

14
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL VALLE
VICENTE GUERRERO, BAJA CALIFORNIA NORTE"**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

RAUL SOTO GUTIERREZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. C. RUBEN MARTINEZ GUERRA

MEXICO, D. F.

1992

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

1.- INTRODUCCION

2.- ACTIVIDADES DE CAMPO

3.- GEOLOGIA

4.- GEOFISICA

5.- HIDROGEOQUIMICA

6.- HIDROLOGIA SUPERFICIAL

7.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA

8.- CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS

9.- RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

FIGURAS Y ANEXOS

**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL VALLE DE VICENTE GUERRERO
(SANTO DOMINGO), ESTADO DE BAJA CALIFORNIA.**

1.	Introducción.	
1.1	Antecedentes	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Localización del área de estudio	3
2.	Actividades de Campo	
2.1	Recopilación de la información	5
2.2	Piezometría	5
2.3	Nivelación de brocales	6
2.4	Muestreo de aguas subterráneas	6
2.5	Hidrometría	7
2.6	Sondeos geofísicos	7
2.7	Pruebas de bombeo	8
3.	Geología.	
3.1	Geología general	9
3.2	Estratigrafía	13
3.3	Unidades hidrogeológicas	18
4.	Geofísica.	
4.1	Características del equipo empleado	21
4.2	Fundamentos físicos esenciales	21
4.3	Criterio de interpretación	22
4.4	Resultados	24
4.4.1	Características de los materiales que forman el acuífero	24

4.5	Geometría del acuífero	28
5.	Hidrogeoquímica.	
5.1	Características generales de las aguas subterráneas .	30
5.1.1	Sólidos totales disueltos	30
5.1.2	Conductividad eléctrica	30
5.1.3	Intrusión marina	31
5.1.3.1	Cloruros	31
5.1.3.2	Relación $rCl/rHCO_3$	32
5.2	Clasificación de las aguas subterráneas	33
5.2.1	Diagramas de Piper	33
5.2.2	Diagramas de Wilcox	34
5.2.3	Calidad del agua	35
6.	Hidrología Superficial.	
6.1	Climatología	39
6.1.1	Precipitación	41
6.1.2	Temperatura	43
6.1.3	Evapotranspiración	44
6.1.3.1	Evapotranspiración potencial	44
6.1.3.2	Evapotranspiración real	46
6.2	Escurrimiento e infiltración	47
6.2.1	Coefficiente de escurrimiento del A. Santo Domingo ...	53
7.	Hidrología Subterránea.	
7.1	Profundidad del nivel estático	57
7.2	Configuración de la superficie freática	58
7.3	Evolución del nivel estático	58

7.4	Características hidráulicas del acuífero	56
7.5	Volumen de extracción	62
7.6	Modelo hidrológico conceptual	63

**8. Cuantificación de los Recursos Hidráulicos
Subterráneos.**

8.1	Balace de agua subterránea	65
8.1.1	Cálculo de los términos de la ecuación de balance ...	66
8.1.1.1	Entradas por flujo subterráneo	66
8.1.1.2	Salidas por flujo subterráneo	68
8.1.1.3	Variación de almacenamiento subterráneo	69
8.1.1.4	Extracciones por bombeo	70
8.1.2	Resolución de la ecuación de balance	70
8.2	Reserva almacenada	73

9. Resumen, Conclusiones y Recomendaciones.

9.1	Resumen	75
9.2	Conclusiones	79
9.3	Recomendaciones	83

Bibliografía.

Figuras y Anexos.

INDICE DE FIGURAS

Nº	TITULO	DESPUES DE PAGINA
1.1	LOCALIZACION	4
3.1	TERRENOS PRETERCIARIOS DE BAJA CALIFORNIA NORTE	10
3.2	GEOLOGIA REGIONAL	13
3.3	UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	18
4.1	SECCIONES GEOFISICAS (LOCALIZACION)	21
4.2	SECCIONES GEOFISICAS (INTERPRETACION)	86
4.3	PROFUNDIDAD A LA BASE ACUIFERA	28
5.1	OBRAS CON MUESTREO DE AGUA SUBTERRANEA.....	29
5.2	CONCENTRACION DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	30
5.3	CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA (PIPER)	33
5.4	CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA (PIPER)	33
5.5	CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA (PIPER)	33
5.6	DETERMINACION DEL RAS (WILCOX)	35
5.7	DETERMINACION DEL RAS (WILCOX)	35
6.1	REGIONES HIDROLOGICAS	39
6.2	CLASIFICACION DE CLIMAS	40
6.3	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (PERIODO 1970-1987)	41
6.4	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (PERIODO 1970-1987)	42
6.5	POLIGONOS DE THIESSEN	42
6.6	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (PERIODO 1970-1987), SUBCUENCA DEL ARROYO SANTO DOMINGO	42
6.7	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (PERIODO 1970-1987), ESTACIONES STA. CRUZ, STO. DOMINGO Y COL. VICENTE GUERRERO	43

6.8	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (PERIODO 1970-1987), SUBCUENCA DEL ARROYO SANTO DOMINGO	43
6.9	MODELO DE TANQUES.....	47
6.10	CAUDALES DE ESCURRIMIENTO OBSERVADOS Y CALCULADOS EN EL ARROYO SANTO DOMINGO	52
7.1	OBRAS NIVELADAS	57
7.2	PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO (MARZO 1988)	57
7.3	ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO (MARZO 1988)	58
7.4	EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO (FEB. 1985-MAR. 1988)	58
7.5	LOCALIZACION DE PRUEBAS DE BOMBEO	59
7.6	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO N-16	60
7.7	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE RECUPERACION N-16	60
7.8	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO NVG-52	60
7.9	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE RECUPERACION NVG-52	60
7.10	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO N-62	60
7.11	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO N-61	60
7.12	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO N-87	60
7.13	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO PVG-14	60
7.14	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE RECUPERACION PVG-14	60
7.15	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO NVG-40	60
7.16	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE RECUPERACION NVG-40	60
7.17	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO PVG-11	60
7.18	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE RECUPERACION PVG-11	60
7.19	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO N-48	60
7.20	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE RECUPERACION N-48	60
7.21	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO P-57	60

7.22	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE ABATIMIENTO P-58	60
7.23	PRUEBA DE BOMBEO ETAPA DE RECUPERACION P-58	60
7.24	LOCALIZACION DE APROVECHAMIENTOS.....	62
8.1	FLUJO SUBTERRANEO SECCIONES DE ENTRADA Y SALIDA	64
8.2	ESPESOR SATURADO	64

INDICE DE TABLAS

Nº	TITULO	DESPUES DE PAGINA
4.1	UNIDADES GEOELECTRICAS.....	26
5.1	RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS.....	30
5.2	RELACION HIDROGEOQUIMICA r_{Cl}/r_{HCO_3}	32
5.3	NORMAS DE POTABILIDAD DEL AGUA.....	37
5.4	CLASIFICACION POR DUREZA	37
6.1	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA EST. VICENTE GUERRERO, 41	41
6.2	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA EST. SANTA CRUZ.....	41
6.3	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA EST. SANTO DOMINGO....	42
6.4	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO STO. DOMINGO.....	42
6.5	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA EST. VICENTE GUERRERO... 43	43
6.6	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA EST. SANTA CRUZ.....	43
6.7	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA EST. SANTO DOMINGO.....	43
6.8	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO SANTO DOMINGO.....	43
6.9	EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA MENSUAL EN LA SUBCUEN- DEL ARROYO SANTO DOMINGO	46
6.10	EVAPOTRANSPIRACION REAL MEDIA MENSUAL EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO SANTO DOMINGO	46
6.11	VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO SANTO DOMINGO	47
6.12	VOLUMEN DE INFILTRACION MEDIA MENSUAL EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO SANTO DOMINGO.....	47
6.13	EVAPOTRANSPIRACION REAL SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO..	52
6.14	ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL SUBCUENCA A. SANTO DOMINGO... 52	52
6.15	INFILTRACION SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO.....	52

6.16	ALMACENAMIENTO SUBSUPERFICIAL SUBCUENCA A. STO. DOMINGO.	52
6.17	RECARGA A PROFUNDIDAD SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO....	52
6.18	ESCURRIMIENTO DIRECTO SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO....	52
6.19	ESCURRIMIENTO DIFERIDO SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO...	52
6.20	ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL TOTAL SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO.....	52
6.21	VOLUMEN MEDIO MENSUAL EN LA ESTACION HIDROMETRICA SANTO DOMINGO	53
6.22	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO EN EL ARROYO SANTO DOMINGO.	54
7.1	PIEZOMETRIA EN EL VALLE VICENTE GUERRERO B.C.....	57
7.2	RESUMEN DE LA INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO 1988.....	61
7.3	HIDROMETRIA EN EL VALLE VICENTE GUERRERO, B.C.....	62
8.1	CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO SUBTERRANEO.....	67
8.2	CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO SUBTERRANEO.....	67

1.- Introducción

El presente trabajo surgió como parte del proyecto de actualización del estudio geohidrológico de los valles de San Quintín y Santo Domingo (Vicente Guerrero), estado de Baja California, el cual fué encomendado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a la compañía Ingeniería y Construcciones Racionales, S.A. bajo el contrato No.ACSH-87IIA, a través de la Subdirección de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos.

Debido a las condiciones climatológicas desfavorables y al incremento en la explotación de los recursos hidráulicos subterráneos, se ha provocado un deterioro en la calidad y cantidad del recurso.

El valle de San Quintín es de los más importantes productores agrícolas del estado, por lo que las aguas subterráneas desempeñan un papel importante para el desarrollo económico de la región.

Así mismo, se observa que el valle de Vicente Guerrero presenta mejores condiciones en sus recursos hidráulicos, y por su cercanía al valle de San Quintín, se hace necesario conocer el funcionamiento del acuífero, porque éste puede ser una opción para solucionar algunas de las necesidades urgentes que se presentan en este último.

Debido a estas características y por haber participado en la ejecución y conducción en la totalidad de las actividades realizadas en campo y gabinete, se decidió elegir el desarrollo del estudio del Valle de Vicente Guerrero como tema de tesis, para la obtención del título de Ingeniero Geólogo en la División de Ciencias de la Tierra, de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

1.1.- Antecedentes.

En lo que se refiere a estudios hidrogeológicos desarrollados en el valle de Vicente Guerrero, se puede decir que son escasos, pues sólo se tienen identificados dos trabajos que se han realizado en un lapso de 7 años.

La compañía ICG realiza en 1978 un estudio de factibilidad en los valles de San Quintín y Maneadero, B.C.N.; dentro del mismo elabora la hidrogeología del Valle de Vicente Guerrero, en el cual se hace principalmente un análisis del escurrimiento e infiltración del arroyo de Santo Domingo, debido a que en ese año se registró un período extraordinario de lluvias. Reportan un total de 120 obras, de las cuales 56 son activas. Se indica que en temporadas de lluvias extraordinarias se tiene una recarga de 11.7 Mm³/año y descargas de 7.6 Mm³/año. En épocas normales se estimó una recarga de 9.8 Mm³/año y descargas de 6.0 Mm³/año.

En este estudio se carece de sondeos geofísicos y se establece que el acuífero está en equilibrio dinámico.

La Residencia de la S.A.R.H. en Ensenada realiza en 1986 un estudio de actualización del Valle. Reportan 160 obras de explotación con una extracción anual de 15.8 Mm³, aunque encuentran evoluciones negativas para el período 1978-1986, consideran el acuífero en equilibrio dinámico, debido a que el valor de la recarga no ha sido cuantificado con exactitud.

1.2.- Objetivos.

Los objetivos que se propusieron para el presente trabajo son los siguientes:

- Definir el modelo de funcionamiento del acuífero.
- Conocer el grado de explotación del acuífero de Vicente Guerrero, B.C.
- Cuantificar el volumen almacenado de agua subterránea para planear su aprovechamiento racional, de acuerdo con las necesidades actuales y con la disponibilidad del acuífero.
- Recomendar el manejo y operación combinada de los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos para aprovecharlos con mayor eficiencia.

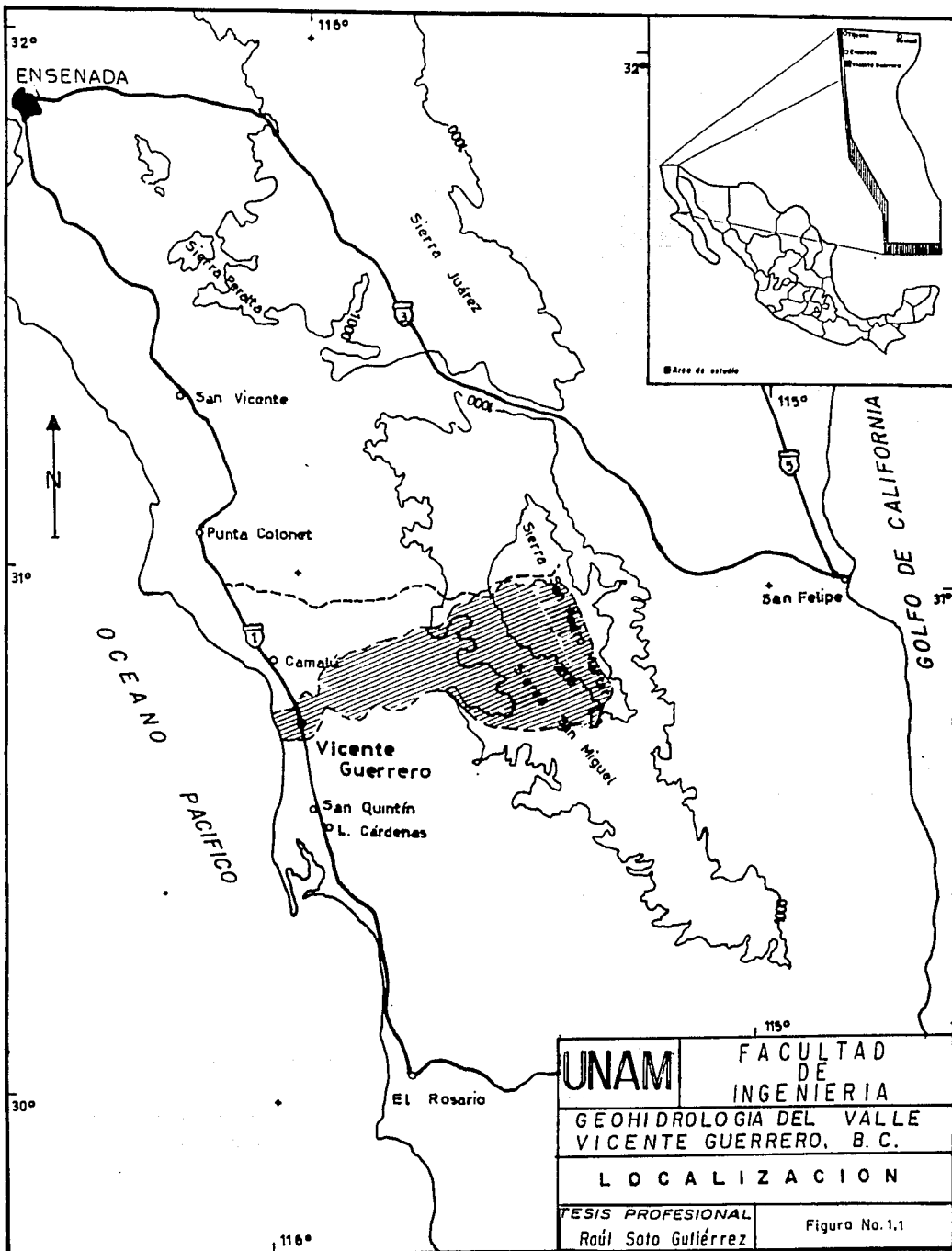
1.3.- Localización del área de estudio.

El área de estudio se localiza dentro del municipio de Ensenada, estado de Baja California y está comprendida geográficamente por las coordenadas: 30°41'50" y 31°00'48" de latitud norte y 115°18'57" y 116°02'50" de longitud oeste. Se limita al norte con el valle de Camalú, al sur con el valle de San Quintín, al este

con la sierra de San Pedro Mártir y al oeste con el Océano Pacífico.

El valle se localiza aproximadamente a 160 km al sur de Ensenada, B.C., y se comunica principalmente por la carretera federal No.1, Tijuana-La Paz; independientemente de los caminos de terracería. Figura 1.1.

La extensión de la cuenca de captación abarca una superficie de 1267 km², de éstos, 62 km² corresponden a la llanura costera, que es la principal superficie de estudio.



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.
LOCALIZACION	
TESIS PROFESIONAL	Figura No. 1.1
Raúl Soto Gutiérrez	

ACTIVIDADES DE CAMPO

2.- Actividades de Campo.

Durante el desarrollo del presente estudio se realizaron diversas etapas que cubrieron la totalidad de los objetivos. El trabajo de campo se realizó conjuntamente en el valle en estudio y en el valle de San Quintín, alternándose en cada uno de acuerdo a la necesidad y facilidad de realización.

2.1.- Recopilación de la información.

Consistió en recopilación y análisis de información de tipo geológica, hidrogeológica, climática y cartográfica, entre otras. Con esta actividad se conocieron en forma preliminar las condiciones y características de la zona, y así programar las actividades de campo. El análisis proporcionó una primera idea del marco geológico, hidrogeológico y geoquímico, el cual se confirmaría en las posteriores etapas del trabajo.

2.2.- Piezometría.

Esta actividad se efectuó en el mes de marzo con un solo recorrido. Para tal fin la residencia de la S.A.R.H. proporcionó un mapa del valle en el que se ubican los pozos piloto de 1978. Desafortunadamente el plano era obsoleto debido a la pérdida de varias obras de explotación, por las descargas a través del cauce del arroyo Santo Domingo, ocasionadas por las precipitaciones torrenciales, las que provocaron en ese mismo año inundaciones y desastres. Por esta razón se tomó como base la carta topográfica 1:50 000, H11-B54 del I.N.E.G.I.

Se midió la profundidad del nivel en un total de 63 obras que corresponden a 27 pozos y 36 norias.

La localización de obras con medición de nivel se presenta en la Figura 7.1 y los datos de profundidad al nivel estático y su elevación de brocal se presentan en la Tabla 7.1.

Esta actividad se realizó en la época de lluvias, por lo que existe un buen nivel de saturación en el acuífero.

2.3.- Nivelación de brocales.

Se seleccionaron 43 obras hidráulicas para referir sus brocales al nivel medio del mar y construir las curvas de igual elevación piezométrica.

El recorrido de la nivelación fue de 52 km, para lo cual se utilizó el método de nivelación diferencial, partiendo de un banco de nivel localizado en el Rancho Hamilton, utilizando un nivel de tripié marca David-White y estatal 8090 (Filadelfia).

A cada obra nivelada se le pintaron las iniciales ICR de color blanco; su localización se presenta en la Figura 7.1.

2.4 Muestreo de aguas subterráneas.

Para esta actividad se seleccionaron las obras que por sus características fueran representativas de las condiciones hidrogeoquímicas del valle.

Los parámetros obtenidos en campo fueron los siguientes: conductividad, temperatura y pH, recolectándose en envases de plástico con doble tapón y acondicionadas en hieleras a 4°C para evitar variaciones químicas. Los resultados de los análisis se presentan en la Tabla 5.1 y su localización en la Figura 5.1.

2.5.- Hidrometría.

Para conocer el volumen de extracción anual de agua subterránea se cuantificó en el mayor número de obras el gasto, tiempo de operación, superficie de riego, número y tipo de cultivos al año. Con excepción del gasto, los datos se obtuvieron por información verbal de los mismos usuarios. Los caudales se obtuvieron por el método de la escuadra y con un recipiente de volumen conocido y cronómetro. De esta forma se calcularon los volúmenes de extracción anual que se presentan en la Tabla 7.2. A partir de estos datos se estimó un volumen de extracción de 28.85 millones de m³ para 1988.

En general, en la temporada de primavera-verano se tienen las mayores extracciones en la mayoría de las obras en el valle.

2.6 Sondeos geofísicos.

En esta etapa se llevaron a cabo los trabajos necesarios, para que a partir de métodos indirectos se pudieran conocer las características generales de los materiales en el subsuelo, determinando éstas con los resultados obtenidos de la distribución horizontal y vertical de resistividad eléctrica del terreno.

Se realizaron 23 sondeos eléctricos verticales de resistividad, distribuidos en 5 secciones sensiblemente perpendiculares al valle. La localización de los sondeos y sus secciones respectivas se muestran en la Figura 4.1. El análisis e interpretación de la información obtenida se presenta en el capítulo 4.

2.7.- Pruebas de bombeo.

Para el conocimiento de las características hidráulicas del acuífero de Vicente Guerrero, se realizaron 5 pruebas de bombeo de larga duración, con pozo de observación, a través de aprovechamientos que abarcaron la mayor parte del valle. Se seleccionaron para tal fin las norias 16 y 62 , y los pozos PVG-14, PVG-11 y 57. Figura 7.3. Los datos de campo y los resultados obtenidos de la interpretación de estas pruebas se presentan en el capítulo 7.

GEOLOGIA

3.- Geología.

En este capítulo se expone el marco geológico de la zona de estudio; se describen la geología y la estratigrafía con base a la bibliografía disponible, para después plantear un agrupamiento en unidades litológicas que permitan conocer el modelo geológico-hidrogeológico de la región.

3.1.- Geología general.

De acuerdo con la división fisiográfica de la Dirección General de Geografía (en S.P.P.-U.N.A.M., 1984) y a la clasificación de E. Raisz (1964 en S.P.P., 1982), la zona queda comprendida dentro de la provincia fisiográfica de Baja California.

Las expresiones fisiográficas principales dentro del área están representadas de la siguiente manera:

-Planicie.- Corresponde a la llanura costera, con pendientes suaves hacia el Océano Pacífico; es cortada por el arroyo Santo Domingo, el cual sigue una dirección este-oeste aproximadamente.

Está formada principalmente por materiales granulares de tamaño de arena, limo y arcilla.

- Mesetas y terrazas.- Presentan forma plana y escalonada, se localizan en los extremos norte y sur del valle están disectadas por el arroyo y están formadas en esencia por conglomerados

heterogéneos y arenas.

-Macizo montañoso.- Formado por las Sierras de San Miguel y San Pedro Mártir, localizadas en la porción oriental del valle. Están formadas primordialmente por rocas ígneas intrusivas ácidas, como granodioritas y tonalitas del Cretácico Inferior, así como rocas metamórficas, gneises y metasedimentarias, alcanzan alturas superiores a los 1000 m.

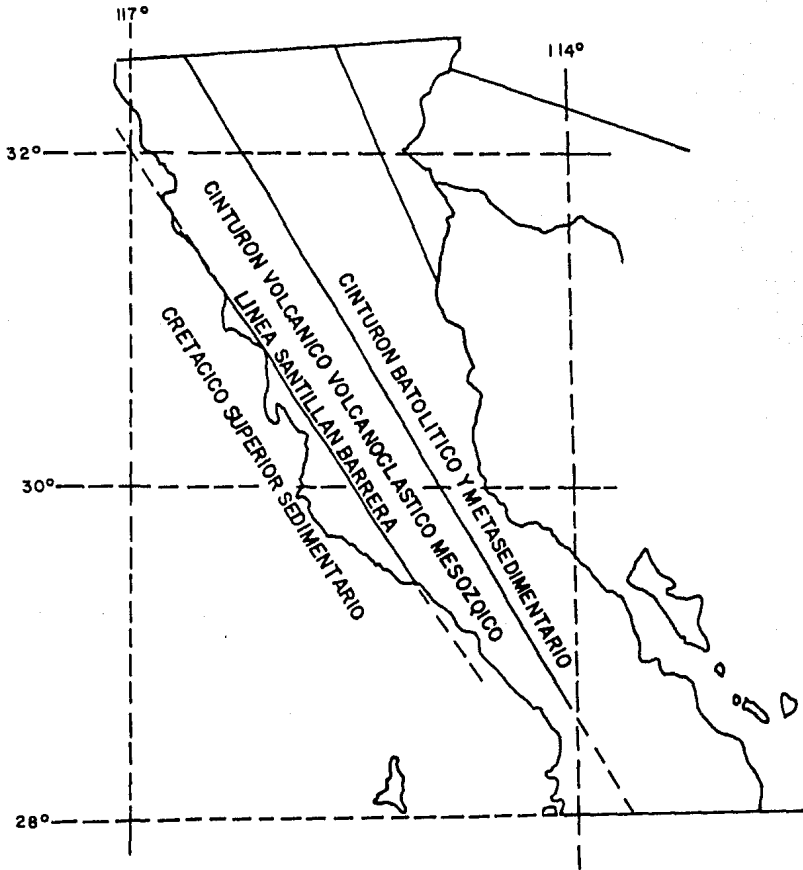
En la zona de Baja California aflora una secuencia estratigráfica cuyo rango geocronológico varía desde el Paleozoico hasta el Reciente.

La definición de las diferentes unidades es a través de tres cinturones preterciarios, Figura 3.1, los cuales están cubiertos de forma independiente por cuerpos volcánicos y depósitos sedimentarios del Terciario y Cuaternario.

En el extremo occidental de la península se tiene un cinturón representado por la secuencia de sedimentos marinos y continentales del Cretácico Superior, que están poco consolidados y sin fuertes perturbaciones tectónicas.

La secuencia fue denominada Formación Rosario (Beal, 1948 en S.P.P.-U.N.A.M., 1984). Consiste de estratos subhorizontales de conglomerado, arenisca, limolita y lutita, desarrollados en ambientes mixtos, que variaron desde continentales, hasta de plataforma y talud con líneas de costa fluctuantes.

TERRENOS PRETERCIARIOS DE BAJA CALIFORNIA NORTE.



Tomado de: Geología de la República Mexicana
(INEGI - UNAM, 1984)

Figura: 3.1

La secuencia de este cinturón cubre en discordancia angular a rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias; subyace a rocas volcánicas del Cuaternario y a sedimentos continentales y marinos del Terciario y Cuaternario.

Al este del anterior, se ubica un cinturón constituido por secuencias de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias cuya edad corresponde principalmente al Cretácico Inferior. La secuencia superior y más extendida se denominó Formación Alisitos (Santillán y Barrera, 1930 en S.P.P.-U.N.A.M., 1984). Se constituye primordialmente de rocas piroclásticas y lávicas de composición dacítico-andesítica, por cuerpos de caliza arrecifal, así como por rocas clásticas originadas de rocas volcánicas.

Esta formación cubre en algunas localidades discordantemente a rocas volcánicas y sedimentarias de edades Triásicas y Jurásicas; se encuentra afallada, deformada, parcialmente metamorfozizada y afectada por el emplazamiento de cuerpos intrusivos de naturaleza ácida del Cretácico. Subyace discordantemente a la Formación Rosario.

Se ha relacionado a estos cinturones con la subducción y fusión parcial asociadas a uno o más límites convergentes desarrollados en el noroeste de México durante gran parte del Mesozoico. En el extremo oriente se encuentra un cinturón formado por rocas intrusivas que varían desde tonalitas, hasta granodioritas y granitos, representados por los batolitos mesozóicos y rocas metamórficas originadas principalmente por metamorfismo regional.

de rocas sedimentarias que presentan diversas facies y cuya edad no ha sido bien definida.

En la era Cenozoica se tienen acumulaciones de gruesos espesores de sedimentos continentales, depósitos marinos y una importante actividad volcánica que cubre en parte los cinturones mesozoicos anteriores. Durante el Paleoceno y Eoceno, se acumularon sedimentos de ambientes cercanos a la costa. Estos sedimentos provinieron de las porciones orientales emergidas.

Los potentes espesores de sedimentos fluviales y eólicos que afloran a la altura del paralelo 31°, se encuentran coronados por emisiones lávicas de edad Plioceno y Mioceno, lo cual parece indicar que estos depósitos son de la misma edad, asimismo el Mioceno es la época durante la cual se desarrolló la mayor actividad volcánica. En el interior de la península se han acumulado recientemente depósitos aluviales, eólicos y lacustres que aún siguen desarrollándose.

A partir de la disposición y de las características de las unidades en el área se pueden inferir dos etapas tectónicas principales de deformación. La primera, de carácter compresivo, se refleja en la discordancia entre los sedimentos del Cretácico Superior y la secuencia de dominio de arco insular, que fué la responsable del plegamiento, del metamorfismo y de los principales emplazamientos batolíticos, así como de un gran levantamiento en la región. La segunda fase está asociada a la apertura del Golfo de California y a la traslación de la

península hacia el noroeste. Esta etapa está reflejada en la dislocación que presentan las unidades en los valles tectónicos que generó, y en el vulcanismo alcalino reciente.

3.2.- Estratigrafía.

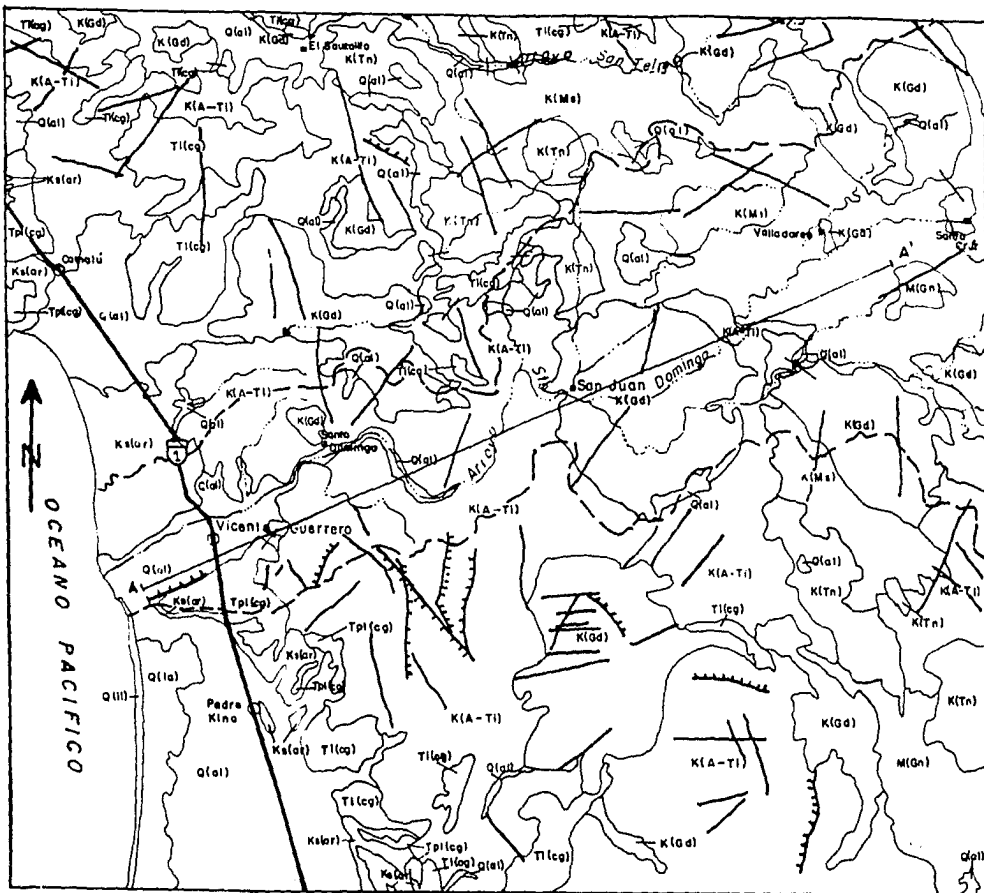
A continuación se describen las diferentes unidades geológicas. El orden de las unidades dentro del mismo rango, no indica necesariamente superposición. Las unidades se presentan en la Figura 3.2.

Mesozoico.

Gneis M(gn).- La unidad consiste de gneises de facies de esquistos verdes, clase cuarzofeldespática, burdamente bandeados y en ocasiones en estructuras "augen". Presentan vetillas de cuarzo criptocristalino y en ocasiones están afectados por diques de pegmatita.

La unidad está expuesta en el límite oriental y sureste de la subcuenca del Arroyo Santo Domingo, bordeando el núcleo batolítico de la Sierra de San Pedro Mártir. Está cubierta, discordantemente, en áreas muy restringidas por los depósitos conglomeráticos del Terciario Inferior. Su edad no se ha determinado con precisión, se le ha asignado una edad Cretácica, pero otros autores la consideran del Paleozoico.

Metasedimentaria, K(Ms).- Secuencia sedimentaria metamorfizada, en la que se identifican calizas, areniscas, conglomerados y algunas rocas volcánicas. Es de color verde con tonos de ocre y



CENOZOICO	CUATERNARIO	Aluvial (al)	CRETÁCICO	Superior (Ks)	Arenisca (ar)	MESOZOICO
	TERCIARIO	Litoral (li)		inferior (Ki)	Arenisca (ar)	
	Quaternario (al)	Lacustre (la)		Quaternario (al)	Arenisca (ar)	
	Proceder con el caso de (g)					

SIMBOLOGIA

- Contacto geológico
- Fractura
- Falla
- Corriente intermitente
- Lugares poblados
- Carretera federal

Esc. 1: 250 000

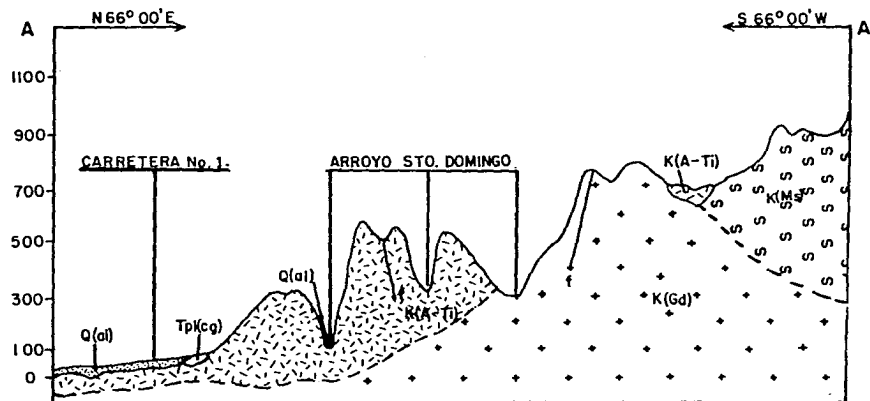
Mapa geológico elaborado con base a hojas geológicas HII-5-6 1:250 000 y HII-664 1:50 000 editadas por INEGI.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.
	GEOLOGIA REGIONAL
Realizado por:	Figura No. 3.2
Raúl Soto Gutiérrez	

Nota: El orden de las unidades dentro del mismo rango no indica necesariamente superposición.

SECCION GEOLOGICA A-A'

LEYENDA



CENOZOICO	CUATERNARIO	Q(al)	Aluvi3n
	TERCIARIO	Tp(kcg)	Conglomerado
MESOZOICO	CRETACICO	K(A-Ti)	Andesita - Toba intermedia
		K(Gd)	Granodiorita
		K(Ms)	Metasedimentaria

SIMBOLOGIA

Contacto geol3gico ————

Contacto geol3gico inferido - - - - -

Fractura ————

Esc. Vertical 1 : 20 000

Esc. Horizontal 1 : 250 000

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO. B. C.
SECCION GEOLOGICA ESQUEMATICA A--A'	
TESIS PROFESIONAL: Raúl Soto Guti3rrez	Figura No. 3.2A

presenta por lo general, metamorfismo de facies de esquistos verdes, representado por pizarras, esquistos, cuarcitas y rocas metavolcánicas.

Se encuentra afectada por intrusivos de granodiorita y corresponde a las formaciones San Telmo y San Fernando, las que actualmente se consideran equivalentes a la Formación Alisitos.

La unidad aflora al noreste del valle, según una franja de orientación sureste-noroeste, al occidente de la Sierra San Pedro Mártir, con una expresión morfológica de sierras acordonadas.

Andesita-Toba Intermedia K(A-Ti).- Unidad representada por una secuencia volcánica, que varía en composición desde ácida hasta intermedia, predominando la última. Presenta, por lo general, metamorfismo de bajo grado, facies esquistos verdes de clorita, clase básica. Así mismo incluye rocas lávicas, como la riodacita, andesita y traquiandesita; tobas líticas y algunas tobas híbridas; en algunos sitios presenta intercalaciones de litarenitas volcánicas y otras de rocas volcanosedimentarias. En ocasiones se ha perdido la textura original por el metamorfismo, lo que dificulta su clasificación.

Esta unidad se encuentra expuesta en la mayor parte de la zona, principalmente en la porción central de la subcuenca. Aparece intrusionada por los batolitos asignados al Cretácico. Se encuentra cubierta discordantemente por las diferentes unidades clásticas del Terciario.

Santillán y Barrera (op. cit.) denominaron a esta unidad Formación Alisitos, a la que se le asigna una edad del Cretácico Medio.

Granodiorita K(Gd).- Unidad que consiste de granodioritas de textura holocristalina, equigranular, generalmente de grano grueso y color gris claro. Frecuentemente con intemperismo esferoidal.

Aparecen emplazadas en las unidades metamórficas del Mesozoico y en la unidad anteriormente descrita. Aflora en el borde oriental y la porción central de la subcuenca en donde aparece formando sierras con grandes peñascos redondeados.

Tonalitas K(Tn).- Consiste de tonalitas de textura holocristalina equigranular de color gris claro con tonos verdes, intemperismo esferoidal y frecuente aparición de xenolitos.

La unidad se encuentra emplazada sobre las rocas volcánicas cretácicas y en las rocas metamórficas mesozoicas. Están cubiertas discordantemente por las unidades clásticas asignadas al Mioceno y las unidades piroclásticas del Terciario Superior.

Su distribución es escasa en el área; aparece en afloramientos aislados, principalmente al sureste y noreste de la subcuenca en estudio. Se manifiesta en sierras prominentes con grandes peñascos redondeados.

A esta unidad y la anterior se les han asignado edades que varían a través del Mesozoico.

Arenisca Ks(ar).- Unidad poco o parcialmente consolidada, formada por litarenitas intercaladas con algunas limolitas, conglomerados y escasos horizontes de yeso, acumulados en un ambiente mixto.

Estas areniscas están cubiertas discordantemente por rocas clásticas del Terciario y Cuaternario, y se consideran parte de la Formación Rosario. Afloran en la porción norte y sur del valle de Vicente Guerrero, formando las terrazas marinas paralelas a la línea de costa. Aparece surcada por el Arroyo Santo Domingo, provocando que sus paredes sean casi verticales. Se le asigna una edad correspondiente al Cretácico Superior.

Cenozoico.

Conglomerado Ti(cg).- Conglomerados continentales que se presentan en estratos gruesos y masivos, constituidos por clastos, generalmente bien redondeados, de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, embebidos en una matriz arenolimsa y en ocasiones cementados por carbonatos y por óxidos.

La unidad está expuesta según mesas de diferentes dimensiones, medianamente disectadas, en la vertiente del Océano Pacífico, donde rellenan antiguos valles fluviales.

La unidad sobreyace a las rocas mesozoicas y está cubierta por los depósitos conglomeráticos del Plioceno y depósitos clásticos

recientes.

Conglomerado, Tpl(cg).- Conglomerados de origen marino, de estratificación gruesa y masiva, medianamente cementados por carbonatos, con algunas intercalaciones de areniscas de grano medio a grueso. Los conglomerados están constituidos por clastos redondeados de rocas intrusivas, metamórficas y volcánicas con tamaños menores a 15 centímetros y con fósiles de un ambiente de línea de costa. Cubre principalmente, en forma discordante, a las rocas clásticas del Cretácico Superior, formando terrazas marinas en la costa del Océano Pacífico.

Lacustre, Q(la).- Consiste de una alternancia de estratos delgados, sin compactación ni cementación, de arenas finas, limos y arcillas.

Esta unidad está expuesta en un área a lo largo de la costa en la porción sur, en el valle de San Quintín.

Litoral Q(li).- Depósito formado por arenas de tamaño fino a medio, de cuarzo, feldespatos, líticos y fragmentos de conchas sin consolidar. La unidad está expuesta, según afloramientos angostos en el extremo occidental del valle, sobre la línea de costa.

Aluvial Q(al).- Esta unidad incluye a los depósitos aluviales, proluviales y fluviales del valle. Está formada por material granular de tamaño variable desde arcilla hasta cantos, sin consolidar, constituidos por fragmentos líticos y minerales

predominando el tamaño arena. Entre los fragmentos líticos destacan los de rocas intrusivas y volcánicas; entre los minerales, los fragmentos de plagioclasa, cuarzo y micas.

La unidad está ampliamente distribuida en el área, en este caso rellenando el valle de Vicente Guerrero, ocupando la mayor parte del mismo. Se le ha asignado una edad Cuaternaria.

3.3.- Unidades hidrogeológicas.

Una vez definida la geología del área, se integraron las diferentes unidades de acuerdo a su respuesta para transmitir el agua, agrupándose en tres unidades distintas que pueden observarse en la Figura 3.3, las cuales se describen a continuación:

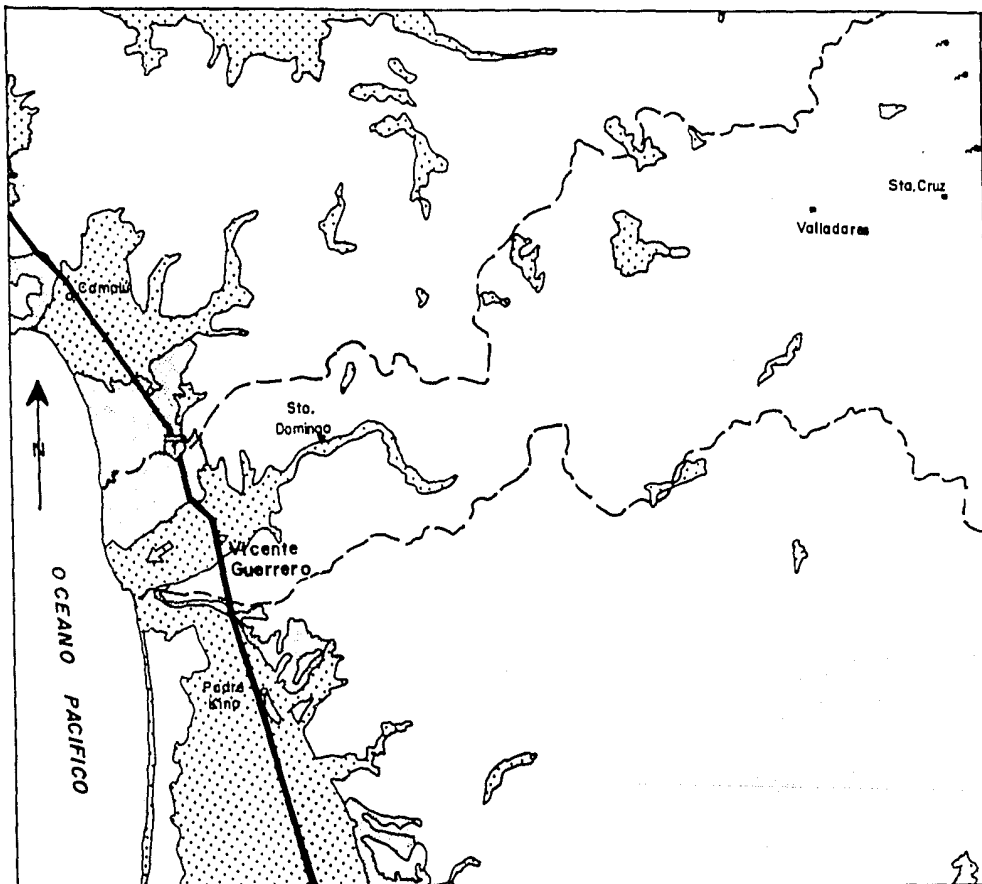
-Unidades Permeables.

Depósitos aluviales Q(al).- Cantos, gravas, arenas, limos y arcillas. Constituyen la mayor parte del valle.

Depósitos de litoral Q(li).- Arenas finas a medias sin consolidar. Se presentan sobre la línea de costa.

Su permeabilidad es de origen primario, ésta se debe principalmente a que no están consolidadas y a la granulometría que cada una presenta.

De estas unidades los depósitos aluviales son los que presentan mayor permeabilidad y mayor facilidad de transmitir el agua, pues



Unidad Permeable

Unidad Semipermeable

Unidad Impermeable

- | | |
|--|--------------------------|
| | Aluvión |
| | Litoral |
| | Arenisco |
| | Lacustre |
| | Conglomerado |
| | Conglomerado |
| | Andesito Toba intermedia |
| | Tonalita |
| | Granodiorita |
| | Metasedimentario |
| | Grés |

SIMBOLOGIA

- Contacto hidrogeológico
- Manantial
- Dirección de flujo subterráneo
- Límite de subcuenca
- Lugares poblados
- Carretera federal

Piano elaborado con base a Hojas geológicas HII-5-6 1:250 000 y HII-864 1:50 000 editadas por I.N.E.G.I.

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

TESIS PROFESIONAL:

Raúl Soto Gutiérrez

Figura No. 3.3

Esc. 1:250 000

constituyen la unidad de almacenamiento y explotación de las aguas subterráneas. También sobresalen los depósitos actualmente localizados sobre el arroyo Santo Domingo.

-Unidades Semipermeables.

Arenisca Ks(ar).- Litarenitas, limolitas, areniscas, conglomerados y horizontes escasos de yeso. Afloran en la porción norte y sur del valle.

Sus características de permeabilidad se deben al grado de compactación de la roca y a su granulometría media a fina, considerándose de origen primario.

En esta unidad se localizan algunas obras que en su mayoría tienen rendimientos bajos, principalmente se concentran al occidente de la carretera transpeninsular y la porción norte del valle.

-Unidades impermeables.

Gneis M(Gm).-Gneises en facies de esquistos verdes. Escasos afloramientos en el límite oriental de la subcuenca.

Metasedimentaria, K(Ms).- Secuencia sedimentaria metamorfizada, constituida por pizarras, esquistos, cuarcitas y rocas metavolcánicas. Aflora en una franja al occidente de la Sierra de San Pedro Mártir.

Andesita-Toba intermedia K(A-Ti).- Secuencia volcánica y tobas

con metamorfismo de bajo grado afloran en la mayor parte de la subcuenca.

Granodiorita K(Gd) y Tonalitas K(tn).- Granodioritas y Tonalitas holocristalinas. Afloran en sitios aislados dentro de la cuenca.

Conglomerado Ti(cg).- Conglomerado continental de estratificación gruesa a masiva. Localizados en afloramientos aislados al norte y sur de la subcuenca del arroyo Santo Domingo.

Conglomerado Tpl(cg).-Conglomerados marinos y areniscas de estratificación gruesa y masiva. Se presentan afloramientos aislados en la porción norte y noreste del valle.

Estas rocas deben su impermeabilidad principalmente a su naturaleza cristalina, además su fracturamiento no es intenso y en las unidades restantes su granulometría no presenta buena selección.

Dentro de este grupo pueden considerarse ocasionalmente semipermeables a las rocas batolíticas, debido a que en las partes altas de las sierras se detectan algunos manantiales, probablemente a causa de un mayor fracturamiento en zonas específicas.

No se cuenta con reportes sobre el caudal en dichos manantiales, pero por la naturaleza de la roca es de suponer que son de gasto despreciable.

GEOFISICA

4.- Geofísica.

La campaña de prospección geofísica se realizó mediante el empleo del método eléctrico de resistividad, en la modalidad de sondeo eléctrico vertical (SEV), con el arreglo electródico Schlumberger, realizando 23 SEV distribuidos en 5 secciones según se muestra en la Figura 4.1.

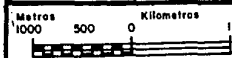
4.1.- Características del equipo empleado.

Para la ejecución de los sondeos eléctricos verticales, se utilizó un equipo de resistividad similar a un SCINTREX, el cual consiste de un transmisor de una potencia máxima de 1500 watts y 1500 volts en la inyección de corriente directa y un receptor digital capaz de medir hasta centésimas de milivolt, acoplado con un eliminador de potencial espontáneo.

Dentro de los accesorios para los sistemas de emisión y recepción, se utilizaron cables tipo flexanel de calibre 10, carretes para transportar dicho cable, electrodos de corriente de acero del circuito de transmisión, electrodos impolarizables para el sistema de recepción, marros y materiales menores.

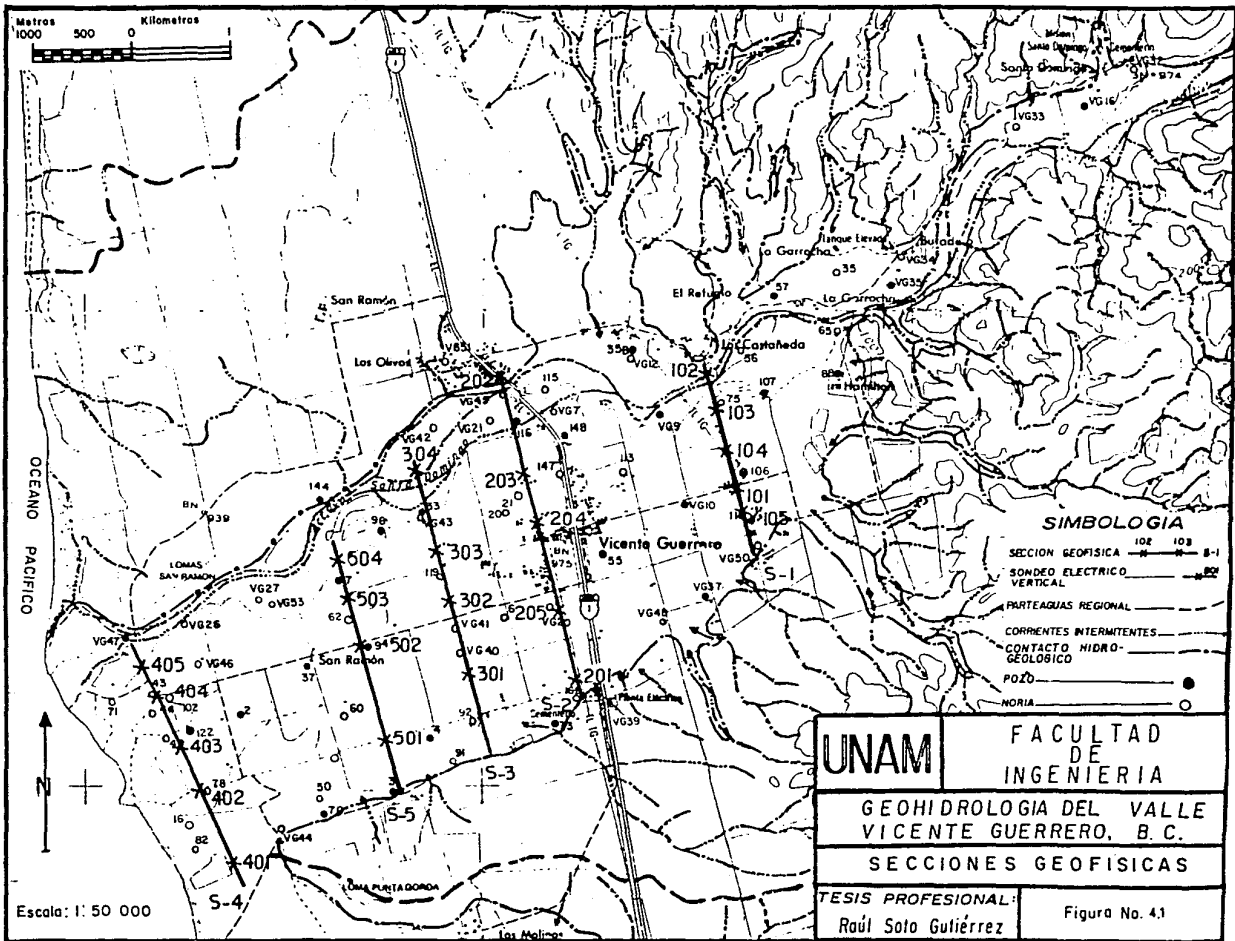
4.2.- Fundamentos físicos esenciales.

El propósito de estos sondeos fue el de investigar el cambio de la resistividad de las formaciones con respecto a su profundidad. Esto se logra mediante la aplicación de la técnica del sondeo eléctrico vertical, en el cual se utiliza un arreglo tetraelectródico denominado Schlumberger, en el cual los



30°45'

30°45'



OCEANO PACIFICO

Escala: 1: 50 000

SIMBOLOGIA

- SECCION GEOFISICA 102 103 S-1
- SONDEO ELECTRICO VERTICAL
- PARTEAQUAS REGIONAL
- CORRIENTES INTERMITENTES
- CONTACTO HIDRO-GEOLÓGICO
- POZO
- NORIA

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B.C.
SECCIONES GEOFISICAS	
TESIS PROFESIONAL:	Figura No. 4.1
Raúl Soto Gutiérrez	

electrodos del sistema de recepción M y N permanecen fijos (simétricamente colocados respecto al centro del sondeo) y se van efectuando lecturas de la diferencia de potencial ΔV y de la corriente I, para una separación de electrodos de corriente A y B sucesivamente creciente según una progresión geométrica.

Durante los trabajos de campo se anotan los valores ΔV e I, calculándose simultáneamente los valores de resistividad aparentes para graficarlos en el campo. Esto tiene por objeto poder observar la continuidad de las curvas y en caso necesario repetir las lecturas.

La fórmula general que se emplea para el cálculo de la resistividad aparente es:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

en donde k es un coeficiente que depende de la geometría del dispositivo electródico.

4.3.- Criterio de interpretación.

Los cálculos de la interpretación geoelectrica se basaron exclusivamente con el enfoque cuantitativo en la determinación de espesores y resistividades reales en cada uno de los sondeos. En la interpretación de la prospección geoelectrica se siguió la secuela que a continuación se expone:

- Cálculo de las resistividades aparentes con sus efectos de empalme, calculados con la fórmula del semiespacio homogéneo e

isotrópico para cada una de las separaciones crecientes de electrodos, para determinar una curva de campo definitiva. Estas curvas se traslapan en cada cambio de espaciamento MN para verificar su continuidad.

La información de campo de los 23 sondeos eléctricos verticales se graficó en papel doble-logarítmico, utilizando como ordenada la resistividad aparente en ohms-metro y como abscisa el espaciamento $AB/2$ entre los electrodos de corriente. Además se compensaron los tramos de traslape por medio de un método gráfico con el objeto de determinar la curva definitiva de resistividades aparentes para su interpretación correspondiente.

- La interpretación cuantitativa aproximada de los sondeos eléctricos verticales se llevó a cabo mediante la utilización del método del punto auxiliar publicado por Homilius (1961).

Con la utilización de ábacos para tres capas y diagramas auxiliares, se realizó el cálculo de espesores y resistividades reales en cada uno de los sondeos.

- Comprobación de cálculos de espesores y resistividades reales mediante la comparación de los datos de campo de resistividad aparente con el cálculo de resistividades aparentes teórico de un programa de computadora.

- Determinación de las características particulares de las 5 secciones con la interpretación y comparación de la información

recabada, tal como profundidad de pozos, geología, profundidad al nivel estático, entre otras, para calibrar los cuerpos resistivos con la litología.

4.4.- Resultados.

A continuación se presentan las características de las unidades geofísicas identificadas, obtenidas a partir de los sondeos eléctricos verticales.

Los resultados obtenidos de los perfiles geofísicos complementan el conocimiento del modelo geológico de la región, mostrando las propiedades eléctricas de los diferentes materiales del subsuelo.

4.4.1.- Características de los materiales que forman el acuífero.

A partir de la interpretación cuantitativa de los SEV se lograron definir siete unidades geoeléctricas, las cuales se identificaron en función del intervalo de resistividad que presentan, de su posición relativa y de algunos otros parámetros geofísicos y geológicos que las caracterizan. Figura 4.2.

La Tabla 4.1 muestra las diferentes unidades geoeléctricas, definidas con los rangos de resistividad que las caracterizan, se hace la descripción de cada una, de su distribución en el subsuelo con sus espesores o profundidades, así como la posible asociación con las unidades litológicas que circundan el área de estudio.

A continuación se describe cada una de las unidades identificadas:

Unidad I

Corresponde al suelo y material granular limo-arenoso más superficial y se encuentra distribuido en casi toda el área explorada, a excepción de algunas zonas por las cuales drena el arroyo Santo Domingo.

Unidad II

Está constituido por un horizonte arenoso de naturaleza permeable situado por encima del nivel estático. Aparece en todas las secciones. En la sección 3 se subdividió en dos, de acuerdo a los valores de resistividad que la caracterizan. La subunidad superior presenta resistividades que duplican a la inferior, sólo que el espesor de la primera varía de 2 a 8 metros y el de la segunda oscila entre los 10 y 15 metros, siendo en ocasiones indefinido en ambas.

Unidad III

Esta es la unidad más importante, está formada por material granular de tipo arena. Se distribuye en la totalidad del área explorada y se encuentra saturada con agua de buena calidad, presenta su mayor espesor en la sección S-3; en las secciones S-4 y S-5 comparte con la unidad IV un horizonte arenoso, en el cual se tiene agua con diferentes calidades, según se comprueba en los resultados de laboratorio de muestras obtenidas en este horizonte.

Es importante destacar que los trabajos en esta actividad se desarrollaron a fines de mayo de 1988. Por información de los usuarios se sabe que a partir de esta época se suelen detectar abatimientos en el acuífero, por tal razón los espesores de esta unidad y la unidad III pueden variar de acuerdo a la época estacional. De igual forma sucede con la extensión de esta misma, junto con la unidad IV en el horizonte que comparten. Figura 4.2.

Unidad IV

Capa arenosa saturada con agua de mala calidad. Aparece en mayor extensión en la sección geofísica S-4, reduciéndose hacia la sección S-5. Comparte con la unidad anterior el mismo horizonte de depósito.

Unidad V

Se compone de un lente de arena gruesa saturado con agua de buena calidad. Unicamente se presenta en la sección S-4. Se interdigita con las arenas de la unidad II, presenta un espesor máximo de 5 metros.

Unidad VI

Esta unidad es el basamento en el valle de Vicente Guerrero, se encuentra emplazada en todo el subsuelo y está formado por arcillas de naturaleza impermeable. En ninguno de los sondeos realizados se pudo determinar su espesor.

Unidad VII

Consiste de rocas volcánicas y tobas de la Formación Alisitos. Es

de naturaleza impermeable. Se detectó únicamente en la sección I, en el sondeo 102 se infiere una falla geológica en la margen derecha del arroyo.

Tabla 4.1
Unidades Geoelectricas

Unidad	Resistividad (ohm-m)	Espesor (m)	Tipo de material
I	7-1000	1-4	Suelo y material superficial permeable, compuesto de limos y arenas
II	50-40000	1-10	Horizonte arenoso situado arriba del nivel estático
III	111-430	4-40	Horizonte arenoso saturado de agua de buena calidad
IV	46-66	5-25	Capa arenosa saturada con agua de mala calidad
V	185	3-10	Horizonte de arena gruesa saturado de agua de buena calidad
VI	10.2-48	indefinido	Basamento arcilloso de naturaleza impermeable
VII	87	indefinido	Rocas ígneas extrusivas de la Formación Alisitos

4.5.- Geometría del acuífero.

En superficie el acuífero presenta un promedio de 3 km de ancho y una longitud aproximada de 10 km hasta el sitio La Garrocha. Aguas arriba de este sitio el acuífero reduce su ancho a 500 m en promedio, hasta una longitud indefinida hasta la sierra.

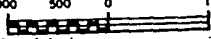
En la porción norte está limitado por los depósitos Cretácicos de Arenisca y Andesita-toba intermedia. Hacia el sur se limita principalmente por la unidad de Conglomerado Terciario. En la zona oeste existe un límite franco con el Océano Pacífico y en su límite inferior se detectó material de naturaleza arcillosa. La presencia de este material también se ha determinado en el basamento del acuífero de San Quintín (T.M.I., 1976), y hasta el momento no se tienen argumentos para correlacionarla con alguna unidad litológica aflorante.

De acuerdo con los resultados obtenidos por los sondeos geofísicos se determinó la morfología del acuífero en subsuelo. En la Figura 4.3 se aprecian depresiones en la porción central del valle de más de 40 m de profundidad, y en la porción sureste con más de 25 m de profundidad. Estas depresiones se asocian a los antiguos cauces que ha erosionado el arroyo por medio de las distintas rutas seguidas a través del tiempo.

El espesor del acuífero varía de unos 10 hasta 37 m aproximadamente, con un promedio de 20 m.

A ENSEÑADA 116°00'

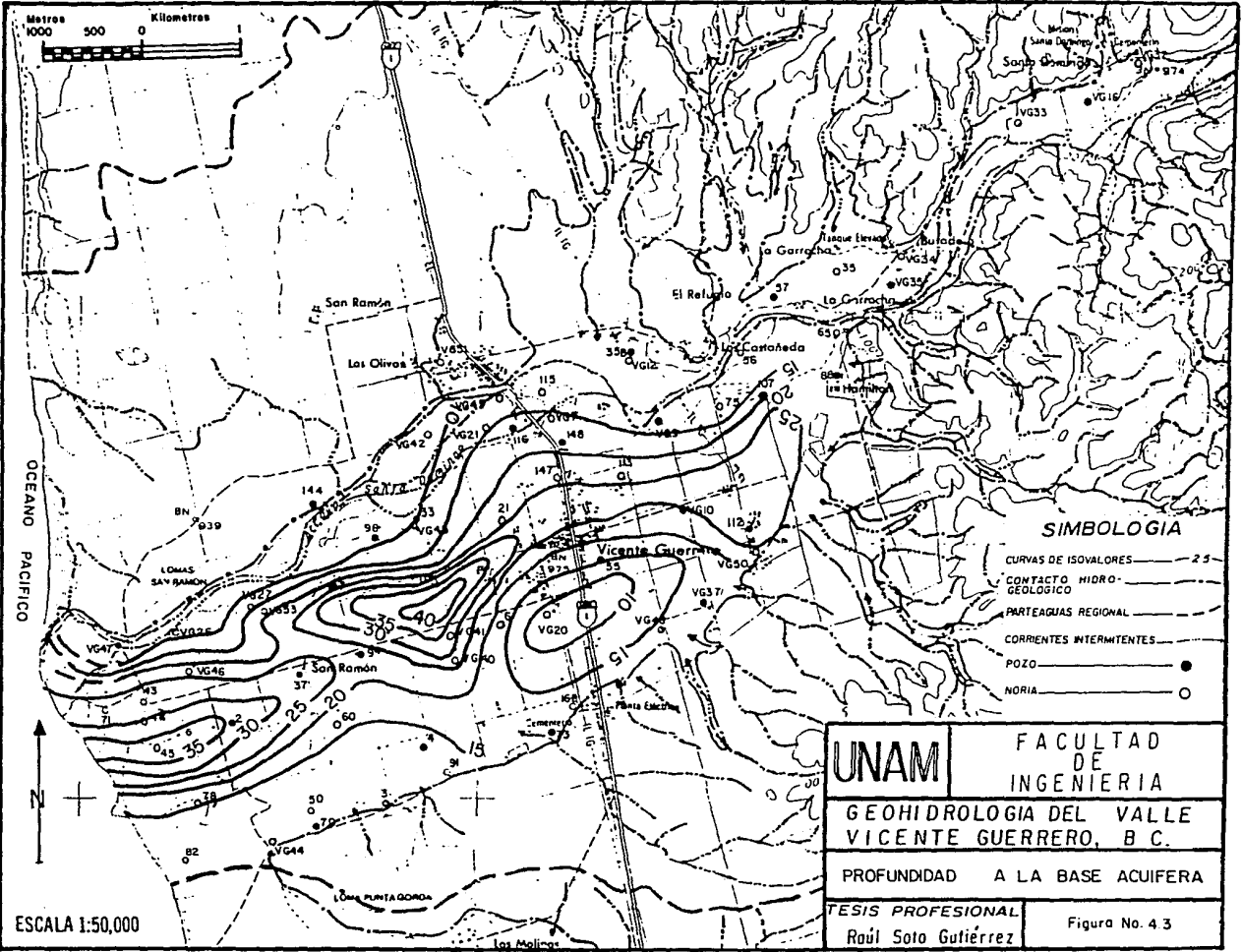
Metros 1000 500 0 Kilometros



30°45'

30°45'

OCEANO PACIFICO



SIMBOLOGIA

- CURVAS DE ISOVALORES ——— 2.5
- CONTACTO HIDRO- GEOLOGICO ———
- PARTEAGUAS REGIONAL ———
- CORRIENTES INTERMITENTES ———
- POZO ●
- NORIA ○

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B.C.

PROFUNDIDAD A LA BASE ACUIFERA

TESIS PROFESIONAL

Raúl Soto Gutiérrez

Figura No. 4.3

ESCALA 1:50,000

116°00'

A EL JOSEANO

HIDROGEOQUIMICA

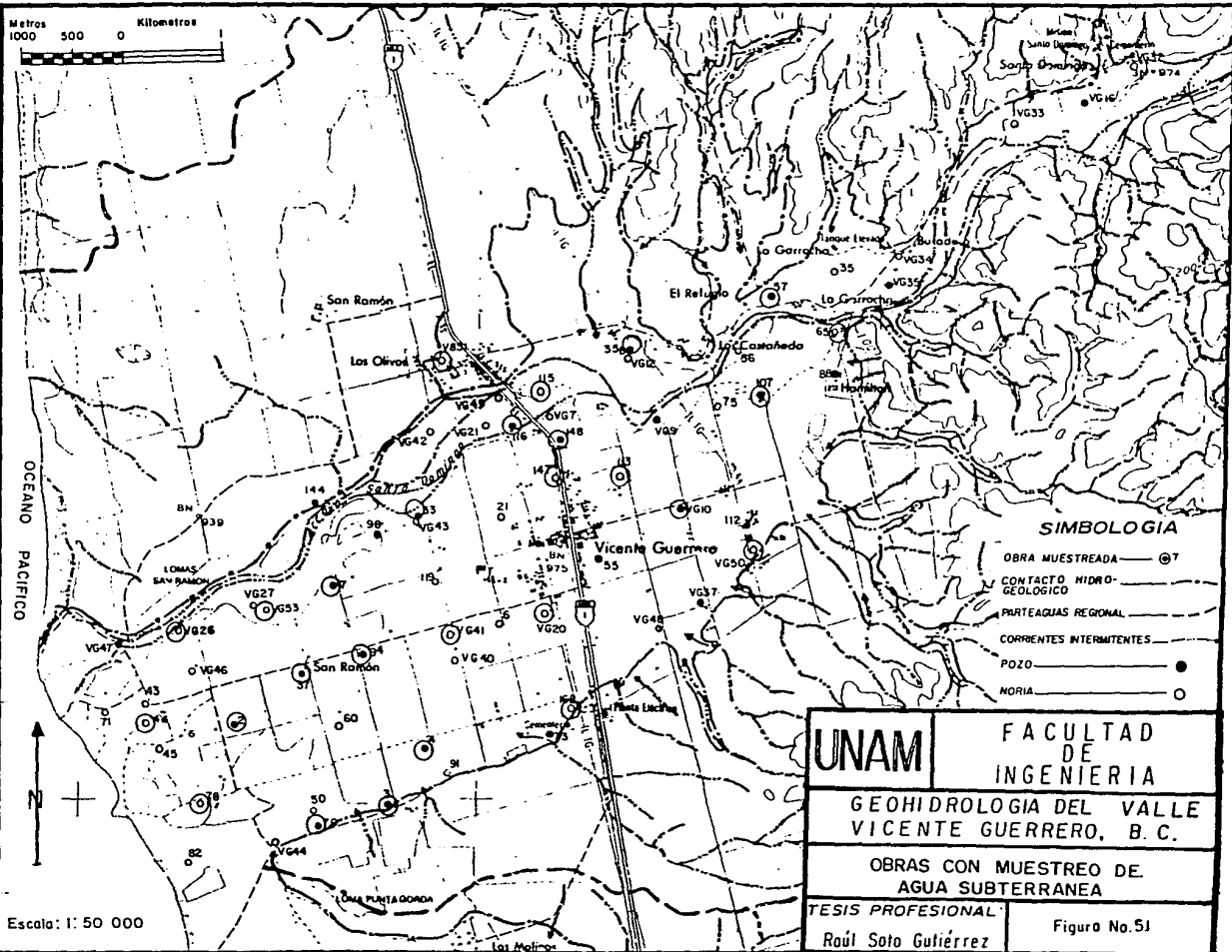
5.- Hidrogeoquímica.

Las investigaciones hidrogeoquímicas forman parte integral indispensable de cualquier estudio hidrogeológico, porque permiten conocer las variaciones de la composición química del agua, considerando los factores que relacionan su carácter químico con las condiciones climatológicas, geológicas y del funcionamiento hidrogeológico.

Los elementos que dan origen a la composición química del agua subterránea están relacionados con el funcionamiento del acuífero, la concentración de éstos, ya sea en solución o suspensión, dependerá del medio, de su recorrido, velocidad de circulación, solubilidad, composición de las rocas y la composición previa del agua, entre otras.

En el valle de Vicente Guerrero el agua subterránea proviene de las precipitaciones pluviales en la sierra, cuyos escurrimientos suceden esporádicamente, debido a que las características de permeabilidad de los materiales que componen el arroyo y la planicie aluvial, permiten en forma natural la infiltración hacia el acuífero de una parte de los mismos.

Para conocer la variación y distribución de las características fisicoquímicas del agua, se recolectaron 27 muestras de agua subterránea en el valle en estudio, correspondientes a 12 norias y 15 pozos. Los análisis de laboratorio consistieron en la identificación de los iones: calcio, magnesio, sodio, potasio,



sulfatos, cloruros y carbonatos, así como la determinación de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (S.T.D.) y dureza total. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.1.

El muestreo se efectuó en mayo de 1988, fecha en la que ya se registra extracción por la operación de pozos, por lo cual se detecta una incipiente intrusión marina.

5.1. Características generales del agua subterránea.

5.1.1. Sólidos totales disueltos.

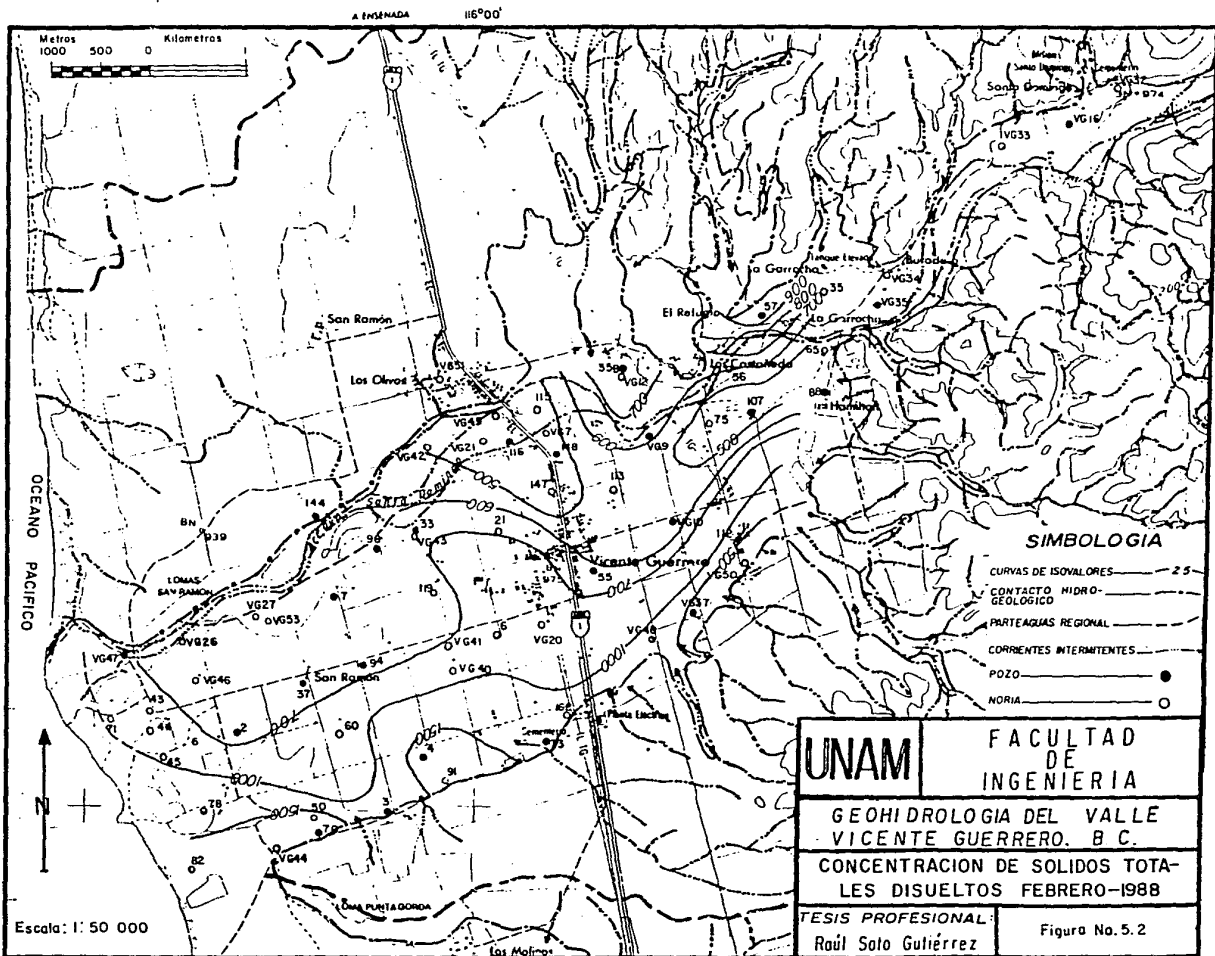
La concentración total de iones disueltos en el agua varía de 429 a 3378 ppm, se puede observar en la Figura 5.2 que las menores concentraciones se localizan cercanas al Arroyo Santo Domingo, lo cual indica que el arroyo alimenta al acuífero, ésto se comprueba con las elevaciones del nivel estático. Además se manifiesta que las mayores concentraciones se localizan en la porción suroeste, sureste y norte del valle, originadas posiblemente a intrusión marina en la porción suroeste y la presencia de aguas congénitas y/o influencia litológica en las restantes.

5.1.2. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica de las muestras analizadas varía de 571 a 4370 $\mu\text{m}/\text{cm}$. Los valores mayores corresponden a muestras obtenidas cerca del litoral, en el extremo sureste del valle y en Los Olivos; a las primeras se les atribuye la influencia de la cercanía de la costa, mientras que para las restantes debe existir influencia de la litología en esas zonas.

Tabla 5.1
RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS EN EL VALLE
VICENTE GUERRERO, B.C.N.
 mayo, 1988

CLAVE	pH	TEMP oc	COND uM	DUR CO3	STD ppm	Ca		Mg		Na+K		HCO3		Cl		SO4		SAR
						meq	ppm	meq	ppm	meq	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq	ppm	
N115	7.29	18.7	571	86	571	4.0	80.0	0.4	8.0	1.7	39.1	2.8	170.8	1.9	66.5	1.3	62.4	1.1
N147	8.95	24.9	583	86	429	4.0	80.0	0.6	12.0	2.3	52.9	1.8	109.8	3.7	129.5	1.0	48.0	1.5
P116	7.19	17.8	595	87	435	4.1	82.0	0.4	8.0	2.0	46.0	2.9	176.9	2.6	91.0	0.7	33.6	1.3
P107	7.23	18.8	601	91	444	4.3	86.0	0.4	8.0	1.8	41.4	3.0	183.0	2.6	91.0	0.7	33.6	1.2
P148	7.23	18.4	605	92	448	4.3	86.0	0.5	10.0	2.1	48.3	2.5	152.2	3.4	119.0	0.7	33.6	1.4
N65	7.39	19.7	669	95	467	4.4	88.0	0.6	12.0	2.0	46.0	3.0	183.0	3.1	108.5	0.7	33.6	1.3
PVG10	7.42	20.6	812	95	526	4.2	84.0	0.8	16.0	3.2	73.6	2.5	152.5	4.3	150.5	1.1	52.8	2.0
N113	7.22	21.3	728	114	535	5.2	104.0	0.8	16.0	2.6	59.8	2.6	158.6	4.3	150.5	1.0	48.0	1.5
P94	7.33	20.7	778	121	607	5.5	110.0	0.9	18.0	3.1	71.3	3.0	183.0	5.1	178.5	1.1	52.8	1.7
PVG26	6.98	19.5	802	132	618	6.1	122.0	0.8	16.0	2.5	57.6	3.2	195.2	4.9	171.5	1.3	62.4	1.3
P7	7.49	20.0	779	197	630	6.2	124.0	1.0	20.0	3.0	69.0	2.5	152.5	6.4	224.0	1.0	48.0	1.6
NVG53	7.25	20.4	717	122	640	5.6	112.0	0.8	16.0	3.0	69.0	3.0	183.0	4.9	171.5	2.0	96.0	1.7
P37	7.31	20.1	911	738	667	6.3	126.0	1.0	12.0	3.3	75.9	3.2	195.2	5.8	203.0	1.1	52.8	1.7
P2	7.57	20.4	1145	71	672	2.9	58.0	1.2	24.0	5.9	135.7	3.7	225.7	4.8	168.0	1.5	72.0	4.1
P33	6.91	20.4	755	154	677	6.8	136.0	1.5	30.0	2.9	66.7	2.5	152.5	7.4	259.0	0.9	43.2	1.4
NVG41	7.64	21.8	1067	111	699	4.8	96.0	1.2	24.0	4.8	110.4	3.8	231.8	5.1	178.5	1.4	67.2	2.8
N44	7.05	19.3	1041	136	754	5.9	118.0	1.5	30.0	4.7	109.1	3.2	195.2	6.8	238.0	1.6	76.8	2.4
NVG20	7.68	21.8	1121	127	766	5.5	110.0	1.5	30.0	5.1	117.3	3.9	237.9	6.1	213.5	1.4	67.2	2.7
P35B	7.12	20.1	1214	158	788	6.8	136.0	1.8	36.0	3.9	89.7	3.4	207.4	7.5	262.5	1.4	67.2	1.9
P57	7.20	21.3	1108	130	947	5.5	110.0	1.7	34.0	3.8	87.4	3.7	225.7	12.8	448.0	1.2	57.6	2.0
P3	7.24	20.9	2555	113	1059	4.8	96.0	1.4	28.0	10.8	248.4	2.1	128.1	13.2	462.0	2.2	105.6	6.1
N162	7.30	21.7	2465	139	1061	5.8	116.0	1.9	38.0	9.6	220.8	2.0	122.0	14.1	493.5	1.8	86.4	4.9
N78	7.58	20.2	2150	123	1283	5.0	100.0	1.9	38.0	12.9	296.7	3.6	219.6	10.5	367.5	5.8	278.4	6.9
P4	7.51	20.5	2535	318	1661	13.0	260.0	4.8	96.0	10.3	236.9	4.4	268.4	20.8	721.0	2.3	110.4	3.5
NVG50	7.04	20.7	2314	304	1637	12.7	254.0	4.2	84.0	11.1	255.3	4.8	292.8	20.7	724.5	2.2	105.6	3.8
P70	7.30	20.6	4274	216	1840	8.3	166.0	4.2	84.0	17.4	400.2	3.2	195.2	20.6	721.0	6.4	307.2	7.0
NVG51	7.10	20.1	4370		3378	64.2	1284.0	17.9	358.0	13.9	319.7	3.7	225.7	36.1	1263.5	1.5	72.0	2.2



La posición del valor de concentración indica hacia donde incrementa.

116°00'

A EL ROSARIO

5.1.3. Intrusión marina.

Debido al grado de explotación del acuífero y por limitar con el Océano Pacífico, es de fundamental interés observar las variaciones en la salinidad de sus aguas; normalmente un estado de intrusión marina se detecta por una rápida elevación en el contenido de cloruros. No es fácil identificar el agua marina, puesto que hay aguas saladas y salmueras con características parecidas al agua de mar, las cuales no mantienen relación con ésta, sin embargo, la aplicación de expresiones que relacionan iones específicos son útiles para determinar diferencias entre aguas con mayor claridad. Comunmente se realiza en valores expresados en meq/l que se indica con la letra "r"; se pueden establecer similitudes en el agrupamiento de análisis que representan una área geológicamente homogénea o en una zona de agua salobre o en un solo acuífero.

5.1.3.1.- Cloruros.

Este elemento se encuentra en cantidades muy pequeñas tanto en la atmósfera como en la litósfera. El cloro es un elemento fácilmente ionizable, por lo que sus componentes son muy solubles y difícilmente precipitan.

La concentración común de este ión en las aguas continentales es de entre 10 y 300 ppm, en tanto que en el agua de mar su concentración es del orden de 18,000 a 20,000 ppm.

La presencia de este elemento en concentraciones anómalas, se asocia con emanaciones volcánicas o intrusión de agua marina.

En el área de estudio este elemento se encuentra en concentraciones que van desde 66.5 hasta 1263 ppm. Las concentraciones más bajas de este ión, se presentan en aprovechamientos localizados en las cercanías del arroyo (N-115, P-116 y P-107); las mayores se presentan en la zona de Los Olivos y en las porciones sureste y suroeste de del valle (NVG-51, P-70 y NVG-50).

Las concentraciones de cloruros en la franja costera, presentan valores dentro del rango de aguas continentales; a excepción de la porción suroeste en donde se registran valores entre 462 y 721 ppm, mismas que pertenecen a un rango límite entre aguas continentales y marinas, por lo que se infiere la presencia de agua salobre en esa zona.

5.1.3.2.-Relación $rCl/rHCO_3$.

Esta relación es especialmente útil para la caracterización de la intrusión marina, ya que en aguas continentales tiene un valor que normalmente fluctúa entre 0.1 y 5, el de agua de mar varía entre 20 y 50. Esta relación es práctica debido a su independencia con respecto a los efectos de contaminación antrópica.

El agua subterránea en la zona de estudio presenta valores que varían de 0.68 a 9.75. Como se observa en la Tabla 5.2, los valores mayores corresponden a las obras N-162, P-3, P-70 y NVG-51, a excepción de la última, corresponden a aprovechamientos localizados cerca de la costa, donde su contenido de cloruros

Tabla 5.2
RELACION HIDROGEOQUIMICA rCl/HCO_3

OBRA	rCl/HCO_3
N115	0.68
N147	2.06
P116	0.90
P117	0.87
P148	1.36
N65	1.03
PVG10	1.72
N113	1.65
P94	1.70
PVG26	1.53
P7	2.56
NVG53	1.63
P37	1.81
P2	1.30
P33	2.96
NVG41	1.34
NVG44	2.12
NVG20	1.56
P35B	2.21
P57	3.46
P3	6.29
N162	7.05
N78	2.92
P4	4.73
NVG50	4.31
P70	6.44
NVG51	9.75

varía entre 462 a 721 ppm y cuya clasificación es Cl-Na por lo que evidencian que esa zona está afectada por intrusión marina.

5.2. Clasificación de las aguas subterráneas.

Se obtuvieron los porcentajes de las concentraciones de aniones y cationes principales y se graficaron en diagramas triangulares de Piper y diagramas de Wilcox; con estas representaciones se pueden observar las relaciones iónicas de los principales componentes químicos del agua, así como a las familias químicas a las que pertenecen, logrando una clasificación con base a su afinidad química.

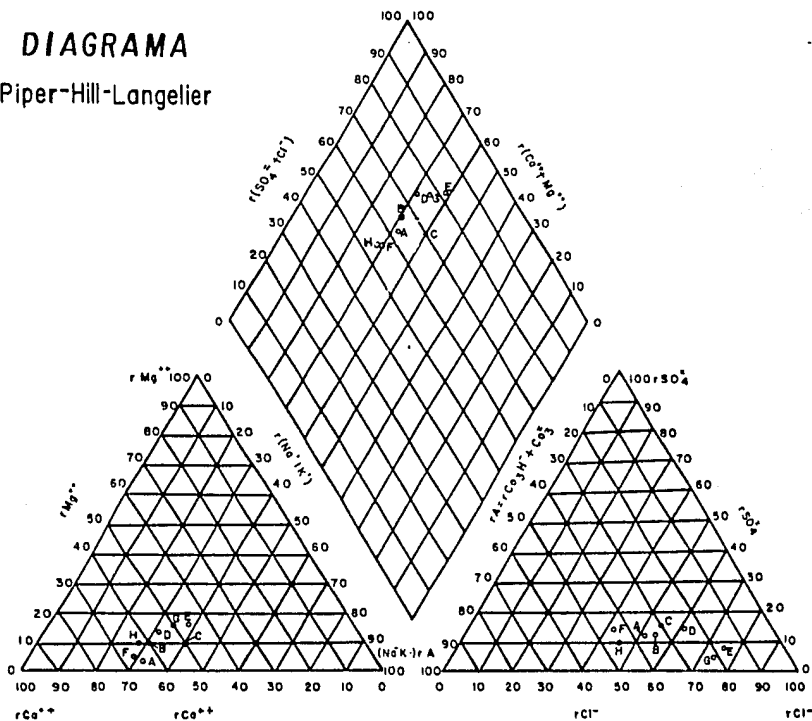
Posteriormente se clasificaron de acuerdo con normas propuestas por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) y la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.), a fin de conocer su grado de potabilidad.

5.2.1. Diagramas de Piper.

Este es un método gráfico de interpretación y clasificación geoquímica de análisis químicos de aguas subterráneas, el cual permite correlacionar las aguas en una zona en estudio. Su aplicación está en función de observar con el tiempo la variación química que sufren los acuíferos.

En los diagramas de las Figuras 5.3 a 5.5 se puede observar que los cloruros son el ión predominante y le siguen en importancia los bicarbonatos. El catión dominante es el calcio y en segundo lugar el sodio. Además se observa la presencia de tres familias;

DIAGRAMA Piper-Hill-Langelier

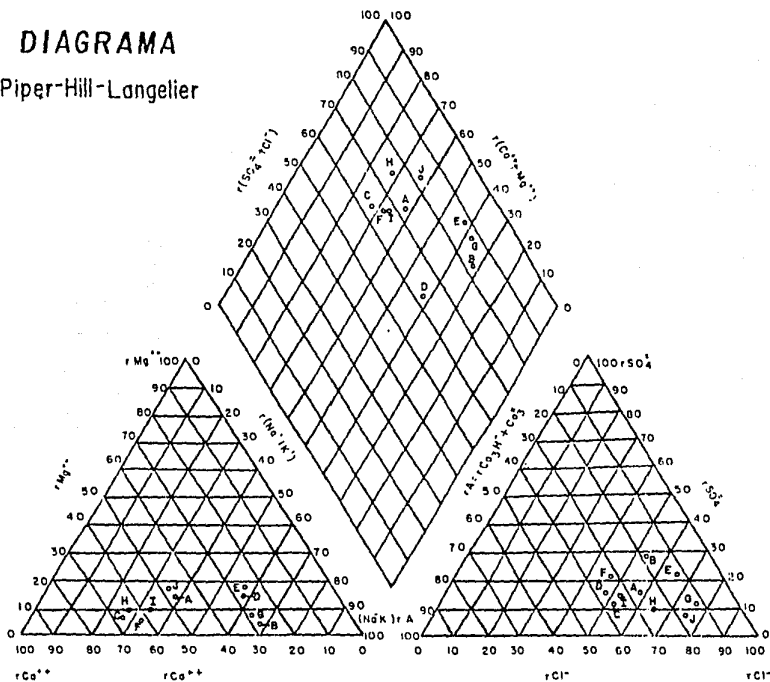


Nº Muestra	Pozo	Clasificación
A	P-148	Clorurada — Cáltica
B	N-113	Clorurada — Cáltica
C	PVG-10	Clorurada — Cáltica
D	P-35B	Clorurada — Cáltica
E	NVG-50	Mixta (Ca - Cl - HCO ₃)
F	P-107	Mixta (Ca - Cl - HCO ₃)
G	P-57	Clorurada — Cáltica
H	N-65	Mixta (Ca - Cl - HCO ₃)
OBSERVACIONES _____		

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.
CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA	
TESIS PROFESIONAL:	Figura No. 5.3
Raúl Soto Gutiérrez	

DIAGRAMA

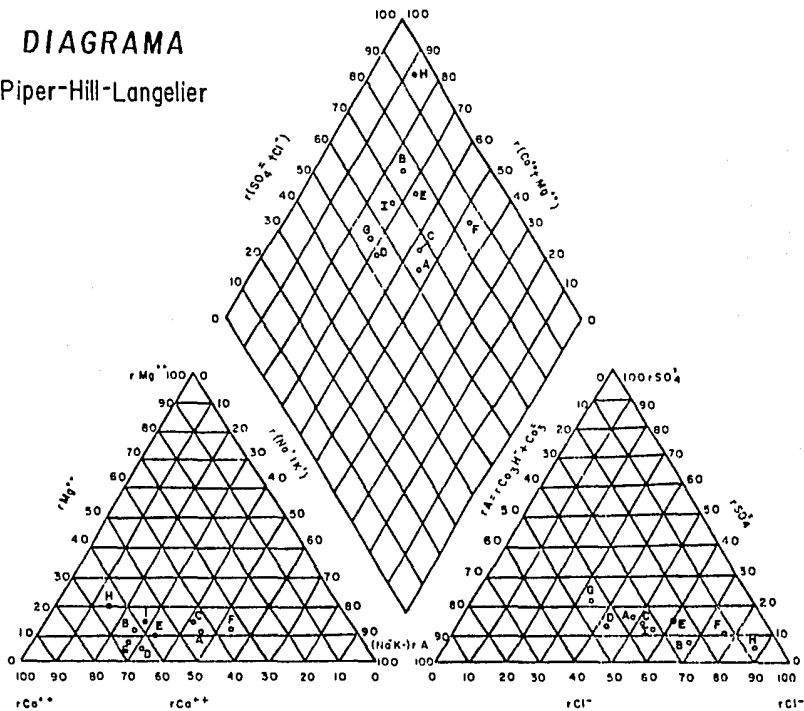
Piper-Hill-Langelier



Nº Muestra	Pozo	Clasificación
A	N-44	Mixta (Cl - Ca - Na)
B	N-78	Clorurada - Sódica
C	PVG-26	Clorurada - Cálcica
D	P-2	Mixta (Na - Cl - HCO ₃)
E	P-70	Clorurada - Sódica
F	NVG-53	Mixta (Ca - Cl - HCO ₃)
G	P-3	Clorurada - Sódica
H	P-7	Clorurada - Cálcica
I	P-94	Clorurada - Cálcica
J	P-4	Mixta (Cl - Ca - Na)
OBSERVACIONES _____		

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.
CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA	
TESIS PROFESIONAL:	Figura No. 5.4
Raúl Soto Gutiérrez	

DIAGRAMA Piper-Hill-Langelier



Nº Muestra	Pozo	Clasificación
A	NVG-41	Mixta(Ca-Na-HCO ₃ -Cl)
B	P-33	Clorurada-Cálcica
C	NVG-20	Mixta (Cl-Ca-Na)
D	P-116	Mixta (Ca-Cl-HCO ₃)
E	N-147	Clorurada-Cálcica
F	N-162	Clorurada-Sódica
G	N-115	Mixta(Ca-Cl-HCO ₃)
H	NVG-51	Clorurada-Cálcica
I	P-37	Clorurada-Cálcica
OBSERVACIONES _____		

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.
CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA	
TESIS PROFESIONAL:	Figura No. 5.5
Raúl Soto Gutiérrez	

clorurada-cálcica (Cl-Ca) con 44.4 %, mixta [(Ca-Cl-HCO₃), (Cl-Ca-Na) y (Ca-Na-HCO₃-Cl)] con 40.7 % y sódico-clorurada (Na-Cl) con 14.8 %. Existe una clara zonificación, ya que la familia Cl-Na se localiza sobre la margen sur y suroeste del valle, cerca de la costa con más de 1000 ppm de S.T.D. La familia Cl-Ca está distribuida principalmente en las cercanías del arroyo Santo Domingo y presentan concentraciones de S.T.D. entre 429 y 788 ppm. La familia de aguas mixtas varía de 435 a 1661 ppm de S.T.D. y se trata de muestras localizadas en la mayor parte del área del valle; el predominio del HCO₃ y el bajo contenido en sales es indicativo de que es un agua de reciente infiltración.

5.2.2. Diagramas de Wilcox.

El criterio empleado para la utilización de las aguas de riego dependerá de los tipos de plantas, de la dosis de riego, de la calidad de suelo y del clima local. Si un cultivo recibe la mayor parte de agua a partir de los riegos, su tolerancia frente a las aguas de baja calidad se puede aumentar mediante la administración de fuertes dosis de riego, debido a que el exceso de agua administrada sirve para lavar las sales depositadas en el suelo, evitando de esta manera la formación de suelos salinos.

Además del peligro potencial que suponen para los cultivos la presencia de boro y los altos índices de salinidad de las aguas de riego, existe también el peligro del sodio. Los dos efectos nocivos mas importantes producidos por el sodio son la reducción de la permeabilidad del suelo y el aumento de la dureza; estos dos efectos son causados por el intercambio de calcio y magnesio

con el sodio, que tiene lugar en los coloides y suelos arcillosos. La intensidad de este intercambio puede ser estimado por el índice de adsorción de sodio (SAR) que se expresa mediante la fórmula:

$$\text{SAR} = \frac{\text{rNa}}{\sqrt{\frac{\text{rCa} + \text{rMg}}{2}}}$$

Según la clasificación del diagrama de Wilcox, Figuras 5.6-5.7, predominan las aguas de la clase C3-S1 (46.1 %), le siguen en importancia C2-S1 (30.8 %), C4-S2 (11.5 %), C4-S1 (7.7 %) y C3-S2 (3.8 %).

En general los aprovechamientos con más de 1000 ppm de S.T.D., presentan limitaciones para uso agrícola, no obstante, con técnicas especiales de riego y cultivos tolerantes a la salinidad, son aptas para uso agrícola en cualquier tipo de suelo.

5.2.3. Calidad del agua.

La calidad de agua es en muchos casos más importante que la cantidad. La calidad que se requiere está en función del uso que se desea, ya sea agua potable, industrial o agrícola. El criterio de calidad se obtiene de sus propiedades químicas, físicas, biológicas y radiológicas.

Considerando la clasificación de la O.M.S. y la S.S.A., (1951 y 1961, en C.F.E. 1982), el agua será potable si presenta menos de

DETERMINACION DEL R. A. S.

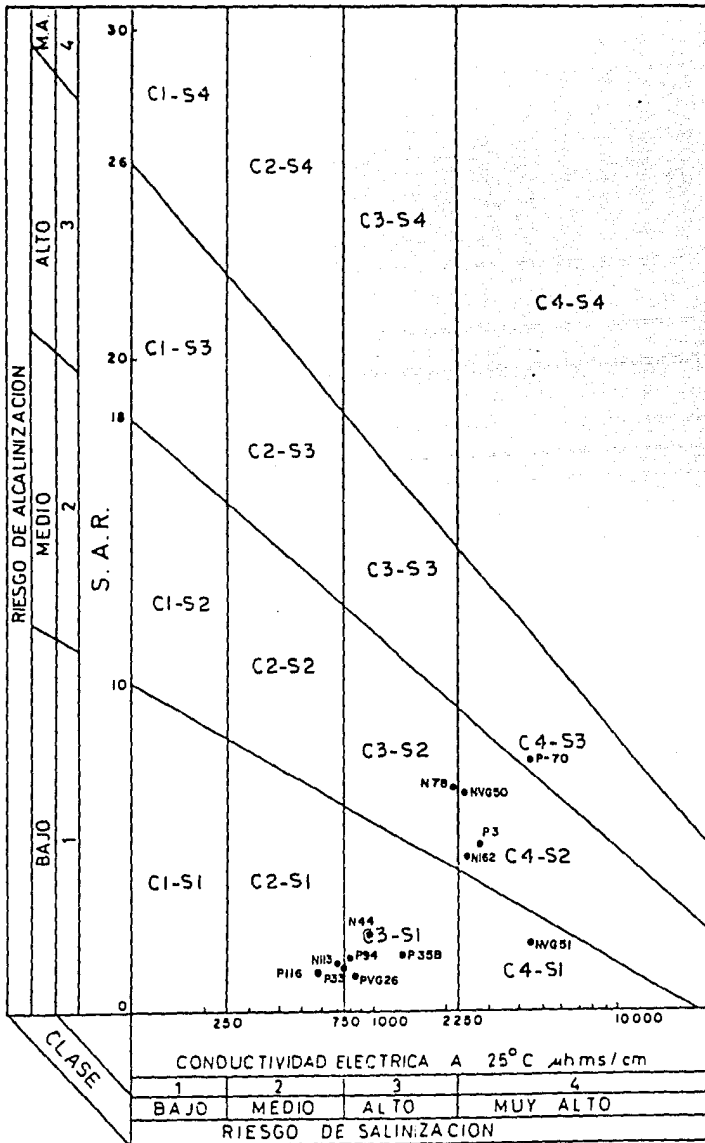


Fig. 5.6

DETERMINACION DEL R. A. S.

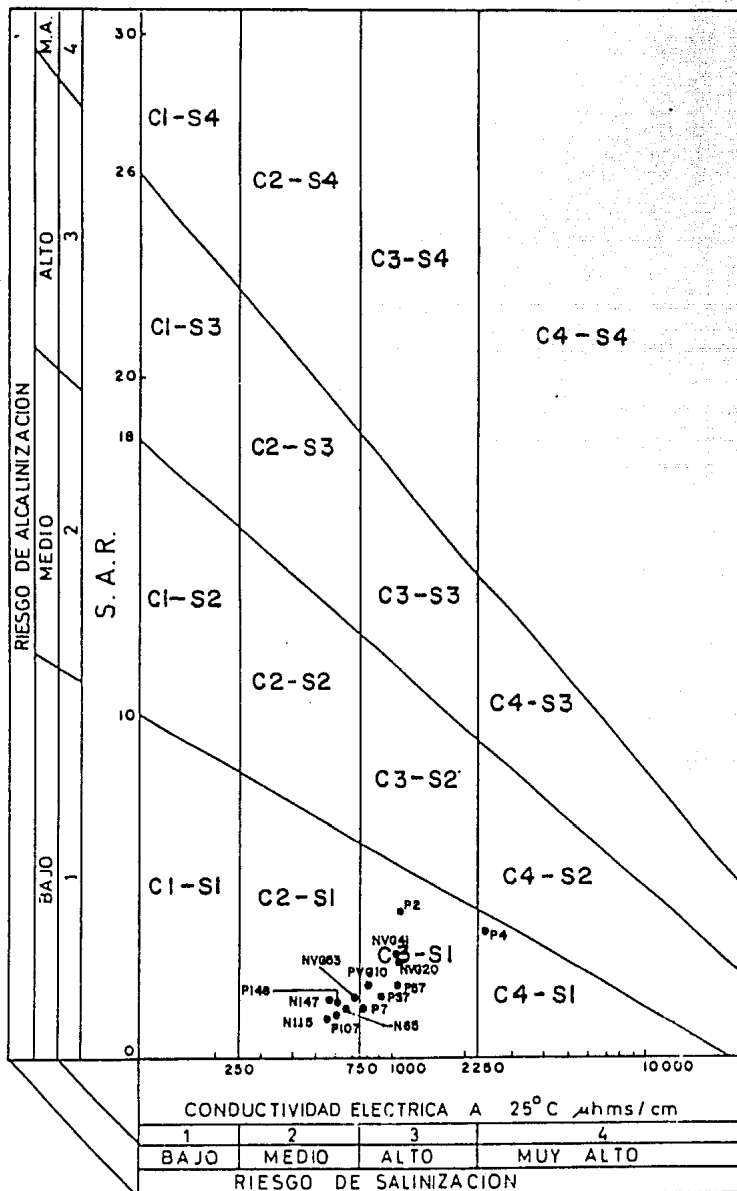


Fig. 5.7

1500 ppm y 1000 ppm de S.T.D. respectivamente. En el área de estudio el agua subterránea tiene concentraciones de S.T.D. variables entre 429 y 3378 ppm.

Esto quiere decir que si se considera únicamente este parámetro en la clasificación de la O.M.S., todas las muestras, a excepción de la de los aprovechamientos P-4, NVG-50, P-70 y NVG-51, son potables y para la clasificación de la S.S.A. el agua es apta para consumo humano con excepción de las muestras anteriores y las P-3, N-162 y N-78.

En la Tabla 5.3 se presentan las normas de potabilidad de agua de las instituciones mencionadas. Se aprecia que los iones identificados en los análisis químicos permanecen por abajo de estas normas, por lo que el agua es apta para consumo humano a excepción de las muestras que se presentan a continuación:

Parámetro	Concentración Permitida en mg/l		Muestras no Potable	
	S.S.A.	O.M.S.	S.S.A.	O.M.S.
Dureza	300		P-4, NVG-50	
Cloruros	250	200-600	P-3 P-4 P-33 P-35B NVG-50 NVG-51 P-57 P-70 N-78 N-162	P-4 NVG-50 NVG-51 P-70
Sulfatos	250	200-400	N-78 P-70	
Magnesio	125	50-150	NVG-51	NVG-51
Calcio	200	75-200	P-4 NVG-50 NVG-51	P-4 NVG-50 NVG-51
S.T.D.	1000	1500	P-3 P-4 N-18 NVG-50 NVG-51 P-70 N-162	P-4 NVG-50 NVG-51

Para tener un mayor rango comparativo es necesario obtener otros parámetros durante los análisis químicos los cuales no se obtienen en los análisis de rutina, por lo que para casos específicos se recomienda ampliar los parámetros analizados.

Tabla 5.3
NORMAS DE POTABILIDAD DEL AGUA

CARACTERISTICA	S.E.A.	ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD	
	Conc. máxima permitida	Conc. máxima permitida	Conc. máxima aceptable
Nitrógeno amoniacal (NH ₃)	0.50	0.50	
Nitratos (NO ₃)	22.2	45.0	
Nitritos (NO ₂)	0.25		
Sólidos totales disueltos	1000	1500	500
Dureza (CaCO ₃)	300		
Cloruros	250	600	200
Sulfatos (SO ₄)	250	400	200
Magnesio (Mg)	125	150	50
Calcio (Ca)	200	200	75
Zinc (Zn)	15	15	5
Cobre (Cu)	3	1.5	1.0
Fluoruros (F)	1.5	1.5	0.5-1.0
Hierro (Fe) y Manganeso (Mn)	0.30	1.0 (Fe) 0.5 (Mn)	0.3 (Fe) 0.1 (Mn)
Arsénico (As)	0.05	0.2	
Selenio (Se)	0.05	0.05	
Cromo (Cr)	0.05		
Boro (B)	1.0		
Ploomo (Pb)	0.1		
Fenol	0.001	0.002	0.001
Turbiedad (escala SiO ₂)	10	400	5
Color (escala Platino-cobalto)	20	50	5
Sabor	insipida	no detectable	
Olor	inodora	no detectable	
Coliformes a 100 cm ³	20	2	1
Colonias bacterianas por cm ³	200	otros criterios	
Detergentes tensoactivos (ASE)		1.0	0.5
pH	6-8	6.5-9.2	7-8.5
Alcalinidad CaCO ₃ total	400		
Residuo seco	1000		

NOTA: Las unidades están en miligramos por litro.

En algunas de las muestras analizadas puede observarse un contenido alto de sodio y cloruros principalmente, lo que puede deberse a la presencia de intrusión marina en la zona costera y a la presencia de rocas y/o a la acumulación congénita de agua marina en los depósitos del subsuelo en zonas interiores del valle.

La dureza obtenida durante los análisis químicos varía de 205 a 890 mg/l de CaCO_3 . Considerando la clasificación por dureza de la Tabla 5.4, se concluye que el 53.8 % de las muestras son de agua dura, siguiendo con el 30.8 % las de agua algo dura y con el 15.4 % las de agua muy dura.

Tabla 5.4
Clasificación por dureza

Descripción	Rango de dureza
blanda	0 - 50 ppm de CaCO_3
algo dura	hasta 100 ppm de CaCO_3
dura	hasta 200 ppm de CaCO_3
muy dura	hasta saturación

Custodio-Llamas, 1976.

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

6.- Hidrología Superficial.

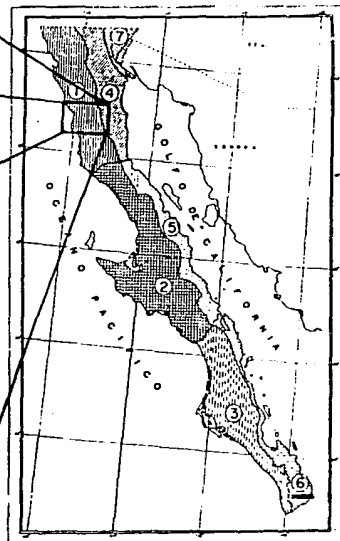
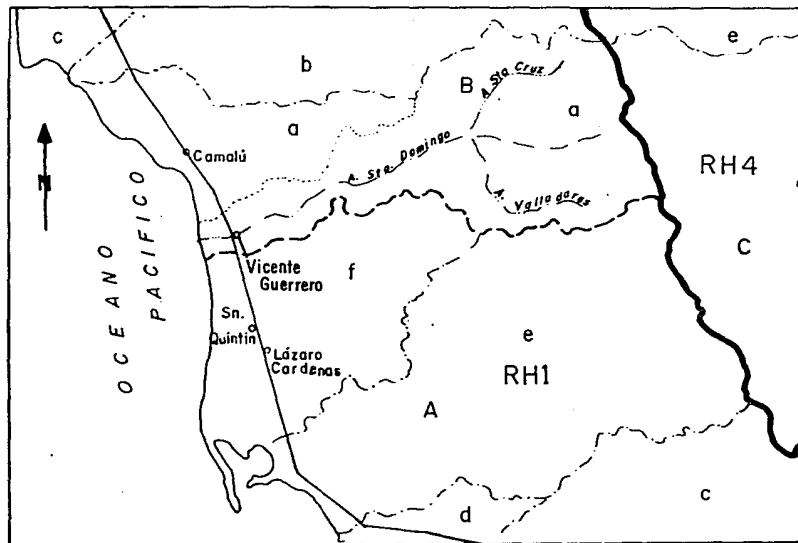
En este capítulo se realiza el análisis de hidrología superficial en el área de captación del arroyo Santo Domingo, el cual posee una superficie de 1262 Km².

Corresponde a la subcuenca "a, (Arroyo Santo Domingo)", la cual forma parte de la cuenca "B, (Arroyo Las Animas-Arroyo Santo Domingo)" pertenecientes a la Región Hidrológica No. 1 (RH-1) "Baja California Noroeste (Ensenada)" S.A.R.H., 1975 en S.P.P., 1982. Figura 6.1.

Presenta una serie de escurrimientos intermitentes como el arroyo Valladares, Santa Cruz y el propio Santo Domingo, los cuales se unen en un solo cauce a unos 45 km al suroeste del parteaguas de la sierra de San Pedro Mártir.

6.1.- Climatología.

Por su gran extensión la subcuenca del arroyo Santo Domingo presenta una diversidad de climas que están en función del relieve y en parte por la influencia de la corriente Californiana. La información de los parámetros climáticos se obtuvo de datos recabados en 3 estaciones climatológicas localizadas en el área de estudio, mismas que son operadas por la S.A.R.H., y son: estación No. 6 "Col. Vicente Guerrero"; latitud 30°43'43", longitud 115°59'55", estación No. 48 "Santa Cruz", latitud 30°55'30"., longitud 115°38'00" y estación No. 51 "Santo Domingo": latitud 30°47'31", longitud 115°50'54". Figura 6.5. En



REGION	CUENCA	SUBCUENCA
RH-1 Baja California noroeste (Ensenada)	A	a- Cañón Sn. Fernando b- Cañón Sn. Vicente
	A. Escopeta — C. Sta. Fernando	c- A. del Rosario d- A. El Socorro e- A. Sta. Simón f- A. La Escopeta
	B	a- Sto. Domingo b- Sn. Telmo c- Sn. Rafael
	A. Las Animas — A. Sto. Domingo.	

SIMBOLOGIA

- Límite de región hidrológica —————
- Límite de cuenca - - - - -
- Límite de subcuenca - - - - -
- Límite propuesto - - - - -

REGIONES HIDROLOGICAS

- 1 Baja California NOROESTE
- 2 Baja California CENTRO-OESTE
- 3 Baja California SUR-OESTE
- 4 Baja California NOROESTE
- 5 Baja California CENTRO-OESTE
- 6 Baja California SUR-OESTE
- 7 Baja California

UNAM

FACULTAD
DE
INGENIERIA

GEOHIDROLOGIA DEL VALLE
VICENTE GUERRERO. B.C.

REGIONES HIDROLOGICAS

TESIS PROFESIONAL
Raúl Soto Gutiérrez

Figura No. 6.1

cada una se recopilaron datos de precipitación y temperatura, en un período de 18 años que comprenden de 1970 a 1987.

Se pueden distinguir los siguientes subtipos de climas de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen modificado por E. García (1964, en U.N.A.M. 1968) para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana, (Figura 6.2):

CLIMA SEMISECO BS

- Subtipo templado, temperatura media anual entre 12 y 18°C, veranos frescos, régimen de lluvia en invierno y algo extremoso: BSks(e)n.

CLIMA MUY SECO O DESERTICO BW

- Subtipo templado, temperatura media anual entre 15 y 18°C, verano fresco, régimen de lluvia de invierno, algo extremoso y nieblas frecuentes: BWks(e)n.

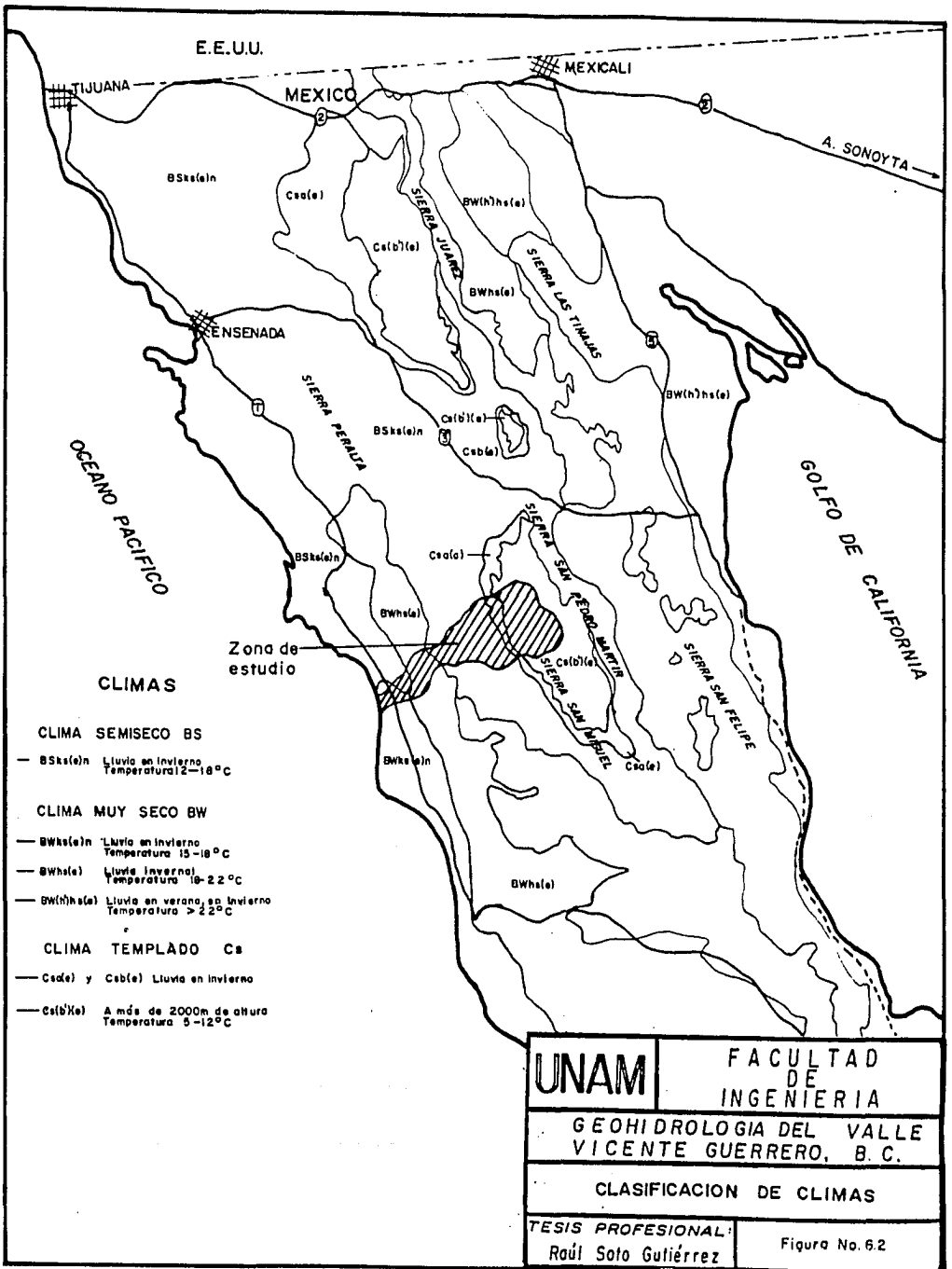
- Subtipo semicálido, temperatura media anual entre 18 y 22°C, con verano fresco que se extiende en la base de las montañas a altitudes menores de 800 m y régimen de lluvia de invierno: BWhs(e).

- Subtipo cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, régimen de lluvias de invierno y extremoso: BW(h')hs(e).

CLIMA TEMPLADO Cs

- Subtipo húmedo, lluvias en invierno (climas mediterráneos), verano cálido y algo extremoso: Csa(e).

- Subtipo húmedo, lluvias en invierno con verano fresco y algo



E.E.U.U.

MEXICALI

MEXICO

A. SONOYTA

OCEANO PACIFICO

GOLFO DE CALIFORNIA

CLIMAS

CLIMA SEMISECO BS

— BSske(n) Lluvia en invierno
Temperatura 2-18°C

CLIMA MUY SECO BW

- BWhs(e)n Lluvia en invierno
Temperatura 15-18°C
- BWhs(a) Lluvia Invernal
Temperatura 18-22°C
- BW(h)hs(a) Lluvia en verano, en invierno
Temperatura > 22°C

CLIMA TEMPLADO Cs

- Cs(a) y Cs(b) Lluvia en invierno
- Cs(b) A más de 2000m de altura
Temperatura 5-12°C

Zona de estudio

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.
CLASIFICACION DE CLIMAS	
TESIS PROFESIONAL: Raúl Soto Gutiérrez	Figura No. 62

extremoso: Csb(e).

Se encuentran sobre las laderas de las Sierras de Juárez y San Pedro Mártir entre las cotas 1000 y 2000 m.

- Subtipo húmedo con lluvias de invierno, semifrío con temperatura media anual entre 5 y 12°C, verano largo fresco. Se localiza a altitudes superiores a los 2000 m : Cs(b')(e).

6.1.1.- Precipitación.

Al presentarse un régimen de lluvias de invierno, en la zona de estudio la precipitación ocurre de octubre a marzo.

En la Tabla 6.1 se enlistan los datos de precipitación en la estación Col. Vicente Guerrero, la cual presenta una media anual de 196.28 mm. Se observa que para el período analizado la mayor precipitación total anual se registró en 1978 con 496.5 mm, mientras que en 1971 se registró el menor con 64.9 mm. Figura 6.3.

Asimismo se observa que las precipitaciones medias mensuales para el período considerado alcanzan su máximo valor en marzo con 38.65 mm, mientras que el menor se registra en junio con 0.54 mm. Figura 6.4.

La estación Santa Cruz registra una precipitación media anual de 360.3 mm (Tabla 6.2). Se tiene el mayor valor de precipitación total anual en 1978 con 794.0 mm y la menor con 142.8 mm en 1972. Figura 6.3

TABLA 5.1

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA ESTACION VICENTE GUERRERO
(DATOS EN MILIMETROS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	2.60	50.00	20.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	10.00	19.00	103.10
1971	2.00	25.20	0.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	3.00	13.20	64.90
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	5.00	0.00	5.50	34.20	36.20	25.20	129.90
1973	15.20	22.00	45.00	1.00	0.00	2.00	0.00	3.50	0.00	1.50	11.00	0.00	118.20
1974	28.60	0.00	16.50	2.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.60	32.00	0.00	26.50	119.70
1975	4.00	2.50	29.10	22.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	13.40	5.10	99.20
1976	12.00	80.50	12.20	20.50	2.50	0.00	0.00	0.00	43.00	0.00	51.00	43.20	265.90
1977	25.80	3.00	12.00	0.20	29.20	1.80	0.00	29.50	12.00	5.50	3.50	56.50	181.20
1978	102.50	96.10	124.20	16.50	0.00	0.00	0.20	0.00	2.60	5.50	61.70	35.70	496.50
1979	182.20	9.50	61.90	0.00	0.20	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	7.90	7.70	270.00
1980	95.70	171.20	61.50	5.90	0.00	2.00	4.70	0.00	0.00	1.50	0.90	9.60	342.00
1981	6.90	4.70	22.80	2.50	0.50	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	15.40	1.50	121.20
1982	28.20	12.70	29.60	2.00	0.00	2.00	0.00	2.70	20.60	0.00	28.00	25.40	192.20
1983	22.90	82.90	111.20	19.40	0.00	0.00	0.00	5.10	9.80	3.00	28.50	22.00	326.60
1984	10.60	0.00	3.40	24.00	0.00	0.00	12.70	9.50	2.10	0.00	22.20	111.80	207.60
1985	16.90	28.50	6.80	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	5.50	10.70	63.40	17.20	150.10
1986	10.20	24.60	59.60	0.00	0.00	0.00	2.50	2.20	4.70	9.20	20.70	1.50	146.20
1987	12.20	42.20	16.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	21.20	45.00	65.70	219.40
MEDIA	22.47	37.74	38.65	9.02	1.81	1.54	1.70	2.92	7.61	6.56	24.56	21.66	136.28

TABLA 5.2

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA ESTACION SANTA CRUZ
(DATOS EN MILIMETROS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	3.00	85.00	69.50	2.00	0.00	0.00	11.60	19.00	0.00	0.00	23.00	25.50	210.60
1971	0.00	28.00	0.50	17.00	0.00	0.00	8.50	48.50	55.00	25.50	6.00	61.50	252.50
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	5.20	6.50	1.00	82.20	28.50	17.50	142.90
1973	9.90	67.50	54.00	1.00	0.00	0.00	0.00	6.10	0.00	0.00	21.00	1.50	202.00
1974	75.00	0.00	47.00	0.20	0.00	0.00	105.50	0.00	5.10	42.00	5.00	24.50	215.10
1975	6.50	4.50	55.20	47.20	0.00	0.00	0.50	4.00	26.00	2.00	55.50	11.00	213.40
1976	14.50	209.50	21.00	80.00	2.00	0.00	24.40	2.20	82.00	19.00	25.00	54.00	542.40
1977	55.20	6.00	14.50	1.50	22.00	0.00	2.20	57.50	5.00	27.00	6.00	52.50	290.50
1978	171.00	146.50	172.00	9.50	0.00	0.00	0.00	13.00	2.00	12.70	122.00	125.00	794.70
1979	206.00	22.50	110.50	0.00	5.00	0.00	1.50	0.00	22.50	4.00	0.00	14.00	388.00
1980	190.00	229.50	102.50	10.50	2.00	0.00	12.50	12.00	0.00	0.00	1.00	0.00	562.00
1981	22.00	22.00	126.50	15.00	2.40	0.00	1.00	6.00	11.20	0.00	45.00	1.50	254.40
1982	25.50	54.50	89.50	6.50	14.00	0.00	8.00	21.00	48.50	0.00	65.00	50.20	421.20
1983	51.50	12.50	115.50	42.00	0.00	0.00	0.00	111.50	27.00	0.00	42.00	60.50	481.20
1984	6.50	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	144.50	25.00	12.00	0.00	21.00	116.40	270.40
1985	28.50	11.50	17.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.50	6.50	22.50	106.50	25.00	221.00
1986	24.20	29.00	70.50	0.00	0.00	0.00	19.00	19.00	19.00	11.50	50.00	11.00	234.20
1987	28.50	64.00	65.00	7.00	2.00	6.00	0.00	0.00	16.00	62.00	14.00	67.00	255.50
MEDIA	55.59	61.24	65.27	15.40	2.97	0.32	19.16	21.26	19.92	15.06	25.97	44.53	360.25

PRECIPITACION MEDIA ANUAL (PERIODO 1970 - 1987)

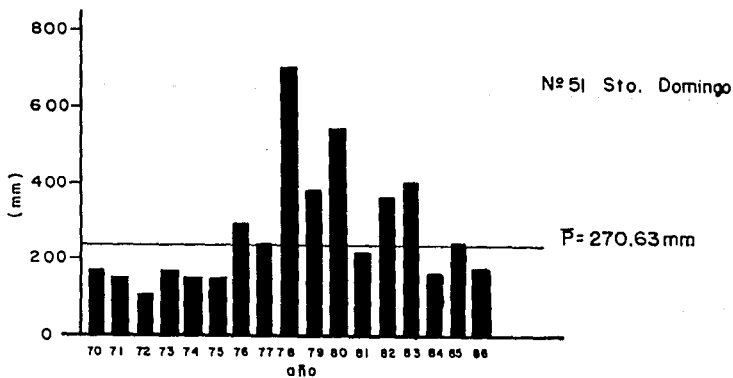
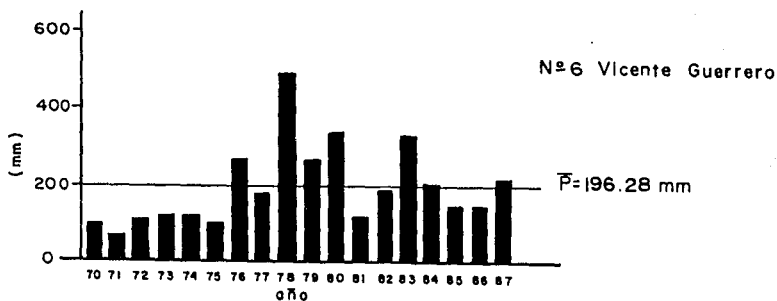
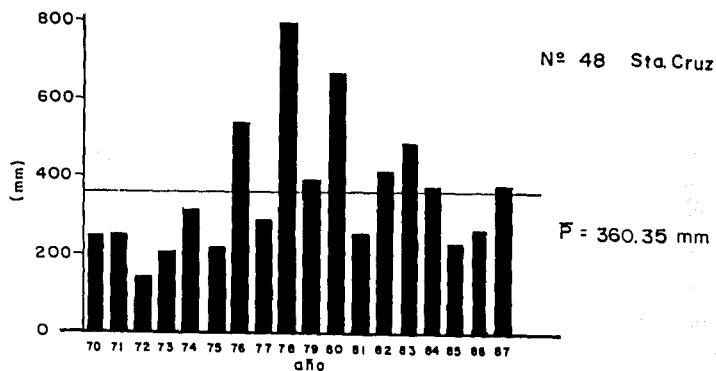


Figura No. 6.3

La precipitación media mensual en el mismo período alcanza su nivel máximo en el mes de marzo con 65.337 mm y el mínimo en el mes de junio con 0.83 mm. Figura 6.4

Los datos analizados en la estación Santo Domingo se presentan en la Tabla 6.3, en donde se observa una precipitación media anual de 270.63 mm.

La mayor precipitación total anual se presentó en 1978 con 699.6 mm y la mínima en 1972 con 114.9 mm. Figura 6.3.

En el mes de marzo se registra el mayor índice de precipitación media mensual con 601.96 mm y el menor en junio con 0.3 mm. Figura 6.4.

Para obtener el valor de la lámina de lluvia anual en la subcuenca, se utilizó el método de los polígonos de Thiessen, considerando las estaciones anteriores. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6.4.

En la Figura 6.6 se muestra la precipitación anual media del período 1970-1987, en la subcuenca del arroyo Santo Domingo, el comportamiento de la lluvia en esta gráfica es el mismo que en cada una de las estaciones analizadas, en donde se observa que la mayor precipitación total anual ocurre en 1979 y la menor en 1972, además se pueden distinguir 3 ciclos de lluvia; el primero, se detecta de 1970 a 1975, en donde la lluvia es escasa con valores menores a la media. El segundo se registra de 1976 a

TABLA 6.3
 PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA ESTACION SANTO DOMINGO
 (DATOS EN MILIMETROS)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	2.00	60.00	55.50	0.00	0.00	0.00	3.00	3.20	0.00	0.00	16.50	28.50	168.70
1971	0.10	31.00	0.00	21.50	2.00	0.00	0.00	0.00	22.00	29.10	1.90	38.00	145.10
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	2.00	4.50	0.00	4.50	47.50	48.90	14.00	114.90
1973	16.30	45.10	69.90	1.00	0.00	0.40	0.00	12.50	0.00	0.00	17.10	0.00	162.30
1974	53.90	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	35.00	0.00	32.00	149.90
1975	2.20	4.60	51.90	47.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	3.50	32.50	4.90	148.50
1976	5.50	109.90	9.90	26.50	0.50	0.00	0.00	3.00	54.00	0.00	29.50	47.50	286.30
1977	56.00	3.50	24.30	1.30	24.00	0.00	0.00	45.30	8.50	5.40	3.20	38.00	289.70
1978	134.50	117.00	206.00	14.00	0.00	0.00	9.30	8.80	5.50	4.00	94.00	114.50	699.60
1979	231.30	18.00	92.30	0.20	3.50	0.00	15.50	0.00	0.00	3.00	7.00	11.00	382.00
1980	145.00	315.30	55.40	9.40	0.00	0.00	9.50	1.50	0.00	1.50	0.00	0.00	537.60
1981	13.00	33.00	90.50	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	28.50	0.00	39.90	0.00	212.40
1982	59.30	33.00	66.00	4.00	0.00	1.00	0.40	9.50	28.50	0.00	98.30	27.40	359.00
1983	41.30	44.60	162.10	36.00	0.00	0.00	0.00	16.70	9.50	4.50	41.30	45.00	401.00
1984	6.50	0.00	0.00	32.30	0.00	0.00	9.00	13.50	3.50	2.90	56.90	37.20	161.80
1985	27.20	27.20	72.40	14.70	0.00	0.50	2.20	8.50	15.30	2.90	73.50	30.00	274.40
1986	16.00	25.30	64.80	0.00	0.00	0.00	4.50	3.00	18.00	0.00	38.00	3.50	173.10
1987	27.00	27.00	51.20	8.50	0.00	1.50	0.00	0.00	3.80	10.00	58.80	77.30	265.10
MEDIA	46.52	49.69	60.96	12.49	1.75	0.30	3.42	6.93	11.28	8.31	35.60	33.79	270.63

TABLA 6.4
 PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA SUCUCENSA DEL ARROYO SANTO DOMINGO
 (DATOS EN MILIMETROS)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	2.87	80.31	63.29	1.67	0.00	0.00	10.07	16.20	0.00	0.00	21.57	25.49	223.49
1971	0.12	28.24	0.42	17.56	8.23	0.00	7.09	40.43	48.34	24.69	5.32	57.94	230.37
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84	0.39	4.94	5.42	1.64	75.01	30.35	17.52	137.89
1973	11.12	63.13	88.67	1.00	0.00	0.15	0.80	8.35	0.00	0.80	20.83	1.25	193.79
1974	70.15	0.00	42.99	0.11	0.00	0.00	89.48	0.00	4.28	41.51	4.17	34.32	286.01
1975	5.88	4.41	53.97	46.49	0.00	0.00	0.42	3.33	38.37	2.06	50.66	10.77	208.26
1976	13.48	191.37	19.28	70.78	1.86	0.00	28.48	2.01	76.76	15.84	26.89	52.69	499.53
1977	53.73	5.56	15.53	1.41	23.45	0.10	1.92	54.63	5.82	23.43	3.59	86.68	277.81
1978	163.28	140.48	177.48	10.38	0.00	0.00	1.09	15.10	3.26	11.33	115.63	130.06	768.09
1979	209.30	21.30	185.86	0.02	4.58	0.00	3.03	0.00	18.76	3.67	1.21	13.33	381.86
1980	179.36	319.49	95.82	10.18	1.67	0.00	11.75	11.01	0.00	0.25	0.88	0.51	630.92
1981	21.01	22.33	119.09	14.37	2.03	0.00	0.83	5.00	13.73	0.00	42.85	1.33	242.57
1982	71.69	49.84	84.19	7.70	11.67	0.22	6.67	43.73	43.07	0.00	66.43	51.36	436.39
1983	49.41	19.75	120.56	40.12	0.00	0.00	0.00	95.11	32.44	7.34	42.84	57.23	463.99
1984	6.72	0.00	0.18	33.81	0.00	0.00	122.16	22.87	11.40	0.33	53.47	107.18	338.12
1985	36.07	14.18	22.73	2.50	0.00	0.06	0.32	3.05	7.44	19.65	180.47	25.15	231.62
1986	30.70	37.21	69.28	0.00	0.00	7.50	8.99	8.77	18.13	9.40	47.62	9.65	247.43
1987	36.15	58.70	60.83	7.06	2.50	5.22	0.00	0.00	13.77	58.97	28.72	84.93	348.87
MEDIA	53.39	58.68	63.45	14.73	2.77	0.76	16.47	18.61	18.29	16.36	35.33	42.63	341.47

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (PERIODO 1970-1987)

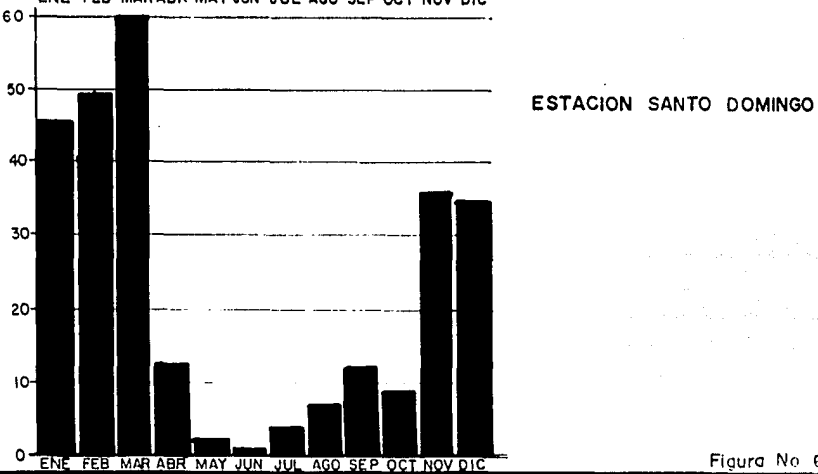
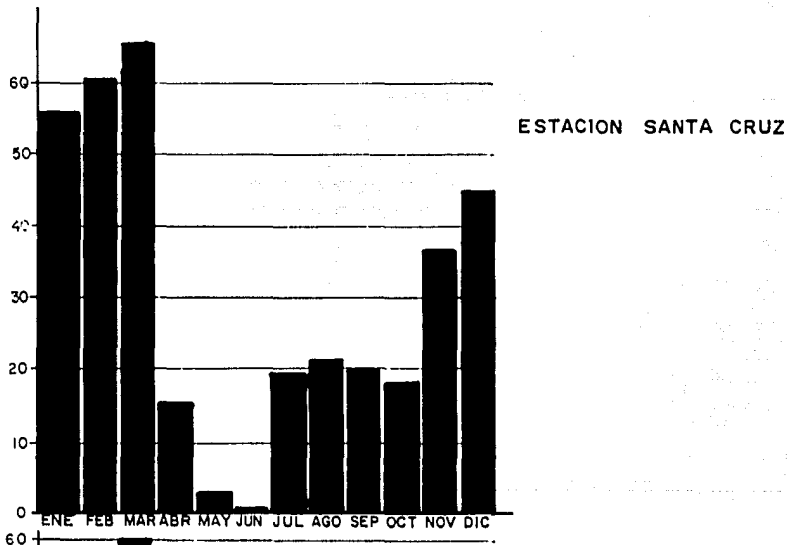
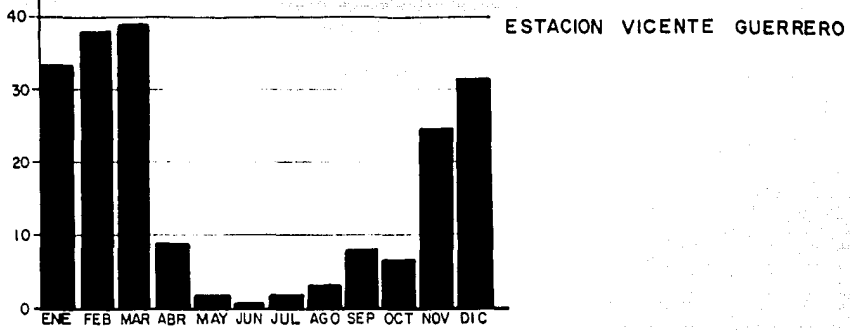
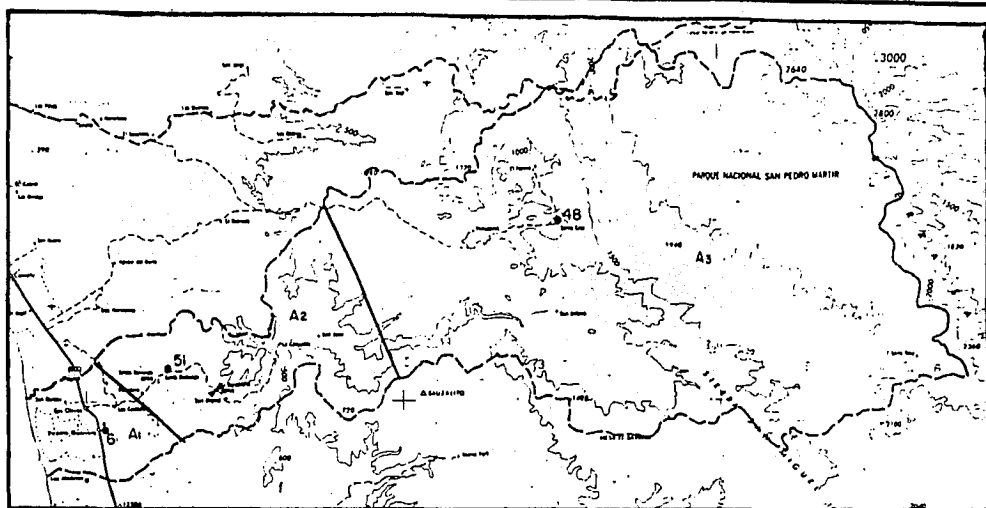


Figura No. 6.4



ESTACION
 6.- COL. VICENTE GUERRERO
 48.- SANTA CRUZ
 51.- SANTO DOMINGO

SIMBOLOGIA
 ESTACION CLIMATOLOGICA — ○ —
 ESTACION HOROMETRICA — □ —
 LIMITE DE POLIGONO — —
 AREA Km² — A

AREAS
 A1 = 67 Km²
 A2 = 143 Km²
 A3 = 1052 Km²

FIGURA No. 6.5.- POLIGONOS DE THIESSEN

SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO

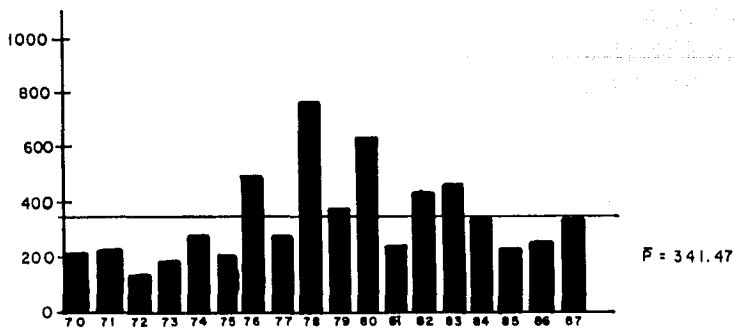


FIGURA No. 6.6.- PRECIPITACION MEDIA ANUAL PERIODO (1970-1987)

1980, en el cual se presentan las lluvias extraordinarias con valores mayores a la media, el tercero se observa de 1981 a 1987 con precipitaciones totales anuales con valores cercanos a la media del período total analizado.

La lámina promedio anual precipitada en la subcuenca del arroyo Santo Domingo es de 341.47 mm, lo que indica un volumen anual promedio de 432.0 millones de metros cúbicos en el período 1970-1987.

De la lluvia anual que precipita el 74.3% se suscita entre noviembre y marzo, en este último ocurre el 18.6%, mientras que junio representa el 0.22% del volumen anual precipitado.

6.1.2.- Temperatura.

Los datos de temperatura cubrieron un período de 18 años, de 1970 a 1987. El resumen de la información se presenta en las Tablas 6.5 a la 6.7. En la Figura 6.7 se grafica la variación de temperatura para cada una de las estaciones.

La temperatura media en la subcuenca se evaluó por medio de los polígonos de Thiessen, Tabla 6.8. Se puede considerar la temperatura media en 17.79°C. Mientras que en la Figura 6.8 se observa que en agosto se registra la temperatura más alta con promedio de 25.7°C. El mes más frío es enero con temperatura media de 11.6°C.

TABLA 6.5
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA ESTACION VICENTE GUERRERO
(DATOS EN GRADOS CENTIGRADOS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	11.80	13.90	13.80	13.10	15.00	16.80	18.90	20.90	17.70	15.70	13.70	11.20	15.14
1971	11.40	11.50	11.90	12.80	14.50	16.10	18.30	22.60	19.90	16.70	11.60	11.00	14.86
1972	9.10	12.00	13.20	13.80	15.50	17.70	20.30	21.50	19.70	18.20	13.40	11.80	15.52
1973	11.40	13.20	12.50	13.60	14.90	17.10	18.70	19.60	18.10	14.80	12.40	11.50	14.82
1974	11.10	10.80	13.20	13.50	15.00	17.50	20.20	19.40	17.10	16.90	14.60	11.30	15.22
1975	11.00	10.80	11.80	12.20	14.50	15.90	18.30	19.00	19.80	16.10	13.70	11.00	14.51
1976	12.30	13.50	12.60	13.40	15.80	17.50	19.90	19.20	21.40	18.10	16.70	13.90	16.19
1977	13.30	13.80	11.30	13.80	14.60	16.80	13.60	20.30	19.20	17.80	14.70	14.70	15.33
1978	14.00	13.98	14.80	14.50	16.20	19.40	18.70	19.40	20.70	19.10	14.10	11.20	16.33
1979	11.70	11.10	12.00	16.80	16.40	23.50	19.10	20.00	20.70	17.20	13.80	12.80	16.19
1980	14.00	14.80	12.80	14.50	14.70	15.90	18.60	19.70	19.10	16.80	14.30	13.00	15.68
1981	13.90	13.40	13.90	15.30	17.10	19.00	21.40	20.90	20.50	16.10	14.20	13.20	16.57
1982	11.98	14.20	14.20	14.40	15.80	16.20	19.20	20.20	21.00	17.90	15.10	12.70	16.87
1983	13.60	14.20	14.40	14.00	15.88	17.60	18.60	22.90	23.30	19.00	15.60	13.60	16.88
1984	13.38	13.00	14.20	14.90	16.70	18.80	22.40	22.10	23.70	17.70	13.60	12.60	16.92
1985	12.10	12.00	12.60	15.50	15.60	17.50	21.00	20.10	19.70	18.20	14.50	12.50	15.94
1986	13.80	14.80	14.70	15.30	16.20	17.70	19.60	21.20	17.50	16.40	15.90	13.20	16.29
1987	11.50	13.30	13.80	18.30	16.30	17.00	17.70	19.50	19.80	19.90	15.40	13.40	16.32
MEDIA	12.29	12.97	13.16	14.43	15.59	17.67	19.14	20.47	20.05	17.37	14.25	12.48	15.82

TABLA 6.6
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA ESTACION SANTA CRUZ
(DATOS EN GRADOS CENTIGRADOS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	11.90	11.20	10.50	10.90	17.00	20.30	24.50	24.40	22.20	16.60	14.80	10.40	16.23
1971	11.30	14.00	15.80	12.20	15.00	21.40	27.00	25.10	23.60	16.40	13.60	7.90	16.89
1972	10.50	12.90	16.00	15.60	16.80	21.30	22.00	23.60	19.60	16.10	11.60	10.40	16.37
1973	8.40	9.80	8.00	11.50	18.20	25.30	26.50	24.60	21.30	17.80	13.50	12.90	16.47
1974	9.90	11.50	11.20	14.30	20.10	27.60	22.90	25.40	25.60	18.30	15.90	10.30	17.75
1975	11.80	10.20	9.70	14.50	15.90	23.30	25.30	28.90	24.60	17.20	15.90	10.80	17.34
1976	12.10	11.20	11.50	13.20	17.90	24.10	23.00	25.70	19.80	18.80	16.70	10.40	16.97
1977	8.90	12.40	10.50	15.90	15.90	26.60	31.20	27.40	23.80	21.60	20.90	15.80	19.28
1978	12.10	11.30	13.90	15.58	19.98	26.90	29.60	27.20	22.00	21.10	11.90	10.38	18.48
1979	8.10	9.50	11.00	14.60	15.80	23.60	28.60	24.80	27.80	19.60	15.40	13.30	17.61
1980	11.20	12.30	10.30	14.00	14.98	24.20	29.90	26.18	22.40	17.40	15.90	15.00	17.80
1981	12.60	13.80	9.50	15.80	17.90	28.00	29.10	29.40	25.20	17.60	18.00	14.40	19.28
1982	10.20	12.10	12.90	17.80	17.40	22.00	22.60	27.20	22.30	19.20	15.60	11.60	17.58
1983	16.60	13.60	14.10	14.00	21.20	21.20	24.60	25.90	25.20	19.50	16.20	13.50	18.90
1984	13.00	15.20	17.80	16.20	24.40	24.20	24.90	27.50	25.08	16.90	12.00	10.60	18.98
1985	11.40	11.20	12.70	18.10	18.10	29.98	29.78	29.20	20.90	19.30	15.00	10.20	18.81
1986	12.70	10.70	13.90	17.40	18.20	23.20	23.00	24.20	20.08	18.50	17.30	11.80	17.57
1987	10.50	12.30	17.30	17.40	18.40	27.10	26.30	27.00	24.10	25.40	16.50	10.70	19.42
MEDIA	11.30	11.97	12.54	14.94	17.94	24.46	26.14	26.32	23.03	18.71	15.34	11.68	17.87

TABLA 6.7
 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA ESTACION SANTO DOMINGO
 (DATOS EN GRADOS CENTIGRADOS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	13.50	14.80	14.90	15.20	18.30	19.30	23.00	23.50	22.50	18.80	15.50	13.80	17.69
1971	13.70	13.80	14.70	15.30	16.50	19.30	22.10	24.90	22.70	19.20	14.20	11.50	17.32
1972	11.70	14.70	15.70	17.70	18.40	20.10	24.60	24.40	21.50	19.20	15.10	13.20	18.03
1973	12.30	13.90	12.60	15.10	17.20	20.70	22.10	22.60	20.50	19.60	15.60	14.10	17.19
1974	13.10	13.70	14.60	16.30	17.50	21.30	23.70	22.70	22.00	18.90	17.40	12.80	17.82
1975	13.80	12.60	12.60	13.20	16.30	18.70	22.10	23.80	23.70	18.50	16.20	13.60	17.03
1976	15.30	14.30	14.70	15.40	17.20	21.10	22.50	23.10	21.70	20.80	17.00	15.20	18.29
1977	13.50	16.30	13.10	16.20	15.80	20.20	22.80	23.10	21.90	20.30	18.90	16.40	18.21
1978	14.70	14.00	15.50	15.60	18.40	23.80	23.20	22.70	23.80	21.30	14.70	12.50	18.37
1979	11.40	12.80	14.80	16.30	17.50	21.90	22.90	22.60	25.40	20.10	16.30	15.40	18.05
1980	14.20	16.20	14.60	16.70	16.30	21.20	23.20	23.10	22.20	20.20	17.60	15.90	18.78
1981	15.40	16.40	14.70	16.80	18.50	22.80	24.60	24.60	23.30	18.60	17.90	16.10	19.13
1982	17.80	15.40	15.40	17.20	17.00	18.20	22.80	24.40	23.00	21.10	15.60	13.90	18.48
1983	14.60	14.40	14.40	14.40	17.80	19.10	23.70	24.90	25.50	21.70	16.20	14.80	18.42
1984	14.20	15.70	17.30	17.40	20.30	21.60	24.30	24.70	26.50	20.10	16.30	14.60	19.60
1985	13.80	14.50	14.70	16.60	17.60	19.30	23.10	23.70	22.80	20.10	14.40	13.38	17.83
1986	15.80	13.90	17.10	19.30	18.90	19.30	22.20	23.10	20.50	18.50	18.30	14.00	18.41
1987	13.80	14.50	13.70	18.70	16.90	18.40	20.20	23.70	23.20	21.70	16.80	12.40	17.77
MEDIA	14.03	14.55	14.68	16.30	17.58	20.35	23.17	23.73	22.93	19.86	16.39	14.04	18.13

TABLA 6.8
 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA SUCSECUENCIA DEL ARROYO SANTO DOMINGO
 (DATOS EN GRADOS CENTIGRADOS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	12.08	11.73	11.13	11.50	17.84	20.00	24.03	24.11	22.00	16.80	14.82	10.74	16.33
1971	11.58	13.84	14.80	12.58	15.14	20.88	25.98	24.94	23.30	16.90	13.56	8.47	16.83
1972	10.56	13.06	13.82	15.74	16.91	20.97	22.28	23.58	19.82	16.56	12.09	10.79	16.51
1973	9.17	10.45	8.76	12.02	17.91	24.34	25.42	24.11	21.04	17.84	13.51	12.96	16.46
1974	10.33	11.71	11.69	14.48	19.53	26.35	22.85	24.78	24.85	18.29	15.99	10.64	17.62
1975	11.98	10.58	10.14	14.23	15.87	22.39	24.57	27.71	24.24	17.29	15.82	11.13	17.16
1976	12.47	11.47	11.92	13.46	17.71	23.41	22.78	25.08	20.10	18.23	16.94	11.13	17.08
1977	9.65	13.08	10.84	15.82	15.82	25.35	29.31	26.70	23.34	21.25	20.34	15.81	18.94
1978	12.50	11.74	14.13	15.46	19.53	26.15	28.30	26.30	22.13	21.02	12.33	10.60	18.35
1979	8.67	9.96	11.39	14.91	16.02	23.40	27.45	24.30	26.48	19.53	15.37	13.51	17.58
1980	11.69	12.87	10.92	14.33	15.05	23.42	28.77	25.65	22.20	17.67	16.01	15.00	17.80
1981	12.99	14.07	10.32	15.89	17.93	26.93	28.18	28.40	24.74	17.63	17.78	14.53	19.12
1982	11.15	12.59	13.25	17.55	17.27	21.26	22.44	26.51	22.31	19.35	15.37	11.92	17.60
1983	16.21	13.72	14.15	14.05	20.53	20.77	24.18	25.63	25.13	19.67	16.17	13.65	18.65
1984	13.15	15.14	17.55	16.27	23.53	23.62	24.93	26.92	25.10	17.31	12.57	11.16	18.94
1985	11.71	11.62	12.92	17.79	17.91	28.04	28.49	28.09	21.05	19.33	14.91	10.67	18.54
1986	13.11	11.24	14.31	17.50	18.17	22.47	22.73	23.92	19.92	18.39	17.34	12.12	17.60
1987	10.93	12.60	16.71	17.60	18.12	25.58	25.15	26.23	23.77	24.69	16.38	11.04	19.07
MEDIA	11.66	12.31	12.82	15.07	17.78	23.63	25.43	25.72	22.86	18.76	15.42	11.99	17.79

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (PERIODO 1970-1987)

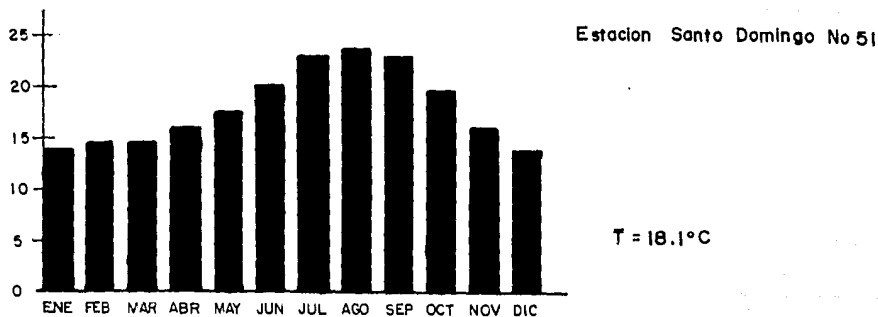
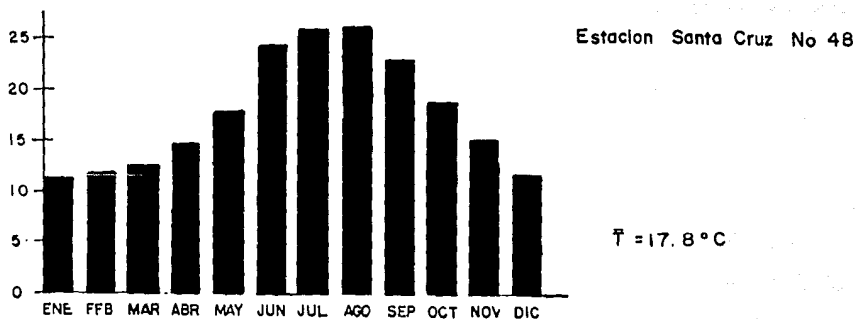
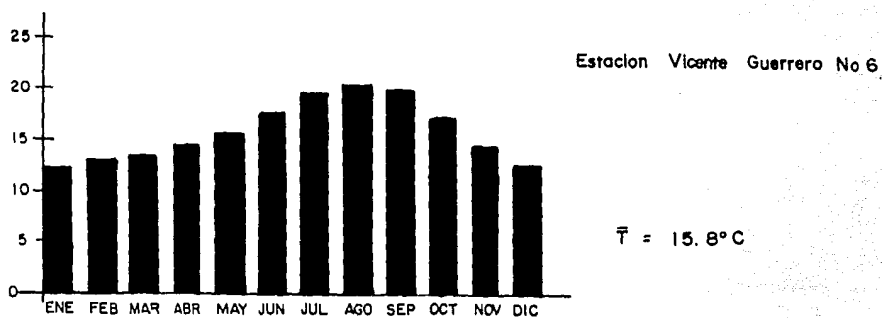


Figura No. 6.7

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (PERIODO 1970-1987)

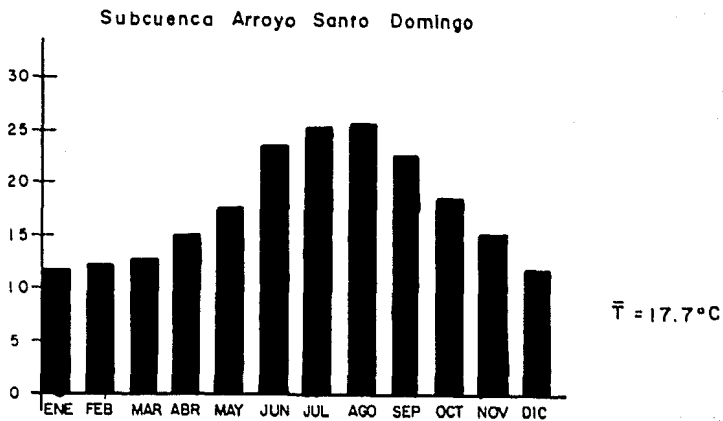


Figura No. 6.8

6.1.3.- Evapotranspiración.

Se sabe que los factores climatológicos en Baja California presentan condiciones particulares muy especiales, por lo que la mayoría de métodos desarrollados para su estudio no permiten que sean aplicables ampliamente, además de las limitaciones propias de cada método. Generalmente, en los estudios geohidrológicos realizados en Baja California no se hace el análisis climático a profundidad, dando por resultado valores que no son representativos de las condiciones prevalecientes.

Sin embargo, se calculó la evapotranspiración como un intento para conocer los valores que predominan en la región, para que a su vez, sean la pauta de estudios futuros más profundos que se apliquen a toda la zona y a todos los parámetros climáticos.

Normalmente el cálculo de este factor se realiza a través de los valores obtenidos durante un período de años en conjunto, que para las condiciones de la zona, frecuentemente conduce a resultados erróneos.

La determinación de la evapotranspiración (potencial y real) se planteó como una serie de cálculos mensuales secuenciales, los que se exponen a continuación.

6.1.3.1- Evapotranspiración potencial.

Este parámetro se evaluó siguiendo el método planteado en el cálculo del clima por el segundo sistema de Thornthwaite, (Jiménez, 1981), en el que se establece que la evapotranspiración

potencial, es función de la temperatura media mensual y de la radiación solar, esta última representada por la duración del día luz, en función de la latitud, bajo las ecuaciones siguientes:

$$EV = 1.6 \left[\frac{10 TE}{ICA} \right]^z$$

$$z = 6.75 \times 10^{-7} (ICA)^3 - 7.71 \times 10^{-5} (ICA)^2 + 17.92 \times 10^{-3} (ICA) + 0.49239$$

en donde:

EV = evapotranspiración potencial

TE = temperatura media mensual en °C

ICA = índice de calor anual, $ICA = \sum ICM$, en donde:

$$ICM = \left[\frac{TE}{5} \right]^{1.514}$$

Los resultados obtenidos de este proceso se presentan en la Tabla 6.9, en donde se observa una evapotranspiración potencial anual media de 876.77 mm, con una distribución anual que presenta su mayor valor en 1981 con 968.48 mm y valores mínimos en 1970 con 793.73 mm.

La distribución media mensual máxima se presenta en julio con 144.05 mm y mínima en enero con 27.96 mm.

6.1.3.2.- Evapotranspiración Real (Balance hidrológico superficial).

El balance hidrológico, se planteó como una serie de balances hidrológicos secuenciales siguiendo la metodología para el cálculo del clima del segundo sistema de Thornwhaite, iniciando en el mes en que la precipitación supera la evapotranspiración potencial, considerando lo siguiente:

a) Evapotranspiración real, es la evapotranspiración que se presenta en un área determinada, en función del agua disponible.

b) Escurrimiento e infiltración, se estima con base a las siguientes consideraciones:

- En general, las cuencas permiten escurrir solo el 50% de la demasia de agua.

- Del 50 % restante, la mitad escurrirá en el mes siguiente y la otra mitad se infiltrará para formar parte del sistema acuífero.

El resultado del balance propuesto, se presenta en las Tablas 6.10 a 6.12.

En la Tabla 6.10 se observa que la evapotranspiración real media anual es de 210.4 mm. La lámina mínima anual se presenta en 1973 con 104.09 mm y la máxima en 1983 con 388.17 mm.

La evapotranspiración real media mensual tiene como valor máximo 26.65 mm en marzo y 0.76 mm en junio.

TABLA 6.9

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA MENSUAL EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILIMETROS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	34.18	30.93	32.32	34.82	72.49	93.18	130.26	127.54	100.44	62.44	47.19	27.76	793.73
1971	30.06	38.93	50.08	38.43	57.18	98.49	148.25	134.42	109.64	61.30	38.80	17.23	822.82
1972	27.05	36.66	58.01	58.66	71.26	100.67	113.85	122.70	84.07	60.88	33.28	27.76	794.87
1973	20.73	24.56	20.79	36.45	77.72	129.19	142.91	127.05	92.45	68.34	39.46	37.13	816.77
1974	22.22	26.60	30.34	46.04	86.34	147.85	114.51	131.87	121.82	67.44	48.79	23.23	869.45
1975	30.69	22.94	24.64	46.20	60.50	110.31	133.89	141.85	116.98	67.45	49.49	26.58	846.53
1976	33.78	28.46	33.81	42.71	74.62	120.01	117.45	135.37	94.25	69.52	56.91	27.33	824.21
1977	16.11	28.48	22.14	49.09	52.81	136.64	189.04	151.98	105.94	85.67	72.85	43.87	954.60
1978	29.22	24.51	40.33	49.86	83.68	145.65	174.65	147.28	95.47	85.42	27.89	20.92	924.99
1979	15.94	19.57	28.77	48.41	59.59	118.53	163.86	127.10	137.15	76.73	45.40	36.08	876.62
1980	27.56	31.30	26.30	44.65	52.64	118.32	179.00	140.53	93.54	63.06	48.65	43.51	874.25
1981	29.14	32.61	19.61	48.94	67.67	154.78	174.64	172.85	119.19	57.88	54.73	36.39	968.43
1982	26.19	30.97	38.95	66.44	69.42	99.80	113.17	149.52	100.17	75.63	47.27	29.27	844.80
1983	48.55	33.10	40.24	40.43	91.98	92.47	128.16	139.96	123.76	74.79	47.27	34.22	894.93
1984	30.82	38.87	60.08	52.47	119.56	113.38	135.65	154.43	123.11	56.67	27.52	21.83	939.38
1985	25.00	23.32	33.01	63.79	69.57	167.43	177.51	168.06	86.74	71.72	39.66	20.56	946.36
1986	35.47	25.37	45.08	66.38	76.49	110.58	116.00	123.93	81.44	69.16	57.79	30.43	838.32
1987	20.67	26.27	53.71	60.92	69.64	139.11	138.02	146.48	109.92	116.52	46.59	20.88	948.72
MEDIA	27.96	29.08	36.57	49.66	72.95	122.31	144.05	142.38	105.13	71.42	45.10	29.17	876.77

TABLA 6.10

EVAPOTRANSPIRACION REAL MEDIA MENSUAL EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILIMETROS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	2.87	30.93	32.32	16.67	0.00	0.00	10.09	16.20	0.00	0.00	21.57	25.99	156.14
1971	0.12	28.24	0.42	17.56	0.23	0.00	7.09	40.43	48.34	24.69	5.32	17.23	189.66
1972	15.00	0.00	0.00	0.00	1.84	0.39	4.94	5.42	1.64	60.88	33.28	27.76	151.13
1973	12.88	24.56	20.79	16.00	0.00	0.15	0.00	8.35	0.00	0.00	20.03	1.25	106.05
1974	22.22	15.00	30.34	12.76	0.00	0.00	88.48	0.00	4.28	41.51	4.17	23.23	241.99
1975	16.97	4.41	24.64	46.20	15.00	0.00	0.42	3.33	30.37	2.06	49.49	11.94	204.84
1976	13.40	28.46	33.81	42.71	16.86	0.00	28.68	2.01	76.76	15.84	26.89	27.33	312.73
1977	16.11	28.48	15.53	1.41	23.45	0.10	1.92	54.63	5.82	23.43	5.55	43.87	212.38
1978	29.22	24.51	40.33	25.38	0.00	0.00	1.09	15.10	3.26	11.33	27.89	20.92	199.03
1979	15.94	19.57	28.77	15.82	4.58	0.00	3.03	0.00	18.76	3.67	1.21	13.33	123.87
1980	27.56	31.30	26.30	25.18	1.67	0.00	11.75	11.01	0.00	0.25	0.83	0.51	136.40
1981	21.01	22.33	19.61	29.37	2.03	0.00	0.83	5.00	13.73	0.00	42.85	1.33	158.16
1982	26.19	30.97	38.95	22.70	11.67	0.22	6.67	43.73	43.09	0.00	47.27	29.27	300.73
1983	48.55	33.10	40.24	40.43	14.69	0.00	0.00	95.11	32.44	7.34	42.44	34.22	388.17
1984	21.72	0.00	0.18	33.81	0.00	0.00	122.16	22.87	11.40	0.33	27.52	21.83	261.82
1985	25.00	23.32	28.59	2.50	0.00	0.06	0.32	3.05	7.44	19.65	39.66	20.56	170.15
1986	35.47	25.37	45.08	15.00	0.00	7.50	8.99	8.79	18.13	9.60	47.62	9.65	231.18
1987	20.67	26.27	53.71	22.06	2.50	5.22	0.00	0.00	13.77	58.57	20.72	20.88	244.78
MEDIA	20.61	21.60	26.65	21.38	5.25	0.76	16.47	18.61	18.29	15.53	25.73	19.48	210.40

En las Tablas 6.11 y 6.12 se presentan los conceptos de escurrimiento superficial e infiltración respectivamente. Estos valores están expresados en volumen, observándose que el escurrimiento superficial generado en el área de análisis, se presenta principalmente de noviembre a abril, con un volumen medio acumulado de 105.34 millones de metros cúbicos, mientras que la alimentación al sistema acuífero ocurre generalmente en el mismo intervalo de tiempo, con un volumen medio anual de 103.37 l/s para toda el área o bien 0.082 l/s/km².

6.2.- Escurrimiento e infiltración.

Para tener un punto de comparación con los valores obtenidos mediante el método de Thornthwaite, se utilizó el modelo de tanques (Sugawara, 1976 modificado por el Fís. Chávez) mediante el programa de computadora TANKMOD1, proporcionado por el Departamento de Geohidrología de la Comisión Federal de Electricidad. Este programa calcula los valores de escurrimiento, infiltración y recarga.

Este modelo se basa en la hipótesis de que tanto en superficie como en el sistema acuífero, el comportamiento hidráulico es como el de dos tanques de almacenamiento colocados en forma vertical (Figura 6.9), en donde el tanque superior representa el funcionamiento hidráulico de la superficie y el tanque inferior representa el funcionamiento hidráulico del sistema acuífero.

El tanque superior alimenta de agua al sistema por la precipitación pluvial, de la cual se satisface la

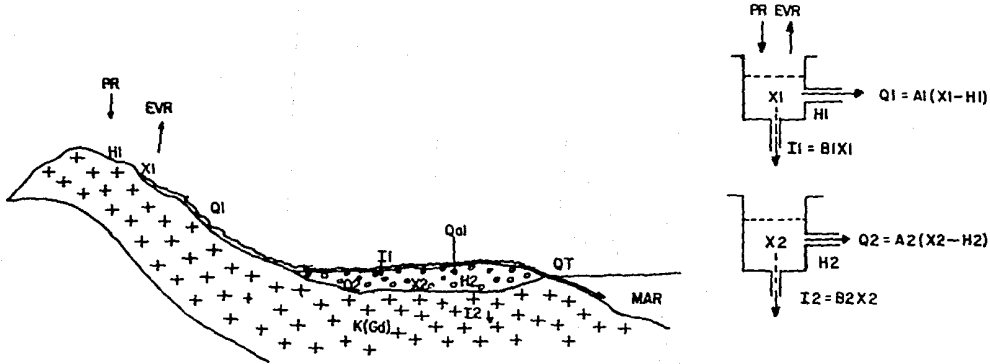
TABLA 6.11
 VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL EN LA SUBCUECA DEL ARROYO SANTO DOMINGO
 (DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0.00	20.63	30.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.72
1971	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.43	15.43
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1973	0.00	14.14	47.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.95
1974	19.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.75
1975	0.00	0.00	6.60	4.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.07
1976	0.00	88.74	44.37	8.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.22	147.45
1977	25.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.68	42.37
1978	88.78	109.80	117.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.64	87.31	446.61
1979	148.76	59.05	46.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	254.58
1980	82.08	213.96	128.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	424.21
1981	0.00	0.00	50.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.69
1982	18.10	20.48	32.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	14.50	38.58
1983	7.14	0.26	40.18	20.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	72.46
1984	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.78	45.78
1985	29.53	3.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.49	16.50	76.84
1986	1.38	4.25	16.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.26
1987	0.29	19.60	14.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.43	63.33
MEDIA	23.43	30.79	32.07	1.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.07	13.15	103.34

TABLA 6.12
 VOLUMEN DE INFILTRACION MEDIA MENSUAL EN LA SUBCUECA DEL ARROYO SANTO DOMINGO
 (DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0.00	10.31	9.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89
1971	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	7.71	0.64
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1973	0.00	7.07	20.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.29
1974	9.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82
1975	0.00	0.00	4.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
1976	0.00	44.37	0.00	4.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11	4.30
1977	11.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.34	1.64
1978	40.22	34.79	41.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.82	32.74	14.23
1979	58.01	0.52	23.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80
1980	41.04	86.46	20.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.36
1981	0.00	0.00	25.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.11
1982	9.15	5.66	13.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	6.63	3.02
1983	0.26	0.00	20.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.46	1.99
1984	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.89	1.91
1985	3.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.74	1.38	1.52
1986	0.00	2.12	7.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79
1987	0.14	9.73	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.72	2.23
MEDIA	9.63	11.17	10.45	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.05	5.55	3.26

FUNCIONAMIENTO DEL MODELO DE TANQUES



- PR —Precipitación
- EVR —Evapotranspiración real
- X1 —Almacenamiento en la superficie del área de recarga
- X2 —Almacenamiento en el sistema acuifero
- H1 —Contenido de humedad o capacidad de campo en superficie
- H2 —Retención específica de la estructura del sistema acuifero
- I1 —Infiltración del agua superficial del sistema acuifero
- I2 —Infiltración profunda
- Q1 —Escorrentamiento superficial directo
- Q2 —Escorrentamiento superficial diferido (flujo base)
- QT —Escorrentamiento superficial total

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.	
MODELO DE TANQUES	
TESIS PROFESIONAL: Raúl Soto Gutiérrez	Figura No. 6.9

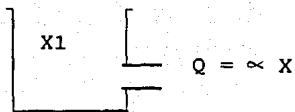
evapotranspiración. Presenta dos orificios de salida, uno lateral y otro en el fondo. La descarga por el orificio lateral, corresponde al escurrimiento superficial directo, el cual solo ocurre cuando se ha satisfecho la deficiencia de humedad, situación que se presenta al colocar este orificio a una altura del fondo.

Por otra parte, se considera que la descarga es directamente proporcional al almacenamiento que queda por arriba de la altura del orificio. La descarga a través del orificio del fondo, representa la infiltración hacia el sistema acuífero, en este caso particular dadas las características de permeabilidad, esta infiltración ocurre en cuanto se satisface el almacenamiento en la superficie, considerado como directamente proporcional a éste.

El segundo tanque, presenta también dos orificios, uno lateral y otro en su fondo, y la alimentación que recibe es exclusivamente por los volúmenes que se infiltraron verticalmente. En este tanque, la descarga que ocurre por el orificio lateral, representa el escurrimiento superficial diferido, es decir el flujo base, e igualmente, esta descarga ocurre cuando se tiene cierto grado de saturación. La descarga a través del orificio del fondo, corresponde a la recarga a un acuífero más profundo (en caso de existir).

Para soportar la hipótesis de proporcionalidad directa entre las descargas por los orificios de los tanques y el almacenamiento en los mismos, se consideró un tanque con un solo orificio con un

almacenamiento inicial X_1 como se muestra a continuación:



Se tiene entonces que la descarga a través del orificio es función del almacenamiento en el tanque (carga hidráulica), es decir:

$$Q = \frac{-dx}{dt} = \propto X$$

En donde:

$$\frac{dx}{dt} = \propto X$$

Resolviendo la ecuación diferencial por separación de variables se tiene:

$$X = X e^{-\propto t}$$

o bien:

$$Q = Q e^{-\propto t}$$

Lo que representa la curva de decaimiento o de relajación de cualquier hidrograma. Además se define la constante de proporcionalidad, como la pendiente del hidrograma de descarga en una escala semilogarítmica.

Así, las constantes A1, B1, A2, y B2 (Figura 6.9), se dan inicialmente de las pendientes del hidrograma de descarga observado, graficado en escala semilogarítmica y se ajusta al comparar este hidrograma observado, con el hidrograma que genera el modelo.

En la Figura 6.10 se observa que los caudales de escurrimiento calculado se ajustan a los observados principalmente en los años de lluvia extraordinaria (a partir de 1978), ésto puede deberse a que en los años de secas la distribución de la lluvia en la subcuenca no es homogénea, aún así el modelo la considera como tal, generando volúmenes no existentes en la estación hidrométrica. Sin embargo, se puede decir que los resultados de evapotranspiración real, infiltración, recarga, etc., por analogía son también muy cercanos a los reales en esos años.

Los resultados obtenidos mediante este proceso se presentan en la Tabla 6.13 a la Tabla 6.20, que a excepción de la evapotranspiración real están representados en millones de metros cúbicos, mismos que comprenden un período de 1970 a 1987. A continuación se describen los datos más importantes:

a).- Evapotranspiración real EVR, (mm).

Media anual	155.22
Máxima (1976)	234.68
Mínima (1973)	88.06
Media mensual máxima (marzo)	24.37
Media mensual mínima (junio)	0.45

b).- Almacenamiento superficial X1.

Medio anual	4.68
Máximo (1978)	19.38
Mínimo (1972-1986)	0.0
Medio mensual máximo (marzo)	16.05
Medio mensual mínimo (mayo a octubre)	0.0

c).- Infiltración I1.

Media anual	158.52
Máxima (1978)	384.92
Mínima (1972)	62.17
Media mensual máxima (marzo)	31.76
Media mensual mínima (junio)	0.30

d).- Almacenamiento subsuperficial X2.

Medio anual	16.73
Máximo (1978)	28.99
Mínimo (1972)	9.87
Medio mensual máximo (marzo)	27.91
Medio mensual mínimo (junio)	10.20

e).- Recarga a profundidad I2.

Media anual	89.47
Máxima (1978)	178.63
Mínima (1972)	46.29
Media mensual máxima (marzo)	14.26
Media mensual mínima (junio)	3.55

f).- Esgurrimiento directo Q1.

Medio anual	66.50
Máximo (1980)	387.82
Mínimo (1972)	0.0
Medio mensual máximo (febrero)	27.03
Medio mensual mínimo (mayo a octubre)	0.0

g).- Esgurrimiento diferido Q2.

Medio anual	10.59
Máximo (1978)	48.21
Mínimo (1971, 1972 y 1975)	0.0
Medio mensual máximo (marzo)	3.37
Medio mensual mínimo (julio a octubre)	0.0

h).- Esgurrimiento superficial total.

Medio anual	94.05
Máximo (1980)	331.27
Mínimo (1972)	20.37
Medio mensual máximo (marzo)	22.08
Medio mensual mínimo (junio)	0.46

A pesar de que no se tiene detectada la presencia de un segundo acuífero más profundo, el modelo generó una serie de valores de recarga a profundidad (I2), los cuales deben tomarse con reserva, dado que en el esquema geológico de la zona no se tienen las condiciones que demuestren la existencia de un acuífero más profundo, aunque no debe descartarse esa posibilidad.

CAUDALES DE ESCORPIMENTO OBSERVADOS Y CALCULADOS
EN EL ARROYO SANTO DOMINGO

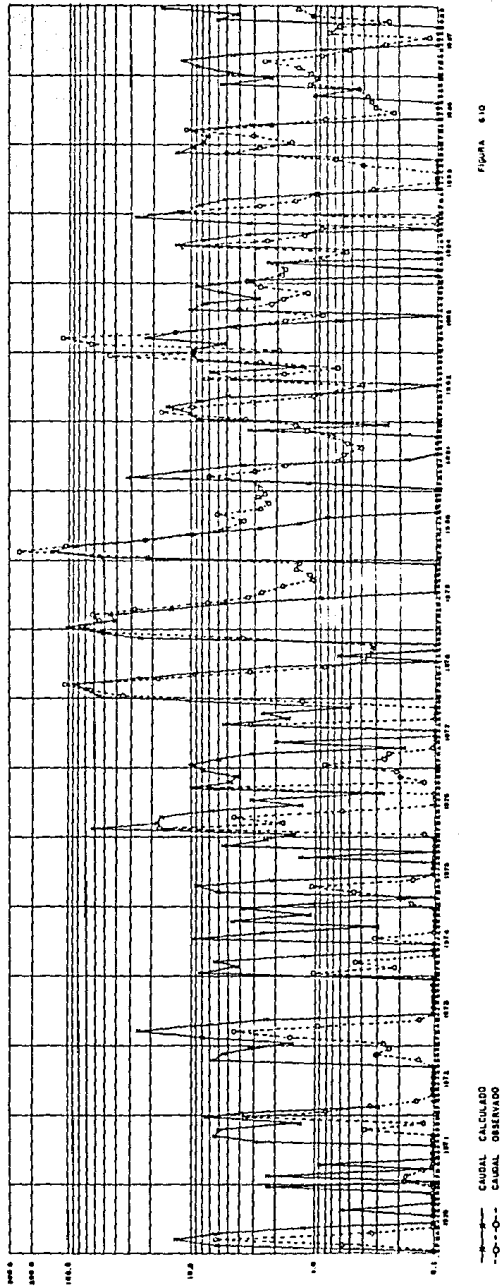


FIGURA 6.10

TABLA 6.13
EVAPOTRANSPIRACION REAL SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILIMETROS)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	1.72	30.93	32.32	11.33	0.00	0.00	6.05	9.72	0.00	0.00	12.94	15.30	120.30
1971	0.07	16.95	0.25	10.54	3.14	0.00	4.25	24.26	29.00	14.81	3.19	17.23	120.69
1972	10.52	0.00	0.00	0.00	1.10	0.23	2.97	3.25	0.98	45.49	18.21	13.51	93.26
1973	6.67	24.56	20.79	18.12	0.00	0.00	0.00	5.01	0.00	0.05	12.32	0.75	98.05
1974	22.22	11.36	25.80	0.06	0.00	0.00	53.09	0.00	2.57	24.91	2.50	20.59	163.10
1975	3.53	2.64	24.64	32.54	0.00	0.00	0.25	2.30	19.22	1.24	30.40	6.46	121.72
1976	8.04	28.46	33.81	42.71	4.23	0.00	17.21	1.20	45.05	9.50	16.73	27.33	234.68
1977	16.11	14.35	9.32	0.85	14.07	0.06	1.15	32.78	3.49	14.06	3.33	43.87	153.42
1978	29.22	24.51	40.33	40.95	0.00	0.00	0.65	9.06	1.96	6.80	27.89	20.92	202.29
1979	15.94	19.57	28.77	21.05	2.75	0.00	1.82	0.00	11.25	2.20	0.73	8.00	112.07
1980	27.56	31.30	26.30	39.57	1.00	0.00	7.05	6.60	0.00	0.15	0.53	0.31	140.36
1981	12.61	13.40	19.61	29.58	1.22	0.00	0.50	3.00	8.24	0.00	25.71	0.30	114.66
1982	26.19	30.97	38.95	14.81	7.00	0.13	4.00	26.24	25.85	0.00	39.86	29.27	243.28
1983	30.57	11.85	40.24	39.10	0.00	0.00	0.00	57.07	19.46	4.40	25.22	34.22	262.14
1984	4.10	0.00	0.11	20.28	0.00	0.00	73.30	13.72	6.84	0.20	20.08	21.83	160.47
1985	25.00	17.38	13.64	1.50	0.00	0.03	0.19	1.83	4.47	11.79	39.66	20.56	136.05
1986	22.09	22.33	41.57	0.00	0.00	4.50	5.39	5.28	13.88	5.76	28.57	5.79	152.14
1987	20.67	26.27	42.24	4.24	1.50	3.13	0.00	0.00	8.26	35.38	12.43	20.88	175.01
MEDIA	15.71	18.16	24.37	18.18	1.83	0.45	9.88	11.17	10.97	9.82	17.74	16.92	155.22

TABLA 6.14
ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0.00	17.26	17.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.87
1971	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.53	1.46
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1973	0.00	13.32	29.20	0.00	0.00	0.00	9.30	0.00	0.00	0.00	3.00	0.30	3.54
1974	18.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.58
1975	0.00	0.00	7.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65
1976	0.00	52.18	9.07	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	4.29	5.89
1977	18.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.14	2.21
1978	45.81	52.63	57.87	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	29.74	46.43	19.38
1979	77.77	28.94	35.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.81
1980	49.03	103.91	55.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.39
1981	0.00	0.00	34.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.91
1982	16.82	9.04	16.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54	3.70
1983	0.00	0.00	25.05	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	2.10
1984	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.24	2.52
1985	14.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	9.00	0.00	0.00	19.31	5.12	3.35
1986	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1987	1.92	9.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.04	2.89
MEDIA	13.47	15.94	16.05	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.73	7.69	4.68

TABLE 6.15
INFILTRACION SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

ARO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	1.15	32.12	33.02	7.55	0.00	0.00	4.04	6.48	0.00	0.00	8.63	10.20	133.18
1971	0.05	11.30	0.17	7.03	0.09	0.00	2.83	16.17	19.34	9.37	2.13	23.19	92.15
1972	7.01	0.00	0.00	0.00	0.73	0.15	1.98	2.17	0.65	30.32	12.14	7.01	62.17
1973	4.45	25.25	40.80	12.08	0.00	0.06	0.00	3.34	0.00	0.03	8.01	0.50	94.52
1974	28.06	7.57	17.20	3.04	0.00	0.00	35.79	0.00	1.71	16.60	1.67	13.75	121.99
1975	2.35	1.76	21.59	21.69	0.00	0.00	0.17	1.33	12.15	0.83	20.26	4.31	96.44
1976	5.36	76.55	28.58	31.94	2.82	0.00	11.47	0.80	30.70	6.34	10.76	21.08	226.39
1977	23.21	9.56	6.21	3.57	9.39	0.04	0.77	21.95	2.33	9.37	2.22	34.67	120.18
1978	68.57	74.52	92.05	27.30	0.00	0.00	0.44	6.04	1.20	4.53	46.25	63.92	384.92
1979	102.31	39.63	53.92	14.03	1.83	0.00	1.21	0.00	7.50	1.47	0.49	5.33	237.72
1980	71.75	147.41	79.89	26.38	0.67	0.00	4.70	4.40	0.00	0.10	0.35	0.20	335.85
1981	8.40	8.93	47.64	19.72	0.81	0.00	0.33	2.00	5.49	9.00	17.14	0.52	111.00
1982	28.68	26.67	37.29	9.87	4.67	0.09	2.67	17.49	17.23	0.00	26.57	20.55	191.77
1983	20.38	7.90	48.22	26.07	0.00	0.00	0.00	38.04	12.98	2.94	16.82	22.89	196.23
1984	2.73	0.00	0.07	13.52	0.00	0.00	48.86	9.15	4.56	0.13	13.39	42.87	135.20
1985	26.52	11.59	9.09	1.00	0.00	0.02	0.12	1.22	2.99	7.86	40.19	17.79	118.38
1986	14.73	14.89	27.71	0.00	0.00	3.00	2.59	2.52	7.25	3.94	19.05	3.86	101.42
1987	14.46	23.89	23.16	2.83	1.00	2.09	0.00	0.00	5.51	23.59	8.29	33.97	143.78
MEDIA	23.90	29.86	31.76	12.31	1.22	0.30	6.59	7.45	7.32	6.55	14.13	18.14	158.52

TABLE 6.16
ALAMACENAMIENTO SUBSUPERFICIAL SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

ARO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0.86	18.44	25.83	18.60	12.69	9.52	10.17	11.91	8.93	6.70	11.38	13.89	12.41
1971	10.45	13.95	10.59	12.29	9.29	6.97	7.35	14.66	18.85	16.74	12.80	19.64	12.80
1972	15.91	11.61	8.71	6.53	5.45	4.20	4.64	5.10	4.32	19.11	17.75	15.15	9.87
1973	13.09	20.59	29.90	22.00	14.05	10.58	7.94	8.46	6.34	4.78	9.60	7.57	12.90
1974	19.50	16.08	18.56	12.69	9.52	7.14	22.26	14.15	11.60	16.53	12.53	15.75	14.69
1975	12.49	10.69	18.16	21.19	13.73	10.29	7.85	6.88	12.86	10.27	17.46	13.96	12.99
1976	12.98	41.06	33.11	31.27	18.89	12.80	14.96	11.56	22.15	16.65	16.21	20.16	20.96
1977	22.60	18.11	14.98	11.47	13.59	10.22	8.24	17.29	13.10	14.24	11.83	23.35	14.96
1978	42.22	51.94	62.85	41.31	21.77	13.96	10.80	11.98	9.97	10.87	28.10	42.06	28.99
1979	63.00	46.30	45.34	29.00	17.58	12.28	10.12	7.59	11.29	9.57	7.54	7.65	22.44
1980	37.81	79.34	68.94	43.38	22.87	14.40	12.89	12.17	9.12	6.92	5.45	4.24	26.46
1981	9.49	12.62	29.35	24.88	15.53	11.46	8.85	8.13	10.22	7.66	15.17	11.53	13.74
1982	21.33	24.45	29.95	21.18	15.59	11.52	10.64	16.50	18.75	12.75	20.98	21.86	18.79
1983	22.15	17.27	31.45	28.26	16.55	11.87	8.90	24.03	20.05	14.94	17.75	21.51	19.52
1984	14.95	11.21	8.46	14.04	10.53	7.90	27.96	20.09	15.11	11.35	15.14	28.46	15.43
1985	27.24	20.78	17.20	12.53	9.40	7.06	5.39	4.96	5.95	10.36	25.47	22.35	14.38
1986	20.16	19.27	24.04	14.87	11.15	10.61	10.65	10.63	12.40	11.75	17.57	13.82	14.74
1987	16.56	21.43	25.09	16.41	12.22	10.73	8.05	6.04	8.66	18.15	15.82	25.17	15.36
MEDIA	21.27	25.29	27.91	21.22	13.91	10.20	10.98	11.79	12.20	12.16	15.48	18.33	16.73

TABLA 6.17
RECARGA A PROFUNDIDAD SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

ARO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0.29	9.25	12.87	8.35	4.65	3.17	3.39	4.16	2.98	2.23	3.33	5.39	59.55
1971	3.49	5.44	3.53	4.40	3.10	2.32	2.45	5.88	8.50	7.18	4.72	8.99	59.99
1972	6.66	3.98	2.90	2.18	1.82	1.40	1.55	1.70	1.44	8.66	7.81	6.19	46.29
1973	4.90	9.59	15.35	10.47	5.50	3.53	2.65	2.32	2.11	1.59	3.20	2.52	64.23
1974	8.91	6.77	8.32	4.65	3.17	2.38	10.63	5.57	3.97	7.05	4.55	6.56	72.53
1975	4.53	3.56	8.07	9.96	5.30	3.43	2.62	2.29	4.76	3.42	7.63	5.44	61.02
1976	4.83	22.38	17.41	16.26	8.52	4.72	6.07	3.94	10.56	7.12	6.85	9.32	117.99
1977	10.84	8.04	6.08	3.89	5.21	3.41	2.75	7.52	4.90	5.52	4.11	11.63	73.00
1978	23.10	29.18	36.00	22.54	10.33	5.44	3.60	4.21	3.32	3.62	14.28	23.01	178.63
1979	36.09	25.66	25.05	14.84	7.71	4.40	3.37	3.53	3.77	3.19	2.51	3.22	132.34
1980	20.35	46.30	39.81	23.83	11.01	5.72	4.77	4.32	3.04	2.31	1.02	1.41	164.70
1981	3.16	4.60	15.06	12.27	6.42	3.88	2.95	2.71	3.41	2.55	2.20	3.93	67.15
1982	10.05	12.00	15.43	9.95	6.46	3.92	3.55	7.03	8.43	4.69	9.83	10.38	101.73
1983	10.56	7.51	16.37	14.38	7.06	4.14	2.97	11.74	9.25	5.75	7.81	10.16	107.70
1984	6.06	3.74	2.82	5.50	3.51	2.63	14.19	9.28	6.16	3.81	6.18	4.50	78.39
1985	13.75	9.71	7.47	4.55	3.13	2.35	1.30	1.65	1.98	3.45	2.64	10.81	73.30
1986	9.32	6.76	11.74	6.81	3.72	3.54	3.55	3.54	4.47	4.06	7.70	5.36	71.77
1987	7.07	10.11	12.40	6.98	4.35	3.58	2.68	2.01	2.89	3.06	5.61	12.45	79.19
EDIA	10.22	12.53	14.26	10.06	5.61	3.55	4.20	4.61	4.78	4.69	6.57	8.40	89.47

TABLA 6.18
ESCURRIMIENTO DIRECTO SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

ARO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
1971	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1973	0.00	0.00	11.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.20
1974	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.93
1975	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1976	0.00	34.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.18
1977	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35
1978	27.81	34.63	39.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.74	38.48	142.54
1979	59.77	10.94	17.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.75
1980	31.03	65.91	37.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	154.71
1981	0.00	0.00	16.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.92
1982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983	0.00	0.00	7.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.05
1984	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.24	12.24
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	1.31
1986	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1987	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	6.04
EDIA	6.66	9.20	7.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	2.60	25.40

TABLA 6.19
ESCURRIMIENTO DIFERIDO SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0.00	6.29	12.76	6.43	1.26	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.11	2.30	29.74
1971	0.00	2.36	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	2.98	6.65	4.80	1.35	7.34	26.40
1972	4.08	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.97	5.69	3.41	20.37
1973	1.61	8.17	16.23	9.41	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.86
1974	7.22	4.23	6.40	1.26	0.00	0.00	9.64	2.54	0.30	4.62	1.12	3.94	41.27
1975	1.09	0.00	6.05	8.70	2.17	0.00	0.00	0.00	1.41	0.00	5.44	2.37	27.22
1976	1.51	26.08	19.12	17.52	6.68	1.36	3.25	0.27	9.54	4.72	4.34	7.80	102.19
1977	9.93	6.01	3.26	0.19	2.05	0.00	0.00	5.28	1.62	2.61	0.51	11.03	42.49
1978	27.10	35.61	45.15	26.30	9.21	2.37	0.00	0.64	0.00	0.00	14.74	24.96	188.07
1979	45.28	30.67	29.83	15.53	5.54	0.90	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	127.73
1980	23.24	59.58	50.48	28.11	10.17	2.75	1.43	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	176.56
1981	0.00	1.20	15.84	11.92	3.74	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	3.43	0.25	36.56
1982	8.82	11.55	16.36	8.69	3.80	0.24	0.00	4.60	6.56	1.31	8.51	9.28	79.71
1983	9.53	5.27	17.67	14.88	4.64	0.54	0.00	11.18	7.70	2.80	5.69	8.98	88.88
1984	3.23	0.00	0.00	2.44	0.00	0.00	0.00	7.74	3.38	0.08	3.41	15.06	49.95
1985	13.99	8.34	5.20	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.44	9.89	50.99
1986	7.80	7.02	11.19	3.16	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.43	5.53	2.25	38.39
1987	4.65	8.91	12.11	4.52	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	4.00	12.18	53.24
MEDIA	9.39	12.31	14.87	8.95	2.92	0.46	1.61	2.03	2.12	1.91	4.24	6.34	67.65

TABLA 6.20
ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL TOTAL SUBCUENCA ARROYO SANTO DOMINGO
(DATOS EN MILLONES DE METROS CUBICOS)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0.00	6.29	12.76	6.43	1.26	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.11	2.30	29.74
1971	0.00	2.36	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	2.98	6.65	4.80	1.35	7.34	26.40
1972	4.08	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.87	5.69	3.41	20.37
1973	1.61	8.17	27.41	9.41	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.88
1974	8.15	4.23	6.40	1.26	0.00	0.00	9.64	2.54	0.30	4.62	1.12	3.94	42.20
1975	1.09	0.00	6.05	8.70	2.17	0.00	0.00	0.00	1.41	0.00	5.44	2.37	27.22
1976	1.51	60.26	19.12	17.52	6.68	1.36	3.25	0.27	9.54	4.72	4.34	7.80	136.37
1977	10.28	6.01	3.26	0.19	2.05	0.00	0.00	5.28	1.62	2.61	0.51	11.03	42.84
1978	54.91	70.24	85.02	26.30	9.21	2.37	0.00	0.64	0.00	0.00	26.49	55.44	330.62
1979	105.05	41.61	46.88	15.53	5.54	0.90	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	215.53
1980	54.27	145.48	88.25	28.11	10.17	2.75	1.43	0.80	0.00	0.00	3.08	0.00	331.27
1981	0.00	1.20	32.76	11.92	3.74	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	3.43	0.25	53.48
1982	8.82	11.55	16.36	8.69	3.80	0.24	0.00	4.60	6.56	1.31	8.51	9.28	79.71
1983	9.53	5.27	24.72	14.88	4.64	0.00	0.00	11.18	7.70	2.80	5.69	8.98	95.92
1984	3.23	0.00	0.00	2.44	0.00	0.00	0.00	7.74	3.38	0.08	3.41	27.29	62.20
1985	13.99	8.34	5.20	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.75	9.89	52.30
1986	7.80	7.02	11.19	3.16	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.43	5.53	2.25	38.39
1987	4.65	8.91	12.11	4.52	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	4.00	18.22	59.26
MEDIA	16.05	21.51	22.08	8.95	2.92	0.46	1.61	2.03	2.12	1.91	4.57	9.43	94.05

Comparando los resultados con el método de Thornthwaite y el programa TANKMOD1, se observa que mediante el primer método se obtiene un mayor valor del volumen de escurrimiento: 105.34 contra 94.05 Mm³, los cuales son similares, mientras que la recarga al sistema acuífero presentó un volumen mayor por el segundo método: 3.05 contra 16.73 Mm³. Considerando las limitantes de aplicación para cada uno es difícil definir cual de los datos obtenidos por ambos métodos es el más representativo. En el caso de la recarga se podría decir que el segundo método proporcionó un volumen más cercano al real, ya que el almacén subsuperficial corresponde al agua que está en tránsito y se estima una recarga de 13.49 Mm³ mediante las entradas por flujo subterráneo, por lo que los volúmenes obtenidos son muy similares, considerándose que la recarga subterránea es del orden de esos valores.

6.2.1.- Coeficiente de escurrimiento del arroyo Santo Domingo.

El régimen de escurrimiento generado en la subcuenca en estudio, es cuantificado por medio de la estación hidrométrica Santo Domingo, la cual se localiza aproximadamente a 7.5 km al oriente de la misión Santo Domingo, trabajando desde 1949. Figura 6.5.

Los caudales mensuales registrados en dicha estación se presentan en la Tabla 6.21. Con los datos anuales se calcularon los coeficientes de escurrimiento para la subcuenca del arroyo Santo Domingo, mediante el método directo, en el cual se tienen como datos la precipitación total o media correspondiente para cada año, el área de la subcuenca hasta el sitio aforado y el

TABLA 6.21
 VOLUMEN MEDIO MENSUAL EN LA ESTACION HIDROMETRICA SANTO DOMINGO
 (miles de metros cbicos)

FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VOL
1970	124	596	6572	346	64	0	0	0	0	0	0	26	7727
1971	199	191	132	69	20	0	0	0	71	390	138	3647	4858
1972	802	358	150	13	0	0	0	0	0	143	318	249	2033
1973	277	1625	4553	953	132	0	0	0	0	0	0	0	7542
1974	1045	228	447	79	3	0	326	0	0	0	0	68	2197
1975	179	201	468	1146	144	0	0	0	25	0	0	25	2189
1976	137	18509	1725	3517	598	52	0	0	7157	139	204	222	32260
1977	841	267	244	104	51	0	0	3372	13	52	28	1398	6370
1978	35820	62690	118115	18859	3456	847	385	356	339	320	3925	52450	297460
1979	78755	55546	64023	29401	7270	3509	2683	1865	1051	1134	1505	1489	248230
1980	20320	256041	112285	23416	9861	5392	3716	6230	2758	2413	2812	2678	447923
1981	2796	2902	7159	3024	1720	630	618	426	559	769	1285	1518	23426
1982	3779	18553	9840	3131	1079	658	410	7537	1853	699	2814	45983	96338
1983	19073	54473	121578	14616	4168	1781	876	4130	2317	1861	1296	2826	228995
1984	3597	1947	1706	2128	868	581	10237	2467	1356	868	0	0	25775
1985	10306	2876	1537	933	335	52	0	0	416	699	5088	2852	24735
1986	1594	3174	11220	2245	830	229	319	343	376	436	1146	956	22638
1987	1350	1529	2630	894	522	267	134	728	640	241	1190	1529	11655

escurrimiento anual.

En este caso se supone que las pérdidas son proporcionales a la intensidad de la precipitación de tal manera que el volumen escurrido "Ve", es igual al producto del volumen precipitado "Vp", por el coeficiente de escurrimiento.

Por lo tanto, el coeficiente de escurrimiento se determina mediante la siguiente fórmula:

$$C_e = \frac{V_e}{V_p} = \frac{V_e}{P_{mc}(A_c)}$$

donde:

C_e = Coeficiente de escurrimiento en el período analizado, relacionando todos los aspectos que influyen en las pérdidas que reducen el volumen escurrido. V_e = Volumen escurrido en m³.

P_{mc} = Precipitación media en la cuenca en m.

A_c = Area de la cuenca hasta el sitio aforado en m².

En la Tabla 6.22 se presenta el resultado de los cálculos de este proceso:

Tabla 6.22
 Coeficiente de escurrimiento en el arroyo
 Santo Domingo.
 Area de la cuenca hasta la estacion hidrométrica:
 1 100 400 000 m²

AÑO	PRECIPITACION (m)	ESCURRIMIENTO (m ³)	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	%
1970	0.223	7 727 000	0.031	3.1
1971	0.230	4 858 000	0.019	1.9
1972	0.137	2 033 000	0.013	1.3
1973	0.193	7 542 000	0.035	3.5
1974	0.286	2 197 000	0.0069	0.6
1975	0.208	2 189 000	0.0095	0.9
1976	0.499	32 260 000	0.058	5.8
1977	0.277	6 370 000	0.020	2.0
1978	0.768	297 460 000	0.351	35.1
1979	0.381	248 230 000	0.591	59.1
1980	0.630	447 923 000	0.645	64.5
1981	0.242	23 426 000	0.087	8.7
1982	0.436	96 338 000	0.200	20.0
1983	0.463	228 995 000	0.448	44.8
1984	0.334	25 775 000	0.069	6.9
1985	0.231	24 735 000	0.097	9.7
1986	0.247	22 638 000	0.083	8.3
			media	16.2

Se observa que el escurrimiento es muy variable a través del tiempo, debido a que en los años de 1974 y 1975 no alcanza el 1 % y en año de lluvias extraordinarias puede llegar a ser de más del

50 % (1979, 1980). En los años de escasa precipitación los volúmenes de escurrimiento disminuyen debido a que las condiciones del medio son extremas, y necesita satisfacerse la evapotranspiración y saturación del medio, antes de permitir el escurrimiento, por lo que en esos años difícilmente sucede.

Es evidente que no existe un valor que sea representativo del comportamiento del escurrimiento en el arroyo, sin embargo el valor medio es de 16.24 %.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

7.- Hidrología Subterránea.

En este capítulo se analiza la información relativa a la profundidad y elevación del nivel estático, así como la magnitud de las extracciones y las características hidrodinámicas del acuífero, ya que éstas son la base del análisis del comportamiento de un acuífero y en la cuantificación del agua subterránea.

7.1.- Profundidad al nivel estático.

Se realizó un solo recorrido piezométrico en el valle de Vicente Guerrero, durante el mes de marzo de 1988. El nivel de saturación en esta época es bueno debido a que en ella se registran las mayores lluvias y escurrimientos en el valle.

La profundidad al nivel estático se cuantificó en 63 obras (27 pozos y 36 norias). Los datos obtenidos en cada una se muestran en la Tabla 7.1.

La configuración de profundidades observadas se presenta en la Figura 7.2. La máxima profundidad del nivel se encuentra en la margen sur del valle, con valores fluctuantes entre 8 y 10 m, con un máximo de 11.77 m en el P-73, debido principalmente a que esta porción del valle es de mayor altitud topográfica que el resto del mismo.

La porción central presenta profundidades que varían entre 4 y 8 m (Rancho Hamilton, Vicente Guerrero, San Ramón, etc.),

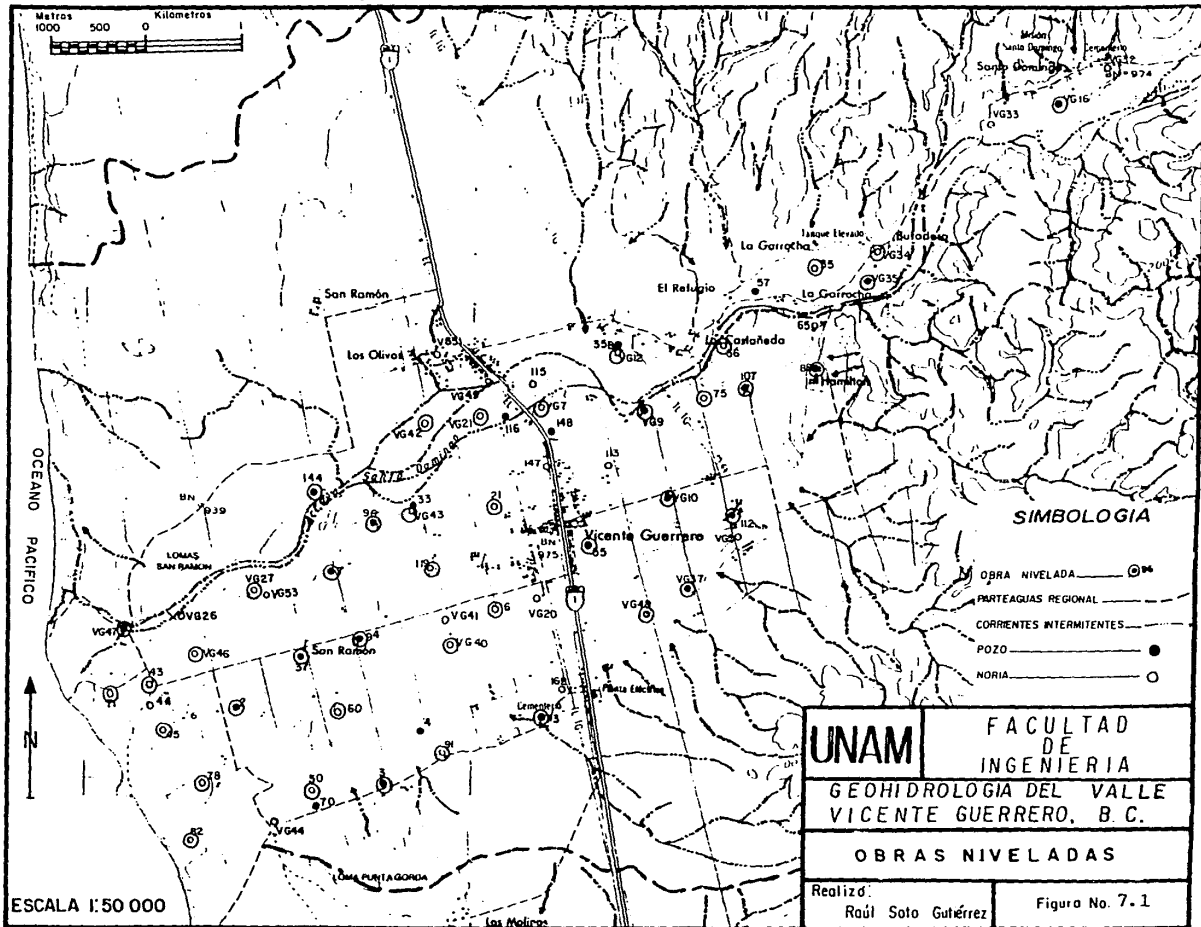


Tabla 7.1
PIEZOMETRIA EN EL VALLE VICENTE GUERRERO, B.C.
MARZO-1988

1/3

OBRA NUM.	COTA DEL BROCAL COTA DEL TERRENO	PROFUNDIDAD AL N.E. (m)	ELEVACION N.E. (m.s.n.m.)
P-2	6.909 8.309	3.08	3.829
P-3	12.081 11.911	8.22	3.861
N-6	19.675 19.555	9.62	10.055
P-7	13.724 13.684	4.55	9.174
N-21	21.574 21.379	6.12	15.454
N-35	39.702 39.638	3.43	36.272
P-37	12.294 12.114	6.64	5.654
N-43	3.887 3.729	2.03	1.857
N-45	3.124 2.824	2.18	0.944
N-50	6.941 6.666	4.82 (NIVEL DINAMICO)	
P-55	27.149 26.885	10.26	16.889
N-56	32.876 32.656	1.24	31.636
N-60	13.762 13.341	8.17	5.592
N-71	4.072 3.157	1.83	2.242
P-73	21.653 21.328	11.77	9.883
N-75	32.304 32.174	3.70	28.609

Tabla 7.1
 PIEZOMETRIA EN LA COLONIA VICENTE GUERRERO, B.C.
 MARZO-1988

2/3

OBRA NUM.	COTA DEL BROCAL COTA DEL TERRENO	PROFUNDIDAD AL N.E. (m)	ELEVACION N.E. (m.s.n.m.)
N-78	3.614 2.924	2.24	1.374
N-82	4.061 3.611	3.24	0.821
P-88	38.247 38.085	6.12	32.127
N-91	11.991 11.921	5.86	6.131
P-94	13.969 13.644	6.90	7.069
P-96	15.764 15.394	4.22	11.524
P-107	34.858 34.336	4.00	30.858
P-112	32.523 32.213	9.16	23.363
N-119	16.374 17.179	5.00	11.374
P-144	14.486 14.381	2.65	11.836
NVG-7	25.323 24.673	2.47	22.853
PVG-9	30.387 30.257	4.40	25.987
PVG-10	30.475 30.171	8.86	25.615
NVG-12	27.355 26.838	2.97	24.385
PVG-16	56.267 55.884	2.42	53.847
NVG-21	21.431 21.212	1.30	20.131

Tabla 7.1
PIEZOMETRIA EN LA COLONIA VICENTE GUERRERO, B.C.
MARZO-1988

3/3

OBRA NUM.	COTA DEL BROCAL COTA DEL TERRENO	PROFUNDIDAD AL N.E. (m)	ELEVACION N.E. (m.s.n.m.)
NVG-27	9.384 7.904	2.12	7.264
NVG-34	43.119 43.945	2.35	40.849
PVG-35	38.749 38.513	0.85	37.899
PVG-37	28.661 28.661	10.22	18.446
NVC-40	17.443 17.283	9.74	7.703
NVG-42	16.953 16.148	1.33	15.623
NVG-43	17.042 16.434	4.65	12.392
NVG-46	5.999 5.329	1.61	4.389
PVG-47	3.740 3.125	1.48	2.26
NVG-48	24.781 25.516	8.16	16.621
NVG-49	21.464 20.281	1.10	20.364

*TODAS LAS ELEVACIONES SON POSITIVAS

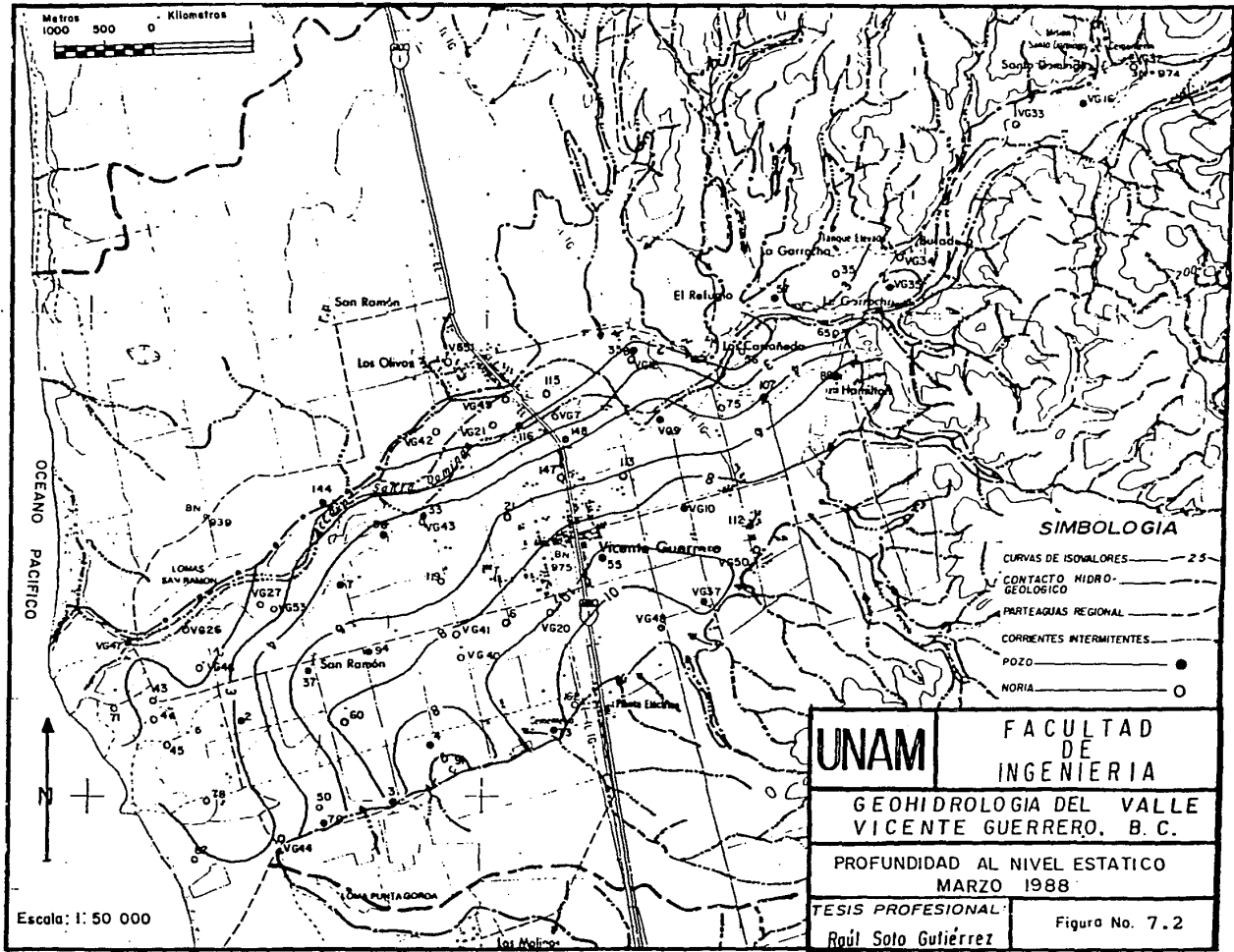
A ENSEÑADA 116°00'

Metros 1000 500 0 Kilometros



30°45'

30°45'



SIMBOLOGIA

- CURVAS DE ISONIALES ——— 2.5
- CONTACTO HIDRO-GEOLÓGICO ———
- PARTEAGUAS REGIONAL - - - - -
- CORRIENTES INTERMITENTES - - - - -
- POZO ●
- NORIA ○

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.

PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO MARZO 1988

TESIS PROFESIONAL: Raúl Soto Gutiérrez

Figura No. 7.2

Escala: 1: 50 000

116°00'

A EL ROSARIO

disminuyendo hacia la porción norte del mismo, que es donde actualmente drena el arroyo Santo Domingo y en la zona costera donde el nivel base de drenaje del acuífero es muy somero, con niveles menores a 3 m, en ambas.

7.2.- Configuración de la superficie freática.

Para representar la superficie freática fué necesario seleccionar 43 obras a las que se les refirieron sus brocales al nivel medio del mar (Figura 7.1).

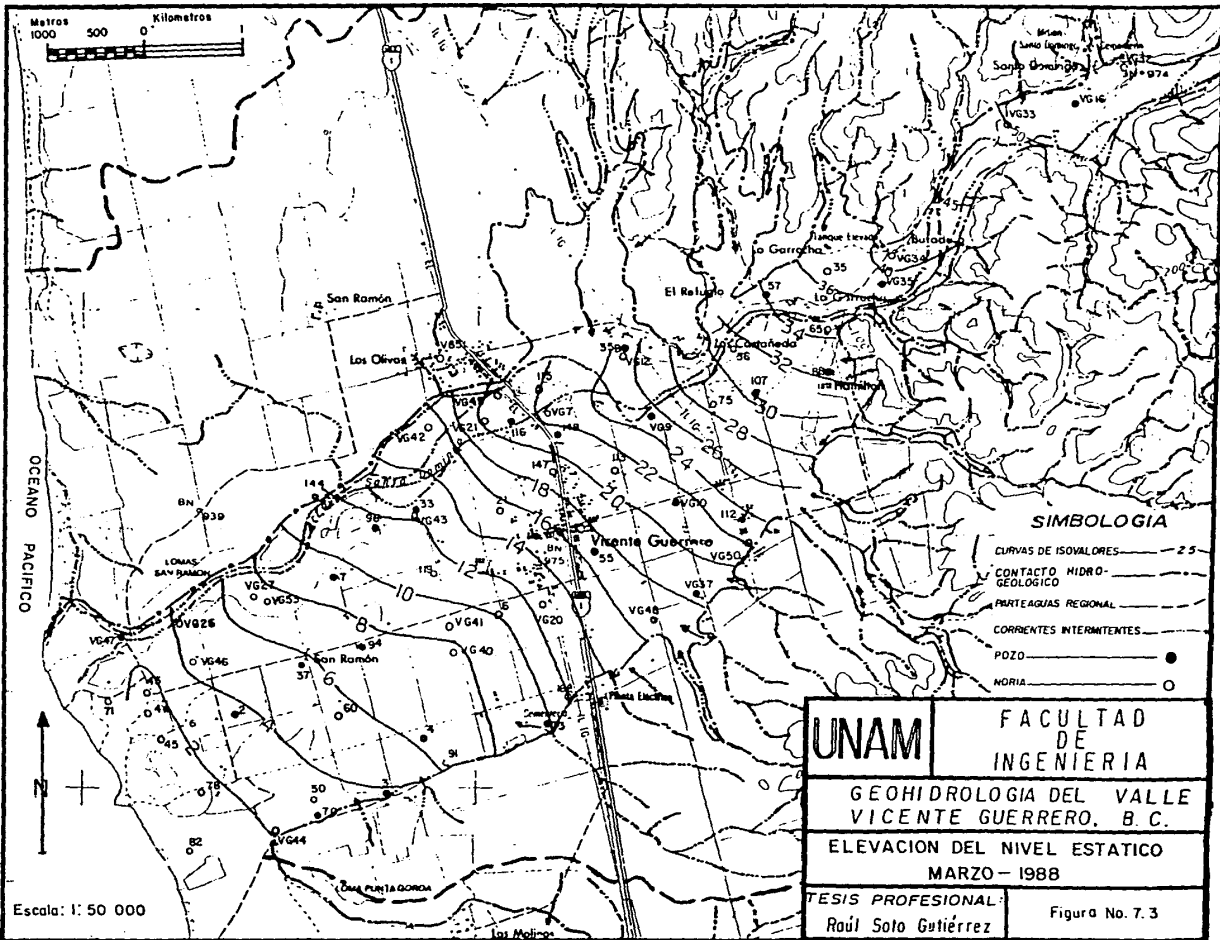
La morfología de la superficie freática indica un sentido preferencial de flujo subterráneo sensiblemente de noreste a suroeste (Figura 7.3); no se aprecian efectos importantes de sobreexplotación, además se comprueba que el cauce del arroyo es una zona de recarga importante para el acuífero.

Para esta fecha se tienen elevaciones positivas muy cercanas a la costa, lo que indica que existe descarga subterránea de agua hacia el océano.

El gradiente piezométrico en la región del Rancho Hamilton es de 0.0057; en la zona de Vicente Guerrero es de 0.0067 y en la porción costera de 0.0027.

7.3.- Evolución del nivel estático.

Se analizó la evolución de los niveles estáticos con la información de un período comprendido entre febrero de 1986 y marzo de 1988 (Figura 7.4). La información de febrero de 1986 se



SIMBOLOGIA

- CURVAS DE ISOVALORES ——— 25
- CONTACTO HIDRO-GEOLÓGICO - - - - -
- FRAGMENTOS REGIONAL - - - - -
- CORRIENTES INTERMITENTES - - - - -
- POZO ——— ●
- NOBIA ——— ○

UNAM

FACULTAD
DE
INGENIERIA

GEOHIDROLOGIA DEL VALLE
VICENTE GUERRERO, B. C.

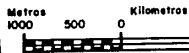
ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO
MARZO - 1988

TESIS PROFESIONAL:
Raúl Soto Gutiérrez

Figura No. 7.3

Escala: 1: 50 000

A ENSEADA 116°00'



30°45'

30°45'

OCEANO PACIFICO



ESCALA 1:50,000

116°00'

A EL ROSARIO

SIMBOLOGIA

CURVAS DE ISOVALORES ——— 2.5

CONTACTO HIDRO-
GEOLOGICO ———

PARTEAGUAS REGIONAL - - - - -

CORRENTES INTERMITENTES - - - - -

POZO ●

NORIA ○

UNAM

FACULTAD
DE
INGENIERIA

GEOHIDROLOGIA DEL VALLE
VICENTE GUERRERO, B. C.

EVOLUCION DEL NIVEL ESTatico

FEB. 1986 - MAR. 1988

TESIS PROFESIONAL:

Raúl Soto Gutiérrez

Figura No. 7.4

obtuvo de un recorrido realizado por la Residencia de la S.A.R.H. en Ensenada.

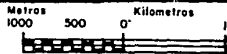
Se encontró que entre el rancho Los Castañeda y las poblaciones de Vicente Guerrero y Los Olivos, las recuperaciones varían entre 2 y 6 m. También se tienen evoluciones positivas a lo largo del cauce del arroyo y hasta su desembocadura. La recarga en esta zona es producto del escurrimiento del arroyo y muy probablemente ésta se efectuó durante los últimos meses de 1987 y los primeros de 1988, debido a que los registros de lluvia son mayores en estos últimos años que en 1986.

En la porción sur del valle no existió recarga, probablemente debido a las características hidráulicas desfavorables del material en esa zona.

7.4.- Características hidráulicas del acuífero.

El conocimiento de los parámetros hidráulicos de un acuífero como transmisividad y coeficiente de almacenamiento, es de gran importancia, porque esta información es necesaria para poder cuantificar el balance hidráulico, el cual nos da una idea del volumen de agua disponible y así poder determinar el régimen de explotación del mismo. Para evaluar estos parámetros se llevaron a cabo 5 pruebas de bombeo de larga duración con pozo de observación. Figura 7.5.

La interpretación de las pruebas en su etapa de abatimiento se realizó por el método simplificado de Jacob, bajo la



30°45'

30°45'

OCEANO PACIFICO

SIMBOLOGIA

- OBRA CON PRUEBA DE BOMBEO (Symbol: circle with dot)
- CONTACTO HIDROGEOLOGICO (Symbol: dashed line)
- PARTEAGUAS REGIONAL (Symbol: solid line)
- CORRIENTES INTERMITENTES (Symbol: dashed line with dots)
- POZO (Symbol: solid circle)
- NORIA (Symbol: circle with dot)
- TRANSMIVIDAD (Symbol: line with 'M' and 'S')
- COEF. DE ALMACENAMIENTO (Symbol: 'S')

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO. B. C.

LOCALIZACION DE PRUEBAS DE BOMBEO

TESIS PROFESIONAL:

Raúl Soto Gutiérrez

Figura No. 7.5

Escala: 1: 50 000

consideración de la teoría de acuíferos confinados, que establece la condición de que $u = r^2s/4Tt < 0.01$, que para las condiciones de acuífero libre pueden necesitarse 12 o más horas de bombeo para lograrlo. Así mismo no se consideró la corrección de Dupuit para acuíferos libres debido a que el abatimiento no es mayor al 10 % del espesor saturado. Villanueva-Iglesias, 1984.

De esta forma, los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento se obtuvieron de las expresiones:

$$T = \frac{0.183 Q}{As} \qquad S = \frac{2.25 T t}{r^2}$$

donde:

T.- transmisividad (m²/seg)

Q.- caudal (m³/seg)

As.- pendiente de la recta (m/ciclo)

S.- coeficiente de almacenamiento

t.- valor del tiempo donde la recta intersecta al eje del mismo para $s = 0.0$ m (seg)

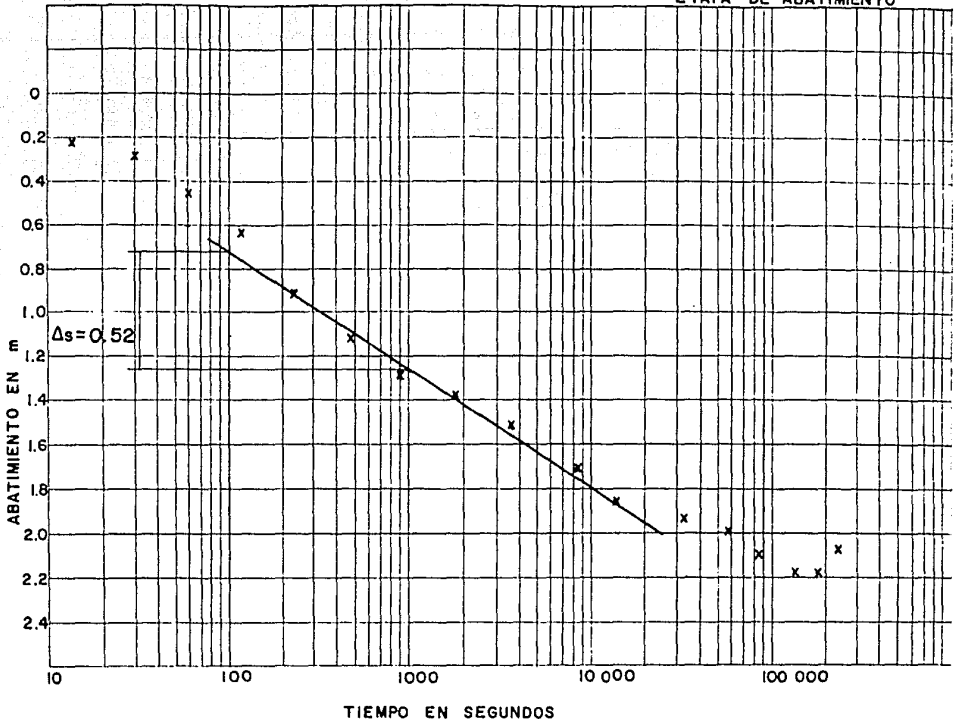
Para la interpretación de las pruebas en su etapa de recuperación se utilizó el método de recuperación de Theis, que sigue el mismo criterio del método anterior.

La interpretación y gráfica de las pruebas realizadas se muestran de la Figura 7.6 a la 7.23.

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA N 16 DE BOMBEO FECHA 13/06/1988 DURACION 72.0 hrs
 CAUDAL 30.0 l/s N.E. 2.16 m INICIO 7.22 hrs. PROF. 8.63 m

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	2.160	0.000
15	2.375	0.215
30	2.445	0.285
60	2.605	0.445
120	2.795	0.635
240	3.080	0.920
480	3.285	1.125
900	3.440	1.280
1800	3.540	1.380
3600	3.685	1.520
8400	3.870	1.710
14400	4.020	1.860
33600	4.080	1.920
57600	4.140	1.980
86400	4.275	2.110
129600	4.300	2.195
172800	4.300	2.195
216000	4.200	2.095
259200	4.200	2.095

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

$$T = \frac{0.183(0.03)}{0.52}$$

$$T = \frac{0.0055}{0.52}$$

$$T = 0.0106 \text{ m}^2/\text{s}$$

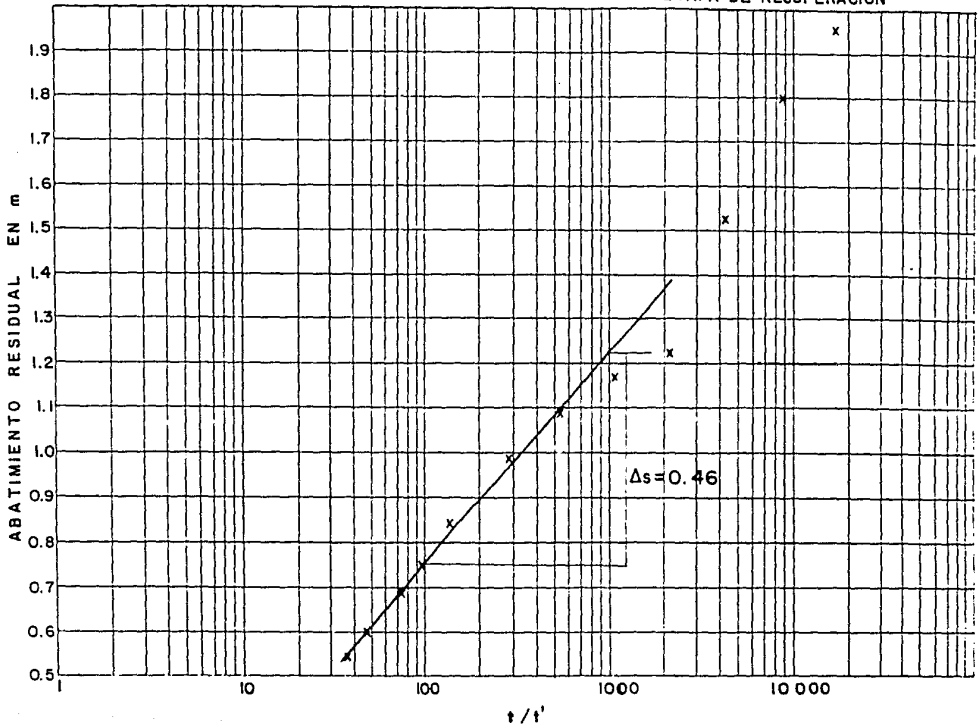
$$T = 10.6 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.6

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA N.16 DE BOMBEO FECHA 13/07/1988 DURACION 72.0 hrs
 CAUDAL 30.0 l/s N.E. 2.16 m INICIO 12:01 hrs. PROF. 8.63 m

ETAPÀ DE RECUPERACION



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento residual m	t/t'
00	4.380	-	-
15	4.115	1.955	17281
30	3.960	1.800	8641
60	3.690	1.530	4321
120	3.390	1.230	2161
240	3.330	1.170	1081
480	3.250	1.090	541
900	3.140	0.980	289
1800	3.020	0.860	145
2700	2.910	0.750	97
3600	2.855	0.695	73
5400	2.760	0.600	49
7200	2.690	0.530	37

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

$$T = \frac{0.183(0.03)}{0.46}$$

$$T = \frac{0.0055}{0.46}$$

$$T = 0.012 \text{ m}^2/\text{s}$$

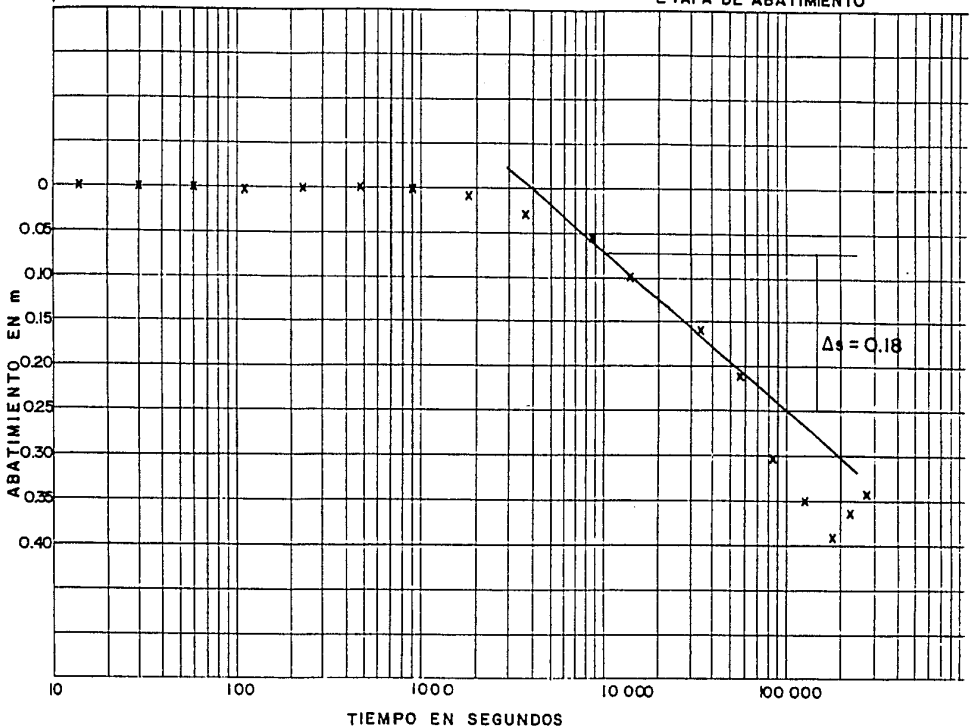
$$T = 12.0 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.7

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA NVG 52 DE OBSERVACION FECHA 13/07/1988 DURACION 72.0 hrs. r. 53.0 m
 CAUDAL 30.0 l/s N.E. 1.49 m. INICIO 7.22 hrs. PROF. 10.11 m

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	1.490	0.000
15	1.490	0.000
30	1.490	0.000
60	1.490	0.000
120	1.490	0.000
240	1.490	0.000
480	1.490	0.000
900	1.490	0.000
1800	1.505	0.015
3600	1.525	0.035
8400	1.545	0.055
14400	1.590	0.100
33600	1.655	0.165
57600	1.710	0.220
86400	1.795	0.305
129600	1.835	0.345
172800	1.875	0.385
216000	1.865	0.375
259200	1.830	0.340

$$T = \frac{0.183 Q}{As} \quad S = \frac{2.25 Tt}{r^2}$$

$$T = \frac{0.183(0.03)}{0.26} \quad S = \frac{2.25(0.0212)(5300)}{2809.0}$$

$$T = \frac{0.0055}{0.26} \quad S = \frac{252.26}{2809.0}$$

$$T = 0.0212 \text{ m}^2/\text{s} \quad S = 0.0898$$

$$T = 21.2 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

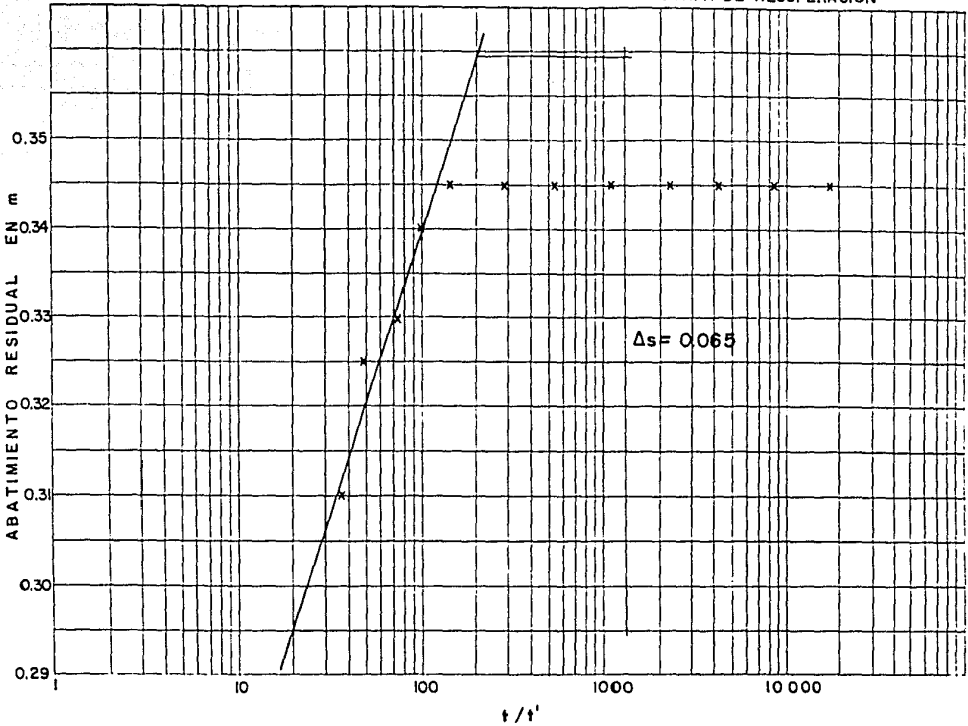
Figura 7.8

PRUEBA DE BOMBEO

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

OBRA NVG52 DE OBSERVACION FECHA 13/07/1988 DURACION 2.0 hrs. PROF. 10.11 m
 CAUDAL 30.0 l/s N.E. 1.49 m INICIO 12:01 hrs.

ETAPA DE RECUPERACION



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento residual m	t/t'
00	1.835	-	-
15	1.835	0.345	17281
30	1.835	0.345	8641
60	1.835	0.345	4321
120	1.835	0.345	2161
240	1.835	0.345	1081
480	1.835	0.345	541
900	1.835	0.345	289
1800	1.835	0.345	145
2700	1.830	0.340	97
3600	1.820	0.330	73
5400	1.815	0.325	49
7200	1.800	0.310	37

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

$$T = \frac{0.183(0.03)}{0.065}$$

$$T = \frac{0.0055}{0.065}$$

$$T = 0.0845 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 84.5 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

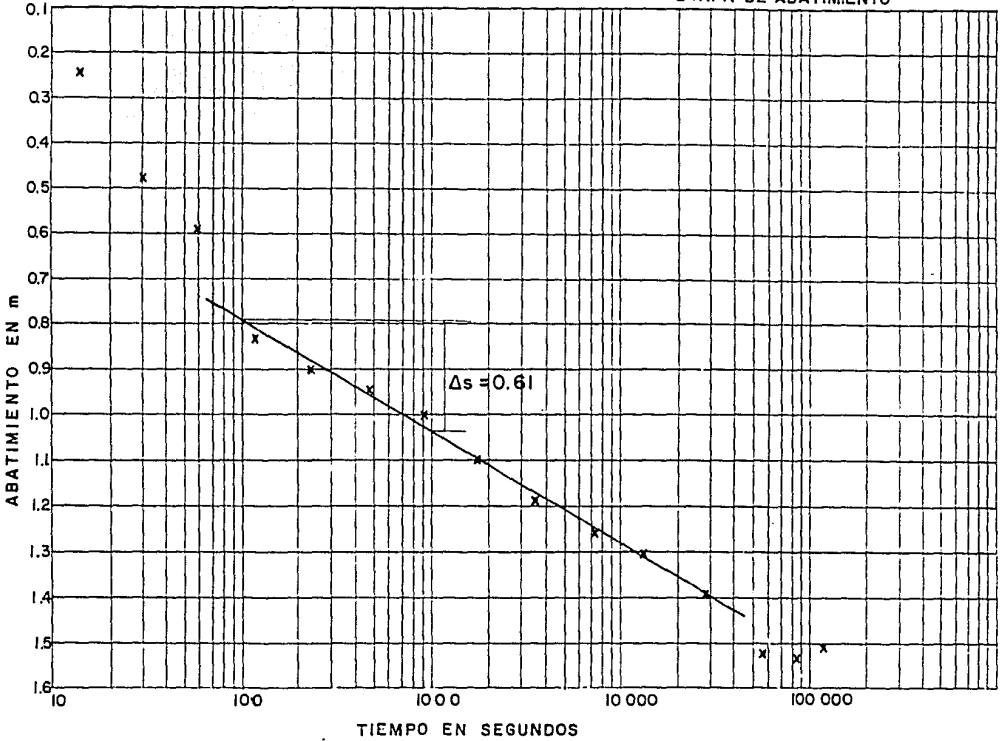
Figura 7.9

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA N 62 DE BOMBEO FECHA 13/07/1988 DURACION 36.0 hrs.

CAUDAL 20.0 l/s N.E. 6.83 m. INICIO 8:56 hrs. PROF 15.25 m.

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	6.830	0.000
15	7.070	0.240
30	7.310	0.480
60	7.420	0.590
120	7.665	0.835
240	7.730	0.900
480	7.770	0.940
900	7.835	1.005
1800	7.930	1.100
3600	8.020	1.190
7200	8.090	1.260
14400	8.140	1.310
28800	8.220	1.390
57600	8.350	1.520
86400	8.365	1.535
129600	8.345	1.515

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

$$T = \frac{0.183 (0.02)}{0.61}$$

$$T = \frac{0.0037}{0.61}$$

$$T = 0.0061 \text{ m}^2/\text{s}$$

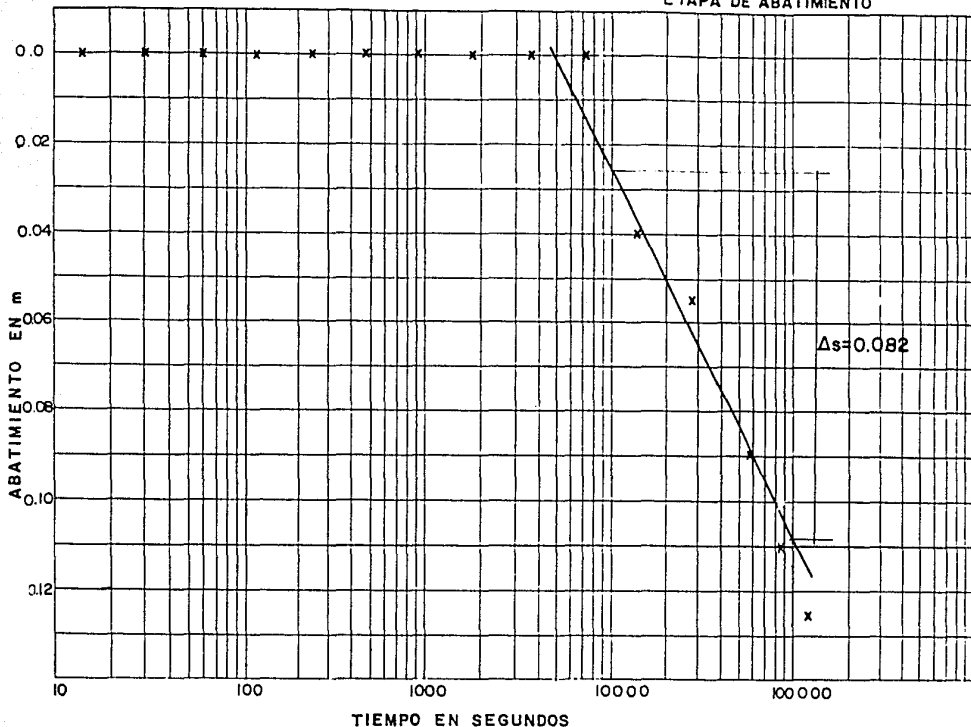
$$T = 6.1 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.10

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA N61 DE OBSERVACION FECHA 13/07/1988 DURACION 36.0 hrs. r 49.2 m
 CAUDAL 20.0 l/s N.E. 4.54 m. INICIO 8:56 hrs. PROF 5.0 m.

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	4.540	0.000
15	4.540	0.000
30	4.540	0.000
60	4.540	0.000
120	4.540	0.000
240	4.540	0.000
480	4.540	0.000
900	4.540	0.000
1800	4.540	0.000
3600	4.540	0.000
7200	4.540	0.000
14400	4.590	0.040
28800	4.605	0.055
57600	4.640	0.090
86400	4.660	0.110
129600	4.675	0.125

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s} \quad S = \frac{2.25 Tt}{r^2}$$

$$T = \frac{0.183(0.02)}{0.082} \quad S = \frac{2.25(0.0446)(4800)}{2420.64}$$

$$T = \frac{0.0037}{0.082} \quad S = \frac{481.68}{2420.64}$$

$$T = 0.0446 \text{ m}^2/\text{s} \quad S = 0.199$$

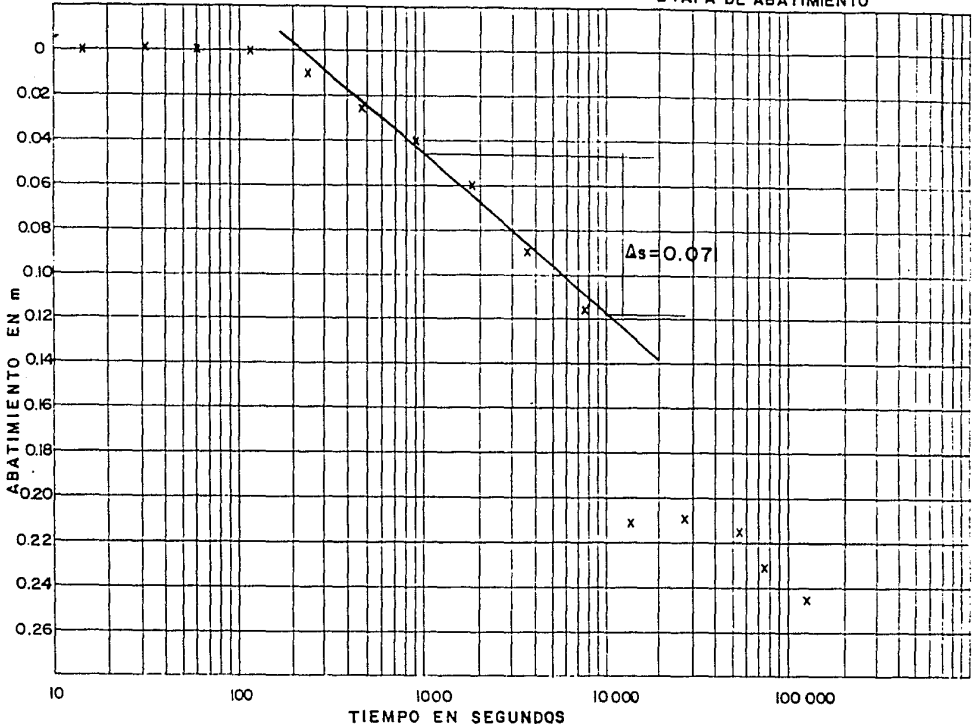
$$T = 44.6 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.11

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA N-87 DE OBSERVACION FECHA 13/07/88 DURACION 36 hrs. r 32.9 m
 CAUDAL 20.0 l/s N.E. 6.65 m. INICIO 8:56 hrs. PROF. m

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	6.650	0.000
15	6.650	0.000
30	6.650	0.000
60	6.650	0.000
120	6.650	0.000
240	6.660	0.010
480	6.675	0.025
900	6.690	0.040
1800	6.710	0.060
3600	6.740	0.090
7200	6.765	0.115
14400	6.860	0.210
28800	6.860	0.210
57600	6.865	0.215
86400	6.880	0.230
129600	6.895	0.245

$$T = \frac{0.183 Q}{As} \quad S = \frac{2.25 Tt}{r^2}$$

$$T = \frac{0.183(0.02)}{0.0710} \quad S = \frac{2.25(0.0521)(230)}{1082.41}$$

$$T = \frac{0.0037}{0.0710} \quad S = \frac{26.96}{1082.41}$$

$$T = 0.0521 \text{ m}^2/\text{s} \quad S = 0.0249$$

$$T = 52.1 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

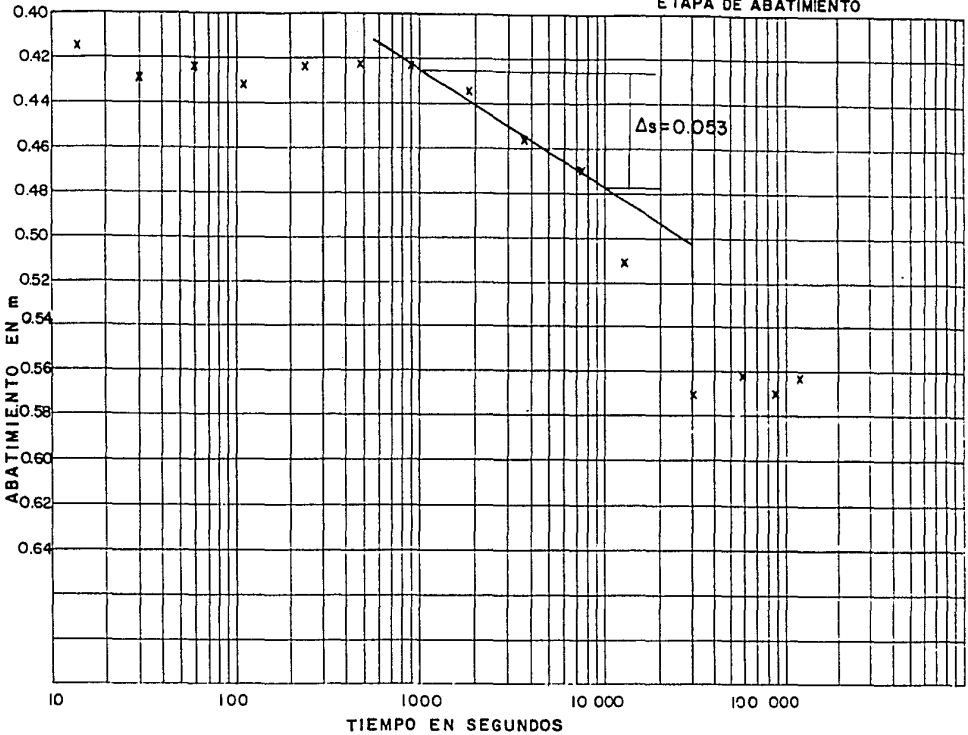
Figura 7.12

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA PVG14 DE BOMBEO FECHA 19/06/1988 DURACION 36.0 hrs.

CAUDAL 14.0 l/s N.E. 7.82 m. INICIO 8:00 hrs. PROF. m

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	7.820	0.000
15	8.235	0.415
30	8.250	0.430
60	8.210	0.426
120	8.290	0.434
240	8.170	0.422
480	8.170	0.422
900	8.170	0.422
1800	8.185	0.437
3600	8.205	0.457
7200	8.220	0.472
14400	8.260	0.512
28800	8.315	0.567
57600	8.310	0.562
88200	8.315	0.567
129600	8.310	0.562

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

$$T = \frac{0.183(0.014)}{0.053}$$

$$T = \frac{0.0026}{0.053}$$

$$T = 0.0491 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 49.1 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

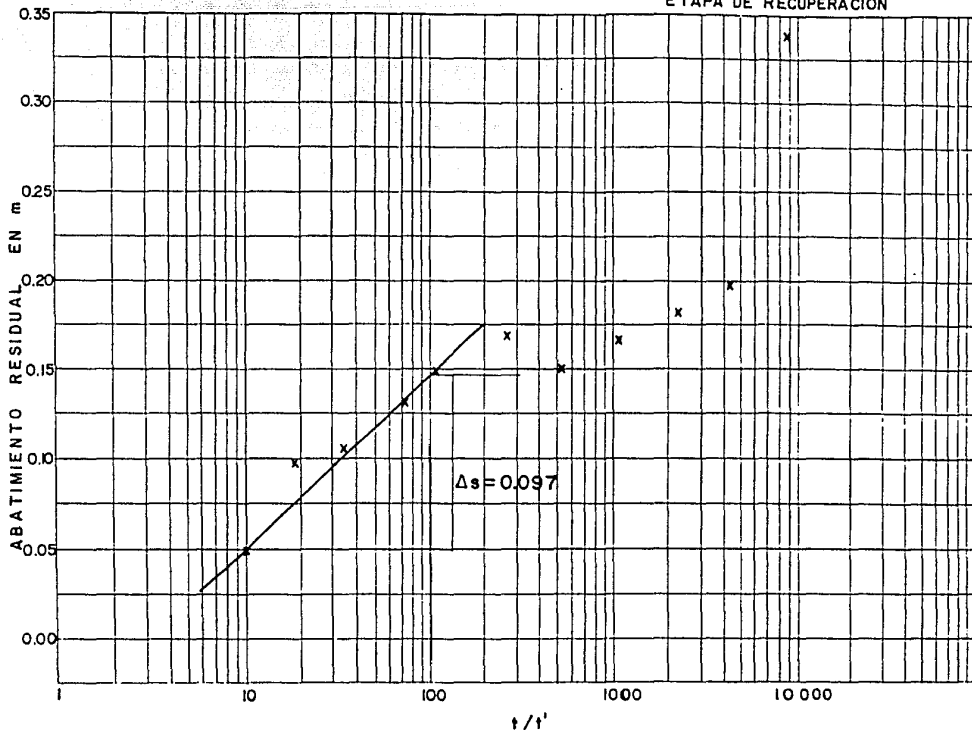
Figura 7.13

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA PVG14 DE BOMBEO FECHA 19/06/1988 DURACION 4.0 hrs

CAUDAL 14.0 l/s N.E. 7.82 m INICIO 20:05 hrs. PROF. m

ETAPA DE RECUPERACION



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento residual m	t/t'
00	8.310	-	-
15	8.160	0.340	8641
30	8.015	0.195	4321
60	8.000	0.180	2161
120	7.985	0.165	1081
240	7.970	0.150	541
480	7.985	0.165	271
900	7.970	0.150	145
1800	7.955	0.135	73
3600	7.930	0.110	37
7200	7.915	0.095	19
14400	7.875	0.055	10

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

$$T = \frac{0.183(0.014)}{0.097}$$

$$T = \frac{0.0026}{0.097}$$

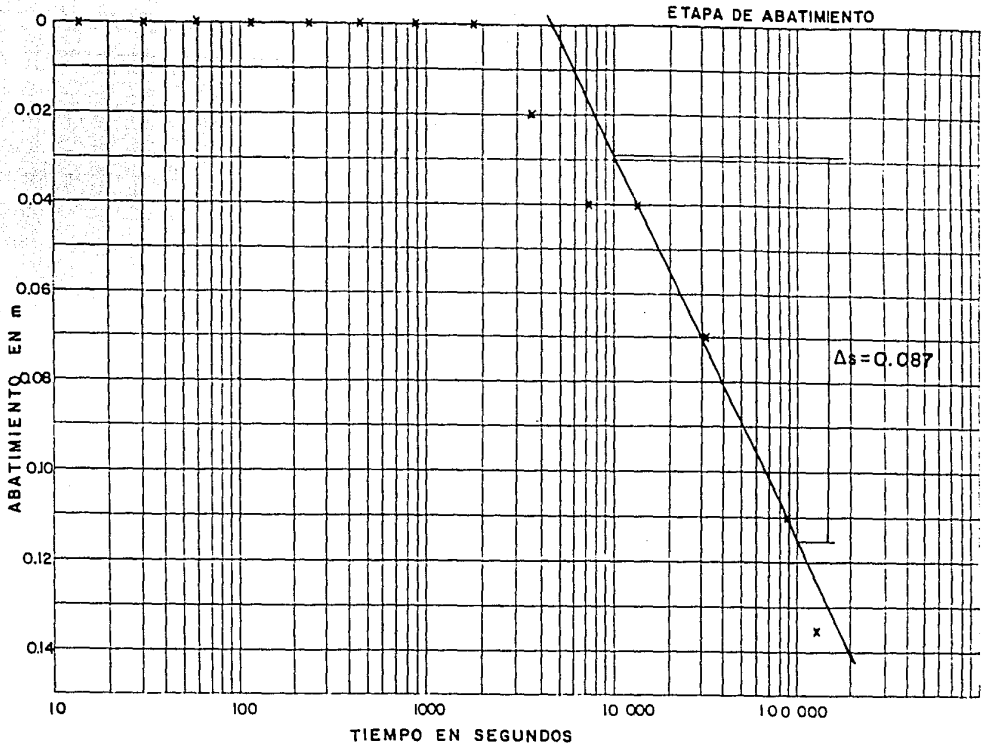
$$T = 0.0264 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 26.4 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.14

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA NVG 40 DE OBSERVACION _____ FECHA 14/06/1988 DURACION 36.0 hrs. r 67.1 m
 CAUDAL 14.0 l/s N.E. 8.28 m. INICIO _____ hrs. PROF 11.05 m



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	8.280	0.000
15	8.280	0.000
30	8.280	0.000
60	8.280	0.000
120	8.280	0.000
240	8.280	0.000
480	8.280	0.000
900	8.280	0.000
1800	8.280	0.000
3600	8.300	0.020
7200	8.320	0.040
14400	8.320	0.040
30720	8.350	0.070
88200	8.390	0.110
129600	8.415	0.135

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s} \quad S = \frac{2.25 Tt}{r^2}$$

$$T = \frac{0.183(0.014)}{0.087} \quad S = \frac{2.25(0.0299)(4600)}{4502.41}$$

$$T = \frac{0.0026}{0.087} \quad S = \frac{309.46}{4502.41}$$

$$T = 0.0299 \text{ m}^2/\text{s} \quad S = 0.0687$$

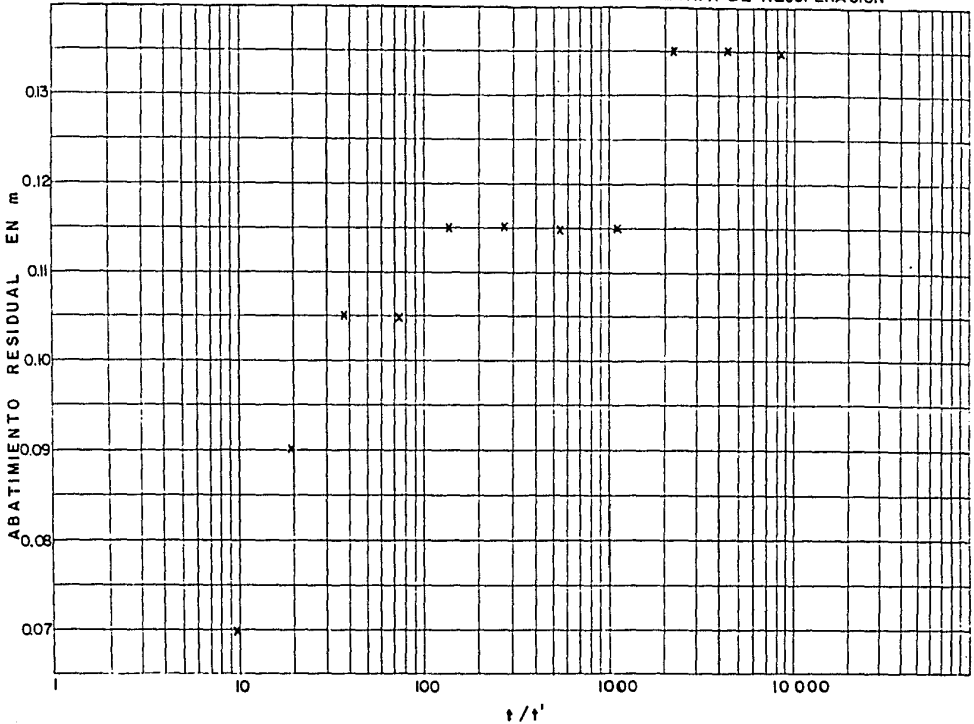
$$T = 29.9 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.15

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA NVG40 DE OBSERVACION FECHA 14/06/988 DURACION 4.0 hrs r. 67.1 m
 CAUDAL 14.0 l/s N.E. 8.28 m INICIO 20:05 hrs. PROF. 11.05 m

ETAPA DE RECUPERACION



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento residual m	t/t'
00	8.415	-	-
15	8.415	0.135	8641
30	8.415	0.135	4321
60	8.415	0.135	2161
120	8.395	0.115	1081
240	8.395	0.115	541
480	8.395	0.115	271
900	8.395	0.115	145
1800	8.385	0.105	73
3600	8.385	0.105	37
7200	8.370	0.090	19
14400	8.350	0.070	10

NO INTERPRETABLE

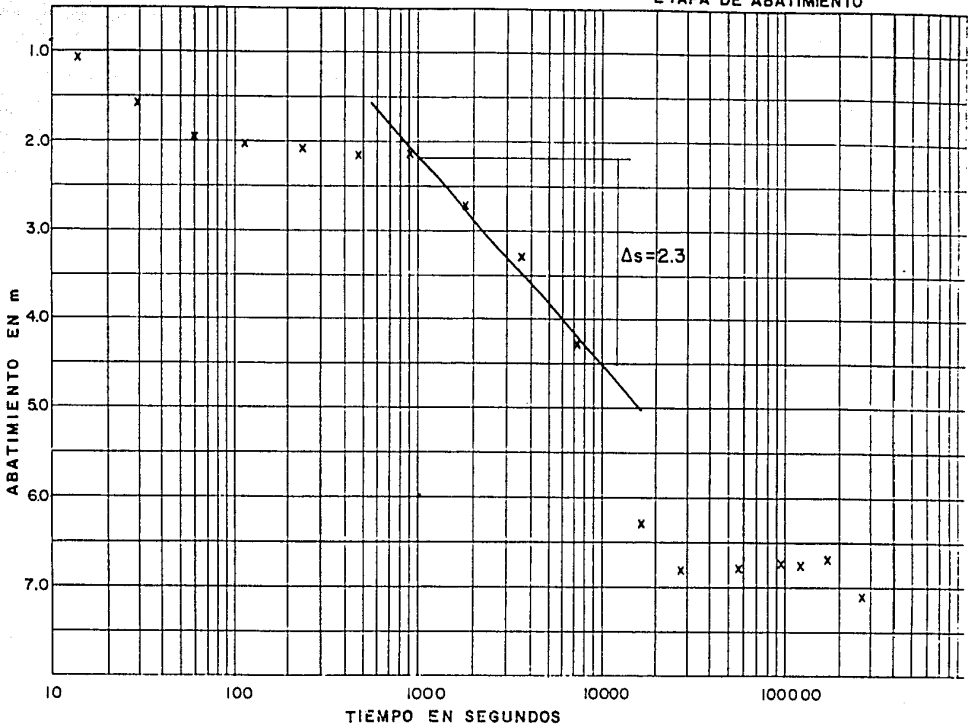
Figura 7.16

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA PVG-II DE BOMBEO - FECHA 07/06/1988 DURACION 72.0 hrs.

CAUDAL 21.0 l/s N.E. 3.42 m. INICIO 10:24 hrs. PROF. m.

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	3.420	0.000
15	4.500	1.080
30	4.950	1.530
60	5.312	1.892
120	5.475	2.055
240	5.580	2.160
480	5.550	2.130
900	5.550	2.130
1800	6.130	2.710
3600	6.710	3.290
7200	7.740	4.320
16800	9.995	6.575
28800	10.165	6.745
58740	10.145	6.725
97200	10.115	6.695
129600	10.120	6.700
180000	10.105	6.685
259200	10.570	7.150

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

$$T = \frac{0.183 (0.021)}{2.30}$$

$$T = \frac{0.0038}{2.30}$$

$$T = 0.0017 \text{ m}^2/\text{s}$$

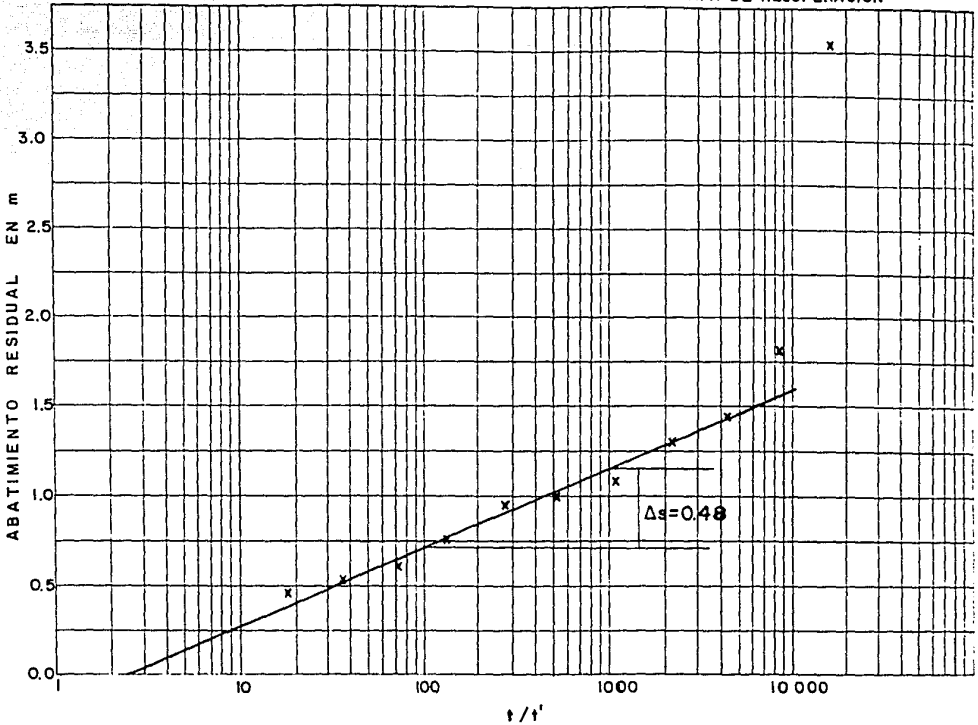
$$T = 1.7 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.17

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA PVGII DE BOMBEO FECHA 07/06/1988 DURACION 4.0 hrs
 CAUDAL 21.0 l/s N.E. 3.42 m INICIO 12.58 hrs. PROF. _____ m.

ETAPA DE RECUPERACION



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento residual m	t/t'
00	10.57	-	-
15	6.93	3.51	17281
30	5.22	1.8	8641
60	4.81	1.39	4321
120	4.55	1.13	2161
240	4.54	1.12	1081
480	4.42	1.00	541
900	4.32	0.90	289
1800	4.18	0.76	145
3600	4.06	0.64	73
7200	3.96	0.54	37
14400	3.87	0.45	19

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

$$T = \frac{0.183(0.021)}{0.48}$$

$$T = \frac{0.0038}{0.48}$$

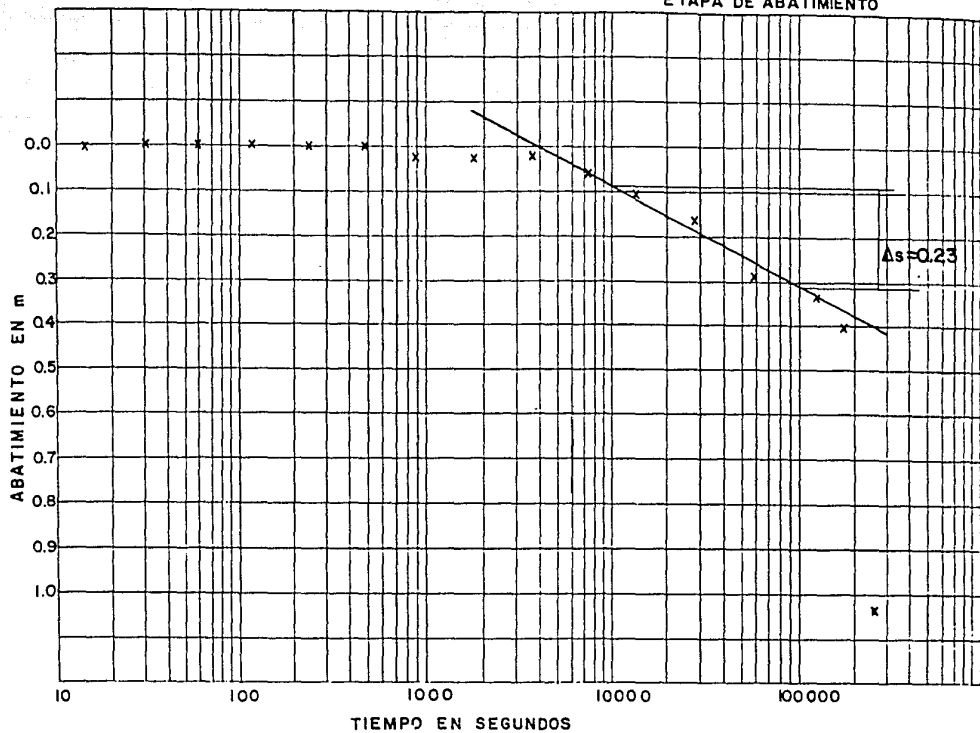
$$T = 0.008 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 8.0 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.18

OBRA N48 DE OBSERVACION FECHA 07/06/1988 DURACION 72.0 hrs. r 30.45 m
 CAUDAL 21.0 l/s N.E. 4.86 m. INICIO 10:24 hrs. PROF. 9.05 m

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	4.860	0.000
15	4.860	0.000
30	4.860	0.000
60	4.860	0.000
120	4.860	0.000
240	4.860	0.000
480	4.860	0.000
900	4.885	0.025
1800	4.885	0.025
3600	4.885	0.025
7200	4.925	0.065
14400	4.965	0.105
28800	5.030	0.175
58740	5.140	0.285
97200	5.175	0.320
129600	5.190	0.335
180000	5.260	0.405
259200	5.900	1.045

$$T = \frac{0.183 Q}{As} \quad S = \frac{2.25 Tt}{r^2}$$

$$T = \frac{0.183(0.021)}{0.23} \quad S = \frac{2.25(0.0167)(3900)}{927.2}$$

$$T = \frac{0.0038}{0.23} \quad S = \frac{146.5425}{927.2}$$

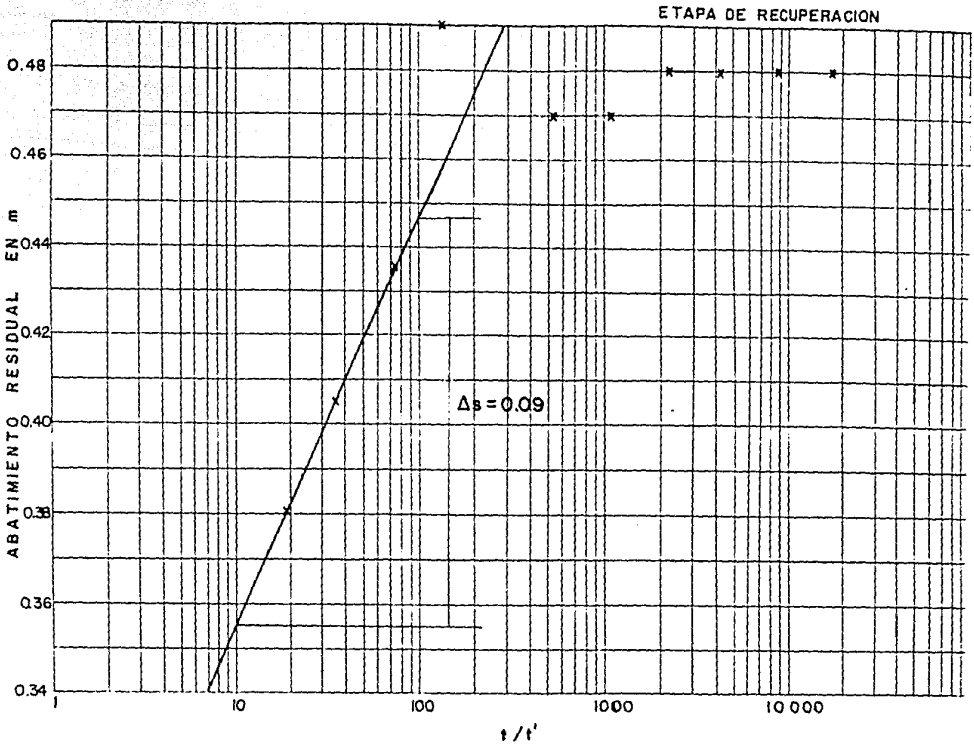
$$T = 0.0167 \text{ m}^2/\text{s} \quad S = 0.158$$

$$T = 16.7 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.19

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA N48 DE OBSERVACION FECHA 07/06/1988 DURACION 4.0 hrs r 30.45 m
 CAUDAL 21.0 l/s N.E. 4.86 m INICIO 12:56 hrs. PROF 9.05 m



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento residual m	t/t'
00	5.340	-	-
15	5.340	0.480	17281
30	5.340	0.480	8641
60	5.340	0.480	4321
120	5.340	0.480	2161
240	5.330	0.470	1081
480	5.330	0.470	541
900	5.330	0.470	289
1800	5.310	0.490	145
3600	5.295	0.435	73
7200	5.265	0.405	37
14400	5.240	0.380	19

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

$$T = \frac{0.183(0.021)}{0.09}$$

$$T = \frac{0.0038}{0.09}$$

$$T = 0.0427 \text{ m}^2/\text{s}$$

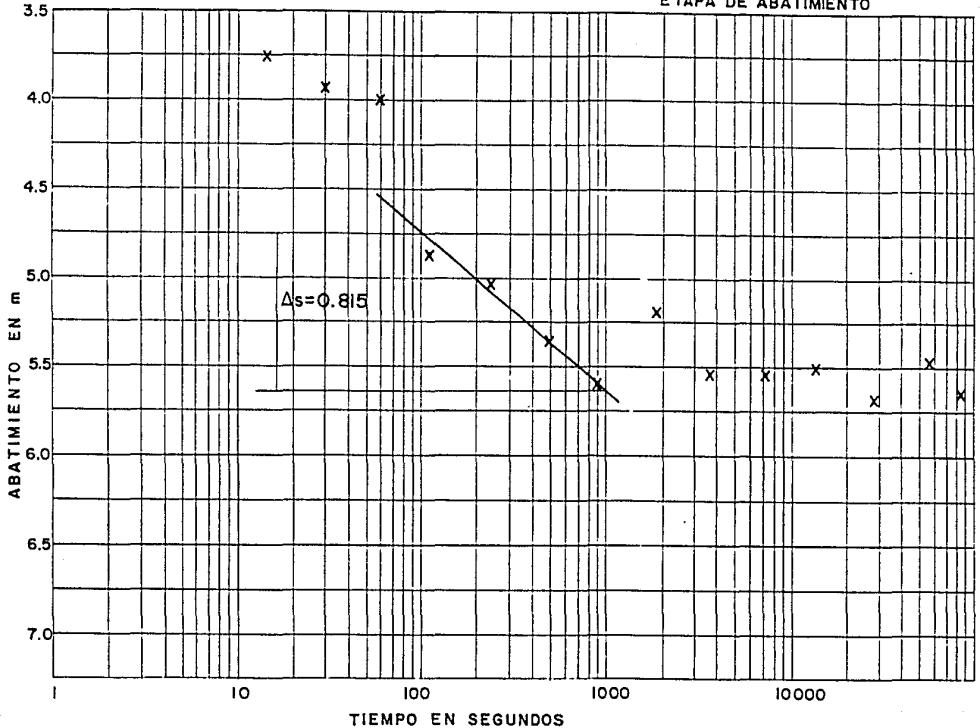
$$T = 42.7 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 7.20

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA P57 DE BOMBEO FECHA 21/05/1988 DURACION 24.0 hrs.
 CAUDAL 27.0 l/s N.E. 4.08 m. INICIO 13:00 hrs. PROF. 30.5 m

ETAPA DE ABATIMIENTO



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m
00	4.08	0.00
15	7.83	3.75
30	7.98	3.90
60	8.12	4.04
120	8.95	4.87
240	9.16	5.08
480	9.45	5.37
900	9.68	5.60
1800	9.27	5.19
3600	9.64	5.56
7200	9.69	5.61
14400	9.58	5.50
28800	9.76	5.68
57600	9.57	5.49
86400	9.74	5.66

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

$$T = \frac{0.183(0.027)}{0.815}$$

$$T = \frac{0.0049}{0.815}$$

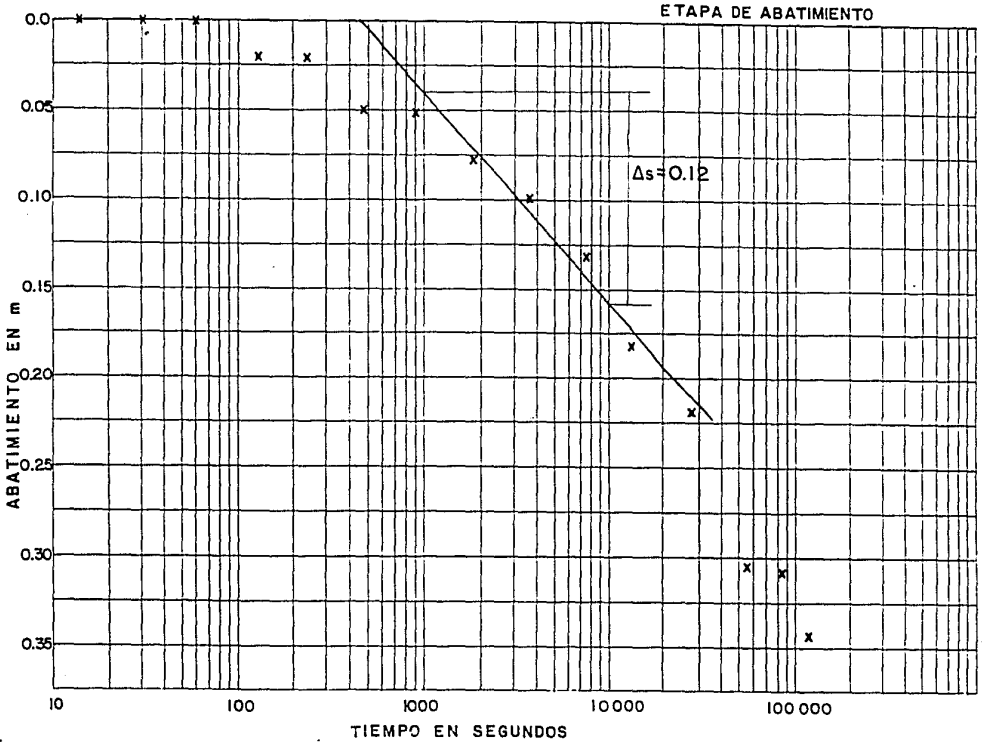
$$T = 0.0061 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 6.1 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{S}$$

Figuro 7.21

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA P58 DE OBSERVACION FECHA 21/05/1988 DURACION 36.0 hrs. r 69.46 m
 CAUDAL 27.0 l/s N.E. 4.5 m. INICIO 13:00 hrs. PROF 30.5 m



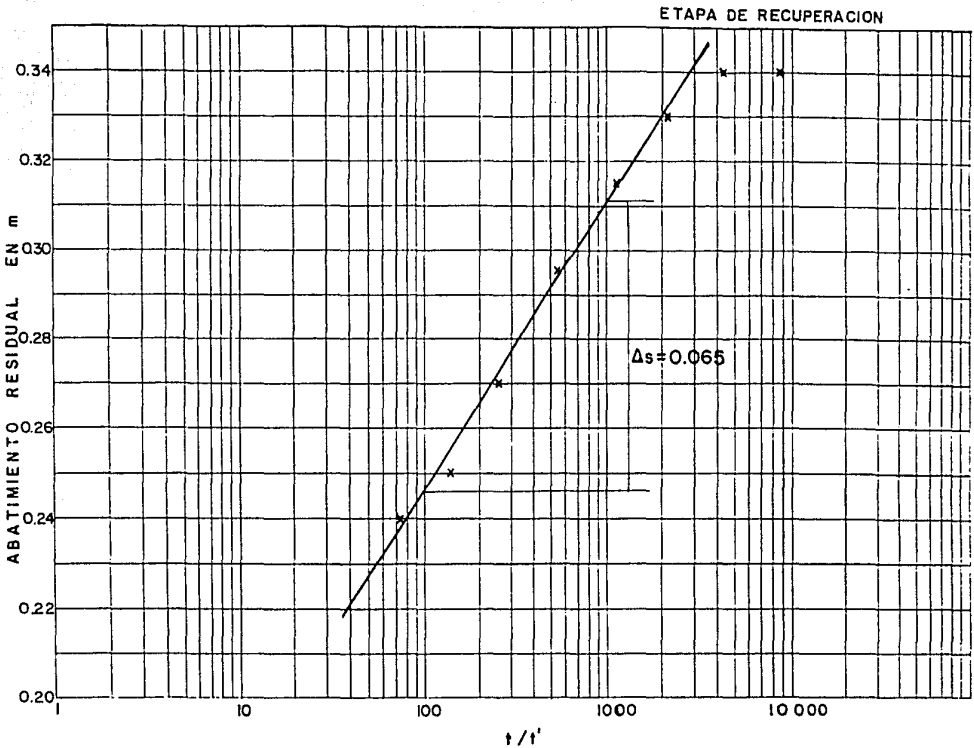
Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento m	$T = \frac{0.183 Q}{As}$	$S = \frac{2.25 Tt}{r^2}$
00	4.500	0.000		
15	4.500	0.000		
30	4.500	0.000		
60	4.500	0.000		
120	4.520	0.020	$T = \frac{0.183(0.027)}{0.12}$	$S = \frac{2.25(0.0412)(470)}{8824.69}$
240	4.520	0.020		
480	4.550	0.050		
900	4.555	0.055	$T = \frac{0.0049}{0.12}$	$S = \frac{43.569}{8824.69}$
1800	4.580	0.080		
3600	4.600	0.100		
7200	4.630	0.130		
14400	4.680	0.180	$T = 0.0412 \text{ m}^2/\text{s}$	$S = 0.009$
28800	4.720	0.220		
57600	4.810	0.310		
86400	4.815	0.315	$T = 41.2 \times 10E-3 \text{ m}^2/\text{s}$	
129600	4.840	0.340		

Figura 7.22

PRUEBA DE BOMBEO

OBRA P58 DE OBSERVACION FECHA 21/05/1988 DURACION 0.5 hrs r 69.46 m

CAUDAL 27.0 l/s N.E. 4.5 m INICIO 1.09 hrs. PROF. 30.5 m



Tiempo acumulado seg	Prof. al nivel del agua m	Abatimiento residual m	t/t'
00	4.840	-	-
15	4.840	0.340	8641
30	4.840	0.340	4321
60	4.830	0.330	2161
120	4.185	0.315	1081
240	4.795	0.295	541
480	4.770	0.270	271
900	4.750	0.250	145
1800	4.740	0.240	73

$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s}$
$T = \frac{0.183(0.027)}{0.065}$
$T = \frac{0.0049}{0.065}$
$T = 0.076 \text{ m}^2/\text{s}$
$T = 76.0 \times 10E-3\text{m}^2/\text{s}$

Figura 7.23

El coeficiente de transmisividad se determinó tanto en los pozos de bombeo como en los de observación en ambas etapas, de igual forma se calculó el coeficiente de almacenamiento en los pozos de observación.

En la Tabla 7.2 se presenta un resumen de la interpretación de las pruebas de bombeo, en la que se puede observar que el intervalo de valores de transmisividad calculados varía de 1.7 a 84.5 ($\times 10E-3$ m²/seg) y el coeficiente de almacenamiento se encuentra entre 0.009 hasta 0.199.

La mayoría de las pruebas se realizaron en sitios cercanos al cauce actual del arroyo (a excepción de la N-16), y en general se puede decir que se encontraron buenos valores de transmisividad. Debido a la magnitud de los rangos obtenidos en cada etapa no se clasificó en zonas de baja o alta transmisividad. Lo mismo ocurre con el coeficiente de almacenamiento; en alguna etapa se registran valores que no son característicos de los materiales de relleno detectados en el valle y en otra etapa valores adecuados a los mismos. Por lo tanto se consideraron los valores de T en función del valor respectivo de S que expresara la magnitud más cercana a las características de dicho material.

Entre los efectos observados en las pruebas se tiene que la estabilización del nivel en los pozos de bombeo ocurrió en aproximadamente 15 minutos en el P58, 8 horas en los pozos PVG11 y PVG14, y 16 horas en las norias N16 y N62.

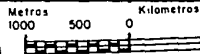
En general en los pozos de observación continúa el abatimiento mucho tiempo después del tiempo de estabilización del pozo de bombeo, sin observarse en muchos casos estabilización en toda la prueba. (N61, NVG40, N48 y P58).

Asimismo se manifiestan variaciones del nivel dinámico durante las dos etapas de la prueba, lo que indica la presencia de fronteras laterales como puede observarse en las obras: NVG40, PVG11 y N48.

7.5.- Volumen de extracción.

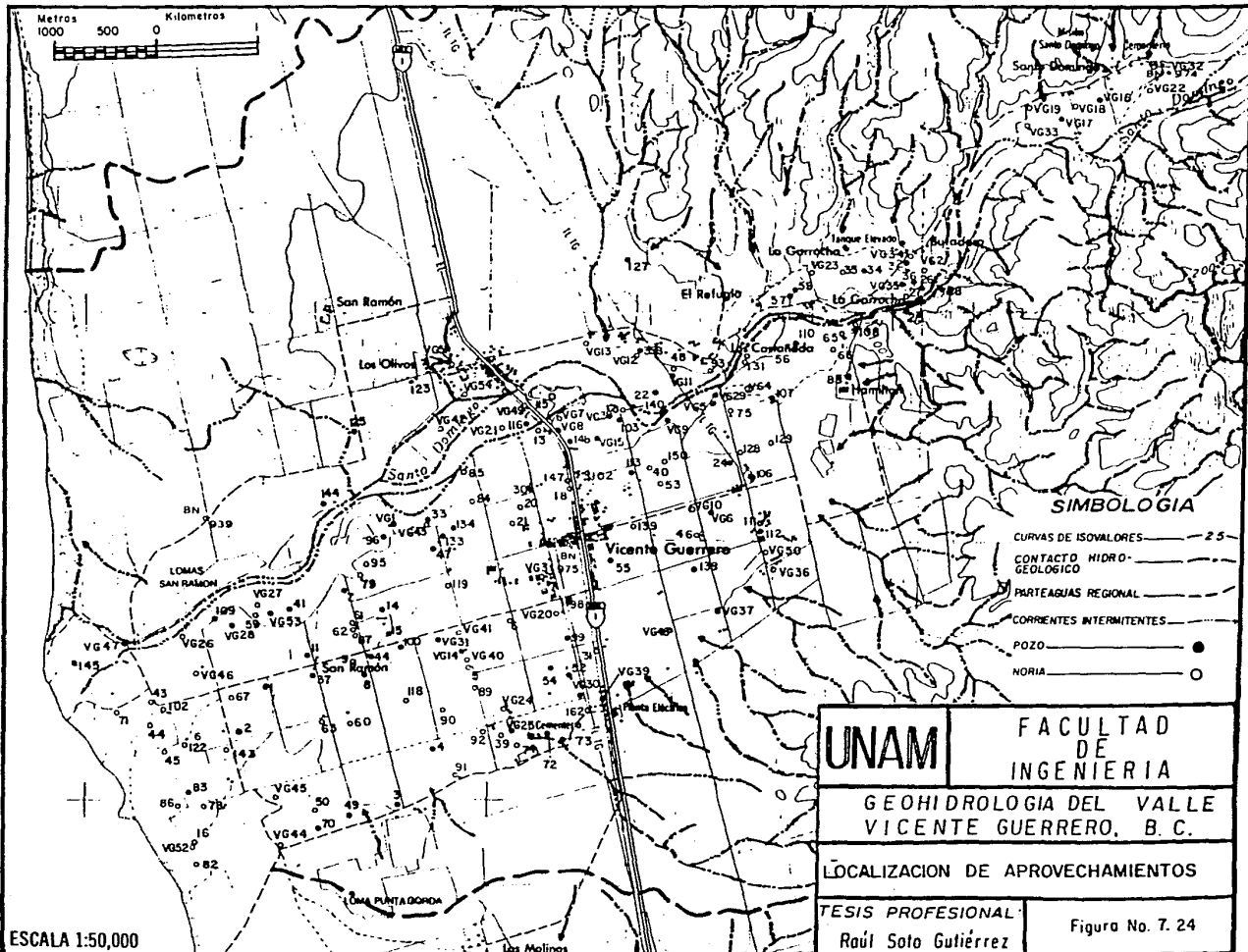
Para determinar el volumen de extracción en el valle se efectuó la medición de caudales en la totalidad de obras activas. Al carecer de un censo de aprovechamientos, la localización de las obras se efectuó por diversos recorridos a través del valle, desde la zona costera hasta la Misión Santo Domingo. Figura 7.24. En cada obra se evaluó: caudal, tiempo de operación, superficie de riego y número de cosechas al año, para posteriormente evaluar un volumen de extracción anual con los dos primeros parámetros y otro con los restantes. Los volúmenes obtenidos se compararon y se promediaron cuando eran muy similares o se consideró el que fuera más representativo si éstos eran muy dispares. De esta forma se construyó la Tabla 7.3, en donde se muestra el volumen de extracción anual en cada obra ajustado a un tiempo de operación mensual con 24 horas de bombeo, arrojando un total de 28.8 millones de metros cúbicos al año.

A ENSEÑADA 116°00'



30°45'

30°45'



ESCALA 1:50,000

116°00'

A EL ROSARIO

Tabla 7.3
 HIDROMETRIA EN EL VALLE VICENTE GUERRERO, B.C. 1/3 1988

OBRA NUM.	CAUDAL LPS	MESES AL AÑO DE OPERACION CON 24 Hr.AL DIA.	VOLUMEN DE EX- TRACCION ANUAL EN MILES DE m3	USO
P-1	12.0*	1.3	31.104	R
P-2	28.0	4.5	326.592	R
P-3	10.0	8.0	207.36	R
P-4	10.0	8.0	207.36	R
P-7	18.3	3.3	156.530	R
P-8	21.6	3.0	167.961	R
P-11	5.3	1.3	17.858	R
P-14	14.8	2.5	95.904	R
P-15	18.7	2.5	121.176	R
N-16	35.0	4.0	362.880	R
N-20	15.0	6.5	116.640	R
N-21	7.0*	0.6	12.096	R
P-22	40.0	10.0	1,036.8	R
P-24	10.0	1.0	25.920	R
P-25	40.0	10.0	1,036.8	R
P-26	26.0	10.0	673.920	R
N-27	17.5	9.0	408.240	R
P-28	20.0	10.0	518.400	R
P-30	12.0	2.5	77.760	R
P-32	42.5	6.0	660.960	R
P-33	5.0	7.0	84.240	ID
P-34	17.5*	6.0	272.160	R
N-35	15.0	6.0	233.280	R
P-35B	37.5	6.0	544.320	R
P-36	32.0	10.0	829.440	R
P-37	21.0	3.5	190.512	R
N-40	1.4	1.0	3.628	D
P-41	15.5	4.0	160.704	R
N-44	39.0	12.0	1,213.056	R
N-45	52.0	12.0	1,617.408	R
P-47	15.3	3.75	148.716	R
P-49	25.0	10.5	680.400	R
N-50	20.0	10.5	544.320	R
N-53	3.0	3.3	25.660	IDAR
N-56	12.5	1.5	48.600	R
P-57	31.0	6.0	482.112	R
P-58	8.0	2.5	51.840	R
N-59	18.0	4.0	186.624	R
N-60	14.0	2.0	72.576	R
N-62	20.6	5.0	266.976	R
N-65	8.0	2.0	41.472	R
N-67	11.5	3.0	89.424	R
P-70	20.0	10.0	518.4	R
P-71	35.0	4.0	272.16	R
P-72	----	----	-----	-
P-73	5.0	2.0	25.920	R

Tabla 7.3
 HIDROMETRIA EN EL VALLE VICENTE GUERRERO, B.C. 2/3 1988

OBRA NUM.	CAUDAL LPS	MESES AL AÑO DE OPERACION CON 24 Hr.AL DIA.	VOLUMEN DE EX- TRACCION ANUAL EN MILES DE m3	USO
N-75	12.1			DR
N-78	9.5	2.5	61.560	R
N-79	6.2	3.7	59.460	R
P-83	45.0	4.0	466.56	R
N-85	4.5	0.75	8.748	RD
N-87	8.2	1.0	21.254	DR
N-91	7.0	2.25	40.820	RA
N-93	22.0	4.0	228.096	R
P-94	10.0	3.0	77.760	R
P-98	3.3	10.0	85.536	D
P-99	7.0	3.0	54.432	R
P-100	27.0	2.0	139.968	R
P-101	18.3	3.0	142.3	R
N-102	12.9	5.0	167.184	IR
P-103	28.5	5.0	369.360	R
P-106	12.7	4.5	148.132	R
P-107	1.0	5.5	14.256	R
P-109	15.5	4.0	160.704	R
P-110	25.0	8.0	518.4	R
P-112	1.3	0.05	0.168	D
P-113	18.5	2.0	95.904	R
N-115	35.0	11.0	997.920	R
P-116	35.0	11.0	997.920	R
N-118	4.0	0.75	7.776	
N-119	6.0	2.5	38.880	R
N-122	25.0	8.0	518.4	R
P-123	----	----	-----	R
P-124	----	----	-----	R
P-125	----	----	-----	R
P-126	----	----	-----	R
P-127	----	----	-----	R
N-119	17.5	8.0	362.880	R
N-131	6.1	1.0	15.811	R
P-138	2.5	3.5	22.680	R
N-139	5.8	1.0	15.033	RD
P-145	17.5	5.0	226.800	R
N-147	3.3	10.0	85.536	D
P-148	16.0	2.6	107.827	R
N-162	10.0	4.0	103.680	R
PVG-1	10.0	2.0	155.52	R
NVG-2	48.0	8.0	995.328	R
NVG-3	5.0	6.0	87.091	R
NVG-4	18.3	1.0	47.433	R
PVG-5	10.0	3.0	77.760	R
PVG-6	10.6	3.0	82.425	R
NVG-7	2.8	1.5	10.886	R
PVG-8	7.5	12.0	236.280	D

Tabla 7.3
 HIDROMETRIA EN EL VALLE VICENTE GUERRERO, B.C. 3/3 1988

OBRA NUM.	CAUDAL LPS	MESES AL AÑO DE OPERACION CON 24 Hr.AL DIA.	VOLUMEN DE EX- TRACCION ANUAL EN MILES DE m3	USO
PVG-9	12.0	10.5	326.592	R
PVG-10	10.0	10.5	272.160	R
PVG-11	27.5	11.0	784.080	R
NVG-12	13.0	2.5	84.240	R
NVG-13	9.6	2.5	62.208	R
PVG-14	15.3	8.0	317.260	R
PVG-15	17.5	3.5	158.760	R
PVG-16	22.0	6.0	342.144	R
PVG-17	35.5	3.5	322.056	R
NVG-18	---	---	---	-
NVG-19	15.0	1.0	38.880	RD
NVG-20	4.2	1.0	10.886	RD
NVG-21	8.0	1.5	31.104	R
NVG-22	4.7	1.0	12.182	R
NVG-23	4.0	1.5	-----	R
NVG-24	20.0	5.0	259.200	R
PVG-25	6.0	2.5	38.880	R
PVG-26	22.0	6.0	342.144	R
NVG-27	15.5	4.0	160.704	R
PVG-28	31.0	2.0	160.704	R
PVG-29	25.0	2.0	129.600	R
PVG-30	2.0	3.5	18.114	R
PVG-31	13.0	3.5	117.936	R
PVG-53	7.6	1.0	19.699	R
VOL. TOTAL			28,851.804	

*INFORMACION VERBAL

- R.- AGRICOLA
- D.- DOMESTICO
- I.- INDUSTRIA
- A.- ABREVADERO

Cabe hacer mención de que el principal uso del agua es para fines agrícolas y por su posición con respecto a los valles de Camalú al norte y San Quintín hacia el sur, y por las condiciones de sobreexplotación actual de los mismos, este valle se ha utilizado para exportar agua hacia ellos provocando un fuerte incremento en su volumen de explotación.

Parte de los usuarios informaron que en los meses de estiaje disminuye considerablemente el caudal en la mayoría de las obras, incluso algunas llegan a secarse. Por lo tanto el volumen obtenido puede ser mayor al real. Sin embargo, hasta el mes de agosto no se observaron obras que presentaran tal efecto, además se debe considerar que los años anteriores al presente estudio y el mismo año en que se efectuó presentaron lluvias importantes por arriba de la media, por lo que se puede considerar que el volumen explotado es aproximadamente el 80% del calculado.

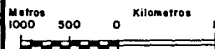
7.6.- Modelo hidrológico conceptual.

De acuerdo al análisis que se realizó en el área, se tiene que la única alimentación de agua que recibe el acuífero, es a través de la precipitación pluvial, que es captada en las porciones altas, y que origina escurrimientos intermitentes, los cuales parcialmente drenan hasta descargar al Océano Pacífico y parcialmente se infiltran, saturando al sistema acuífero tanto superficial como subterráneamente. De menor importancia se considera la recarga originada por la precipitación en la zona del valle.

La principal descarga ocurre por medio de la extracción de agua subterránea a través de los diversos aprovechamientos construídos en el valle, así como por el drenaje subterráneo que fluye hacia el Océano Pacífico. Otro parámetro en la salida de agua del sistema es el escurrimiento superficial sobre el arroyo, el cual ocurre principalmente en las épocas de lluvia y cuyo destino final es el mar, y el cual nunca se ha cuantificado. Las pérdidas por evapotranspiración en las zonas en las que la profundidad del agua es menor a 2-3 m, no se consideran de importancia, debido a que normalmente se presentan en el límite de la zona costera.

En los años con lluvias superiores a la media, la variación positiva del almacenamiento subterráneo en el acuífero ocurre anualmente, inmediata a los meses en que ocurre la precipitación, lo cual se ha verificado durante los últimos 10 años. Las variaciones negativas ocurren de la misma manera, principalmente en los meses próximos anteriores a la temporada de lluvias. Cuando los estiajes son largos la variación negativa ocurre por períodos prolongados.

A ENSENADA 116 00'

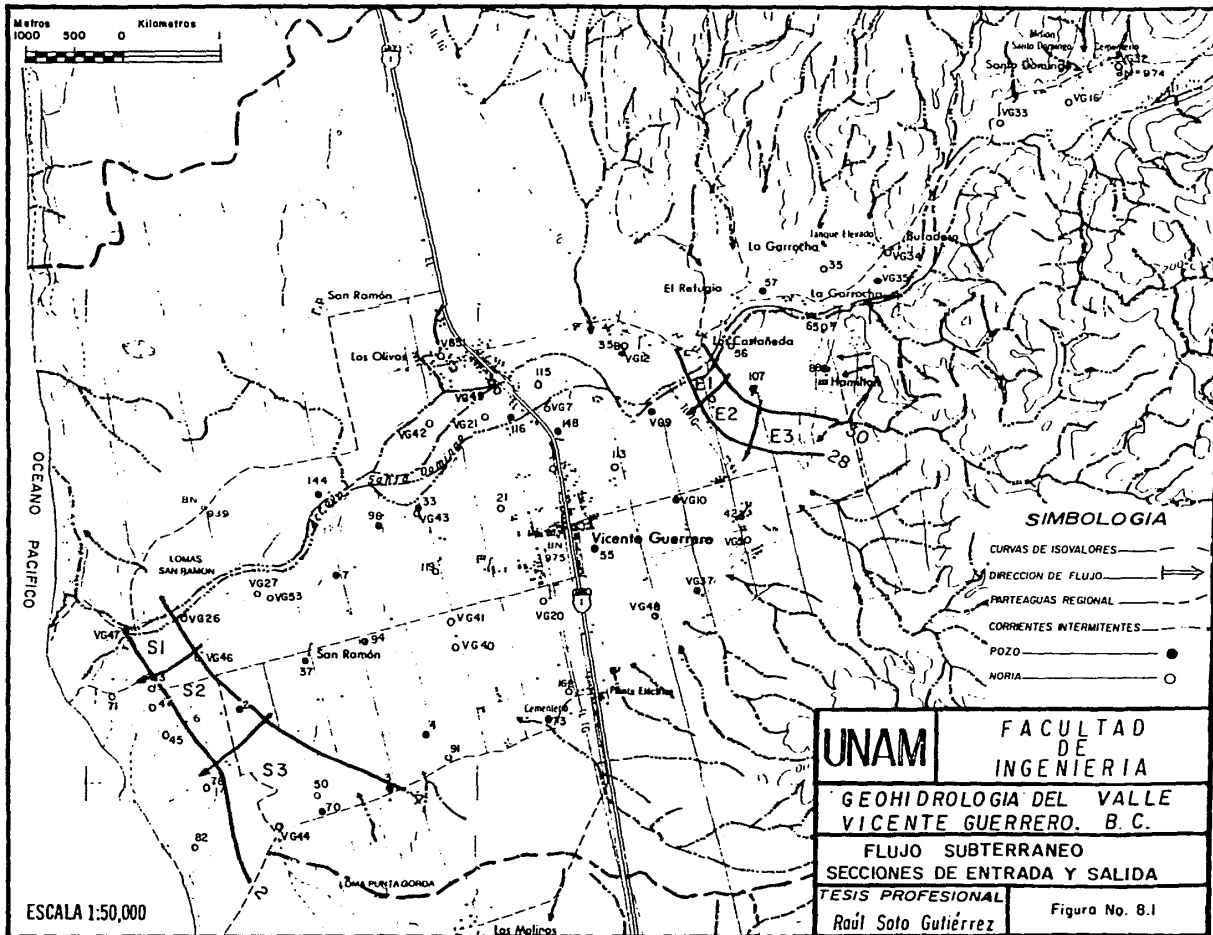


30°45'

30°45'

30°43'

OCEANO PACIFICO



SIMBOLOGIA

- CURVAS DE ISOVALORES
- DIRECCION DE FLUJO
- PARTEAGUAS REGIONAL
- CORRIENTES INTERMITENTES
- POZO
- NORIA

UNAM

FACULTAD
DE
INGENIERIA

GEOHIDROLOGIA DEL VALLE
VICENTE GUERRERO. B. C.

FLUJO SUBTERRANEO
SECCIONES DE ENTRADA Y SALIDA

TESIS PROFESIONAL

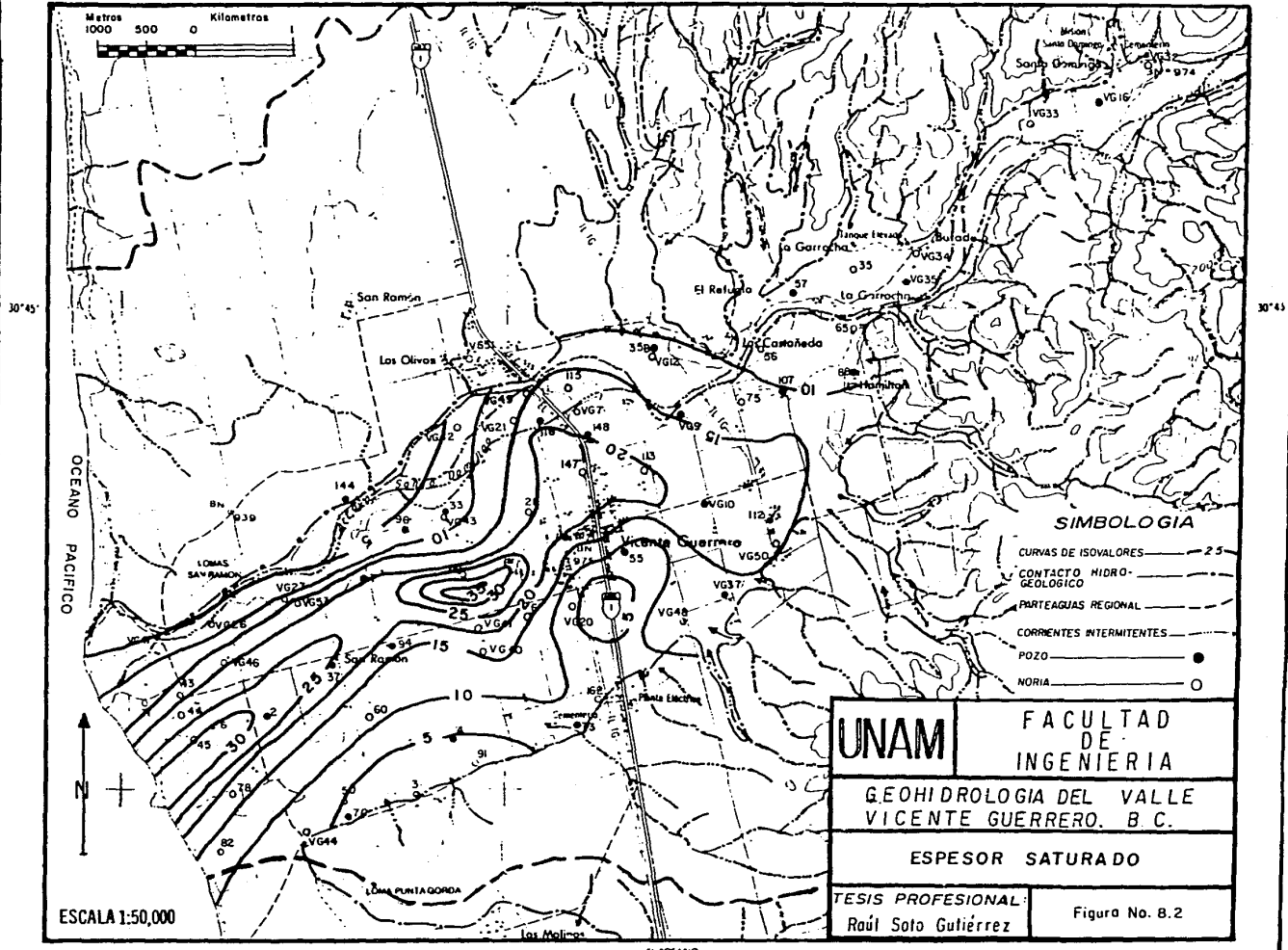
Raúl Soto Gutiérrez

Figura No. 8.1

ESCALA 1:50,000

116°00'

A EL BOSQUE



SIMBOLOGIA

- CURVAS DE ISOVALES ——— 2.5
- CONTACTO HIDRO-GEOLÓGICO - - - - -
- PARTEAGUAS REGIONAL ———
- CORRIENTES INTERMITENTES - - - - -
- POZO ●
- NORIA ○

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO. B.C.
ESPESOR SATURADO	
TESIS PROFESIONAL: Raúl Soto Gutiérrez	Figura No. 8.2

CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS

8.- Cuantificación de los Recursos Hidráulicos Subterráneos.

Para conocer los recursos hidráulicos en el subsuelo se estableció la ecuación de balance.

El balance de agua subterránea es la aplicación del principio de conservación de la masa a una cierta región definida por unas condiciones de contorno. En esa región, de volumen conocido y durante un cierto período en el que se realiza el balance, la diferencia entre entradas y salidas debe ser igual al cambio de almacenamiento en ese volumen.

8.1.- Balance de agua subterránea.

La ecuación de balance para un acuífero determinado puede expresarse de la siguiente manera:

$$Eh + Rv - B - Sh - Ev = \pm V'S$$

donde:

- Eh.- Entradas subterráneas horizontales
- Rv.- Recarga vertical o infiltración
- B.- Extracción mediante obras de bombeo
- Sh.- Salidas subterráneas horizontales
- Ev.- Evapotranspiración
- V'.- Cambio de volumen de agua almacenada
- S.- Coeficiente de almacenamiento

En cada caso según el mecanismo de recarga y descarga del acuífero en estudio y el intervalo de tiempo considerado para plantear el balance, cada uno de los términos podrá o no

aparecer.

El planteamiento de la ecuación de balance en el área de estudio se fundamenta en el modelo conceptual del funcionamiento del acuífero. En el área de balance no se considera la descarga por evapotranspiración debido a que la profundidad de los niveles del agua menores a 3 m se presentan la mayor parte del año en la porción costera, quedando fuera del área de interés.

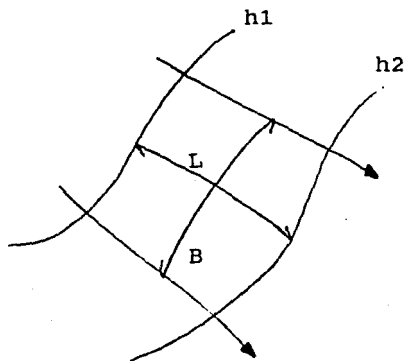
Por lo anterior, la ecuación de balance de agua subterránea para el acuífero en estudio se reduce a la forma siguiente:

$$Eh + Rv - B - Sh = V'S$$

8.1.1.- Cálculo de los términos de la ecuación de balance.

8.1.1.1.- Entradas por flujo subterráneo.

El cálculo del caudal de entrada por flujo subterráneo para una fecha determinada se realiza aplicando la ley de Darcy a la red de flujo definida por la configuración de elevación del nivel estático de esa fecha. (Figura 8.1).



$$i = \frac{h2-h1}{L}$$

$$Q = BTi = BKbi$$

aparecer.

El planteamiento de la ecuación de balance en el área de estudio se fundamenta en el modelo conceptual del funcionamiento del acuífero. En el área de balance no se considera la descarga por evapotranspiración debido a que la profundidad de los niveles del agua menores a 3 m se presentan la mayor parte del año en la porción costera, quedando fuera del área de interés.

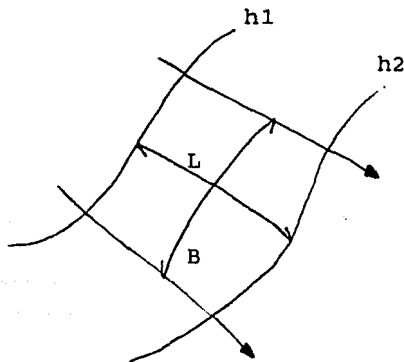
Por lo anterior, la ecuación de balance de agua subterránea para el acuífero en estudio se reduce a la forma siguiente:

$$Eh + Rv - B - Sh = V'S$$

8.1.1.- Cálculo de los términos de la ecuación de balance.

8.1.1.1.- Entradas por flujo subterráneo.

El cálculo del caudal de entrada por flujo subterráneo para una fecha determinada se realiza aplicando la ley de Darcy a la red de flujo definida por la configuración de elevación del nivel estático de esa fecha. (Figura 8.1).



$$i = \frac{h_2 - h_1}{L}$$

$$Q = BTi = BKbi$$

Siendo B el ancho de la celda, b el espesor saturado del acuífero y T la transmisividad definida como el producto $K \cdot b$, la expresión para el gasto que circula por la celda resulta:

$$Q = B T i = B b k i$$

La expresión del gasto para n celdas de la red de flujo será la suma de los caudales que circulan por las mismas:

$$Q = \sum_{j=1}^n B_j b_j k_j i_j$$

Las magnitudes i_j y B_j se midieron directamente del mapa de configuración de elevación del nivel estático una vez trazada la red de flujo.

Así mismo se consideraron los valores de T representativos para las secciones de entrada y salida del valle. Para la primera se consideró el valor obtenido en la noria NVG40 durante la etapa de abatimiento (0.0299 m²/s). Esta sección está comprendida entre las curvas de elevación del nivel estático de 28 y 30 m.s.n.m. La sección de salida se construyó entre las curvas potenciométricas de 2 y 4 m.s.n.m., en la cual se consideró el valor de T calculado en la etapa de observación de la noria NVG52, que es de 0.0305° m²/s. El cálculo de los caudales se muestra en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1
CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO SUBTERRANEO

CELDA	B m	K m/día	b m	i	Q m3/día
Eh1	500	344	10	0.005	8600
Eh2	600	344	12	0.005	12384
Eh3	700	344	16	0.005	19264
				TOTAL	40248

CAUDAL ANUAL 14.690 Mm3

Se estimó que el volumen drenado por este concepto se presenta durante todo el año, pues se ha observado que la elevación del nivel estático en esta zona se conserva con el mismo valor, además de que se han presentado láminas de lluvia considerables, de esta forma se obtiene un valor de 14.7 Mm3.

8.1.1.2.- Salidas por flujo subterráneo.

Las salidas por flujo subterráneo se calcularon bajo las consideraciones anteriormente expuestas. En la Tabla 8.2 se presentan los resultados de estos cálculos.

Tabla 8.2
CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO SUBTERRANEO

CELDA	B m	K m/día	b m	i	Q m3/día
Sh1	475	211.48	10	0.0040	4018
Sh2	1000	211.48	23	0.0036	17510
Sh3	1100	211.48	10	0.0018	4187
				TOTAL	29733

Se consideró que las salidas por flujo subterráneo ocurren durante un período de 6 meses; de diciembre a mayo aproximadamente, debido a la detección de agua salobre en la zona costera en el mes de mayo y a las condiciones de explotación actuales. Por lo que el caudal anual por este concepto es de 5.3 Mm3.

8.1.1.3.- Variación de almacenamiento subterráneo.

La recuperación y abatimiento de los niveles del agua en el tiempo originan variaciones en el almacenamiento subterráneo que deben cuantificarse para la resolución de la ecuación de balance de agua subterránea.

El cambio de almacenamiento se determinó a partir de las configuraciones de evolución del nivel estático, utilizando la expresión siguiente:

$$V_i = \sum_{j=1}^n E_j a_j h'_j$$

donde:

V_i .- Volumen drenado para el período i , m3.

a_j .- Area del elemento j , m2.

h'_j .- Espesor de igual evolución, m.

La Figura 7.4 ilustra la variación del nivel estático en el período 1986-1988. Para este período se determinó una variación de volumen de sedimentos saturados de 11.4 millones de metros

cúbicos, que para un lapso de un año representa 5.7 millones de metros cúbicos. De la misma forma se calculó la variación de almacenamiento para el período de enero a junio de 1978, del mapa obtenido del estudio realizado por la compañía I.C.G. en ese mismo año. Se determinó una variación de 44.2 millones de metros cúbicos que para un año representan una variación de sedimentos de 88.4 Mm³.

8.1.1.4.- Extracciones por bombeo.

La determinación de este parámetro se realizó tomando como base el recorrido de hidrometría el cual se describió en el apartado 7.5. Se determinó un volumen de extracción anual de 28.8 Mm³ y considerando que la pérdida de eficiencia de los pozos en la época de estiaje en 1988 sería aproximadamente de 20%, por lo que el volumen se reduce a 22.9 Mm³.

8.1.2.- Resolución de la ecuación de balance.

La resolución de la ecuación de balance consiste en calcular los términos desconocidos; recarga vertical y coeficiente de almacenamiento. Al tener una ecuación con dos incógnitas, se consideraron los valores de Eh, Sh, B y V' obtenidos en el estudio realizado por la empresa I.C.G. EN 1978, en donde se reconsideran los valores de entradas y salidas por flujo subterráneo con los parámetros hidráulicos obtenidos en el presente estudio, y así contar con un sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas. Los términos de la ecuación de balance se muestran a continuación:

TERMINOS DE LA ECUACION DE BALANCE
(millones de metros cúbicos)

.PERIODO	FLUJO SUBTERRANEO		BOMBEO	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO
	ENTRADAS	SALIDAS		
ENE-JUN 1978	15.1	7.2	6.0	44.2
1986-1988	14.7	5.3	22.9	11.4

Sustituyendo los términos de la ecuación por su valor determinado anteriormente, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$Eh + Rv - B - Sh = V'S$$

$$(1) \quad 15.1 + Rv - 6.0 - 7.2 = 88.4 S$$

$$(2) \quad 14.6 + Rv - 22.9 - 5.3 = 5.7 S$$

El término Rv corresponde a la recarga vertical durante un año.

Resolviendo simultáneamente las ecuaciones (1) y (2) se obtiene un valor de $S = 0.18$ y $Rv = 14.0$ millones de metros cúbicos, anuales.

El valor del coeficiente de almacenamiento de 0.18 indica que, a nivel regional el acuífero se compone principalmente de materiales de tamaño arena gruesa.

La recarga media deducida del balance resultó de 14.0 Mm³/año; en este volumen se incluye la infiltración del arroyo Santo Domingo, los excedentes del riego de las áreas agrícolas y la infiltración directa de la lluvia.

Una vez deducidos los valores de Rv y S, los elementos de balance de agua subterránea para el acuífero de Vicente Guerrero se

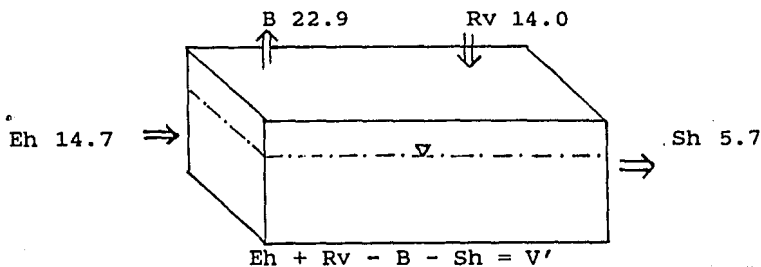
muestran a continuación:

BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA
(millones de metros cúbicos)

PERIODO	FLUJO SUBTERRANEO ENTRADAS	SALIDAS	RECARGA VERTICAL	BOMBEO	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO
1978-1986	15.1	7.3	14.0	6.0	88.4
1986-1988	14.7	5.3	14.0	22.9	5.7

Con los resultados anteriores puede plantearse un balance medio anual de agua subterránea. El volumen aportado por flujo subterráneo asciende a 14.7 millones de m³; la recarga vertical media anual en los 23.2 km cuadrados del área de balance es de 14.0 millones de m³, por lo que el total de entradas asciende a 28.7 millones de metros cúbicos por año. El volumen de salidas subterráneas es de 5.7 millones de m³ y por bombeo se extraen 22.9 millones de m³/año, resultando un volumen de 0.1 millones de m³, por lo que puede afirmarse que el acuífero se encuentra en equilibrio.

BALANCE ANUAL DE AGUA SUBTERRANEA (1988)
(millones de metros cúbicos)



$V' = 0.1$

8.2.- Reserva almacenada.

La disponibilidad de agua subterránea está integrada por la recarga que recibe el acuífero y su reserva almacenada, este volumen es posible estimarlo mediante el conocimiento del marco geológico donde se encuentra y el coeficiente de almacenamiento del acuífero deducido de la ecuación de balance.

El volumen de la reserva almacenada se cuantificó con la fórmula que se muestra a continuación:

$$V = S \sum_{i=1}^n E_i A_i b_i$$

donde:

V.- Volumen de reserva almacenada (Mm³)

A.- Superficie entre curvas de igual espesor (m²)

b.- Espesor de saturación (m)

S.- Coeficiente de almacenamiento del acuífero.

En la Figura 8.2 se presenta la configuración del espesor saturado, obtenido a partir de los resultados de los sondeos geofísicos y las mediciones del nivel estático, de donde se partió para el cálculo del volumen de la reserva almacenada, obteniendo un volumen de sedimentos saturados de 317.9 Mm³, que multiplicados por el coeficiente de almacenamiento de 0.18 obtenido en el balance, proporciona un volumen almacenado de 57.2 millones de metros cúbicos para marzo de 1988.

El volumen de saturación en esta época es considerable, aunque en periodos de lluvias extraordinarias podría aumentar, pero se observó que en 1978 la diferencia de saturación no varía mucho con respecto a la actual, por lo que éste podría representar el volumen medio de almacenamiento del acuífero. Para disminuir los riesgos de sobreexplotación se debe mantener el volumen de extracción anual por bombeo en 22.9 Mm³ o disminuirlo si las condiciones climáticas fueran adversas.

RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.- Resumen, Conclusiones y Recomendaciones.

A fin de conjuntar los resultados obtenidos, que anteriormente se mostraron en los capítulos de esta tesis, se presenta un resumen separado de las conclusiones y recomendaciones, en función de los objetivos que se propusieron.

9.1.- Resumen.

El Valle de Vicente Guerrero se localiza en el municipio de Ensenada, estado de Baja California y cuenta con una superficie de captación de 1267 km², en donde 62 km² pertenecen a la llanura costera.

La zona de estudio queda comprendida en la provincia fisiográfica de Baja California, en la que sus principales rasgos son: planicie, mesetas y terrazas, y macizo montañoso.

A nivel regional, la secuencia estratigráfica varía geocronológicamente desde el Paleozoico hasta el Reciente. Las diferentes unidades se definen a través de tres cinturones preterciarios; el primero se localiza en el extremo occidental de la península, está representado por sedimentos marinos y continentales del Cretácico Superior, los que forman la secuencia denominada Formación Rosario (Beal, 1948); el segundo está formado por secuencias de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias de edad Cretácico Inferior, en donde destaca la Formación Alisitos (Santillán y Barrera, 1930); finalmente, en el extremo oriental se encuentra un tercer cinturón formado por

rocas intrusivas que varían de tonalitas a granitos, representado por batolitos mesozoicos y rocas originadas por metamorfismo regional, de edad aún no definida. Se identificaron 11 unidades geológicas: Mesozoico (gneis, metasedimentaria, granodiorita, tonalita, andesita-toba intermedia y arenisca), Cenozoico (conglomerado Ti, conglomerado Tpi, lacustre, litoral y aluvial).

De acuerdo a su respuesta para transmitir el agua, las unidades de roca se clasificaron en unidades permeables, semipermeables e impermeables. La principal unidad hidrogeológica la constituye el aluvión en el que sus componentes predominantes son de tamaño arena y ocupa la mayor parte de superficie de la planicie costera.

La interpretación de 23 sondeos eléctricos verticales permitieron definir la presencia de 7 unidades geoeléctricas, siendo la unidad III la más importante; consiste de material granular de tamaño arena. saturada de agua de buena calidad, distribuyéndose en la totalidad del valle.

El espesor promedio del acuífero es de 20 m, presenta depresiones de pequeña extensión, con profundidad máxima de 42 m, las que pueden asociarse a paleocauces formados durante las distintas rutas adquiridas por el arroyo a través del tiempo.

Se analizaron 27 muestras de agua subterránea en las que su concentración de sólidos totales disueltos varía de 429 a 3378 ppm, por lo que en general se considera de buena calidad química. De acuerdo a la clasificación de Piper se determinaron 3 familias

de agua: 12 muestras de la familia cálcico-clorurada, 11 muestras de la familia mixta y 4 de la sódico-clorurada. Según la clasificación de Wilcox, predominan las aguas de la clase C3-S1. Por medio de hidrogeoquímica se detectó una incipiente intrusión marina.

Hidrológicamente la subcuenca de Santo Domingo pertenece a la Región Hidrológica No. 1 (Baja California Noroeste), la cual presenta climas que se clasificaron según Köppen (modificado por E. García, 1964) de la siguiente manera. semiseco (Bs), muy seco o desértico (Bw) y templado (Cs). El régimen de lluvias es de tipo invernal (de octubre a marzo), registrándose a través de tres estaciones climatológicas, de las cuales la estación Santa Cruz presenta el mayor volumen de precipitación media anual con 360.3 mm. La lámina de lluvia anual en la subcuenca se determinó por el método de los polígonos de Thiessen para el período 1970-1987, resultando una lámina con promedio anual de 341.4 mm. La temperatura media anual se determinó bajo el mismo criterio obteniendo una temperatura de 17.79°C. La evapotranspiración se evaluó por medio del segundo sistema de Thornthwaite en donde se obtuvo una lámina de evapotranspiración potencial anual media de 876.77 mm. Así mismo se realizó un balance de hidrología superficial por el mismo método, el cual proporcionó una evapotranspiración real media anual de 210.4 mm y un volumen medio de escurrimiento superficial acumulado de 105.34 Mm³, mientras que la alimentación al sistema acuífero es de 3.26 Mm³.

Se analizó la información climatológica mediante el programa de computadora TANKMOD1. Este programa calcula varios parámetros relacionados con la hidrología superficial y el sistema acuífero, sobresalen la evapotranspiración real con un valor medio anual de 155.2 mm, el escurrimiento superficial total medio anual de 94.05 Mm³ y la recarga por flujo subterráneo al sistema acuífero de 16.73 Mm³.

Se analizó el régimen de escurrimiento del arroyo Santo Domingo y aunque no se puede dar un valor representativo del escurrimiento, se tiene un valor medio de 16.24 %.

Se cuantificó la profundidad del nivel estático en 43 aprovechamientos, los cuales se nivelaron con respecto al nivel medio del mar, de esta forma se construyó el mapa de elevación del nivel estático en donde se aprecia un sentido de flujo subterráneo de noreste a suroeste con descargas hacia el Océano Pacífico. La variación del nivel estático en los periodos 1976-1988 y 1986-1988 registró valores positivos.

Se realizaron 5 pruebas de bombeo de larga duración con pozo de observación y se interpretaron por el método de Jacob en la etapa de abatimiento y por el método de Thies en su etapa de recuperación. El intervalo de valores de transmisividad obtenidos varía de 1.7 a 84.5×10^{-3} m²/s y los coeficientes de almacenamiento varían entre 0.009 hasta 0.199.

El volumen de extracción anual por bombeo se estimó en 28.8 Mm³,

correspondientes a 117 obras activas, extrapolándose a un volumen de 22.9 Mm3 por la pérdida de eficiencia en la época de estiaje.

La alimentación al sistema acuífero es por medio de la precipitación pluvial captada en las porciones altas la cual escurre y satura el acuífero a través de la superficie y el subsuelo. Las descargas ocurren por medio de la extracción por bombeo, por salidas de flujo subterráneo y por el escurrimiento superficial.

Se realizó el balance de agua subterránea considerando valores obtenidos en el estudio de 1978 y 1986. Para el presente estudio se consideraron entradas por flujo subterráneo del orden de 14.7 Mm3/año y salidas por 5.3 Mm3/año. La variación de almacenamiento para el período 1986-1988 es de 11.4 Mm3 lo que representa un volumen de 5.7 Mm3/año. Al resolver el sistema de ecuaciones propuesto se obtuvo un valor de recarga vertical de 14.0 Mm3/año y un coeficiente de almacenamiento regional de 0.18. Con estos resultados se planteó un balance medio anual de agua subterránea con volumen de 0.1 Mm3/año. Lo que implica un equilibrio en el sistema acuífero. Finalmente se evaluó el potencial de reserva almacenada del acuífero en 57.2 millones de metros cúbicos, para una superficie acuífera de 22.5 km².

9.2.- Conclusiones

- 1.- El rango geocronológico de la secuencia estratigráfica varía del Paleozoico hasta el Reciente, y está constituida por rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas.

- 2.- El aluvi3n es la unidad litol3gica de mayor importancia dentro de las unidades hidrogeol3gicas ya que 3ste ocupa la mayor superficie de la planicie costera y por su capacidad para almacenar y transmitir agua.
- 3.- De acuerdo a la geof3sica la principal unidad geoelectrica es la unidad III, que consiste de material granular de tama1o arena, saturado de agua de buena calidad, la cual se distribuye en la totalidad del valle.
- 4.- La geometria del acuífero presenta depresiones de pequeña extensi3n de hasta 35 m, asociados a paleocauces del arroyo. En promedio, el espesor del acuífero es de 20 m y se determin3 que su base es de naturaleza arcillosa. La zona m1s favorable para futuras perforaciones de acuerdo a su espesor es la zona central del valle.
- 5.- La principal familia de agua seg1n la clasificaci3n de Piper es la de tipo c1lcico-clorurada y de acuerdo a la clasificaci3n de Wilcox predominan las aguas de la clase C3-S1. La calidad qu3mica del agua subterr1nea en general, puede considerarse buena, a excepci3n de la zona cercana a la costa, que de acuerdo a an1lisis por relaciones hidrogeoqu3micas, se detect3 una incipiente intrusi3n marina.
- 6.- La zona en estudio se ubica dentro de la cuenca del arroyo Las Animas-Arroyo Santo Domingo, que forma parte de la

Región Hidrológica Nº 1 (Baja California Noroeste). La subcuenca del arroyo Santo Domingo cuenta con un área de captación de 1267 km² y la zona acuífera es de 22.5 km² aproximadamente.

- 7.- La precipitación media anual en la subcuenca es de 341.4 mm en el período 1970-1987 , con temperatura media anual de 17.8°C. El régimen de lluvia es invernal presentándose de octubre a marzo. La evapotranspiración se calculó por el segundo sistema de Thornthwaite y se determinó que la evapotranspiración potencial anual media es de 876.7 mm y la evapotranspiración real media anual es de 210.4 mm. Con el mismo criterio se evaluó un volumen de escurrimiento superficial anual acumulado de 105.3 Mm³ y una recarga al sistema acuífero 3.26 Mm³. Mediante el programa de computadora TANKMOD1 se determinó una evapotranspiración real media anual de 155.2 mm, así como un volumen medio anual de escurrimiento superficial de 94.0 Mm³ y una recarga por flujo subterráneo de 16.7 Mm³.
- 8.- La profundidad al nivel estático varía entre 1.1 y 11.7 m, registrándose sobre el cauce actual del arroyo las menores profundidades, y en la porción sur del valle las más altas. La elevación del nivel estático sobre el nivel medio del mar varía de 0.821 hasta 40.849, las mayores elevaciones se registran en la porción este y disminuyen gradualmente hacia la costa. La configuración de las curvas piezométricas denotaron que la dirección de flujo

subterráneo es sensiblemente de noreste a suroeste.

- 9.- Las evoluciones del nivel estático, entre 1978-1988 y 1986-1988 resultaron positivas, sin embargo en todos los estudios se han realizado recorridos piezométricos únicamente en los meses de lluvia, por lo que se ha presentado un buen nivel de saturación del acuífero y no se cuenta con una comparación contra la saturación en los meses de estiaje.
- 10.- La recarga al acuífero se hace por medio de flujo subterráneo en la zona del cañón del arroyo, así como por la infiltración del arroyo Santo Domingo. Las descargas ocurren por la extracción de agua subterránea por bombeo y por flujo subterráneo hacia el Océano Pacífico.
- 11.- El rango de valores de transmisividad del acuífero es de 1.7 a $84.5 \times 10E-3$ m²/s. El coeficiente de almacenamiento obtenido por las pruebas de bombeo varía de 0.009 hasta 0.199, mientras que el obtenido por medio de la resolución de las ecuaciones de balance es de 0.18.
- 12.- La alimentación al sistema acuífero por flujo subterráneo ocurre durante todo el año, siempre que la lluvia anual sea cercana a la media, así el volumen por flujo subterráneo para 1988 es de 14.7 millones de metros cúbicos. Además se consideró que las descargas por flujo subterráneo ocurren solo en algunos meses del año,

por lo que se estimó un volumen por este concepto de 5.3 millones de metros cúbicos.

13.- La extracción por bombeo se estimó en 22.9 millones de metros cúbicos y ocurre principalmente en la época de estiaje. La resolución de las ecuaciones de balance permitieron definir que la recarga vertical en el acuífero es de 14.0 millones de metros cúbicos, y el coeficiente de almacenamiento regional es de 0.18, resultando además un volumen de 0.1 Mm³ en el balance medio anual de agua subterránea. De esta forma se establece que el acuífero del valle de Vicente Guerrero se encuentra en equilibrio.

14.- La reserva almacenada del acuífero para 22.5 km² de área es de 57.2 millones de metros cúbicos.

9.3.- Recomendaciones.

1.- Realizar el levantamiento geológico en la porción del valle y en la zona alta de la subcuenca para establecer la(s) estructura(s) que afectan la zona, así como definir las propiedades hidrogeológicas de las unidades litológicas, principalmente la andesita toba-intermedia y las rocas graníticas.

2.- Efectuar perforaciones exploratorias con núcleo a 100 m de profundidad como mínimo. Deberá llevarse un control petrográfico de los núcleos o muestras de canal, para

afinar la interpretación de las unidades del subsuelo y definir la naturaleza del basamento y las unidades subyacentes a este último. Se deberá vigilar el comportamiento del nivel estático durante la perforación y se establecerá la presencia y calidad (en caso de existir) de agua subterránea a profundidades mayores del basamento arcilloso.

- 3.- Levantar el censo de aprovechamientos en todo el valle, incluyendo la meseta de arenisca de la porción norte (Los Olivos-San Ramón), el cual incluirá recorridos piezométricos y muestreos de agua subterránea en la zona anterior, para determinar la relación entre este acuífero y el de material aluvial. Así mismo se debe obtener la información lo más real posible del volumen de extracción por aprovechamiento.
- 4.- Hacer por lo menos de 2 a 4 recorridos piezométricos anuales en toda el área, en función del comportamiento del ciclo hidrológico. Este puede ser en los meses de marzo y agosto o en febrero, mayo, agosto y noviembre, según sea el caso. De esta forma se conocerá la respuesta del acuífero con respecto al medio, además de conocer con mayor precisión la variación de saturación.
- 5.- En la zona del cañón de entrada al valle (La Garrocha, Rancho Hamilton, Los Castañeda, etc.), así como en la porción costera, se deberán realizar lecturas mensuales del

nivel estático para conocer la dinámica de recarga y descarga del sistema acuífero. De igual manera se llevarán a cabo monitoreos de conductividad eléctrica en la porción costera, el cual contemplará la medición de este parámetro a diferentes profundidades (3 m) y conocer las variaciones de salinidad producidas por la intrusión marina y controlar su posible avance.

- 6.- Realizar estudios detallados en hidrología superficial en el que se analice la relación entre precipitación, escurrimiento y variación de saturación en el acuífero, para que permitan un mayor conocimiento de la disponibilidad de los recursos hidráulicos subterráneos y superficiales para la planeación de una explotación más racional de los mismos.
- 7.- Construir una estación hidrométrica en la porción oeste del arroyo, aproximadamente a 5 km antes de la línea de costa, para conocer la diferencia de volúmenes entre las estaciones y evaluar las pérdidas en el caudal del mismo, y así obtener registros confiables de la infiltración del arroyo al sistema acuífero.
- 8.- Existe el anteproyecto de construcción de una presa en el arroyo Santo Domingo. Quizá sea más conveniente la construcción de obras de ingeniería (bordos, gaviones, etc.) a través del cauce, para disminuir la velocidad de flujo del arroyo para que permitan una infiltración mayor

de agua superficial, debido a que las características de permeabilidad del medio permiten con facilidad su infiltración y la evapotranspiración en la zona es muy alta para un embalse de agua superficial. Por lo tanto deberán hacerse estudios más específicos sobre el tema.

- 9.- Mantener el mismo ritmo de explotación o disminuirlo, según el comportamiento de las condiciones climáticas, para evitar la sobreexplotación del acuífero.
- 10.- Reglamentar la extracción de aguas subterráneas para controlar óptimamente la explotación del acuífero.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

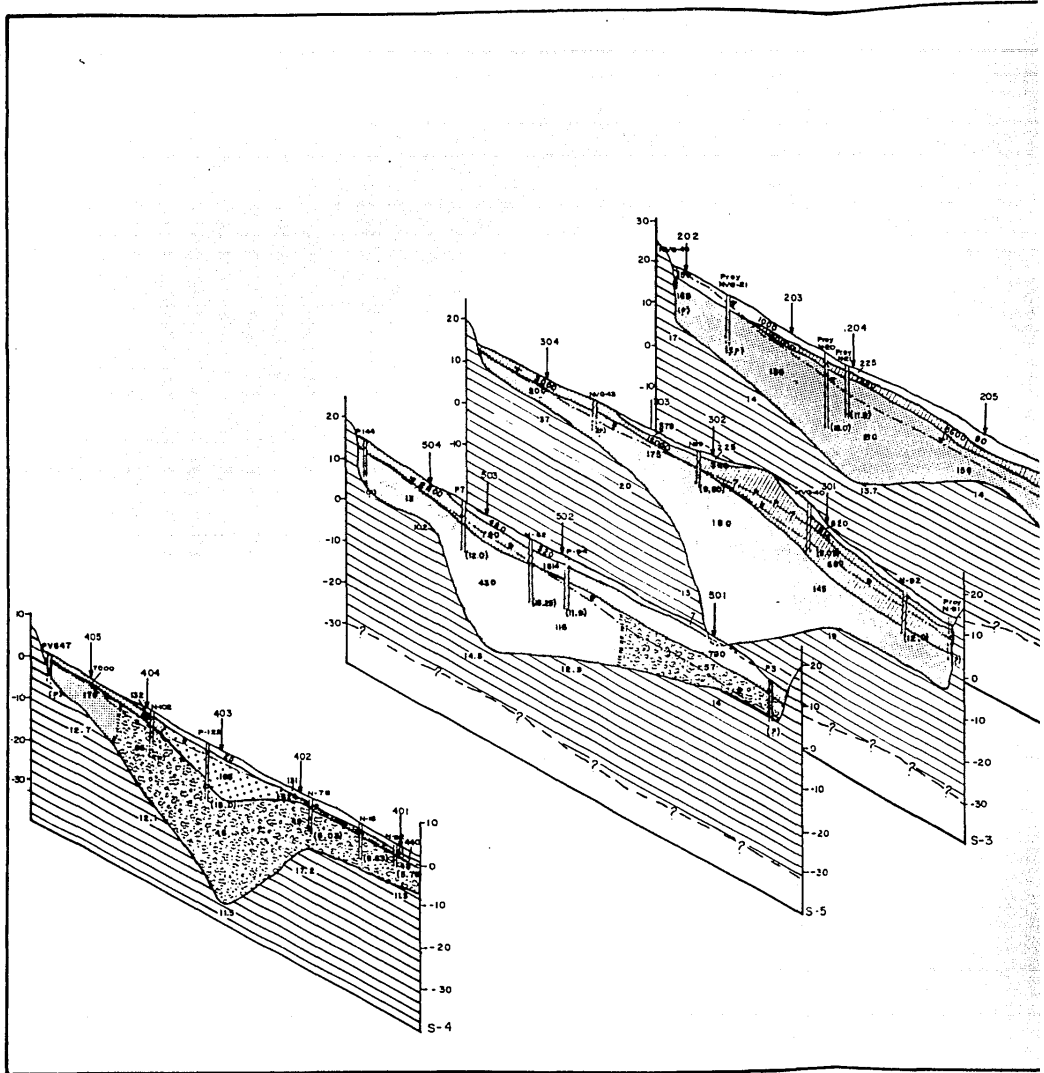
- Astier, J. L.,** 1982. Geofísica aplicada a la hidrogeología. Ed. Paraninfo. España.
- Bénton, C. A.,** 1984. Pruebas de bombeo. Apuntes del curso de perforación de pozos para agua. División de Educación Continua. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. México.
- Campos, A. D.F.,** 1987. Procesos del ciclo hidrológico. Vol. 1, 1ª reimpresión, U.A.S.L.P. México.
- Castany, G.,** 1971. Tratado práctico de las aguas subterráneas. Ediciones Omega. España.
- Catalán, L. J. G.,** 1981. Química del agua. 2ª Edición. Talleres gráficos Alonso, España.
- C.F.E.,** 1983. Manual de diseño de obras civiles. Hidrotecnia, (Geohidrología). Edición. México.
- Courtade, P. E.,** 1991. Las rocas plutónicas como aportadoras de agua. Inédito. Recursos del Desierto S.A. México.
- Custodio, E. - Llamas, M. R.,** 1976. Hidrología Subterránea. Tomos 1 y 2. Ediciones Omega. España.

- Heras, R., 1976.** Hidrología y recursos hidráulicos. Tomo II. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de estudios hidrográficos, Madrid, España.
- Davis, S. N.-de Wiest, R., 1966.** Hidrogeología. Editorial Ariel, España.
- I.C.G., 1978.** Geohidrología del valle de Vicente Guerrero, B.C.N. S.A.R.H. México.
- Jiménez, L. J., 1972.** Instructivo para la determinación del tipo de clima de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite. S.A.R.H. México.
- Kruseman, G. P.- De Ridder, N. A., 1975.** Analysis and evaluation of pumping test data. International Institute for Land Reclamation and Improvement. 1st edition. Holanda.
- Ojeda, R. J., 1963.** Reconocimiento Geológico de la región que comprende los yacimientos de hierro de la Baja California. Memoria de la V convención nacional, Asoc. de Ings. de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México. Distrito Laguna. México.
- S.A.R.H., 1987.** Condiciones geohidrológicas actuales del valle Vicente Guerrero (Santo Domingo), Municipio de Ensenada, B.C. México.

- S.P.P.**, 1973. Cartas Geológicas y Topográficas HII-B53, HII-B54 y HIIB64, escala 1:50 000. I.N.E.G.I. México.
- S.P.P.**, 1982. Cartas HII-5-6, Lázaro Cárdenas, escala 1:250 000. Geológica y de Aguas Superficiales. I.N.E.G.I. México.
- S.P.P.-U.N.A.M.**, 1984. Geología de la República Mexicana. 2ª Edición. I.N.E.G.I.-Facultad de Ingeniería. México.
- S.R.H.**, 1972. Boletín Hidrológico N° 28, Regiones Hidrológicas N° 1 a 7. Península de Baja California. México.
- Sugawara**, et al, 1976. On a method of forecasting the daily discharge of the Mae Nan Chao Phraya and its tributaries at several points by means of tank model. National Research Center for Disaster Prevention. Research notes N° 24. Tokyo.
- Técnicas Modernas de Ingeniería**, 1974. Estudio geohidrológico del valle de San Quintín en el estado de Baja California Norte. S.A.R.H. México.
- °
- Técnicas Modernas de Ingeniería**, 1976. Informe final del estudio geofísico en el valle de San Quintín. S.A.R.H. México.
- Tinajero**, G. J. A., 1985. Aspectos fundamentales en el estudio del agua subterránea. (Geohidrología). Facultad de Ingeniería. U.N.A.M., México.








U.N.A.M., 1968. Los climas de Baja California. Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional. Memoria 1966-1967, Instituto de Geofísica. Editor Ing. R. Arenal. México.

Villanueva, M. M.-Iglesias, L. A., 1984. Pozos y acuíferos, Técnicas de evaluación mediante ensayos por bombeo. Instituto Geológico Minero de España. España.

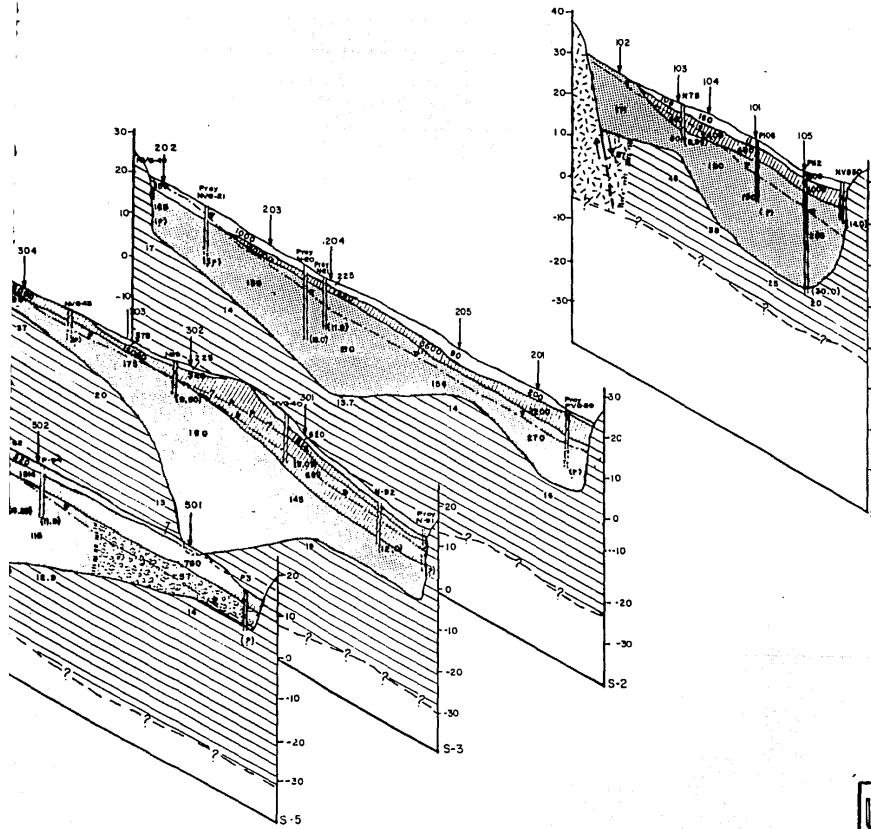


SIMBOLOGIA

UNIDAD	RESISTIVIDAD	TIPO DE MATERIAL
I	7 - 1000	Capa superficial permeable compuesta por limos y arenas secas.
II	50 - 40000	Horizonte arenoso alivado arriba del N.E.
III	430	Horizonte arenoso saturado con agua de mala calidad.
IV	46 - 66	Capa arenosa saturada con agua de mala calidad.
V	185	Horizonte arenoso saturado con agua de buena calidad.
VI	10.2 - 48	Regimiento arcillosa de terciario impermeable.
VII	87	Rocas igneas intrusivas de la Formación Atiltuis.

-  Nivel Estático Inferior
-  Estación de Sondeo Eléctrico Vertical
-  119 Resistividad omhs-metro
-  57 14 Contacto de unidades Geoelectricas
-  Perturbación eléctrica dentro de la misma capa ocasionada por el cambio de salinidad del agua de formación
-  Datos constructivos de pozos con profundidad en metros.
-  Falla Geológica Inferida

ESCALA



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	GEOHIDROLOGIA DEL VALLE VICENTE GUERRERO, B. C.
SECCIONES GEOFISICAS	
TESIS PROFESIONAL:	Figura No. 4.2
Raúl Soto Gutiérrez	