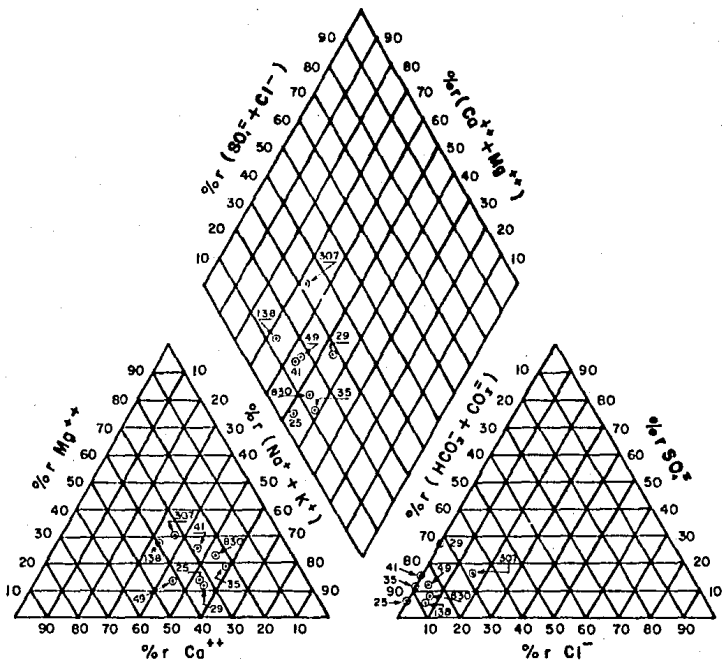


FIG. VI. 4

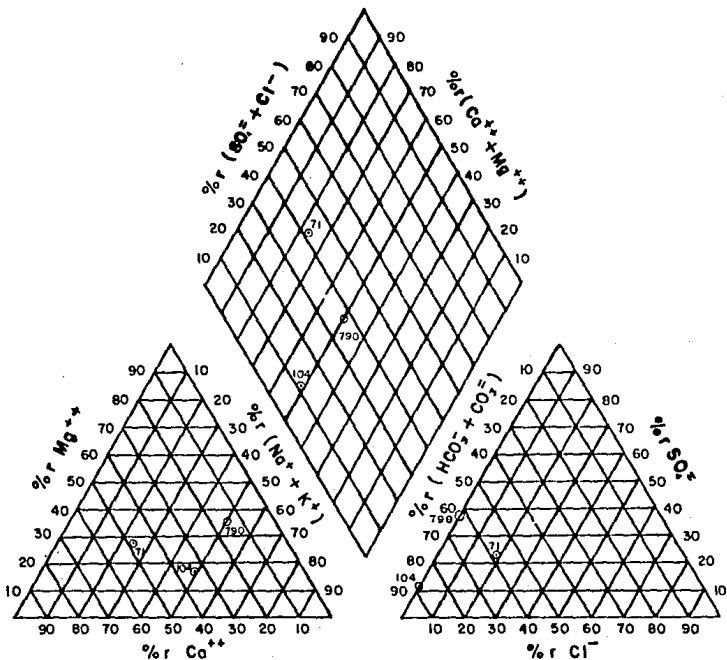




% r = PORCENTAJE DE MILIEQUIVALENTES

Observaciones: AÑO 1980 1/1  
POZOS 25, 29, 35, 41, 49, 138, 307

|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI.5          | 1991 |

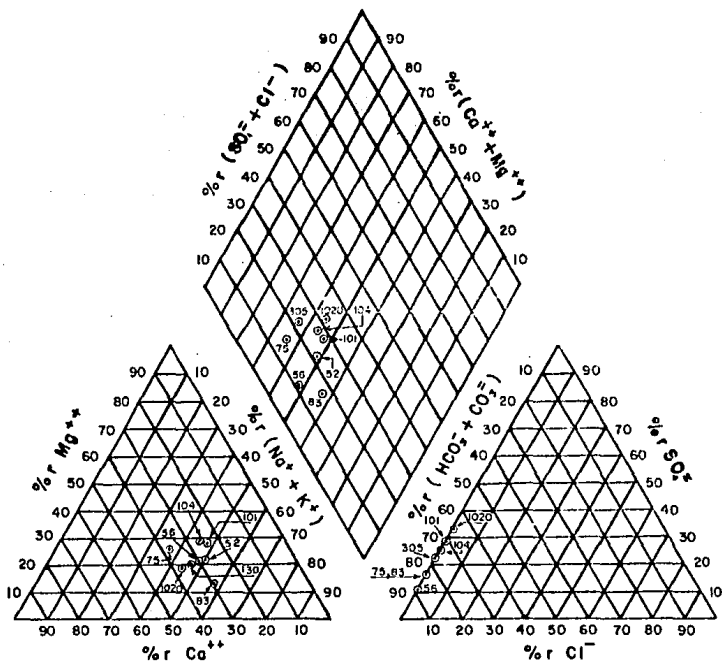


%r = PORCENTAJE DE MILIEQUIVALENTES

Observaciones: AÑO 81 V1

POZOS 71, 104 y 790

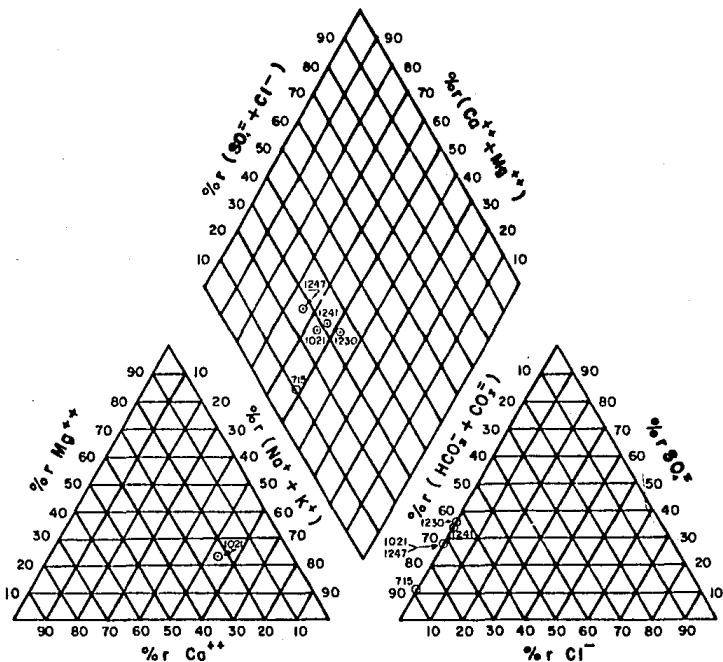
|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI. 6         | 1991 |



%r = PORCENTAJE DE MILIEQUIVALENTES

Observaciones: AÑO 1983 1/3  
POZOS 52, 56, 75, 83, 101, 104,  
305 y 1020

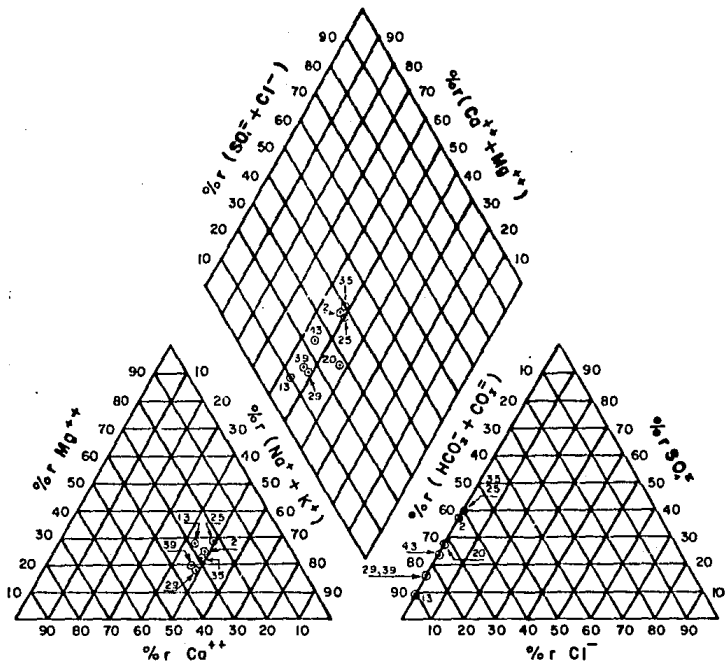
|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI.7.1        | 1991 |



% r = PORCENTAJE DE MILIEQUIVALENTES

Observaciones: AÑO 1983 2/3  
POZOS 715, 1021, 1230, 1241 y 1247

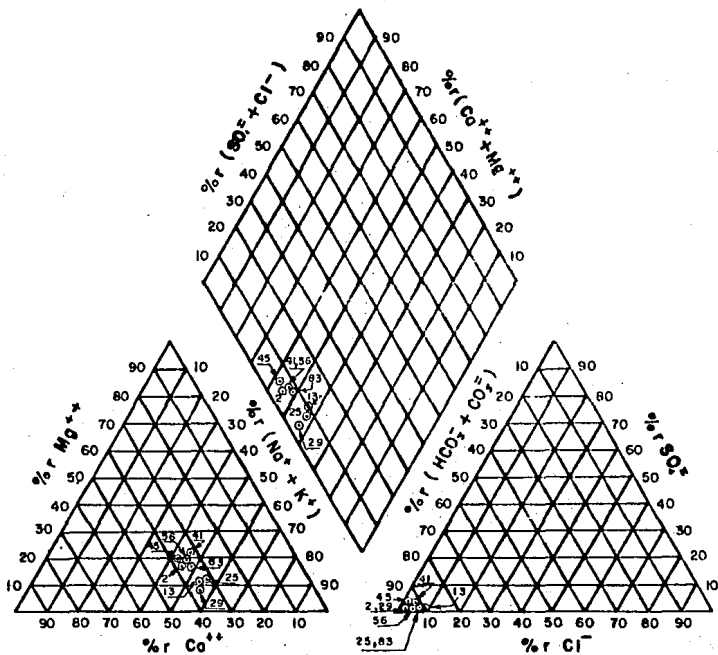
|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI. 7. 2      | 1991 |



%r = PORCENTAJE DE MILIEQUIVALENTES

Observaciones: AÑO 1983 3/3  
POZOS 2, 13, 20, 25, 29, 35, 39 y 43

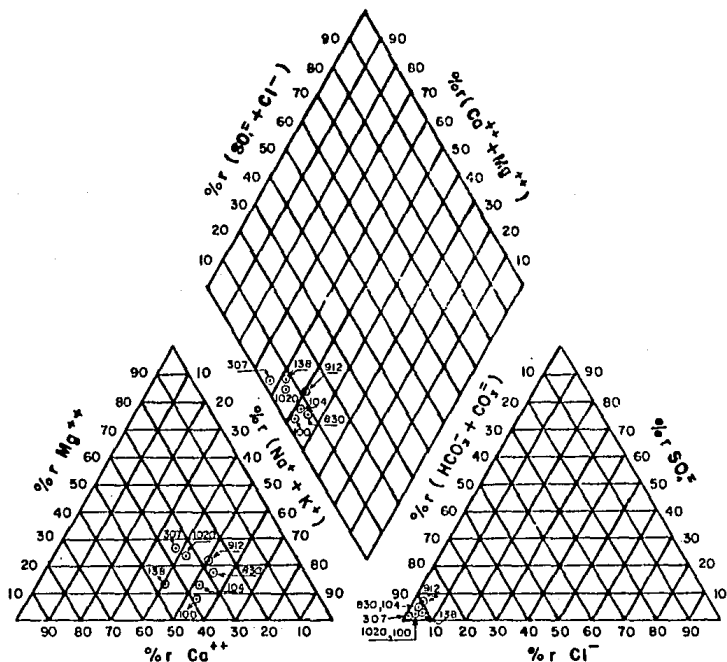
|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI.7.3        | 1991 |



%r = PORCENTAJE DE MILIEQUIVALENTES

Observaciones: AÑO 1986 1/2  
POZOS 2, 13, 25, 29, 41, 45,  
53 y 83

|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI.8.1        | 1991 |



$\%r$  = PORCENTAJE DE MILIEQUIVALENTES

Observaciones: AÑO 1986 2/2  
POZOS 100, 104, 138, 307, 830  
y 1020

**U  
N  
A  
M**

**TESIS PROFESIONAL**

DOMINGUEZ MARIANI ELOISA

FIGURA No. VI.8.2

1991

En otros casos el catión Na se presenta como el imperante, para lo cual pueden existir cuatro razones:

- i) por influencia de las rocas ácidas,
- ii) por ablandamiento, sustitución de  $\text{Na}^+$  por  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ,
- iii) por infiltración de contaminantes procedentes de las descargas que fluyen por el río San Juan.
- iv) por concentración de agua de lluvia.

En cuanto a los diagramas de Piper, la mayoría de los análisis se situaron en el costado inferior izquierdo del diamante central, con porcentajes de 30 a 75% de  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$  y 50 a 100% de  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$ , muy cercanos entre sí. Lo anterior llevó a la necesidad de subdividir y denominar pequeños sectores del rombo central, específicamente, de acuerdo a las condiciones de dureza y de concentración de  $\text{HCO}_3^-$ , hasta quedar como lo muestra la Figura No. VI.9. Con este diagrama se mostrará la evolución de la composición.

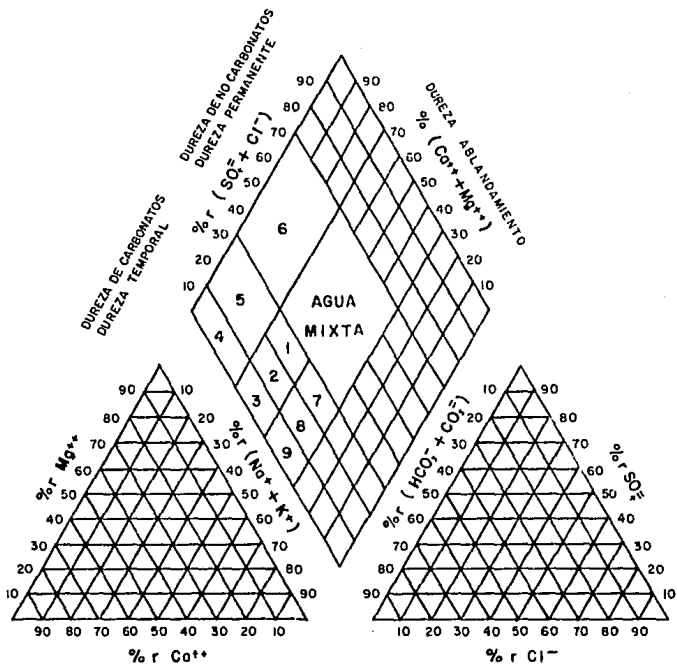
Para observar las familias de agua espacialmente, se recurrió a agruparlos en un plano para cada año. En ellos resultó muy fácil observar que, los pozos muestreados en las partes altas del valle presentan aguas mixtas, es decir de mezcla, es decir, sin ningún ión predominante; al descender topográficamente, aumenta el contenido en  $\text{HCO}_3^-$  y en  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ .

Resulta claro que la infiltración de agua cargada en  $\text{CO}_2$  atmosférico, además del proveniente de las plantas del área de cultivo, hacen que el contenido en  $\text{HCO}_3^-$  aumente. Según la reacción:



El endurecimiento se debe ya sea, a la disolución de rocas básicas situadas en el sur de la zona y desde donde proviene el flujo subterráneo o por la infiltración de las aguas duras de las descargas.





|                  |                                     |                  |
|------------------|-------------------------------------|------------------|
| U<br>N<br>A<br>M | FACULTAD DE INGENIERIA              |                  |
|                  | SUBDIVISION AL<br>DIAGRAMA DE PIPER |                  |
|                  | ELOISA DOMINGUEZ MARIANI            |                  |
|                  | TESIS PROFESIONAL                   |                  |
|                  | 1991                                | FIGURA No. VI. 3 |

Es notorio ver que las aguas con mayor contenido en  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$  se encuentran entre el Río San Juan, la Presa La Llave y la presa Constitución de 1917. Esta Área delimita la llegada del flujo proveniente desde la zona de recarga y el paso subsecuente por el río San Juan.

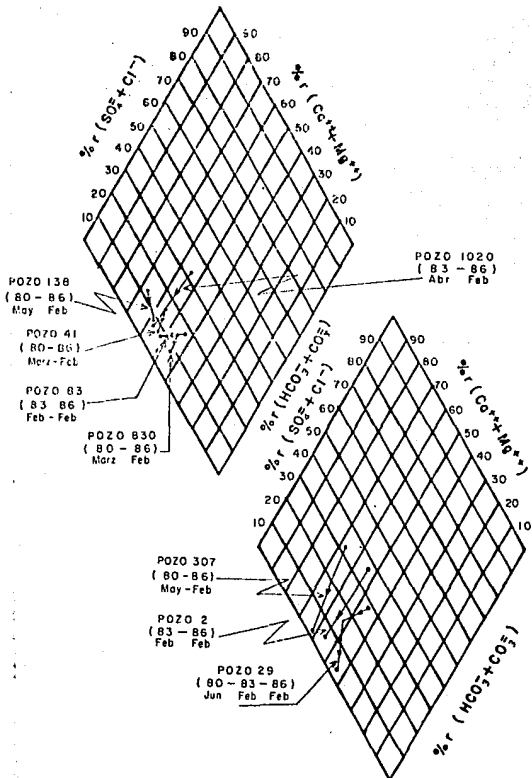
## VI. 2 CAMBIO EN LA CONCENTRACION DE LOS IONES EN EL TIEMPO

Para realizar esto, se seleccionaron pozos que tuviesen análisis químicos para varias fechas. Se encontraron trece aprovechamientos con éstas características, el número de análisis que tuvieron fluctó de dos a tres como máximo.

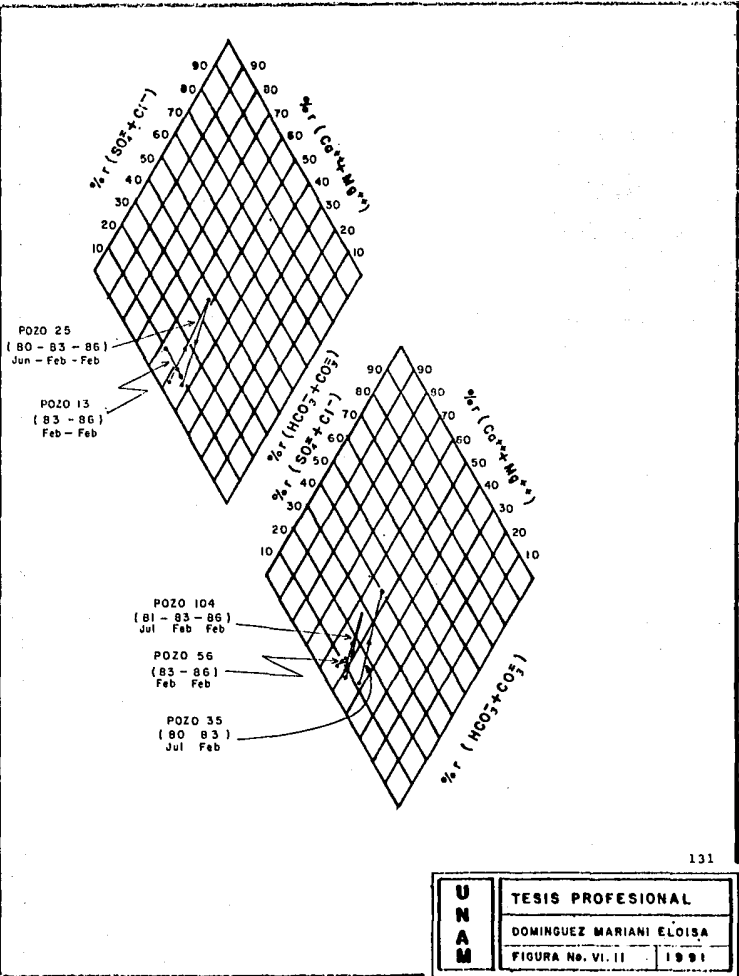
Se utilizó el Diagrama de Piper, y en especial el diamante central para analizar la evolución de los iones mayores (Figuras VI.10 y VI.11). Se observan varios puntos interesantes, por ejemplo, de los 13 pozos susceptibles de evolución, en 10 se tuvo enriquecimiento general de  $\text{HCO}_3^-$  desde 1980 hasta 1986. Para las muestras que tienen información para 1983, se tiene una disminución brusca, que se correlaciona con un descenso en las precipitaciones en el área y por consiguiente en la infiltración.

Aparentemente el mes (o lo que es lo mismo, la temporada ya sea de lluvias o de estío) en que se recolectó la muestra influye poco, ya que no se observó un cambio en las concentraciones cuando fueron tomadas en febrero y algunas otras en junio, debido a que la permeabilidad produce un retardo del efecto de la lluvia en la recarga al acuífero, por esto es que la influencia de las precipitaciones aún se observa.

Todo esto en conjunto, muestra un aumento de  $\text{HCO}_3^-$  en pozos ubicados en la proximidad del río San Juan, registrándose oscilación



|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | TESIS PROFESIONAL        |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI. 10        | 1991 |



|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI. II        | 1991 |

entre  $\text{SO}_4^{-}\text{Cl}^{-}$  y  $\text{HCO}_3^{--}$  en zonas alejadas del río. Mientras que la disminución en  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  se localizó en el pozo 13 al sur de la zona, como muestra posible atlandamiento debido a concentración de agua de lluvia o influencia de rocas ácidas.

### VI.3 RUTAS HIDROGEOQUÍMICAS

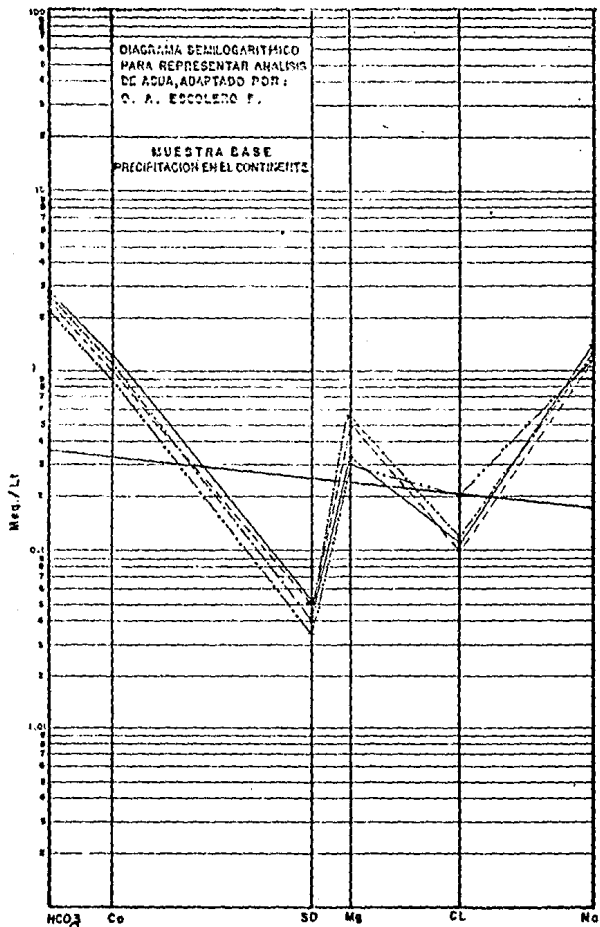
Se ha dicho que la hidrogeoquímica debe corroborar con el sentido del flujo subterráneo. Para lo anterior se trazaron rutas através de pozos que teórica y sucesivamente son tomados por el flujo subterráneo. En el plano VI.1 se observan las seis rutas propuestas, algunas de ellas van de San Juan del Río hacia Tequisquiapan, y otras desde aquel punto hacia el NW.

Suponiendo que el flujo se bifurca y se entrelaza, las rutas, por ende, se dividen y se combinan entre sí. Incluso a manera de prueba, se trazó una ruta que atravieza el flujo subterráneo, a fin de observar la evolución de los iones.

A fin de observar esta evolución, se utilizó el Diagrama semilogarítmico de Shoeller modificado por O. Escolero, que compara la concentración iónica con una muestra de agua de lluvia en el continente con una muestra "x" y así observar la evolución de los iones. (Fig. VI.12 a 17).

El patrón de los análisis fue similar para las todas muestras "graficadas", siendo proporcionales sus contenidos conforme avanza el flujo subterráneo.

Las cinco rutas mostraron que, a medida que un pozo se encuentra más alejado de la zona de recarga, su contenido iónico inicial cambia. Así con respecto al contenido inicial de cationes, éstos aumentan al



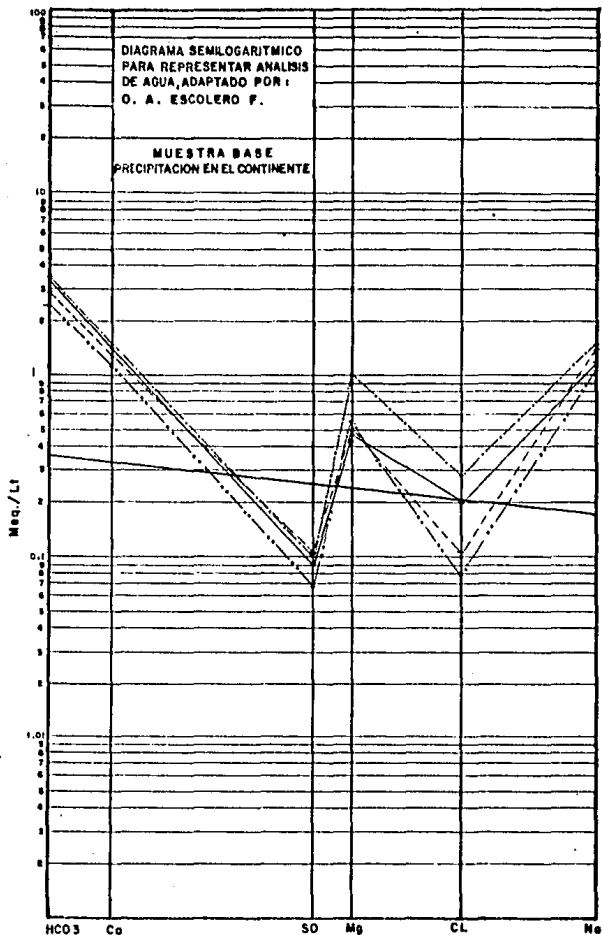
SENTIDO DEL FLUJO  
SUBTERRANEO

**SIMBOLOGIA**  
RUTA 1, AÑO 1986

- POZO 13 -----
- POZO 29 \_\_\_\_\_
- POZO 41 - - - - -

POZO 56 - - - - -

|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI. 12        | 1991 |



SENTIDO DEL FLUIDO  
SUBTERRANEO

**SIMBOLOGIA**

**RUTA 2 - AÑO 1986**

- POZO 2 ..... 1020
- POZO 104 - - - - -
- POZO 138 —————

|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI. 13        | 1991 |

DIAGRAMA SEMILOGARITMICO  
 PARA REPRESENTAR ANALISIS  
 DE AGUA, ADAPTADO POR  
 O. A. ESCOLEÑO F.

MUESTRA BASE  
 PRECIPITACION EN EL CONTINENTE

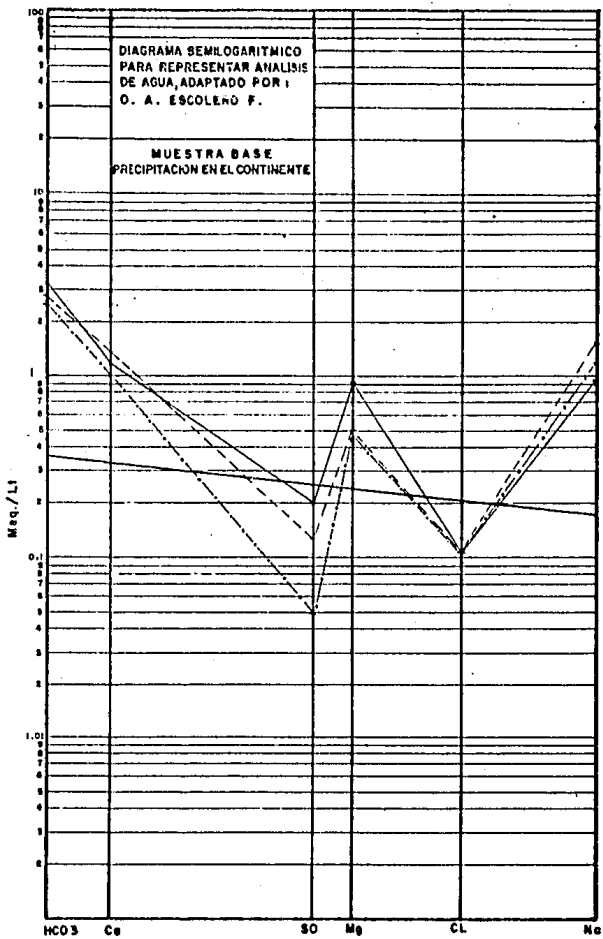
**SIMBOLOGIA**

RUTA No. 3  
 Ruta Normal al Flujo  
 Subterráneo, AÑO 1986

POZO 307 —————

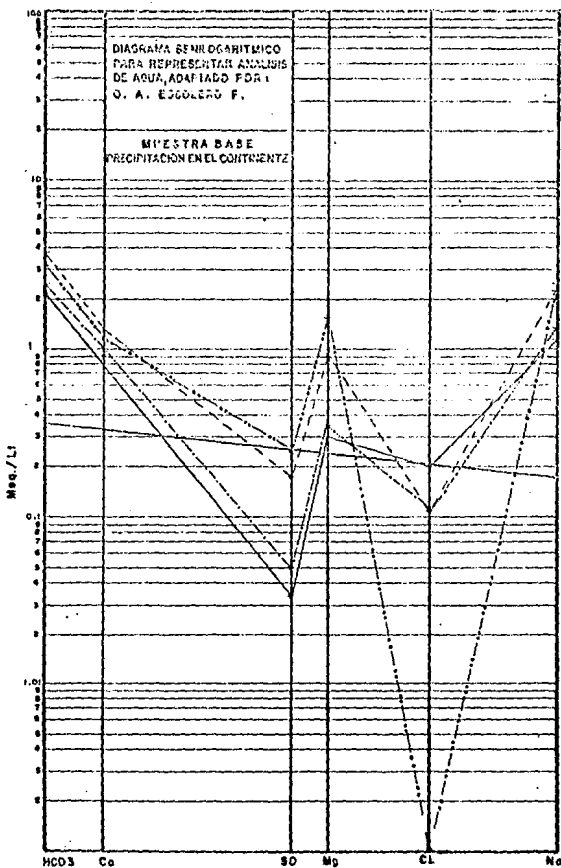
POZO 104 - - - - -

POZO 56 - · - · - ·



|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA No. VI. 14        | 1991 |





SIMBOLOGIA

RUTA No. 4

AÑO POZO

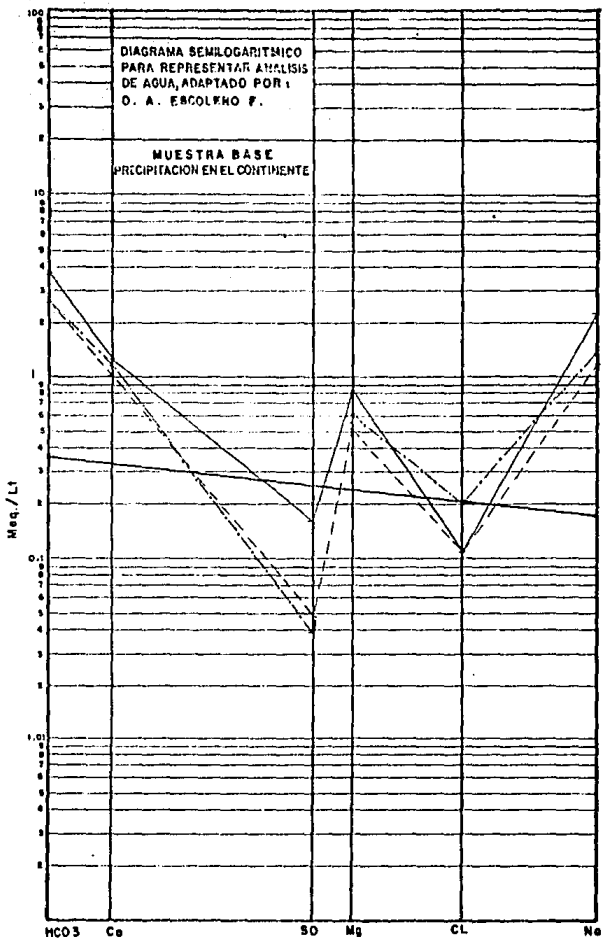
1980 13

1983 25

1986 30

1988 830

SENTIDO DEL FLUJO  
SUBTERRANEO



**SIMBOLOGIA**  
**RUTA 5 - AÑO 1986**

POZO 56 ————  
POZO 830 —————  
POZO 83 - · - · - · -

SENTIDO DEL FLUJO  
SUBTERRANEO  
↓

|                            |                          |      |
|----------------------------|--------------------------|------|
| <b>U<br/>N<br/>A<br/>M</b> | <b>TESIS PROFESIONAL</b> |      |
|                            | DOMINGUEZ MARIANI ELOISA |      |
|                            | FIGURA. No. VI. 16       | 1991 |

DIAGRAMA SEMILOGARITMICO  
PARA REPRESENTAR ANALISIS  
DE AGUA, ADAPTADO POR  
O. A. ESCOBEDO F.

MUESTRA BASE  
PRECIPITACION EN EL CONTINENTE

SIMBOLOGIA

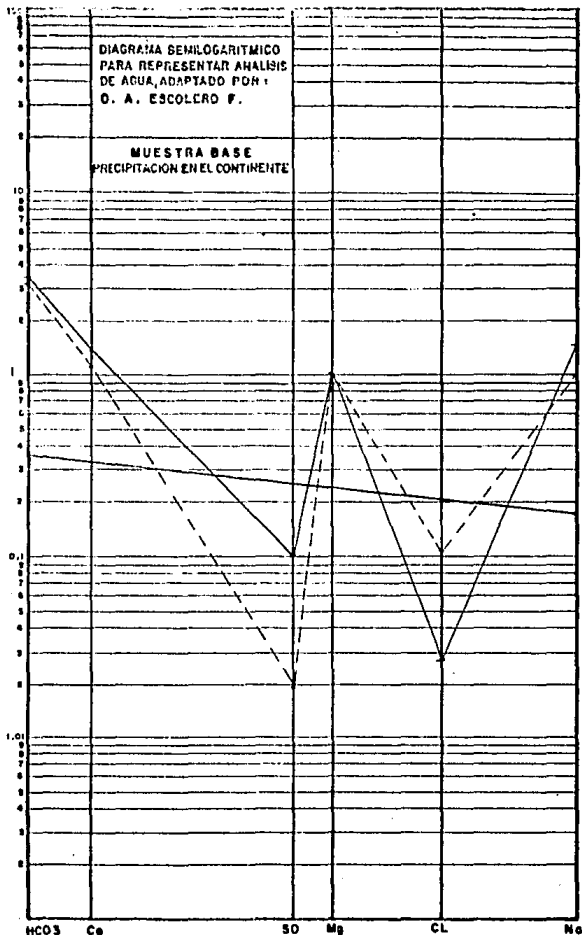
RUTA 6 - AÑO 1986

POZO 307

POZO 1020

SENTIDO DEL FLUJO  
SUBTERRANEO

Mg./Lf



mismo ritmo, lo cual se justifica por la disolución de sales de las rocas por las que circula. Además de la infiltración de las aguas residuales.

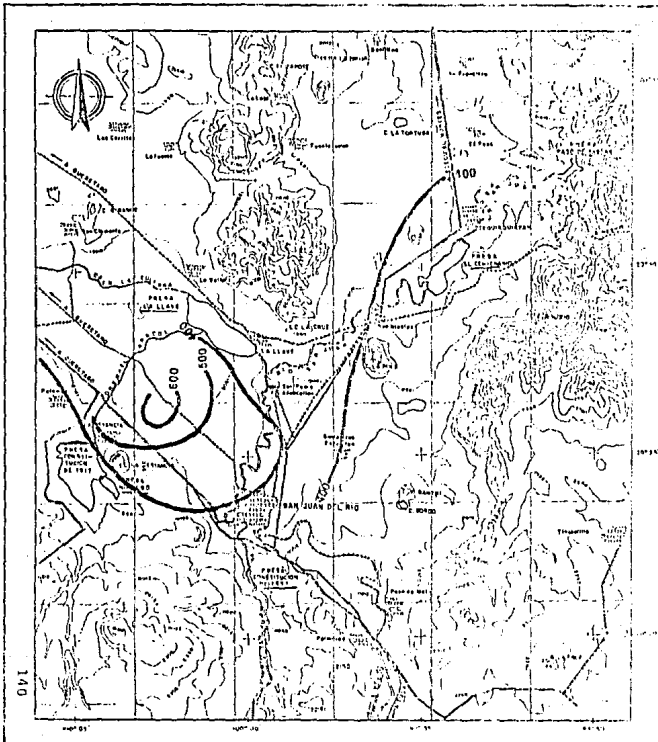
En cuanto a los aniones, el  $\text{HCO}_3^-$  aumenta visiblemente en tanto que el  $\text{SO}_4^-$  y el  $\text{Cl}^-$  disminuyen, algunas veces permanecen con la misma concentración, y rara vez que aumenta.

La ruta que fue trazada cortando el flujo subterráneo, mostró el mismo patrón, pero con la concentración más baja para el pozo 56 y la más alta con el 307. Se puede observar que estas concentraciones no tienen relación con el flujo subterráneo.

Así también se tiene que, al graficar análisis de diferentes fechas el patrón pueden existir cambios, por ejemplo el pozo 38 con fecha de 1983, mostró que el valor para el  $\text{Cl}^-$  fue muy bajo, lo que no existió en los otros pozos con fecha 1984.

Otro parámetro importante es la distribución de la conductividad eléctrica como un equivalente proporcional del contenido de sólidos totales disueltos, debe ser paralelo con el sentido del flujo subterráneo, con el cual aumentaría dicho contenido.

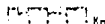
Así pues se observa que este contenido en 1983, aumenta desde las laderas de las montañas hasta un punto ubicado entre la Presa La Llave y Presa Constitución de 1917, desde valores de 400 a 600  $\mu\text{mhos/cm}$ . Algo similar ocurre en 1986, que los máximos contenidos llegan al mismo punto alcanzando un valor de 350  $\mu\text{mhos/cm}$ . Planos VI.2 y 3.



### SIMBOLOGIA

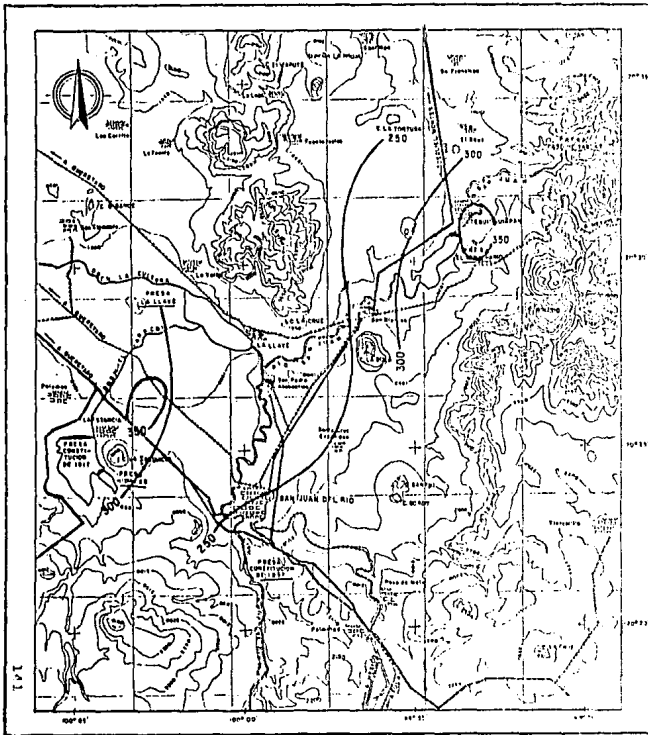
|                           |  |
|---------------------------|--|
| POBLACION                 |  |
| CARRERA                   |  |
| CAMINO DE ACCESO          |  |
| FTCC                      |  |
| PRESA                     |  |
| RIO                       |  |
| CURVA DE NIVEL            |  |
| CURVA DE NIVEL CONDUCTIVO |  |

ESCALA



|      |   |
|------|---|
| UNAM | FACULTAD DE INGENIERIA                            |
|      | INDUSTRIAS DE CONDUCCION<br>ELECTRICA AÑO DE 1963 |
|      | TERESA DOMINGUEZ MARIANI<br>TESIS PROFESIONAL     |

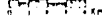
NOTA: ESTE TRABAJO FUE REALIZADO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y MECÁNICA



### SIMBOLOGIA

|  |  |
|--|--|
| POBLACION                                |  |
| CARRETERA                                |  |
| CAMINO DE ACCESO                         |  |
| FFCC                                     |  |
| PRESA                                    |  |
| RIO                                      |  |
| CURVA DE NIVEL                           |  |
| CURVA DE RIVAL CONDUCTIVIDAD atmosférica |  |

### ESCALA



|           |  |
|-----------|--|
| MANIZALES | FACULTAD DE INGENIERIA                               |
|           | ISOLINEAS DE CONDUCTIVIDAD<br>ELECTRICA. AÑO DE 1986 |
|           | ILOISA DOMÍNGUEZ MARIANI                             |
|           | TESIS PROFESIONAL                                    |

NOTA: ESTE PLANO FUE DISEÑADO A PARTIR DE CARTAS INED. ESCALA 1:50,000

## CAPITULO VII

### RELACION HIDROGEOQUIMICA ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y AGUAS SUBTERRANEAS

Este último capítulo tiene como función presentar el análisis de los principales aspectos tocados en los capítulos precedentes, y evaluar en conjunto, todo el entorno que rodea a la hidrogeoquímica tanto superficial, como subterránea.

#### VII.1 ANALISIS DE RESULTADOS

Se logró tener en términos generales buen conocimiento del marco geológico, aunque en aspectos de geocronología y de petrogenesis, se expusieron las diversas teorías que hasta la fecha se tienen, sin que se llegase a una conclusión, ya que esto se sale de los objetivos marcados.

Por medio de los cortes litológicos, el aspecto de la geometría del acuífero se esbozó, aunque aspectos más particulares y detallados, se conseguirán al conocer aun más profundamente los fenómenos de tipo vulcanosedimentario y lograr, con esto, definir un modelo para la distribución de las características hidrodinámicas de los materiales depositados. Además se requiere evaluar el papel que juegan las rocas volcánicas fracturadas en su comunicación hidráulica, hacia el acuífero granular.

En cuanto a balance geohidrológico, convendría hacer un análisis a escala más pequeña de la relación entre río-acuífero, fenómenos de infiltración y evapotranspiración. Esta vez se llegó a una presentación de los principales aspectos que se tienen en la explotación del agua subterránea.

vulnerabilidad del acuífero.

El primer factor depende de la intensidad, duración y la disposición del contaminante. El segundo, del estado de la explotación del acuífero, la profundidad del nivel estático y la litología global del acuífero. En la forma en que se combinen estos dos factores, se tendrá un mayor o menor riesgo a la contaminación.

Se define, así mismo, el término riesgo de contaminación como la probabilidad de que las aguas subterráneas se contaminen con concentraciones por encima de los valores recomendados por la OMS para la calidad del agua de consumo humano.

La determinación del riesgo de contaminación debe servir para identificar la zona más vulnerables, actividades potencialmente contaminantes y establecer prioridades para la investigación.

Las condiciones que se presentan en el perfil del suelo y la zona no saturada, generalmente presentan cierto contenido en oxígeno, condiciones alcalina, pH ácidos, abundante materia orgánica, etc., que producen diferentes efectos en los contaminantes, en ocasiones contribuyen a disminuirlos o eliminarlos. Lo que tal vez ha llevado a sobrestimar la capacidad de autoeliminación, de este horizonte.

En la zona no saturada se encuentran los siguientes procesos:

- 1).- Intercepción, sorción y eliminación de bacterias y virus.
- 2).- Atenuación de metales pesados y otros químicos inorgánicos a través de precipitación (como carbonatos, sulfuros o hidróxidos), sorción o intercambio de cationes.
- 3).- Sorción o biodegradación de muchos hidrocarburos y compuestos orgánicos sintéticos.

Estos procesos son mucho más activos en la zona del suelo



El aspecto básico y que le da nombre al presente, es el hidrogeoquímico, y para el, cual los análisis químicos constituyen el arma obvia. Vale decir que en esta ocasión los presentados no tienen la distribución óptima en el tiempo y en el espacio, pero nos da idea del tipo de situaciones que se deben reconsiderar en el futuro. Estos son tres: la periodicidad, los parámetros a evaluar y la ubicación de los puntos de muestreo.

La definición de las condiciones óptimas para llevar a cabo lo anterior es tema de otro tipo, pero se trató en el presente de obtener el mayor provecho posible de lo ya realizado. Se plantea la necesidad de realizar análisis con una distribución basada en las condiciones climáticas, con parámetros similares para el análisis químico tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas, así como en las presas existentes en el área.

Se consideró que los parámetros utilizados no son todo lo específico que se requieren, pero es una buena aproximación inicial de lo que se tendría que hacer a futuro, a fin de evaluar la contaminación de las fuentes subterráneas de agua.

Previo a la definición de parámetros, se requiere especificar y estimar que tipo de sustancias se espera encontrar tanto en el agua subterránea como en el horizonte de suelo. Esto se hará en función de como se presenta la descarga de contaminantes, el tipo de y su concentración.

## VII.5 POTENCIALIDAD DE LA CONTAMINACION

Foster (1988) afirma que "a la larga todos los acuíferos son vulnerables a contaminantes móviles y persistentes", esto dependerá de dos factores principalmente, que son, la carga contaminante y la

biológicamente activa, donde existe el mayor el contenido de arcilla y la materia orgánica en descomposición, además de la población bacteriana

Por otro lado la dispersión hidrodinámica asociada al flujo subterráneo, propicia la dilución de los contaminantes móviles y persistentes. Además, el flujo es complejo y su capacidad para atenuar los contaminantes es difícil de predecir.

De aquí la importancia de la zona no saturada ya que es la frontera entre la superficie y la zona acuífera.

Debido a la multitud de actividades humanas, se pueden generar diferentes formas de disposición de contaminantes. En el caso específico del área en estudio, se tienen tres sectores de actividades que son la urbana-semirural, la agrícola y la industrial, que a su vez, generan las siguientes acciones, que se clasifican como potencialmente generadoras de polución:

#### SECTOR URBANO:

| Acción                          | Principales tipos de contaminantes: |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Aplicación de desagtes al suelo | n s o f                             |
| Descarga de desagtes al río     | n o f                               |
| Lixiviación de rellenos         | o s h                               |
| Fosas sépticas                  | n f o                               |
| Fugas de tuberías               | o f n                               |

## SECTOR INDUSTRIAL

| Acción                          | Principales tipos de contaminantes: |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Lagunas de efluentes            | o h s                               |
| Descarga de efluentes al río    | o h s                               |
| Aplicación de desagtes al suelo | o h s                               |
| Lixiviación de rellenos         | o h s                               |

## SECTOR AGRICOLA

|  |         |
|--|---------|
| Aplicación de productos químicos         | n o     |
| Irrigación con aguas residuales diluidas | n o s f |

Tomada y modificada de Foster (1988).

n = compuestos de nutrientes

f = patógenos fecales

o = compuestos microorgánicos y/o carga orgánica

s = salinidad

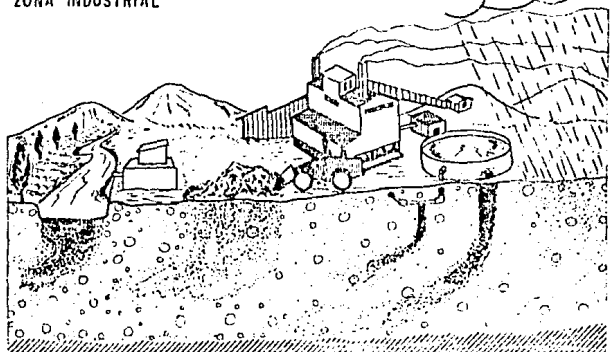
h = metales pesados

En las figuras VII.1 y 2 se tienen este tipo de acciones.

Respecto a los contaminantes, tienen diferentes comportamiento físicoquímico, grado de toxicidad y posibilidad de encontrarse en las aguas subterráneas.

Los nitratos y plaguicidas son los compuestos que más se almacenan en aguas superficiales y subterráneas. La forma más frecuente de degradación del agua es por la acumulación de nitratos, siendo que 2/3 de los nitratos existentes a nivel general se da por actividades de agricultura (fertilizantes) y ganadería (excrementos del ganado) y 1/3 por origen doméstico e industrial.

ZONA INDUSTRIAL



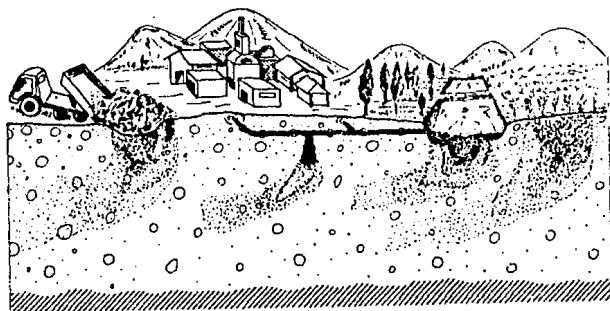
INFILTRACION DE  
RIOS CONTAMINADOS

LIXIVIACION DE  
MATERIALES TOXICOS

FUGAS EN  
TANQUES Y  
TUBERIAS

INFILTRACION DE  
LUNAS  
CONTAMINADAS

FIG. V.1



LIXIVIACION DE  
RELLENOS SANITARIOS  
Y BASURALES

FUGAS DE  
ALCANTARILLADOS

LASUNAS Y RIEGO DE  
AGUAS SERVIDAS

FIG. VII.2

URBANO - AGRICOLA

FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACION

TOMADO DE CEPIS, 1987

En el área de estudio se tienen altas concentraciones en las descargas, y al ser los nitratos sales muy solubles, son fácilmente arrastradas através del subsuelo hasta las capas freática, adquiriendo gran movilidad, por lo que se estima que debe existir alguna concentración en las aguas subterráneas.

La ingestión excesiva de nitratos da lugar a la aparición de agentes cancerígenos, como las nitrosaminas y de una afección de la sangre, la methemoglobinemia.

En los tipos de contaminación difusa los plaguicidas, así como los residuos de la fabricación de compuestos químicos que se dejan al aire libre, que pasan al suelo y de ahí por lixiviación hacia las capas freáticas.

Los coliformes presentes en la mayoría d. las descargas, generalmente no sobreviven más allá del horizonte del suelo, sin embargo, los organismos asociados, anaeróbios pueden lograr sobrevivir en la parte superior del nivel freático.

### VII.3 RELACION RIO-ACUIFERO.

Establecer la relación que pudiera existir entre estos involucra una serie de conceptos que es preciso analizar.

En condiciones naturales el cauce del río y la zona de entrada del mismo al valle acusha como influente directo estrecha. Como se ha venido mencionando ahora el río, algunos drenes y canales, conducen agua de dudosa calidad. Así como, los volúmenes almacenados en presas, son fuentes puntuales y lineales de contaminantes.

El paso hacia el acuífero de estos compuestos depende de la concentración, la movilidad, la capacidad de dilución, absorción,

adsorción y la persistencia que pudiera presentar. Además está en función del papel que juegue el horizonte de suelo.

A *grosso modo*, y sin ser exhaustivos los tipos de suelo presentes en el área son dos principalmente: vertisol pélico y phaeozem gléyico y lóvico.

**VERTISOL.-** Son suelos impermeables de textura fina, con contenido elevado de arcilla. En épocas secas el suelo se agrieta hacia la superficie, debido a la contracción de las arcillas. Estas al dilatarse se cierran y el material es atrapado, lo que ocasiona que los bloques se deslicen. Llegando a conformar con el tiempo la topografía característica de elevaciones muy suaves.

La arcilla presente es montmorillonita. Las grietas que genera pueden llegar desde 1 hasta 100 cm de profundidad. Este tipo de suelo genera condiciones reductoras y anaerobias, además de presentar características básicas.

En el área se ubican en el área de influencia del río, por esto es preciso tener en cuenta este agrietamiento ya que puede ser una vía para la entrada de contaminantes.

**PHAEOZEM.-** Son suelos permeables o semipermeables, toleran el exceso de agua. Genera condiciones aerobias. Permite el movimiento libre del agua. Se ubican en toda la superficie del valle y principalmente en la zona de entrada al acuífero. El carácter gléyico significa que se satura periódicamente con agua, prácticamente no se erosionan.

De lo anterior observamos que el papel que juega el suelo es diferente, de acuerdo a su constitución. El área delimitada por la presencia de vertisol reviste importancia por la fracturación que produce, con una "vía rápida de infiltración". En la zona de phaeozem,

que es más permeable la contaminación tendería a entrar en dilución más rápidamente, y de acuerdo al porcentaje de material arcilloso, podría presentar fenómenos de retardación.

#### VII.4 INTERRELACION DE FENOMENOS CLIMATICOS, AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS.

La relación que se presente entre éstos tres factores involucra en realidad cuatro aspectos: clima, riego, agua superficial y agua subterránea. La razón de inclusión del riego es debido a que, así como la lluvia, el riego proporciona una cierta cantidad de líquidos que tienden a infiltrarse. Este aporte, incluso es más continuo que las precipitaciones.

En cuanto al clima, la temporada de lluvias se encuentra bien definida, por la cuantía corresponden a un régimen semiseco; las lluvias torrenciales no son en realidad tan frecuentes, por lo que no se presentan lavados. La infiltración se logra de manera continua en toda la superficie del valle, así como en el cauce del río, donde el suelo, que es impermeable puede favorecer la rápida infiltración através de grietas.

La agricultura aporta también cierto volumen de agua que ingresa al acuífero, que junto con la aplicación de plaguicidas y fertilizantes adiciona en solución nutrientes y otros productos químicos.

Como se mencionó existen tres periodos de cultivo en la que diferentes zonas y diferentes cultivos son regados con agua proveniente del almacenamiento de las presas existentes; en primavera otro periodo de cultivo se origina de las lluvias de temporal. El riego prácticamente se tiene al lo largo del año y en toda la

superficie del Distrito.

Como se puede ver la aplicación de volúmenes de sobriedad, la presencia de varios cuerpos de agua que presentan cierta infiltración, descargas industriales, la fuente lineal de contaminantes que es el río, además, el ser ésta una zona casi rural, donde se tiene la práctica de fudas sépticas, en conjunto proporcionan en diferentes formas, concentraciones en dilución listas a infiltrarse a diferentes velocidades.

El acuífero al presentar bajas permeabilidades, además de que las profundidades al nivel estático se registran de los 10 a los 50 m proporcionan cierta protección, manteniéndolo un tanto fuera del alcance inmediato de la lixiviación de contaminantes.

Sin embargo si la contaminación ya ha llegado, es posible que poco a poco se extienda hasta convertirse en una fuente de contaminación muy difícil de detener, por la misma heterogeneidad de materiales que presenta. Las rocas fracturadas que se encuentran en la base, presentan otro riesgo de contener contaminación, que al momento de ser tocadas, la vía puede llegar a ser muy rápida.

La interrelación entre éstos factores aún no es totalmente cuantificada por la serie de elementos ya descritos, sin embargo, la carga de contaminantes, la dilución que pueden sufrir, y el tipo de suelo que pudiera generar cierta retención.

El tipo de materiales de que se compone el acuífero, hace pensar en un avance del frente de contaminación a diferentes velocidades hacia el subsuelo, que de igual manera podría presentar diferentes condiciones para la retención de algún compuesto.



## VII.5 COMPORTAMIENTO Y TRANSFORMACIONES HIDROGEOQUIMICAS DE LOS CONTAMINANTES.

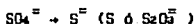
Entre los elementos de importancia para la valoración de la contaminación, hay algunos que presentan ciclos químicos, como son el azufre, el fósforo, el sistema  $\text{Ca}^{++} - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_2$  y el nitrógeno. Se hace a continuación una breve enumeración de las principales características:

### A Z U F R E .

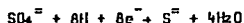
Este elemento se presenta más comúnmente como sulfuros y sulfatos, que son muy sensibles a reacciones de óxido-reducción. Los compuestos encontrados en el agua subterránea, son en su mayor parte sulfatos, que pueden reducir su estado de oxidación, para convertirse en sulfuros. Algunas características de los sulfatos son, estabilidad en agua aerada, presentan intercambio aniónico con el  $\text{Cl}^-$ . El grado de toxicidad de sulfatos, depende de la concentración, sin embargo, su importancia radica en su posible transformación a estado elemental y en forma de  $\text{H}_2\text{S}$ . A este hecho se le denomina reducción de sulfatos:

El cual requiere de: ambiente reductor, materia orgánica abundante y presencia de bacterias, que producen energía de los compuestos orgánicos, obteniendo así,  $\text{O}_2$  de los sulfatos.

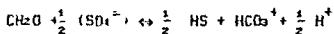
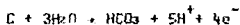
La reacción principal es:



Si se encuentra en condiciones ácidas la reducción, se presenta como:



Por medio de la acción de las bacterias presentes en el agua, se puede presentar como producto al ión bicarbonato y elevar así el pH del agua:



De aquí que se diga que 1 meq/l de  $SO_4^{2-}$  equivale a 2 meq/l de  $HCO_3^-$ .

#### F O S F O R O .

Los sedimentos de las cuencas cerradas, como son lagos, lagunas y presas, son eficaces trampas de muchas sustancias que se pueden liberar a resultas de modificaciones de las condiciones del medio. En el caso de intoxicación por fosfatos, donde se tiene un exceso de vida acuática, especialmente de algas cianofíceas, que no son ingeridas por organismos superiores. Con esto se rompe la cadena alimenticia, entonces sobreviene la muerte o eutrofización de la laguna, provocando las siguientes reacciones:

#### DESCOMPOSICION BACTERIANA

↓

produce sulfuros y amoníaco

↓

consume oxígeno del fondo,  
produce ligera acidificación

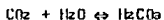
↓

liberación intensiva de materia orgánica, fierro,  
manganeso, metales pesados y fósforo

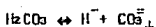
## SISTEMA $\text{Ca}^{++}$ - $\text{HCO}_3^-$ - $\text{CO}_2$

La importancia de este sistema se basa en la influencia que tiene en los valores de pH, que actúan directamente en las reacciones de óxido-reducción. De éstas últimas, depende el comportamiento de todos los contaminantes, en lo que concierne a precipitación, estado de oxidación y estado tóxico.

La preponderancia de uno u otro ión tiene que ver con el delicado equilibrio del sistema  $\text{CO}_2$ - $\text{HCO}_3^-$ - $\text{CO}_3^{--}$ , el  $\text{Ca}^{++}$  y el pH. La primera reacción, que es reversible, es la correspondiente a la del anhídrido carbónico con el agua, y que tiene como producto el bicarbonato



Si en el agua existe cierto contenido de  $\text{CaCO}_3$  junto con el  $\text{CO}_2$ , se establecen condiciones de equilibrio, y que dependen de la temperatura y de la fuerza iónica de la solución, por lo cual el bicarbonato puede hidrolizarse y pasar a la forma de ácido carbónico.

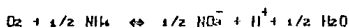


Y que se precipita como  $\text{CaCO}_3$ , o bien permanece en solución, lo cual explica la dureza encontrada en aguas subterráneas. En caso de encontrarse abundancia del ión Na, se explica como la presencia del ión preponderante en solución, ya que el contenido de  $\text{Ca}^{++}$  está en forma de precipitado.

## NITRÓGENO

Es el contaminante más comúnmente encontrado en el agua

subterránea, generalmente se encuentra en forma de nitrato,  $\text{NO}_3^-$ . También se encuentra afectado por fenómenos de óxido-reducción, el paso hacia la reducción se denomina amonificación. Y el inverso se conoce como nitrificación (Becerril, 1991). Las reacciones que se presentan son:

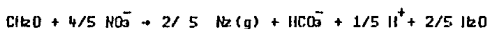


Este proceso se da frecuentemente sobre el nivel del agua, en la zona de suelo, donde abunda la materia orgánica y el oxígeno.

Otra reacción importante es la desnitrificación, que se efectúa cuando el potencial redox desciende y el contenido de oxígeno disuelto es mínimo, entonces los nitratos se reducen a  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$ .

Este proceso es deseable, ya que se eliminan de esta forma los nitratos al escapar en forma de gas.

La reacción que se presenta es de la siguiente manera:



## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

I.- El clima predominante es semiseco o estepario, templado con un verano cálido y con temporada de lluvias en ésta misma estación; en invierno se presenta menos del 5% de la lluvia anual.

II.- Geomorfológicamente la zona de estudio presentados entornos: la primera, la forma las sierras situadas al W y E de San Juan del Río, con orientación general NW-SE, presenta un claro dominio de rocas ígneas riolíticas específicamente igníbritas y tobas; la segunda, se ubica al sur, presenta aparatos volcánicos con orientación básicamente E-W y con litología predominantemente andesítico-basáltica, con horizontes ocasionales de brecha.

III.- El acuífero local está formado por un estrato superior de espesor variable entre 7 y 140 m de tobas arenosas y arcillosas, cuya base se encuentra sobre rocas volcánicas de diversa composición con permeabilidad secundaria.

IV.- Las unidades litológicas presentes en el área, como el material granular, tobas en sus diferentes estructuras y las diferentes rocas volcánicas: basalto, riolita, andesita, pueden presentar diferente comportamiento hidráulico de acuerdo al espesor, posición estratigráfica y rocas adyacentes.

V.- El basamento del acuífero en explotación se encuentra con mayor profundidad al NE de San Juan del Río y sur de la Presa de la Llave, donde los materiales tobáceos y lacustres alcanzan los máximos espesores. En la zona cercana a San Juan del Río, la cobertura

granular es más delgada y el material volcánico se encuentra más sojero. Hacia la parte norte del área, en las poblaciones de San Clemente, los Carritos y sobre todo la región al norte de Tequisquiapan, abundan las intercalaciones de material tobáceo y granular con coladas locales de material basáltico, principalmente, aunque se presentan en algunos casos riolita o bien alternancias de estos dos materiales, con espesores variables.

VI.- De los nueve parámetros que se cuentan con información continua, siete, han ido en aumento y se requiere continuar con observaciones periódicas, son: DBO, grasas y aceites, detergentes, coliformes totales, dureza y fosfatos.

VII.- Las estaciones con mayor carga contaminante son la estación R-3 y R-4, y en tercer lugar la estación R-6.

VIII.- El anión predominante es el bicarbonato, en las aguas subterráneas, el cual se relaciona con la entrada de agua de reciente infiltración, cargada de  $\text{CO}_2$  atmosférico.

IX.- Las cinco rutas hidroquímicas mostraron que, a medida que un pozo se encuentra más alejado de la zona de recarga, el agua cambiará su contenido iónico inicial, tomando iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  y enriqueciéndose en ión  $\text{HCO}_3$ .

X.- Respecto al contenido inicial de cationes, éstos aumentan al mismo ritmo, lo cual se justifica por la disolución de sales de las rocas por las que circula, mostrando la influencia de la litología en la composición del agua.

XI.- Los valores para conductividad eléctrica, aumentan desde las laderas de las montañas hasta un punto ubicado entre la Presa La Llave y Presa Constitución de 1917. Corroborando el sentido del flujo subterráneo.

XII.- Se consideró que los parámetros utilizados no son todo lo específicos que se requieren, brindan una buena aproximación de los parámetros que se requiere evaluar a detalle.

XIII.- Se considera que existe potencial de contaminación hacia las aguas subterráneas, el cual se debe evaluar.

### RECOMENDACIONES

I.- Se recomienda llevar a cabo estudios geológicos en especial, de geocronología, petrogénesis a escala pequeña, a fin de establecer con mayor precisión los límites de la FVI y de la Sierra Madre Occidental.

II.- Se debe tener bajo vigilancia el contenido en Sl, en las descargas industriales y municipales. sobre todo en la parte que corresponde a sólidos suspendidos y sedimentables, ya que son estos los que afectan en mayor medida a la posible autoregeneración de la corriente.

III.- Respecto al contenido de grasas y aceites, se deberá determinar si son de origen animal o vegetal (biodegradables), o bien procedentes de hidrocarburos. Revisten importancia, por la facilidad para acarrear algunos contaminantes y llevarlos al subsuelo y permanecer ahí por mucho tiempo.

IV.- Se requiere evaluar el tiempo y las condiciones de persistencia de cada parámetro al infiltrarse al subsuelo y así, determinar que parámetros son susceptibles de integrarse al acuífero.

V.- Con los parámetros definidos en el punto anterior, establecer monitoreo en agua superficial, subterránea, descargas industriales y municipales, así como en perfiles del suelo.

VI.- Establecer plantas de tratamiento acordes a la necesidad de eliminar los principales contaminantes y de descargarlas para uso agrícola, sin que esto impacte a la calidad del suelo.



**\*ALL OUR DREAMS CAN COME TRUE,  
IF WE HAVE THE COURAGE TO PURSUE THEM\***

**WALT DISNEY**

## BIBLIOGRAFIA.

- ALVAREZ, MANUEL Jr.**  
Provincias Fisiográficas de la República Mexicana.  
Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XLIV, Vol. 7, pag. 20. 1962
- ALTAMIRANO PEREZ, RENE**  
Normatividad y legislación en las aguas residuales.  
Revista Agua Potable.  
Vol. 7, No. 74.  
Diciembre 15 de 1990.
- ANAA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados).**  
Estudio de factibilidad para el suministro de agua potable para la Ciudad de San Salvador y Estudio de contaminación de ríos. Marzo, 1974. República del Salvador).
- BACK, WILLIAM Y HANSHAW.**  
CHEMICAL GEOHYDROLOGY.  
Toward Advances in Hydroscience, V. 2, año 1965.  
referencia incompleta
- BARROIN, GUY.**  
La contaminación del agua por los fosfatos.  
Mundo Científico (versión en castellano La Recherche)  
Especial El Agua.  
Volumen 10. Número 104. Julio-Agosto 1970.  
Editorial Fontalba, S.A.  
Barcelona, España.
- BECERRIL ALBARRAN, JOSEFINA PAZ.**  
Estudio de la calidad del agua en pozos cercanos al tiradero de basura de Santa Catarina.  
Tesis de maestría en Ingeniería Ambiental.  
DEPFI, Facultad de Ingeniería, UNAM. 1991.
- BOCCO, VERDINELLI GERARDO.**  
Estudio geomorfológico de la región comprendida en la carta Querétaro, escala 1:250,000. Tesis de maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1983.
- BOSH GARCIA, CARLOS.**  
La técnica de investigación documental.  
5a. Edición, UNAM, México, 1973.
- CARRASCO NUNEZ GERARDO.**  
Geología de los campos volcánicos en los Azufres (Michoacán), Amealco y El Zaorano (Querétaro). Tesis de maestría en Ingeniería de Exploración, DEPFI, UNAM, 1988, México.

- CASTELLANOS TRUJILLO, LUISANDRO Y PALACTOS MAYORCA, SERGIO.**  
 Contribución al estudio de las aguas del lago de Tequesquitengo,  
 Estado de Morelos. Instituto de Geología, UNAM. Revista, Vol. 1,  
 Num. 2. (1977), p. 218-224. UNAM.
- C.E.P.I.S. (CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL  
 AMBIENTE)**  
 Las aguas subterráneas.  
 Lima, Perú. 1987
- CUSTODIO Y LLAMAS.**  
 Hidología Subterránea.  
 Tomos I y II. Editorial Omega.  
 Barcelona, España. 1983.
- DEMANT, ALAN.**  
 Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus  
 problemas de interpretación. UNAM, Instituto de Geología, Revista,  
 Vol. 2, Num. 2, pp. 177-187, 1978.
- DEMANT, ALAN.**  
 Interpretación geodinámica del volcanismo del Eje Neovolcánico  
 Transmexicano. UNAM, Instituto de Geología, Revista, Vol. 5, Num.  
 2, pp. 217-222, 1987.
- DEMANT, A. Y ROBIN, C.**  
 Las Fases del vulcanismo en México: una síntesis en relación con  
 la evolución geodinámica desde el Cretácico. UNAM, Instituto de  
 Geología, Revista, Vol. 5, Num. 2, pp. 217-222, 1987.
- ECO, HUMBERTO.**  
 Como se hace una tesis.  
 Colección Libertad y Cambio. Serie Práctica. 5a. Edición, 4a.  
 reimpresión. Editorial GEDISA Mexicana, S. A. Barcelona,  
 España. Abril 1987.
- ESCOLERO FUENTES, OSCAR A.**  
 Adaptación de un diagrama para representar análisis de agua  
 subterránea. 2° Simposium sobre el agua subterránea en el norte  
 de México. Saltillo, Coahuila. Febrero de 1988.
- F.A.O.-U.N.E.S.C.O.**  
 Clasificación de suelos.
- FAIR GEYER Y OKUN**  
 Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas  
 residuales. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales.  
 Limusa-Noriega.  
 Tomo 2. México, 1989.

- FERNANDEZ VILLASOMEZ, GEORGINA  
Apuntes de química ambiental.  
DEPFI, Facultad de Ingeniería, UNAM.  
México, 1986.
- FERRIZ, H.; MAHOOD, G.A.  
Vulcanismo riolítico en el Eje Neovolcánico. Revista Geofísica  
Internacional. Volumen 25-1, pp. 117-156, 1986.
- FITZ PATRICK, E. A.  
Suelos, su formación, clasificación y distribución.  
C.E.C.S.A.  
México, 1982
- FOSTER, STEPHEN  
Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas.  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del  
Ambiente. O.P.S., O.M.S. Lima, Perú. 1988.
- FRANKEL, MAURICE.  
Manual de anticontaminación.  
Colección Popular.  
Fondo de Cultura Económica. México, 1987.
- GAUDY, ANTHONY.  
Microbiology for environmental scientist and engineers.
- INSISA (INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A.)  
Estudio Geohidrológico en los valles de Querétaro, San Juan del  
Río y Tequisquiapan, en el estado de Querétaro). 1970
- LEDEZMA-VEGA, SALVADOR.  
Estudio preliminar del comportamiento de los acuíferos en los  
valles de Querétaro, San Juan del Río y Tequisquiapan en el  
Estado de Querétaro. Facultad de Ingeniería. UNAM, 1973.
- LESSER ILLADES, JUAN MANUEL.  
HIDROGEOQUIMICA.  
Apuntes del curso "Exploración, cuantificación y aprovechamiento  
de recursos hidráulicos subterráneos". División de Educación  
Continua de la Facultad de Ingeniería. UNAM. México. ABRIL, 1984.
- LOPEZ RAMOS, E.  
Geología de México. Tomo II. 3a. Edición.  
Edición Escolar. México, 1982.

- LUGO, H.J.; ORTIZ, P.M.A.; PALACTO, P.J.L.; BOCCO, V.G.  
Las zonas más activas en el cinturón volcánico mexicano (entre Michoacán y Tlaxcala). Geofísica Internacional, Vol. 24-1, pp. 83-93, 1985.
- MILAN V., MARCOS; HERRERA F, J. JESUS HERRERA  
Aspectos geológicos importantes de la exploración geotérmica del campo de Pathe, estados de Hidalgo y Querétaro. Genterma. Revista Mexicana de Geoterma. Vol. 3. No. 1. 1987. pp. 31-39. México.
- MONROY-NICOT, ARTURO Y SANDOVAL-SILVA, MIGUEL.  
Condiciones hidrogeológicas de la zona de Huichapan-San Juan del Río, en los estados de Hidalgo y Querétaro. Tesis profesional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN. México, 1986.
- ORTURO ZARATE, SALVADOR.  
Geología del área de Tequisquiapan-Cardonal, estados de Querétaro e Hidalgo. Tesis profesional. ESTA, IPN, 1981.
- PORRAS MARTIN, J. Y J.P. THAUVIN.  
Aguas subterráneas. Problemas generales de contaminación. Cuadernos del CIFCA (Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales). Madrid, 1978.
- RAIZ, ERWIN.  
Landforms of Mexico, prepared for Geography Branch of the office of Naval Research, second corrected edition, Cambridge, Mass., 1964, escala 1:3'000,000
- RANGEL MEDINA, MIGUEL.  
Estudio para la localización de pozos de agua para abastecimiento de la planta termeléctrica de Salamanca, Guanajuato. Comisión Federal de Electricidad, México, 1978.
- ROBIN CLAUDE.  
Las series volcánicas de la Sierra Madre Oriental (Basaltos e ignimbritas). Descripción y caracteres químicos. Instituto de Geología. Revista. No. 2. 1976.
- RODIER, J.  
Análisis de las aguas. Aguas naturales. Aguas residuales. Agua de mar. Ediciones Omega. Barcelona, España. 1981.
- RODRIGUEZ HERRERA, ROBERTO.  
Geoquímica aplicada al estudio del agua subterránea. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. Tesis de Licenciatura. 1978.

RUIZ VAZQUEZ, MARIANO Y ZAVALA MORALES, JORGE.

Manual de diseño de obras civiles. Geotecnia B. 1. 3.

Comisión Federal de Electricidad. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, 1977.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.

Características de los Eixtritos de Riego. Tomo II. 1977.

Regiones Noroeste, Centro II y Sur.

SARH, DEPARTAMENTO DE OPERACION DE ACUIFEROS. SUBDIRECCION DE ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS. DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS. SUBDIRECCION GENERAL DE ADMILNISTRACION Y CONTROL DE SISTEMAS HIDROLOGICOS.

Proyecto de Operación de acuíferos. Funciones y objetivos.

Documento interno. Agosto de 1987.

SARH, RESIDENCIA EN EL ESTADO DE QUERETARO.

Preclasificación del río San Juan del Río, Estado de Querétaro.

Noviembre de 1988.

SARH, RESIDENCIA EN EL ESTADO DE QUERETARO.

"Estudio hidrogeoquímico en diversos valles del estado de Querétaro", noviembre de 1986.

SARH, SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA.

Sinopsis Geohidrológica del Estado de Querétaro, 1988.

SARH, SUBSECRETARIA DE PLANEACION, DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS, DIRECCION DE HIDROLOGIA. Actualización al Boletín hidrológico No. 44, Región hidrológica 26 (Parcial) Cuenca del Río san Juan, 1977, período 1971-74

SAWYER, C.N.; MCCARTHY, PERRY L.

Chemistry for sanitary engineers.

McGraw Hill. 1967.

Nueva York, EUA.

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.

Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89.

Diario Oficial de la Federación.

Miércoles 13 de Diciembre de 1989.

México.

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.

Gaceta Ecológica.

Voluuen 1, número 2 1989.

**SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO, INEGI.**

Síntesis geográfica, nomenclator y Anexo cartográfico del Estado de Querétaro. 1986.

**SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA.**

Reglamento Federal de la S.S.A. sobre Obras de Provisión de Agua Potable. Normas de calidad para agua potable.

**SEGERSTROM, KENNETH.**

Geología del Sureste del Estado de Hidalgo, el noroeste del Estado de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Marzo-Abril 1961. Vol. XIII, No. 3 y 4.

**SERVICIOS GEOLOGICOS, S.A.**

Estudio geohidrológico preliminar en la zona de Tecozautla en el Estado de Hidalgo. Diciembre de 1974

**SERVICIOS GEOLOGICOS, S. A.**

Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en el Estado de Querétaro. Agosto 1980.

**SILVA MACHORRO, CARLOS**

Unidades del suelo.  
C.E.C.S.A.  
México, 1985.

**TELLES PEREZ, JULIAN.**

Geología y geotecnia del Proyecto Los Arcos, El Datán, Municipio de Villa Corregidora, Querétaro. 1988. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.

**TEDBUTT, T.H.Y.**

Fundamentos de control de la calidad del agua.  
Editorial Limusa-Noriega. México, 1990.

**TIEMPO LIBRE.**

Publicación semanal. Vol. X, Num. 504. Del 4 al 10 de Enero de 1990. México.

**VENEGAS, S.S.; HERRERA, F.J.J.; MACIEL, F.R.**

Algunas características de la Faja Volcánica Mexicana y de sus recursos geotérmicos. Geofísica Internacional, Vol. 24-1, pp. 47-81, 1985.

## CARTOGRAFIA.

### CARTA DE CLIMAS. Clave 14 Q-III-Qro

Escala 1:500,000. Instituto de Geografía. UNAM. DE SANOF.  
Enero de 1970.

### CARTAS DETENAL.

F14-C-66 (Villa del Marqués), F14-C-67 (Tequisquiapan), F14-C-76  
(La Estancia), F14-C-77 (San Juan del Río). Escala 1:50,000.  
Topográfica, geológica, edafológica.

Querétaro (F14-10), Pachuca (F14-11). Escala 1:250,000. Geológica  
y topográfica.

México. Escala 1:1,000,000. Fisiográfica

### CARTA GEOLOGICA DEL ESTADO DE QUERETARO.

Instituto de Geología de la UNAM.  
ESCALA 1:500,000. Octubre 1971.