

# **MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ZARATÍ**



**TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MÁSTER  
EN CIENCIAS HÍDRICA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA**

**FEBRERO-2010**

## **Dedicatoria**

A mi familia: A mi esposa Laila, a mi hija Mallorie, Papá, Mamá y a todos mis Hermanos y Hermanas, quienes han sido el brazo de apoyo en todo momento.

# AGRADECIMIENTOS

A Dios quien en su infinita misericordia me ha sustentado en momentos difíciles.

A la Secretaría Nacional de Ciencias y Tecnología (SENACYT) por brindarme el apoyo con la Beca, para realizar estudios en la Universidad Nacional de la Pampa.

A todos los integrantes del grupo administrativo de Maestría en Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional de la Pampa, a mis compañeros de promoción a todos los profesores por sus conocimientos brindados.

A mis amigos profesores en Panamá, que de una manera desinteresada me apoyaron en lo emocional.

Y por último, pero no menos especial, mi agradecimiento a mi director, el Dr. Carlos Juan Schulz, quien me brindo la oportunidad para dirigir esta tesis.

**TESIS DE MAESTRÍA**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS HÍDRICAS**

**MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO DE LA**  
**CUENCA DEL RÍO ZARATÍ**

**TESISTA**  
**PEDRO SALINAS SERRANO**

**Dr. CARLOS SHULZ**  
**DIRECTOR DE TESIS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA**  
**FEBRERO-2010**

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag	
Tabla 2.1	Datos Pluviométricos de la Provincia de Coclé por Distrito 1967 - 1997 (Fuente: Plan Nacional de Riego, año 1998).	16
Tabla 2.2	Déficit hídrico 1967 - 97 (Fuente: Plan Nacional de Riego, año 1998).	17
Tabla 2.3	Láminas y volúmenes de lluvia mensual y anual estimados para la cuenca, en $\text{hm}^3$ ; superficie de la cuenca: $138 \text{ km}^2$ (Fuente: elaboración propia, con datos de ETESA, 2007).	21
Tabla 3.1	Distribución de los suelos de la provincia de Coclé, según su capacidad agrológica en $\text{km}^2$ (Fuente: Atlas de Panamá, 2007).	37
Tabla 3.2	Cuadro comparativo del uso de suelo de la Provincia de Coclé con respecto al resto del país (confeccionado con los datos del Informe ANAM, 2007).	39
Tabla 3.3	Superficie según clase de suelo, Provincia de Coclé en hectáreas, (Fuente: Atlas de Panamá, 2007).	40
Tabla 4.1	Parámetros hidráulicos de perforaciones en el área y su litología.	57
Tabla 4.4	Principales parámetros hidráulicos. Pozos de abastecimientos.	57
Tabla 5.1	Valores de estadística descriptiva de las muestras.	71
Tabla 5.2	Cuadro de variables y casos para la zona de estudio.	78
Tabla 5.3	Matriz de Correlación de las variables.	79
Tabla 5.4.	Análisis Factorial. Factores, autovalores y varianza.	79
Tabla 5.5.	Factores de carga o de peso de cada variable con los factores rotados.	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.	
Figura 1.1	Mapa físico de la ubicación de la Cuenca del Río Zaratí, Penonomé, Provincia de Coclé.	1
Figura 1.2	Localización del área de estudio.	6
Figura 1.3.	Mapa de la distribución de los corregimientos de Penonomé.	9
Figura 2.1	Mapa de Isoyetas de la Cuenca del río Zaratí, digitalizado del mapa de Isoyetas de la República de Panamá 1971-2002, (Fuente: ETESA 2007).	18
Figura 2.2	Gráfica de Precipitación Anual de un periodo de 34 años de la estación de Sonadora, la cual solo cuenta con datos de precipitación (Fuente: ETESA, 2007).	19
Figura 2.3	Gráfica de precipitaciones promedios mensuales de la estación de Sonadora. (Fuente: ETESA, 2007).	20
Figura 3.1	Geología de la Cuenca del Río Zaratí (modificado de la carta geológica Informe Minero II, DGRM.1998).	24
Figura 3.2	Formación Río Hato.	25
Figura 3.3.	Formación El Valle: Se aprecia los basaltos columnares en la cercanía del Río Zaratí, parte alta de la cuenca.	26
Figura 3.4.	Formación El Valle: Pueden apreciarse tres tipos de litología por encima del basalto.	27
Figura 3.5.	Formación El Encanto: Cantera de ignimbríta, roca caliza y basalto por debajo de estas dos rocas.	28
Figura 3.6	Formación Tucué: Basalto columnar y lava formando pequeñas almohadillas.	29
Figura 3.7	Mapa de Falla del Sector Central (FUENTE: Informe Minero II, DGRM, 1998).	30
Figura 3.8	Mapa de pendiente de la cuenca, con la ayuda del modelo digital de terreno.	36
Figura 3.9	Mapa Distribución de los suelos de la provincia de Coclé, según su capacidad agrológica, atendiendo a la aptitud de suelos según USDA. (Fuente: Atlas de Panamá, 2007).	41

	Pag.	
Figura 4.1	Mapa de Localización de pozos.	45
Figura 4.3.	Formación Tucué (Basaltos Columnares) en el puente límite entre Churuquita Chiquita y Churuquita Grande, en la parte alta de la cuenca.	48
Figura 4.4.	Antiguo paleocauce cubierto por el flujo dendrítico.	49
Figura. 4.5.	Terrazas aluviales, parte alta de la Cuenca.	50
Figura. 4.6	Vista panorámica del cauce del Río Zaratí y de las terrazas aluviales de la parte alta de la Cuenca, las colinas y montañas durante el descenso del cauce del mismo.	51
Figura 4.7	Formación Tocué, conformada basalto este aflora en la parte baja del Río Zaratí.	52
Figura 4.8	Grande aluviones de material transportado por el Río Zaratí.	53
Figura 4.9	Formación Río Hato que está conformada por piedra pómez y tobas, la foto se puede apreciar el conglomerado de piedra pómez y la toba.	54
Figura 4.10	Ubicación de las perforaciones en las que se realizaron algunos ensayos de bombeo.	55
Figura 5.1.	Sonda Multiparamétrica YSI-556.	65
Figura 5.2.	Espectrofotómetro UV/visible Hach Dr 5000.	66
Figura 5.3.	Toma de muestra de agua superficial.	68
Figura 5.4.	Diagramas Schoeller-Berkaloff, para las diferentes muestras de agua en la cuenca.	69
Figura 5.5.	Diagramas Piper, los colores azules indican muestras de la parte alta de la cuenca, el verde la parte media y el rosado la parte baja de la cuenca.	70
Figura 5.6.	Mapa de Stiff para las muestras de agua de la Cuenca.	73
Figura 5.7.	Relación iónica $r[\text{Na}+\text{K}-\text{Cl}]/r[\text{Na}+\text{K}-\text{Cl} +\text{Ca}]$ .	75
Figura 5.8	Relación iónica $r[\text{Na}]/r[\text{Na}+\text{Cl}]$ .	76

	Pag.
Figura 5.9 Relación iónica $r[\text{Ca}]/r[\text{Ca}+\text{SO}_4]$ .	77
Figura 5.10 Representación de los factores 1 y 2 de carga rotados de las variables.	81
Figura 5.11 Pozo Sonadora Los Pollos, al frente del pozo se puede observar la cría de pollo. El pozo salió positivo en la prueba de Nitrato.	83
Figura 5.12 Representación de los factores 1 y 3 de carga rotados de las variables.	84
Figura 5.12 Representación de los Conglomerados de las variables.	85

## CAPITULO 1.

### 1.1. INTRODUCCION.

La presente tesis es el resultado del convenio de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y mi persona, bajo el programa de Becas de Excelencia Profesional que tiene por objetivo incrementar las capacidades institucionales del país, para identificar de manera prospectiva las demandas tecnológicas con el objetivo de construir escenarios alternativos que orienten las estrategias de desarrollo nacional del país (Panamá).

La investigación surge a partir de las necesidades apremiantes de agua en el Distrito de Penonomé, provincia de Coclé (Figura 1.1). Penonomé es un área agrícola y ganadera en donde el factor agua es de suma importancia y en la costa del Pacífico se perfila como un área en donde se desarrollarán grandes proyectos turísticos, por lo que esta tesis servirá como base para una mejor gestión del recurso hídrico.



**Figura 1.1** Mapa físico de la ubicación de la Cuenca del Río Zaratí, Penonomé, Provincia de Coclé.

---

La investigación se centra en la cuenca del río Zaratí, la misma que abastece de agua al distrito de Penonomé y sus alrededores. El objetivo principal de esta tesis es el de confeccionar un modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca.

## **1.2. USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ.**

La utilización de las aguas subterráneas en la República de Panamá es una actividad importante en el ámbito de la salud pública y del desarrollo integral del país. Aunque las características hidrogeológicas son poco conocidas por falta de estudios sistemáticos, se conoce que las producciones de los pozos son aceptables.

La mayor parte de los acuíferos que se explotan se encuentran ubicados en rocas volcánicas fisuradas y en menor medida en sedimentarias consolidadas. La profundidad promedio de la mayoría de los pozos oscila entre 20 y 80 m, con volúmenes de producción entre 2 y 15 l/s. Es común encontrar pozos entubados solo los primeros metros y el resto sin revestimiento debido a la estabilidad de las rocas consolidadas perforadas.

La calidad físico-química de las aguas es muy variable, dependiendo de las características litológicas del acuífero. En ocasiones se pueden encontrar aguas duras y aguas no potables por exceso de hierro y sólidos totales disueltos.

El uso principal del agua subterránea en Panamá es para abastecimiento público y en menor proporción para fines agropecuarios e industriales.

De aproximadamente 130 sistemas de abastecimiento urbano y rural (mayores de 1.500 habitantes) que administra el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), el 70 por ciento son captaciones de

---

aguas subterráneas por pozos. El Ministerio de Salud (MINSa), por su parte, atiende los acueductos de más de 9.000 comunidades rurales y dispersas (menos de 1.500 habitantes) mediante la explotación de pozos.

Tanto el IDAAN como el Ministerio de Salud perforan los pozos de los acueductos que les corresponden, efectúan pruebas de bombeo, generan información técnica para archivos de pozos (inclusive análisis físico-químicos y bacteriológicos de las aguas). Lamentablemente toda esta información se encuentra desordenada y sin personal idóneo que la administre, característica que se extiende al resto de las otras instituciones públicas que llevan adelante la información hidrogeológica, lo que torna incompatible el establecimiento de una sola base de datos hidrogeológicos.

Aunque no se cuenta con estadísticas completas, se estima que más del 40 por ciento de la Población panameña es abastecida por aguas subterráneas, que implicaría una explotación de más 100 millones de metros cúbicos de agua potable al año (Panamá en Cifras 2006).

### **1.3. PRINCIPALES PROBLEMAS DE MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN PANAMÁ.**

Los acuíferos no están delimitados en su geometría ni características hidráulicas, zonificación de zonas de recarga y calidades del agua. No se cuenta con un sistema de monitoreo de fluctuaciones de nivel de aguas subterráneas y su calidad, que permita conocer la evolución de las aguas subterráneas conforme avanza el desarrollo del país.

La información técnica que se recoge en las instituciones que utilizan las aguas subterráneas no se evalúa ni utiliza para estudios sistemáticos de los acuíferos, ni para controlar su evolución cuantitativa ni cualitativa conforme avanza su explotación y otras actividades humanas que los afectan.

---

No se cuenta con políticas definidas, para el manejo y protección del recurso hídrico subterráneo. Hace falta personal científico-técnico capacitado en hidrogeología para llevar a cabo estudios de los acuíferos del país y que proponga políticas de control y protección de las aguas subterráneas. Es evidente la falta de estudios comprensivos e integrales de los principales acuíferos del país.

De los datos que se cuentan de las cuencas en el país, solo son confiables aquellas cuencas que son de gran interés para la explotación de centrales hidroeléctricas, siendo estas las cuencas que se encuentra en las provincias de Chiriquí, Veraguas y parte de la región de Panamá este, donde se encuentran las mayores hidroeléctricas del país. A diferencia de las áreas de explotación de aguas subterráneas, si se encuentran instrumentalizadas y se cuentan con registros continuos, incluyendo la Cuenca del Canal de Panamá.

Teniendo en cuenta todos estos conceptos vertidos anteriormente, es de fundamental importancia la implementación de sistemas básicos de monitoreo para la captación de datos hidrogeológicos ya sean hidráulicos y químicos, cuestión fundamental en el desarrollo de esta tesis.

#### **1.4. GESTION DE AGUA EN PENONOMÉ.**

La gestión de agua en Penonomé se basa en tres usos principales:

- Abastecimiento de la población (Incluye la actividad turística)
- Abastecimiento para uso agrícola y ganadero
- Abastecimiento para la Industria

##### **1.4.1 ABASTECIMIENTO DE LA POBLACIÓN.**

Una parte importante de los recursos hídricos del área de estudio, está destinado para el abastecimiento del Distrito de Penonomé y sus

---

alrededores, la cual es de 74 206 habitantes (Panamá en Cifras 2006). Sin embargo la creciente demanda turística de Penonomé muestra un incremento en los últimos diez años (Panamá en Cifra 2006). Esta necesidad de agua se cubre básicamente con el río Zaratí.

En el pasado la población se abastecía por pozos ubicados en áreas aledañas a la misma. En septiembre de 2005 este abastecimiento se suplió con aguas del Río Zaratí, a través de una planta potabilizadora

#### **1.4.2 ABASTECIMIENTO PARA USO AGRÍCOLA Y GANADERO.**

El uso del agua subterránea está destinado principalmente para la actividad agrícola, avícola, porcina y ganadera. Para su explotación se realizan perforaciones ya sea por medio rotativo o percusión, las profundidades de estos pozos oscilan entre 30 a 80 metros, las agua son extraídas por bombas sumergibles de gran potencia. La construcción de estas perforaciones se realiza sin la base de un estudio hidrogeológico previo, ni con el asesoramiento de un personal idóneo por lo que no queda ninguna información de la construcción, o la misma es muy escueta. En todas las explotaciones de agua subterránea el agua es canalizada hacia depósitos de almacenamiento situados, por lo general próximo a la zona de cultivo donde se quiera redistribuir.

#### **1.4.3 ABASTECIMIENTO PARA LA INDUSTRIA.**

La actividad industrial tiene muy poco desarrollo en Penonomé, destacándose la fabricación de materiales de construcción, la industria alimentaria y la de exportación de frutas tropicales. El abastecimiento principal de agua de estas empresas se hace a través de la red de distribución urbana y en algunas ocasiones de fuentes subterráneas como lo es la industria de exportación de frutas tropicales, para el lavado y saneamiento de estas.

## 1.5. AREA DE ESTUDIO.

El área estudiada se encuentra en la República de Panamá, provincia de Coclé, Distrito de Penonomé. La cuenca está ubicada dentro de las coordenadas (UTM) 948035 N 574028 E, en la parte alta y 565867 N 939705 E, en la parte baja de la cuenca (Figura 1.2).



**Figura 1.2** Localización del área de estudio.

La cuenca del Río Zaratí, esta limitada al Este por las divisorias de agua de la cuenca del Río de Anton, al Oeste por las divisorias de agua de la cuenca del Río Coclé del Sur, al Sur con el distrito de Coclé y el Coco, al Norte con las divisorias de agua del Río Maricas que es afluente del Río Coclé del Sur. Topográficamente en la cuenca del río Zaratí se encuentran altitudes en la parte superior de 1070 m.s.n.m la cual corresponde a la

---

divisoria de la cordillera; en la parte intermedia que comprende parte de Churuquita Chica y Churuquita Grande las altitudes oscilan entre 200 y 300 m.s.n.m, en la parte urbana de la cuenca donde se encuentra la Ciudad de Penonomé las alturas oscilan entre 60 y 85 m.s.n.m y en la parte más baja de la cuenca suelen encontrarse alturas de 20 y 30 m.s.n.m. El río Zaratí tiene una cota aproximada de 975 m.s.n.m en la parte más alta y 20 m.s.n.m en la parte donde se une con el río Coclé del Sur, para formar parte del Río Grande, El área de la cuenca es de aproximadamente 138km<sup>2</sup>.

### **1.6. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO EN LA CUENCA.**

Unos de los primeros trabajos recaudado de la bibliografía data del año 1995, en el mismo se refleja ya la preocupación de las autoridades por el peligro y conservación de la cuenca , los trabajos fueron realizados por la antigua dirección del Instituto de Recursos Naturales y Renovables (Irenare), hoy conocida como la Autoridad Nacional del Ambiente (Anam).

El proyecto consistió en el Manejo de Cuenca del Río Zaratí, cuyo objetivo era promover la conservación, rehabilitación y uso racional de los recursos naturales de esta área. Para este propósito se trabajó en conjunto con los productores agropecuarios, municipalidades, instituciones públicas y pequeños productores, en la protección de los remanentes boscosos de la cuenca, la recuperación de la cobertura boscosa de las riberas de los ríos y quebradas (pequeños arroyos), la concientización de la población sobre el problema ambiental local y los medios de enfrentarlos en base al presupuesto municipal para la reforestación de la cuenca del río Zarati, a partir de 1995 (Informe de Anam, 1995).

El proyecto se desarrolló contemplando la implementación del mismo mediante dos etapas: Los dos primeros años se realizaron en cinco comunidades de la parte alta de la Cuenca: pozo Azul, Boquerón, Turega, Sofre y Caimito. En los siguientes tres años se desarrollaron en las comunidades de Pajonal Centro, Pajonal Arriba, La Negrita, El Barreno,

Mosquitero, El Potrero, Churuquita Grande y Sonadora, poblaciones de la parte media de la cuenca del río Zaratí. La meta propuesta fue el de reforestar mediante 40000 plantones de árboles frutales y forestales propio del área, este proyecto se ejecuto en un 70%, debido a problemas financieros, (Informe de Anam, 1995).

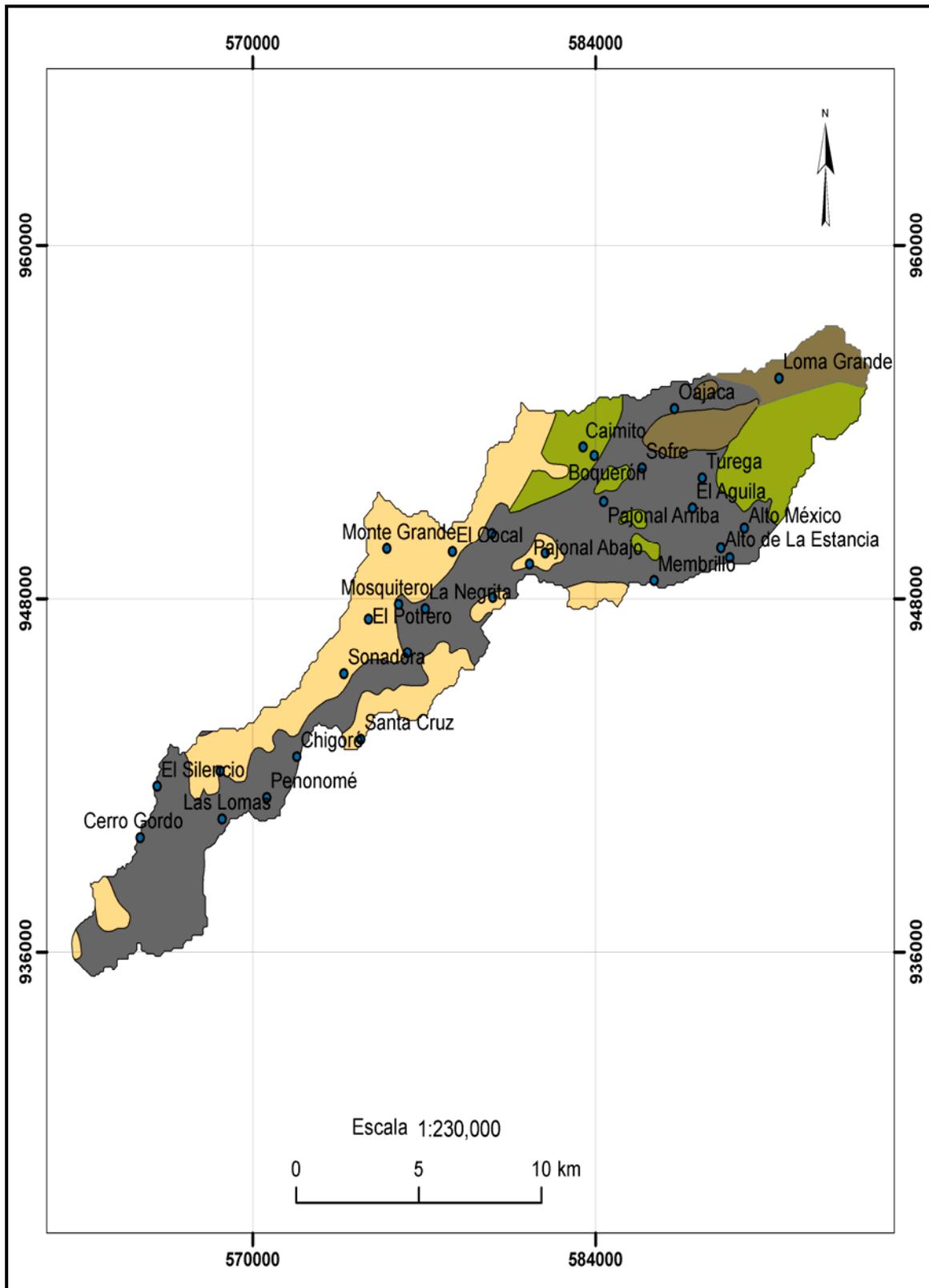
Otro de los estudios que se realizo en el área, fue el del Proyecto de abastecimiento de agua de Penonomé, realizado por la empresa consultora: **TECHNIPLAN, CONSULTING ENGINEERING**, el cual consistía en establecer el estudio de diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para Penonomé y sus alrededores en 1998. Dicho estudio analizó distintas alternativas de captación de las cuales privilegia la superficial sobre la subterránea (Techniplan, Informe de Diagnostico, 1998), de la cual solamente presenta un estudio cualitativo en base a los datos existentes del IDAAN.

## **1.7. DATOS BÁSICOS SOBRE PENONOMÉ.**

El Distrito de Penonomé es uno de los seis municipios que componen la Provincia de Coclé, es la capital de la provincia, está compuesto por 22 corregimientos (poblados pequeños).

### **1.7.1. POBLACIÓN.**

De acuerdo a las estimaciones demográficas de la Contraloría General Nación de la República de Panamá, el Distrito de Penonomé que llegaba a 61 064 habitantes en el año 1990 se elevó en el 2005 a 74206 y para el 2010 se espera que cuente con 77025 habitantes (Panamá en Cifras 2006). En la Figura 1.3 se aprecia la distribución de los corregimientos de Penonomé.



---

**Figura 1.3.** Mapa de la distribución de los corregimientos de Penonomé.

### **1.7.2. ACTIVIDAD AGROPECUARIA.**

La provincia de Coclé mantiene el segundo lugar a nivel nacional en la producción arrocerá, que ocupa el 24% de la extensión cultivada generando igual proporción de la producción. Dicha importancia ha ido en ascenso a medida que se ha ido transformando la técnica de producción de arroz de secano a cultivo bajo regadío. Penonomé fue tradicionalmente importante centro ganadero aprovechando sus extensas llanuras, pero su prominencia ha decaído en los últimos años, ya que solo posee el 8,2% del inventario vacuno Nacional, mientras que en el último quinquenio, el sacrificio de reses del Distrito de Penonomé se reduce al 65% al 38% del total provincial y de 18% a 4% del sacrificio Nacional (Panamá en Cifras 2006).

La región es también promotora menor de café de consumo nacional con el 8% de la producción del país, es productora de tabaco y de melones para la exportación.

### **1.7.3. ACTIVIDAD COMERCIAL.**

El distrito de Penonomé ocupa el segundo lugar provincial en cuanto a actividades no agropecuarias, destacándose los comerciales y de servicios, con algunas industrias de materias primas nacionales e importadas (Panamá en Cifras 2006).

### **1.7.4. ACTIVIDAD INDUSTRIAL.**

El área industrial de la comunidad se ubica a orilla de la Carretera Interamericana, debido principalmente a que en este sector se encuentran todos los servicios de infraestructura sobre todo transporte, para el desarrollo de la actividad comercial e industrial.

---

La acción industrial se concentra en el procesamiento de algunos rubros como lo son el arroz, café y productos alimenticios como frutas tropicales para la exportación.

#### **1.7.5. ACTIVIDAD TURÍSTICA.**

Actualmente la actividad turística dentro de la región está muy concentrada en algunos ámbitos territoriales de la provincia que se encuentra en el “entorno marino costero”. Esta actividad está en incremento e incluso existe una priorización por parte del Gobierno en donde se han identificado éstas como zonas en donde se busca consolidar Clusters Turísticos. Dentro del contexto ambiental, lo más preocupante son los posibles impactos negativos de esta actividad, si no se ordena y regula adecuadamente, sobre los ecosistemas de mangle, y sobre el incremento en la demanda de agua en las sub-regiones que se localizan en el área costera. Otra actividad turística en particular es el ecoturismo, turismo de naturaleza y turismo científico, que constituyen uno de los atractivos principales del área. En la Región Central existen interesantes áreas con alto potencial para el turismo, como el Parque Nacional General Omar Torrijos.

#### **1.7.6. EDUCACIÓN.**

Penonomé y sus alrededores ofrecen instalaciones educativas a nivel primario, secundario y universitario. Actualmente existen 20 escuelas primarias oficiales, tres colegios secundarios oficiales, una escuela Nocturna Oficial para personas adultas que no han concluidos sus estudios primarios y secundarios. Penonomé también cuenta con dos colegios privados completos. A nivel de educación superior, cuenta con el Centro Regional Universitario de Coclé, de la Universidad de Panamá y con el Centro Regional Universitario de la Universidad Tecnológica de Panamá, las cuales ofrecen carreras técnicas, licenciaturas y pos-gradados. Ambas universidades están localizadas en Llano Marín, sobre la carretera Interamericana.

---

De acuerdo al índice de satisfacción de necesidades básicas de educación, el Ministerio de Planificación y Política Económica, calificó a Penonomé con una puntuación entre 89 y 96 (de 100), o sea que se encuentra entre los distritos que mejor situación poseen en relación a la educación. Igual situación presentaron en los niveles de pobreza con un nivel IV, siendo el mejor de la República de Panamá (Panamá en Cifras 2006).

#### **1.7.7. SALUD.**

La Caja de Seguro Social (C.S.S.) cuenta con el Hospital Aquilino Tejeira, actualmente tiene una capacidad de 130 camas y cubre una población de 132 208 habitantes. Además de los servicios de hospitalización atiende consultas y ofrece servicios de urgencias. Existen en Penonomé un centro de Salud que funciona con seis consultorios para consultas externas; de igual forma se encuentran ubicados sub-centros de salud, que según datos del Ministerio de Salud funcionan como instituciones de salud. El ministerio de Salud cuenta además con un centro para la promoción de la salud y un depósito Regional de Nutrición.

#### **1.7.8. SERVICIO DE FLUIDO ELÉCTRICO.**

El servicio de suministro de fluido eléctrico proviene de la interconexión nacional Estrella-Los Valles, Bahía-Las Minas. Existe una sub-estación con una capacidad de 3,75Mwatt. la cual data del año de 1987(Panamá en Cifras 2006).

### **1.8. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

Los objetivos de la presente tesis

- Determinar las características hidrogeológicas generales del acuífero de la cuenca del río Zaratí.

- 
- Analizar los aspectos geológicos que controlan los mecanismos de recarga y descarga de aguas subterráneas y las características de la red de flujo.
  - Conocer, mediante el análisis hidrogeoquímico, la distribución espacial de los distintos elementos así como también las zonas de explotación y la evaluación de los distintos parámetros.
  - Elaboración de un modelo conceptual de funcionamiento del acuífero de la cuenca del río Zaratí, basado en la recopilación de datos existentes, toma de nuevos datos y su interpretación.

### **1.9. METODOLOGÍA APLICADA.**

Para la consecución de los objetivos de esta investigación se desarrollaron las siguientes tareas:

- Recopilación bibliográfica de trabajos antecedentes.
- Revisión del inventario de puntos de agua tomando datos de las características de cada uno de los puntos de agua (estado de la boca exterior de los pozos, posible entrada de agua de escorrentía superficial y de agua de lluvia, indicios de la existencia de posibles bombeos, litología del pozo y geología de la ubicación de los pozos)
- Toma de niveles piezométricos en todos los puntos de agua de la zona. Los niveles piezométricos se tomaron en la campaña de campo durante el invierno, agosto de 2007.
- Toma de medidas de los parámetros físicos in situ de las aguas subterráneas y de las superficiales.
- Toma de medidas de algunos de los parámetros químicos in situ de las aguas subterráneas y de las superficiales.
- Toma de muestras embotelladas para realizar los análisis químicos de los iones mayoritarios en laboratorio.

- Realización de ensayo de bombeo para medir los parámetros hidráulicos de los pozos (transmisibilidad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento).
- Confección de un modelo digital de terreno del área de estudio.
- Confección de mapas geológicos, piezométricos del área de estudio.
- Tratamiento de los datos químicos a través del programa Aquachem.

## CAPITULO 2.

### 2. CLIMATOLOGÍA.

#### 2.1 TIPO DE CLIMA.

En el área de estudio se distinguen tres tipos de climas: el templado árido (Cw) predominante en las inmediaciones de la cordillera central; el tropical húmedo (Am) que se encuentra en las mesetas y colinas con elevaciones que oscilan entre 100 y 500 msnm; y el tropical árido (Aw) que se extiende en las tierras bajas y llanos de Antón, Natá y Aguadulce.

A nivel regional la precipitación varía entre 1 000 y 4 000 mm al año; las más bajas se presentan en las llanuras y la región de río Hato, con meses secos de enero a abril (en algunos sitios la sequía es tan evidente que limita sensiblemente la actividad agrícola). Las precipitaciones más altas se incrementan a medida que se aproxima hacia los sectores montañosos por el área de Toabré.

La temperatura promedio anual es de aproximadamente 28°C de acuerdo a los datos medidos en Sonadora.

En los llamados llanos de Coclé predominan los fuertes vientos, sobre todo en la época seca del año. La luminosidad es alta en la parte media y baja de la provincia (Panamá en Cifras 2006).

#### 2.2 PLUVIOMETRÍA.

La Tabla 2.1 muestra los datos de las precipitaciones máximas, mínimas y medias de los distintos distritos de la provincia de Coclé. Como se puede observar, las precipitaciones del área de estudio en **Penonomé** oscilan entre 745 mm y 4 414 mm, teniendo una media anual de 3 565 mm, según registros de 1967-1997.

**Tabla 2.1** Datos Pluviométricos de la Provincia de Coclé por Distrito 1967 - 1997 (**Fuente:** Plan Nacional de Riego, año 1998).

Distrito	Área (Km <sup>2</sup> )	Lluvia Max. (mm/año)	Lluvia Med. (mm/año)	Lluvia Min. (mm/año)
Aguadulce	466	4 120	1 097	466
Antón	749	4 414	3 565	2 745
La Pintada	1 024	2 091	1 558	787
Natá	608	4 120	1 097	466
Olá	381	2 091	1 558	787
Penonomé	1 700	4 414	3 565	2 745

De acuerdo a los datos proporcionados por el Departamento Nacional de Agrometeorología de la Dirección Nacional de Cuencas Hidrográficas, para el área de estudio de Penonomé podemos referenciar dos estaciones con datos de evapotranspiración potencial, precipitación y déficit de agua en verano (Tabla 2.2), Sonadora parte central de la cuenca y Churuquita Grande ubicada en el límite de la parte alta de la cuenca.

**Tabla 2.2** Déficit hídrico 1967 - 97 (Fuente: Plan Nacional de Riego, año 1998).

Estación de aforo	Evapotranspiración Potencial (mm)	Precipitación (mm)	Déficit de agua en Verano
Sonadora	1318	1768	321
Churuquita Grande	1313	2045	246

Cabe destacar que debido a la poca disponibilidad de los datos no se pudo hacer el balance hídrico serial de la Cuenca del Río Zaratí, ya que los mismos sólo fueron proporcionados tal como se presentan en la tabla 2.2.

El origen de las lluvias está influenciado fundamentalmente por la Zona de Convergencia Intertropical. Los vientos cargados de humedad descargan las precipitaciones de acuerdo a las distintas ubicaciones de los macizos montañosos de la cordillera Central y de la Cordillera de Azuero.

Las delimitaciones descritas de las zonas, por sistemas montañosos, se encuentran ubicadas de tal manera que cumplen el papel de verdaderos escudos contra las lluvia, las mayores de las cuales provienen del norte y noreste, mientras que las precipitaciones provenientes del sur y sureste, ocurren a mediados y a finales de la estación lluviosa. Las masas de aires que la mayoría de las veces provienen del mar, en ambas direcciones, se ven obligadas a elevarse cuando se encuentran con las barreras montañosas. El vapor de agua confinado a las capas más bajas de la atmosfera, determina que las fuertes lluvias orográficas se localicen en el lado del ascenso de las masas de aire (barlovento), precipitándose, en el proceso, grandes cantidades de lluvia.

Al pasar las barreras montañosas los vientos han perdido humedad, tienden a descender y las precipitaciones disminuyen de intensidad. Esto se aprecia en el mapa de isoyetas de la Figura 2.1 que fue extraído del mapa de isoyetas anuales del país, período 1971-2002 (ETESA, 2007).

## **CAPÍTULO 3.**

### **3. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y SUELO.**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se discuten los principales antecedentes geológicos del área de estudio obtenidos a partir de la integración de la recopilación bibliográfica de los distintos trabajos geológicos desarrollados en el área de estudio; la interpretación de descripciones geológicas de sondeos obtenidos de inventarios anteriores y las observaciones realizadas por el autor durante el desarrollo de la investigación.

La cartografía geológica presentada resume una revisión de la carta a escala 1:500 000, realizada por la Dirección General de Recurso Minerales dependiente del Ministerio de Comercio e Industria.

#### **3.2 INVESTIGACIONES PREVIAS.**

Los primeros estudios geológicos en el sector central del istmo de Panamá se inician hacia mediados de siglo XIX con los trabajos de campo necesarios para la construcción del ferrocarril; prosiguen con investigaciones efectuadas para encontrar minas de carbón; se intensifican con las exploraciones de geólogos franceses (Douvillé, 1915) para determinar la ruta más adecuada para la construcción del Canal de Panamá, posteriormente del fracaso de la compañía francesa, geólogos de renombre de las universidades norteamericanas, en conjunto con geólogos franceses, intensificaron sus investigaciones para una nueva traza del Canal con el objetivo de evitar errores anteriores. Aparte de estos móviles, distintos investigadores

científicos realizaron estudios desinteresados por el progreso de la geología en el istmo, entre otros podemos mencionar a; Joukowsky y Clerc (1906), Terry (1956), quien realizó un reconocimiento geológico de Panamá; Del Giudice y Rechi (1969a); Woodring , et al (1965) y YI-FU TUAN (1962) realizaron un reconocimiento geológico de la costa central de Panamá. Son algunos de los que contribuyeron al conocimiento de la geología del sector central de Panamá.

Entre los años 1930 al 1975 grandes compañías petroleras y mineras realizaron exploraciones para la búsqueda de petróleo (Fisher y Pessagno, (1965) y oro Ferencic et al. (1971) en el sector central del istmo y en la región oriental, Del Giudice y Recchi (1969b).

### **3.3 GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CUENCA DEL RÍO ZARATÍ.**

La Figura 3.1 muestra el mapa geológico donde se encuentran todas las formaciones geológicas que conforman la cuenca del río Zaratí, que se describirán en detalle a continuación.

Las formaciones geológicas del área de estudio son las siguientes: Formación Río Hato (QR-Aha), Formación El Valle (TMPL-VA), Formación Cerro El Encanto (TM-Yen) y la Formación Tucué (TM-CATu) (Informe Minero II, DGRM.1998).

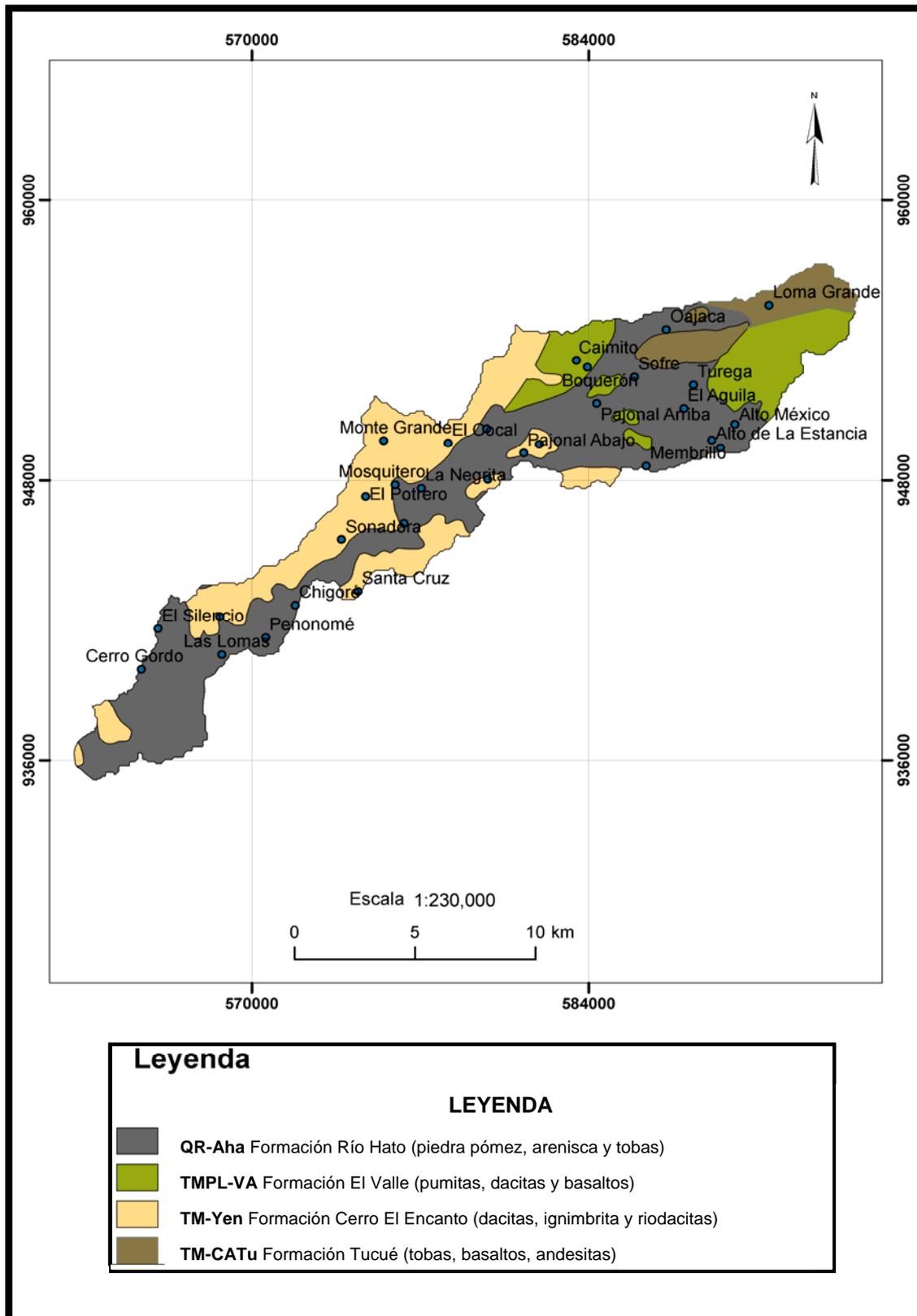


Figura 3.1 Geología de la Cuenca del Río Zarate (modificado de la carta geológica Informe Minero II, DGRM.1998).

### 3.3.1 FORMACIÓN RÍO HATO (QR-AHA).

Esta formación se extiende al Sur de Penonomé hasta la costa del Pacífico. Excepto los depósitos de arena de playa y manglares existen depósitos formados por erupciones volcánicas. En la Figura 3.2 se observan varios niveles estratigráficos donde en cada uno existen depósitos de piedra pómez intercalada con suelo arenoso.



**Figura 3.2** Formación Río Hato.

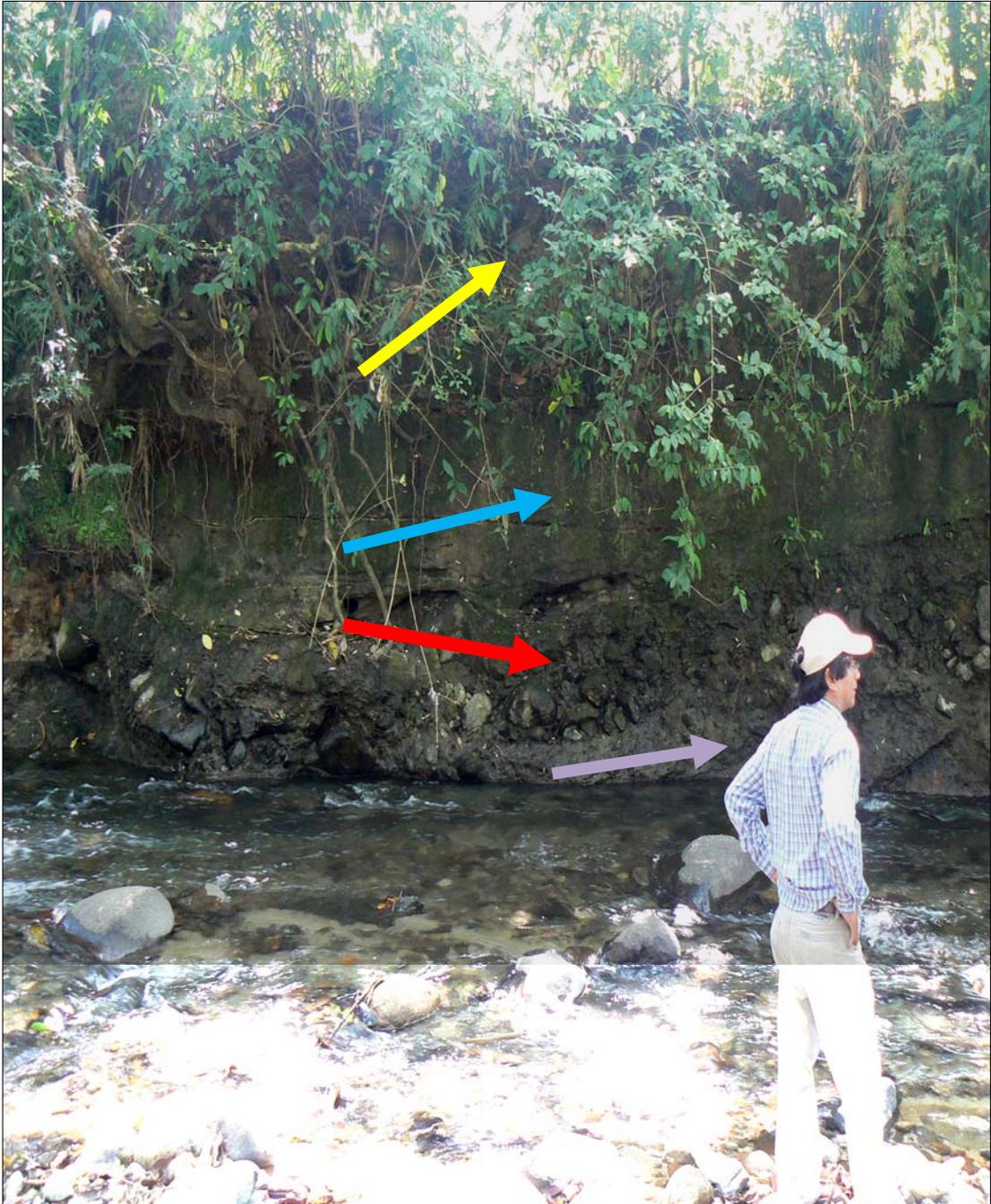
### 3.3.2 FORMACIÓN EL VALLE (TMPL-VA).

La constitución principal de la formación es de toba, en ocasiones bien estratificadas. Además se pueden encontrar flujos piroclásticos y volcanoclásticos finos. Posiblemente las Tobas, que contienen fragmentos de ignimbritas, son más jóvenes que la Formación Cerro El Encanto y basaltos. La Formación forma parte del complejo volcánico de El Valle que inició su existencia durante el Mioceno Superior y fue activo hasta el Cuaternario. En la Figura 3.3 se aprecia el basalto que se encuentra en la parte alta de la cuenca, cerca de la ribera del río Zaratí, en forma columnar.



**Figura 3.3.** Formación El Valle: Se aprecia los basaltos columnares en la cercanía del Río Zaratí, parte alta de la cuenca.

En la Figura 3.5 se aprecian cuatro capas, en la primera el suelo vegetal arenoso (flecha amarilla), en la segunda arenisca bien cementada casi uniforme (flecha celeste), en la tercera capa de material conglomeradico (flecha roja) y en la cuarta capa se encuentra el basalto (flecha lila).



**Figura 3.4.** Formación El Valle: Pueden apreciarse tres tipos de litología por encima del basalto.

### 3.3.3 FORMACIÓN CERRO EL ENCANTO (TM-YEN).

Esta Formación se extiende al sur de la Formación Tucué. La dacitas y riodacita son rocas que predominan en esta Formación.

Las rocas volcánicas formadas como ignimbritas son extensas, pero también se presentan como lavas y subintrusivos. En la Figura 3.5 se aprecia la cantera de Vista Hermosa localizada en la parte baja de la cuenca, donde se explota roca caliza e ignimbrita, con bastante material vítreo. Por debajo de la formación El Encanto se aprecia el basalto.



**Figura 3.5.** Formación El Encanto: Cantera de ignimbrita, roca caliza y basalto por debajo de estas dos rocas.

### 3.3.4 FORMACIÓN TUCUÉ (TM-CATU).

Es medianamente abundante en el área superior de la cuenca. Continuándose en la cuenca del río Coclé del Sur.

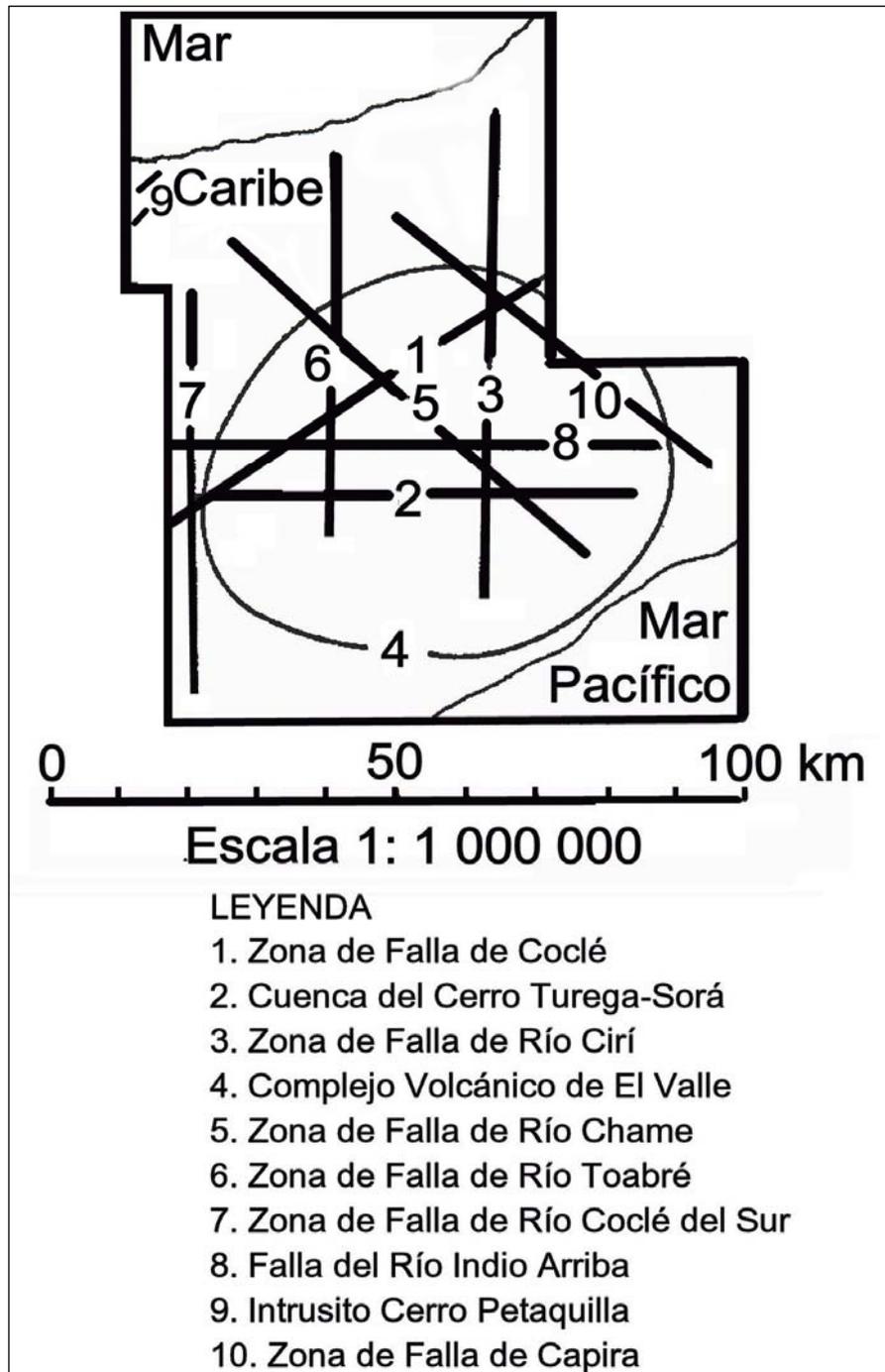
Está compuesta por lavas andesíticas-basálticas, brechas, tobas, cuerpos subintrusivos, conglomerados, volcanoclásticos y flujos de debris. Los conglomerados están compuestos por bloques de andesitas con poca matriz y sin estratificación. En la Figura 3.6 se pueden observar los bloques de basalto columnar y lava formando pequeñas almohadillas.



**Figura 3.6** Formación Tucué: Basalto columnar y lava formando pequeñas almohadillas.

### 3.4 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS REGIONAL.

En la figura 3.7 podemos observar un mapa estructural del sector Central donde se muestran un sistema regional de fallas y fractura, que se detallaran a continuación.



**Figura 3.7** Mapa de Falla del Sector Central (FUENTE: Informe Minero II, DGRM, 1998)

### **3.4.1 LA ZONA DE FALLA DE COCLÉ.**

La zona de falla de Coclé tiene una orientación NE - ENE con un ancho de 60 a 70 kilómetros, interceptando toda el área del Sector Central.

Es posible que las fallas comprendidas entre NE - ENE hayan influido en la localización de centros volcánicos tipo andesítico-basalto durante el Plioceno y Pleistoceno. La zona sigue hacia el Golfo de Chiriquí con rumbo SW y hacia el Golfo de San Blas con rumbo NE y forma parte de la estructura superregional Golfo Chiriquí-Golfo San Blas. Es posible que esta zona de falla se originara junto con la formación de un arco de isla en el Oligoceno o Mioceno (Informe Minero II, DGRM,1998).

### **3.4.2 LA CUENCA DEL CERRO TUREGA-SORÁ.**

La cuenca del Cerro Turega-Sorá es una depresión con dirección E-W y tiene un ancho de 15 a 20 kilómetros. En esta cuenca se originó el volcanismo pliocénico del área de El Valle y posiblemente las andesitas y los basaltos cuaternarios. La cuenca en su parte central está rellena de sedimentos inmaduros. Es posible que la depresión fuera reactivada dos veces en relación con actividades volcánicas y movimiento de fallas. La depresión puede haber existido durante el volcanismo andesítico/basáltico de la Formación Tucué (Mioceno Superior), antes que la elevación del Plioceno. La complejidad del volcanismo se refleja en un perfil a través del Cerro el Peñón en donde se nota una actividad dacítico a río dacítico seguido por una actividad andesítica en el mismo centro volcánico. La mayoría de los productos básicos del Plioceno y del Pleistoceno están geográficamente localizados cerca de la depresión del Cerro Turega-Sorá aunque la distribución de los depósitos no necesariamente es la orientación E-W (Informe Minero II, DGRM.1998).

La estructura del Cerro Turega-Sorá es paralela a las fracturas de extensión, visibles en los mapas sobre fondo Pacífico, y que tiene que ver, probablemente, desde el punto de vista genético con esta configuración.

### **3.4.3 ZONA DE FALLAS RÍO CIRÍ.**

Esta zona de fallas tiene orientación N-S y es aproximadamente de 5 km de ancho. Está claramente visible en los mapas topográficos y en las imágenes de radar. Parece que esta estructura ha influido en la localización de centros volcánicos tanto del Mioceno Superior (Formación Tucué) como del Plioceno (Formación El Valle).

Varios centros volcánicos y calderas se ubican a lo largo de esta zona. Especialmente se puede observar el centro volcánico de Caparita, de la Formación El Valle, alineado N-S inmediatamente al este de la caldera del pueblo de El Valle (Informe Minero II, DGRM.1998).

### **3.4.4 COMPLEJO VOLCÁNICO EL VALLE.**

Es una estructura con un diámetro de más de 60 kilómetros, cubre casi todo el Sector Central, con excepción de una cuenca sedimentaria en la parte Atlántica. Es un complejo volcánico compuesto por varias calderas menores alineados a lo largo de estructuras lineares dentro del complejo El Valle y a lo largo del margen del complejo. Se estima que el complejo volcánico de El Valle inició su actividad en el Mioceno Superior durante las últimas actividades del volcanismo de la Formación Tocué. El nuevo volcanismo originó varias calderas y flujo ignimbríticos. Al final, el volcanismo se concentró a lo largo de la cuenca Cerro Turega-Sorá (Informe Minero II, DGRM, 1998).

### **3.4.5 ZONA DE FALLA DEL RÍO CHAME.**

El Río Chame sigue una zona de falla con rumbo NW-SE y ha causado movimientos de bloques, así se observa en el lugar que está cortando la caldera del Cerro Peñón que tiene un diámetro aproximado de de 10 kilómetros.

### **3.4.6 ZONA DE FALLA DEL RÍO TOABRÉ.**

La zona de falla del Río Toabré tiene orientación N-S y ancho de 4 a

5 kilómetros. Varios centros volcánicos de la Formación Tucué así como dos afloramientos de la Formación Chiguirí, están localizados a lo largo de esa zona de fallas. El plano de falla coincide con los planos de estratificación de la lutita.

#### **3.4.7 ZONA DE FALLA DEL RÍO COCLÉ DEL SUR.**

El complejo Volcánico de El Valle está limitado por una zona delgada con orientación N-S. Allí se encuentra el contacto entre los bloques andesíticos de la Formación Tucué y las ignimbritas de la Formación Cerro El Encanto.

Centros volcánicos de composición basáltica de la Formación Monte Oscuro (Plioceno-Pleistoceno) están localizados a lo largo de la misma zona de falla en el Sur del Sector Central (Informe Minero II, DGRM.1998).

#### **3.4.8 FALLA DE RÍO INDIÓ ARRIBA.**

Todo el Sector Central está atravesado por una falla E-W, ubicada al Norte de la población de El Valle. Parece ser una falla normal y Cuaternaria, paralela a la cuenca del Cerro Turega-Sorá (Informe Minero II, DGRM.1998).

#### **3.4.9 EL INTRUSIVO DE CERRO PETAQUILLA.**

Cerro Petaquilla es un cuerpo intrusivo de edad Oligoceno, localizado afuera del Sector Central, hacia el Noroeste. Aunque no se sabe si el complejo se extiende dentro del Sector Central. Supuestamente el intrusivo forma parte de un arco de islas del Oligoceno a lo largo de la costa Atlántica, mientras que el complejo Volcánico de El Valle y la cuenca del Cerro Turega-Sorá forma parte de un arco de isla en el Mioceno-Plioceno, de ser así la actividad volcánica migró hacia el Sureste (Informe Minero II, DGRM.1998).

#### **3.4.10 ZONA DE FALLA DE CAPIRA.**

Las fallas de Capira cortan el complejo volcánico de El Valle con rumbo NW-SE en su parte Noreste. Es una zona difícil de definir con

exactitud. A lo largo de la zona existen varias calderas y varios centros volcánicos: Cerro Campana, Cerro Llorón, Cerro Trinidad, Cerro Cirí Grande y Cerro Teriá. La zona de falla de Capira ha influido también en el volcanismo del Mioceno Superior (Formación Tucué) (Informe Minero II, DGRM.1998).

### 3.5 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.

Para la descripción geomorfológica de la provincia de Coclé se tomó como base el trabajo de **Touriño, 1976**, quien describe tres unidades geomorfológicas que a continuación se detalla:

**Macizos montañosos:** Las montañas se disponen en sistemas separados entre sí por cuencas sedimentarias y por regiones de colinas. Están constituidas en general por rocas ígneas volcánicas y rocas intrusivas. Su aspecto morfológico abrupto y profundamente escarpado es consecuencia del paroxismo tectónico del Neógeno. En esta región se presenta el tipo de relieve montañoso de “montañas producto de apilamiento de emanaciones magmáticas”, visto en la cordillera central (norte de Coclé), macizos de Azuero y de Soná.

**Acumulaciones de pie de monte** Las acumulaciones de pie de monte, según su origen, son hidrovulcánicas o morfoclimáticas. Las acumulaciones hidrovulcánicas son generadas por emisiones volcánicas de tipo explosivo; las cenizas volcánicas son retomadas por las aguas superficiales y explayadas en abanico en las llanuras del pie de monte; este tipo de acumulación caracteriza las laderas meridionales de El Valle. Las acumulaciones morfoclimáticas se observan en el sector de Cerro Petaquilla y Miguel de la Borda, en Colón, al norte de Coclé.

**La morfología litoral** está relacionada con el último ascenso glacieustácico del nivel marino, resultado de la fusión de los hielos de la última glaciación (trasgresión Flandriense); de ésta morfología se encuentran las costas altas y las costas bajas.

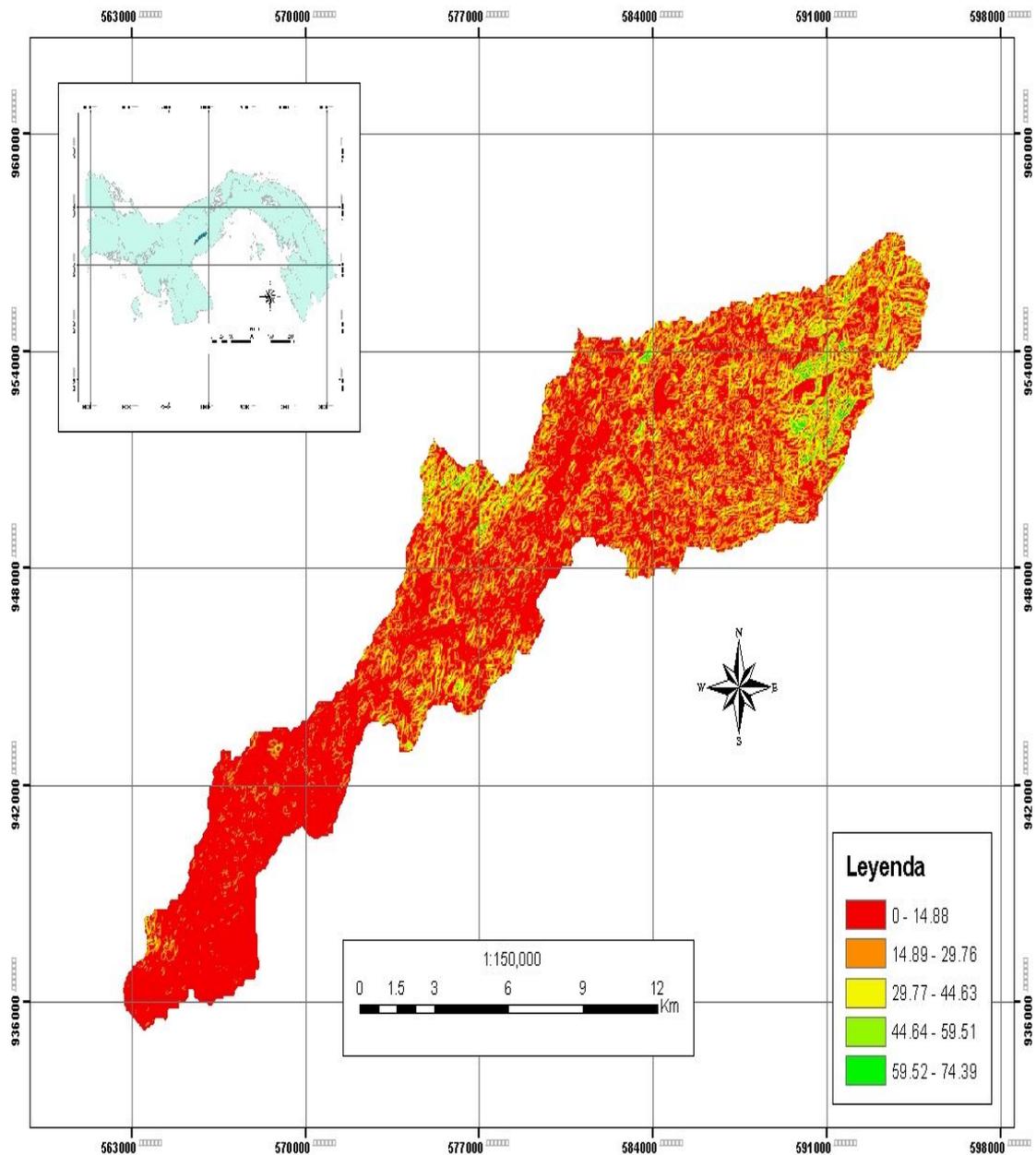
Las costas altas se localizan en aquellos sectores del litoral en que los flancos de las elevaciones avanzan hacia el mar, por lo que el relieve costero es elevado con pendientes empinadas. La mayoría de las veces no evolucionan en acantilados porque están separados del mar por cordones litorales y por plataformas de abrasión rocosa. El litoral meridional occidental presenta costas disectadas en anfiteatro en cuyas bases se ubican pequeñas playas, las cuales están separadas por promontorios. Las costas rocosas abruptas que forman acantilados se localizan en la península de Las Palmas en Veraguas. Generalmente las costas altas se presentan muy disectadas (**Touriño, 1976**).

Las costas bajas son aquellas que bordean las planicies litorales; en este tipo de costas se pueden distinguir las acumulaciones de arenas y cordones litorales. El margen continental lo constituyen la plataforma y el talud continental; la plataforma continental es más ancha en el lado Pacífico que en el Caribe; y sobre ella se levantan numerosas islas (continentales y coralinas) y arrecifes coralinos. Tanto la plataforma como el talud continental han conservado restos del antiguo relieve subaéreo, como consecuencia de los desplazamientos de la línea de costa (**Touriño, 1976**).

### **3.6 RELIEVE.**

Con el objetivo de observar la gran importancia que tiene el relieve en el control de la hidrogeología de la cuenca se confeccionó un modelo digital de terreno (figura 4.10) a través de un sistema de información geográfica mediante el programa Argis 9.2. A partir de los resultados obtenidos podemos considerar que la cuenca en su parte alta muestra un relieve montañoso con pendiente bien pronunciada por encima de los 45° a 75° grados, la cual facilita la erosión del suelo en época de lluvia aumentando los niveles piezométricos lo que da bastante inestabilidad de las laderas y colinas de las montañas.

En la parte media baja las pendiente se encuentran entre  $15^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  grados, donde ya se esboza una disminución de la velocidad del agua del río, llegando a constituir un área con pendientes más baja de  $0^{\circ}$  a  $14^{\circ}$  grados.



**Figura 3.8** Mapa de pendiente de la cuenca, con la ayuda del modelo digital de terreno.

### 3.7 SUELOS Y CAPACIDAD AGROLOGICA.

En Panamá se clasifican los suelos según el sistema USDA de ocho (8) clases de aptitud, que caracteriza la capacidad de los suelos y el uso potencial de la tierra.

A nivel nacional 1 700 000 has (23,4%) de tierras cultivables están distribuidas en las clases II, III y IV, y alrededor de 4 650 000 has. (64,1%) distribuidas en las clases V, VI y VII. Todos estos suelos se utilizan para pastoreo y cultivo de árboles; y unas 825 700 has (11.4%) para vegetación forestal destinada a la conservación (ANAM, 2007).

Atendiendo a la capacidad agrológica de los suelos existentes en la Región de las provincias Centrales, el 78,5% de los suelos tienen la consideración de “no aptos” para el uso agrícola, y el 21,5% presenta limitaciones para este uso.

La tabla 3,1 muestra la distribución de los suelos de la provincia de Coclé según su capacidad agrológica, atendiendo a la aptitud de suelos según USDA.

**Tabla 3.1** Distribución de los suelos de la provincia de Coclé, según su capacidad agrológica en km<sup>2</sup> (Fuente: Atlas de Panamá, 2007).

Clases de Suelo	Coclé	
	Superficie.	%
II	266	5,3
III	453	9,0
IV	477	9,5
V	26	0,5
VI	748	14,9
VII	1 531	30,4
VIII	1 527	30,4
Todas	5 028	100,0

- I Arable, sin limitaciones.
- II Arable, algunas limitaciones en la selección de las plantas, requiere conservación moderada.
- III Arable, severas limitaciones en la selección de las plantas, requiere conservación especial o ambas cosas.
- IV Arable, muy severas limitaciones en la selección de plantas, requiere un manejo muy cuidadoso o ambas cosas.
- V No arable, poco riesgo de erosión, pero con otras limitaciones, apta para bosques y pastos.
- VI No arable, con limitaciones severas, apta para pastos, bosques, tierras de reservas.
- VII No arable, con limitaciones muy severas, apta para pastos, bosques, tierras de reserva.
- VIII No arable, con limitaciones que impiden su uso en la producción de plantas comerciales.

Los suelos de mayor potencialidad productiva, para el área de estudio (**Provincia de Coclé**) se encuentran en las zonas llanas, que en extensión pueden llegar hasta el 15% de la provincia, especialmente en **las llanuras de Aguadulce, Natá y Antón**; se trata de suelos aluviales recientes, ubicados en las márgenes de los ríos; también los suelos arenosos costeros y los suelos pardos rojizos que no han estado sujetos a intensa lixiviación.

Los suelos de los **Llanos de Coclé** pertenecen a las clases II y III (sistema USDA) con aptitud para una amplia variedad de producción mecanizada de cultivos y pastos, con buenas aptitudes para irrigación.

Los suelos de clase IV, menos aptos para cultivos anuales, se centran sobre todo al **Sur de Penonomé**. En total, los suelos arables de la provincia de Coclé, apenas constituyen el 24% de la superficie total,

coincidiendo en gran medida con el terreno destinado a usos agropecuarios. Los suelos de la clase V, aptos para la ganadería, son poco importantes en Coclé (0,5%), principalmente al oeste de Penonomé (Anam, 2007).

En el borde costero, los suelos presentan características inadecuadas para usos agrológicos (clase VII), son los manglares o las albinas, afectados por las mareas y la salinidad. Igualmente, en los suelos ubicados en el Norte y Este de la Provincia (colinas bajas y estribaciones montañosas), clases VI y VII, el uso se orienta a la agricultura de subsistencia, ganadería y forestación.

Finalmente, los suelos de clase VIII se concentran en la cordillera y sus estribaciones. Esta zona constituye un área protegida de los recursos naturales (suelos, bosques, agua, fauna, paisaje), por lo que no hay tanta degradación de los suelos como en otras áreas, representando el 30% del territorio de Coclé.

A fin de realizar una comparación del área de estudio con el país, se presenta en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Cuadro comparativo del uso de suelo de la Provincia de Coclé con respecto al resto del país (confeccionado con los datos del Informe ANAM, 2007).

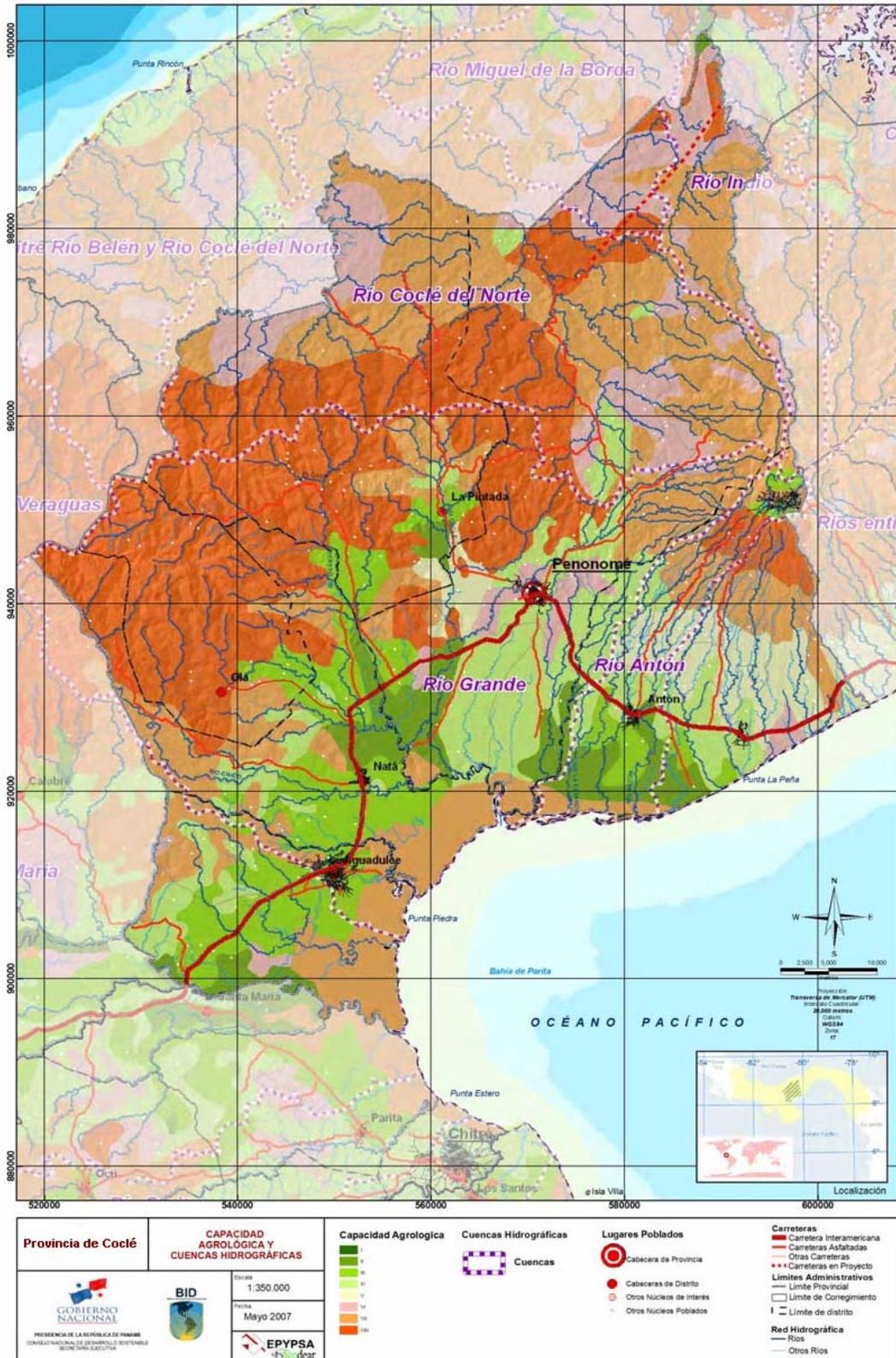
Uso de Suelo	Hectáreas	Coclé (%)	País (%)
Tierras cultivables de clase II, III, IV	135 000	27,0	27,0 y 23,4
Para pastoreo y uso forestal con aprovechamiento	217 000	45,8	64,1
Vegetación forestal destinada a la conservación.	142 000	30,0	11,4

En la tabla 3.3 se muestra la distribución de las clases de suelo para cada distrito, atendiendo a la aptitud de suelos según USDA.

**Tabla 3.3** Superficie según clase de suelo, Provincia de COCLÉ en hectáreas, (Fuente: Atlas de Panamá, 2007).

SUPERFICIE SEGÚN CLASE DE SUELO Provincia de COCLÉ (hectáreas)						
Tipo de Suelo	AGUADULCE	ANTÓN	LA PINTADA	NATÁ	OLÁ	PENONOMÉ
II	3111.2	8228.1	1328.5	4551.5		8713.8
III	16718.6	6212.0	5096.3	17702.0	2415.1	2179.0
IV	6675.6	17003.4	1058.9	5173.8	318.0	28679.0
V		18155.6	990.3			2982.7
VI	1112.3	1447.4	11632.8			32059.0
VII	19007.4	16827.7	30727.2	18919.4	4006.9	58559.0
VIII		5897.3	52509.8	13842.5	32328.0	38144.0
TOTAL	46625.1	73771.5	103343.8	60189.2	39068.0	171316.5
% de suelo cultivado	9.4	14.9	20.9	12.2	7.9	34.7

La Figura 3.8, muestra el mapa Distribución de los suelos de la provincia de Coclé según su capacidad agrológica. La cuenca del Zaratí presenta, según USDA los tipos de suelo VI y VII los cuales son arables con limitaciones severas. En el sector bajo de la cuenca se encuentran suelo clase IV el cual es arable con severas limitaciones en los cultivos a implantar, por lo que se requiere un manejo muy cuidadoso del mismo.



**Figura 3.9** Mapa Distribución de los suelos de la provincia de Coclé, según su capacidad agrológica, atendiendo a la aptitud de suelos según USDA. (Fuente: Atlas de Panamá, 2007).

**CAPITULO 4.****4. MARCO HIDROGEOLÓGICO.****4.1. INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se describen antecedentes generales acerca de la hidrogeología del área de estudio. Se presenta un inventario actualizado de los principales puntos de agua, indicándose su localización, características constructivas de las captaciones e indicación del objetivo de su utilización en esta investigación. A partir de la interpretación de la geología reseñada en el capítulo 3, la descripción hidrogeológica se centrará en dos secciones, Cuenca Alta y Cuenca Baja, aunque en ocasiones se hará comentarios de la hidrogeología de la Cuenca Media. También se realiza una caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas y volcánicas del área de estudio, que incluyen la determinación de algunos parámetros hidráulicos del acuífero de la cuenca a partir de los ensayos de bombeo realizados.

**4.2. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LAS FORMACIONES VOLCÁNICAS.**

A continuación se describe un marco teórico de la hidrogeología de las formaciones volcánica con el objetivo de comprender la situación del acuífero en el área de estudio.

Según Custodio (1986), debido a diversidad de tipos litológicos y génesis de las formaciones volcánicas, estas presentan características hidrológicas muy variables dentro del grupo de rocas consolidadas. Los principales factores que van a determinar las características hidrológicas de las formaciones volcánicas son el tipo de volcanismo, la distancia desde el centro de emisión, la tectónica, los efectos de la edad y la presencia de materiales no volcánicos interestratificados. Todos estos factores inciden en un mayor grado de anisotropía y heterogeneidad del medio y, por lo tanto, en la circulación del agua subterránea.

En regiones volcánicas la geometría de los acuíferos queda controlada principalmente por los contrastes de permeabilidad entre los distintos materiales volcánicos, así como por la disposición de las coladas de lava, los depósitos piroclásticos y las unidades subvolcánicas asociadas al volcanismo.

En zonas próximas a los centros de emisión volcánicos pueden encontrarse productos piroclásticos de poca permeabilidad (principalmente tobas litificadas y depósitos de cenizas), que quedan interestratificados con coladas de lava más permeables y que pueden actuar a modo de barreras casi horizontales (Custodio y Llamas, 1983).

Dentro de los intrusivos subvolcánicos asociados al volcanismo, se destacan los diques, ya que estos pueden constituir barreras impermeables o poco permeables al flujo de agua subterránea, o por el contrario facilitar el movimiento del agua paralela a los mismos (Custodio, 1978). También pueden ejercer un control importante en la circulación del agua los "sills" (láminas o manto), ya que al igual que los productos piroclásticos poco permeables éstos se disponen entre coladas de lava de mayor permeabilidad y actúan como barreras horizontales.

También puede ocurrir que las coladas de lava y los depósitos piroclásticos cubran formaciones aluviales en valles y barrancos preexistentes. Estas formaciones detríticas de mayor permeabilidad pueden actuar como drenaje de las formaciones volcánicas que las contienen y eventualmente dan origen a acuíferos semiconfinados (Custodio y Llamas, 1983).

La porosidad de las rocas volcánicas es muy variable según el tipo de rocas, pudiendo variar entre el 10 y el 50% en rocas piroclásticas, hasta menos de 5% en lavas masivas y sin vesículas (Custodio, 1978). En el caso de las lavas, las diferencias de porosidad tienen su origen principalmente en los procesos de solidificación de las mismas. Así, lavas que se solidifican muy rápidamente no podrán desgasificarse, lo que dará lugar a gran cantidad de

burbujas de gas aprisionadas que conducirán a una textura vesicular. Por otro lado la porosidad puede variar significativamente en una misma colada de tal forma que la parte superior de las coladas, donde se concentra la mayor cantidad de burbujas de gas tendrá una textura vesicular y por lo tanto una mayor porosidad, mientras que la parte central de la misma será más masiva y menos porosa. En general la porosidad de las rocas volcánicas disminuye con el paso del tiempo debido a que eventualmente los procesos de meteorización y colmatación reducen significativamente el volumen de huecos en las rocas.

La permeabilidad de las rocas volcánicas puede variar significativamente debido a la heterogeneidad del medio volcánico. En general los distintos tipos de materiales volcánicos y los intrusivos subvolcánicos asociados al volcanismo darán como resultado permeabilidades muy variables. Como regla general las rocas volcánicas de composición basáltica presentan mayor permeabilidad que las rocas volcánicas más ácidas, y las lavas más modernas son más permeables que las más antiguas (Custodio y Llamas, 1983), aunque las variaciones de esta regla son muy numerosas. No necesariamente rocas volcánicas con elevada porosidad presentarán elevada permeabilidad, debido a las estructuras propias de las rocas volcánicas, como sucede por ejemplo en rocas volcánicas con gran cantidad de vesículas que le dan una alta porosidad, pero que no están conectadas.

### **4.3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.**

#### **4.3.1 DATOS RECOPIADOS.**

En relación con los pozos, se tomó como base el inventario realizado por la Administración del IDAAN en periodos distintos, sistematizada y depurada. Además, se tuvo en cuenta el censo de pozos llevado a cabo específicamente para esta tesis. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se confeccionó un mapa con los pozos censados (Figura 4.1).

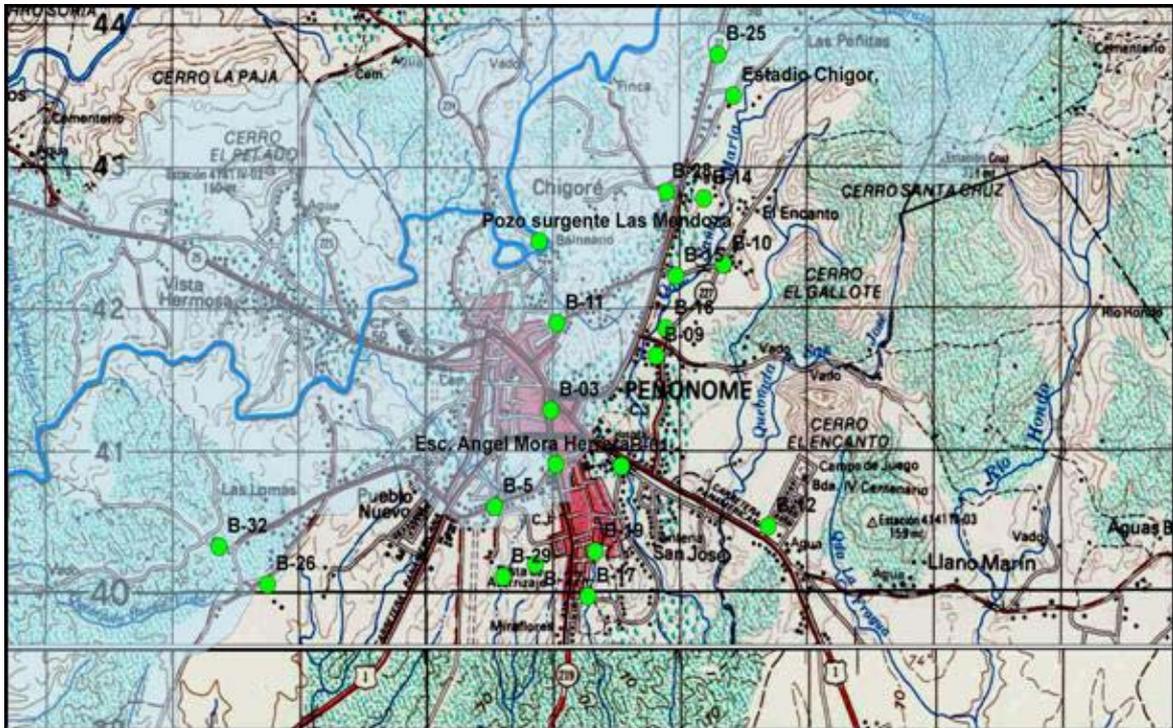


Figura 4.1 Mapa de Localización de pozos.

La mayor parte se corresponden a perforaciones para uso rural y con caudales muy reducidos. También existen perforaciones con caudales significativos correspondientes básicamente a las captaciones que abastecen de agua potable a las distintas localidades ubicadas en la Ciudad de Penonomé.

En la zona de estudio podemos contar con gran cantidad de puntos de agua inventariados por la Administración del IDAAN en diversas campañas a través de varios años. La imposibilidad de contar con el conocimiento detallado de las características de cada uno de ellos hace que sea imposible utilizarlos como puntos de referencias precisos. Esto se debe principalmente a que los citados puntos son perforaciones de pequeño diámetro, cuya profundidad se desconoce y en muchos casos los niveles freáticos medidos no corresponden a la realidad. O sea que cada uno de estos puntos proporciona una información

parcial o semiprecisa que tiene que ser cuidadosamente analizada y corregida posteriormente.

Para esta tesis especialmente se realizó una campaña de inventario de pozos que consistió en la localización, características de las captaciones y toma de muestras de agua.

Dentro de esta investigación se incluyen medidas del nivel piezométrico en los pozos y algunas determinaciones fisicoquímicas en el campo (Alcalinidad, pH, conductividad, TDS y temperatura) de las aguas.

Con el objetivo de poseer una información adicional al área de estudio y poder interpretar la hidrogeología de la cuenca con mayor exactitud se inventariaron pozos fuera de los límites de la cuenca, los cuales fueron procesados en la base de datos.

En el inventario se contabilizaron 40 pozos de diámetros comprendidos entre 4 y 8 pulgadas, perforados en su mayoría por el departamento de fuente subterránea del IDAAN y otros por el departamento de aguas del Ministerio de Salud (MINSA). La profundidad de los pozos oscila de 40 a 70. Los principales datos considerados en este inventario fueron: situación geográfica, características de la obra, datos de niveles (estáticos y dinámicos) y análisis químico completo de componentes mayoritarios de algunos pozos.

En la parte la parte alta de la cuenca fue imposible obtener datos hidráulicos del acuífero ya que no existen perforaciones en toda esa área, por lo cual dicha información se puede considerar deficiente a nula. Solamente se ha observado que algunas quebradas están definidas por las estructuras características de las coladas de lava basálticas, producto de las antiguas erupciones. También aparecen manantiales situados inmediatamente en el contacto sobre rocas intrusivas.

El uso del agua subterránea es para la población, agricultura y ganadería, y los pozos presentan caudales reducidos. El método de perforación es rotativo y de percusión. La mayoría de estos pozos se encuentran ubicado en la urbe de de la ciudad y excepcionalmente alcanzan profundidades entre 40 y 70 m.

La extracción de agua de estos pozos se hace por bomba sumergible. Las captaciones son entubadas hasta el fondo, las más antiguas en hierro y las más recientes de pvc (aproximadamente 20 años) (I.D.A.A.N, 2002). Se encuentran en el centro y alrededor de Penonomé construidos entre 1970 y 2003. A partir de esa fecha la mayoría de estas captaciones se encuentran inhabilitadas ya que para el 2002 se puso en marcha la planta potabilizadora (I.D.A.A.N, 2002).

También se muestrearon algunas fuentes de agua superficial con el fin de estudiar su relación con el agua subterránea. Las fuentes superficiales muestreadas su localizan principalmente en zona alta de la cuenca, aunque en la parte media de la cuenca se las encuentran con caudales muy reducidos de unos pocos litros por día.

#### **4.4. HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA.**

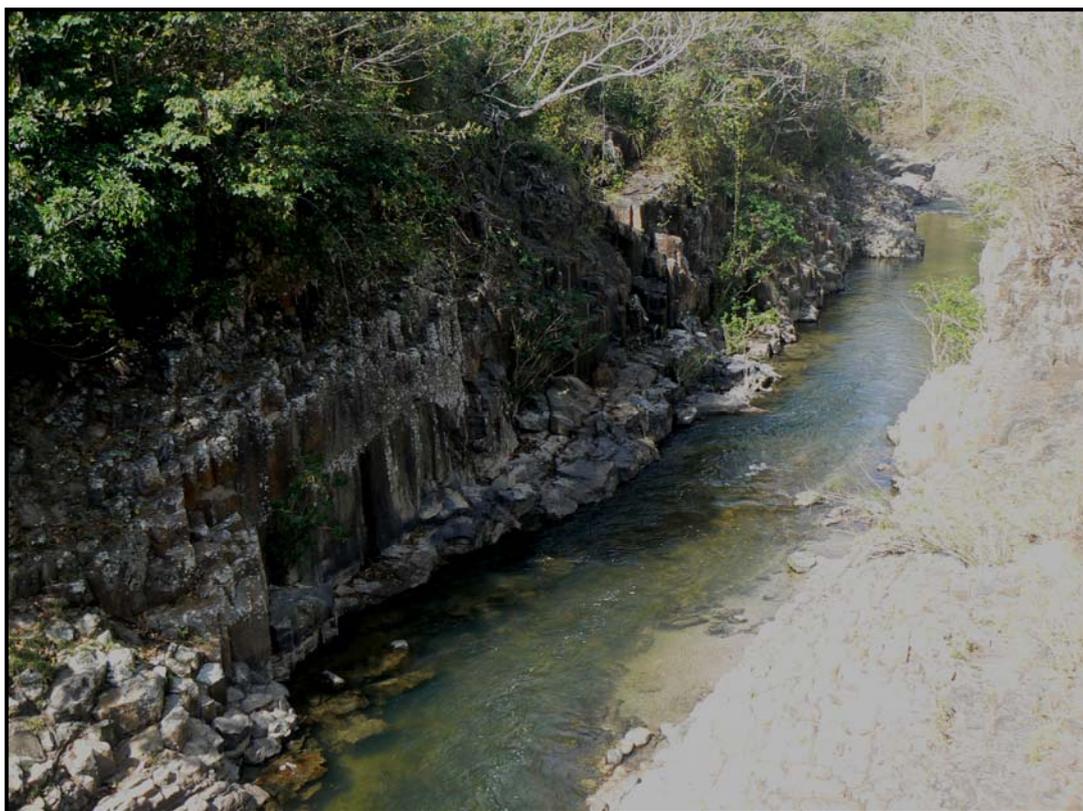
La hidrogeología de la región se basa en las características geológicas del capítulo 3, donde a partir de la distribución de las formaciones y estructuras geológicas más importantes se divide al área de estudio en dos sectores: parte alta de la cuenca, parte baja de la cuenca y para algunas ocasiones nos referiremos a la parte central.

A partir de la situación antes descrita y, considerando la falta de información del área solamente se hace una descripción somera de las condiciones hidrogeológicas que servirán como base para futuros estudios hidrogeológicos.

#### 4.4.1. CUENCA ALTA.

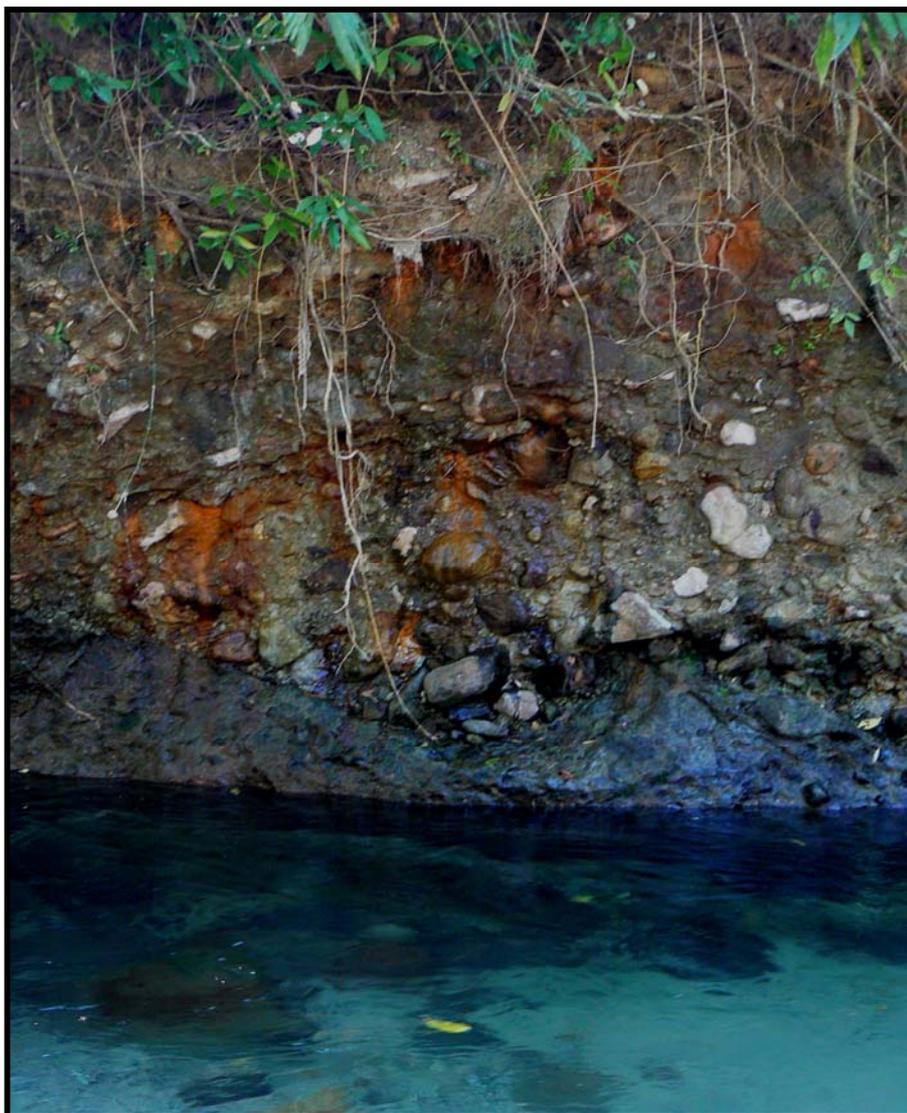
La parte alta de la cuenca está comprendida por los poblados de Pajonal, Membrillo, Alto de la Estancia, Alto México, El Águila, Turega, Boquerón, Caimito Oajaca, Sofre y Loma Grande.

El agua subterránea se encuentra almacenada en rocas volcánicas ígneas extrusivas e intrusivas de la formación Tucué, la más vieja del área, en donde se pueden observar tobas, basaltos y andesitas, fracturadas que constituirían el área de recarga de la zona. En la figura 4.3 se muestra la formación Tucué (Basaltos Columnares) localizados en el puente que conecta Churuquita Chiquita y Churuquita Grande.



**Figura 4.3.** Formación Tucué (Basaltos Columnares) en el puente limite entre Churuquita Chiquita y Churuquita Grande, en la parte alta de la cuenca.

En el poblado de Oajaca se aprecian antiguos paleo cauces (Figura 4.4.) cubiertos por flujo dendrítico. En período de invierno, donde las lluvias son intensas suben los niveles freáticos; como consecuencia de esta situación hay un aporte del acuífero al río.



**Figura 4.4.** Antiguo paleocauce cubierto por el flujo dendrítico.

En la figura 4.5 se puede observar que las terrazas fluviales constituyen pequeñas plataformas sedimentarias construidas en un valle fluvial por los

propios sedimentos del río que se depositan a los lados del cauce en lugares en que la pendiente del mismo se hace menor.



**Figura. 4.5.** Terrazas aluviales, parte alta de la Cuenca.

Las pendientes en la cuenca alta son superiores a los 40° en ambos lados de la ribera del río, favoreciendo el escurrimiento superficial que se da durante

las precipitaciones, momento en que se produce recarga. En la Figura 4.6 se observa una vista panorámica de la cuenca desde la parte alta hacia la media, en ella se aprecian las pequeñas colinas a lo largo del Río.



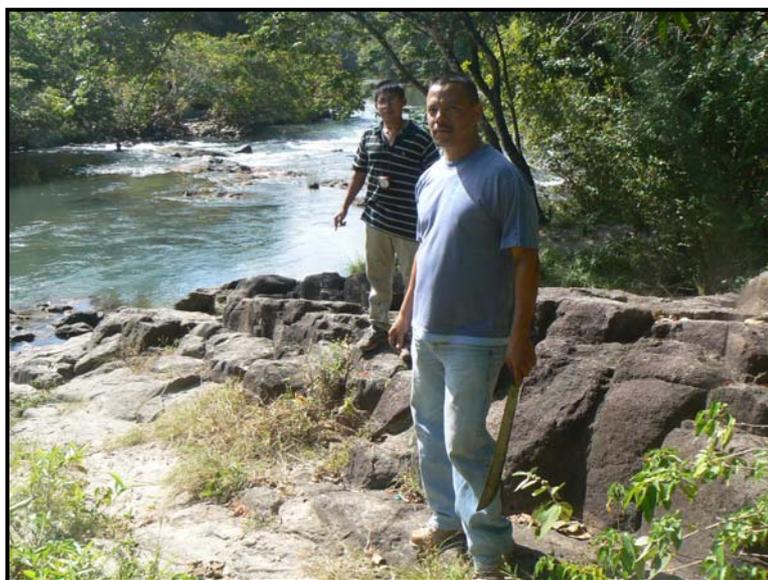
**Figura. 4.6** Vista panorámica del cauce del Río Zaratí y de las terrazas aluviales de la parte alta de la Cuenca, las colinas y montañas durante el descenso del cauce del mismo.

#### 4.4.2. CUENCA BAJA.

La parte baja de la cuenca corresponde los poblados de Monte Grande, El Mosquitero, El Potrero, La Negrita, El Cocal, Sonadora, Chigoré, Santa Cruz, Ciudad de Penonomé, Las Lomas, Cerro Gordo y el Silencio.

En este sector se identifican la Formación Cerro El Encanto constituida por rocas volcánicas de buena permeabilidad y a su vez por encima de esta se encuentra la Formación Río Hato conformada por arenisca. Esta zona puede considerarse, en primera aproximación, como área de descarga ya que los niveles piezométricos son más someros que en las áreas de recarga. Los pozos en el área tienen buenos caudales de producción.

En la Figura 4.7 se observa las fracturas del basalto que constituiría áreas de recarga local.



**Figura 4.7** Formación Tocué, conformada basalto este aflora en la parte baja del Río Zaratí.

En la región baja de la cuenca el Río Zaratí se ensancha y pierde velocidad debido a las grandes terrazas aluviales formadas a la rivera de su cauce (figura4.8)



**Figura 4.8** Grande aluviones de material transportado por el Río Zaratí.

Como se puede ver en la figura 4.9, gran parte de esta área baja está conformada por material volcánico (piedra pómez y toba) permitiendo el aumento de la permeabilidad del acuífero libre.



**Figura 4.9** Formación Río Hato que está conformada por piedra pómez y tobas, la foto se puede apreciar el conglomerado de piedra pómez y la toba.

#### **4.5. PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS.**

En este apartado se presentan los datos referentes a los parámetros hidrodinámicos del área de estudio. Los ensayos hidráulicos son pocos y principalmente en pozos realizados para abastecimiento de agua potable a las distintas localidades la ciudad de Penonomé, tal como mencionáramos anteriormente no se encuentran en uso. En la Figura 4.10 se



que los mismos carecían de información básica suficiente para su interpretación, por lo que los resultados mostraban un factor de incertidumbre muy alto.

Los ensayos de bombeos realizados especialmente para esta tesis se ejecutaron en los siete pozos mencionados anteriormente. Los ensayos de bombeo se realizaron con una duración de 4 a 6 horas de bombeo a caudal constante entre 2 a 4 l/s, con mediciones de niveles realizadas en el propio pozo de extracción. Estos ensayos se realizaron con bombeos cortos por no contar con los medios necesarios para sufragar los gastos.

Se señala que algunos de los ensayos tienen pocos metros de descensos en relación al espesor saturado del acuífero. No obstante, del análisis de los ensayos se desprende la existencia de altas pérdidas de carga debido a que el tipo de tubos utilizado para forrar el pozo es ranurado por cortes vertical aislados, restringiendo de esta manera la entrada del agua al pozo.

La interpretación y resultados de los ensayos de bombeo considerados se presentan en el Anexo B.

Algunas perforaciones contaban con una breve descripción de su litología las cuales fueron proporcionadas por el IDAAN, estas descripciones litológicas, en formato papel, manuscrita y en gran parte incompletas, se presentan en la Tabla 4.1.

Con los datos mencionados anteriormente se interpretaron los ensayos de bombeo, utilizando el método de Theis con la ayuda del programa Aquifer Test, versión 3.0, diseñado por Waterloo Hydrogeologic.

**Tabla 4.1** Parámetros hidráulicos de perforaciones en el área y su litología.

Pozo	Espesor E(m)	Transmisibilidad (m <sup>2</sup> /d)	Coefficiente de almacenamiento	Conductividad (m/d)	Tipo de Acuífero	Litología
<b>B-10</b>	11,50-49,34	151,2	$1,39 \times 10^{-4}$	3,04	SC	Arcilla roja, arcilla arenosa, arcilla con arena, arena gruesa, lutita.
<b>B-17</b>	5,39-40,34	514,08	$5,68 \times 10^{-4}$	12,70	SC	Arcilla roja, arcilla arenosa, arena de grano fino, basalto.
<b>B-12</b>	9,87-38,9	374,11	$2,17 \times 10^{-5}$	9,59	C	Arcilla roja, arcilla arenosa, arcilla con arena, arena gruesa, lutita.
<b>B-23</b>	17,39-45,09	27,56	$3,05 \times 10^{-3}$	0,61	SC	Arcilla roja, arena arcillosa, conglomerado con arena, arena media, aglomerado con fragmentos andesita.
<b>B-11</b>	5,60-46,22	23,67	$1,81 \times 10^{-3}$	0,51	SC	Arcilla, arena arcillosa, arena de grano fino, arena de grano grueso, conglomerado, basalto
<b>B-28</b>	12,88-60,27	81,30	$8,20 \times 10^{-2}$	0,13	L	Arcilla arenosa, arcilla con arena gruesa, arena gruesa, andesita.
<b>Villa Cumbrera</b>	8,51-64-66	205,63	$2,49 \times 10^{-3}$	3,18	SC	Arcilla, arcilla arenosa, aglomerado de piedra pómez, arcilla

**C = Confinado****SC = Semiconfinado****L = Libre**

En primer lugar los valores de conductividad son sólo orientativos (fueron deducidos de la transmisividad y el espesor saturado inicial).

La obtención de algunos valores distintos de permeabilidad (en algunos casos de un orden de magnitud), se podría deber al efecto del almacenamiento en el pozo y las variaciones de caudal causadas por el funcionamiento de la bomba, limpieza del pozo y otros factores extraños que provoquen en algunos casos una interpretación errónea.

Los resultados obtenidos (Tabla 4.1) corresponden a un área muy reducida de lo que representa el acuífero, que no se pueden extrapolar a áreas más extensas, porque en la parte alta de la cuenca no se tiene información de perforaciones.

En base a los datos suministrados por el IDAAN se calcularon los datos de caudal característico y transmisibilidad. Junto a la información del caudal de explotación, se presentan en la tabla 4.2. Se reitera que los pozos de explotación se dejaron de utilizar en 2002.

**Tabla 4.4** Principales parámetros hidráulicos. Pozos de abastecimientos.

<b>Características medias del acuífero</b>		
<b>Pozo</b>	<b>Qc (m<sup>3</sup>/h.m)</b>	<b>* Caudal de explotación (m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>B-10</b>	1,54	56,78
<b>B-17</b>	0,92	26,85
<b>B-23</b>	0,50	11,36
<b>B-28</b>	0,64	13,62
<b>Villa Cumbreira</b>	1,02	9,08

\* Dato suministrado por el I.D.A.A.N, Dirección Regional de Penonomé.

#### **4.6. ISOPIEZAS.**

Es de destacar que el área de estudio carece de antecedentes de estudios o trabajos piezométricos anteriores. Únicamente se encontraron algunos antecedentes puntuales de datos en la Dirección de Aguas del IDAAN de Penonomé, sin registro de fecha de control y, sólo de la parte alta de la cuenca y con resultados muy confusos. Por otra parte tampoco existen mapas de estudios hidrogeológicos regionales que, aunque sea, pudieran servir como referencia para el área de estudio.

A partir de estos conceptos es que se entiende que este trabajo piezométrico es solamente un esbozo que servirá como punto de referencia para futuros estudios con mayor precisión.

Con el objetivo de la elaboración de un mapa piezométrico (Figura 4.11), de carácter preliminar, se realizó un censo de pozos entre septiembre-octubre del 2007, que coincidió con la época de lluvia en la zona, lo que complico las tareas de medición de niveles. A esto se agrega la falta de información de los pozos censados, que tampoco pudo ser aportada por los usuarios ya que desconocen los datos constructivos e hidráulicos de los mismos. Por tal motivo se descartaron aquellos puntos cuyos niveles estáticos fueran informados verbalmente.

No obstante esta situación se pudo reconstruir, tal como se indicó anteriormente, un bosquejo piezométrico preliminar (Figura 4.11) donde se han sumado datos de las campañas realizadas entre los meses de septiembre a octubre de 2007 por el autor y los datos de la Dirección de Aguas del IDAAN de Penonomé de algunas perforaciones privadas, lo que en total suman alrededor de 40 puntos.

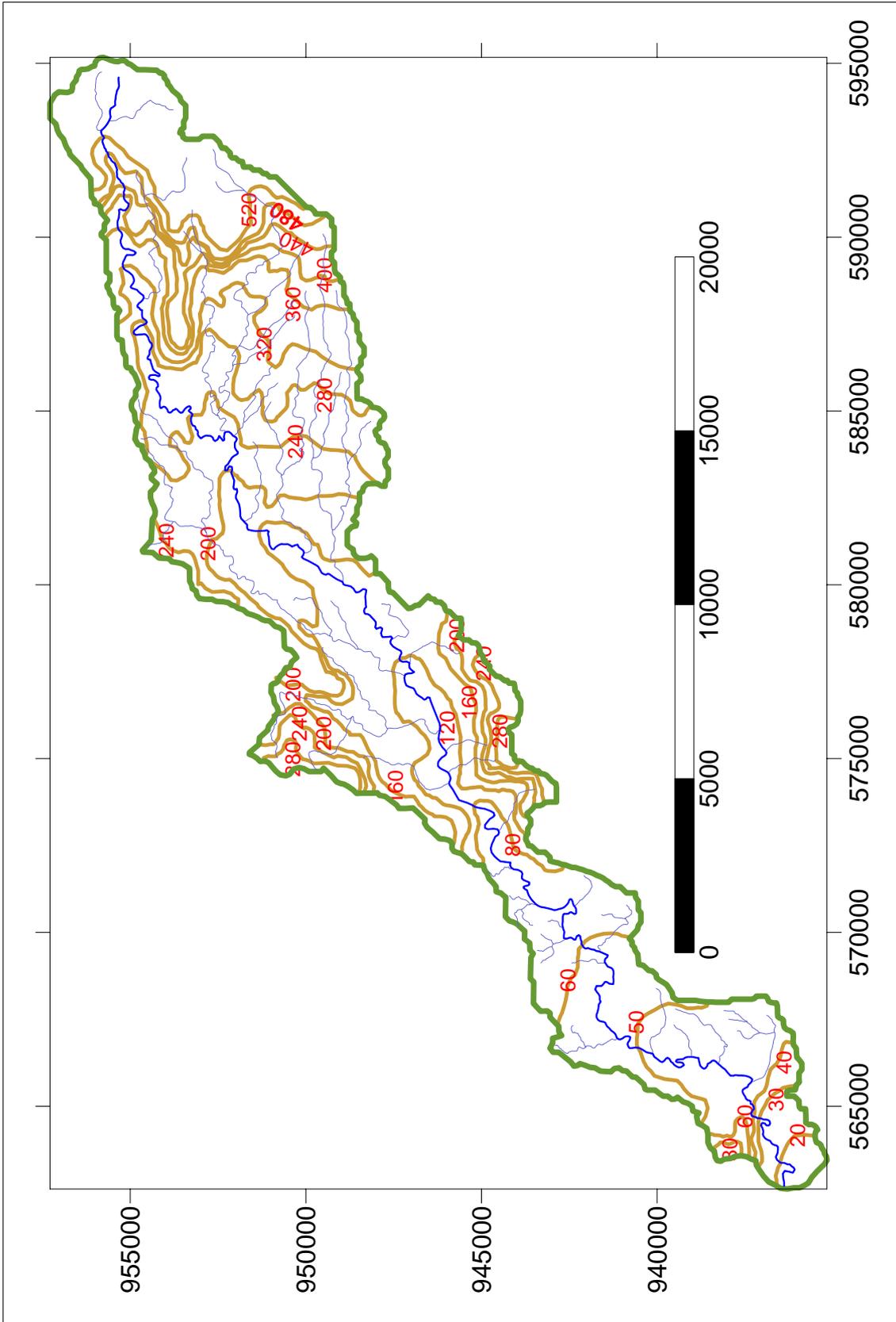


Figura. 4.12 Bosquejo piezométrico preliminar de la cuenca proyectado sobre el modelo digital de terreno.

El trazado de las curvas se efectuó sobre cartografía digital a escala 1:110.000 y luego reproducida en el tamaño de presentación de la tesis. Las cotas de referencias de los pozos de la ciudad de Penonomé fueron nivelados topográficamente por el autor, a través de un teodolito. Los pozos de la parte media, y dos que existen en la parte alta, fueron estimados mediante cartas del Instituto Geográfico Tommy Guardia a escala 1:50.000 con equidistancia de 10 metros.

Otra situación que se planteó fue el no poder contar con información precisa sobre la influencia de los bombeos de los pozos que abastecen a las distintas fincas privadas del área de estudio. En esta zona, con escasa o nula información piezométrica, las isopiezas se reconstruyeron en base al mapa digital del terreno, con una adaptación suavizada para tal fin.

La falta de datos piezométricos precisos, hace que esta afirmación se base únicamente en la hipótesis del elevado control topográfico sobre la piezometría motivada por la baja permeabilidad general de los materiales en la parte alta de la cuenca.

A fin de minimizar la importancia de efectos secundarios se trató, dentro de lo posible, de tomar los niveles correspondientes a mediciones realizadas entre septiembre y octubre (período de las lluvias).

A partir de los conceptos vertidos, en la zona alta de la cuenca, solamente se confecciona piezometría estimada ya que no se ha podido obtener la información necesaria a fin de lograr una piezometría de detalle.

El mapa de isopiezas pone de manifiesto un esquema clásico de piezometría de cuenca, donde pequeñas componentes de flujo descienden de las laderas de colinas y montañas, hacia los arroyos y de ese lugar hacia el Río Zaratí que actúa como receptor de los mismos.

Gran parte de los altos piezométricos o zonas de recarga se encuentran en la parte alta y media de la cuenca y como zona de descarga la zona de llanura de la parte baja de la cuenca, donde los niveles son bastante someros (de 3 a 6 metros de profundidad). Una hipótesis a tener en cuenta es la aparición de una pequeña área de recarga en la porción baja de la cuenca, que se confirmaría con la presencia de elementos como Calcio y Carbonatos.

Si bien, con la información disponible hasta la actualidad, es difícil poder establecer un modelo conceptual de flujo preciso y, que existen varios pozos de poca profundidad con mediciones discontinuas, no existió otra alternativa que la utilización de esos datos para la confección de un mapa piezométrico.

A pesar de estos inconvenientes podemos resumir que, en primera instancia, existe un flujo local desde las colinas y montañas hacia los arroyos secundarios y el río Zaratí . Las máximas cotas piezométricas se obtienen, en general, en la zona alta coincidiendo con el área de máxima recarga y las descargas locales hacia las depresiones de los arroyos, el río Zaratí y las llanuras con pendientes muy bajas (0° a 15°).

## **CAPITULO 5.**

### **5. HIDROGEOQUÍMICA.**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN.**

Este capítulo presenta la caracterización química de las aguas superficiales y subterráneas reconocidas en el área de estudio. Se basa en los datos obtenidos de la gira de campo realizada durante el mes de septiembre de 2007.

Se estudia desde el punto de vista de las relaciones entre distintas variables fisicoquímicas y su distribución espacial. Estos datos se encuentran en el Anexo C.

En la elaboración de los diagramas químicos se utilizó el programa AquaChem, versión 4.0, diseñado por Waterloo Hydrogeologic.

También se analizaron las relaciones entre las variables fisicoquímicas utilizando estadística multivariada por el procedimiento de análisis Cluster (Enjambres) y Componentes Principales, utilizando el soporte lógico de InfoStat (2008) de la Universidad Nacional de Córdoba. De igual forma el programa fue utilizado para otros tipos de gráficos.

#### **5.2 METODOLOGÍA.**

##### **5.2.1 SISTEMA DE MUESTREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL.**

En la campaña del mes de septiembre de 2007, se tomaron muestras en 30 puntos, de los cuales 16 fueron pozos existentes en el área de estudio y 2 muestras de agua superficial en diferentes puntos a lo largo del Río Zaratí. Las otras 12 muestras están ubicadas fuera de la influencia de la cuenca, cinco (5) de agua superficial y las otras siete pertenecientes a pozos. Todas estas muestras fueron analizadas en los Laboratorios del Instituto de

Investigaciones Científicas Avanzadas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT) de Panamá.

Como podemos observar las mayorías de las muestras corresponden a captaciones de fuentes subterráneas ya que se contaba con el permiso del Instituto de Acueducto y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) quienes son los administradores de los pozos.

Todas las muestras, superficiales y subterráneas, se almacenaron en botellas de polietileno con capacidad para 500 ml, sin burbujas de aire y resguardada de luz a una temperatura de 4° C, con pH inferior a 2. Antes de ser tomada la muestra se procedía a lavar la misma unas tres veces con el agua a muestrear. Desde que las muestras eran obtenidas en el campo hasta la llegada del laboratorio trascurrían aproximadamente 20 horas y conservándose refrigeradas, para evitar modificaciones de sus características químicas. Las muestras se tomaban con duplicados por si se necesitaba más agua para el análisis o cualquier accidente fortuito que ocurriese.

### **5.2.2 DETERMINACIÓN QUÍMICA DE CAMPO.**

Paralelamente al muestreo del agua subterránea se realizaron distintas determinaciones fisicoquímica in situ, siendo estas, la medición de temperatura, pH, alcalinidad, conductividad eléctrica y TDS calculado por el instrumento.

Para las medidas de campos se utilizo una sonda multiparamétrica YSI-556 (Figura 5.1), con una precisión para el pH de  $\pm 0,2$  unidades y rango de medida de 0 a 14 unidades, TDS con precisión de 4 dígitos y rango de medida de 0 a 100 g/L, la conductividad eléctrica con precisión de  $\pm 0,5$  % de la lectura o 0,001 mS/cm y rango de 0 a 200 mS/cm., para la temperatura de  $\pm 0,15$  ° C y rango de medida de - 5 ° C a 45 ° C. Este valor fue corroborado por un termómetro de mercurio.



**Figura 5.1.** Sonda Multiparamétrica YSI-556.

### 5.2.3 DETERMINACIÓN QUÍMICA DE LABORATORIO.

Los análisis químicos en laboratorio fueron realizados por los laboratorios del INDICASAT y del laboratorio especializado del IDAAN de la planta potabilizadora de Penonomé. En el primero de ellos se hicieron los análisis de: sodio, magnesio, calcio y potasio. En el laboratorio del IDAAN se realizaron los análisis de: Nitrato, Sulfato, Cloruro y Bicarbonato. Las técnicas analíticas utilizadas por el laboratorio del INDICASAT para las muestras fue la espectrometría de emisión plasma de acoplamiento inductivo y en el laboratorio especializado del IDAAN en Penonomé un espectrofotómetro UV/visible Hach, DR 5000, el cual utiliza la técnicas de radiación electromagnética (luz) de las regiones visible, ultravioleta cercana (UV) e infrarroja cercana (NIR) del espectro electromagnético. La radiación absorbida por las moléculas desde esta región del espectro provoca transiciones electrónicas que pueden ser cuantificadas, para identificar algunos grupos funcionales de moléculas, y además, para determinar el contenido y fuerza de una sustancia. (Figura 5.2).



**Figura 5.2.** Espectrofotómetro UV/visible Hach Dr 5000.

### **5.3 ANALISIS MULTIVARIANTE.**

El objetivo principal del análisis multivariante es transformar una gran cantidad de observaciones en un número menor de puntuaciones compuestas de manera que reflejen la mayor cantidad de la información contenida en los datos originales.

Para estudiar las relaciones entre las distintas variables fisicoquímicas de las muestras analizadas se utilizó el análisis cluster (enjambre) y de componentes principales (ACP). Todas las variables se normalizaron automáticamente a través del programa InfoStat, mientras se realizaban los análisis ya sea de cluster o de análisis componentes principales, para la obtención de datos fiables.

### 5.3.1 ANÁLISIS CLUSTER.

El análisis Cluster tiene por objetivo la búsqueda de grupos similares de casos o variables, los que se van agrupando en conglomerados. Antes de iniciarse un análisis Cluster se deben seleccionar las variables relevantes para identificar los grupos, definir la medida de aproximación entre los individuos y seleccionar el criterio para agrupar individuos en conglomerados. El parámetro de distancia utilizado en el estudio de los conglomerados de los casos fue el de la distancia euclídea. El tipo de coeficiente de correlación utilizado fue el de Persson.

Finalmente, los distintos grupos de variables o casos creados se representan en gráficos llamados dendogramas, que permiten visualizar qué grupo están más relacionados entre sí y cuales tienen muy poca o ninguna relación. De esta manera tratamos de agrupar los casos que más similitud tengan con respecto al tipo de agua que presenten las muestras.

### 5.3.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.

El análisis de componentes principales es un método esencialmente descriptivo que permite transformar las relaciones de un conjunto de variables en un número menor de componentes (variables) independientes entre sí, de manera que sólo algunas componentes expliquen la mayor parte de las varianzas contenida en los datos originales. "El propósito de análisis de componentes principales es revelar subgrupos de variables que son relativamente independientes unos de otros"(Peña 2002).

El análisis de componentes principales ofrece como resultado una serie de índices numéricos, y de éstos los más importantes son los valores propios, las cumunalidades y los coeficientes de estructura (también llamado pesos). Los valores propios indican el porcentaje de la varianza de las variables originales que explican cada uno de los componentes; es usual desechar los componentes que no explican una cantidad suficiente de variación de las variables originales. Los coeficientes de estructuras indican la correlación entre los componentes y las variables. Normalmente se

desechan las variables que tienen coeficientes de estructuras menores que 0,5. Las cumunalidades indican el porcentaje de la varianza de cada variable que es explicado por los componentes, de manera que se eliminan las variables que tienen una baja cumunalidad, porque no son explicadas por los componentes.

#### 5.4 CARACTERIZACIONES QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES.

Los datos utilizados para la caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas y superficiales fueron obtenidos íntegramente en el marco de esta investigación, ya que no existían previamente.

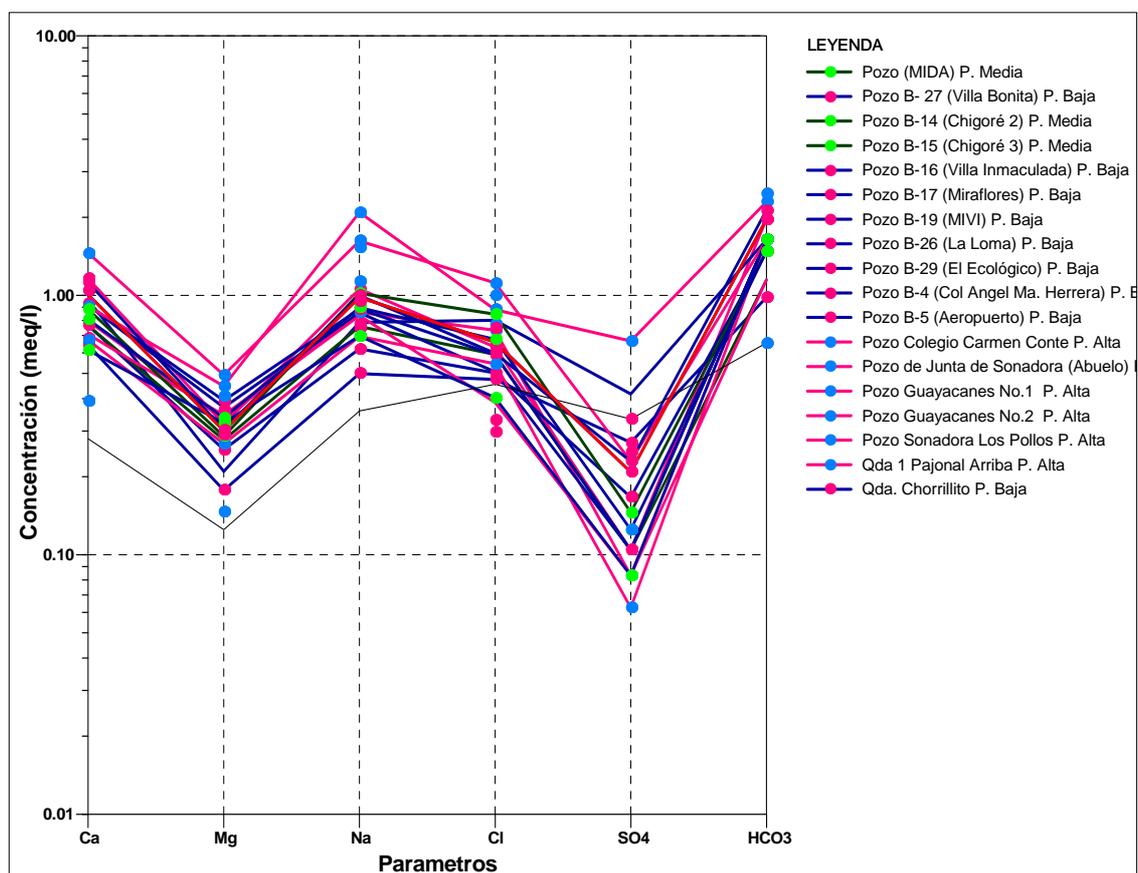
Las muestras de aguas subterráneas fueron tomadas de los pozos del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) y las superficiales del Río Zaratí (Figura 5.3).



**Figura 5.3.** Toma de muestra de agua superficial.

Para cada análisis químico de las aguas se calculó el porcentaje de error del balance iónico (Custodio y Llamas, 1983). Se ha tomado como referencia para el error de balance aquellos errores que no superen el 15%, ya que este porcentaje de error todavía resulta aceptable (Custodio y Llamas, 1983) por la baja conductividad eléctrica de las aguas muestreada que oscilan entre 0,04 mS/cm y 0,26 mS/cm (40  $\mu$ S/cm y 260  $\mu$ S/cm).

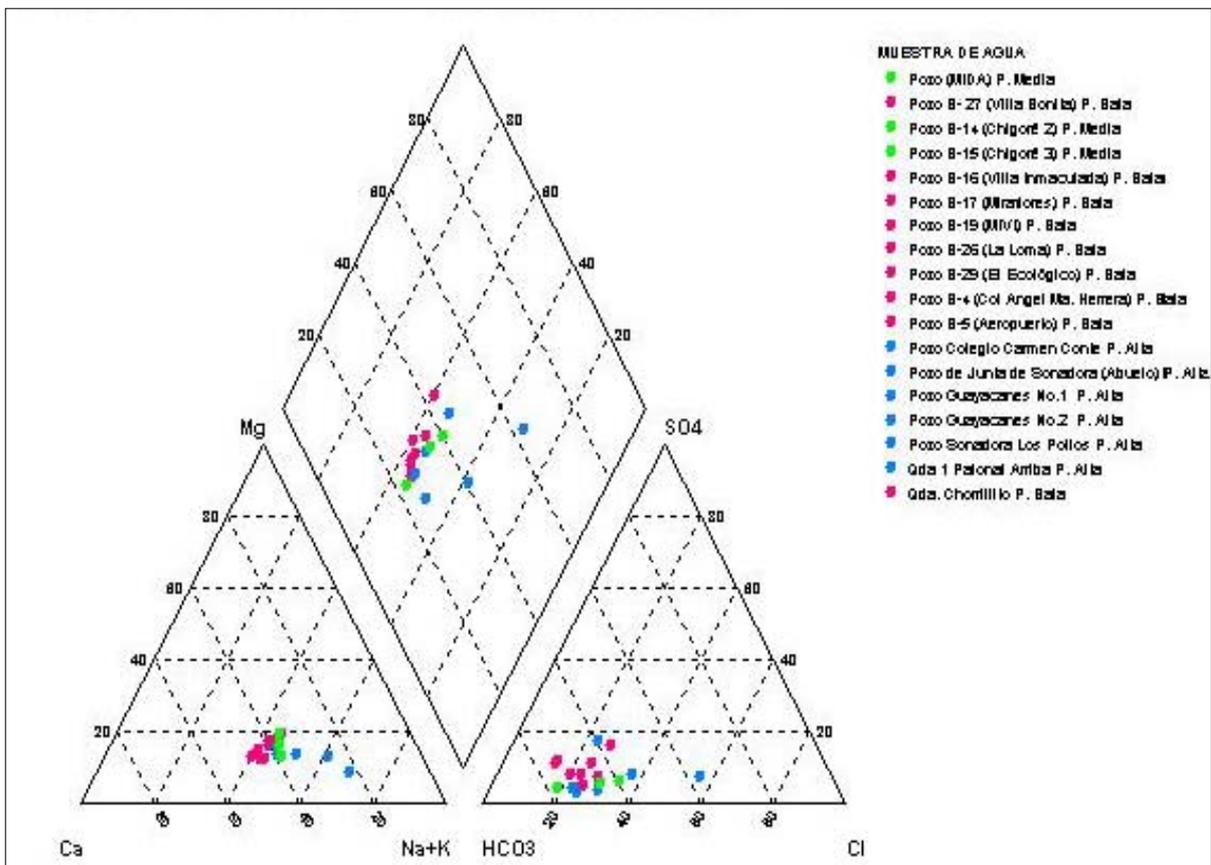
En el diagrama logarítmico vertical de Schoeller-Berkaloff (Figura 5.4), se observa que las aguas en el área de estudio presenta una misma característica bicarbonatada cálcica y/o sódica.



**Figura 5.4.** Diagramas Schoeller-Berkaloff, para las diferentes muestras de agua en la cuenca.

En el Diagrama de Piper (Figura 5.5), los colores muestran los diferentes lugares de las muestras de agua. El color azul indica la parte alta de la cuenca, el verde la intermedia de la cuenca y el rosado la inferior o baja.

En el diagrama se presentan las facies transitivas de los cationes de las aguas subterráneas, de Na-Ca desde la parte superior o alta de la cuenca a la parte inferior o baja. Para los aniones se hace presente la facies bicarbonatada, por lo que se encuentran dos tipos de agua, Bicarbonatadas sódicas se debería a la meteorización de la Albita a Caolinita y la bicarbonatada calcica debido a la meteorización de Anortita y disolución de carbonatos. La muestra que se encuentra separada de la demás, corresponde a la muestra de la Quebrada 1 de Pajonal Arriba, cuyos niveles de sulfato se deben a que los campesinos utilizan explosivo para la pesquería de camarones.



**Figura 5.5.** Diagramas Piper, los colores azules indican muestras de la parte alta de la cuenca, el verde la parte media y el rosado la parte baja de la cuenca.

En la Tabla 5.1 se han calculado los valores de los parámetros estadísticos descriptivos, de las concentraciones iónicas presente en el agua.

**Tabla 5.1** Valores de estadística descriptiva de las muestras.

Estadística descriptiva					
Variable	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
Na	18.91	13.23	0.75	48.06	20.20
K	2.46	1.38	0.07	3.87	3.05
Ca	13.89	8.63	0.66	29.18	15.67
Mg	3.04	1.78	0.33	5.99	3.50
Cl	19.67	12.32	0.3	39.6	21.80
HCO <sub>3</sub>	79.49	50.63	0.1	150	95.00
NO <sub>3</sub>	1.15	1.52	0.01	5.7	0.60
SO <sub>4</sub>	7.68	7.38	1.47	32	6.00

#### 5.4.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA GENERAL.

La mayoría de las aguas subterráneas predominan los siguientes tipos de aguas: En la parte alta y media Bicarbonatada Sódica - Cálcica (Na-Ca-HCO<sub>3</sub>) y en la parte baja Bicarbonatada Cálcica - Sódica (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>). Para las muestra de aguas superficiales en la parte alta Bicarbonatada Sódica - Cálcica (Na-Ca-HCO<sub>3</sub>) y en la parte media Bicarbonatada Cálcica - Sódica (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>).

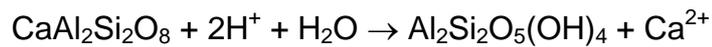
La razón por la cual en la parte alta y media de cuenca encontramos aguas del tipo (Na-Ca-HCO<sub>3</sub>), se debería a proceso de meteorización de silicatos (Appelo y Postma. 2007). En la meteorización de Albita por la acción del agua y del dióxido de carbono, ocurren los siguientes procesos:

- acidificación del agua de infiltración que favorece la hidrólisis de silicatos:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- $2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{Na}^+ + 4\text{H}_4\text{SiO}_4$

Albita

Caolinita

En la parte baja de la cuenca continua el proceso de meteorización y la razón por la cual encontramos aguas del tipo (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl) se debe al siguiente proceso:



Anortita

Caolinita

La Figura 4.6 muestra el mapa de Stiff, donde se puede observar la distribución espacial de los diferentes tipos de aguas.

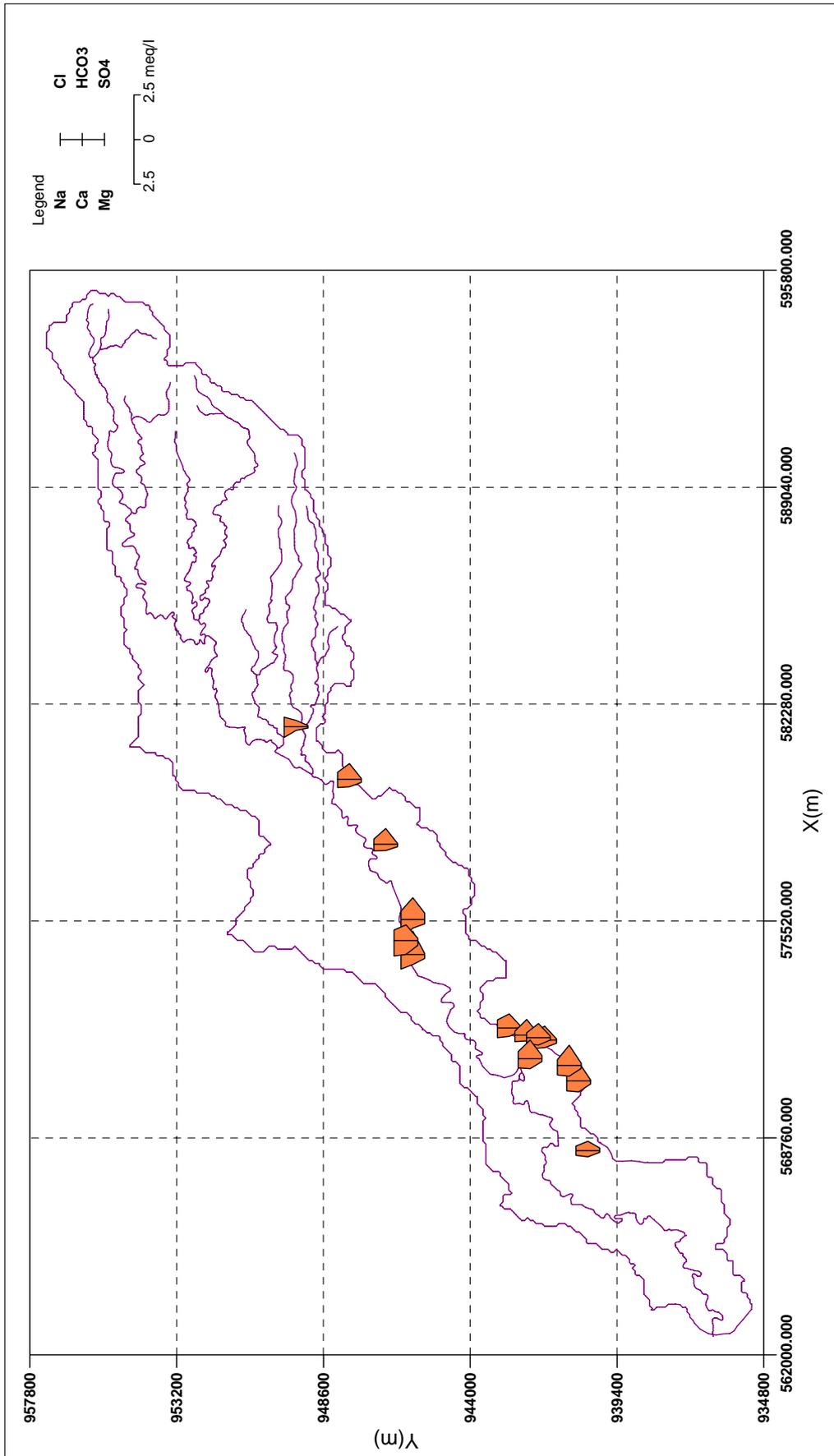


Figura 5.6. Mapa de Stiff para las muestras de agua de la Cuenca.

En la parte alta de la cuenca se dan las primeras precipitaciones de tipo orográfica proveniente de la costa del mar, luego las agua reaccionan con el medio geológico posiblemente favoreciendo la hidrólisis de los silicatos (albita) formando las aguas bicarbonatadas sódicas. El agua subterránea sigue su recorrido cuenca abajo enriqueciéndose de calcio debido a la disolución de carbonatos y a la meteorización de la anortita, formando las aguas bicarbonatadas cálcicas.

#### 5.4.2 RELACIONES IÓNICAS.

Las relaciones iónicas en muchos casos permiten comprender las reacciones fisicoquímicas que afectan las aguas subterráneas en su camino desde las áreas de recarga hasta los puntos de descarga, y tiene directa relación con los materiales a través de los cuales circula el agua y/o fenómenos modificadores que cambian su composición.

Las relaciones iónicas sugeridas por el programa AquaChem son las siguientes:

$$r[\text{Na} + \text{K} - \text{Cl}]/r[\text{Na} + \text{K} - \text{Cl} + \text{Ca}]$$

$$r[\text{Na}]/r[\text{Na} + \text{Cl}]$$

$$r[\text{Ca}]/r[\text{Ca} + \text{SO}_4]$$

donde  $r = \text{meq}^{-1}$

- **$r[\text{Na}+\text{K}-\text{Cl}]/r[\text{Na}+\text{K}-\text{Cl} + \text{Ca}]$** : Los valores para esta relación iónica comprendidos entre 0,2 a 0,8 están íntimamente ligada a reacciones de hidrólisis de los minerales silicatados de las rocas. En la Figura 5.7. muestra el valor promedio obtenido de 0,76, indicando que en el recorrido de las agua se da el proceso de hidrolisis en minerales silicatados.

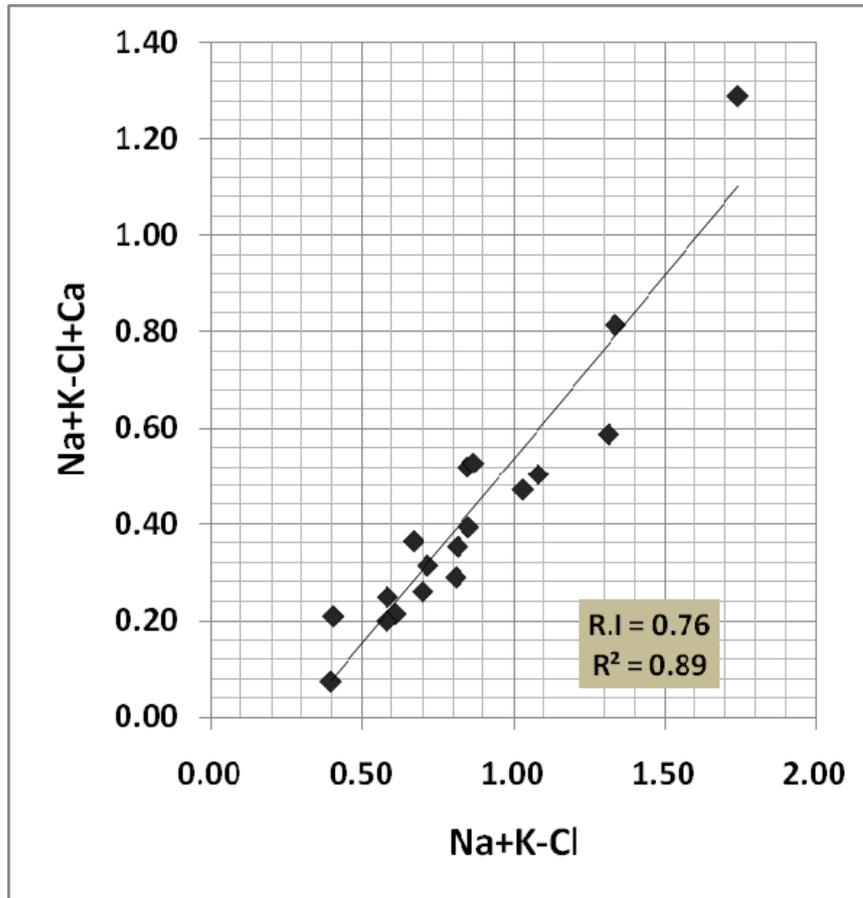


Figura 5.7. Relación iónica  $r[\text{Na+K-CI}]/r[\text{Na+K-CI +Ca}]$ .

El proceso de Hidrólisis se da en la parte alta, media y baja de la cuenca ya que la geología del área presentan altos contenidos de silicatos en sus rocas.

- **$r[\text{Na}]/r[\text{Na+Cl}]$**  Para valores mayores de 0,5 en esta relación iónica según el Manual de AquaChem, la fuente de calcio se debe a la hidrólisis de plagioclasa sódica. Este mineral está presente en las Dacitas de las formaciones El Valle y Tucué, encontrándose en la parte alta de la cuenca. Los datos de esta relación se presentan en la Figura 5.8. El valor promedio obtenido para esta relación es de 0,66.

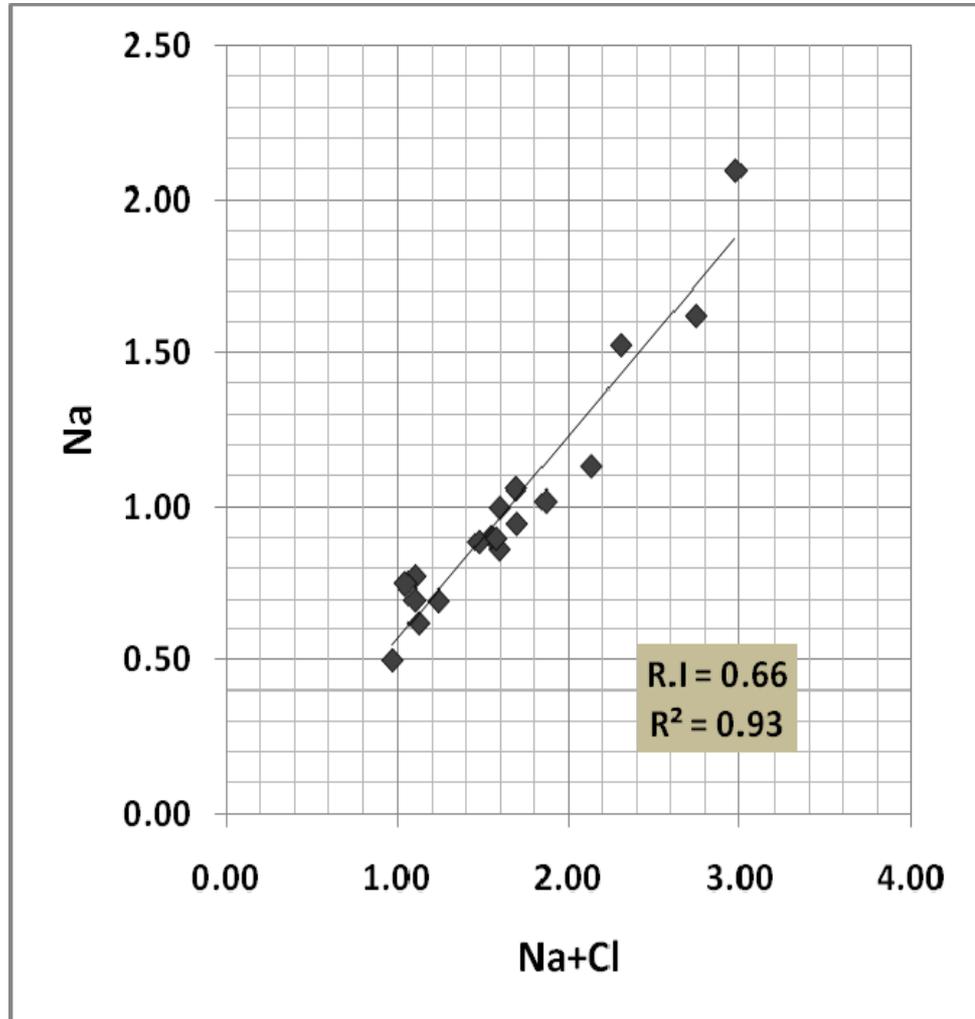


Figura 5.8 Relación iónica  $r[\text{Na}]/r[\text{Na}+\text{Cl}]$ .

- $r[\text{Ca}]/r[\text{Ca}+\text{SO}_4]$  Los valores para esta relación iónica mayores de 0,5, según el Manual de AquaChem, la fuente de calcio se debe a la hidrólisis de Anortita (plagioclasa cálcica). Los datos de esta relación se presentan en la Figura 5.9. El valor promedio obtenido fue de aproximadamente 0,73.

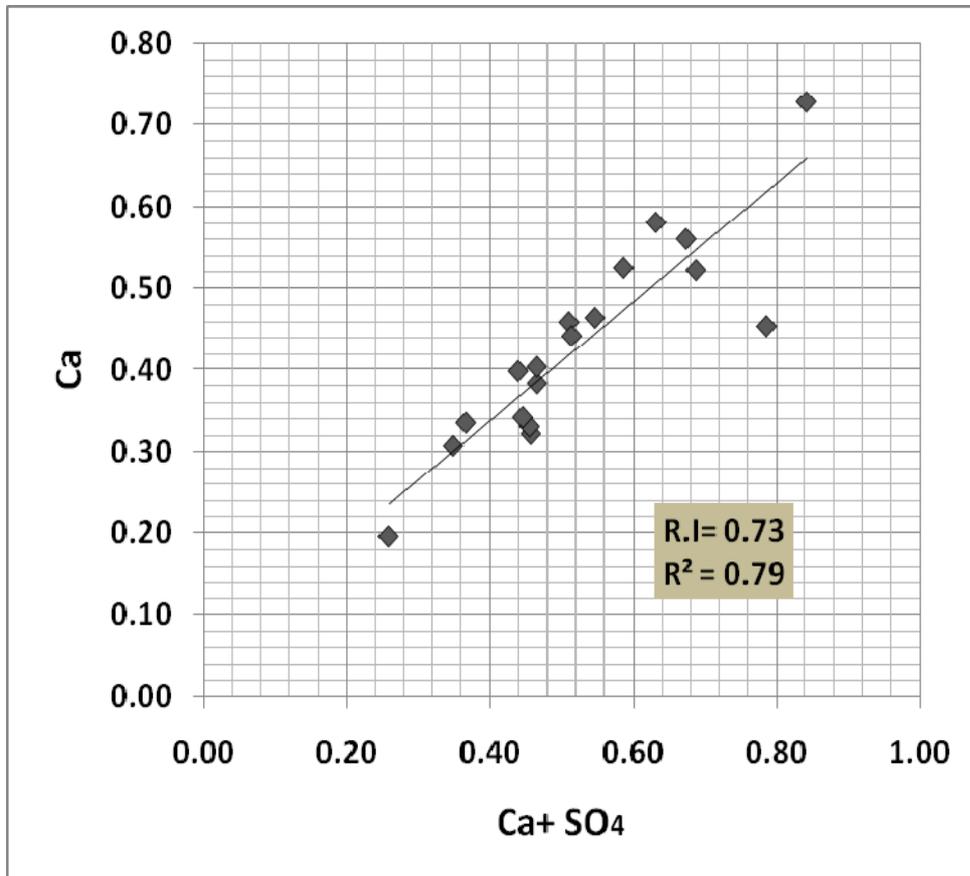


Figura 5.9 Relación iónica  $r[\text{Ca}]/r[\text{Ca}+\text{SO}_4]$ .

## 5.5 ANÁLISIS MULTIVARIADO.

### 5.5.1 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS FACTORIAL.

Se utilizó análisis por componentes principales, el cual considera que los ejes de referencia de los factores son ortogonales, y están localizados en un espacio n-dimensional. El análisis por componentes principales toma en consideración que el eje del primer factor explica la máxima varianza, el eje del segundo maximiza la varianza residual y así sucesivamente. Los resultados más importantes, se presentan en la Tabla 5.2, que muestra las 8 variables y los 18 casos.

Tabla 5.2 Cuadro de variables y casos para la zona de estudio.

Casos		(mg/l)							
		Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
1	Pozo Colegio Carmen Conté	19.79	3.42	15.97	4.04	26.0	100.0	3.0	4.0
2	Pozo B-26 (La Loma)	11.49	1.94	12.92	2.15	16.8	60.0	0.6	13.0
3	Pozo B-5 (Aeropuerto)	24.33	3.02	23.27	3.88	22.4	120.0	1.5	5.0
4	Pozo B-4 (Col Ángel Ma. Herrera)	22.94	2.82	22.45	3.69	21.2	130.0	0.2	11.0
5	Pozo B-19 (MIVI)	20.73	3.72	18.60	4.39	22.8	90.0	1.6	8.0
6	Pozo B-16 (Villa Inmaculada)	14.30	3.14	15.36	3.09	17.8	90.0	0.9	8.0
7	Pozo B-17 (Miraflores)	20.35	3.84	18.39	4.77	20.9	100.0	1.0	5.0
8	Pozo B-29 (El Ecológico)	17.75	3.03	13.27	4.34	11.7	100.0	2.1	12.0
9	Pozo B- 27 (Villa Bonita)	17.23	2.90	13.72	4.01	10.5	90.0	0.7	10.0
10	Qda. Chorrillito	21.73	3.73	20.92	3.52	26.6	120.0	0.6	16.0
11	Pozo Guayacanes No.1	15.98	3.87	13.46	3.25	19.3	100.0	0.3	3.0
12	Pozo Guayacanes No.2	48.06	3.07	18.19	5.43	31.2	140.0	0.2	32.0
13	Pozo de Junta de Sonadora (Abuelo)	35.05	2.55	21.03	4.96	27.5	150.0	0.5	6.0
14	Qda 1 Pajonal Arriba	25.98	3.18	7.87	1.78	35.5	40.0	1.4	6.0
15	Pozo Sonadora Los Pollos	37.27	3.29	29.18	5.99	39.6	100.0	5.7	11.0
16	Pozo B-14 (Chigoré 2)	23.41	3.47	17.71	3.48	30.0	90.0	3.6	7.0
17	Pozo B-15 (Chigoré 3)	16.04	2.76	12.33	3.91	14.3	100.0	0.8	4.0
18	Pozo (MIDA)	20.61	3.72	16.18	4.10	24.0	90.0	1.4	6.0

Todas las variables fueron estandarizadas durante el procesamiento de los datos a través del programa InfoStat. La Tabla 5.3 muestra la matriz de correlación de las variables estudiadas.

El análisis factorial extrae en principio, un número de factores igual al de las variables de partidas supone a los factores, obtenidos por combinación lineal de las variables originales, independientes entre sí (Peña, 2002). La elección del porcentaje de varianza total explicada por los nuevos factores, determinará el número de factores a mantener. Se considera que el total de la varianza está definido como la suma de los elementos diagonales de la matriz de correlación, en el caso de este estudio, la varianza total a explicar por los factores es ocho.

Tabla 5.3 Matriz de Correlación de las variables.

VARIABLES	MATRIZ DE CORRELACIÓN							
	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
Na	1.00	0.17	0.48	0.53	0.71	0.40	0.01	0.35
K	0.17	1.00	0.16	0.28	0.30	0.12	0.26	-0.27
Ca	0.48	0.16	1.00	0.71	0.35	0.74	0.08	0.23
Mg	0.53	0.28	0.71	1.00	0.08	0.79	0.10	0.16
Cl	0.71	0.30	0.35	0.08	1.00	-0.01	0.22	0.08
HCO <sub>3</sub>	0.40	0.12	0.74	0.79	-0.01	1.00	-0.31	0.17
NO <sub>3</sub>	0.01	0.26	0.08	0.10	0.22	-0.31	1.00	-0.26
SO <sub>4</sub>	0.35	-0.27	0.23	0.16	0.08	0.17	-0.26	1.00

La Tabla 5.4 recoge los tres factores extraídos por el análisis factorial, exponiendo además la varianza total que la explican (autovalor), así como el porcentaje de la varianza total que explican. La última columna de dicha tabla, contiene además las varianzas acumuladas, de forma sucesiva, por los factores.

Tabla 5.4. Análisis Factorial. Factores, autovalores y varianza.

FACTORES	AUTOVALOR	AUTOVALOR ACOMULADO	% DE VARIANZA TOTAL	% DE VARIANZA TOTAL ACUMULADA
1	3.2	3.2	39.4	39.4
2	1.7	4.9	21.4	60.8
3	1.3	6.2	16.4	77.2
4	0.8	7.0	9.7	86.9
5	0.6	7.5	7.0	93.9
6	0.4	7.9	4.5	98.4
7	0.1	8.0	1.0	99.4
8	0.0	8.0	0.6	100.0

Se ha considerado representativos aquellos factores cuyos autovalor es superior 1; por lo tanto se han seleccionado tres factores, los cuales explican el 60,8 % de la varianza total. Los restantes factores, no se han tenido en cuenta porque se correlacionan exclusivamente con una única variable, porque explican un porcentaje poco significativo de la varianza total o porque su introducción genera más confusión en la explicación global del problema que su exclusión. Los resultados se presentan en la tabla 5.5., que muestran los factores de carga o pesos de cada variable con los factores rotados.

**Tabla 5.5.** Factores de carga o de peso de cada variable con los factores rotados.

VARIABLE	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
Na	0.17	0.17	0.85
K	0.02	0.94	0.96
Ca	0.55	0.55	0.62
Mg	0.88	0.91	0.92
Cl	0.00	0.03	0.94
HCO <sub>3</sub>	0.85	0.86	0.86
NO <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.02
SO <sub>4</sub>	0.01	0.03	0.05

Por otro lado el primer factor explica por si solo el 50 % del total de la varianza del sistema. Esto pone en manifiesto la existencia de un proceso hidrogeoquímico dominante, a la hora de explicar la hidroquímica de la zona de estudio. Para poder realizar una mejor interpretación de los factores obtenidos, se ha efectuado una rotación ortogonal de los mismos. Este procedimiento hace que la distribución de los factores de carga y la varianza explicada por cada factor, sea más homogénea.

La figura 5.10, representa los factores de carga rotados de las variables. Se puede observar a través del círculo azul y lila la representación en la primera componente los dos tipos de aguas presente la bicarbonatada sodica y la bicarbonatada calcica. El sulfato y potasio son representados en la segunda componente los cuales nos indica que la presencia de estas dos variables se debe a que el sulfato es por contaminación endógena y el potasio que nuestra roca madre bajo contenido de potasio.

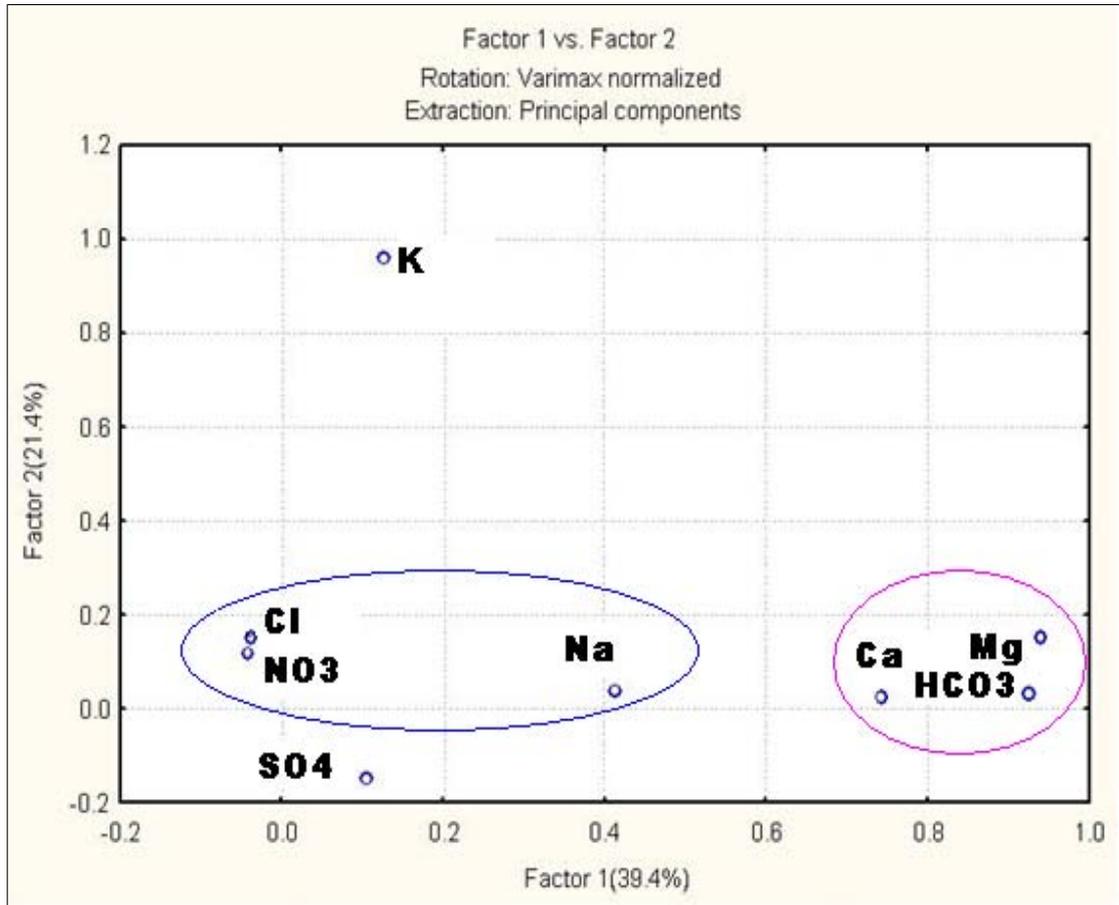


Figura 5.10 Representación de los factores 1 y 2 de carga rotados de las variables.

### 5.5.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Los factores obtenidos mediante la aplicación del análisis factorial a los datos hidroquímicos de las aguas de la cuenca del río Zaratí, resumen la información hidrogeoquímica de las muestras estudiadas. En ella se expone los factores de carga, de las ocho variables estudiadas para los tres factores rotados, estos resultados se han representado en diagramas bidimensionales, mediante ejes cartesianos ortogonales; donde se representan las “coordenadas” de cada variable para cada pareja de factores.

**PRIMER FACTOR.**

Este factor representa el 39,4% de la variabilidad total del sistema. Está relacionado, sobre todo, con los contenidos en calcio y sodio así como con los valores de sulfato y nitrato. También los contenidos en magnesio, potasio y bicarbonato influyen en cierta manera en el primer factor. Este factor parece incluir el fenómeno geoquímico de hidrólisis de silicatos que son responsables de los contenidos de sodio y calcio en el agua. Este primer factor, condiciona la mineralización de la mayor parte de las muestras. Esto se debe al quimismo de las aguas al ponerse en contacto con las formaciones geológicas.

**SEGUNDO FACTOR.**

Este segundo factor supone un 21,4 % de la variabilidad total. Este factor viene explicado por el proceso geoquímico antrópico no natural que genera la introducción en el medio hidrogeológico del nitrato y el sulfato, siendo estos un gran indicativo por parte de este análisis multivariado ya que si se observan los datos químicos de las muestras no presentan niveles alarmantes de contaminación. Los pozos donde se detectan nitrato y sulfato son los siguientes: Col. Carmen Conté, Pozo Guayacán No.2, Pozo Sonadora Los Pollos (figura 5.11), pozo B-14 Chigoré 2, Qda. Chorrillito y el pozo B-29 El Ecológico. Cabe destacar que estos pozos se encuentran en la cercanía de las industrias avícolas y zonas área urbana en la cercanía de la cuenca, siendo las posibles causa las actividades humanas (actividad agrícola, avícola y fosas sépticas).



**Figura 5.11** Pozo Sonadora Los Pollos, al frente del pozo se puede observar la cría de pollo. El pozo salio positivo en la prueba de Nitrato.

### **TERCER FACTOR.**

Este factor explica el 17,4 % de la varianza total del sistema. Evidencia la presencia de nitrato debido a la contaminación ya sea por la actividad industrial avícola o por estar cerca los pozos al área urbana de la cuenca o ala perdida de los colectores de aguas residuales.

En la figura 5.12 representa los factores 1 y factor 3 de carga rotados de las variables. Se puede observar a través del círculo azul la representación en la primera componente el tipo de agua bicarbonatada cálcica y/o magnésica. El sulfato, nitrato y potasio son representados en la primera componente los cuales nos indica que la presencia de estas tres variables (círculo verde) se debe a que el sulfato y el nitrato son por contaminación endógena y el potasio a la roca madre con bajo contenido de

potasio. El cloruro y sodio son representados en la segunda componente (círculo rojo) los cuales nos indica que la presencia del tipo de agua bicarbonatada sódica.

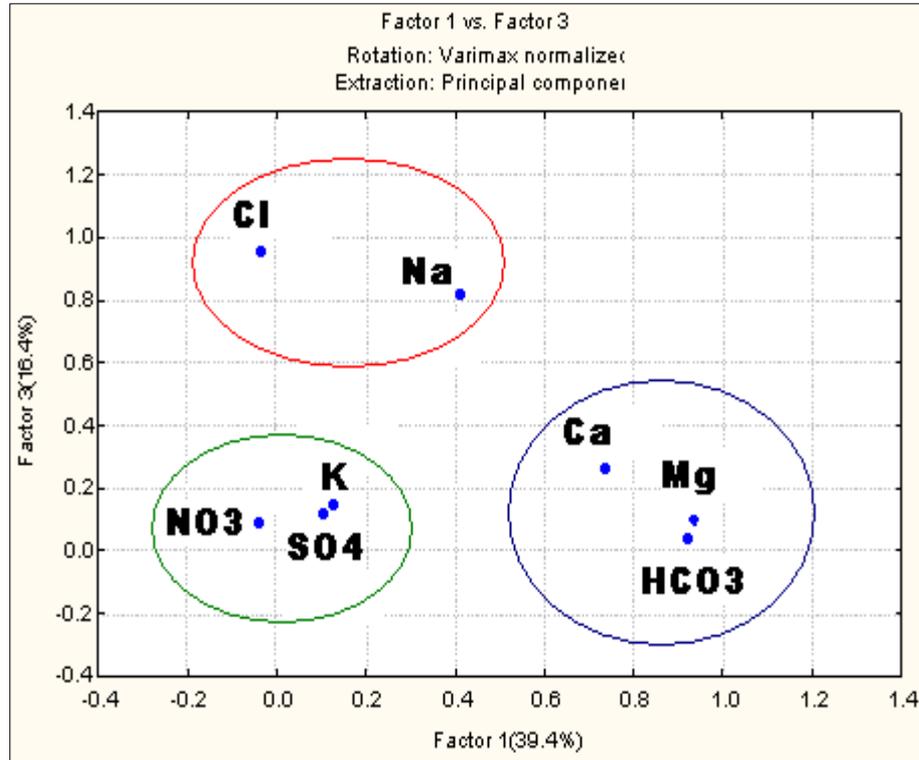


Figura 5.12 Representación de los factores 1 y 3 de carga rotados de las variables.

### 5.5.3 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS CLUSTER O CONGLOMERADO.

El propósito de este método es agrupar las observaciones de forma que los individuos sean homogéneos dentro de los grupos y que estos grupos sean lo más heterogéneos posible entre ellos. Las distancias entre los individuos se definen a través de una medida de distancia. Se utilizó como medida de disimilitud la distancia Coeficiente de Pearson. En el primer paso, cada individuo representa su propio grupo. Una vez que se han determinado los pares de individuos más cercanos, las distancias entre los nuevos grupos se determinan a través de diferentes reglas de agrupación. La agrupación utilizada fue el método Ward: este método usa un enfoque de análisis de varianza para evaluar la distancia entre los grupos y tiene como estrategia

minimizar la suma de cuadrados dentro de los grupos que se pueden formar en cada paso.

La Figura 5.12 muestra el gráfico de Análisis Cluster, el cual permitió agrupar las variables que están más relacionados entre sí y cuales tienen muy poca o ninguna relación.

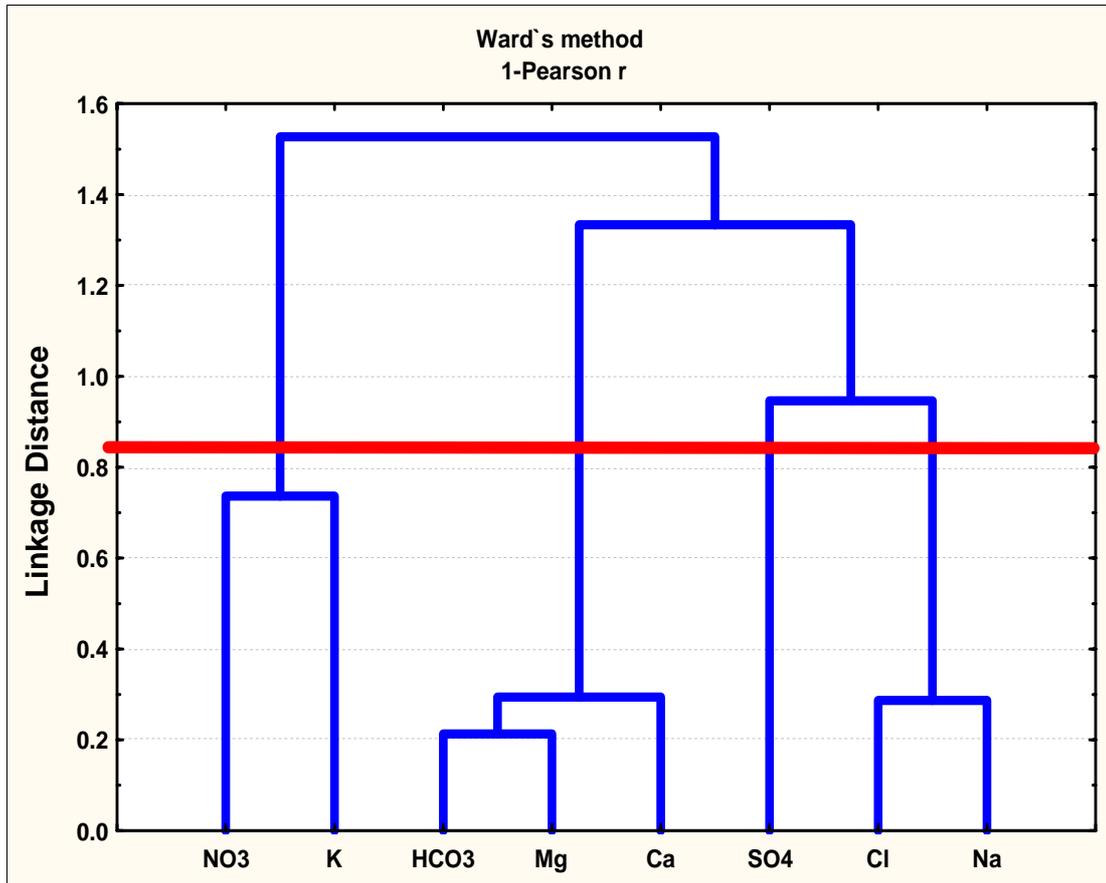


Figura 5.12 Representación de los Conglomerados de las variables.

Del gráfico se puede observar la agrupación de dos tipos de agua, tal como lo indica la línea de corte roja, las bicarbonatada cálcica y/o magnésica y las bicarbonatada sódica, es evidente que las variables nitrato y sulfato son separadas las cuales se asocian a problemas de contaminación endógena. Esto es posible contrastarlo con los resultados hidroquímicos de los pozos que se encuentran en las cercanías de la ciudad y por encontrarse un pozo frente a la cría de pollos de la industria avícola presente en el área de estudio.

### **CAPITULO 6.**

#### **6. MODELO CONCEPTUAL.**

##### **6.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO.**

El objetivo fundamental de la presente tesis ha sido el de conocer el funcionamiento hidrogeológico del acuífero de la Cuenca del Río Zaratí, que hasta el momento es la fuente exclusiva de abastecimiento de agua en la región de Penonomé para todos los usos. Se presenta aquí una discusión muy general del funcionamiento hidrogeológico de la región estudiada, integrándose conjuntamente las interpretaciones de los datos realizadas en los diferentes capítulos.

La integración de las diversas herramientas aplicadas, y la observación del grado de coherencia existente entre ellas, permiten evaluar el modelo conceptual geológico e hidrogeológico propuesto en este estudio donde se desconocía su potencial, sus características geológicas, hidráulicas e hidroquímicas.

De acuerdo a la información proporcionada por la Dirección de Fuente Subterránea del IDAAN gran parte de las descripciones litológicas de los pozos son homogéneas, sin grandes diferenciaciones y solo con algunas intercalaciones de material más fino, de ahí su comportamiento en algunos sectores como confinado o semiconfinado.

El funcionamiento hidrodinámico del sistema se encontraría íntimamente relacionado con tres factores principales, la climatología, la litología y la relación agua superficial agua subterránea que condicionan la recarga, permanencia en el terreno y la descarga (Castany, 1972). La interrelación de estos tres (Custodio y Llamas, 1983) crea las condiciones de potencial hidráulico, humedad en el suelo y salinidad del agua.

La recarga del acuífero es por precipitación. Aunque no se cuenten con datos confiables del déficit (321 mm en la estación de Sonadora) se infiere que es mínima con respecto a la precipitación por lo que se genera un elevado exceso hídrico.

Por otra parte, de acuerdo a la piezometría del área, se da como salida principal la descarga del acuífero al río ya que la explotación de pozos privados en el área de estudio es mínima y los pozos de abastecimiento en la población de Penonomé dejaron de funcionar en el 2002.

A partir de estos conceptos se puede inferir que se trata de un sistema hidrodinámico complejo con dos subsistemas de flujo subterráneo: los locales y otro regional, más profundo, no suficientemente estudiado.

En la parte más baja de la cuenca el acuífero presenta característica de libre, esto es debido al tipo de formación geológica presente en el área, la cual corresponde a la formación Río Hato, cuya litología comprende arenisca, tobas y piedras pómez. En esta área las perforaciones no encontraron basamento cristalino. De existir subsistemas, se podría localizar en el área de Chigoré donde el acuífero tiene un comportamiento de semiconfinado.

En la parte alta de la cuenca, de los resultados de las perforaciones surge la presencia de basalto a profundidades entre 45 y 60 metros de profundidad, por encima del basalto encontramos alternancia de materiales sedimentarios fluviales con presencia de conglomerados. Esto permite inferir que se trata un acuífero intergranular con espesores muy pequeñas que se incrementan hacia la parte baja de la cuenca.

Las aguas subterráneas del acuífero de la Cuenca del Río Zaratí presentan dos facies hidroquímicas. En la parte alta y media Bicarbonatada Sódica-Cálcica ( $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ ) y en la parte baja Bicarbonatada Cálcica-Sódica ( $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ). Las muestra de aguas superficiales en la parte alta son Bicarbonatada-Clorurada Sódica-Cálcica ( $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ ) y en la parte media Bicarbonatada Clorurada Cálcica- Sódica ( $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ).

## **CAPITULO 6 MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO**

---

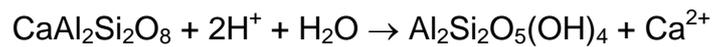
La razón por la cual en la parte alta y media de cuenca encontramos aguas del tipo (Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl), se debe al proceso de meteorización de silicatos. Debido a la meteorización del silicato de aluminio (Albita) por la acción del agua y del dióxido de carbono, ocurren los siguientes procesos:

- acidificación del agua de infiltración que favorece la hidrólisis de silicatos:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- $2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{Na}^+ + 4\text{H}_4\text{SiO}_4$

Albita

Caolinita

En la parte baja de la cuenca continua el proceso de meteorización y la razón por la cual encontramos aguas del tipo (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl) se debe al siguiente proceso:



Anortita

Caolinita

### CAPITULO 7.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### CONCLUSIONES.

Se ha abordado el estudio del funcionamiento hidrogeológico del acuífero de la Cuenca del Río Zaratí, estratégico para el desarrollo económico de esta región y, ya que se usa íntegramente para abastecimiento de agua potable, la agricultura, industria y ganadera.

Si bien existían trabajos anteriores, ya sea censos incompletos, datos aislados, perforaciones sin información y algunos parámetros geológicos y geomorfológicos se carecía de un estudio integral que sistematizara dicha información y aportase datos nuevos. Por otra parte también se desconocían las estructuras de los estratos componentes de dicho acuífero, al igual que los procesos químicos intervinientes en el agua desde su ingreso hasta su descarga. Es por ello que esta tesis se considera un aporte al conocimiento hidrogeológico preliminar de la región, siendo un estudio a partir del cual se abre el camino a futuras investigaciones de carácter más específico para calcular la recarga del mismo.

Dado que actualmente la explotación del acuífero no se realiza y la mayoría de los pozos se encuentran en el centro y entorno de la Ciudad de Penonomé, se requiere un plan inmediato de protección a los mismos. La planta que suministra agua a localidad de Penonomé no puede satisfacer la demanda a futuro, lo cual implicaría la reutilización de los pozos abandonados. Por tal motivo las autoridades deben tomar conciencia del problema ya que los mismos serán nuevamente puestos en operación como medida paliativa.

Es importante destacar la poca información hidrogeológica en la parte media de la cuenca y la total falta de información en la parte alta de la cuenca.

Si bien no se registran indicios considerables de contaminación en el acuífero, hay algunos pozos con valores altos de nitratos, aunque dentro de lo permisible, esta situación se debería a la presencia de una Industria Avícola en el área.

La insuficiencia de algunos datos condicionó el planteo de diversas hipótesis cuya verosimilitud se ha evaluado mediante la interpretación conjunta de diversas disciplinas interrelacionadas, de las cuales se destacan:

- Valores de precipitación, temperatura y evapotranspiración.
- Extracciones y usos.
- Parámetros hidráulicos.

Por último es muy importante destacar que la escasez de antecedentes del área de estudio, el haber desarrollado esta investigación en Panamá y fuera del marco de un convenio económico con el Municipio y las autoridades de los recursos hídricos en Penonomé, condicionaron que la misma tuviera un enfoque generalista. No obstante se ha profundizado en cada una de las disciplinas aquí consideradas con la debida rigurosidad y con gran actividad de campo. La integración de todas ellas ha permitido obtener un modelo conceptual general y básico, con una primera aproximación que sirve de base para futuras investigaciones.

### RECOMENDACIONES.

Se plantean algunas sugerencias para que sean consideradas en futuros estudios en la región, para tratar de evaluar las citadas hipótesis:

- Se debería establecer una red piezométrica en toda la cuenca del Río Zaratí. Acompañada a esta se deberán tomar muestras de agua para su posterior análisis químico.
- En las futuras perforaciones se deberán realizar ensayos de bombeo con pozo de observación a fin de tener mayor cantidad de datos válidos de parámetros hidráulicos.
- Para complementar el objetivo de la sugerencia anterior se debería realizar un análisis mineralógico de los sedimentos que componen el sistema acuífero y realizar ensayos de laboratorio relacionados con la capacidad de intercambio catiónico.
- Se propone llevar adelante estudios isotópicos, de geofísica, modelación de flujo y, a partir del análisis de todos estos conceptos, junto a los de la presente tesina, formular pautas de gestión sostenible en el uso del único recurso tan importante para el desarrollo económico y social de la región.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ANAM, 2007.** Informe Ambiental de Panamá. Panamá.

**Appelo y Postma. 2007.** Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema, Rotterdam.

**Atlas de Panamá, 2007.** Instituto Geógrafo Tommy Guardia, Panamá.

**Boulton, N.S. 1954.** The drawdown of the watertable under non-steady conditions near a pumped well in an unconfined formation. Proc. Inst. Civil Engrs. 3: pp 654-579.

**Castany, G. 1972.** Importance des facteurs géologiques et géomorphologiques dans les interacciones eaux de surface-eaux souterraines et l'évaluation des ressources en eaux. 24<sup>ème</sup> Congrès Int. De Geologie, Montreal. Section 11.

**Custodio, E.1978.** Geohidrología de terrenos e islas volcánicas. Instituto de Hidrología, Centro de estudios Hidrográficos, Madrid: 1-303

**Custodio, E. 1986.** Groundwater Characteristics and problems in volcanic rock terrains. Isotope Techniques in the Study of the Hydrology of Fractured and Fissured Rocks. International Atomic Energy Agency. Vienna: 87-137.

**Custodio y Llamas, 1983.** Hidrología Subterranea. Editorial Omega. Barcelona, Volumen 2: 1-2350.España.

**DGRM, 1998.** Informe Minero II. Dirección General de Recursos Minero. Panamá.

**Del Giudice D, R Rechi. 1969a,** Geología del Área del Proyecto minero de Azuero. República de Panamá, Administración de los recursos Minerales

**Del Giudice D, Recchi G. 1969b.** Mapa Geológico del Proyecto Minero de Azuero. Administración de Recursos Minerales, Naciones Unidas, Programa para el Desarrollo. 2 sheets., scale 1:250,000.

**Douvillé, H., 1915.** Les couches a orbitoïdes de l'isthme de Panama (Orbitoides habitats of the Panama Isthmus). Comptes Rendus Sommaires de la Societe Geologique de France, 16: 129-131.

**ETESA, 2007.** Gerencia de hidrometeorología, Empresa de transmisión Eléctrica, Panamá.

**Ferencic, A., del Giudice, D. and Recchi, G., 1971.** Tectomagmatic and metallogenic relationships of the region Central Panama - Costa Rica. In? (Editor), Transactions of the Fifth Caribbean Geologic Conference, Geologic Bulletin. pp. 189-197.

**Fisher, S.P. and Pessagno, E.A., 1965.** Upper Cretaceous strata of northwestern Panama. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49: 433-444.

**Gambolati G., 1976.** Transient free surface flow to a well: An analysis of theoretical solutions, Water Resour. Res., 12(1), 27-39.

**I.D.A.A.N, 2002.** Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales, Boletín Estadístico. Panamá.

**Informe de ANAM, 1995.** *Cuencas Hidrográficas, Suelos y Aguas de Panamá: Análisis de la Situación Actual. Vol.7/7.* Panamá.

**Joukowsky E. and Clerc, M., 1906.** Sur quelques affleurements nouveaux de roches tertiares dans l'isthme de Panama [About some new outcrops of Tertiary rocks wintin the Isthmus of Panama]. Memoire de la Societe de Physique et de Histoire Naturelle de Geneve, 35: 155-178.

**InfoStat 2008.** Programa de Estadística Multivariada de la Universidad Nacional de Córdoba

**Kruseman, G.P., 1990.** *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data (2nd ed.)*, Publication 47, Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 370p.

**Neuman, S.P. 1972.** Theory of in unconfined acuífer considering delayed responded of watertable. *Water Resources Res.*, Vol 9. pp 1102-1103.

**Panamá en Cifras 2006.** Dirección de Estadística y Censo de la Contraloría General de la República.

**Peña, Daniel 2002.** *Análisis de Datos Multivariantes*. Editorial Mc Graw Hill. España

**Plan Nacional de Riego, año 1998.** MIDA-BID, Dirección Nacional de Desarrollo Agrícola. Panamá.

**TECHNIPLAN, CONSULTING ENGINEERING. 1998.** Informe de Diagnostico: Estudio del Nuevo Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para Penonomé. Panamá.

**Terry, R.A., 1956.** A geological reconnaissance of Panama. *California Academy of Science Occasional Papers*, 23: 1-91.

**Touriño, A. 1976.** PROCESOS MORFOGENETICOS PLIO-CUATERNARIOS EN LA LLANURA DE COCLE, Editora Universitaria. Panamá.

**Woodring M, W. O., R. H. Stewart, G. Dengo. 1965.** Geology and paleontology of Canal Zone and adjacent parts of Panama: description of Tertiary mollusks (gastropods: Vermetidae to Thaididae). *U.S. Geological Survey Professional Paper 306-B:147–239*.

**YI-FU tuan, 1962.** A Coastal Reconnaissance of Central Panama, *The California Geographer*, Kesseli Festschrift, Vol.3, 77-96

# **ANEXOS**

**ANEXO A**

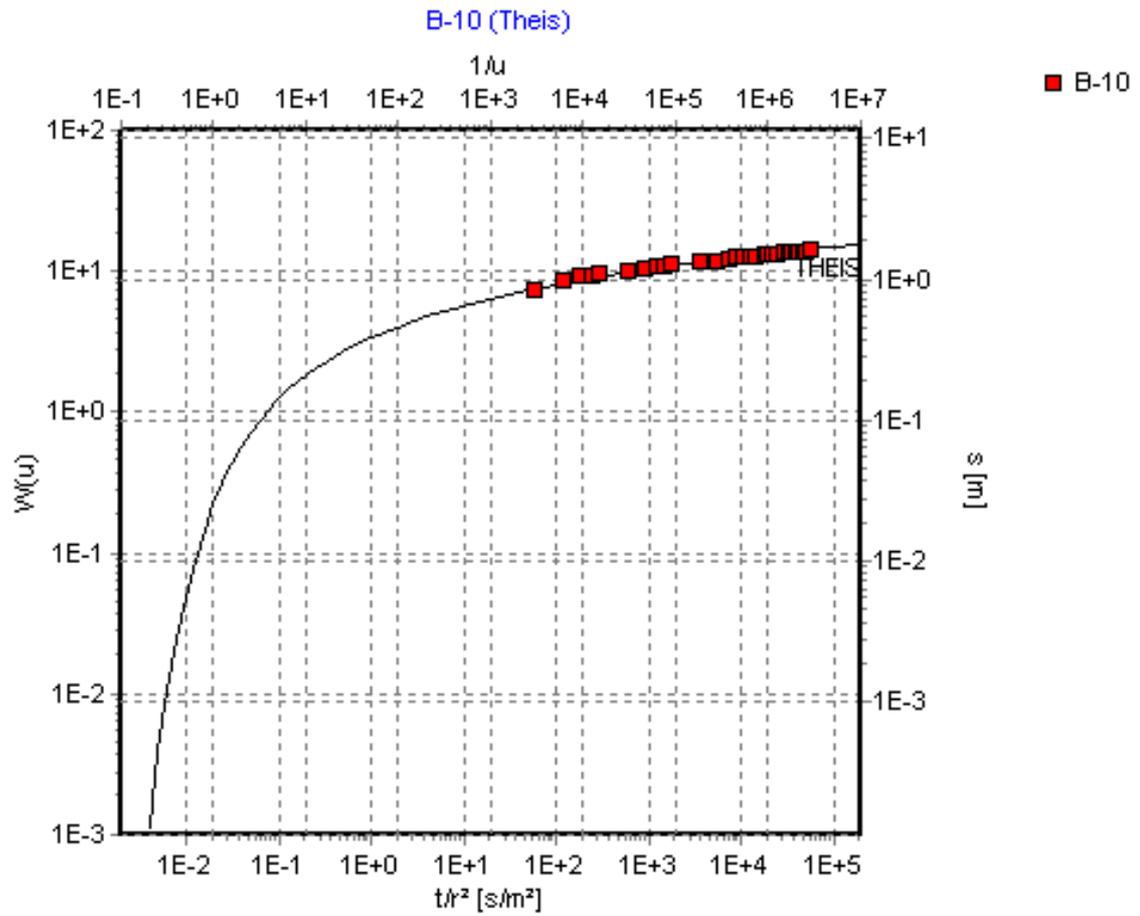
**SERIE DE PRECIPITACION 1973-2006 DE LA  
ESTACION DE SONADORA**

## ANEXO A

EMPRESA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA S.A. GERENCIA DE HIDROMETEOROLOGIA Total mensual de Precipitación - mm -													
LATITUD : 08°33' N								N° ESTACIÓN : 134-008					
LONGITUD : 80°20' O								PROVINCIA : COCLE					
ELEVACIÓN : 168 m.s.n.m								DISTRITO : PENONOME					
FECHA DE INICIO : 01/1/73				ESTACIÓN : SONADORA				CORREGIMIENTO : PAJONAL					
TIPO ESTACIÓN : PV													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1973	17.0	10.0	0.7	19.5	280.9	320.6	248.4	210.0	378.6	457.4	372.9	25.8	2341.8
1974	4.0	6.5	1.0	15.0	219.5	149.5	176.5	206.0	386.5	613.0	172.5	11.5	1961.5
1975	2.5	0.0	0.5	2.0	189.5	318.0	337.0	329.0	464.5	430.5	736.0	74.0	2883.5
1976	14.0	3.0	0.5	50.2	133.6	129.5	97.0	195.6	299.8	407.9	105.0	11.0	1447.1
1977	4.0	2.0	0.5	12.5	289.5	291.0	211.0	313.1	195.3	343.8	231.6	45.5	1939.8
1978	10.0	4.0	67.8	93.3	241.0	156.5	241.3	190.5	308.5	444.4	193.3	76.0	2026.6
1979	3.5	0.5	1.0	123.3	356.7	212.8	151.0	331.6	216.5	368.1	198.5	75.5	2039.0
1980	21.0	2.5	2.0	3.5	190.8	170.0	205.8	231.8	240.5	348.4	313.3	60.5	1790.1
1981	15.0	1.0	8.5	196.6	419.7	259.0	260.0	421.8	231.0	235.3	300.8	154.0	2502.7
1982	52.5	0.0	4.0	172.1	175.0	235.1	106.0	136.5	168.3	406.1	26.5	0.5	1482.6
1983	0.0	0.0	21.5	27.0	128.0	300.5	148.3	142.5	304.6	267.6	214.6	56.0	1610.6
1984	3.5	4.5	31.0	18.0	194.3	452.9	173.5	279.0	288.8	421.0	149.0	9.5	2025.0
1985	24.5	0.0	2.5	9.0	87.0	259.2	152.0	257.8	195.0	263.3	166.0	123.5	1539.8
1986	30.5	0.0	17.5	54.0	119.3	262.0	166.8	111.0	281.1	485.0	191.5	24.5	1743.2
1987	4.0	1.0	0.0	39.0	132.5	130.8	247.0	173.3	182.8	273.6	116.0	34.0	1334.0
1988	0.0	1.5	2.0	72.0	269.6	381.4	187.8	228.0	386.2	408.4	341.1	75.5	2353.5
1989	6.1	4.5	0.0	0.0	113.0	201.3	170.5	297.6	243.3	155.5	300.4	136.3	1628.5
1990	21.0	6.5	4.5	3.0	170.1	130.6	210.4	176.3	298.1	475.5	194.0	134.0	1824.0
1991	0.0	0.5	81.8	0.0	225.5	155.8	185.9	189.9	313.1	138.0	40.0	32.0	1362.5
1992	0.0	0.0	0.0	28.5	190.0	370.9	204.8	272.8	178.8	234.5	80.0	3.0	1563.3
1993	41.0	0.0	0.0	27.0	176.3	150.8	60.0	231.5	368.9	297.5	307.6	42.0	1702.6
1994	0.0	3.0	17.0	79.5	189.4	180.8	171.5	185.3	458.5	314.3	162.5	26.5	1788.3
1995	0.0	0.0	1.5	96.0	214.0	315.0	200.5	308.0	459.5	422.0	297.5	29.0	2343.0
1996	100.5	28.5	10.5	30.5	388.5	140.0	270.0	263.0	348.8	102.0	193.5	129.5	2005.3
1997	15.0	4.0	0.0	85.3	31.0	204.0	158.5	50.0	146.0	138.5	206.5	32.0	1070.8
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	179.0	234.5	190.0	278.0	327.7	330.5	318.0	211.5	2069.2
1999	18.0	44.0	0.5	28.0	111.0	311.0	112.0	316.0	528.5	273.5	311.0	198.5	2252.0
2000	80.5	1.5	0.0	0.0	69.5	118.5	201.0	220.5	267.5	121.5	188.5	70.0	1339.0
2001	4.5	0.0	0.0	1.0	87.5	268.8	201.3	297.4	131.8	305.4	144.5	57.0	1499.2
2002	15.5	0.0	0.0	59.5	255.7	114.0	178.8	322.9	226.5	262.0	88.0	0.0	1522.9
2003	1.0	0.0	11.0	120.8	251.8	340.5	274.8	211.8	313.8	601.3	327.9	336.7	2791.4
2004	17.4	1.0	0.0	76.3	289.8	101.1	143.3	195.9	212.3	339.7	212.4	28.9	1618.1
2005	41.2	1.0	48.4	57.0	279.1	225.0	173.3	270.8	224.5	328.9	281.1	36.0	1966.3
2006	12.8	7.6	20.9	45.0	127.2	159.4	336.0	214.8	245.5	207.3	319.3	69.6	1765.4

**ANEXOS B**

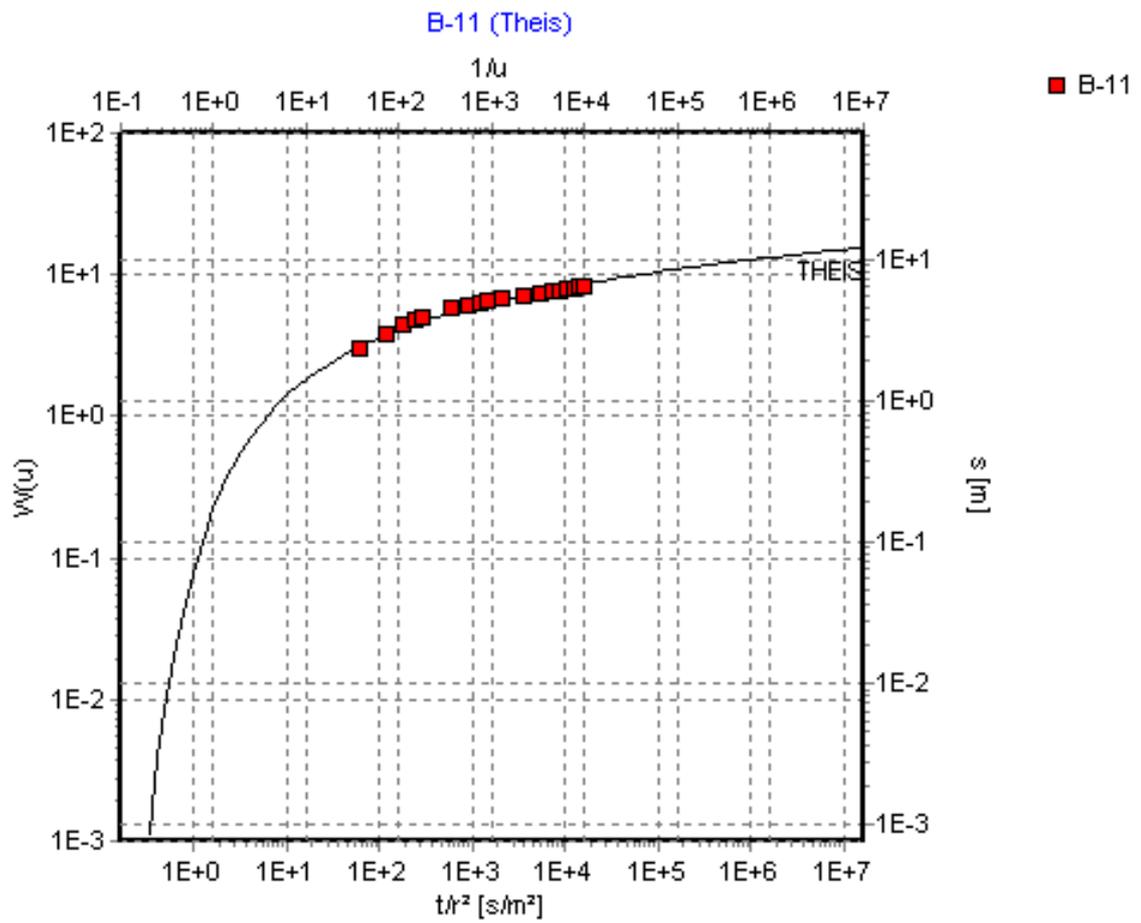
**PARÁMETROS HIDRAULICOS DE LOS  
POZO**



Transmissivity: 1.75E-3 m<sup>2</sup>/s

Storativity: 1.39E-4

Conductivity: 3.52E-5 m/s

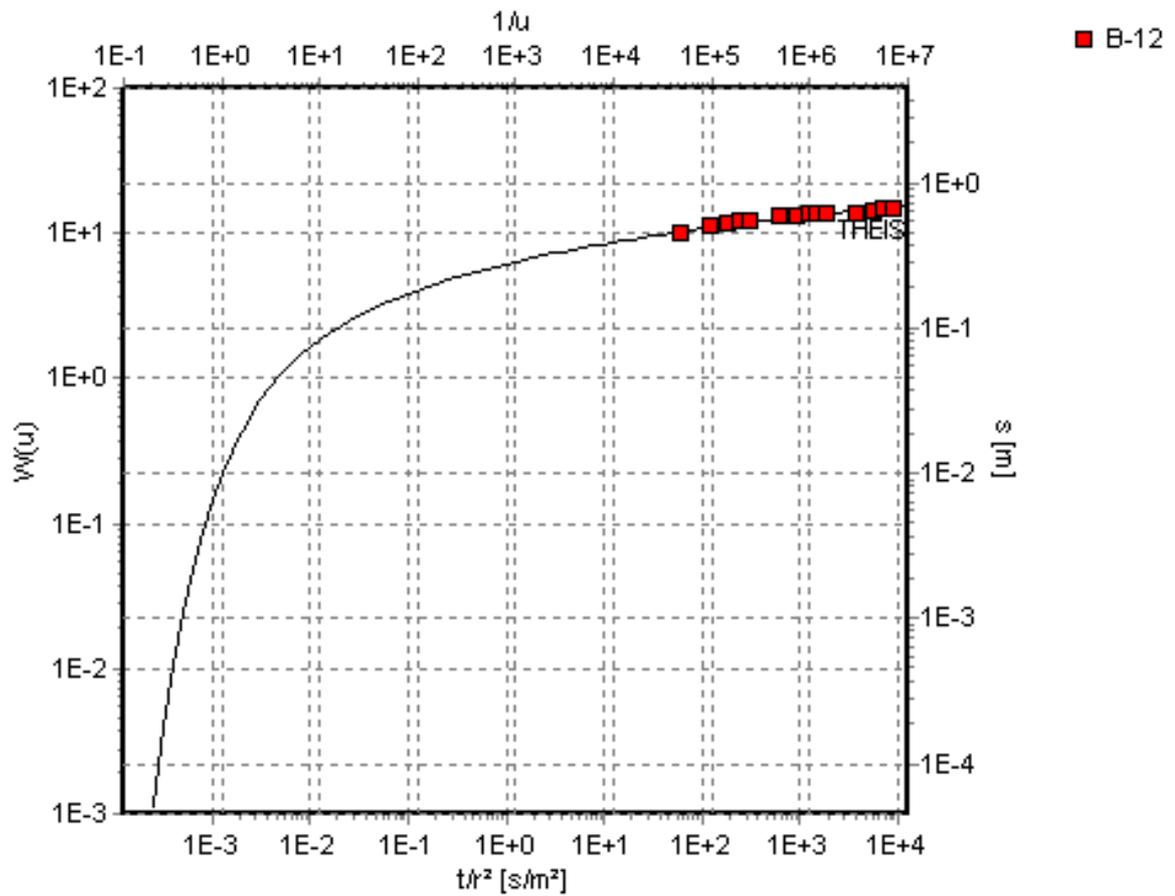


Transmissivity: 2.74E-4 m<sup>2</sup>/s

Storativity: 1.81E-3

Conductivity: 5.92E-6 m/s

B-12 (Theis)

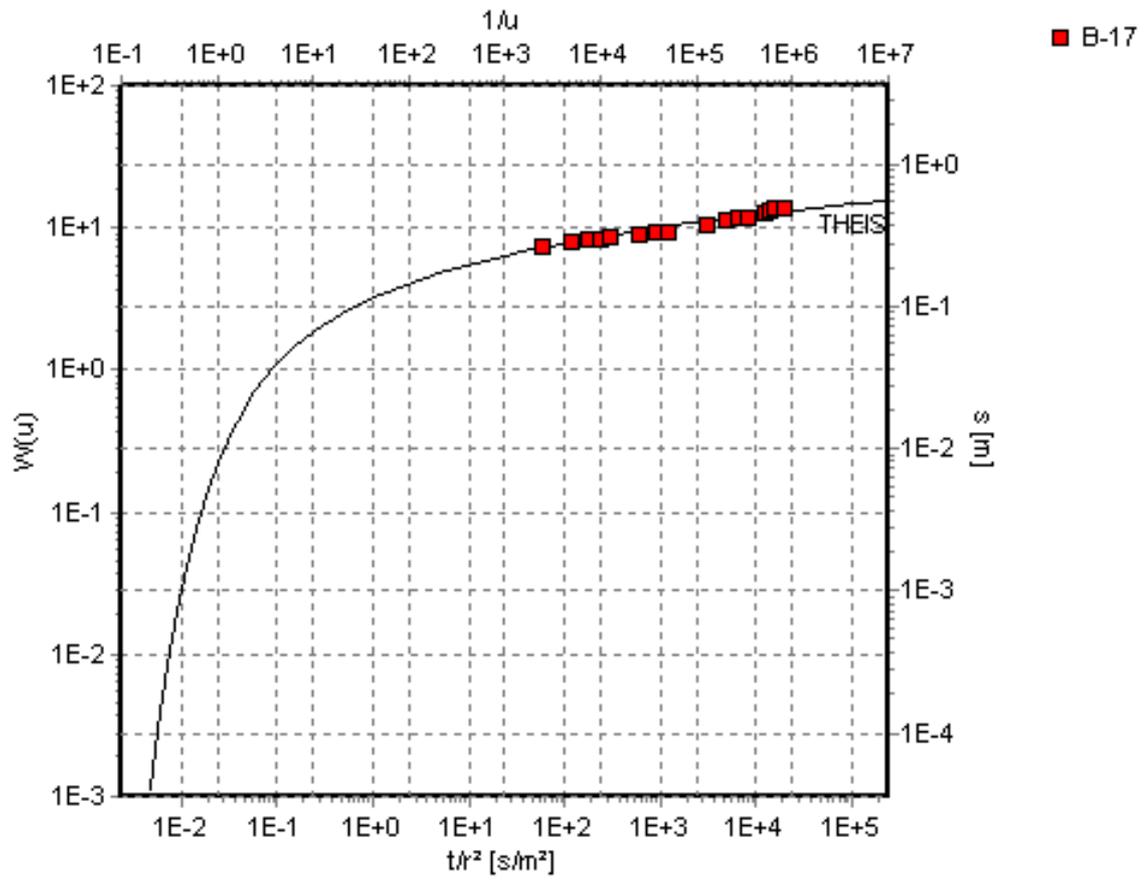


Transmissivity: 4.33E-3 m<sup>2</sup>/s

Storativity: 2.17E-5

Conductivity: 1.08E-4 m/s

B-17 (Theis)

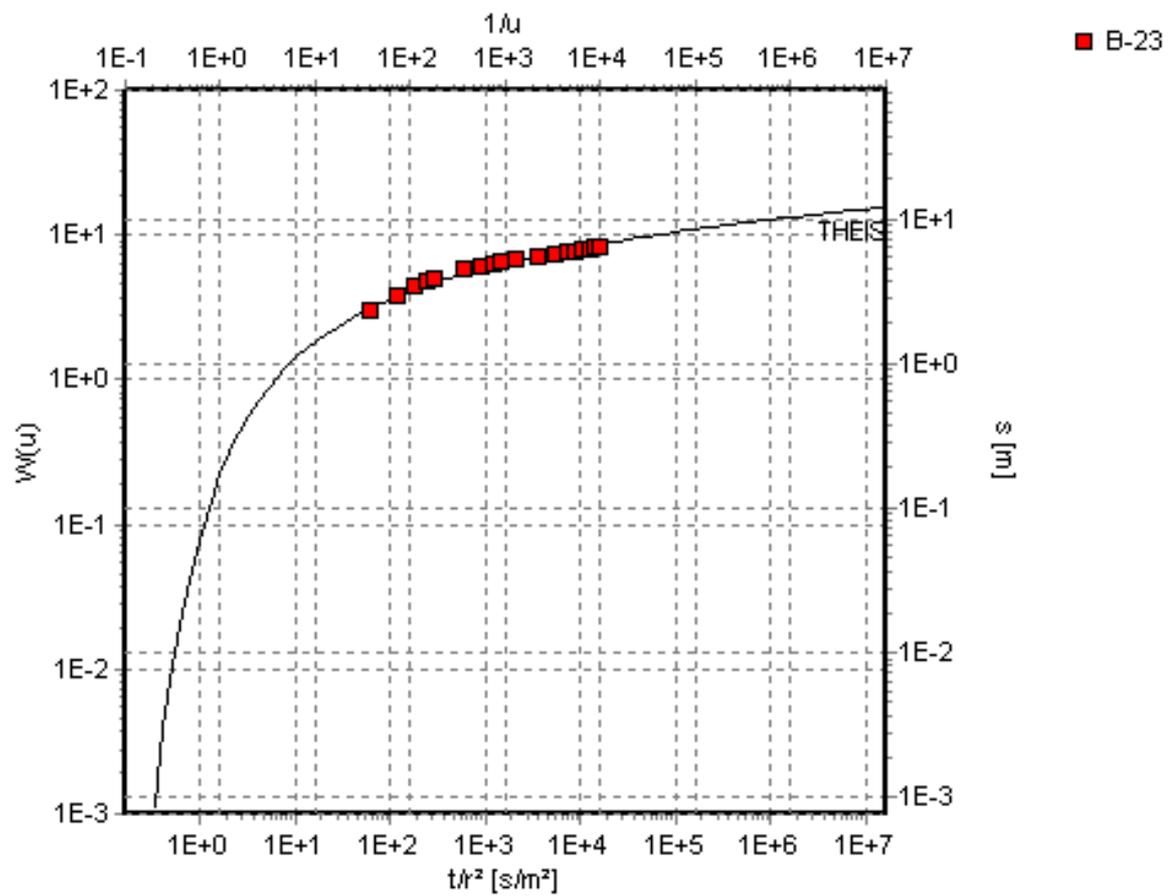


Transmissivity: 5.95E-3 m<sup>2</sup>/s

Storativity: 5.68E-4

Conductivity: 1.47E-4 m/s

### B-23 THEIS

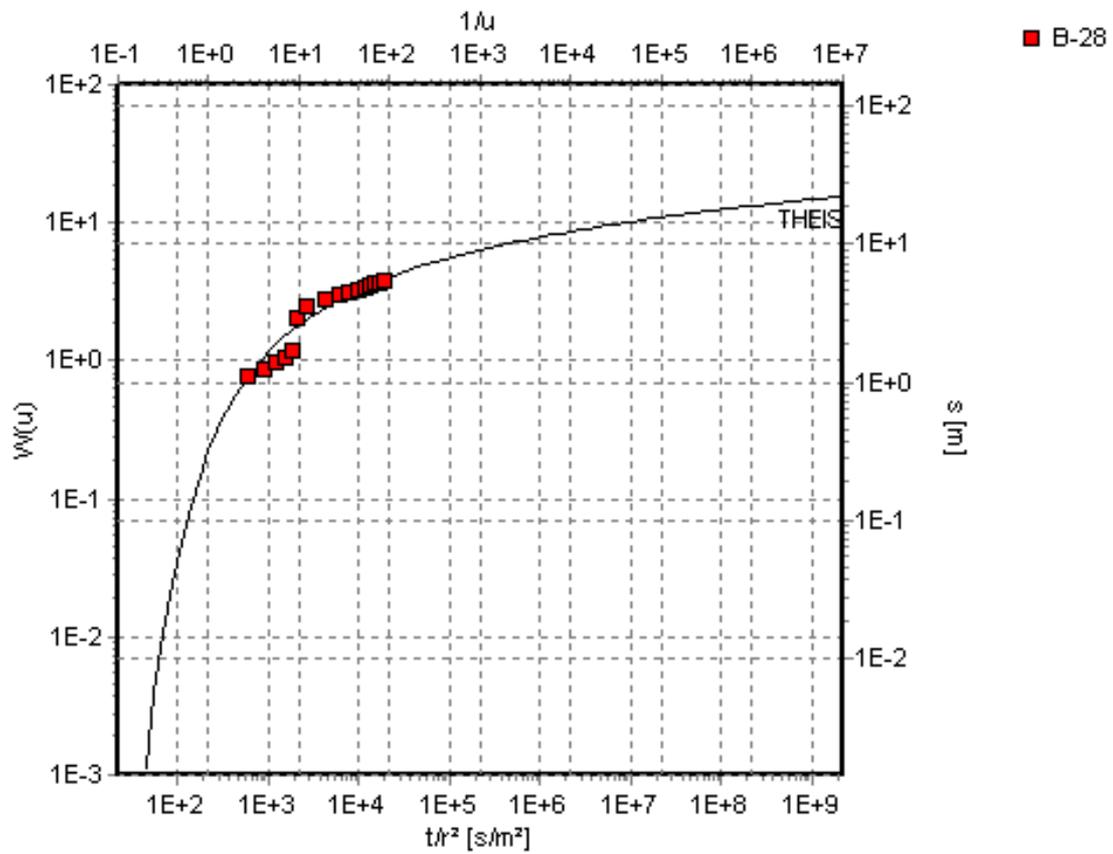


Transmissivity: 2.74E-4 m<sup>2</sup>/s

Storativity: 1.81E-3

Conductivity: 5.92E-6 m/s

B-28 (Theis)

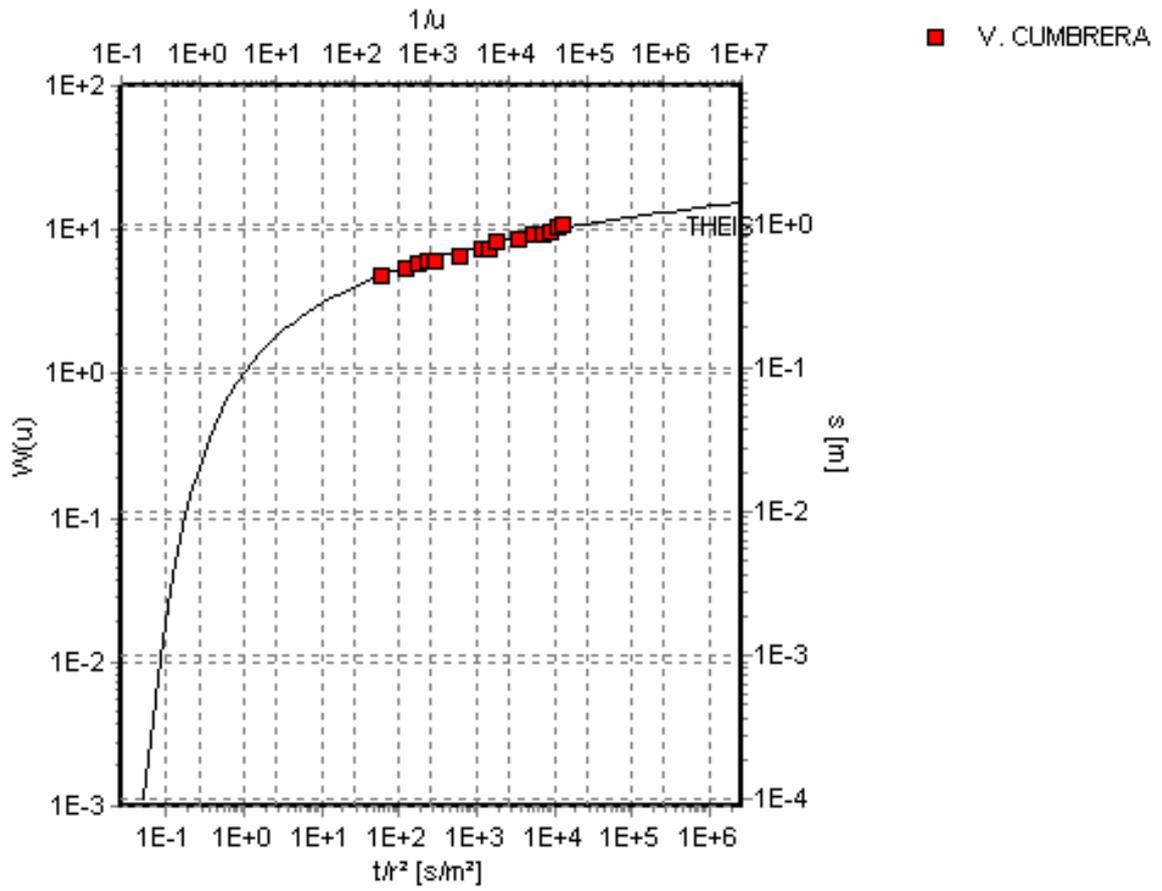


Transmissivity: 9.41E-5 m<sup>2</sup>/s

Storativity: 8.20E-2

Conductivity: 1.56E-6 m/s

V. CUMBRERA (Theis)



Transmissivity: 2.38E-3 m<sup>2</sup>/s

Storativity: 2.49E-3

Conductivity: 3.68E-5 m/s

**ANEXOS C**  
**DATOS QUÍMICOS**  
**y**  
**REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO**

## DATOS QUÍMICOS

	MUESTRA	Muestra	Na	Mg	K	Ca	Cl	NO3	SO4	HCO3	Temp	Cond	TDS	pH	asnm	COORDENADA	
1	Pozo Colegio Carmen Conte	MP-1	19.79	4.04	3.422	15.97	26.00	3.00	4.00	100.00	27.01	0.172	0.107	6.04	158.23	947788	579939
2	Guayacanes	MP-2	48.06	5.43	3.07	18.19	31.20	0.20	32.00	140.00	28.52	0.256	0.156	6.41	111.24	945796	575570
3	Pozo Los Guayacanes	MP-3	15.98	3.254	3.866	13.46	19.30	0.30	3.00	100.00	27.58	0.145	0.089	5.56	133.42	946646	577915
4	Pozo de junta de Sonadora	MP-4	35.05	4.958	2.551	21.03	27.50	0.50	6.00	150.00	28.52	0.256	0.156	6.41	85.70	945801	574475
5	Pozo Sonadora Los Pollos	MP-5	37.27	5.99	3.293	29.18	39.60	5.70	11.00	100.00	28.85	0.338	0.205	6.26	87.96	946015	574912
6	Pozo B-14 (Chigore)	MP-6	23.41	3.479	3.471	17.71	30.00	3.60	7.00	90.00	28.34	0.21	0.128	6.04	88.93	942781	572187
7	Pozo B-15(Chigore No3)	MP-7	16.04	3.913	2.76	12.33	14.30	0.80	4.00	100.00	28.43	0.145	0.089	6.2	82.13	942232	571966
8	Pozo B-16 Villa Inmaculada	MP-8	14.3	3.094	3.144	15.36	17.80	0.90	8.00	90.00	27.67	0.148	0.091	5.99	86.81	941862	571887
9	Pozo B-9 (MIDA)	MP-9	20.61	4.103	3.718	16.18	24.00	1.40	6.00	90.00	28.6	0.186	0.113	6.13	81.39	941670	571809
10	Pozo B-20	MP-10	19.7	4.498	3.809	18.35	18.00	1.50	5.00	100.00	28.56	0.191	0.116	6.42	74.20	939725	571384
11	Pozo B-5 (Aeropuerto)	MP-11	24.33	3.88	3.024	23.27	22.40	1.50	5.00	120.00	29.25	0.231	0.138	6.6	74.83	940601	570538
	Pozo B-12 (4to Centenario)	MP-12	17.45	3.366	2.719	15.33	21.00	0.70	5.00	70.00	28.93	0.158	0.095	6.03	72.84	940463	572693
13	Pozo El Ecologico	MP-13	17.75	4.342	3.032	13.27	11.70	2.10	12.00	100.00	29.51	0.157	0.094	6.3	71.85	940104	570604
14	Pozo Col Angel Ma. Herrera	MP-14	22.94	3.692	2.818	22.45	21.20	0.20	11.00	130.00	29.74	0.226	0.135	6.07	78.14	940899	571019
15	Pozo B-27 (Villa Bonita)	MP-15	17.23	4.007	2.901	13.72	10.50	0.70	10.00	90.00	29.29	0.153	0.091	6.18	155.74	940192	570858
16	Pozo Villa Cumbreira	MP-16	18.1	2.548	1.867	19.24	28.40	1.10	20.00	100.00	28.53	0.152	0.093	6.14	71.49	940052	568747
17	Pozo B-26	MP-17	19.21	4.195	2.419	14.19	13.70	0.70	4.00	70.00	29.29	0.161	0.097	6.42	65.20	936721	571025
18	Pozo B-17 (Miraflores)	MP-18	20.35	4.774	3.844	18.39	20.90	1.00	5.00	100.00	28.88	0.196	0.119	6.36	85.56	939967	571273
19	Pozo B-19(Mivi)	MP-19	20.73	4.39	3.724	18.6	22.80	1.60	8.00	90.00	28.59	0.201	0.123	6.31	75.32	940283	571332
20	Pozo Estadio de Baseball	MP-20	11.03	1.175	1.589	9.51	13.70	0.40	7.00	50.00	28.45	0.067	0.039	5.68	75.11	938717	570779
21	Pozo Centro Finca Caceres	MP-21	12.56	1.467	1.075	14.63	13.30	0.70	6.00	90.00	28.1	0.122	0.075	5.85	58.83	936925	571094
22	Pozo Finca Caceres	MP-22	10.93	2.631	0.644	16.11	20.30	1.00	17.00	40.00	28.24	0.132	0.081	6.14	51.65	937347	571123
23	Qda 1 Pajonal Arriba	MS-1	25.98	1.784	3.183	7.87	35.50	1.40	6.00	40.00	23.98	0.151	0.101	6.8	193.00	949461	581579
24	Qda 2 Pajonal Arriba	MS-2	8.51	1.326	1.986	5.89	16.70	0.20	7.00	30.00	23.84	0.05	0.033	7.17	194.00	949390	581605
25	Qda. Guayacanes	MS-3	11.65	1.664	7.39	6.41	24.10	0.30	12.00	60.00	26.81	0.097	0.062	6.75	152.00	947021	578126
26	Rio Zarati Sra. Him	MS-4	7.21	1.219	1.767	4.344	13.80	0.00	24.00	30.00	24.46	0.043	0.028	7.03	91.00	946333	575012
27	Toma de Planta	MS-5	8.24	1.518	1.581	5.61	16.10	1.10	16.00	40.00	25.42	0.046	0.031	7.31	85.00	944888	572565
28	Qda. Chorrillito	MS-6	21.73	3.524	3.735	20.92	26.60	0.60	16.00	120.00	26.29	0.197	0.125	7.46	87.00	942125	571228
29	Qda Pozo	MS-7	22.58	3.657	3.449	20.18	23.40	0.70	10.00	120.00	26.05	0.198	0.126	7.39	83.00	939149	571410

# **REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICOS**

Lugar de Muestreo	Pozo (MIDA) P. Media			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	6.13			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	2.29	meq/L		
Suma de Cationes	2.14	meq/L		
Error Balance	-3.57	%		
TDS	166.01	mg/L		
Dureza Total	57.30	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	73.82	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	20.61	0.90	0.90	
K	3.72	0.095	0.095	
Ca	16.18	0.40	0.81	
Mg	4.10	0.17	0.34	
Cl	24.00	0.68	0.68	
SO4	6.00	0.06	0.13	
NO3	1.40	0.02	0.02	
HCO3	90.00	1.47	1.47	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.94	2.39	0.319	0.194
Ca/SO4	2.70	6.46	0.152	0.364
Na/Cl	0.86	1.32	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo B- 27 (Villa Bonita) P. Baja			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO3			
Temperatura (°C)				
pH	6.18			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	1.99	meq/L		
Suma de Cationes	1.84	meq/L		
Error Balance	-3.93	%		
TDS	149.06	mg/L		
Dureza Total	50.77	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	73.82	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	17.23	0.75	0.75	
K	2.90	0.074	0.074	
Ca	13.72	0.34	0.68	
Mg	4.01	0.16	0.33	
Cl	10.50	0.30	0.30	
SO4	10.00	0.10	0.21	
NO3	0.70	0.01	0.01	
HCO3	90.00	1.47	1.47	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.42	2.08	0.319	0.194
Ca/SO4	1.37	3.29	0.152	0.364
Na/Cl	1.64	2.53	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo B-14 (Chigoré 2) P. Media			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	6.04			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	2.51	meq/L		
Suma de Cationes	2.28	meq/L		
Error Balance	-4.93	%		
TDS	178.67	mg/L		
Dureza Total	58.56	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	73.82	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	23.41	1.02	1.02	
K	3.47	0.089	0.089	
Ca	17.71	0.44	0.88	
Mg	3.48	0.14	0.29	
Cl	30.00	0.85	0.85	
SO4	7.00	0.07	0.15	
NO3	3.60	0.05	0.05	
HCO3	90.00	1.47	1.47	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	5.09	3.09	0.319	0.194
Ca/SO4	2.53	6.06	0.152	0.364
Na/Cl	0.78	1.20	0.556	0.858

Lugar de Muestreo	Pozo B-15 (Chigoré 3) P. Media			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	6.20			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	2.14	meq/L		
Suma de Cationes	1.71	meq/L		
Error Balance	-11.20	%		
TDS	154.14	mg/L		
Dureza Total	46.91	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	82.02	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	16.04	0.70	0.70	
K	2.76	0.071	0.071	
Ca	12.33	0.31	0.62	
Mg	3.91	0.16	0.32	
Cl	14.30	0.40	0.40	
SO4	4.00	0.04	0.08	
NO3	0.80	0.01	0.01	
HCO3	100.00	1.64	1.64	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.15	1.91	0.319	0.194
Ca/SO4	3.08	7.38	0.152	0.364
Na/Cl	1.12	1.73	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo B-16 (Villa Inmaculada) P. Baja			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl			
Temperatura (°C)				
pH	5.99			
Conductividad		uS/cm		
Suma de Aniones	2.16	meq/L		
Suma de Cationes	1.72	meq/L		
Error Balance	-11.13	%		
TDS	152.60	mg/L		
Dureza Total	51.10	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alcalinidad	73.82	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	14.30	0.62	0.62	
K	3.14	0.080	0.080	
Ca	15.36	0.38	0.77	
Mg	3.09	0.13	0.25	
Cl	17.80	0.50	0.50	
SO <sub>4</sub>	8.00	0.08	0.17	
NO <sub>3</sub>	0.90	0.01	0.01	
HCO <sub>3</sub>	90.00	1.47	1.47	
Relaciones Iónicas			Comparación con Agua de	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4.96	3.01	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	1.92	4.60	0.152	0.364
Na/Cl	0.80	1.24	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo B-17 (Miraflores) P. Baja			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Ca-Na-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	6.36			
Conductividad		uS/cm		
Suma de Aniones	2.35	meq/L		
Suma de Cationes	2.29	meq/L		
Error Balance	-1.11	%		
TDS	174.26	mg/L		
Dureza Total	65.59	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	82.02	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	20.35	0.89	0.89	
K	3.84	0.098	0.098	
Ca	18.39	0.46	0.92	
Mg	4.77	0.20	0.39	
Cl	20.90	0.59	0.59	
SO4	5.00	0.05	0.10	
NO3	1.00	0.01	0.01	
HCO3	100.00	1.64	1.64	
Relaciones Iónicas			Comparación con Agua de Mar	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.85	2.34	0.319	0.194
Ca/SO4	3.68	8.81	0.152	0.364
Na/Cl	0.97	1.50	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo B-19 (MIVI) P. Baja			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Ca-Na-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	6.31			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	2.31	meq/L		
Suma de Cationes	2.29	meq/L		
Error Balance	-0.41	%		
TDS	169.84	mg/L		
Dureza Total	64.53	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	73.82	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	20.73	0.90	0.90	
K	3.72	0.095	0.095	
Ca	18.60	0.46	0.93	
Mg	4.39	0.18	0.36	
Cl	22.80	0.64	0.64	
SO4	8.00	0.08	0.17	
NO3	1.60	0.02	0.02	
HCO3	90.00	1.47	1.47	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4.24	2.57	0.319	0.194
Ca/SO4	2.33	5.57	0.152	0.364
Na/Cl	0.91	1.40	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo B-26 (La Loma) P. Baja			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl			
Temperatura (°C)				
pH	5.41			
Conductividad		uS/cm		
Suma de Aniones	1.74	meq/L		
Suma de Cationes	1.37	meq/L		
Error Balance	-11.72	%		
TDS	118.90	mg/L		
Dureza Total	41.14	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alcalinidad	49.21	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	11.49	0.50	0.50	
K	1.94	0.050	0.050	
Ca	12.92	0.32	0.64	
Mg	2.16	0.09	0.18	
Cl	16.80	0.47	0.47	
SO <sub>4</sub>	13.00	0.14	0.27	
NO <sub>3</sub>	0.60	0.01	0.01	
HCO <sub>3</sub>	60.00	0.98	0.98	
Relaciones Iónicas			Comparación con Agua de Mar	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	6.00	3.64	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0.99	2.38	0.152	0.364
Na/Cl	0.68	1.05	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo B-29 (El Ecológico) P. Baja			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>			
Temperatura (°C)				
pH	6.30			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	2.25	meq/L		
Suma de Cationes	1.87	meq/L		
Error Balance	-9.15	%		
TDS	164.19	mg/L		
Dureza Total	51.02	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alcalinidad	82.02	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	17.75	0.77	0.77	
K	3.03	0.078	0.078	
Ca	13.27	0.33	0.66	
Mg	4.34	0.18	0.36	
Cl	11.70	0.33	0.33	
SO <sub>4</sub>	12.00	0.13	0.25	
NO <sub>3</sub>	2.10	0.03	0.03	
HCO <sub>3</sub>	100.00	1.64	1.64	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.06	1.85	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	1.11	2.65	0.152	0.364
Na/Cl	1.52	2.34	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo B-4 (Col Angel Ma. Herrera) P. Baja			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Ca-Na-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	6.07			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	2.96	meq/L		
Suma de Cationes	2.49	meq/L		
Error Balance	-8.55	%		
TDS	214.30	mg/L		
Dureza Total	71.27	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	106.62	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	22.94	1.00	1.00	
K	2.82	0.072	0.072	
Ca	22.45	0.56	1.12	
Mg	3.69	0.15	0.30	
Cl	21.20	0.60	0.60	
SO4	11.00	0.11	0.23	
NO3	0.20	0.00	0.00	
HCO3	130.00	2.13	2.13	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	6.08	3.69	0.319	0.194
Ca/SO4	2.04	4.89	0.152	0.364
Na/Cl	1.08	1.67	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo Pozo B-5 (Aeropuerto) P. Baja

Coordenadas

Geología

Tipo de Agua

Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl

Temperatura (°C)

pH

6.60

Conductividad

uS/cm

Suma de Aniones

2.72 meq/L

Suma de Cationes

2.62 meq/L

Error Balance

-1.98 %

TDS

203.40 mg/L

Dureza Total

74.09 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Alcalinidad

98.42 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Iones Mayoritario

mg/l

mmol/l

meq/l

Na

24.33

1.06

1.06

K

3.02

0.077

0.077

Ca

23.27

0.58

1.16

Mg

3.88

0.16

0.32

Cl

22.40

0.63

0.63

SO<sub>4</sub>

5.00

0.05

0.10

NO<sub>3</sub>

1.50

0.02

0.02

HCO<sub>3</sub>

120.00

1.97

1.97

Relaciones Iónicas

Comparación con Agua de Mar

mg/l

mmol/l

mg/l

mmol/l

Ca/Mg

6.00

3.64

0.319

0.194

Ca/SO<sub>4</sub>

4.65

11.15

0.152

0.364

Na/Cl

1.09

1.67

0.556

0.858

287

648

Lugar de Muestreo	Pozo Colegio Carmen Conte P. Alta			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	6.04			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	2.49	meq/L		
Suma de Cationes	2.08	meq/L		
Error Balance	-9.11	%		
TDS	176.22	mg/L		
Dureza Total	56.52	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	82.02	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	19.79	0.86	0.86	
K	3.42	0.088	0.088	
Ca	15.97	0.40	0.80	
Mg	4.04	0.17	0.33	
Cl	26.00	0.73	0.73	
SO4	4.00	0.04	0.08	
NO3	3.00	0.04	0.04	
HCO3	100.00	1.64	1.64	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.95	2.40	0.319	0.194
Ca/SO4	3.99	9.56	0.152	0.364
Na/Cl	0.76	1.17	0.556	0.858

Reporte de análisis  
Químico

MP-4

Lugar de Muestreo Pozo de Junta de Sonadora (Abuelo) P. Alta

Coordenadas

Geología

Tipo de Agua

Na-Ca-HCO3-Cl

Temperatura (°C)

pH

6.41

Conductividad

uS/cm

Suma de Aniones

3.37 meq/L

Suma de Cationes

3.05 meq/L

Error Balance

-4.96 %

TDS

247.59 mg/L

Dureza Total

72.94 mg/l CaCO3

Alcalinidad

123.03 mg/l CaCO3

Iones Mayoritario

mg/l

mmol/l

meq/l

Na

35.05

1.52

1.52

K

2.55

0.065

0.065

Ca

21.03

0.52

1.05

Mg

4.96

0.20

0.41

Cl

27.50

0.78

0.78

SO4

6.00

0.06

0.13

NO3

0.50

0.01

0.01

HCO3

150.00

2.46

2.46

Relaciones Iónicas

Comparación con Agua de Mar

	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4.24	2.57	0.319	0.194
Ca/SO4	3.51	8.40	0.152	0.364
Na/Cl	1.27	1.97	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo Guayacanes No.1 P. Alta			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	5.56			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	2.25	meq/L		
Suma de Cationes	1.73	meq/L		
Error Balance	-12.96	%		
TDS	159.16	mg/L		
Dureza Total	47.01	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	82.01	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	15.98	0.70	0.70	
K	3.87	0.099	0.099	
Ca	13.46	0.34	0.67	
Mg	3.25	0.13	0.27	
Cl	19.30	0.54	0.54	
SO4	3.00	0.03	0.06	
NO3	0.30	0.00	0.00	
HCO3	100.00	1.64	1.64	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4.14	2.51	0.319	0.194
Ca/SO4	4.49	10.75	0.152	0.364
Na/Cl	0.83	1.28	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo Sonadora Los Pollos P. Alta			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	6.26			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	3.06	meq/L		
Suma de Cationes	3.65	meq/L		
Error Balance	8.88	%		
TDS	232.03	mg/L		
Dureza Total	97.54	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	82.02	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	37.27	1.62	1.62	
K	3.29	0.084	0.084	
Ca	29.18	0.73	1.46	
Mg	5.99	0.25	0.49	
Cl	39.60	1.12	1.12	
SO4	11.00	0.11	0.23	
NO3	5.70	0.07	0.07	
HCO3	100.00	1.64	1.64	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4.87	2.95	0.319	0.194
Ca/SO4	2.65	6.35	0.152	0.364
Na/Cl	0.94	1.45	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Qda 1 Pajonal Arriba P. Alta			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-Cl-HCO3			
Temperatura (°C)				
pH	6.80			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	1.80	meq/L		
Suma de Cationes	1.75	meq/L		
Error Balance	-1.37	%		
TDS	121.72	mg/L		
Dureza Total	27.00	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	32.81	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	25.98	1.13	1.13	
K	3.18	0.081	0.081	
Ca	7.87	0.20	0.39	
Mg	1.78	0.07	0.15	
Cl	35.50	1.00	1.00	
SO4	6.00	0.06	0.13	
NO3	1.40	0.02	0.02	
HCO3	40.00	0.66	0.66	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de Mar			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4.41	2.68	0.319	0.194
Ca/SO4	1.31	3.14	0.152	0.364
Na/Cl	0.73	1.13	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Pozo Guayacanes No.2 P. Alta			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl			
Temperatura (°C)				
pH	7.17			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	1.11	meq/L		
Suma de Cationes	0.82	meq/L		
Error Balance	-14.84	%		
TDS	71.61	mg/L		
Dureza Total	20.17	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alcalinidad	24.61	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	8.51	0.37	0.37	
K	1.99	0.051	0.051	
Ca	5.89	0.15	0.29	
Mg	1.33	0.05	0.11	
Cl	16.70	0.47	0.47	
SO <sub>4</sub>	7.00	0.07	0.15	
NO <sub>3</sub>	0.20	0.00	0.00	
HCO <sub>3</sub>	30.00	0.49	0.49	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4.44	2.69	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0.84	2.02	0.152	0.364
Na/Cl	0.51	0.79	0.556	0.858
			287	648

Lugar de Muestreo	Qda. Chorrillito P. Baja			
Coordenadas				
Geología				
Tipo de Agua	Ca-Na-HCO3-Cl			
Temperatura (°C)				
pH	7.46			
Conductividad	uS/cm			
Suma de Aniones	3.06	meq/L		
Suma de Cationes	2.37	meq/L		
Error Balance	-12.58	%		
TDS	213.11	mg/L		
Dureza Total	66.76	mg/l CaCO3		
Alcalinidad	98.42	mg/l CaCO3		
Iones Mayoritario	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	21.73	0.95	0.95	
K	3.74	0.096	0.096	
Ca	20.92	0.52	1.04	
Mg	3.52	0.14	0.29	
Cl	26.60	0.75	0.75	
SO4	16.00	0.17	0.33	
NO3	0.60	0.01	0.01	
HCO3	120.00	1.97	1.97	
Relaciones Iónicas	Comparación con Agua de			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	5.94	3.60	0.319	0.194
Ca/SO4	1.31	3.13	0.152	0.364
Na/Cl	0.82	1.26	0.556	0.858
			287	648