

REPUBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA  
**Carlos Martínez Simahan, Ministro**

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO - MINERAS  
**Alfonso López Reina, Director General**

## **INFORME HIDROGEOLOGICO DE CUCUTA**

Informe No. 1825

Por :

JORGE HERMES CARREÑO BAEZ

**Codirectores del Proyecto:**

FRANCISCO MOSQUERA M. - INGEOMINAS, COLOMBIA

HUGO R. SCHOUTE - T.N.O., HOLANDA

**Volumen 25 - No. 3, pp. 1 - 61 , 1982**  
**Bogotá - Colombia**  
**ISSN - 0120 - 1425**

**Bol. Geol.**  
**Ingeominas**

---

Derechos Reservados por:  
INGEOMINAS: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras  
Diagonal 53 No. 34-53, Apartado Aéreo No. 4865  
Bogotá, 2, D.E., Colombia S. A.

El Boletín Geológico se publica en tres (3) números cada año.  
Formato de publicación 17 x 24 cm

Editor:

ALBERTO VILLEGAS BETANCOURT  
Geólogo

Precio de cada ejemplar:	En Ingeominas	\$ 200.00	(US \$ 5.00)
	Vía Aérea	\$ 200.00	(US \$ 6.50)

Editado e impreso por Ingeominas

INFORMES QUE COMPRENDEN LAS INVESTIGACIONES EJECUTADAS  
EN EL PROYECTO "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL  
ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA ZONA DE CUCUTA"

No. INFORMES INGEOMINAS	TITULO	AUTOR (ES)
1743	Geología de la región de Cúcuta	Ponce, Alvaro (1978)
1791	Investigación geoelectrica áreas de Cúcuta El Zulia.	Carreño, Jorge (1980)
1819	Informe sobre las pruebas de bombeo en el pozo 88 III D-110 La Libertad.	Schoute, Hugo (1980a)
1820	Informe sobre las pruebas de bombeo de febrero a marzo de 1980 en el pozo 88 III D-112 Mosquito.	Schoute, Hugo (1980b)
1821	Informe geológico en la zona de Cúcuta.	Palacio, Tatiana (1980)
1823	Informe hidroquímico de Cúcuta.	Corrales, Badel y Verwey de Speelman Hanneke (1980)
* 1825	Informe hidrogeológico de Cúcuta.	Carreño, Jorge (1981)
1826	Hidrología del área de Cúcuta.	Jousma, Gerrit, Serrano, Sergio Molano, Carlos (1980)
1833	Perforación de pozos profundos en la zona de Cúcuta.	Castellanos, Miguel (1981)
1834	Simulación matemática del acuífero fluvio - deltáico en el sector de El Mosquito.	Molano, Carlos (1981)
1835	Informe sobre las pruebas de bombeo de agosto a septiembre de 1980 en el pozo 88 III D-112 Mosquito.	Schuchmann, Bert (1981a)
1836	Informe sobre las pruebas de bombeo en el pozo 99 I B-30 Villa del Rosario	Schuchman, Bert (1981b)
1837	Informe sobre las pruebas de inyección en los pozos Villa del Rosario 1A y 2A.	Ulloa, Alejandro (1981)
1863	Síntesis del estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua en la zona de Cúcuta.	Carreño, Jorge (1982)

\* Informe que se presenta en esta publicación.

Con la colaboración de

CORRALES, BADEL	Numerales 5.1.3., 5.2.3. y 5.3.3.
MOLANO, CARLOS	Numeral 5.1.4.
SCHUCHMANN, BERT	Numerales 5.1.2., 5.2.2., 5.3.2., 6.2. (Parcial)
SCHOUTE, HUGO	Numeral 6.4.
VERWEY DE ESPEELMAN, HANNEKE	Capítulo 4
MOSQUERA, FRANCISCO	Corrección Final

## CONTENIDO

Página

<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	8
1.1. GENERALIDADES .....	8
1.1.1. CONVENIO DE ASISTENCIA TECNICA .....	8
1.1.2. SITUACION ACTUAL DE LA REGION .....	8
1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION .....	8
1.3. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO .....	9
1.4. INVESTIGACIONES HIDROGEOLOGICAS ANTERIORES .....	9
<b>2. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS CUALITATIVAS DE LAS FORMACIONES</b> .....	11
2.1. FORMACION MIRADOR .....	11
2.2. FORMACION CARBONERA .....	13
2.3. FORMACION LEON .....	13
2.4. GRUPO GUAYABO .....	13
2.4.1. CONJUNTO ARCILLOSO .....	13
2.4.2. CONJUNTO ARENOSO .....	13
2.5. COMPLEJO DE LIMOS Y CANTOS RUBIFICADOS .....	14
2.6. TERRAZAS Y ALUVIONES RECIENTES .....	14
<b>3. INVENTARIO DE POZOS, ALJIBES Y MANANTIALES</b> .....	14
<b>4. FLUJO SUBTERRANEO</b> .....	15
4.1. INTRODUCCION .....	15
4.2. NIVELES FREATICOS Y PIEZOMETRICOS .....	15
4.2.1. NIVELES EN EL ACUIFERO CUATERNARIO DEL SECTOR SINCLINAL DE CUCUTA EN EL VALLE DEL RIO PAMPLONITA . . .	15
4.2.2. NIVELES EN EL ACUIFERO CUATERNARIO DE LOS SECTORES VILLA DEL ROSARIO, LA LIBERTAD Y EL ESCOBAL EN EL VALLE DEL RIO TACHIRA . . . . .	16
4.3. OSCILACIONES DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA . .	17
4.3.1. OSCILACIONES EN EL ACUIFERO CUATERNARIO DEL SECTOR SINCLINAL DE CUCUTA EN EL VALLE DEL RIO PAMPLONITA . . .	17
4.3.2. OSCILACIONES EN EL ACUIFERO CUATERNARIO DE LOS SECTORES VILLA DEL ROSARIO, LA LIBERTAD Y EL ESCOBAL EN EL VALLE DEL RIO TACHIRA . . . . .	17
<b>5. ZONAS SELECCIONADAS</b> .....	19
5.1. ZONA DE EL MOSQUITO .....	19
5.1.1. PERFORACIONES EJECUTADAS .....	21
5.1.2. PRUEBAS DE BOMBEO .....	23
5.1.3. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA .....	25
5.1.4. MODELO MATEMATICO .....	28
5.2. ZONA DE LA LIBERTAD .....	29
5.2.1. PERFORACIONES EJECUTADAS .....	29
5.2.2. PRUEBAS DE BOMBEO .....	29
5.2.3. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA .....	30
5.3. ZONA DE VILLA DEL ROSARIO .....	31
5.3.1. PERFORACIONES EJECUTADAS .....	33
5.3.2. PRUEBAS DE BOMBEO .....	33
5.3.3. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA .....	34

## Página

<b>6. RECOMENDACIONES DE EXPLOTACION DEL RECURSO E HIDRO-ECONOMIA</b> .....	35
6.1. ZONA DE EL MOSQUITO .....	35
6.2. ZONA DE LA LIBERTAD .....	35
6.3. ZONA DE VILLA DEL ROSARIO .....	36
6.4. INVERSIONES NECESARIAS Y COSTOS DEL AGUA POR m <sup>3</sup> .....	36
6.4.1. GENERALIDADES .....	36
6.4.2. DEFINICIONES E HIPOTESIS DE BASE .....	37
6.4.3. INVERSIONES .....	37
6.4.4. COSTOS ANUALES .....	38
6.4.5. COSTOS DEL AGUA POR m <sup>3</sup> .....	42
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	43
7.1. ZONA DE EL MOSQUITO .....	43
7.2. ZONA DE LA LIBERTAD .....	43
7.3. ZONA DE VILLA DEL ROSARIO .....	44
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	44

## FIGURAS

1. Mapa de localización .....	10
2. Datos medios mensuales de precipitación y evaporación del año 1979 en la región de Cúcuta .....	18
3. Mapa de las zonas hidrogeológicas seleccionadas .....	20
4. Mapa de las perforaciones realizadas en el proyecto .....	22
5. Explotación de agua subterránea con cinco pozos en disposición pentagonal para la zona de La Libertad .....	32
6. Potencia en KW como función de la altura manométrica y el caudal; costos de bombeo por hora .....	41

## TABLAS

1. Unidades cronoestratigráficas, litoestratigráficas e hidrogeológicas	12
2. Plan inicial de explotación de agua subterránea en la zona de El Mosquito ..	24
3. Características físico-químicas del agua subterránea de los pozos perforados en el proyecto .....	26
4. Análisis de los posibles iones, índices de contaminación del agua subterránea en la zona de El Mosquito .....	27
5. Análisis microbiológico del agua subterránea en la zona de El Mosquito ...	28

	Página
6. Plan de explotación de agua subterránea en la zona de La Libertad . . . . .	31
7. Características del pozo modelo por región . . . . .	37
8. Costos aproximados por pozo y por región para 1981 . . . . .	39
9. Costos anuales . . . . .	40

### ANEXOS

1. Inventario de pozos, aljibes y manantiales en el área de Cúcuta	47-61
--	-------

### PLANCHAS

1. Mapa geológico . . . . .	(en bolsillo)
2. Mapa Hidrogeológico . . . . .	(en bolsillo)
2a. Mapa de isopiezas marzo de 1979 . . . . .	(en bolsillo)
2b. Niveles del agua subterránea bajo la superficie en marzo de 1979 . . . . .	(en bolsillo)
2c. Variaciones de los niveles del agua subterránea . . . . .	(en bolsillo)
2d. Mapa con líneas de la base del acuífero y corte hidrogeológico . . . . .	(en bolsillo)
2e. Mapa de intercalaciones arcillosas . . . . .	(en bolsillo)
2f. Mapa de dureza del agua subterránea . . . . .	(en bolsillo)
3. Registros de tiempo - perforación, litología y diseño de los pozos 88 III D-104 Mosquito 1; 88 III D-105 Mosquito 2 . . . . .	(en bolsillo)
4. Registros de tiempo - perforación, litología y diseño del pozo 88 III D-112 Mosquito 3 . . . . .	(en bolsillo)
5. Registros de tiempo - perforación, litología y diseño del pozo 88 III D-113 Mosquito 4 . . . . .	(en bolsillo)
6. Registros de tiempo - perforación, litología y diseño de los pozos 88 III D-110 La Libertad 1; 88 III D-111 La Libertad 2 . . . . .	(en bolsillo)
7. Registros de tiempo - perforación, litología y diseño del pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A . . . . .	(en bolsillo)
8. Registros de tiempo - perforación, litología y diseño del pozo 99 I B-31 Villa del Rosario 2A . . . . .	(en bolsillo)
9. Registros físicos, pozo 88 III D-105 Mosquito 2 . . . . .	(en bolsillo)
10. Registros físicos, pozo 88 III D-112 Mosquito 3 . . . . .	(en bolsillo)
11. Registros físicos, pozo 88 III D-113 Mosquito 4 . . . . .	(en bolsillo)
12. Registros físicos, pozo 88 III D-110 La Libertad 1 . . . . .	(en bolsillo)
13. Registros físicos pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A . . . . .	(en bolsillo)
14. Registros físicos pozo 99 I B-31 Villa del Rosario 2A . . . . .	(en bolsillo)

\* \* \*

## RESUMEN

Se realizaron las etapas de geología, geofísica, inventario y nivelación de fuentes de agua subterránea, perforaciones exploratorias, hidrogeoquímica, ensayos de acuífero y modelos matemáticos. En este informe se resumen los resultados obtenidos con cada etapa, se mencionan las características hidrogeológicas de las formaciones existentes, se hace un análisis del flujo subterráneo y se dan las características de cada zona seleccionada con las respectivas recomendaciones de explotación y análisis de costos del agua. Al final se dan las conclusiones obtenidas. El informe se complementa con el inventario de cada obra existente, mapa geológico, mapa de flujo subterráneo, mapa hidrogeológico con líneas de la base del acuífero y corte hidrogeológico, mapa de intercalaciones arcillosas, registros físicos, litología y diseño de los pozos exploratorios perforados.

Los acuíferos encontrados están conformados por gravas y arenas recientes y por areniscas y areniscas conglomeráticas terciarias.

Se determinaron tres zonas para la producción de aguas subterráneas: El Mosquito, La Libertad y Villa del Rosario.

En gran parte de las zonas seleccionadas existen arcillas superficiales confinantes, e intercalaciones profundas entre horizontes acuíferos.

El agua subterránea de Cúcuta es dura. Para los diferentes usos se recomienda un ablandamiento a base de intercambiadores iónicos o de cal. Es conveniente realizar una cloración adicional.

En la Zona de Mosquito se perforaron cuatro pozos exploratorios. Con base en los resultados obtenidos con estas perforaciones se recomienda construir inicialmente una batería de tres pozos, los cuales producirán 6.600 m<sup>3</sup> por día para abastecer holgadamente unas 30.000 personas en vecindades del Barrio Guaymaral y las futuras urbanizaciones que se construyen al norte. Con una

conducción hacia el sureste es posible abastecer una parte del Barrio San Luis.

En la zona de La Libertad se perforaron dos pozos exploratorios. Con base en los resultados obtenidos con estas perforaciones se recomienda construir cinco pozos separados entre sí, mínimo 200 m. Con un bombeo por pozo de 50 m<sup>3</sup>/h. y 14 horas de bombeo diario producirán 3.500 m<sup>3</sup>/día para abastecer unos 17.500 habitantes. No se debe exceder este caudal hasta evaluar la reacción del acuífero con dicha producción.

En la Zona de Villa del Rosario se perforaron dos pozos exploratorios. Con base en los resultados obtenidos con estas perforaciones se recomienda perforar pozos solamente en los sedimentos recientes con el fin de establecer las características del acuífero Cuaternario y plantear una explotación preliminar, la cual se optimará con los mismos datos colectados. Para ello se sugiere utilizar los dos pozos que el INSFOPAL perforará próximamente en la zona.

Los pozos que se construyan en cualquiera de las zonas seleccionadas deben seguir exactamente las recomendaciones de explotación. Se recomienda que se regule el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en el área del Proyecto, de acuerdo a la legislación vigente, para evitar los problemas de sobre explotación.

Se realizó una simulación matemática del comportamiento de una sección del acuífero fluvio-deltaico de la Zona El Mosquito. Se simulon caudales variables para un tiempo de bombeo de 100 días. Hasta 50 litros/segundo, el acuífero suministra agua al pozo en un período seco, sin abatimientos que puedan indicar desecamiento del acuífero. A 80 litros/segundo se comienzan a incrementar los abatimientos, sin embargo se puede bombear a este caudal durante 50 días. La influencia del Caño Picho es despreciable; el tiempo del viaje del agua desde este caño hasta el pozo de bombeo es de 900 días. Se simulon condiciones extremas, al bombear 24 horas continuas. El agua suministrada durante las primeras horas de bombeo

proviene del almacenamiento del acuífero; al interrumpir el bombeo medio día, el volumen vacío del almacenamiento es fácilmente recuperable.

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. GENERALIDADES

#### 1.1.1. CONVENIO DE ASISTENCIA TECNICA

El INGEOMINAS, a solicitud del Departamento Nacional de Planeación inició a finales de 1977 un programa de exploración de aguas subterráneas en la región de Cúcuta. Se realizó el estudio geológico (PONCE, A., 1978) y se dió comienzo en febrero de 1978 a la investigación geoeléctrica (CARREÑO, J., 1980).

En abril de 1978 se firmó el documento "Alternativas para la Utilización de los Recursos del Proyecto Estudio Hidrogeológico de la Media y Baja Guagira Fase II" entre los representantes del INGEOMINAS (Colombia) y TNO (Holanda), donde se propone dar prioridad al proyecto de abastecimiento de agua subterránea para la zona de Cúcuta. Con base en dicho documento se firma en diciembre de 1978 un Plan de Operaciones de tres proyectos, uno de los cuales es el "Estudio Hidrogeológico de la Zona de Cúcuta". Así las actividades que el INGEOMINAS desarrollaba unilateralmente en Cúcuta, quedan integradas al Convenio de Cooperación Técnica Bilateral entre la República de Colombia y el Reino de los Países Bajos.

Los codirectores del Proyecto son Francisco Mosquera de Colombia y Hugo Schoute de Holanda.

#### 1.1.2. SITUACION ACTUAL DE LA REGION

La ciudad de Cúcuta es la capital del departamento de Norte de Santander y su población actual es de 300.000 habitantes aproximadamente. Según Forero, J.(1980) la capacidad de producción diaria de agua potable en las plantas del Pórtico está entre

86.000 y 84.000 m<sup>3</sup> diarios, con la cual se serviría una población de 280.000 habitantes, si no existiera una pérdida del 50% en las regiones de conducción, por mal estado de las mismas. Por consiguiente el abastecimiento actual es insuficiente, especialmente en algunos barrios periféricos que reciben agua solamente unas horas a la semana. Adicionalmente, el río Pamplonita, del cual se abastece la ciudad, presenta sólidos en suspensión y contaminación bacteriológica por vertimientos de aguas servidas, ocasionando altos costos de tratamiento.

Las necesidades totales de agua para Cúcuta para el final del período 1979 - 1999 se calculan (FORERO, J. 1980) en 240.000 m<sup>3</sup> diarios para una población de 800.000 habitantes urbanos conectados, que es la tendencia de crecimiento alto; la moderada es de 600.000 habitantes.

Las localidades de Villa del Rosario y Los Patios tienen un acueducto que se surte del río Táchira, el cual tiene limitaciones en los meses de verano, por ser una corriente compartida con la República de Venezuela. Adicionalmente, el agua presenta contaminación bacteriológica y sólidos en suspensión, produciéndose altos costos de tratamientos.

Hay además sectores agrícolas en los valles de los ríos Táchira, Pamplonita y Zulia, que tienen déficit de agua en verano, lo cual constituye una limitación para lograr su óptimo desarrollo.

El agua subterránea se explota con aljibes y pozos poco profundos; se emplea en parte para consumo humano y ocasionalmente para uso industrial.

### 1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

El Proyecto "Estudio Hidrogeológico para el Abastecimiento de Agua en la Zona de Cúcuta" tuvo como objetivo principal el de evaluar las posibilidades de explotación de aguas subterráneas y contribuir así al aprovechamiento de agua potable en la región de Cúcuta. Incluyó las siguientes etapas: geología (PONCE, A., 1978 y



PALACIO, T., 1980), geoelectrica (CARREÑO, J., 1980), hidrogeoquímica (CORRALES, B. y VERWEY DE SPEELMAN, H., 1980), estudios de aguas superficiales (JOUSMA, G., SERRANO, S. y MOLANO, C., 1980), perforación (CASTELLANOS, M., 1981), ensayos de acuífero (SCHOUTE, H., 1980, SCHUCHMANN, B., 1981 y ULLOA, A., 1981), un modelo matemático (MOLANO, C., 1981) y el informe hidrogeológico, objeto del presente trabajo.

Este informe, por consiguiente, tiene como finalidad principal dar los resultados obtenidos con la investigación hidrogeológica tanto a nivel regional como en las zonas seleccionadas y las características de los acuíferos encontrados.

### 1.3. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

La región investigada pertenece al Departamento de Norte de Santander y se halla ubicada unos 400 km al noreste de Bogotá en la frontera con la República de Venezuela (Fig. 1).

El área de estudio se localiza a los  $8^{\circ}$  de latitud norte y alrededor de los  $72^{\circ} 30'$  de longitud oeste. Tiene una superficie aproximada de  $300 \text{ km}^2$ . Los ríos principales son el Pamplonita y el Táchira.

### 1.4. INVESTIGACIONES HIDROGEOLOGICAS ANTERIORES

Hubach, E. (1929) plantea como solución inmediata para el aprovisionamiento de agua para Cúcuta, la explotación de las fuentes de agua subterránea con pozos, socavones y perforaciones de menor diámetro. Como solución general a largo plazo más atrayente, se estima el aprovechamiento de las aguas del río Zulia.

Gaitán, E. (1936) citando a Hubach, propone para el acueducto el aprovechamiento de las aguas del río Zulia.

Suárez, V. (1947) recomienda dar

preferencia a las aguas superficiales mediante embalses, canales y acequías. Indica como segunda opción el agua subterránea, teniendo en cuenta que es costosa su explotación y se podría encontrar "agua dura y posiblemente contaminada".

Diezemann, W. (1949) concluye que el agua subterránea que se puede obtener servirá para uso doméstico y del ganado, ya que no se espera obtener una cantidad considerable ni con alta presión. Indica además, varios sitios para efectuar perforaciones.

La Compañía de Petróleos La Patricia perforó, del 25 de mayo de 1952 al 28 de febrero de 1953, el pozo Tasajero No.1, (X = 1.376.324 N; Y = 847.750 E) sobre rocas de la Formación Mirador. Realizó pruebas del pozo de 1.430 a 2.340 m en las formaciones La Luna, Cogollo, Aguardiente, Mercedes y Tibú encontrando un aumento en la salinidad del agua de arriba hacia abajo desde unos 300 ppm hasta 15.700 ppm de  $\text{Cl}^-$ .

Jimeno, A. y Tenjo, S. (1966) recomiendan perforaciones exploratorias en el cuaternario aluvial del Valle del río Táchira, zona de Villa del Rosario. Sobre otras áreas del estudio no justifican perforaciones por el aspecto económico; más bien recomiendan empleo de agua superficial.

Alvarez, A. (1966) en una investigación local al norte de Cúcuta, descarta la zona de Corral de Piedras por su litología y baja precipitación: 446 mm./año, según pluviómetro del aeropuerto.

Escobar, J. (1973) en un trabajo para la Central Azucarera del río Zulia concluye que, "la principal zona receptora para la acumulación, almacenamiento y explotación de aguas subterráneas la constituyen los depósitos aluviales y los depósitos de terraza". Además como zonas de interés para la prospección de agua subterránea señala los ejes de los sinclinales del Rosario y Cúcuta, las áreas vecinas al contacto entre formaciones terciarias y cuaternarias y las zonas próximas a fallas. Dice además, que "la recarga de los

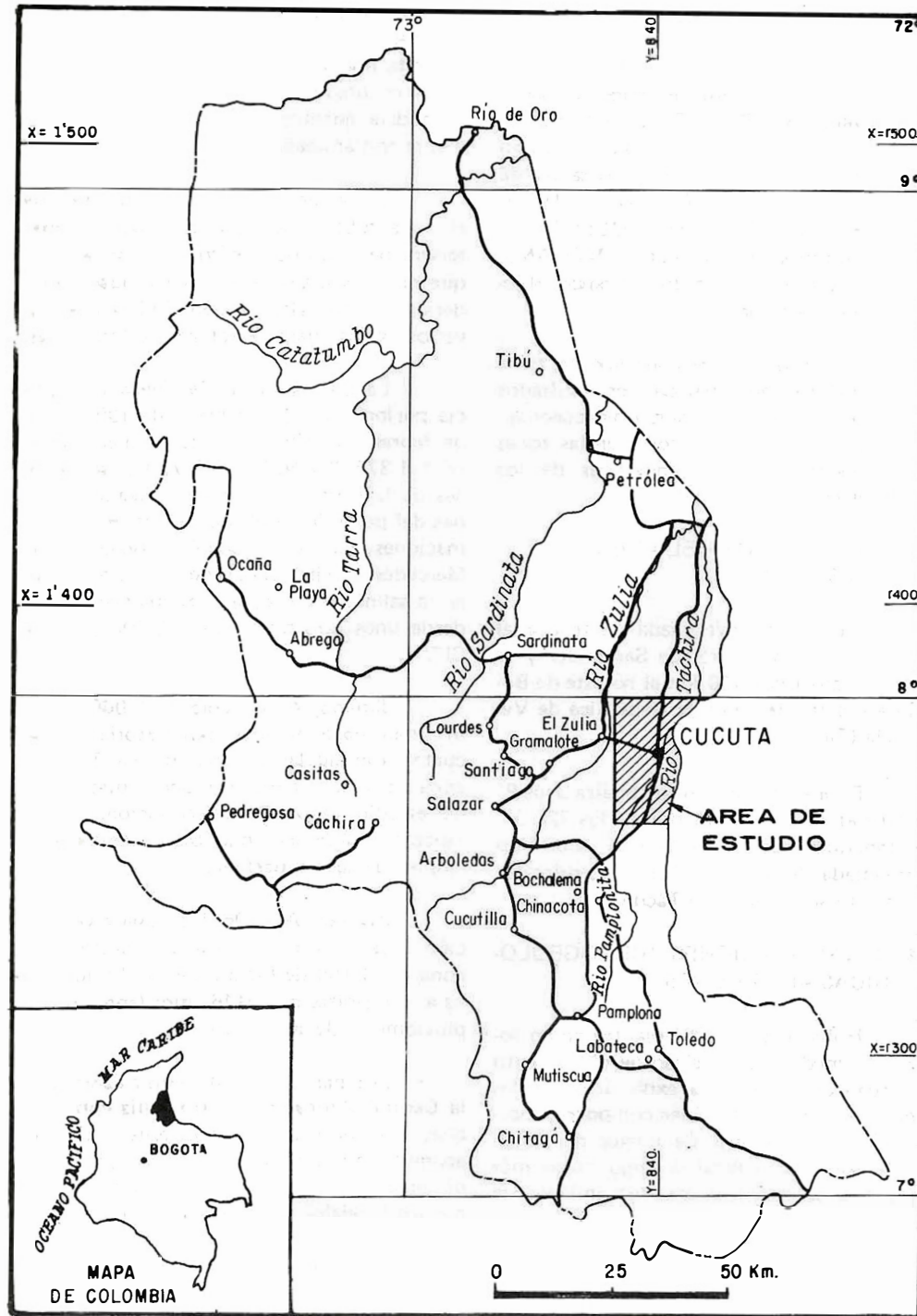


FIGURA 1. Mapa de localización.

acuíferos proviene de la precipitación y de los ríos Táchira y Pamplonita".

En abril de 1975, Chevron Petroleum Co. realizó la prueba del pozo Rosario No.1 (X = 1.361.146 N; Y = 843.950 E), obteniendo, de la Formación Carbonera (inferior) de 376 a 381 m agua con un 5 a 15% de parafina. De la Formación Mirador (superior), se obtuvo agua sin aceite ni gas, a una profundidad de 414 a 417.3 m.

Romanos, M. (1976) en estudio para la Cervecería Bavaria en la Hacienda Valle de Zulia, concluye que en ella existe agua subterránea, la cual puede ser extraída por pozos que se ubicarían a lo largo del Eje del Sinclinal Zulia.

García, M. (1977) señala como acuíferos importantes los aluviones cuaternarios, pero indica las dificultades de perforación de los mismos por la presencia de cantos rodados.

Entre el 15 de enero y el 28 de agosto de 1980 la Compañía AMOCO, perforó sobre rocas de la Formación León el pozo Mucurera No. 3 (X = 1.387.593 N; Y = 841.690 E), encontrando en la Formación Carbonera horizontes de arenisca con agua y gas metano principalmente, en los siguientes intervalos: 146-158 m; 274-286 m; 304-308 m; 311-316 m; 322-311 m; 334-344 m. A 127 m de profundidad se reporta un flujo de agua de 6 litros por segundo con 100 ppm de  $Cl^-$ . También reportan flujos de agua a 280 y 361 m, sin especificar caudal ni salinidad. Se realiza una prueba del pozo con el empaque a 2.702 m y se obtiene un flujo de agua con gas metano y trazas de etano con un caudal de 1.25 litros por segundo. En otra prueba con el empaque colocado a 2.944 m se obtiene de la Formación Mercedes un flujo de agua de 0.5 litros por segundo con 2.500 ppm de  $Cl^-$  y trazas de gas especialmente metano. La División de Hidrocarburos del Ministerio de Minas considerando la posibilidad de habilitar en el futuro el pozo para producir agua, da instrucciones a la empresa operadora para dejar libre de lodo y con agua la parte superior del pozo con

tubería de 20 pulgadas de diámetro, colocando un "flange" ciego con las correspondientes válvulas para el control de flujo; el pozo está a 20 km al norte del área urbana de la ciudad de Cúcuta.

Forero, J. (1980) en el "estudio de Nuevas Fuentes del Acueducto" recomienda reducir las pérdidas y desperdicios instalando medidores y mejorando la red de distribución. En cuanto a aguas subterráneas sugiere aprovechar los resultados del estudio del INGEOMINAS, perforando pozos profundos y construyendo las instalaciones complementarias dentro de los programas de INSFOPAL y EMCUCUTA. Finalmente se hace necesario traer agua del río Zulia a través de una conducción de 7.8 km de longitud y mediante bombeo hasta la planta de tratamiento, localizada a 2 km del Corregimiento de Carmen de Tonchalá. Plantea una solución gradual en tres etapas para completar 264.960 m<sup>3</sup>/día en el año 2.000.

## 2. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS CUALITATIVAS DE LAS FORMACIONES

En la Tabla 1 se resumen las características hidrogeológicas cualitativas, cronoestratigrafía, litoestratigrafía y litología de las siguientes unidades: Formación Mirador, Formación Carbonera, Formación León, Grupo Guayabo, Complejo de Limos y Cantos Rubificados, Terrazas y Aluviones Recientes.

### 2.1. FORMACION MIRADOR

La Formación Mirador (Tem) aflora escasamente en la zona, al noreste de la ciudad de Cúcuta y al suroeste de la misma.

La unidad está representada por areniscas de grano fino a grueso, en parte conglomeráticas, con un espesor de unos 180 m. (SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL 1967). En la Loma Cañaverales (al suroeste de Cúcuta), Ponce, A., (1978) describe las areniscas como "algo friables y de buena permeabilidad". En los afloramientos situa-

Crono-estratigrafía	Litoestratigrafía	Litología	Características Hidrogeológicas	
CUATERNARIO	Terrazas y Aluviones Recientes	Gravas, arenas y arcillas	Acuíferos en gravas y arenas	
	Complejo de limos y Cantos Rubificados	Cantos y bloques de arenisca en matriz limo-arcillosa	Zonas altas y secas. Saturados en la base ?	
T E R C I A R I O	GRUPO GUAYABO	Conjunto Arenoso	Areniscas con algo de arcillolitas	Acuíferos pobres en areniscas
		Conjunto Arcilloso	Areniscas con algo de areniscas arcillosas	Acuicludo
	Formación León	Arcillolitas	Acuicludo	
	Formación Carbonera	Arcillolitas, areniscas, niveles carbonosos y calcáreos.	Permeabilidad primaria baja: agua con gas metano principalmente. Permeabilidad secundaria regular: agua im potable, salobre y dura. Acuífero con agua de mala calidad según análisis físicoquímicos.	
	Formación Mirador	Areniscas finas a gruesas, en parte conglomeráticas.	Rocas cementadas bien fracturadas. Agua con aceite. Acuífero contaminado*.	

La contaminación del agua subterránea con aceite se menciona con base en el pozo petrolero Rosario 1 (Chevron Petroleum Co.). Puede tratarse de un dato local.

TABLA 1. Unidades cronoestratigráficas, litoestratigráficas, litológicas e hidrogeológicas.

dos en vecindades del Corregimiento de Cornejo, unos 8 km al oeste del área de estudio se observó la arenisca algo cementada pero con buena intensidad de fracturamiento.

La perforación del pozo 88 III D-107 de la Compañía Chevron encontró en esta formación, agua con películas de aceite y contenido de material orgánico.

La Formación se considera como acuífero. El tratamiento del agua sería muy costoso por la presencia de aceite.

Además en el sector urbano de Cúcuta, la Formación Mirador se encuentra a profundidades mayores de 1.000 m, que eliminan la posibilidad de aprovechar esta formación como acuífero debido a los costos de perforación y explotación.

## 2.2. FORMACION CARBONERA

La formación consta esencialmente de arcillolitas, areniscas y niveles carbonosos y calcáreos. Presenta fracturamiento diferencial.

El pozo Mucurera 3, perforado por AMOCO a 20 Km al norte de Cúcuta, atravesó areniscas de la Formación Carbonera con agua y gas metano principalmente. A 127 m de profundidad se reporta un flujo de agua de 6 litros por segundo con 100 ppm de Cl<sup>-</sup>. En pruebas realizadas a mayor profundidad se obtuvo agua con gas metano y trazas de etano, con caudales variables entre 1.25 y 0.5 litros por segundo. No se hicieron análisis fisicoquímicos completos del agua subterránea presente en las rocas de la Formación Carbonera penetradas por el pozo Mucurera 3. De todas maneras, no se justifica una conducción de 20 Km para un caudal del orden de 6 litros por segundo.

La permeabilidad secundaria debida a fracturas es regular, pero permite salidas de agua a la superficie. Al norte de la ciudad de Cúcuta hay unos manantiales que extraen agua de esta formación. El agua es im potable por sus características físico-químicas; es sa-

lobre y dura para irrigación; los costos de tratamiento descartan esta formación como acuífero explotable en el área de Cúcuta.

## 2.3. FORMACION LEON

Esta formación presenta arcillolitas de unos 400 m de espesor, impermeables, muy compactas, plásticas y untuosas. Esta formación se considera como acuíclodo.

## 2.4. GRUPO GUAYABO

Se ha dividido con un criterio hidrogeológico en dos conjuntos: arcilloso y arenoso.

### 2.4.1. CONJUNTO ARCILLOSO

El Conjunto Arcilloso del Grupo Guayabo no tiene mayor importancia como acuífero ya que el porcentaje de areniscas en la columna es muy bajo.

### 2.4.2. CONJUNTO ARENOSO

Son areniscas de grano fino, redondeado, regularmente seleccionado, friables, con un porcentaje bajo de arcilla en la matriz. La permeabilidad secundaria cambia de la parte superior a la inferior del conjunto, aumentando en la misma dirección. Estas areniscas tienen interés como acuíferos. En el sector Villa del Rosario se observa de modo general en toda la columna, que la porosidad y permeabilidad primarias son homogéneas. El buzamiento de las capas en este sector es de 30° SE, lo cual también favorece al almacenamiento por gravedad en el Valle del río Táchira, donde se encuentran bajo sedimentos cuaternarios.

Es muy notable el cambio lateral del Grupo Guayabo Conjunto Arenoso. Comparando la columna litológica de este Grupo levantada en el sinclinal del río Zulia con la de Villa del Rosario (PALACIO, T., 1980), se observa que las posibilidades hidrogeológicas disminuyen en el Zulia debido al alto contenido de arcilla en la matriz de la roca. Además los espesores de las areniscas también disminuyen allí hasta 20 % del espesor total.



## 2.5. COMPLEJO DE LIMOS Y CANTOS RUBIFICADOS

Estos sedimentos se encuentran en los siguientes sitios: Aeropuerto Camilo Daza, Aeropuerto San Luis al sur de la Hacienda Los Trapiches (Plancha 1); son zonas altas y en general secas. Estos sedimentos podrían presentar una delgada capa saturada, entre la zona superficial seca y la formación infrayacente (CARREÑO, J., 1980).

## 2.6. TERRAZAS Y ALUVIONES RECIENTES

Los sedimentos cuaternarios descansan sobre el Grupo Guayabo en el Valle del río Táchira y sobre las formaciones León, Carbonera y Grupo Guayabo en el Valle del río Pamplonita. Son aluviones conformados por gravas, arenas de grano muy variable y arcillas no consolidadas. Tienen espesor muy variable en los tres sectores:

1. Sector de Villa del Rosario. El espesor más grande se ubica a 2 km al sureste de Villa del Rosario, tiene 90 m tendiendo a disminuir hacia los extremos norte, oeste y sur.
2. Sector del Barrio La Libertad. El espesor es muy variable (máximo 45 m), disminuye paulatinamente hacia el oeste, suroeste y noroeste de la parte plana.
3. Sector Central de Cúcuta. No se conoce su espesor exacto; se estima que tiene más de 150 m.

Estos sedimentos conforman acuíferos en los tres sectores mencionados.

En el Valle del río Pamplonita, área de Los Patios, el espesor del cuaternario es muy delgado y está sobre las formaciones León y Carbonera. Constituye acuíferos de unos 20 m de espesor.

## 3. INVENTARIO DE POZOS, ALJIBES Y MANANTIALES

En el Anexo 1 se dan los datos de cada obra o captación de agua subterránea inventariada dentro del proyecto general, entre 1978 y 1979; se da la lista de 21 pozos, 125 aljibes y 8 manantiales localizados y nivelados; se incluye también el símbolo de la unidad geológica que conforma el acuífero y la resistividad del agua subterránea. De estas obras, 145 se están explotando y 9 se encuentran abandonadas o resultaron secas.

La localización de los pozos, aljibes y manantiales aparece en la Plancha 1 de este estudio. La numeración de las obras se lleva a cabo para cada una de las Planchas 88-III-B y D y 99-I-B del Mapa Topográfico de Colombia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC.

El uso principal del agua subterránea es doméstico y ocasionalmente industrial. La mayor parte de las obras son aljibes excavados manualmente y algunos pozos perforados a profundidades menores de 25 m con los cuales se extrae agua de las gravas y arenas recientes.

Los pozos construidos a profundidades mayores son:

Pozos del Proyecto del INGEOMINAS perforados en los sedimentos recientes, rocas del Grupo Guayabo Arenoso y de la Formación León.

Dos pozos que existían en la Hacienda Los Trapiches perforados en sedimentos recientes y arcillolitas de la Formación León.

Los pozos petroleros que penetran las formaciones León, Carbonera, Mirador, Cuervos, Barco y las formaciones cretáceas.

Los manantiales existentes se asocian a sedimentos recientes, a fracturas en rocas de la Formación Carbonera y a zonas de falla.

## 4. FLUJO SUBTERRANEO

### 4.1. INTRODUCCION

En este capítulo se estudian las características del movimiento del agua subterránea en los acuíferos cuaternarios en los valles de los ríos Pamplonita y Táchira.

El movimiento del agua subterránea está determinando en gran parte por la constitución geológica del subsuelo y los parámetros geohidrológicos de los acuíferos y acuitardos. El nivel del agua subterránea en un cierto punto de un acuífero varía con el tiempo debido a cambios en la recarga y descarga del acuífero por flujos subterráneos horizontales y verticales. En el caso de un acuífero libre la variación es debida a cambios en la recarga, por agua proveniente de la zona no saturada.

Se realizaron medidas de los niveles freáticos y piezométricos en los acuíferos cuaternarios de la región de Cúcuta en marzo, junio y agosto de 1979, en 104, 99 y 108 pozos y aljibes respectivamente. Mediante estos datos es posible establecer, entre otras cosas, la dirección del flujo subterráneo, las diferentes zonas de recarga y descarga y las variaciones laterales de la transmisividad. Como se dispone de niveles freáticos y piezométricos medidos en distintas estaciones se puede establecer también la relación entre las variaciones estacionales de la recarga por la precipitación y las oscilaciones de los niveles del agua subterránea.

### 4.2. NIVELES FREATICOS Y PIEZOMETRICOS

A partir de los niveles freáticos y piezométricos medidos en marzo de 1969 en unos 100 pozos y aljibes que penetran sedimentos aluviales recientes, en el área de Cúcuta, se trazaron curvas isopiécicas con equidistancia de 5 m, indicadas en la Plancha 2a. Se da también un mapa que muestra los niveles del agua subterránea en metros debajo de la superficie del terreno (Plancha 2b).

#### 4.2.1. NIVELES EN EL ACUIFERO CUATERNARIO DEL SECTOR SINCLINAL DE CUCUTA EN EL VALLE DEL RIO PAMPLONITA

El espesor máximo del acuífero en el sector Sinclinal de Cúcuta, al oeste del río Pamplonita, es de unos 300 m (Plancha 2d). Su parte superior está constituida por los sedimentos aluviales del cuaternario, los cuales conforman en la parte norte el acuífero semiconfinado de la Zona de El Mosquito, y en la parte sur, acuíferos libres penetrados con aljibes y pozos de poca profundidad. Al oeste el acuífero limita con la Formación Carbonera, la Formación León y el Grupo Guayabo, y al sur y sureste con el Grupo Guayabo (Plancha 1). Los sedimentos cuaternarios se encuentran sobre las rocas sedimentarias del Grupo Guayabo.

Las curvas isopiécicas (Plancha 2a), dan los niveles freáticos del acuífero libre en la zona sur del Sinclinal de Cúcuta, y los niveles piezométricos de la parte superior del acuífero semiconfinado en la Zona de El Mosquito. Las líneas de corriente, perpendiculares a las curvas isopiécicas, indican que existe en el valle un flujo subterráneo con una dirección principal hacia el norte. En la zona sur, dentro del centro urbano de Cúcuta, se ve que las líneas de corriente se alejan del río Pamplonita indicando que existe una recarga del acuífero procedente de la infiltración del río. Más o menos al norte del barrio San Luis el flujo subterráneo se dirige hacia el río Pamplonita indicando que en esta zona el río drena el acuífero. En la parte occidental las curvas isopiécicas tienden a ponerse paralelas al límite del acuífero.

En el acuífero semiconfinado del Sector de El Mosquito, existen no solo flujos horizontales, sino también componentes verticales del movimiento del agua subterránea; se observó en los pozos 88-III-D-105 Mosquito 2 y 88-III-D-113 Mosquito 4, que los niveles piezométricos están más cerca a la superficie a medida que la profundidad de los acuíferos aumenta. Se encuentra los niveles del agua subterránea cerca de la superficie, al contrario de la situación en el sector del Sinclinal de Cúcuta (Plancha 2b).

La fuente principal de la recarga del acuífero es la precipitación. El porcentaje de la precipitación que se puede infiltrar en el terreno y alcanzar el nivel del agua subterránea es mayor en la región no cubierta con capas de arcilla (Plancha 2e). Con el modelo matemático se simuló la percolación de agua hacia el acuífero a partir de la precipitación.

También la escorrentía superficial de la región más alta al borde del valle del río Pamplonita puede alimentar el acuífero cuaternario. Existe una infiltración de agua del Caño Picho hacia el acuífero cuando los gradientes entre el cauce del mismo y el acuífero aumentan (situación normal en época de verano); dicha infiltración es baja según el estudio con modelos (ver 5.1.4.).

Es posible que exista alguna alimentación del acuífero desde la Formación Carbonera y el Grupo Guayabo.

#### 4.2.2. NIVELES EN EL ACUIFERO CUATERNARIO DE LOS SECTORES VILLA DEL ROSARIO, LA LIBERTAD Y EL ESCOBAL EN EL VALLE DEL RIO TACHIRA

El acuífero al oeste del río Táchira en la región Villa del Rosario está constituido por los sedimentos aluviales del Cuaternario y tiene un espesor máximo de 90 m. En su mayor parte el acuífero está cubierto por capas de arcilla (Plancha 2e) cuyo espesor disminuye en dirección oeste-este; se le puede considerar como semiconfinado. Solamente a lo largo del río Táchira en forma paralela a los afloramientos del Grupo Guayabo, faltan las capas de arcilla por lo cual el acuífero está en condiciones libres. Los límites del acuífero están formados al oeste por las rocas sedimentarias del Grupo Guayabo, al norte en parte por el Grupo Guayabo y el Complejo de Limos y Cantos Rubificados y en parte con el acuífero cuaternario de la región La Libertad.

En la región La Libertad, las arenas de grano fino a grueso y las gravas de grano fino a grueso del Cuaternario forman un acuífero con un espesor máximo de 45 m, que es casi en su totalidad semiconfinado

por capas de arcilla. Las arcillolitas de la Formación León conforman la base del acuífero y su límite occidental. Al norte está limitado por el Grupo Guayabo y el Complejo de Limos y Cantos Rubificados, debido a los desplazamientos verticales a lo largo de la Falla Aguas Calientes.

En la región de El Escobal, en la franja estrecha a lo largo del río Táchira, el acuífero cuaternario continúa como un acuífero libre; en esta región el espesor hasta su base, que está constituida por el Grupo Guayabo Conjunto Arcilloso, es de solo unos 10 m.

Las curvas isopiécicas y las líneas de corriente del agua subterránea indican que el flujo subterráneo tiene una dirección principal hacia el norte en el valle del río Táchira (Plancha 2a).

Los acuíferos cuaternarios se recargan por la precipitación directa principalmente; la recarga directa con agua de lluvia es mayor en las áreas en que faltan las capas de arcilla.

En las regiones La Libertad y El Escobal se observa que las curvas isopiécicas tienden a ser paralelas a los límites del acuífero. Esto indica que existe alimentación en el borde del acuífero.

La recarga del acuífero se realiza principalmente mediante la precipitación y las aguas de escorrentía superficial que fluyen desde las colinas que circundan el valle del río Táchira. También es posible que exista una recarga desde las rocas del Grupo Guayabo y los sedimentos del Complejo de Limos y Cantos Rubificados. Muy probablemente existe recarga mediante escorrentía superficial al borde del acuífero cuaternario en la región Villa del Rosario, pero no puede demostrarse por falta de datos en esta parte del acuífero.

En la Plancha 2a se ve que las líneas de corriente se dirigen hacia el río Táchira indicando que el río drena el acuífero cuaternario.



En la Plancha 2b se observa que en el centro de la región La Libertad los niveles piezométricos están cerca de la superficie y al norte de la misma existen pozos saltantes. Este acuífero semiconfinado se recarga a lo largo de su límite norte con agua subterránea del Grupo Guayabo y del Complejo de Limos y Cantos Rubificados y posiblemente con aguas descargadas a través de la Falla de Aguas Calientes.

Resumiendo, se puede decir que en el acuífero cuaternario del valle del río Táchira se consideran como áreas de recarga las zonas a lo largo de los afloramientos de rocas sedimentarias del Terciario y el Complejo de Limos y Cantos Rubificados del Cuaternario, y como áreas de descarga la zona a lo largo del río Táchira, la parte central y norte de la región La libertad y probablemente el área vecina a la Hacienda Santa Teresa.

Finalmente, se muestran otras dos características del acuífero cuaternario mediante la interpretación de las curvas isopiécicas (Plancha 2a):

1. En la región El Escobal las curvas isopiécicas se acercan a consecuencia del espesor pequeño del acuífero en esta área (unos 10 m).
2. Al noroeste de la zona histórica de Villa del Rosario (Casa de Santander), la forma de las curvas isopiécicas hacen suponer que existen en el subsuelo zonas estrechas más permeables (probablemente cauces antiguos) hacia los cuales se dirige el flujo subterráneo.

#### 4.3. OSCILACIONES DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA

Los niveles del agua subterránea varían con el tiempo de acuerdo con cambios en la recarga del acuífero. Considerando que una fuente importante de recarga es la precipitación, es de esperar que las oscilaciones de los niveles del agua subterránea estén relacionadas con las variaciones estacionales. En la región de Cúcuta se tienen cada año dos épocas

secas (enero - febrero - marzo y julio - agosto - septiembre) y dos épocas húmedas (abril - mayo - junio y octubre - noviembre - diciembre). En la Figura 2 se dan los datos medios mensuales de precipitación y evaporación para el año 1979 en la región de Cúcuta. Como se dispone de niveles freáticos y piezométricos medidos en marzo, junio y agosto de 1979 se puede estudiar el cambio que se origina en los niveles del agua subterránea durante un período húmedo o seco. La relación entre las oscilaciones de los niveles del agua subterránea y las variaciones estacionales puede verse afectada por otras fuentes de recarga del acuífero como agua del río, agua de riego, agua subterránea de otros acuíferos o por extracción de agua subterránea. Además, esta relación puede ser poco clara por efectos de amortiguación de las variaciones de los niveles freáticos y piezométricos. Estos efectos amortiguadores pueden ser debidos, por ejemplo, a capas poco permeables o niveles freáticos profundos.

##### 4.3.1. OSCILACIONES EN EL ACUIFERO CUATERNARIO DEL SECTOR SINCLINAL DE CUCUTA EN EL VALLE DEL RIO PAMPLONITA

En la Plancha 2c se indican los valores de elevación o descenso de niveles del agua subterránea en una época húmeda (entre marzo y junio) y en una época seca (entre junio y agosto de 1979). Se ve que en la mayoría de los pozos o aljibes se encuentra una elevación del nivel de agua en el período entre marzo y junio y un descenso entre junio y agosto. Esto indica que la precipitación en los períodos húmedos produce recarga sin mucho retraso. En la estación seca el acuífero no se recarga por agua de lluvia, mientras que el agua subterránea sigue fluyendo hacia los lugares de descarga dando origen a un descenso de niveles.

##### 4.3.2. OSCILACIONES EN EL ACUIFERO CUATERNARIO DE LOS SECTORES VILLA DEL ROSARIO, LA LIBERTAD Y EL ESCOBAL EN EL VALLE DEL RIO TACHIRA

En la Plancha 2c se observa que los niveles del agua subterránea en la región El

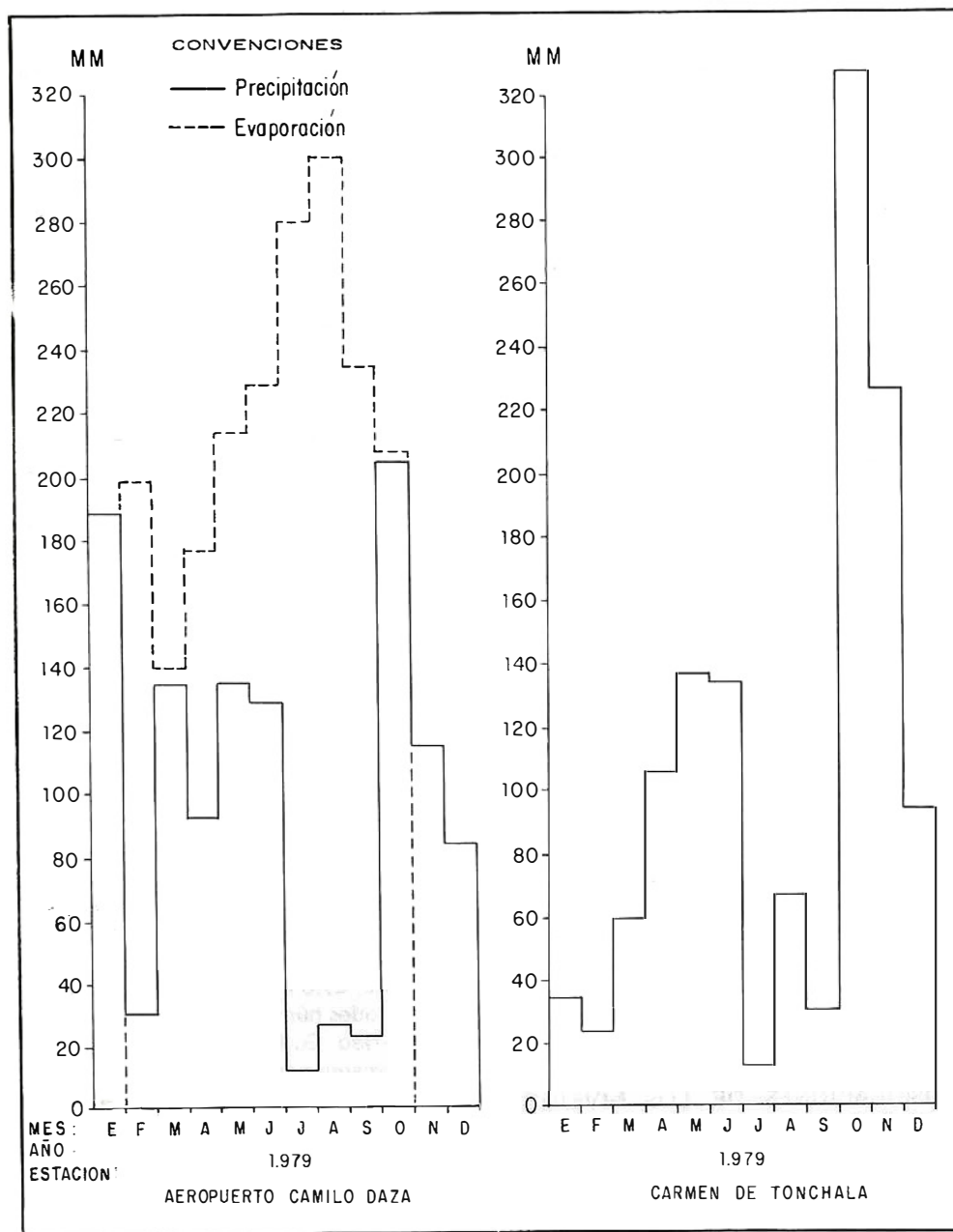


FIGURA 2. Datos medios mensuales de precipitación y evaporación del año 1979 en la región de Cúcuta.

Escobal, oscilan de la misma manera como lo hacen los niveles en el sector Sinclinal de Cúcuta; o sea, los niveles aumentan durante una estación de lluvia y descienden durante una estación seca. Ambas regiones tienen en su mayor parte acuíferos libres, al contrario de la situación en las regiones Villa del Rosario y La Libertad en las que se encuentran principalmente acuíferos semiconfinados.

En la mayor parte del acuífero semiconfinado de la región Villa del Rosario se encuentran descensos de niveles piezométricos entre marzo y junio e incrementos de niveles entre junio y agosto. Estas variaciones de niveles muestran una relación inversa con las variaciones estacionales, debida a las capas superficiales poco permeables que retrasan la recarga con agua de lluvia del acuífero semiconfinado. Las capas arcillosas en la superficie (Plancha 2e) causan un retraso en la recarga de dos meses por lo menos. Es lógico que este retraso es menor al disminuir el espesor de las capas arcillosas.

Las variaciones de niveles de agua en el acuífero cuaternario de la región La Libertad no son uniformes indicando que no solo la serie de estaciones húmedas y secas influye en los niveles del agua. Este acuífero cuaternario tiene dimensiones pequeñas y se halla circundado además por rocas sedimentarias del Terciario y los Limos y Cantos Rubificados del Cuaternario, los cuales suministran agua subterránea al acuífero cuaternario y así ejercen influencia en los niveles piezométricos (numeral 4.2.2). Además, en La Libertad se tiene un acuífero semiconfinado y se puede esperar que la recarga eventual con agua de lluvia sea un proceso amortiguado y lento.

## 5. ZONAS SELECCIONADAS

Con los resultados obtenidos de la geología, geoelectrónica, análisis hidrogeológico preliminar, inventario de pozos, aljibes y manantiales, hidroquímica e hidrología, se seleccionaron tres zonas para efectuar perforaciones exploratorias, cuya localización aparece en la Figura 3.

La etapa de perforación se inició en la Zona de El Mosquito, por ser la de mejores perspectivas en cuanto se refiere a una mayor profundidad de interés desde el punto de vista hidrogeológico. Se continuó con la zona de La Libertad, teniendo en cuenta la urgente necesidad de agua en esta área. Finalmente se investigó la Zona de Villa del Rosario.

### 5.1. ZONA DE EL MOSQUITO

Se localiza al norte del área urbana de Cúcuta, en el valle del río Pamplonita (Fig. 3). Se trata de un área llana, con planes de urbanización en un futuro próximo.

La corriente principal es el río Pamplonita, en proximidades de su confluencia con el Táchira. Existen canales de irrigación derivados del Pamplonita. La zona está atravesada por el Arroyo Caño Picho que lleva las aguas negras de la ciudad de Cúcuta; dicho arroyo se encuentra en la zona en su estado natural, aunque existen planes de alcantarillado que contemplan la conducción de esta corriente.

Geológicamente, el sector del subsuelo de interés hidrogeológico, está conformado por las Terrazas y Aluviones Recientes (Qta) del Cuaternario y por el Conjunto Arenoso del Grupo Guayabo (Tmg<sub>2</sub>) del Terciario. Los sedimentos cuaternarios se componen de gravas, arenas y arcillas. Las rocas terciarias comprenden conglomerados, areniscas conglomeráticas y algo de arcillolitas. Estructuralmente, la parte de mayor espesor de la zona coincide con la prolongación del eje del Sinclinal de Cúcuta. El basamento hidrogeológico impermeable está conformado por el Conjunto Arcilloso del Grupo Guayabo (Tmg<sub>1</sub>), un acuífero compuesto de arcillolitas con algunas capas de arenisca.

El estudio geofísico permitió la determinación de una unidad geoelectrónica de interés hidrogeológico; dicha unidad se correlaciona con sedimentos de las Terrazas y Aluviones Recientes (Qta) y rocas del Grupo Guayabo Conjunto Arenoso (Tmg<sub>2</sub>). En el mapa hidrogeológico con las líneas de la Base

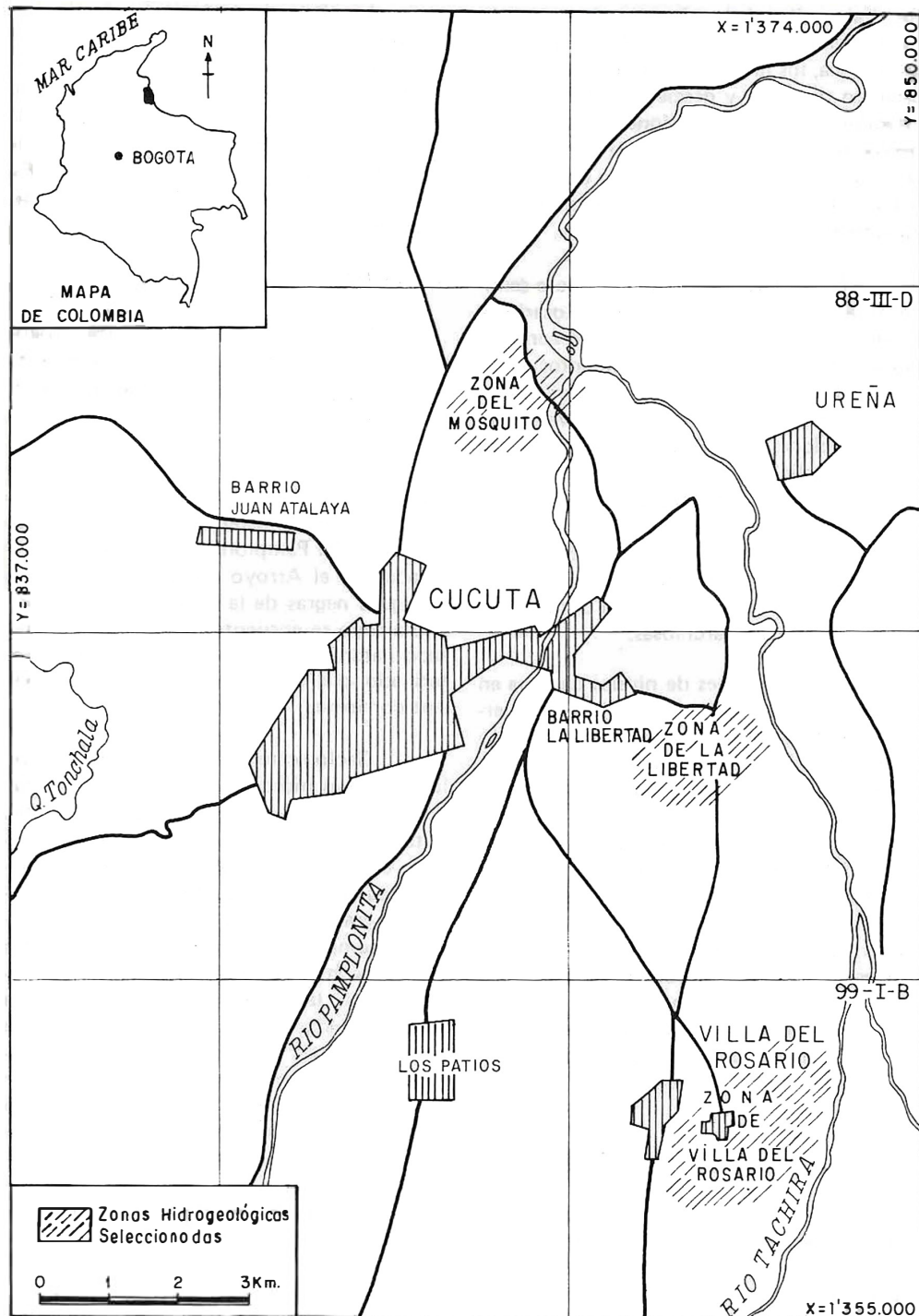


FIGURA 3. Mapa de las zonas hidrogeológicas seleccionadas.

del Acuífero (Plancha 2d), se indica el límite inferior de la unidad mencionada, la cual en la Zona de El Mosquito tiene un espesor mayor de 300 m y resistividades de formación entre 150 y 250 ohmm. El basamento hidrogeológico se correlaciona con el Grupo Guayabo Conjunto Arcilloso (Tmg<sub>1</sub>), con una resistividad de formación de 20 ohmm.

En los sedimentos cuaternarios de la Zona de El Mosquito, es notoria la presencia de capas de arcilla superficiales y en profundidad, cuya posición se indica en el mapa de Intercalaciones Arcillosas (Plancha 2e). Las arcillas por su permeabilidad baja pueden retardar la polución del acuífero por aguas servidas y residuales provenientes del área urbana de Cúcuta.

#### 5.1.1. PERFORACIONES EJECUTADAS

En esta zona se perforaron cuatro pozos (Fig. 4) numerados así:

- 88 III D-104 Mosquito 1
- 88 III D-105 Mosquito 2
- 88 III D-112 Mosquito 3
- 88 III D-113 Mosquito 4

Sus coordenadas y cotas aparecen en el Anexo 1. Los diseños de los pozos junto con el registro de tiempo de perforación y la litología aparecen en la Plancha 8 (Mosquito 1 y 2), Plancha 9 (Mosquito 3) y Plancha 10 (Mosquito 4). Los registros físicos tomados incluyen resistividad, sonda corta y larga, potencial espontáneo y rayos gamma; se muestran en la Plancha 14 (Mosquito 2), Plancha 15 (Mosquito 3) y Plancha 16 (mosquito 4).

En esta zona se presentaron problemas de perforación por la presencia de grandes "boulders", gravas con clastos duros e inestabilidad de los sedimentos, ocasionando derrumbes constantes, bajo rendimiento en las labores y desgaste rápido de brocas.

El acuífero está conformado por intercalaciones lenticulares de gravas, arenas y arcillas.

La posición de los filtros en los 4 pozos en la zona de El Mosquito, es la siguiente :

POZO No.	FILTRO I		FILTRO II		FILTRO III		FILTRO IV	
	De (m)	a (m)	De (m)	a (m)	De (m)	a (m)	De (m)	a (m)
88 III D-104 Mosquito 1							11.70	14.10
88 III D-105 Mosquito 2	120.3	150.3	70	72.5	38	41		
88 III D-112 Mosquito 3	93	165.9						
88 III D-113 Mosquito 4	90	92.38	76.62	79	50.62	53	28.82	31.20

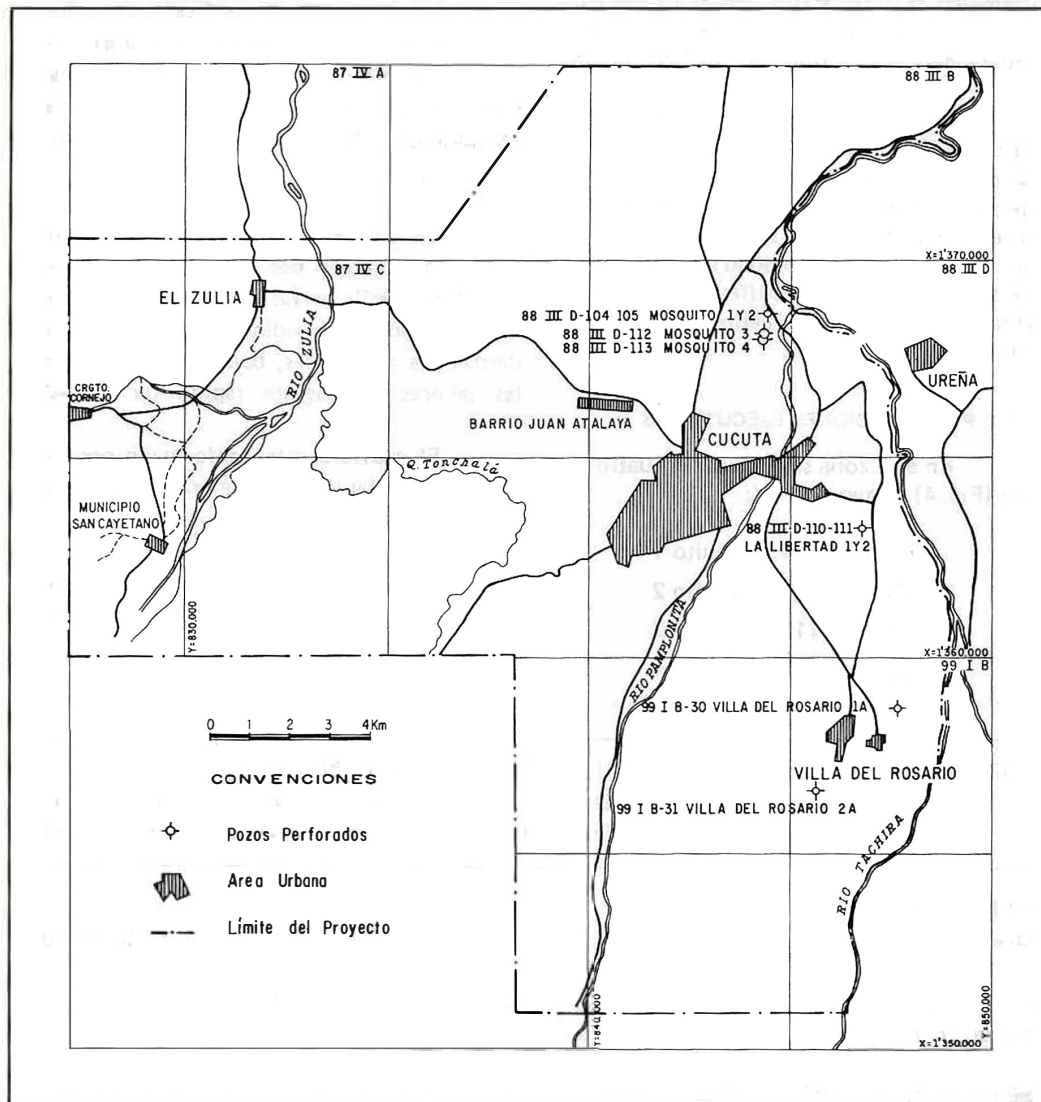


FIGURA 4. Mapa de las perforaciones realizadas en el proyecto.



Los filtros se instalaron frente a horizontes acuíferos, los cuales se hallan separados por intercalaciones arcillosas.

#### 5.1.2. PRUEBAS DE BOMBEO

El pozo 88 III D-112 Mosquito 3 está revestido en tubería PVC de 6" hasta una profundidad de 180.48 m; tiene 72.90 m de filtros desde 93 hasta 165.90 m. En este pozo se hicieron dos pruebas de bombeo y recuperación.

La primera prueba se realizó del 14 de febrero al 17 de marzo de 1980, dando un tiempo total de 147 horas y 35 minutos, con un caudal constante de 9 litros por segundo y un abatimiento hasta una profundidad de aproximadamente 10 m. Los pozos 88 III D-104 Mosquito 1 y 105 Mosquito 2, se usaron como pozos de observación a una distancia de 472 m.

La segunda prueba se realizó del 25 de agosto al 6 de septiembre de 1980, para un total de 218 horas y 30 minutos, con un caudal constante de 5.3 litros por segundo y un abatimiento hasta una profundidad de 6.50 m.

Como pozo de observación adicional a los anteriores, se usó el pozo 88 III D-113 Mosquito 4, el cual se encuentra situado a 110 m del pozo de bombeo 88 III D-112 Mosquito 3.

Los detalles de las dos pruebas realizadas se encuentran respectivamente en los informes de Schoute, H. (1980) y Schuchmann, B. (1981). Las conclusiones principales se pueden resumir como sigue :

Constantes hidráulicas del acuífero

$T = \text{Transmisividad} = 300 \text{ m}^2/\text{d}$

$K = \text{Coeficiente de permeabilidad} = 2 \text{ m/d}$

$S = \text{Coeficiente de almacenamiento} = 1.8 \times 10^{-3}$

$c = \text{Resistencia hidráulica} = 500 \text{ d}$

$L = \text{Factor de goteo} = 390 \text{ m}$

Características del Pozo 88 III D-112 Mosquito 3.

Factores de proporcionalidad encontrados :

$A = 2.55 \times 10^{-3}$

$B = 4.75 \times 10^{-6}$

$C = 3.03 \times 10^{-3}$ , entonces,

Curva de capacidad

$s_{\text{perm.}} = 5.58 \cdot 10^{-3} Q + 4.75 \cdot 10^{-6} Q^2$

Con base en la Curva de Capacidad, se puede explotar el pozo con un caudal cercano a los 55 m<sup>3</sup>/hora (15.3 Lts./seg.) con un abatimiento resultante de unos 15 m. El caudal es limitado por el tipo de bomba que se puede instalar en un pozo de este diámetro.

La bomba se debe colocar a una profundidad de 25 m.

Estos valores permiten ubicar a dichos acuíferos en el rango de regulares. La gradación granular heterogénea de los sedimentos aluviales que constituyen la zona acuífera confirma esta clasificación. Los acuíferos pueden producir un volumen de agua suficientemente grande que permita proyectar un sistema controlado de explotación por medio de pozos profundos.

Las propiedades del acuífero conocidas, propuestas o desconocidas, se obtendrán y concretarán durante la prueba y producción de los sistemas de explotación futuros. Son estos datos los que, con el tiempo, permitirán optimar la producción con respecto a la localización y diseño de pozos, volúmenes extraíbles y tiempos de extracción.

Sin embargo, a nivel local, se puede elaborar un plan de explotación a corto plazo, como el indicado en la Tabla 2.

PARAMETROS REQUERIDOS	VALORES DE LOS PARAMETROS
T, K, S, c y L	T = 300 m <sup>2</sup> /d, k = 3 m/d S = 1.8 X 10 <sup>-3</sup> , c = 500 d L = 390 m.
Abatimiento máximo permisible en un pozo de producción con un caudal Q <sub>o</sub> .	s perm = 60 m
Porcentaje del abatimiento máximo permisible con flujo horizontal y laminar en el acuífero.	S <sub>o</sub> = 30 s perm = 18 m en condiciones de máximo caudal
Penetración del pozo en el acuífero	100 % de penetración.
Configuración de la red de pozos del sistema de producción.	Tres pozos equidistantes (r <sub>1</sub> = r <sub>2</sub> ) en una línea recta.
Relación entre los caudales de la red de pozos.	Q <sub>o</sub> = Q <sub>1</sub> = Q <sub>2</sub> = 156 m <sup>3</sup> /h.
Diámetro de los pozos	r <sub>o</sub> = 0.18 m
Horas de bombeo	14 horas al día

TABLA 2. Plan inicial de explotación de agua subterránea en la Zona de El Mosquito.

La profundidad del agua en el pozo central, sin tener en cuenta el nivel estático, se puede expresar como sigue:

$$s_o = \frac{Q_o}{2\pi T} \left[ 1n \frac{1,123 L}{r_o} + \frac{Q_1 K_o (r_1)}{2\pi T L} \right] + \frac{Q_2 K_o (r_2)}{2\pi T L}$$

Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /d)	r <sub>1</sub> (m)
2.500	25
2.750	47
3.000	78
3.250	125
3.500	190
3.750	285
4.000	450

Esta ecuación se puede resolver para diferentes valores de Q<sub>o</sub> y r<sub>1</sub>.

O simplificando :

$$s_o = \frac{Q_o}{2\pi T} \left[ 1n \frac{1,123 L}{r_o} + 2 K_o \frac{(r_1)}{L} \right]$$

Con base en estas consideraciones, y más que todo con fundamento en los valores de los parámetros propuestos (Tabla 2) que se irán complementando con nuevas informaciones, tales como los resultados de los



pozos que el INSFOPAL perforará en el sector, se puede proponer una producción de,

$$Q_0 = 156 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (43 Lts/seg.)}$$

de 3 pozos equidistantes,

$$r_1 = r_2 = 285 \text{ m}$$

Bombeando 14 horas diarias la producción será  $156 \times 3 \times 14 = 6.500 \text{ m}^3/\text{d}$ , con el cual se abastecerán holgadamente unas 30.000 personas.

Probablemente, es posible explotar el área con mayor intensidad, pero para ello es importantísimo contar con registros detallados de las oscilaciones de niveles en el sector, de modo que se pueda optimar gradualmente la explotación del agua subterránea en la Zona de El Mosquito.

### 5.1.3. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

Teniendo en cuenta que la dureza del agua subterránea es de importancia en la Zona de Cúcuta, se incluye un Mapa de Dureza (Plancha 2f).

Las características físico-químicas de las aguas de los pozos perforados en el Proyecto del INGEOMINAS se encuentran reportados en la Tabla 3.

El agua del pozo 88 III D-104 Mosquito 1, de profundidad 25 m reporta propiedades físico-químicas que comparadas con los límites internacionales de potabilidad, se consideran, a excepción de la turbiedad, como agua potable.

El agua del pozo 88 III D-105 Mosquito 2 de 166 m de profundidad, presenta características físico-químicas algo diferentes a la anterior, sobre todo desmejorando un poco la calidad química. Como se puede observar en la Tabla 3 el agua de este pozo tiene un contenido de hierro de 1 ppm y el límite aceptable de acuerdo a las normas de potabilidad es de 0,3 ppm. La turbiedad bastante alta de 40 ppm como  $\text{SiO}_2$  siendo lo

aceptable 5 ppm se debe probablemente a un desarrollo incompleto del pozo. Estos resultados indican que para su utilización directa para consumo humano es necesario bajar la concentración de hierro mediante aireación, aditivos químicos, o con intercambiador catiónico.

El agua del pozo 88 III D-112 Mosquito 3, con una profundidad de 192 m indica, de acuerdo con la Tabla 3, valores físico-químicos aceptables comparados con las normas internacionales de potabilidad.

El agua del piezómetro 2 a una profundidad entre 76.6 y 79 m de acuerdo a la conductividad específica determinada a  $25^\circ\text{C}$  (1.000 umhos/cm), es la que aporta mayor cantidad de sales en disolución, sobre todo por su mayor contenido en calcio y en cloruros.

Además, se puede observar en el agua de los piezómetros 2, 3 y 4 alcalinidad a los carbonatos y a los hidróxidos, ya que en la perforación de los mismos se usó cemento para separar los diferentes acuíferos; el valor alto de pH se debe también al cemento.

Respecto a los demás datos físico-químicos del agua del pozo 88 III D-113 consignados en la Tabla 3 estos son aceptables de acuerdo a las normas internacionales de potabilidad.

En las Tablas 4 y 5 se encuentran reportados los posibles iones contaminantes y bacterias aportadas por el Caño Picho al agua subterránea de la Zona de El Mosquito.

En la Tabla 4 se observan trazas de nitritos en los piezómetros 2 y 4, así como un valor de 0,001 mg/l como N en el pozo de producción 88 III D-112 Mosquito 3; también valores de amonio, los cuales aunque son bajos, no son normales en aguas naturales.

Para el uso doméstico además de tratar su dureza es necesario la cloración para asegurar una mejor potabilidad microbiológica.

TABLA 3.

## CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DE LOS POZOS PERFORADOS EN EL PROYECTO

FECHA TOMA DE MUESTRA	NUMERO	PROFUNDIDAD DEL POZO EN METROS	TEMPERATURA EN CAMPO °C	PH EN LABORATORIO	CONDUCTIVIDAD EN LAB. A 25°C µmho/cm	DUREZA TOTAL EN CaCO <sub>3</sub> ppm	TURBIEDAD EN SIO <sub>2</sub>	P P M							E P M												
								Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
8-24-79	99 I B-30 Villa del Rosario 1A	140.00	8.4	511	175	105.00	31.00	2.40	57.00	8.00	0.09	0.05	67.46	2.80	140	40.00	1.35	0.06	2.84	0.66	0.00	0.00	1.90	0.06	2.30	0.83	
9-11-79	99 I B-31 Villa del Rosario 2A	301.00	7.7	582	182	142	40.00	1.80	58.00	9.00	0.12	0.05	17.73	0.70	206	74.00	1.74	0.05	2.89	0.74	0.00	0.00	0.50	0.01	3.38	1.54	
8-24-79	88 III D-104 Mosquito 1	25.50	8.2	360	131	8.00	21.00	1.27	48.00	2.70	0.20	0.09	14.20	0.50	189	21.00	0.91	0.03	2.40	0.22	0.01	0.01	0.40	0.01	3.10	0.44	
8-24-79	88 III D-105 Mosquito 2	166.00	8.8	540	106	40.00	71.00	1.57	38.00	2.70	1.00	0.11	21.30	0.50	201	49.00	3.09	0.04	1.90	0.22	0.04	0.01	0.60	0.01	3.30	1.02	
10-30-79	88 III D-110 Libertad 1	83.00	8.1	990	450	0.00	40.00	2.00	151.98	14.32	0.03	0.05	42.55	5.81	347.73	188.00	1.74	0.05	7.58	1.18	0.00	0.00	1.20	0.09	5.70	3.91	
11-6-79	88 III D-111 Libertad 2	12.00	27	8.3	1.070	471	0.00	44.00	1.70	158.24	17.98	0.08	0.05	53.19	6.64	408.70	170.00	1.91	0.04	7.90	1.48	0.00	0.00	1.50	0.11	6.70	3.54
3-20-80	88 III D-112 Mosquito 3	192.00	8.3	291	113	2	9.9	2.0	41	2.4	0.20	0.09	14	0.50	129	12	3.43	0.05	2.05	0.20	0.01	0.01	0.40	0.01	2.12	0.24	
12-3-80	88 III D-112-1 Mosquito 4	92.38	8.2	338	163	37	17	1.2	42	12	0.00	-	35	0.50	159	16	0.74	0.03	2.1	0.95	0.00	0.00	1.0	0.01	2.6	0.33	
"	88 III D-113-2 Mosquito 4	79.00	11.7	1.000	200	5	62	7.8	76	2.4	0.1	-	117	1.00	0.00	22	2.7	0.20	3.8	0.20	0.00	0.00	3.3	0.02	0.00	0.46	
"	88 III D-113-3 Mosquito 4	53.00	11.4	520	80	7	57	7.8	30	1.2	0.00	-	2.0	0.20	0.00	51	2.5	0.20	1.5	0.10	0.00	0.00	2.0	0.00	0.00	1.06	
"	88 III D-113-4 Mosquito 4	31.20	11.4	640	28	35	80	47	11	0.00	0.00	-	82	0.20	0.00	33	3.5	1.20	0.55	0.00	0.00	0.00	2.3	0.00	0.00	0.69	

Fecha toma de muestra	Nombre	Piezo- metro No.	Posición de los filtros (m)	pH	Amonio	Nitritos mg/litN	Nitratos mg/litN	Cloruros mg/litCl <sup>-</sup>	Sulfuros mg/litS <sup>-</sup>	Fosfatos mg/liPO <sub>4</sub>	Grasas mg/lit P
9 - 8 - 80	Caño Picho			7.1	6.0	0.0	0.0	42	4.2	Trazas	578
9 - 8 - 80	88 III D - 112 Mosquito 3		93-165	7.8	0.1	0.001	0.0	4	0.0	0.0	0.0
9 - 8 - 80	88 III D - 113 Mosquito 4	1	90- 92	8.0	0.14	0.0	0.0	0	0.0	0.2	0.0
9 - 8 - 80	88 III D - 113 Mosquito 4	2	76- 79	11.2	0.14	Trazas	0.0	28	0.0	0.0	0.0
9 - 8 - 80	88 III D - 113 Mosquito 4	3	50- 53	11.0	0.12	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0
9 - 8 - 80	88 III D - 113 Mosquito 4	4	28- 31	11.1	0.07	Trazas	0.0	14	0.0	0.0	0.0

Datos tomados del análisis ejecutado por la Universidad Nacional Instituto de Ensayos e Investigación Laboratorio de Ingeniería Ambiental.

TABLA 4. Análisis de los posibles índices de contaminación del agua subterránea en la zona de El Mosquito

Estas aguas para agricultura clasifican como  $C_2 - S_1$ ; o sea de medio peligro de salinidad y bajo peligro de sodización.

#### 5.1.4. MODELO MATEMATICO

Se efectuó una transformación al análisis numérico bidimensional de diferencias finitas para simular el flujo en régimen no permanente en una sección vertical del Acuífero Fluvio - Deltaico en el Sector de El Mosquito al norte de la ciudad de Cúcuta.

Las condiciones y parámetros hidrogeológicos incluidos en el modelo que representaron adecuadamente el sector simulado son los siguientes

Permeabilidad hirozontal del acuífero del orden de 2 m/día.

Permeabilidad vertical del acuífero del orden de 0.5 m/día.

Grado de Anisotropía de 4.

Coefficiente de almacenamiento específico del orden de  $10^{-5}$  /m.

El lecho de los cauces superficiales (Caño Picho y río Pamplonita) de arcilla semipermeable.

La capa arcillosa profunda discontinua.

Las capas arcillosas se simularon con una permeabilidad promedio de  $10^{-4}$  m/día.

Con los datos anteriores se efectuaron simulaciones con caudales elevados durante un tiempo de bombeo continuo de 100 días. Hasta 50 litros/segundo el acuífero suministra agua para el pozo sin que los abatimientos lleguen a ser tan pronunciados como para principiar a desecar el acuífero. A 80 litros/segundo comienzan a incrustarse los abatimientos; sin embargo puede bombearse a este caudal durante unos 50 días.

La influencia de Caño Picho es despreciable; el aporte máximo en el caudal bombeado es de apenas un 0.26% después de 100 días de bombeo continuo a un caudal de 50 litros/segundo y el tiempo de viaje del flujo de agua desde este cauce hasta los filtros del pozo de bombeo es de aproximadamente 900 días, por lo tanto cualquier contaminación presente en el bombeo de este pozo es de origen diferente al de Caño Picho.

El pozo de bombeo puede suministrar también los mismos 50 litros/segundo durante los 100 días, simulados en un período totalmente seco, sin aportes de la recarga proveniente de la precipitación y de los ríos, sino del agua proveniente del almacenamiento del acuífero sin que los abatimientos lleguen a valores extremos.

FECHA TOMA DE MUESTRA	POZO No.	COLIFORMES TOTALES /100 ml
29 - 8 - 80	88 III D-112 Mosquito 3	26 +
8 - 9 - 80	88 III D-112 Mosquito 3	130.000 +
8 - 9 - 80	88 III D-113 Mosquito 4	Negativo

Datos del análisis ejecutado por la Universidad Nacional Instituto de Ensayos e Investigación, Laboratorio de Ingeniería Ambiental.

TABLA 5. Análisis microbiológico del agua subterránea en la zona de El Mosquito.

Todas las simulaciones se efectuaron a caudal continuo; sin embargo normalmente sólo se bombea de 8 a 12 horas diarias, aumentando la capacidad del acuífero para abastecer agua al pozo de producción, ya que el agua suministrada durante las primeras horas de bombeo proviene principalmente del almacenamiento del acuífero en las areniscas del pozo; al interrumpir el bombeo después de sólo medio día, el volumen vacío del almacenamiento es fácilmente recuperable. Por consiguiente, los resultados obtenidos en la presente investigación se pueden considerar como representativos de condiciones extremas.

## 5.2. ZONA DE LA LIBERTAD

Se encuentra localizada al oriente del Barrio La Libertad en la zona plana perteneciente al Valle del río Táchira (Fig. 3).

En la zona existen algunos canales de irrigación procedentes del río Táchira, los cuales se drenan mediante la quebrada Bocoñó, afluente del Táchira.

Geológicamente la zona está compuesta por arcillas, arenas y gravas de las Terrazas y Aluviones Recientes (Qta) hasta una profundidad variable entre 20 y 45 m según se observa en el Mapa Hidrogeológico con las líneas de la Base del Acuífero (Plancha 2d). Infrayacen discordantemente al Qta arcillolitas grises y rojizas muy plásticas de la Formación León (Tml), las cuales constituyen el basamento hidrogeológico impermeable en la zona de La Libertad.

Las resistividades de las formaciones son de 6 a 9 ohmm para las arcillas superficiales y de 60 a 100 ohmm para las arenas y gravas que constituyen los horizontes acuíferos de las Terrazas y Aluviones Recientes (Qta). Para las arcillolitas de la Formación León (Tml) los valores de resistividad varían entre 5.3 y 13 ohmm, con un valor principal de 12 ohmm.

Existe una capa arcillosa superficial hasta profundidades variables entre 3 y 17 m, según se ilustra en el Mapa de Intercala-

ciones Arcillosas (Plancha 2e). Dicha capa arcillosa actúa como sello confinante o semi-confinante de los acuíferos existentes, los cuales contienen agua a presión y dan lugar a pozos saltantes.

### 5.2.1. PERFORACIONES EJECUTADAS

En esta zona se perforaron dos pozos (Fig. 4) numerados así: 88 III D-110 La Libertad 1; 88 III D-111 La Libertad 2.

Sus coordenadas y cotas aparecen en el Anexo 1. Los diseños de los pozos junto con el registro de tiempo de perforación y la litología, aparecen en la Plancha 6. Los registros físicos tomados son el de resistividad con la sonda corta y larga, el de potencial espontáneo y el de rayos gamma en el pozo La Libertad 1, que se muestran en la Plancha 7. En esta zona se presentaron problemas de perforación por la alta presión hidráulica del agua en el acuífero, los cuales se solucionaron con un pozo de alivio (88 III D-111 La Libertad 2). Este pozo se perforó a una distancia de 11.30 m del pozo 88 III D-110 La Libertad 1; se entubó en PVC de 6" de diámetro hasta 11.70 m, de los cuales 4.85 m son de filtro. El pozo 88 III D-111 Libertad 2 sirvió para abatir el nivel artesiano en el sitio, durante la perforación del pozo 88 III D-110 La Libertad 1.

El pozo 88 III D-110 La Libertad 1 se entubó en PVC de 6" de diámetro hasta 40.80 m. Tiene un total de 24.15 m de filtros, de los cuales 18.65 se consideran longitud filtrante activa.

### 5.2.2. PRUEBAS DE BOMBEO

En el pozo 88 III D-110 La Libertad 1 se hizo una serie de pruebas de bombeo y recuperación, como también medidas de la producción natural del pozo.

La ejecución de las pruebas se realizó en el período del 10 de octubre de 1979 hasta el 2 de marzo de 1980 y una parte de las pruebas, durante la perforación del pozo, como se detalló en la Tabla 1 del informe 1819 (SCHOUTE, H., 1980).

Las conclusiones de estas pruebas según el informe mencionado, se pueden resumir como sigue.

Las constantes hídricas del acuífero son las siguientes

T = Transmisividad 350 m<sup>2</sup>/d.

K = Coeficiente de permeabilidad 13 m/d.

S = Coeficiente de almacenamiento 3.10<sup>-3</sup>

r<sub>1</sub>/L = Relación de la distancia desde el pozo sobre el factor de goteo 0.03.

Estos valores se consideran más favorables para la explotación de agua que los del Sector de El Mosquito. Estas constantes se obtienen para los Aluviones Recientes (Qta).

Los factores de proporcionalidad encontrados para el pozo 88 III D-110 La Libertad 1; son los siguientes :

$$A = 6.93 \cdot 10^{-3}$$

$$B = 2.93 \cdot 10^{-6}$$

La curva de capacidad

$$s = 6.93 \cdot 10^{-3} Q + 2.93 \cdot 10^{-6} Q^2$$

Estos valores, mediante la curva de capacidad, indican que se puede explotar el pozo con un caudal cercano a los 45 m<sup>3</sup>/h y un abatimiento de unos 11 m. El caudal se limita por la ubicación de la bomba, la cual no se puede colocar frente a un filtro.

*Explotación Bolt futura.*- Los pozos futuros en este acuífero y en esta misma región tendrán una profundidad máxima de 50 m con 15 o 20 m de filtro de 6" y tubería de 10" desde los filtros hasta la superficie, para producir un caudal máximo de 16 l/s.

Para facilitar la explotación a nivel local, y teniendo en cuenta que los abatimientos exceden el abatimiento máximo de 16 m (SCHOUTE, H., 1980) Schuchmann,

B., (1981) elaboró el plan de explotación indicado en la Tabla 6.

El abatimiento en cualquiera de estos pozos se puede expresar como sigue :

$$s = \frac{Q_0}{2\pi T} \left[ 1n \frac{1.123 L}{r_0} + 2 K_0 (r_1 / L) + 2 K_0 (1.62 r_1 / L) \right]$$

Con esta ecuación se obtiene una gráfica para Q<sub>0</sub> y r<sub>1</sub> (Fig. 5).

Con base en lo anterior se puede proponer una producción de :

$$Q_0 = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 50 \text{ m}^3/\text{h}$$

De cinco pozos en disposición pentagonal con cada lado de

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = 200 \text{ m}$$

Se deben considerar las distancias entre los pozos como un mínimo y la disposición como un ejemplo. En la zona de La Libertad es necesario ajustar la disposición de los nuevos pozos a la extensión del área y sobre todo a la ubicación de los ya existentes.

Según lo anterior (Fig. 5), bombeando 14 horas al día, la producción será : 50 x 5 x 14 = 3.500 m<sup>3</sup>/día, la cual servirá para unos 17.500 habitantes.

Aunque se proyectan más pozos de los propuestos, la producción diaria inicial en el área no debe pasar, bajo ninguna circunstancia de 3.500 m<sup>3</sup>/d, hasta que se tengan datos suficientes sobre la reacción del acuífero al producir este caudal. Solamente el análisis de estos datos permitirá la optimización del aprovechamiento de este recurso natural.

### 5.2.3. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

El agua de los pozos 88 III D-110 La Libertad 1, y 88 III D-111 La Libertad 2,

PARAMETROS REQUERIDOS	VALORES DE LOS PARAMETROS	
T, k, S, r/L	T = 350 m <sup>2</sup> /d	k = 13 m/d
	S = 3.10 <sup>-3</sup> ,	r/L = 0.03
Valor del factor del goteo.	L = 350 m (Valor probable calculado en la prueba 8 por Schoute, H., 1980)	
Porcentaje del abatimiento máximo permisible con flujo horizontal y laminar en el acuífero.	s <sub>0</sub> = 35%, s perm = 5.60 m en condiciones de máximo caudal.	
Penetración del pozo en el acuífero.	100% de penetración	
Configuración de la red de pozos del sistema de producción.	Cinco pozos en configuración pentagonal	
Relación entre los caudales de la red de pozos.	Q <sub>0</sub> = Q <sub>1</sub> = Q <sub>2</sub> = Q <sub>3</sub> = Q <sub>4</sub> = 50 m <sup>3</sup> /h	
Horas de bombeo.	14 horas al día	

TABLA 6. Plan de explotación de agua subterránea en la zona de La Libertad.

perforados por INGEOMINAS y cuyas profundidades son 83 y 12.3 m respectivamente, presentan las características físico-químicas presentadas en la Tabla 3.

Con el uso doméstico directo de las aguas de estos acuíferos, se presentarían problemas de obstrucción de redes ya que son aguas muy duras e incrustantes que formarían grandes capas de sales en la tubería de conducción, reduciendo con el tiempo el volumen del fluido.

Con base en lo anterior, para usos domésticos se recomienda tratar el agua mediante un proceso de ablandamiento, el cual podría ser con carbonato de sodio, cal o a través de un intercambiador iónico.

Para uso industrial, además del ablandamiento se necesitaría conocer el uso específico del agua para poder recomendar su tratamiento completo.

Para irrigación, en la agricultura se clasifican como C<sub>3</sub> - S<sub>1</sub> o sea de alto peligro de salinidad y bajo peligro de sodización.

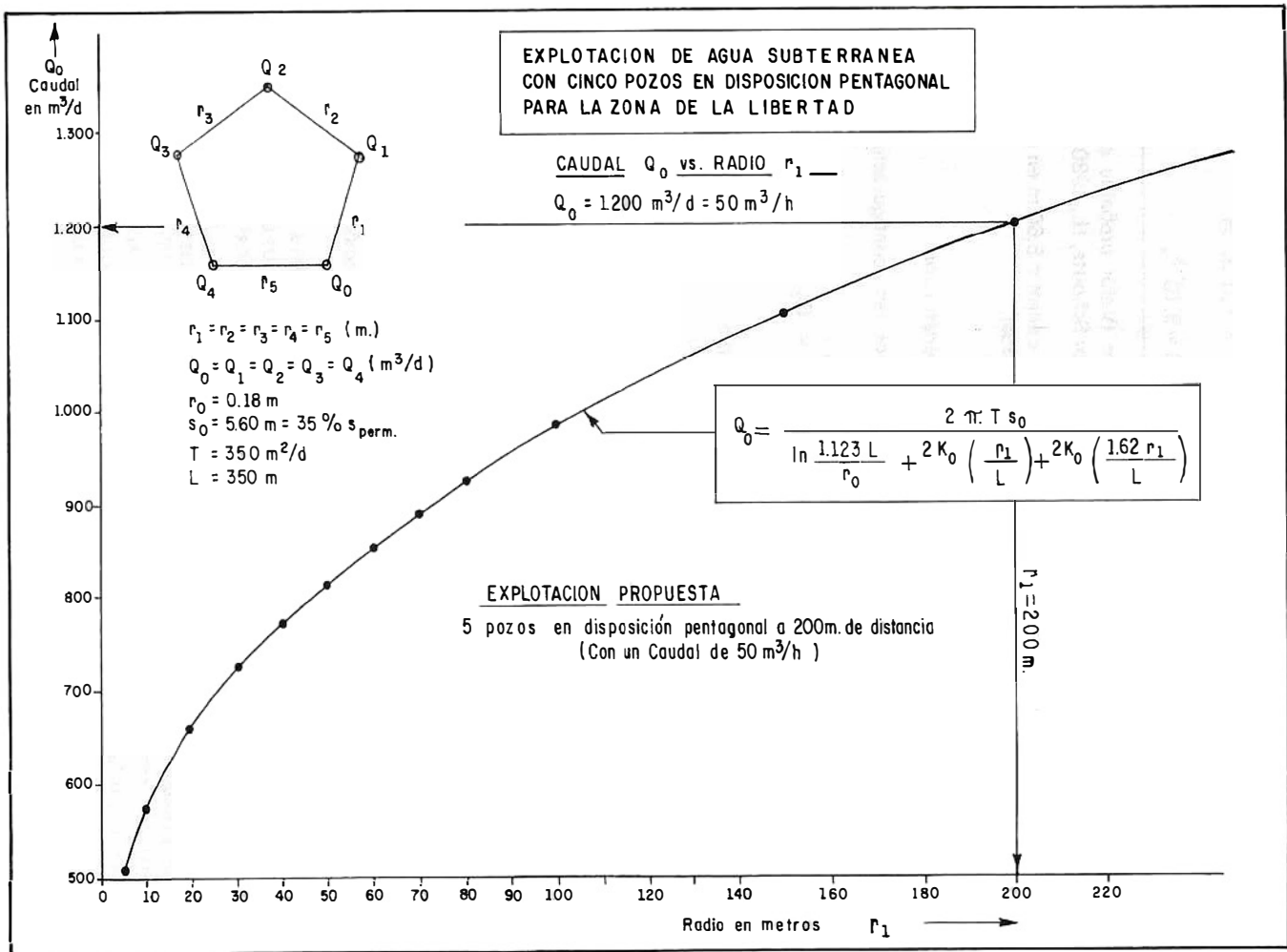
### 5.3. ZONA DE VILLA DEL ROSARIO

Esta zona se localiza al sureste de Cúcuta, en las vecindades del Municipio Villa del Rosario, Valle del río Táchira (Fig. 3).

La zona comprende la parte plana del valle y un sector de la faja piedemontana, alrededor de la población de Villa del Rosario.

La parte plana se encuentra conformada por sedimentos de las Terrazas y Aluviones Recientes (Qta) constituidas por gravas, arenas y arcillas. El sector del piedemonte comprende rocas del Grupo Guayabo Conjunto Arenoso (Tmg<sub>2</sub>) constituidas por areniscas conglomeráticas, areniscas y arcillolitas, las cuales se prolongan en el valle debajo de los sedimentos cuaternarios.

Con base en el estudio geofísico y su correlación con los pozos exploratorios, se indica la base del acuífero cuaternario a profundidades variables entre 40 y 90 m (Plancha 2d). Infrayaciendo al acuífero se han interpretado rocas del Grupo Guayabo sin di-



**FIGURA 5.** Explotación de agua subterránea con cinco pozos en disposición pentagonal para la zona de La Libertad.



ferenciar (Tmg) con resistividades de formación entre 20 y 25 ohm.

En el valle, los horizontes acuíferos se encuentran conformados por arenas y gravas del Cuaternario (Qta) y por areniscas conglomeráticas del Terciario (Tmg).

Los principales acuíferos cuaternarios atravesados por el pozo 99 I B-30 se encuentran en dos niveles: uno entre 1,5 y 38 y otro entre 41 y 63 m. Se encuentran separados por una intercalación arcillosa. Los acuíferos terciarios están conformados por numerosas capas de areniscas conglomeráticas intercaladas con arcillolitas (Plancha 7).

El pozo 99 I B-31 Villa del Rosario 2A, penetra una secuencia de arcillolitas intercaladas con areniscas pertenecientes al Grupo Guayabo de edad Terciaria.

En el piedemonte los acuíferos existentes se hallan conformados por las areniscas y areniscas conglomeráticas del Grupo Guayabo Conjunto Arenoso (Tmg<sub>2</sub>).

El acuífero cuaternario se encuentra cubierto en buena parte del valle por una capa de arcilla superficial de unos 3 m de espesor (Plancha 2e). Existe además una intercalación arcillosa a una profundidad promedio de 30 m, con espesores variables entre 1 y 6 m, cuya distribución se indica también en la Plancha 2e.

#### 5.3.1. PERFORACIONES EJECUTADAS

En el valle se perforó el pozo 99 B-30 Villa del Rosario 1, hasta una profundidad de 140,52 m. Por colapso de la tubería se perforó en el mismo sitio el pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A, hasta una profundidad de 336 m. Se entubó en PVC de 6" de diámetro hasta 326,35 m. Se instalaron filtros en los siguientes intervalos: 41.25 - 60.65 m; 109.15 - 114 m; 126.80 - 131.65; 136.50 - 146.20 m; 180.15 - 185 m; 221.55-226.40 m; 238.80 - 243.65 m; 248.50-253.35 mm; 258.20 - 263.05 m; 275.85-280.70 m; 295.25 - 300.50 m; 319.50 m; 324.35 m. Se colocó un desarenador de 2 m.

En el sector de piedemonte, en predios de la planta de Tratamiento del Acueducto de Villa del Rosario, se perforó el pozo 99 1 B-31 Villa del Rosario 2 hasta una profundidad de 342 m. Por colapso de la tubería, se reperforó a la profundidad de 300 m y en el mismo sitio el pozo 99 I B-31 Villa del Rosario 2A. Se entubó en PVC de 6" de diámetro. Se instalaron filtros en los siguientes intervalos: 128 - 131.70 m; 209.20-214.05 m; 218.88 - 223.73 m; 231.90 - 241.60 m; 260.92 - 265.77 m; 277.10 - 282 m; 286.20 - 291.05. Se colocó un desarenador de 3 m.

Las coordenadas y cotas de estos pozos aparecen en el Anexo 1. Los diseños, con el registro de tiempo de perforación y la litología aparecen en las Planchas 7 y 8, respectivamente. Los registros físicos se muestran en las Planchas 13 (99 I B-30) y 14 (99 I B-31).

#### 5.3.2. PRUEBAS DE BOMBEO

En el pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A, se hizo una serie de pruebas de recuperación en el período del 27 de abril hasta el 12 de mayo de 1981.

Después de algunas pruebas cortas el 27 de abril y la limpieza adicional de los filtros durante algunos días, se empezó con una prueba larga con caudal de 2 litros desde el 5 hasta el 11 de mayo, durante 9.020 minutos, en los que el abatimiento llegó a 11.50 m sin estabilizar. En el período siguiente de recuperación del nivel se midió el ascenso durante 1.150 minutos.

Para los detalles de las pruebas se pueden consultar los informes 1836 y 1837 del INGEOMINAS (SCHUCHMANN, B. 1981 y ULLOA, A., 1981, respectivamente).

Las conclusiones de las pruebas se pueden resumir como sigue:

$T = \text{Transmisividad } 25 \text{ m}^2 / \text{d}$

$S = \text{Coeficiente de almacenamiento } 5.10^{-4}$

Estos valores son bajos y representan sobre todo las características del Grupo Guayabo. La zona es más prometedora para la explotación de agua subterránea si se extrae el agua de las Terrazas y Aluviones Recientes (Qta), de los cuales existen pocos datos.

#### Pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A:

Los factores de proporcionalidad no se conocen. No se puede graficar la curva de capacidad.

Con un caudal de 2 litros el abatimiento será mayor de 11.50 m. Es posible una explotación de 150 m<sup>3</sup>/d de este pozo.

Con respecto a las explotaciones futuras en la zona, es necesario perforar solamente los sedimentos recientes, por ejemplo con los próximos pozos del INSFOPAL, y establecer las características del acuífero cuaternario. En este caso, se plantearía para la zona plana del valle una explotación preliminar, la cual se refinaría y optimizaría con los datos obtenidos en dicha etapa.

#### Pozo 99 I B-31 Villa del Rosario 2A:

Se presentó un excesivo abatimiento que impide bombear el agua. Se decidió inyectar agua en este pozo con el fin de estudiar las características del acuífero.

Adicionalmente, el pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A fue sometido a pruebas de bombeo y de inyección, buscando comparar resultados de ambas pruebas y con base en ello calcular las características del pozo Villa del Rosario 2A al cual solamente se le hizo inyección.

De los resultados obtenidos se ha logrado establecer que con ninguno de los métodos aplicados hasta el momento se puede calcular exactamente el valor de transmisividad debido a que se presenta el fenómeno de saturación de la zona aledaña al pozo, lo cual se ve en las formas de las gráficas obtenidas.

Es posible, sin embargo, calcular de manera aproximada la transmisividad y se obtuvieron valores muy cercanos a los calculados para el pozo Villa del Rosario 1A.

Con base en estos valores aproximados se estima que, el valor de T es menor de 1 m<sup>2</sup>/día.

### 5.3.3. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

Las aguas de los pozos 99 I B-30 y 99 I B-31 presentan características químicas muy diferentes como se puede observar en la Tabla 3. El agua del pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A se clasifica como agua muy dura mientras que el agua del pozo 99 I B-31 Villa del Rosario 2A corresponde a una agua blanda.

Para uso doméstico según análisis efectuados en las Empresas Municipales de Cúcuta, Departamento Químico y Bacteriológico, el agua de ambos pozos necesita cloración.

El agua del pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A presenta problemas de dureza para uso directo, por lo cual es necesario su ablandamiento mediante carbonato de sodio, cal, o a través de un intercambiador iónico.

También es necesario tratar la turbiedad lo cual puede hacerse con sulfato de aluminio.

Para usos industriales se tratarán de acuerdo al uso específico que se requiera.

Para irrigación, el agua del pozo 99 I B-30 Villa del Rosario 1A, se clasifica como C<sub>2</sub> - S<sub>1</sub> o sea de medio peligro de salinidad y bajo peligro de sodización; el agua del pozo 99 I B-31 Villa del Rosario 2A corresponde al grupo C<sub>2</sub> - S<sub>2</sub> o sea de medio peligro de salinidad y medio peligro de sodización.

## 6. RECOMENDACIONES DE EXPLOTACION DEL RECURSO E HIDROECONOMIA

### 6.1. ZONA DE EL MOSQUITO

La explotación inicial se debe realizar mediante una batería de tres pozos situados en línea recta y separados 285 m entre sí, con un bombeo por pozo de 156 m<sup>3</sup>/hora durante 14 horas al día. La producción total será de 6.500 m<sup>3</sup>/día y con ella se abastecerá holgadamente 30.000 personas. Se recomienda realizar controles continuos de la variación de los niveles en el sector con el fin de definir un posible incremento gradual de la producción en la zona y lograr finalmente la optimización de la explotación.

Es suficiente perforar los pozos hasta 250 m de profundidad. Para uso doméstico, el agua subterránea requiere un tratamiento con cal o intercambiadores iónicos para eliminar la dureza. Es conveniente realizar una cloración adicional para asegurar la calidad bacteriológica.

Para uso industrial, el agua subterránea es dura; según el tipo de industria se recomendará el tratamiento completo.

Para el uso agrícola del agua subterránea, se deben tener en cuenta la clase de cultivo y el tipo de suelo presente, de los cuales resultarán las recomendaciones respectivas.

Con respecto al modelo matemático, las únicas comparaciones de los datos reales y simulados se efectuaron con los valores obtenidos de las pruebas de bombeo a caudales bajos (5,3 litros/seg.) y tiempos de bombeo cortos (10 días). Por tal razón es importante bombear el pozo a caudales mayores por tiempos largos y verificar o ajustar los valores obtenidos mediante el modelo.

Para bombeos mayores a tres meses cuando esté en producción este acuífero, es aconsejable utilizar un modelo horizontal simulando todo el acuífero fluvio-deltáico en el área de Cúcuta.

Finalmente, se recomienda llevar el registro periódico de niveles piezométricos y caudales de bombeo ya que este acuífero aunque es limitado, es de gran interés para el abastecimiento de agua de la ciudad de Cúcuta. La exactitud, frecuencia y confiabilidad de los valores medidos van a incidir directamente en la eficacia del modelo para predecir y simular el comportamiento a largo plazo (20 a 30 años), buscando diferentes ubicaciones de los pozos de bombeo para aprovechar optimamente el acuífero sin llegar a sobre explotarlo, dándole un adecuado manejo al recurso de agua subterránea en la ciudad de Cúcuta.

### 6.2. ZONA DE LA LIBERTAD

Se recomienda construir cinco pozos separados por un mínimo de 200 m cada uno como se indica en la Figura 5, con un bombeo por pozo de 50 m<sup>3</sup>/h. El tiempo diario de bombeo será de 14 horas. La producción total de la batería de pozos será de 3.500 m<sup>3</sup>/ día, la cual servirá para unos 17.500 habitantes. No se debe exceder la producción recomendada hasta contar con datos suficientes sobre la reacción del acuífero al producir este caudal. El análisis de estos datos permitirá optimar el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en la zona de La Libertad.

Los futuros pozos tendrán una profundidad máxima de 50 m con 15 ó 20 m de filtro de 6" de diámetro y tubería de revestimiento de 10" desde los filtros hasta la superficie para producir un caudal máximo de 16 l/s.

Para uso doméstico, el agua subterránea se debe tratar con cal o mediante un intercambiador iónico para eliminar la dureza. Se recomienda una cloración adicional para garantizar la calidad bacteriológica.

Para uso industrial el agua subterránea es dura; según la clase de industria se recomendará el tratamiento completo.

Para el uso agrícola del agua subterránea se debe tener en cuenta la clase de

cultivo y el tipo de suelo presente, de los cuales resultarán las recomendaciones respectivas.

### 6.3. ZONA DE VILLA DEL ROSARIO

Para una explotación futura en la zona del valle, se recomienda perforar los pozos solamente en los sedimentos recientes con el fin de establecer las características del acuífero cuaternario y plantear una explotación preliminar, la cual será optimada con los nuevos datos colectados. Para esta etapa, se sugiere usar los dos pozos que el INSFO-PAL perforará próximamente en la zona.

La profundidad de los pozos oscila entre 45 y 95 m y estará determinada por la base de los depósitos recientes, para lo cual se sugiere consultar el Mapa Hidrogeológico con las líneas de la Base del Acuífero (Pl.2d).

No se recomienda construir pozos en las rocas del Grupo Guayabo. Conjunto Arenoso ( $Tmg_2$ ), ya que se estima un valor de transmisividad menor de  $1 \text{ m}^2/\text{día}$ .

Para uso doméstico, el agua subterránea se debe tratar con cal o intercambiadores iónicos para eliminar la dureza. Es recomendable una cloración adicional para garantizar la calidad bacteriológica.

Para uso industrial el agua subterránea es dura; según la clase de industria se recomendará el tratamiento completo.

Para el uso agrícola del agua subterránea se debe tener en cuenta la clase de cultivo y tipo de suelo presente, de los cuales resultarán las recomendaciones respectivas.

### 6.4. INVERSIONES NECESARIAS Y COSTOS DEL AGUA POR $\text{m}^3$

#### 6.4.1. GENERALIDADES

Cualquier decisión con respecto a la utilización de una fuente de agua debe basarse en una ponderación de alternativas de explotación de las fuentes disponibles.

BOL. GEOL., VOL. 25, No. 3

El elemento de comparación en general es el aspecto económico. Otros aspectos que no se traducen fácilmente en términos económicos, como son los riesgos o efectos adversos al medio ambiente, deben tomarse en cuenta o deben formar explícitamente limitantes de los elementos técnicos que sirven de base para las evaluaciones económicas.

Los cálculos en este capítulo tienen por fin suministrar la traducción de las consecuencias técnicas de la explotación (como profundidad y diámetro de los pozos, caudal y abatimiento) en términos económicos en cada una de las tres áreas, a saber:

El valor de las inversiones necesarias para el caudal previsto.

Los costos anuales de explotación.

Los costos por metro cúbico.

El precio de perforación, que es un factor determinante en el precio unitario del agua, está sujeto al mecanismo de oferta - demanda resultando una variación fuerte que depende no solo de la situación económica del momento sino también de la región. Esta influencia regional tiene tres razones. La mayoría de las compañías de perforación están ubicadas en tres polos: en el Valle, en La Sabana de Bogotá y en la Costa Atlántica. Los precios de perforación de las compañías perforadoras de pozos en regiones remotas suben por el transporte. La falta de experiencia de dichas empresas en áreas diferentes a las de su polo habitual, induce a aumentar precios para disminuir riesgos desconocidos. Igualmente puede influir en el precio, el desconocimiento del mercado de perforación por parte de los consumidores y la falta de competencia en áreas donde la explotación de las aguas subterráneas no es usual.

Existen grandes diferencias entre las empresas, tanto en experiencia como en equipos, con su repercusión en el precio y en el éxito de los trabajos.

Estas observaciones conducen a dos conclusiones:

- Los resultados de los cálculos económicos presentados aquí, basados fundamentalmente en precios de perforación para Cúcuta en 1981, tienen un valor para las condiciones del año 1981.
- No se justificaría la aplicación de los resultados obtenidos en otras regiones con otros precios de perforación o de energía, con otras distancias de transporte, de materiales, implementos, etc.

El valor de inversiones y costos está expresado en pesos colombianos de 1981 de valor constante. Para cualquier cálculo en fechas posteriores se necesitarán reajustes de los precios de perforación y de energía lo mismo que del porcentaje de intereses.

#### 6.4.2. DEFINICIONES E HIPOTESIS DE BASE

Como base de los cálculos se han tomado las recomendaciones para la explotación en las tres regiones de interés distinguidas en este informe: El Mosquito, La Libertad y Villa del Rosario. Estas recomendaciones se resumen en una previsión del caudal y del abatimiento aproximados por pozo y en el diseño de un pozo modelo para cada región (Tabla 7).

Se calcula el precio del agua producida en el sitio del pozo con una cabeza de diez metros de columna de agua sobre la superficie. En el costo de la conducción del agua hasta el nivel del tanque de distribución influyen condiciones locales y a veces alternativas de las empresas públicas las cuales deben tomarse en cuenta en una comparación definitiva de costos entre agua subterránea y agua superficial.

Cabe precisar por lo tanto que no se consideran: costos de tratamiento, costos de la conducción del pozo a un tanque de almacenamiento, costos de energía para este transporte (si se superan los diez metros de cabeza antes mencionados) y costos de adquisición o uso de terreno para pozos y conducciones.

Descripción	El Mosquito	La Libertad	Villa del Rosario
Caudal (l/s)	43	16	20
Diámetro	8"	6"	6"
Longitud (m)	70	20	50
Diámetro tubería	8"	10"	10"
Longitud (m)	50	30	40
Diámetro tubería	10	—	—
Longitud (m)	80	—	—
Diámetro perfor.	16"	16"	16"
Profund. (m)	205	55	95
Nivel dinámico bajo la superficie en metros	65	25	30

Tabla 7. Características del Pozo Modelo por Región.

Para el cálculo de los precios en este capítulo se utilizan estimaciones y cotizaciones recientes (de 1981), de empresas de perforación fabricantes y proveedores de bombas y otros equipos.

Las "Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A." nos facilitaron su cuadro proyectado de tarifas para el año 1981 indicando una tarifa para uso oficial en diciembre de 1981 de \$ 2,33/kwh.

Para el bombeo se cuenta con bombas eléctricas sumergibles, dada su facilidad instalación, de operación, de mantenimiento, su precio favorable y la disponibilidad de energía eléctrica en esta área.

Para calcular los costos del capital se adoptó una tasa de interés del 36% anual.

#### 6.4.3. INVERSIONES

Para el cálculo del costo de perforación de un pozo se ha elaborado el diseño de un pozo modelo para cada una de las tres regiones con la consideración, que son diferentes respecto al tipo de pozo que se necesita y al caudal por pozo que se puede explotar. Las características de estos pozos se dan en la Tabla 7.

##### Pozo entubado completo

Los componentes de la inversión en el pozo son:

Traslado del equipo al área. Este costo es el mismo para pozos profundos o someros; interviene no más que una vez en una campaña de perforación. Por esta razón afecta más a los pozos someros que a los pozos profundos e influye menos en el costo por pozo o en el precio por m<sup>3</sup> de agua, cuantos más pozos se perforen bajo un solo contrato.

Traslado al sitio de perforación e instalación del equipo. Este costo incluye también desmontaje y arreglo del terreno. Interviene en cada pozo.

La perforación y ampliación

Tubería, filtros y su instalación; para el cálculo son de PVC

Empaques de grava y material estabilizador

Desarrollo del pozo

Prueba de bombeo

Registro geofísico

Construcción de una cabeza de protección del pozo

Transporte de tubería, grava, etc.

Varios

Es importante tener en cuenta que en un pozo que tiene el carácter de exploratorio intervienen también costos de la prueba de producción preliminar, muestreo y análisis del agua, etc. En nuestro caso consideramos únicamente pozos de producción en un área suficientemente conocida por lo cual no tomamos en cuenta costos de exploración.

### Equipado del pozo

Los componentes de la inversión en el equipado del pozo son:

La bomba. En la región de Cúcuta se encuentra energía eléctrica disponible. Por esta razón se realizaron los cálculos con bombas eléctricas sumergibles que son de fácil instalación, mantenimiento, permiten un funcionamiento continuo y tienen un precio relativamente bajo.

La tubería de presión de la bomba

La línea eléctrica desde la red de alta tensión al sitio del pozo

El transformador

Las capacidades y los costos de cada uno de los cuatro componentes anteriores dependen del caudal y del nivel dinámico del pozo. Además se toman en cuenta:

La caseta para los interruptores, conexiones y controles de la instalación eléctrica, eventualmente para la protección del pozo.

Los costos de la instalación de la bomba, la tubería y la línea eléctrica, etc.

### Costos del terreno

Se trata de costos del terreno donde se ubica el pozo (algunos metros cuadrados) y de la tubería de conducción. Su monto depende mucho de las condiciones locales, la posibilidad de las Empresas Públicas y los problemas económicos. Por lo tanto no se tomaron en cuenta.

En la Tabla 8 se detallan los valores de los componentes de la inversión por pozo modelo y por región. Se trata de precios aproximados al nivel de 1981. Los resultados se pueden considerar solamente como indicativos.

### 6.4.4. COSTOS ANUALES

Los costos anuales son la suma de:

Los costos del capital de la inversión

Los costos de energía de bombeo

Los costos de mantenimiento

Los costos de vigilancia e inspección

### Costos del capital de la inversión

Se calculan estos costos considerando que el plazo de amortización coincide con la vida útil del proyecto y que al finalizar la vi-

	VIDA UTIL (años)	EL MOSQUITO	LA LIBERTAD	VILLA DEL ROSARIO
Pozo modelo entubado	20	5.000.000	1.800.000	2.500.000
Traslado del equipo al área	20	150.000	150.000	150.000
<b>Equipado del Pozo:</b>				
- Bomba	10	500.000	300.000	350.000
- Tubería	10	195.000	45.000	60.000
- Línea eléctrica	15	200.000	200.000	200.000
- Transformador	15	400.000	250.000	300.000
- Caseta	20	300.000	300.000	300.000
- Instalación de la bomba	10	40.000	40.000	40.000
- Costos del terreno	40			

TABLA 8 : Costos aproximados por pozo y por región para 1981

da útil el valor residual es nulo. La vida útil de cada uno de los componentes del proyecto se indica en la Tabla 8. La anualidad (A) que se debe invertir cada año durante la vida útil de (n) años del proyecto o de un componente del proyecto para recuperar el capital de valor actual (P) invertido al interés compuesto de (i) por ciento se calcula según:

$$A = \frac{P i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Se supone que corresponde al pozo una cuarta parte del valor del traslado e instalación del equipo de perforación al área. Los resultados del cálculo se dan en la Tabla 9.

#### Costos de energía del bombeo

La potencia (P) en kilowatios necesaria para elevar un caudal de (Q) l/s sobre una altura de (h) metros, con una eficiencia de la bomba ( $E_p$ ), se calcula según la siguiente fórmula:

$$P = \frac{0,736 Q h}{76 E_p} \text{ (KW)}$$

En nuestros cálculos (h) es igual al nivel de bombeo más 10 m (numeral 6.4.2.) Se asumió una eficiencia  $W_p = 0,5$  que es un valor bajo para tener en cuenta el desgaste y el efecto de la altura topográfica.

La tarifa de las Centrales eléctricas del Norte de Santander, para uso oficial, al final del año 1981 fue de \$ 2,33 / kwh.

Se considera que se bombearán 20 horas diarias, o sea 7.300 horas anuales.

El costo anual de energía (CE) se calcula según:

$$CE = P \times 2,33 \times 7300 \text{ (pesos)}$$

Los resultados se dan en la Tabla 9.

El diagrama de la Figura 6 permite calcular la potencia eléctrica y los costos de energía por hora como función de la altura manométrica y el caudal.



	Vida útil (años)	El Mosquito	% del total	La Libertad	% del total	Villa del Rosario	% del total
<b>COSTOS DEL CAPITAL</b>							
Pozo modelo entubado	20	1.817.026	49	662.786	46.2	915.276	50.4
Equipado del pozo							
Bomba	10	188.700	5	113.220	7.9	132.090	7.3
Tubería	10	73.793	2	16.983	1.1	22.644	1.2
Línea eléctrica	15	72.720	2	72.720	5.1	72.720	4
Transformador	15	145.440	4	90.900	6.3	109.080	6
Caseta	20	108.210	3	108.210	7.5	108.210	6
Instalación de la bomba	10	15.096	0.5	15.096	1.1	15.096	0.8
<b>Total costos del capital</b>		<b>2.420.985</b>	<b>65.5</b>	<b>1.079.915</b>	<b>75.2</b>	<b>1.375.116</b>	<b>75.7</b>
<b>COSTOS DE ENERGIA</b>		<b>1.062.436</b>	<b>29</b>	<b>184.484</b>	<b>13</b>	<b>263.550</b>	<b>14.5</b>
<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>							
Pozo		50.000	1.4	18.000	1.3	25.000	1.4
Bomba		10.000	0.3	6.000	0.4	7.000	0.4
Instalación eléctrica		6.000	0.2	4.500	0.3	5.000	0.3
Tubería		2.000	0.1	500		600	
Costos de vigilancia e inspección		141.000	3.5	141.000	9.8	141.000	7.7
<b>Total de costos anuales</b>		<b>3.692.421</b>	<b>100</b>	<b>1.434.399</b>	<b>100</b>	<b>1.817.266</b>	<b>100</b>

TABLA 9. Costos anuales - Tasa de interés 36%



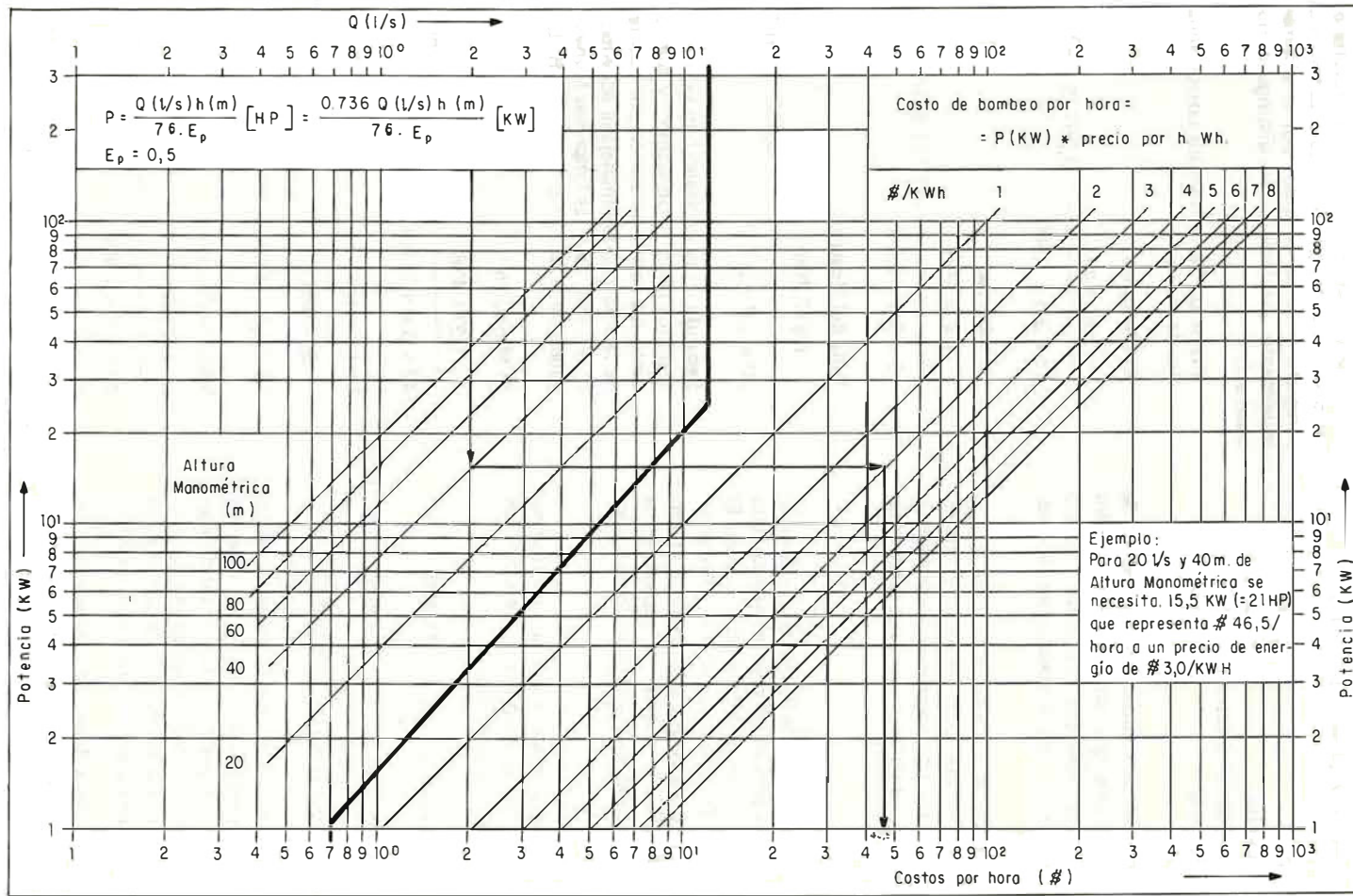


FIGURA 6. Potencia en KW como función de la altura manométrica y el caudal; costos de bombeo por hora.

**Costos de mantenimiento:** Se suele calcular estos costos como porcentaje del valor de inversión inicial:

Pozo	1 %
Bomba	2 %
Instalación eléctrica	1 %
Tubería	1 %

**Costos de vigilancia e inspección:** Se considera que un electricista y dos obreros pueden controlar cuatro pozos y sus instalaciones anexas.

La Tabla 9 muestra el total de los costos anuales por pozo modelo y por región. Es interesante estudiar el porcentaje de cada uno de los componentes del costo total anual.

El nivel alto de 36% de intereses influye fuertemente en el porcentaje muy alto del costo de capital (entre 65.5% para El Mosquito y 75.7% para Villa del Rosario). Esta parte de los costos anuales tiene importancia únicamente cuando el capital se ha conseguido en el mercado monetario nacional.

En el caso que no se carguen los costos del capital a la Empresa de Servicios los costos anuales por pozo serían:

El Mosquito	\$ 1.271.436
La Libertad	354.484
Villa del Rosario	442.150

Los costos de mantenimiento representan en los tres casos un 2% del total. El porcentaje que representan los costos de vigilancia e inspección sube cuando el costo total baja, dado que los costos son los mismos para pozos profundos o para pozos someros.

Los costos de energía, depende de las condiciones hidrogeológicas. Llegan al 29% en el caso de El Mosquito, pero son de 9,8% en La Libertad y de 7.7% en Villa del Rosario.

#### 6.4.5. COSTOS DEL AGUA POR m<sup>3</sup>

El precio del agua por m<sup>3</sup> resulta de los costos anuales por pozo calculados en el párrafo anterior divididos por el volumen anualmente producido. Se distinguen dos casos así:

**Primero:** Se incluye los costos anuales de capital:

**El Mosquito:**

$$\frac{3.692.421}{43 \times 3,6 \times 7.300} = 3,267 \text{ \$ / m}^3$$

**La Libertad**

$$\frac{1.434.399}{16 \times 3,6 \times 7.300} = 3.411 \text{ \$ / m}^3$$

**Villa del Rosario :**

$$\frac{1.817.266}{20 \times 3,6 \times 3.700} = 3,458 \text{ \$ / m}^3$$

**Segundo :** Los capitales han sido conseguidos como "donación" y por lo tanto los costos no corren por cuenta de la empresa que maneja el acueducto; en este caso las Empresas Municipales de Cúcuta o EMPONORTE:

**El Mosquito**

$$\frac{1.271.436}{43 \times 3,6 \times 7.300} = 1,125 \text{ \$ / m}^3$$

**La Libertad**

$$\frac{354.484}{16 \times 3,6 \times 7.300} = 0,843 \text{ \$ / m}^3$$

**Villa del Rosario**

$$\frac{442.150}{20 \times 3,6 \times 7.300} = 0,841 \text{ \$ / m}^3$$

Se nota que el alto porcentaje de intereses (36%) y desde luego el alto costo del capital, causan una diferencia entre los dos casos presentados en los costos por m<sup>3</sup> de:

\$ 2,142 a \$ 2,617, ó sea 65 % a 75% de costo por m<sup>3</sup> total.

## 7. CONCLUSIONES

En el área del proyecto se determinaron tres zonas para la producción de aguas subterráneas: El Mosquito, La Libertad y Villa del Rosario.

Los pozos perforados en la zona de El Mosquito abastecerán las vecindades del Barrio Guaymaral y las futuras urbanizaciones que se construyan al norte del mismo. Es posible pensar en una conducción para abastecer una parte del sector del Barrio San Luis con pozos ubicados en el extremo sureste de la zona.

Los pozos perforados en la zona de La Libertad pueden abastecer una parte del Barrio La Libertad, mediante una conducción y bombeo al tanque elevado. Una parte del agua obtenida puede destinarse al abastecimiento de nuevas urbanizaciones como: "La Carolina" y otras que se construyan en un futuro.

Los pozos que se perforen en la zona de Villa del Rosario pueden interconectarse a la red de abastecimiento del Sector Histórico de Villa del Rosario y La Parada.

Para uso doméstico el agua subterránea de Cúcuta requiere un tratamiento con cal o intercambiadores iónicos para eliminar la dureza. Es conveniente una cloración adicional para asegurar la calidad bacteriológica.

Para uso industrial el agua subterránea de Cúcuta es dura. Teniendo en cuenta el tipo de industria se recomendará el tratamiento completo.

Para el uso agrícola del agua subterránea de Cúcuta, se deben tener en cuenta la clase de cultivo y el tipo de

suelo presente, de los cuales resultarán las recomendaciones respectivas.

El pozo Mucurera 3, perforado por la Compañía AMOCO, está ubicado a 20 Km del área urbana de Cúcuta. De acuerdo a la producción reportada del orden de 6 litros por segundo, sería antieconómico construir una conducción para la distancia y el caudal mencionados.

Los pozos que se construyen en cualquiera de las zonas mencionadas, deben seguir estrictamente las recomendaciones de explotación indicadas en este informe. Es muy importante que el INDERENA aplique o delegue en una entidad oficial el control del recurso hídrico subterráneo, de acuerdo a la legislación vigente, en el área del proyecto.

### 7.1. ZONA DE EL MOSQUITO

Geológicamente el acuífero está conformado por gravas y arenas del cuaternario y por conglomerados y areniscas conglomeráticas del Terciario. El límite entre sedimentos inconsolidados recientes y las rocas terciarias no es muy claro.

Las gravas, arenas, conglomerados y areniscas conglomeráticas constituyen una unidad acuífera con un espesor mayor de 300 m.

### 7.2. ZONA DE LA LIBERTAD

Geológicamente el acuífero está conformado por gravas y arenas recientes sobre un basamento impermeable de arcillolitas terciarias.

Las gravas y arenas constituyen un acuífero confinado entre dos capas arcillosas; una superficial hasta unos 10 m de profundidad y otra profunda desde más o menos 40 m de profundidad.

## 7.3. ZONA DE VILLA DEL ROSARIO

y arcillolitas.

Geológicamente el acuífero está compuesto por gravas y arenas recientes sobre una secuencia terciaria de baja transmisividad estimada (menor de 1 m<sup>2</sup>/día), conformada por areniscas

Las gravas y arenas recientes constituyen horizontes acuíferos separados por intercalaciones arcillosas hasta profundidades variables entre 40 y 90 m.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALVAREZ, A., 1966.- *Memorando No. AAO-077-66 de la Sección de Hidrogeología del Servicio Geológico Nacional, con Mapa Geológico del Norte de Cúcuta.* Bogotá.
- BOTERO, G., 1948.- *Estudios Geológicos para la obtención de Aguas del subsuelo para la Fábrica de Cervecería Nueva de Cúcuta S.A.* Bogotá. (Inédito).
- CARREÑO, J., 1980.- *Investigación Geoeléctrica Areas de Cúcuta - El Zulia. Inf.1791.* INGEOMINAS, Bogotá.
- CASTELLANOS, M., 1981.- *Perforación de Pozos Profundos en la zona de Cúcuta. Inf. 1833.* INGEOMINAS, Bogotá.
- CORRALES, B., SPEELMANN, H., 1980.- *Informe Hidroquímico de Cúcuta. Inf. 1823.* INGEOMINAS, Bogotá.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, M., 1976.- *Hidrología Subterránea.* Tomo I y II, Ed. Omega, Barcelona.
- DIEZEMANN, W., 1949.- *Posibilidades de Aguas Subterráneas en las regiones secas de Cúcuta (Santander del Norte).* Comp. Est. Geol. Of. Col. (Bogotá) 8: 67-84.
- ESCOBAR, J., 1973.- *Estudio Hidrogeológico para la Central Azucarera del Río Zulia, incluye Mapa Geológico Cúcuta-Ureña (1:50.000).* Bogotá: (Inédito).
- FORERO, J., 1980.- *Estudio de Nuevas Fuentes del Acueducto.* Informe Final de las Firmas "Tecproyectos" y "Riveros Leyva" para las "Empresas Municipales de Cúcuta": Inédito.
- GAITAN, E., 1936.- *La Irrigación del Valle de Cúcuta.* Imprenta Oficial, Cúcuta. p.11-37.
- GARCIA, M., 1977.- *Memorando INSFOPAL.* Bogotá: (Documento Interno).
- HUBACH, E., 1929.- *Provisión de Aguas para la Región de Cúcuta.* Bol. Min. Petr. (Bogotá), 11-12: 384-406.
- JIMENO, A., TENJO, S., 1966.- *Posibilidades de Aguas Subterráneas en la Zona de Cúcuta y alrededores.* Inf. 1514. Servicio Geológico Nacional, Bogotá.
- JOUSMA, G., SERRANO, S., MOLANO, C., 1980.- *Hidrología del Area de Cúcuta, Inf. 1826.* INGEOMINAS, Bogotá.
- MOLANO, C., 1981.- *Simulación Matemática del Acuífero Fluvio - Deltáico en el Sector de El Mosquito, Area Urbana de Cúcuta. Inf. 1834.* INGEOMINAS, Bogotá.

- PALACIO, T., 1980.- *Informe Geológico en la Zona de Cúcuta. Inf. 1821.* INGEOMINAS, Bogotá.
- PONCE, A., 1978.- *Geología de la Región de Cúcuta, Inf. 1743.* INGEOMINAS, Bogotá.
- ROMANOS, M., 1976.- *Estudio Hidrogeológico y de Suelos, Hacienda Valle, El Zulia, Norte de Santander. Cervecería Bavaria S.A., Cúcuta 26 p. (Inédito).*
- SCHOUTE, H., 1980a.- *Informe sobre las Pruebas de Bombeo en el Pozo 88 III D-110 La Libertad. Inf. 1819.* INGEOMINAS, Bogotá.
- , 1980b.- *Informe sobre las Pruebas de Bombeo de febrero a marzo de 1980 en el Pozo 88 III D-112 El Mosquito. Inf. 1820.* INGEOMINAS, Bogotá.
- SCHUCHMANN, B., 1981a.- *Informe sobre las Pruebas de Bombeo de agosto a septiembre de 1980 en el Pozo 88 III D-112 El Mosquito. Inf. 1835.* INGEOMINAS, Bogotá.
- , 1981b.- *Informe sobre las pruebas de Bombeo en el Pozo 99 I B-30 Villa del Rosario. Inf. 1836.* INGEOMINAS, Bogotá.
- SUAREZ, V., 1947.- *Investigaciones realizadas en las vecindades de la ciudad de Cúcuta, donde se adelantan trabajos para obtener agua artesiana. Comp. Est. Geol. Of. Col. (Bogotá) 7: 211-222.*
- SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL E INVENTARIO MINERO NACIONAL, 1967.- *Geología del Cuadrángulo G-13 Cúcuta. Mapa 1:200.000.* INGEOMINAS, Bogotá.
- ULLOA, A., 1981.- *Informe sobre las Pruebas de Inyección en los Pozos Villa del Rosario 1A y 2A. Inf. 1837.* INGEOMINAS, Bogotá.

\* \* \*

**A N E X O 1**

**INVENTARIO DE POZOS, ALJIBES Y MANANTIALES**

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m.)	Pro-fundidad (m.)	Nivel Estático		Principal acuífero	Resist. 25 °C	OBSERV.
			X	Y			marzo	junio			
PLANCHA 88 III -B											
○	1	Curtiembre El Norte	1.371.786.59	845.518.31	263.08	5.80	-	-	Toc	7,87	
○	2	Finca Playa Rica	1.372.388.68	846.104.68	263.80	5.40	258.870	259.590	Toc	9,46	
○	3	Caserío Caña Brava	1.374.000.93	846.212.10	413.98	-	-	-	Toc	5,71	
○	4	Finca El Ojito	1.372.725,23	846.688.83	263.92	-	263.560	-	Q	11,96	
○	5	Finca El Porvenir	1.372.793.18	847.183.34	258.84	3.60	255.850	256.110	Q	9,03	
○	6	Finca Rancho Grande	1.372.809.30	847.237.16	259.78	5.10	255.785	256.200	Q	3,75	
○	7	Finca La Venezolana	1.373.012.74	848.156.94	258.01	6.10	253.910	254.310	Q	16,56	
○	8	Las Cruces K-9	1.372.207.69	842.306.48	271.47	-	-	-	Toc	5,07	
○	9	Ladrillera	1.370.407.20	843.540.68	283.37	-	-	-	Toc	11,52	




Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m.)	Profundidad (m.)	Nivel Estático		Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERVAC.
			X	Y			marzo	junio			

PLANCHA 88 III -D

⊕	1	Hda. San Pedro No.3	1.361.093.73	846.090.41	358.43	16.60	-	-	Qta	-	
⊕	2	Hda. El Viñedo No.2	1.361.432.06	847.029.62	353.65	10.00	347.980	345.750	Qta	-	
⊕	3	Hda. El Viñedo No.1	1.361.412.28	847.009.20	354.25	10.00	348.020	345.990	Qta	-	No está en servicio
○	4	Autoservicio San Luis	1.364.690.63	844.939.84	311.62	11.20	300.580	300.150	Qta	4,67	
○	5	Condominio El Lago	1.363.035.52	844.023.47	321.20	17.00	314.490	314.680	Qta	6,18	
○	6	Centro Cial. Mayorista	1.363.539.00	844.480.94	320.27	19.10	303.830	303.970	Qta	9,75	
○	7	Piscina Internacional	1.365.510.75	845.216.94	293.91	14.00	289.210	288.750	Qta	10,24	
○	8	Edición Faraón	1.363.918.93	843.406.55	310.99	12.00	302.690	303.330	Qta	9,17	
○	9	Clinica Barco	1.364.500.00	843.687.88	305.66	7.10	298.990	299.470	Qta	12,05	
○	10	Oficinas Alvaro Riascos y Cía .	1.364.135.70	843.277.12	309.37	10.50	300.580	301.110	Qta	9,35	
○	11	Parqueadero Benef.de Cundinamarca	1.364.354.32	843.208.93	308.11	10.00	299.000	299.370	Qta	9,20	

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Profundidad (m).	Nivel Estático		Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERVAC.
			X	Y			marzo	junio			
PLANCHA 88 III-D											
○	12	Hotel Tonchalá	1.364.383.91	843.399.65	307.30	10.00	298.850	299.590	Qta.	10,42	
⊕	13	Fábrica Bavaria	1.364.388.41	843.084.22	306.91	23.00	-	-	Qta.	-	
○	14	Residencias Mery	1.365.193.89	842.345.73	305.22	13.20	297.070	294.710	Qta.	3,65	
○	15	Casa José A Salen	1.363.523.28	843.314.31	315.89	7.35	309.740	310.040	Qta.	9,30	
○	16	Capilla El Redentor	1.364.935.15	842.707.24	300.92	7.00	307.365	297.590	Qta.	9,43	
○	17	Edif.Casino Internal.	1.364.164.61	843.649.39	308.48	8.00	301.470	302.020	Qta.	12,25	
○	18	Casa Alvaro Camacho	1.364.420.72	844.047.74	304.89	-	299.530	300.180	Qta.	15,15	
○	19	Finca El Almendro	1.360.340.20	848.369.94	364.99	6.00	364.415	364.330	Qta.	21,14	
⊕	20	Finca Caño Hondo	1.360.782.31	848.255.09	361.06/so bre b/tubo	6.00	-	-	Qta.	11,11	
○	21	Hda.San Pedro No.1	1.360.830.39	846.705.12	359.70	9.50	-	-	Qta.	18,94	
○	22	Hda.San Pedro No.2	1.360.846.76	846.695.49	358.14	8.00	355.270	355.300	Qta.	20.70	
○	23	Urbanización Loma Hermosa.	1.360.152.31	846.634.11	367.16	6.50	363.860	-	Qta.	9,62	

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m)	Profundidad (m).	Nivel Estático		Principales acuífero	Resist. 25 °C	OBSERVAC.
			X	Y			marzo	junio			
O	24	Finca Lomitas Viejas No.1	1.360.272.52	846.773.99	366.47	7.10	360.335	362.150	Qta.	11,43	
O	25	Finca Lomitas Viejas No.2	1.360.200.52	846.971.60	368.84	6.00	367.515	-	Qta.	9,62	
O	26	Restaurante Mario	1.364.153.52	843.840.96	308.33	9.00	301.510	-	Qta.	12,48	
O	27	Club de Cazadores	1.364.416.56	843.619.85	307.02	10.10	299.650	300.130	Qta.	11,34	
O	28	Hotel Arizona	1.364.549.38	843.193.21	305.63	9.00	298.170	-	Qta.	11,81	
O	29	Motel Don Paco	1.364.542.62	842.699.38	305.34	9.00	298.300	298.490	Qta.	14,71	
O	30	Lote Bavaria	1.364.872.66	843.082.14	302.50	15.00	-	-	Qta.	-	
O	31	Estadio Gral.Santander	1.364.952.77	842.939.33	300.97	6.00	-	296.250	Qta.	17,75	
O	32	Colegio La Salle No.2.	1.364.701.28	843.420.12	303.70	7.00	297.370	297.770	Qta.	10,38	
O	33	Finca N.N.	1.362.848.42	845.947.53	338.02	5.10	-	337.620	Qta.	7,45	
	34	Club de Caza y Tiro	1.362.951.37	846.083.29	336.13	10.50	-	-	Qta.	6,47	Saltante
O	35	Rancho Villa Luz Nb.1	1.361.975.64	847.100.27	343.43	7.00	338.660	336.940	Qta.	20,83	

Símbolo	Pozo N O M B R E No.	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Pro- fun- didad (m).	Nivel Estáti- co		Prin- cipal acuí- fero	Resist. 25 °C.	OBSERVAC.	
		X	Y			marzo	junio				
○	36	Rancho Villa Luz No.2	1.361.920.19	847.130.49	344.23	6.50	339.980	338.350	Qta.	22,99	
⊕	37	Hda.El Trapiche No.1	1.362.184.28	347.871.45	341.15	36.00	-	338.860	Qta.	-	
⊕	38	Hda.El Trapiche No.2	1.362.167.52	847.159.08	337.77	86.00	-	-	Qta.	16,67	
○	39	Granjas Morelandia	1.362.135.35	846.609.35	338.13	5.50	336.000	335.920	Qta.	8,81	
○	40	Finca Los Guadales	1.362.141.63	846.505.26	339.25	5.30	-	337.390	Qta.	9,95	
○	41	Finca Villa Elisa	1.362.342.87	846.271.51	337.64	5.40	335.780	338.120	Qta.	7,59	
○	42	El Seminario	1.363.036.89	845.881.81	351.34	-	-	-		53,62	Saltante
○	43	Finca Santa Cecilia	1.362.493.87	847.047.32	333.59	5.00	331.300	-		21,01	Ag. term.
○	44	Finca Rancho Alegre	1.362.358.12	846.830.19	334.32	5.00	332.880	332.020	Qta.	8,06	
○	45	Vinca Villa Charo	1.362.671.36	846.627.90	333.63	3.60	333.045	332.440	Qta.	9,30	
○	46	Granja Los Pilares No.1	1.362.653.66	846.284.71	334.40	5.10	332,120	332.910	Qta.	7,67	
○	47	Granja Los Pilares No.2	1.362.728.79	846.276.70	333.57	2.10	331.770	332.790	Qta.	5,88	
⊕	48	Finca Las Granjas	1.363.050.76	846.587.18	329.54	S/boca tubo	-	-	Qta.	10,10	

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		cota sobre placa (m).	Profundidad (m.)	Nivel marzo	Estático junio	Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERVAC.
			X	Y							
O	49	Hacienda Silvan	1.363.033.90	846.773.10	329.52	6.00	-	-	Qta.	6,51	Saltante
O	50	Finca San Juanito	1.363.251.74	847.165.67	327.81	6.10	325.730	323.670	Qta.	10,29	
O	51	Planta Prefabricada Sant.	1.363.924.73	847.132.36	326.28	16.00	324.250	322.690	Qta.	1,36	
O	52	Acueducto Boconó	1.363.787.53	847.303.97	323.11	8.50	322.150	-	Qta.	10,07	
+	53	Hacienda Santa Ana	1.364.069.03	847.523.66	322.44	6.70	-	-	Qta.	12,18	
O	54	Los Avisos	1.365.585.35	847.028.75	308.54	5.60	304.940	305.120	Qta.	7,46	
O	55	Casa de Palo	1.365.645.42	846.973.17	308.01	5.00	-	305.210	Qta.	8,85	
O	56	Finca Las Dos Rosas	1.365.945.00	846.863.99	305.65	3.30	301.940	302.180	Qta.	3,56	
O	57	Finca El Higuero	1.366.650.17	846.834.91	302.17	6.00	297.960	297.550	Qta.	14,29	
O	58	Motel El Escobal	1.367.011.89	846.967.31	293.88	11.70	284.490	-	Qta.	8,62	Abandonado
O	59	Motel Bolívar No.1	1.364.026.15	844.685.67	312.84	11.70	301.620	302.040	Qta.	7,87	
O	60	Motel Bolívar No.2	1.364.071.83	844.604.52	310.17	10.65	301.625	-	Qta.	11,31	
O	61	Centro Cial. Bolívar	1.363.828.66	844.656.96	315.40	14.30	-	-	Qta.	11,20	

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Profundidad (m).	Nivel Estático		Principal acuífero	Resist. 25°C.	OBSERVAC.
			X	Y			marzo	junio			
O	62	Policía Nacional	1.363.905.25	844.287.75	307.38	6.10	-	-	Qta.	21,98	
O	63	Intricón	1.363.408.30	844.226.07	315.88	11.70	305.230	305.530	Qta.	10,35	
O	64	Tennis Club	1.362.617.37	843.674.24	328.96	11.00	322.370	321.960	Qta.	17,18	No está en producción
O	65	Finca El Refugio	1.361.823.95	843.199.61	335.41	6.10	331.365	331.070	Qta.	12,66	
O	66	Colegio Comfenalco	1.360.752.51	843.119.28	359.41	0.60	-	-	Qta.	5,37	
O	67	Finca La Emilia	1.360.374.30	842.852.64	377.01	9.15	369.355	369.450	Qta.	3,82	
O	68	Colegio La Salle No.1	1.364.558.05	843.403.97	305.23	8.00	298.380	298.840	Qta.	10,31	
O	69	Complejo Deptivo Quinta Orient.	1.365.508.09	843.940.10	295.28	4.25	-	292.74	Qta.	10,42	
O	70	INEM	1.365.756.92	844.268.44	292.21	5.00	-	-	Qta.	10,16	
O	71	Univ.Fco.de Paula Santander No.2	1.365.647.84	844.500.73	292.42	5.00	289.910	290.550	Qta.	9,76	
O	72	Bienestar Familiar	1.366.073.89	844.368.43	290.13	5.25	-	287.680	Qta.	11,11	
O	73	Conj.Residencias Las Acacias	1.366.490.21	844.011.00	289.33	6.00	285.890	285.930	Qta.	9,76	


Símbolo	Pozo N O M B R E No.	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Profundidad (m).	Nivel Estático		Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERVAC.	
		X	Y			marzo	junio				
O	74	Autoservio San Carlos	1.364.632.71	842.347.85	305.88 s/ boca tubo	11.00	-	299.52	Qta.	9,09	
O	75	Casa Julio Ramirez	1.363.608.08	843.473.73	314.76 s/ boca tubo	8.00	307.480	308.040	Qta.	10,11	
O	76	Finca Santa Inés	1.368.705.23	843.576.28	279.53	4.60	278.470	278.480	Qta.	23,31	No está en producción
O	77	Finca Los Manguitos	1.368.960.88	844.370.49	273.15	4.00	270.910	271.250	Qta.	12,38	
O	78	Finca La Palestina	1.368.620.19	844.449.43	275.50 s/ boca tubo	-	-	-	Qta.	-	Sellado
O	79	Finca La Riviera	1.367.506.64	844.493.39	280.97	5.60	277.590	278.070	Qta.	17,76	
O	80	Estación Texaco No.4	1.362.812.73	843.044.97	323.07	6.00	318.430	-	Tmg <sub>2</sub>	5,36	
O	81	Casa Victor Lindardy	1.362.884.03	843.230.24	321.03 s/ boca tubo	5.85	317.500	-	Qta.	6,02	
O	82	Casa Lucita Caro	1.362.929.55	843.406.21	319.95 c/ tapa aljibe	6.40	314.920	315.200	Qta.	6,19	
O	83	Casa Joaquín Amado	1.362.964.88	843.945.82	319.52	6.40	314.190	314.650	Qta.	6,90	
O	84	Colegio Cárdenas S <sub>án</sub> chez	1.362.851.35	843.317.60	320.71 s/ boca tubo	5.40	316.450	316.990	Qta.	5,90	



Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Profundidad (m).	Nivel Estático		Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERVAC.
			X	Y			marzo	junio			
O	85	Colegio Calasanz	1.363.194.02	843.618.16	317.44	s/ 7.15'	310.860	-	Qta.	22,83	
O	86	Casa Teodulo Gelvez	1.363.592.59	843.813.99	313.16	s/ 7.15'	-	-	Qta.	-	
O	87	Casa Alvaro Riascos	1.364.024.58	843.268.21	309.21	7.50	303.080	303.690	Qta.	16,00	
O	88	Univ.Fco.de Paula Santander No.1	1.363.990.41	843.942.93	308.61	6.70	303.235	303.890	Qta.	13,14	
O	89	Colegio Domingo Sabio	1.364.461.53	844.224.16	303.97	5.12	299.600	299.970	Qta.	19,08	
O	90	Urbanización Los Prados	1.365.625.57	844.645.32	292.48	5.00	289.650	290.480	Qta.	12,99	
O	91	Casa Alfonso Mendoza	1.366.560.22	844.571.96	285.88	5.75	282.960	-	Qta.	10,47	
O	92	Urbanización MAR	1.366.940.04	844.485.65	282.07	3.90	-	-	Qta.	12,50	
O	93	Licorera Cúcuta No.1	1.366.836.81	844.238.96	285.58	5.80	281.370	281.180	Qta.	13,33	
O	94	Licorera Cúcuta No.2	1.366.944.80	844.144.65	285.55	6.00	281.770	282.350	Qta.	13,91	
O	95	Norgas	1.367.841.02	842.933.23	293.81	12.00	288.340	288.530	Qta.	4,69	

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Profundidad (m).	Nivel Estático		Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERVAC.
			X	Y			marzo	junio			
O	96	Tejar Pescadero	1.366.703.24	842.666.04	298.04	s/10.00	-	-	Qta.		
					tapa aljibe						
O	97	Plaza de Ferias	1.366.412.22	842.757.69	295.58	10.00	288.920	-	Qta.	4,12	
O	98	Fábrica Café Galviz	1.366.245.48	842.770.09	295.33	8.70	290.200	290.650	Qta.	4,24	
O	99	Concentración Benjamín Herrera	1.365.714.17	842.524.39	301.59	10.25	-	293.600	Qta.	24,39	
O	100	Estación Bogotá-Bomba	1,365.132.10	842.627.26	301.72	6.65	-	297.770	Qta.	10,17	
O	101	Parque Mercedes Obrego	1.364.263.02	842.301.41	308.48	s/10.50	-	-	Qta.	-	
					Tapa aljibe						
O	102	Parque Colón	1.363.934.80	843.046.49	311.23	10.00	301.810	302.470	Qta.	26,28	
O	103	Casa Julio Coronel	1.363.700.53	843.425.61	313.58	10.00	-	306.400	Qta.	8,49	
⊕	104	Cúcuta Mosquito No.1	1.368.613.25	844.419.17	275.48	25.50	-	-	Qta.	11,89	
⊕	105	Cúcuta Mosquito No.2	1.368.611.27	844.417.38	275.38	166.00	-	-	Q+Tmg		
									No.fil		
									tro.		
									1	28,57	
									2	18,51	
									3	24,63	

Símbolo	Pozo N O M B R E No.	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Pro- fundi- dad (m).	Nivel marzo	Está- tico junio	Prin- cipal acuí- fero	Resist. 25 °C.	OBSERV.
		X	Y							
○	106 Piezómetro S.S.	1.366.238.92	845.658.11	284.47	11.00	-	-	Qta.	1,93	
⊕	107 Pozo Petrolero	1.361.146.30	843.970.00	1.050.00	1.050.00	-	-	Tem	23,00	
○	108 Piezómetro S.S.	1.368.135.35	844.943.07	275.85	-	-	-	Qta.	-	
○	109 Frente a "La Carolina"	1.363.580.00	847.230.00	-	13, (?) + 0.50 m.	-	-	Qta.	-	s/superf.
⊕	110 La Libertad No.1	1.363.305.00	846.794.44	327.79	83.00	-	-	Qta.	10,10	
⊕	111 La Libertad No.2	1.363.296.59	846.787.46	328.17	12.30	-	-	Qta.	9,30	
⊕	112 Mosquito No.3	1.363.142.65	844.366.40	278.15	199.00	-	-	Qta.+ Tmg.	34,3	Pozo de bomba
⊕	113 Mosquito No.4	1.368.033.08	844.355.15	277.80	107.00	-	-	Qta. (Tmg)	?	Pozo de observación.

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Profundidad (m).	Nivel marzo	Estático junio	Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERV.	
			X	Y								
PLANCHA 99 I - B												
O	1	Quinta del Gral.Santander	1.358.200.33	847.161.16	395.00	6.10	387.925	389.740	Q	17,86	No está en producción	
O	2	Hda. San Nicolás	1.356.860.50	847.161.16	417.93	3.00	417.205	416.840	Q	13,93		
O	3	Hda. La Estancia	1.355.581.71	847.106.09	436.32	10.75	427.235	427.25	Q	-	Pozo aband. No utilizan agua	
O	4	Hda. El Salao	1.354.904.31	845.131.26	460.95	6.72	457.800	457.520	Q	6.33		
	5	Granja Ultimo Esfuerzo	1.353.144.45	846.133.61	484.21	24.00	471.900	471.260	Q	14,08	No está en producción	
O	6	Parqueadero Grancolombiano	1.356.775.65	847.814.78	412.70	7.80	406.460	-	Q	11,47		
O	7	Quinta San Jorge	1.358.268.58	846.769.31	399.37	6.00	397.420	396.970	Q	10,55		
O	8	Bar 5 y 6	1.356.714.31	847.762.47	415.32	8.08	408.630	408.430	Q	11,63		
O	9	Finca El Salvador	1.356.858.07	848.007.50	410.63	6.75	405.750	404.820	Q	11,75		

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m.)	Profundidad (m.)	Nivel marzo	Estático junio	Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERV.
			X	Y							
O	10	Finca Santa Rosa	1.357.362.14	847.934.47	404.07	5.00	398.330	398.930	Q	11,27	
O	11	Restaurante El Mesón	1.357.118.65	847.804.76	408.80	8.00	402.000	401.930	Q	19,61	
O	12	Finca San Miguel	1.357.606.87	847.927.67	400.16	5.10	396.585	396.930	Q	14,90	
O	13	Finca Santa Teresa	1.358.140.79	847.759.14	391.90	3.10	390.84	390.80	Q	27,47	No está en producción
○	14	Finca Santa Teresa	1.358.136.61	847.782.90	391.86	1.00	391.310	-	Q	14,71	
O	15	Finca El Retaso	1.358.299.92	847.842.65	389.78	4.00	389.245	389.000	Q	13,89	
O	16	Finca La Solita	1.358.648.58	847.677.79	386.21	5.00	385.260	385.130	Q	14,60	
O	17	Hda. Chatal	1.358.849.27	848.178.52	383.02	3.00	381.560	381.570	Q	18,94	
O	18	Finca La Palmerita	1.359.706.43	848.422.78	372.73	4.00	370.945	370.940	Q	27,32	
O	19	Parcela Mario Santanella	1.359.494.40	846.395.26	382.06	11.00	374.260	-	Q	9,62	

Símbolo	Pozo No.	N O M B R E	COORDENADAS PLANAS		Cota sobre placa (m).	Profundidad (m).	Nivel marzo	Estático junio	Principal acuífero	Resist. 25 °C.	OBSERV.
			X	Y							
o	20	Finca Bonanza	1.359.335.61	846.709.62	378.16	6.00	373.565	374.820	Q	9,12	
o	21	Granja Pensilvania	1.356.197.21	840.814.39	399.61		397.630	397.770	Q	8,40	
o	22	Finca El Lago	1.358.973.12	847.060.39	382.91	s/5.25 boca tubo	-	380.960.	Q	11,35	
⊕	23	Villa Libia	1.358.381.68	847.176.33	391.29	7.00	-	-	Q	12,50	
o	24	Hda. El Tamarindo	1.357.358.41	847.265.42	404.76	8.60	396.150	397.850	Q	12,27	
o	25	Finca El Silencio	1.359.512.51	846.784.02	376.60	5.50	374.770	374.200	Q	9,41	
o	26	Grill Rumichaca	1.359.590.95	846.564.93	378.21	7.25	371.930	371.630	Q	8,96	
o	27	Hotel Samán	1.359.196.59	846.867.84	374.70	5.10	371.240	-	Q	10,91	
o	28	Finca Mónaco	1.358.393.87	846.616.30	396.75	8.25	-	395.720	Q	21,65	
o	29	Hda. La Villa	1.358.669.17	847.103.87	383.74	2.30	381.710	-	Q	-	
⊕	30	Finca La Solita-Villa Rosario No. 1A.	1.358.658.77	847.633.10	385.60	336	-	-	Q	17,18	
⊕	31	Planta Villa Rosario No. 2A.	1.356.671.67	845.674.89	409.28	342	-	-	Tmg <sub>2</sub>	17,18	
o	32	El Pórtico	1.359.857.73	840.742.95	392.45	-	-	-	Toc	-	