

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**MODELACIÓN DEL ACUÍFERO PUSUQUÍ-SAN ANTONIO DE
PICHINCHA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA GEOLOGA**

SANDRA TERESA PROCEL GUERRA
sandraprogelg@hotmail.com

DIRECTOR: RENAN CORNEJO ORQUERA
rcornejo@server.epn.edu.ec

Quito marzo 2008

DECLARACIÓN

Yo, Sandra Teresa Procel Guerra, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y la normatividad institucional vigente.

Sandra Teresa Procel Guerra

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sandra Teresa Procel Guerra, bajo mi supervisión

Ing. Renan Cornejo
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi ser superior, que hizo posible que siga adelante, que me hizo ver que aún no llega mi hora.

Al mi familia, a mis padres que supieron darme sus consejos, fortaleza y confianza cuando más lo necesité. Gracias por ser esos angelitos que siempre me acompañan, en las buenas, en las malas y las peores. Gracias por existir y por ser la razón principal para levantarme.

A mis hermanas Ximena, Shadira y Diana que son el ejemplo a seguir, por ser la admiración y el orgullo para mí. A mis sobrinas Michell, Daniela y Doménica, que son mi razón de aliento, mi sentimientos más sensibles y mi alegría. A mis cuñados, especialmente Edison muchas gracias por estar ahí, por ser como el hermano que no tuve.

A la persona más especial que conocí y de quien me enamoré, gracias por ser como eres, por estar conmigo incluso venciendo a la distancia, por enseñarme a ser valiente y seguir hasta el fin.

A todas las personas de las que aprendí una cosa nueva, a ser “mejor ser humano”.

Al Ing. Renán Cornejo, por su paciencia, por guiar este proyecto, por ser el profesor que más admiro en la facultad; por ayudarme no solo en la Geología sino a ser mejor persona, honesta, perseverante y luchadora.

Al Ing. Fernando Tapia, por su ayuda en la elaboración de este proyecto, por enseñarme a ser metódica, por las discusiones sobre modelación y por las buenas conversaciones y buenos momentos en la EMAAP-Q

Al Ing Fernando Zurita, por prestarme su herramienta de trabajo, por su colaboración en la ejecución de planos, mapas y modelos.

Al Ing Bernardo Alvarez, quien confió en mí profesionalmente, por brindarme la oportunidad de aprender de su experiencia.

A todo el departamento del Acuífero de Quito, por colaborar en la ejecución de este proyecto.

A mis “amigas” Margarita y Erica, por escucharme y presionarme para la finalización de mi carrera.

A los profesores de la facultad, que de una u otra manera me enseñaron a distinguir lo que debo y no debo hacer

A mis compañeras de facultad principalmente Catalina Delgado, con quien compartí mucho tiempo, por las discusiones, buenos y malos ratos; gracias por enseñarme a ver desde otro punto de vista.

DEDICATORIA

*A mi familia, **a mis padres**, hermanas y sobrinas,*

A Raúl por estar aquí

CONTENIDO

CAPITULO I	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES	2
1.4 METODOLOGIA	3
1.5 TRABAJOS ANTERIORES.....	6
1.6 ASPECTOS GEOGRAFICOS.....	7
1.6.1 LOCALIZACION Y ACCESIBILIDAD	7
1.6.2 MORFOLOGÍA.....	9
CAPITULO II	11
2. MARCO GEOLOGICO	11
2.1 INTRODUCCION.....	11
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL	11
2.2.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	14
2.2.2 EVOLUCION	15
2.3 GEOLOGIA LOCAL	20
2.3.1 CORTES GEOLÓGICOS.....	25
2.4 IDENTIFICACIÓN Y LÍMITES DE ESTRATOS EN EL ACUÍFERO PUSUQUÍ-SAN ANTONIO.....	32
CAPITULO III	35
3. HIDROMETEREOLOGIA	35
3.1 INTRODUCCIÓN.....	35
3.2 INFORMACIÓN DISPONIBLE	35
3.3 CLIMATOLOGÍA.....	36
3.4 HIDROGRAFÍA	37
3.5 HIDROLOGÍA	37
3.5.1 PRECIPITACIÓN	37

3.5.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN	42
3.6 BALANCE HÍDRICO	49
CAPITULO IV	52
4. HIDROGEOLOGÍA	52
4.1 INTRODUCCIÓN	52
4.2 INFORMACION DISPONIBLE	52
4.3 DETERMINACIÓN DE NIVELES ACUÍFEROS	54
4.3.1 CORRELACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS Y POZOS CON NIVELES ACUÍFEROS	55
4.4 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	60
4.4.1 PERMEABILIDAD Y TRANSMISIVIDAD	60
4.4.2 NIVELES PIEZOMÉTRICOS	61
4.5 MODELO CONCEPTUAL	62
CAPITULO V	66
5. MODELACIÓN	66
5.1 INTRODUCCIÓN	66
5. 2 INFORMACIÓN DISPONIBLE	67
5. 3 MODELO HIDROGEOLÓGICO MATEMÁTICO	67
5.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ECUACIONES QUE GOBIERNAN EL FLUJO SUBTERRÁNEO	68
5.3.2 MODELOS NUMÉRICOS Y CONDICIONES DE BORDE INICIALES .	73
5.3.3 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SOLUCIÓN PARA MODELOS NUMÉRICOS	74
5.4 EI MODELO DIGITAL	79
5.4.1 METODOLOGIA DE LA MODELACION	79
5.5 MODELACION EN MOD FLOW	80
5.6 MODELACION DEL ACUIFERO DEL VALLE PUSUQUI- SAN ANTONIO	84
5.6.1 Interfase de entrada (condiciones de borde)	84
5.6.2 Interfase de corrida (modelación y calibración)	95
5.6.3 Interfase de salida (resultados)	95
CAPITULO VI	100
6. HIDROQUIMICA	100
6.1 INTRODUCCIÓN	100

6.2 ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA	102
6.3 DIAGRAMAS HIDROQUIMICOS.....	105
CAPITULO VII.....	108
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
7.1 CONCLUSIONES	108
7.2 RECOMENDACIONES.....	111
CAPITULO VIII	112
8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	112

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de la metodología aplicada	5
Figura 1.2 Valle Interandino Central, modificado de Villagómez, 2003	8
Figura 1.3 Ubicación del acuífero en estudio	8
Figura 2.1 Segmentos del Valle Interandino, segmento Quito-Guayllabamba (VIC), modificado de Villagómez, 2003	12
Figura 2.2 Esquema tectónico actual simplificado del Valle interandino Central, modificado de Villagómez, 2003	14
Figura 2.3 Columna Estratigráfica Generalizada para la cuenca Pusuquí-San Antonio, donde se encuentra el acuífero en estudio	31
Figura 3.1 Relación de la precipitación y la temperatura en la zona de acumulación (estación San Antonio de Pichincha)	36
Figura 3.2 Instalación del infiltrómetro doble cilindro o doble anillo	48
Figura 4.1 Corte Geoeléctrico Pusuquí-San Antonio, determinación de los niveles acuíferos	55
Figura 4.2 Perfil Geológico de los pozos de exploración Pusuquí y Vsap- 1.....	56
Figura 4.3 Leyenda del corte Geoeléctrico y Geológico de los pozos de exploración Pusuquí y Vsap-1	57

Figura 4.4 Modelo conceptual del acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha ...	65
Figura 5.1 Experimento en el que se basa la ley de Darcy, tomado del proyecto RLA//031.....	68
Figura 5.2 Experimento en el que se basa el Principio de Conservación de la masa tomado y modificado de Basile,P, 2005	71
Figura 5.3 Desarrollo de modelos numéricos (discretización), modificado del curso regional de capacitación en modelación de aguas subterráneas	73
Figura 5.4 Esquema de la ecuación de LaPlace en una dirección, con recarga R, modificado del proyecto Manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos en América Latina	75
Figura 5.5 Importación de archivos de elevación del área a modelar	85
Figura 5.6 Determinación de la malla a modelar	86
Figura 5.7 Ingreso de estratos y capas acuíferas a modelar	87
Figura 5.8 Ingreso de acciones externas (condiciones de borde del flujo subterráneo)	88
Figura 5.9 Ingreso del área de infiltración local	89
Figura 5.10 Ingreso de las condiciones de borde del río Monjas-San Antonio	90
Figura 5.11 Ingreso de las conductividades hidráulicas o permeabilidades, perfil E-W, diseñado por el Modflow	92
Figura 5.12 Ingreso de pozos de observación	94

Figura 5.13 Ingreso de pozos de bombeo	94
Figura 5.14 Calibración del modelo, porcentaje de error entre el valor del nivel estático calculado por el programa y el nivel medido en el campo... 96	96
Figura 5.15 Balance hídrico, entrada y salida del flujo subterráneo, calculado por el Visual Modflow	97
Figura 5.16 Dirección y velocidades del flujo subterráneo	98
Figura 5.17 Modelo en tres dimensiones del acuífero Pusuquí-San Antonio	99
Figura 6.1 Diagrama de Piper para pozos y vertientes muestreados en la campaña del 2005, en el Acuífero Pusuquí- San Antonio de Pichincha	107

INDICE DE MAPAS

Mapa 1.1 Morfología de la zona de estudio.....	10
Mapa 2.1 Geológico y ubicación de los cortes geológicos, modificado de Villagómez, 2003	19
Mapa 2.2 Límites y zonas del acuífero en estudio	34
Mapa 3.1 Isoyetas	41
Mapa 3.2 Ubicación de los ensayos de infiltración y contenido de humedad.....	47
Mapa 4.1 Ubicación de pozos y vertientes	53
Mapa 4.2 Isopiezas	64

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 4.1 Vertientes y estratos de turba ubicadas en San Antonio de Pichincha (sector de las piscinas municipales) 59

Fotografía 4.2 Vertientes y estratos de turba ubicadas en San Antonio de Pichincha (sector de las piscinas municipales) 59

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I 117

Columnas Estratigráficas

Sondeos Eléctricos Verticales

Perforaciones

Fotografías de los testigos de perforación

ANEXO II159

Registros de precipitaciones

Registros de temperatura

Ensayos de Infiltración

Ensayos de Clasificación del Suelo

Fotografías de las pruebas de infiltración

Análisis de sensibilidad del método numérico de Thornthwaite

ANEXO III188

Parámetros Hidrogeológicos

Niveles Piezométricos

ANEXO IV194

Límites admisibles para considerar al agua apta para el consumo humano y doméstico

Parámetros Químicos

Diagramas de Piper

Clasificación de las Aguas

RESUMEN

El proyecto describe el comportamiento y funcionamiento del acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha, mediante el reconocimiento de las características hidrogeológicas dominantes en el flujo subterráneo, sobre las cuales se generó el modelo hidrodinámico del acuífero, que involucra al modelo conceptual, matemático y digital.

El modelo conceptual identificó físicamente al acuífero, para lo que se recurrió a investigaciones como: perforaciones, sondeos eléctricos verticales y campañas de monitoreo piezométrico y químico; el modelo matemático, se refiere a la formulación y solución numérica de las ecuaciones que gobiernan el flujo y el modelo digital esta establecido por la representación del modelo conceptual, su calibración y validación, mediante la comparación de los parámetros (niveles piezométricos, conductividad hidráulica) calculados por el programa Visual Modflow 3.1.0.y los medidos en el campo (campañas de monitoreo).

Además se realiza el análisis de calidad del agua, con el objetivo de la captación del recurso para el consumo humano y doméstico.

ABSTRACT

This project describes the behavior of the Pusuqui-San Antonio de Pichincha aquifer by means of recognition of the dominant hydro-geologic features on the underground flows. For which a weather-bearing hydrodynamic model was generated. This model take into account conceptual, mathematical and digital issues.

The conceptual model identifies physically the aquifer through perforations, vertical electric sounding and piezometric and chemical monitoring. The mathematical model formulates and numerically resolves the equations that rules the flow. The digital model is set by its conceptual model representation, calibration and validation through the calculated parameters by Visual ModFlow 3.1.0 code (piezometric levels, hydraulic conductivity) and measured ones at the field. Furthermore, a water quality analysis is done with the claim an eventual resource extraction for human consumption.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS

El desarrollo urbano e industrial de los sectores de Pusuquí, Pomasqui y San Antonio de Pichincha, conduce a un incremento de la demanda del recurso hídrico, el que actualmente es abastecido en un 85% por fuentes subterráneas ubicadas en el sector El Condado (Acuífero Norte de Quito) y el 25% restante por pozos y escasas vertientes de la zona (Departamento Acuífero de Quito, DAQ, 2004).

Tomando en cuenta que el abastecimiento actual está ligado a los pozos ubicados al Noroccidente de la ciudad y a la red de distribución de la EMAAP-Q (Unidad de mantenimiento electromecánico de distribución UMED, EMAAP-Q), existe la necesidad de conocer, cuantificar y gestionar los recursos hídricos locales, que permitan satisfacer en el futuro, las necesidades de la población de esa zona.

Por lo expuesto, resulta imprescindible la ejecución de investigaciones y estudios de los acuíferos como posibles fuentes de suministro de agua y de ésta manera aprovechar el recurso subterráneo.

Bajo estas consideraciones, la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q), a través del Departamento Acuífero de Quito y la Escuela Politécnica Nacional, han decidido ejecutar el presente proyecto de investigación como una continuación del “Estudio Hidrogeológico y Modelación del nivel principal del Acuífero Centro Norte de Quito” (Muñoz, 2005), para llegar al conocimiento de las características hidrogeológicas del Acuífero de San Antonio de Pichincha por considerarlo como una posible fuente complementaria de abastecimiento de agua potable para dicho sector.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar hidrogeológicamente al nivel o los niveles acuíferos que componen el acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha y mediante la implementación de un modelo hidrodinámico preliminar reflejar el comportamiento y funcionamiento del agua subterránea en la zona.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compilar la información geológica, hidrometeorológica, hidrogeológica, química notificada en trabajos anteriores y analizar la bibliografía referente al tema en estudio.
- Redefinir la estratigrafía de la zona de estudio, mediante columnas estratigráficas, sondeos eléctricos verticales (SEV) y pozos de exploración (con recuperación de testigos) y de explotación.
- Analizar y cuantificar los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico
- Realizar el inventario de pozos y puntos de agua para integrarlo al Sistema de Información Geográfica Arcview Gis 3.2.
- Identificar los principales niveles acuíferos y cuantificar los parámetros hidrogeológicos de cada uno de ellos.
- Determinar la geometría del acuífero
- Generar el modelo hidrodinámico que involucre la modelación conceptual, matemática e informática.
- Caracterizar la calidad físico-química y bacteriológica de las aguas subterráneas para establecer si son o no aptas para el consumo humano y doméstico.

1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES

El presente proyecto es la continuación del estudio de la Modelación del nivel principal del acuífero Centro-Norte de Quito (Muñoz 2005) y comprende la

ejecución del modelo hidrodinámico del Acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha, usando la información geológica, hidrometeorológica, hidrogeológica y química disponible para el área de estudio.

La información estratigráfica, proviene de los trabajos realizados por Andrade (2002), Villagómez (2003) y Muñoz (2005), así como de los registros litológicos de las perforaciones de los pozos de explotación construidos entre 1978-2005 por AGROPERFORADORA, HIDROPERFORADORA, EMAAP-Q, SERVIAGUA, CAPTAGUA y ASUBSA.

Esta información se complementó con columnas estratigráficas, investigaciones geofísicas, perforaciones de exploración con recuperación de testigos y ensayos puntuales de infiltración. Estas investigaciones, permitieron redefinir la estratigrafía de la zona de estudio, e integrar el modelo conceptual.

En lo que respecta a la información hidrogeológica, esta procede de los registros y cálculos realizados para nueve pozos de explotación, a pesar de que las pruebas de bombeo no determinan el nivel acuífero captado. Por esta razón se recurrió a redefinir los parámetros hidrogeológicos por varios métodos, con el fin de compararlos con la litología y utilizar los más certeros.

La caracterización de la calidad físico-química y bacteriológica de las aguas subterráneas, se vio limitada por la falta de información concerniente a la composición del agua en el área de estudio; los análisis químicos del año 1978, reportaron balances iónicos con un error mayor al 10%, por lo que se realizó nuevas campañas de análisis químicos en los años 2004 al 2007 para determinar las condiciones físico-químicas y bacteriológicas de las aguas y establecer si son o no aptas para el consumo humano.

1.4 METODOLOGIA

Como paso previo para el presente estudio, se realizó la recopilación de toda la información bibliográfica y cartográfica publicada en mapas topográficos

(1:25000), geológicos (1:25000) y proyectos de titulación de Andrade (2002), Villagomez (2003) y Muñoz (2005). Se interpretaron fotografías aéreas (escala 1:60000) y se efectuaron levantamientos estratigráficos de campo, inventarios de fuentes hídricas, campañas de monitoreo químico y medición de niveles.

Toda la información fue clasificada, analizada, procesada y sirvió para realizar las recomendaciones respecto a la ejecución de investigaciones complementarias, que consistieron principalmente en dos perforaciones con recuperación de testigos y nueve sondeos eléctricos verticales (SEV).

Con base en la información generada se logró establecer los modelos conceptual, matemático y digital para el acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha.

Toda la metodología aplicada, se resume en la figura 1.1 que se visualiza a continuación

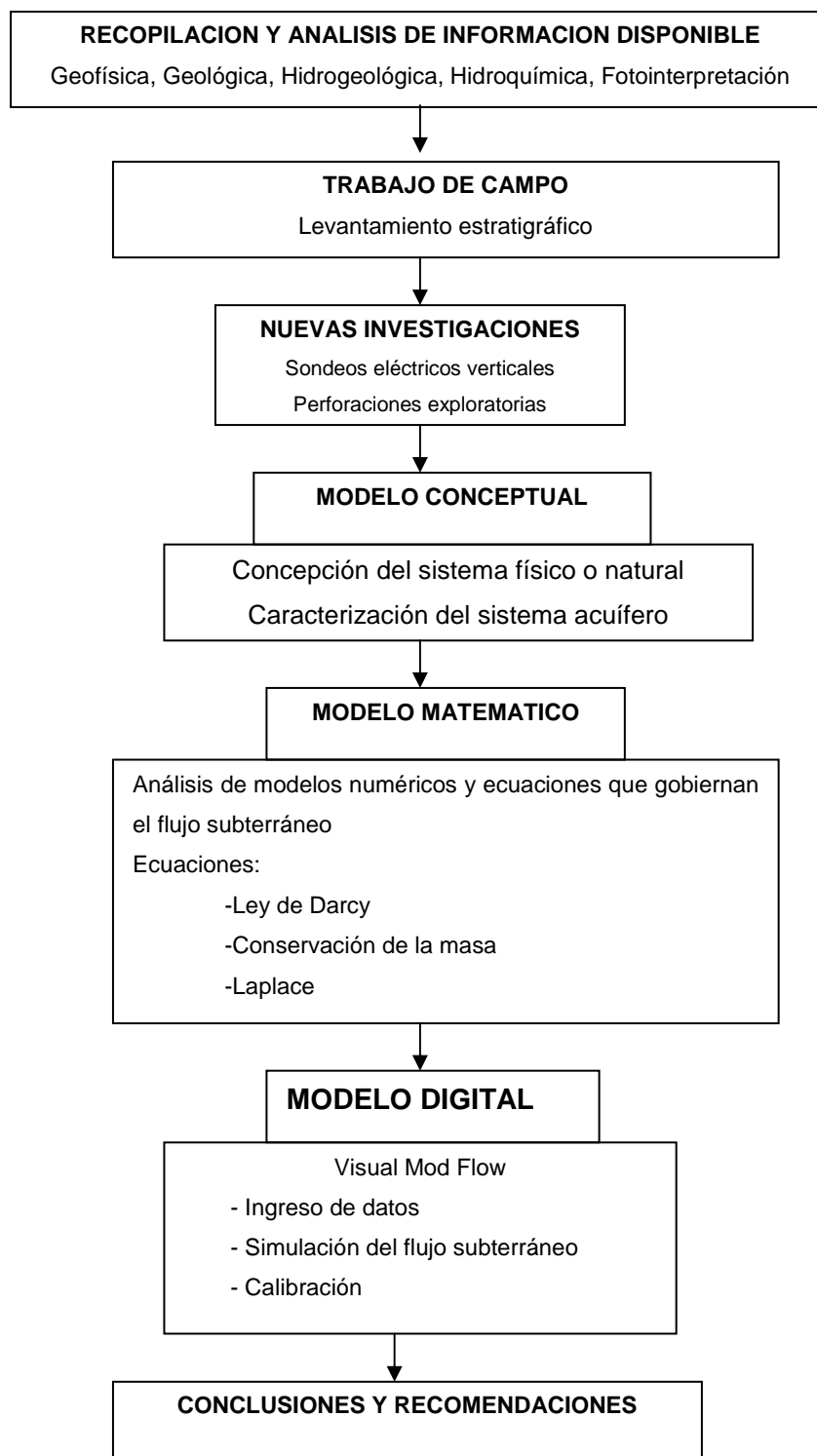


Figura 1.1 Esquema de la metodología aplicada

1.5 TRABAJOS ANTERIORES

- ANDRADE, Daniel, 2002.- **“Estudio Geovolcanológico del Complejo Volcánico Pululahua”**.- Proyecto de Titulación, EPN.- 186 pág
- COELLO, Xavier, 2002.- **“Análisis Comparativo de la Vulnerabilidad del Acuífero Norte de Quito”**.- Tesis de grado, EPN.
- CORNEJO, Renan, 1980.-**“Geología de la zona entre San Antonio de Pichincha y el Río Guayllabamba”**.- Tesis de grado, EPN.
- EMAAP-Q (1995, 1998,1999, 2000, 2001, 2002, 2004); **Estudios en el Departamento Acuífero de Quito**.- EMAAP-Q.
- MIDUVI.- Proyecto **“Abastecimiento de Agua”**.- Uyachul Alto.- Pusuquí.- Prov. Pichincha Proyecto **“Textiles Equinoccial”**.- San Antonio de Pichincha.- Prov. Pichincha
- MUÑOZ, Teresa, 2005.- **“Modelación del Nivel Principal del Acuífero Centro – Norte de Quito”**.- Proyecto de Titulación, EPN.- 174 pág.
- SERRANO, Cristóbal, 1982.- **“Estudio Geoquímico del Noroccidente del Pululahua”**.- Tesis de grado, EPN.
- VILLAGOMEZ, Diego, 2003.- **“Evolución Geológica Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador”**.- Proyecto de Titulación, EPN.

1.6 ASPECTOS GEOGRAFICOS

1.6.1 LOCALIZACION Y ACCESIBILIDAD

En el Ecuador, el principal accidente geográfico es la cordillera de los Andes que cruza al país de Norte a Sur, generando tres regiones geográficas: Costa, Sierra y Oriente. La Sierra, se manifiesta con dos cadenas montañosas, al Este la cordillera Real y al Oeste la cordillera Occidental, separadas por una depresión morfotectónica denominada Valle Interandino (VIA), que está dividido en tres segmentos debido a la presencia de importantes nudos volcánicos que marcan cambios en la orientación de la depresión. Los segmentos fueron denominados como: Valle Interandino Norte (VIN), Valle Interandino Central (VIC), Valle Interandino Sur (VIS) (figura 1.2).

El área de estudio se localiza en la serranía ecuatoriana en el segmento correspondiente al valle Interandino Central (Quito-Guayllabamba). Comprende las localidades de Pusuquí, Pomasqui y San Antonio de Pichincha, entre las coordenadas 9992000 y 1000600 de latitud Sur y 780000-790000 de longitud Oeste.

Abarca un área total de 22 Km², con una longitud de aproximadamente 11Km y un ancho promedio de 2Km; se extiende desde la quebrada Pusuquí al Sur hasta la quebrada La Portada al Norte (figura 1.3).

La principal vía de acceso es la avenida Manuel Córdova Galarza, que constituye el enlace de la ciudad de Quito con las poblaciones de Pusuquí, Pomasqui, San Antonio de Pichincha y hacia el Occidente con Calacalí. De esta carretera se derivan varios caminos lastrados que conectan a la población de San Antonio con la de Tanlahua, en sentido Nor-Noreste. Así también existen caminos secundarios y senderos que recorren los flancos del Casitagua y Catequilla, lo que permite tener facilidades de acceso a la zona de trabajo.

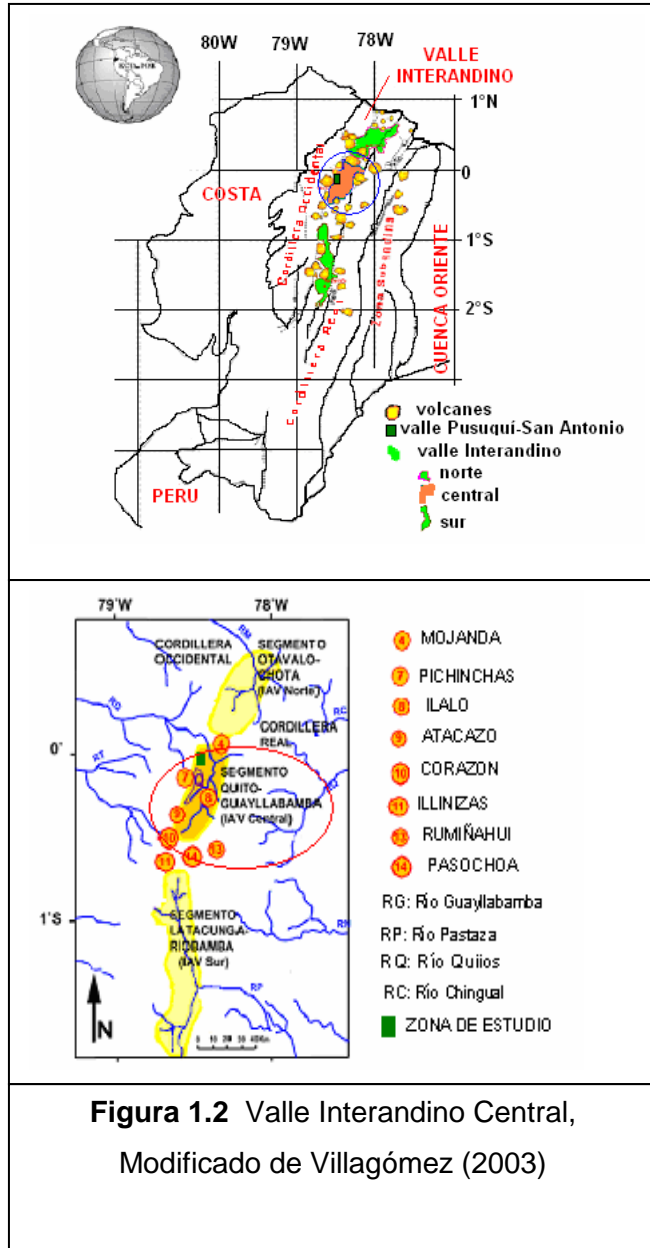


Figura 1.2 Valle Interandino Central, Modificado de Villagómez (2003)

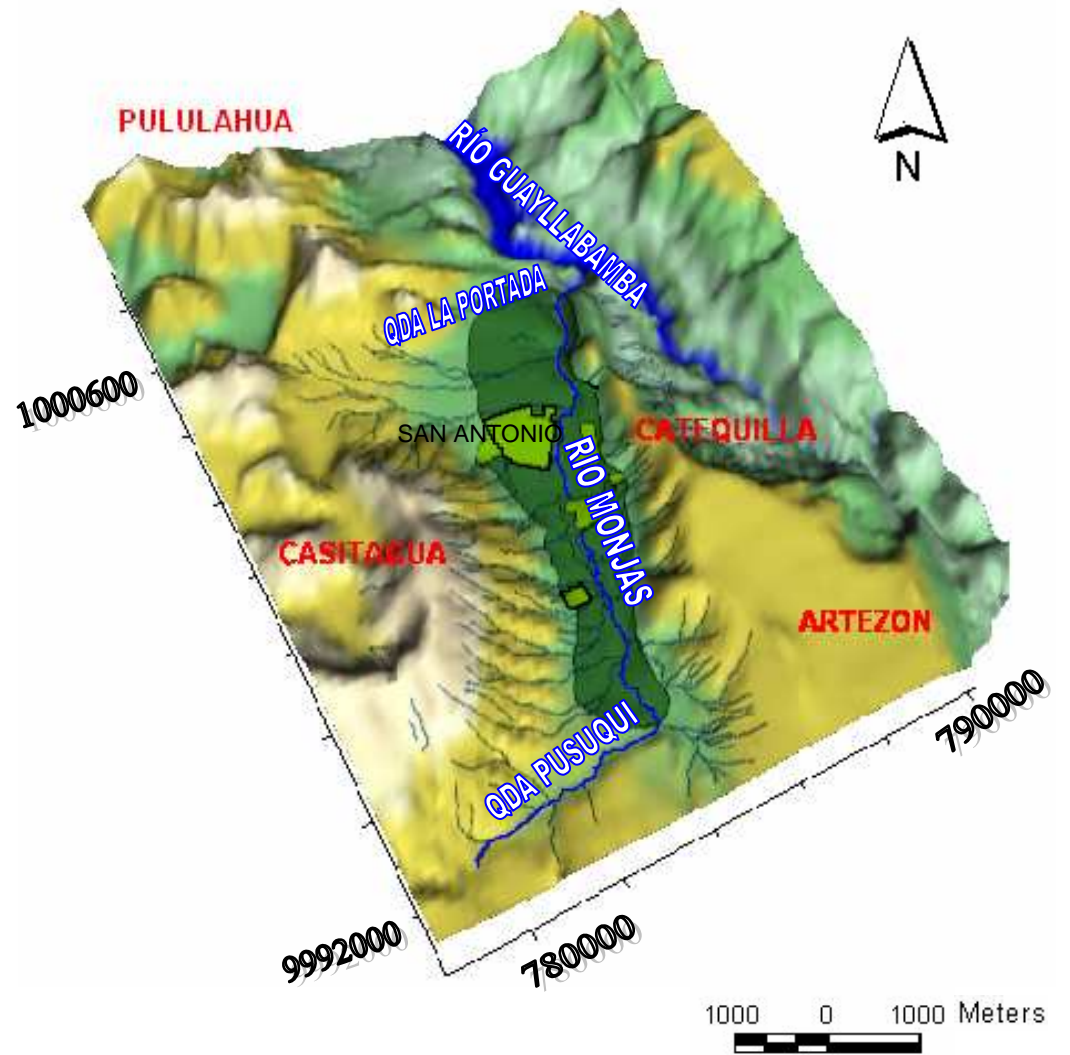
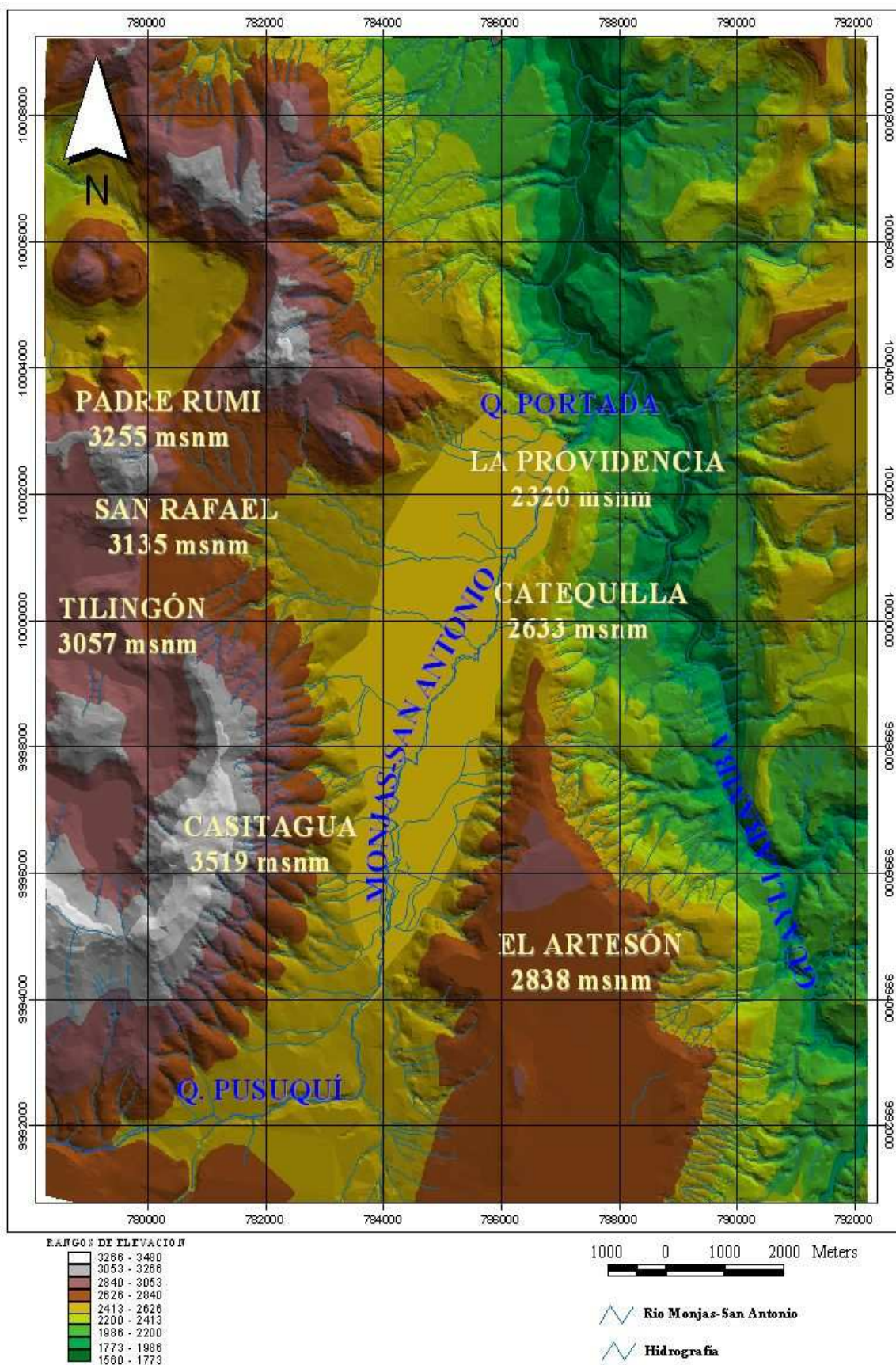


Figura 1.3 Ubicación del acuífero en estudio

1.6.2 MORFOLOGÍA

La subcuenca Pusuquí-San Antonio de Pichincha está definida por la presencia de dos grupos de elevaciones ubicadas sub-paralelamente. Al Occidente la cadena montañosa está formada de Sur a Norte por el Casitagua (3519 msnm; constituye la elevación de mayor altura en la zona de estudio), el Tilingón (3057 msnm), San Rafael (3135 msnm) y Padre Rumi (3255 msnm). Estas elevaciones mantienen un rumbo aproximado Norte-Sur, que varía a una dirección Nor-noreste al Noroccidente, donde se encuentra el complejo volcánico Pululahua.

Al Este la cadena montañosa está constituida de Sur a Norte por la meseta El Artesón (2838 msnm), seguida por una pequeña cordillera compuesta por las lomas: Velasco Carcelén, Catequilla (2633 msnm) y termina con la loma La Providencia (2320 msnm). Esta cadena montañosa tiene un rumbo aproximado Norte-Sur y es la responsable del aislamiento del valle de Pusuquí-San Antonio con respecto al valle de Guayllabamba. En la zona de estudio, la mayor altura llega a los 2600 msnm en la quebrada Pusuquí y la menor es de 2200 msnm en la quebrada La Portada. (mapa 1.1)



Mapa 1.1 Morfología de la zona de estudio

CAPITULO II

2. MARCO GEOLOGICO

2.1 INTRODUCCION

El presente capítulo describe en forma general la estratigrafía del Valle Interandino Central (cuenca Quito-Guayllabamba), las rocas que componen el basamento y la serie sedimentaria de la cuenca.

Con más detenimiento, se analiza y describe la estratigrafía de la pequeña subcuenca volcano-sedimentaria de Pusuquí, Pomasqui y San Antonio, la que se desarrolló en un ambiente geodinámico donde interaccionaron procesos de volcanismo, tectónica, erosión y sedimentación, lo que se refleja en las secuencias existentes en la zona de estudio.

Asimismo se describen las estructuras más importantes reconocidas en el sector.

2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

El Valle Interandino (VI) constituye una depresión morfotectónica de dirección N-S a NNE-SSW, limitada al Este por la cordillera Real y al Oeste por la cordillera Occidental. Tiene aproximadamente 25 km de ancho, 300 km de largo y está ubicado entre 2°10'S en la zona de Alausí hasta 0°30'N en la zona del Chota. Según Winkler et al (2002), el VI empezó a formarse desde el Mioceno Tardío-Plioceno, presumiblemente desde el Norte.

De acuerdo con Villagomez (2003), el VI se encuentra dividido en tres segmentos que son: Valle Interandino Norte (VIN) Valle Interandino Central (VIC) (Quito-Guayllabamba) y Valle Interandino Sur (VIS) (figura 2.1).

El Valle Interandino Central se encuentra delimitado al Norte por el nudo constituido por los volcanes Mojanda y Cusín, al Sur, el nudo constituido por los volcanes Rumiñahui, Pasochoa, e Illiniza, al Este, se encuentra la cordillera Real, mientras que al Oeste, en la cordillera Occidental, resaltan el Complejo Volcánico Pichincha, Atacazo y Corazón. (figura 2.1)

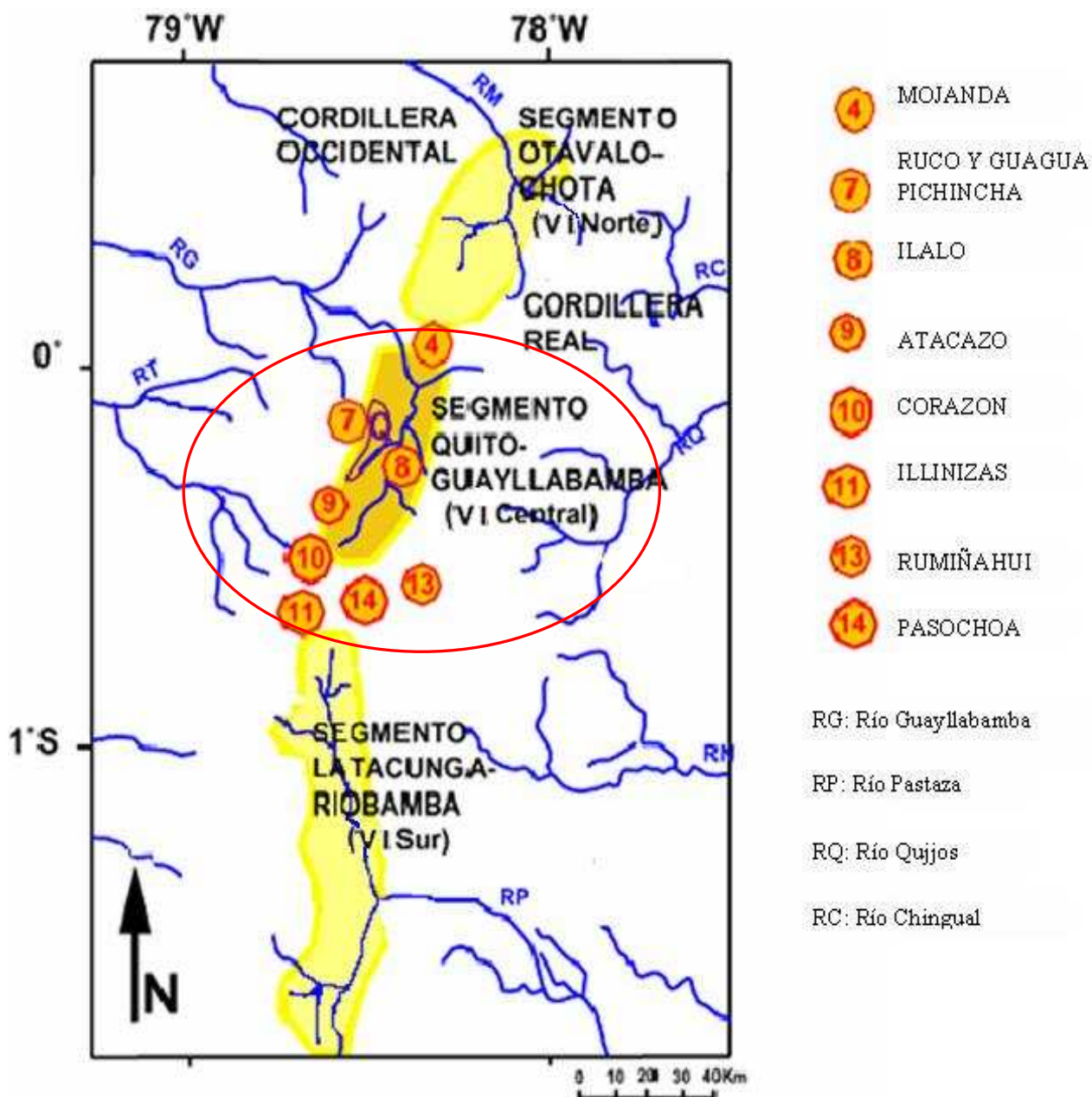


Figura 2.1 Segmentos del Valle Interandino, segmento Quito-Guayllabamba (VIC), modificado de Villagómez (2003)

Tiene como basamento a la formación Pallatanga o posiblemente el Melange Peltetec, compuesto de gabros indiferenciados, rocas sedimentarias indiferenciadas, lavas y escoria basálticas. Estas últimas corresponden al basamento estrictamente volcánico del VIC (denominadas como miembro Lavas basales de la formación Pisque) a diferencia de las otras rocas suprayacentes pertenecientes a la formación Pisque (miembros: Puente Viejo, Tobas Doradas, Aluvial, Fluvio-aluvial) que constituyen el relleno de la cuenca.

Según Villagomez 2003, el contacto inferior del miembro Lavas basales (fm Pisque), no se ha determinado, el contacto superior, fue observado como erosional (discordancia erosional), con respecto al miembro Tobas Doradas (fm Pisque), que pertenece al relleno de la cuenca.

El relleno del VIC es volcano-sedimentario y se divide en dos grandes secuencias separadas por una discordancia. La secuencia inferior está compuesta de los depósitos pertenecientes a la formación Pisque, específicamente al miembro Lavas Basales, que es considerado como el basamento volcánico del VIC. A este miembro corresponden lavas andesíticas y brechas que por su edad, podrían estar relacionadas a los volcanes Pambamarca, Cubilche, Chilcaloma y Casitagua (Villagomez 2003, Andrade 2002). Estos depósitos están sobreyacidos discordantemente por tobas intercaladas con láhars y con flujos piroclásticos, sedimentos aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres que corresponden a las formaciones Pisque y San Miguel.

La secuencia superior consiste de depósitos volcánicos, laháres, flujos hiperconcentrados y depósitos fluviales, que corresponden a las formaciones: Guayllabamba, Chiche, Machángara, Mojanda y Cangahua. (Villagomez, 2003)

Como parte del Cuaternario, tenemos las rocas de la serie Quito-San Antonio (Pusuquí-Pomasqui-San Antonio)-Guayllabamba, que consisten de depósitos volcánicos y volcanoclásticos, productos de conos aluviales y flujos piroclásticos provenientes de volcanes aledaños como el Ruco Pichincha y el Pululahua. (mapa 2.1)

2.2.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Desde el Mesozoico, las acreciones sucesivas de terrenos oceánicos y continentales fueron estableciendo diferentes estructuras (fallas) que se constituyen en límites del Valle Interandino Central.

Villagomez, en el 2003, se refiere a la característica geológica más prominente, como “Sistema de Fallas activas inversas de Quito” compuesta por las fallas: de Quito (QF), Botadero (BF) y Catequilla (CF). Asimismo menciona que la expresión morfológica de este sistema, está definida por tres lomas: Illumbisí-Puengasí (IPR), Batán-La Bota (BBR), Calderón-Catequilla (CCR), respectivamente, con una orientación común aproximada de N a NNE. Estas lomas dividen al VIC en tres subcuencas (Quito, San Antonio y Guayllabamba) y controlan la dinámica sedimentaria de las mismas (figura 2.2)

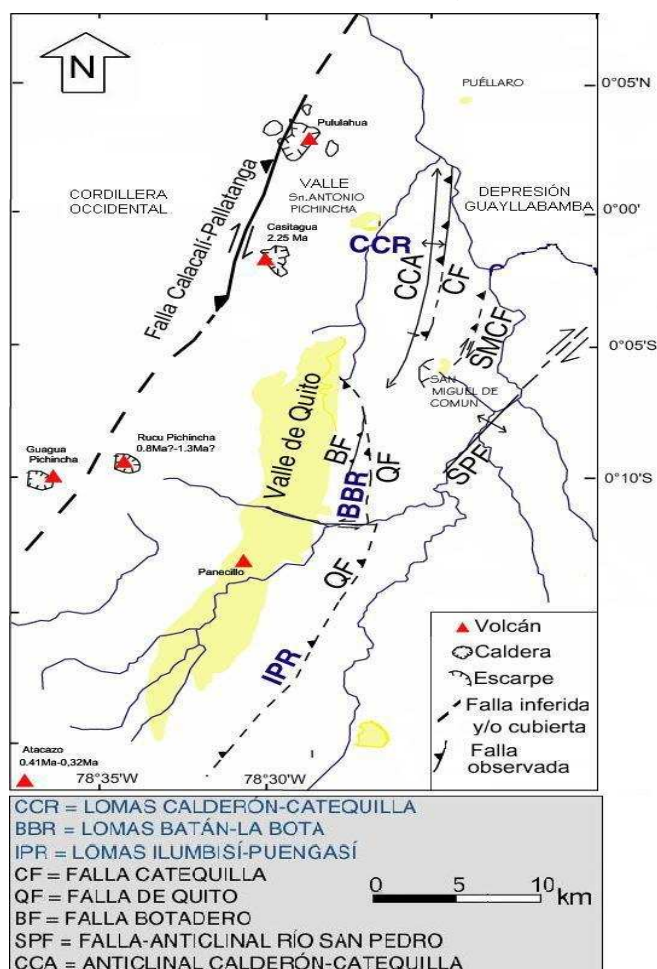


Figura 2.2 Esquema tectónico actual simplificado del VIC, modificado de Villagomez (2003)

La zona compresiva, tectónicamente activa y compleja que se extiende 50 Km desde Tambillo hasta San Antonio de Pichincha, es la responsable de la falla de Quito. Ego en 1995, menciona que esta falla ha provocado un levantamiento vertical en la plataforma de Quito hasta 400 metros sobre el fondo del Valle Interandino.

La Falla Catequilla, esta asociada al cinturón de lomas que va desde Calderón al Sur hasta la Providencia al Norte, con una dirección aproximada N-S; la falla está intruida por dos cuellos volcánicos (Pacpo-Monte Sinaí al Sur y Catequilla al Norte) y constituyen el límite Este de la subcuenca Pusuquí-Pomasqui y San Antonio (figura 2.2)

De acuerdo con Villagómez (2003), las fallas de Quito y Catequilla no han sido observadas, pero algunas fallas asociadas de menor escala, han sido descritas, como es el caso de la Falla Botadero (figura 2.2).

Estudios estructurales, revelan una complicada evolución tectónica durante el Cuaternario. Se ha mencionado que la falla Botadero ha empezado a actuar desde el Pleistoceno Tardío y ha sido activa durante tiempos recientes, esta falla ha sido observada y mapeada por Villagómez (2003), y se la atribuye al “Sistema de fallas activas inversas de Quito”

2.2.2 EVOLUCION

Conforme al trabajo de Villagómez (2003), se tiene la siguiente evolución:

Sobre el basamento del VIC, que correspondería a la Unidad Pallatanga (Cretácico Tardío) o posiblemente al Melange Peltetec (Jurásico), se sitúan los primeros depósitos como pertenecientes a la fm Pisque, a la que corresponden lavas andesíticas y brechas (Mb. Lavas Basales)

Sobre el basamento estrictamente volcánico (fm Pisque) están sobreyacidas discordantemente tobas intercaladas con láhares (fm Pisque, Mb. Tobas

Doradas), y láhares intercalados con flujos piroclásticos (fm Pisque, Mb. Puente Viejo). A continuación existió una subsidencia diferencial del VIC con respecto a la cordillera Occidental. Este evento fue registrado por la secuencia aluvial (fm Pisque, Mb. Aluvial) cuya fuente de material clástico estuvo localizada exclusivamente en la cordillera Occidental, y coetáneamente hacia el Este se depositaron sedimentos más distales de ríos entrenzados (fm Pisque, Mb. Fluvio-aluvial).

Posteriormente, se instauró un lago, en el que se depositó la formación San Miguel con el Mb. Lacustre San Miguel que cubrió gran parte del VIC, con un gran aporte de volcanoclásticos desde el W (facies fluviales y deltaicas: formación San Miguel, Mb. San Miguel s.s.). La presencia de tobas en los depósitos lacustres, documentan también la depositación sin-eruptiva. La progradación de los deltas fue hacia el depocentro (zona de Guayllabamba) que debió haberse hundido con respecto al margen Occidental. El depocentro de la fms. Pisque y San Miguel se localiza en la depresión Guayllabamba. Deformación sin y post-sedimentaria sugiere que las fms. Pisque y San Miguel, fueron depositadas en un ligero régimen extensional E-W.

A continuación, un cambio en el equilibrio sedimentario producto de una intensa actividad tectónica y volcanismo en todos los bordes de la cuenca (posible fuentes: Volcán Ilaló, proto Rucu Pichincha) y dentro del lago (cuellos volcánicos de Catequilla y Pacpo), produjo la depositación de la fm. Guayllabamba (Mb. Volcánico) hacia el S y W, láhares (Mb. Láhar) hacia el NE de Quito y la formación San Miguel (zona de Guayllabamba). Los láhares deformaron los sedimentos no consolidados de la fm. San Miguel (Mb. Lacustre San Miguel deformado).

Hacia el W, la fm. Guayllabamba (Mb. Aluvial), registra el levantamiento de la cordillera Real. Una inversión en el régimen de extensión a compresión E-W se dio en el tiempo Guayllabamba, al inicio de la depositación de esta formación. Este régimen continúa hasta la actualidad.

Seguidamente, una relativa tranquilidad siguió con la depositación de la fm. Chiche que empezó con el Mb. Fluvio-lacustre I en el Norte. Posteriormente uno o más láhares (Mb. Láhar) cubrieron uniformemente el VIC, con una fuente en la cordillera Real. Luego se dio la depositación del Mb. Fluvio-lacustre II hacia el Norte. Coetáneo con este último, depósitos de ríos entrenzados y flujos hiperconcentrados del Mb. Chiche s.s. desde el Sur (cuya posible fuente fue el Volcán Cotopaxi). Finalmente los fluviales alcanzan el Norte y finalizan con el ambiente lacustre. Este cambio en las facies, espesores y paleocorrientes en la fm. Chiche, entre el Norte y el Sur sugiere una actividad previa de las estructuras que controlan actualmente la depresión de Guayllabamba. Esta formación es diacrónica a lo largo del VIC.

Hacia el fin de la depositación de la fm. Chiche (~ 0.5 Ma; Lavenu et al, 1996) es reactivada la deformación con el inicio de la actividad de la falla inversa de Quito, como lo indica el cambio en la discordancia angular superior observada en la zona de Quito. Esto hace que la cuenca de Quito reciba los productos que provienen del Complejo Volcánico Pichincha y del Atacazo, que corresponden a la fm. Machángara, la que consiste en su base de depósitos volcánicos primarios (Mb. Volcánicos Basales) láhares y fluviales al tope (Mb. Quito).

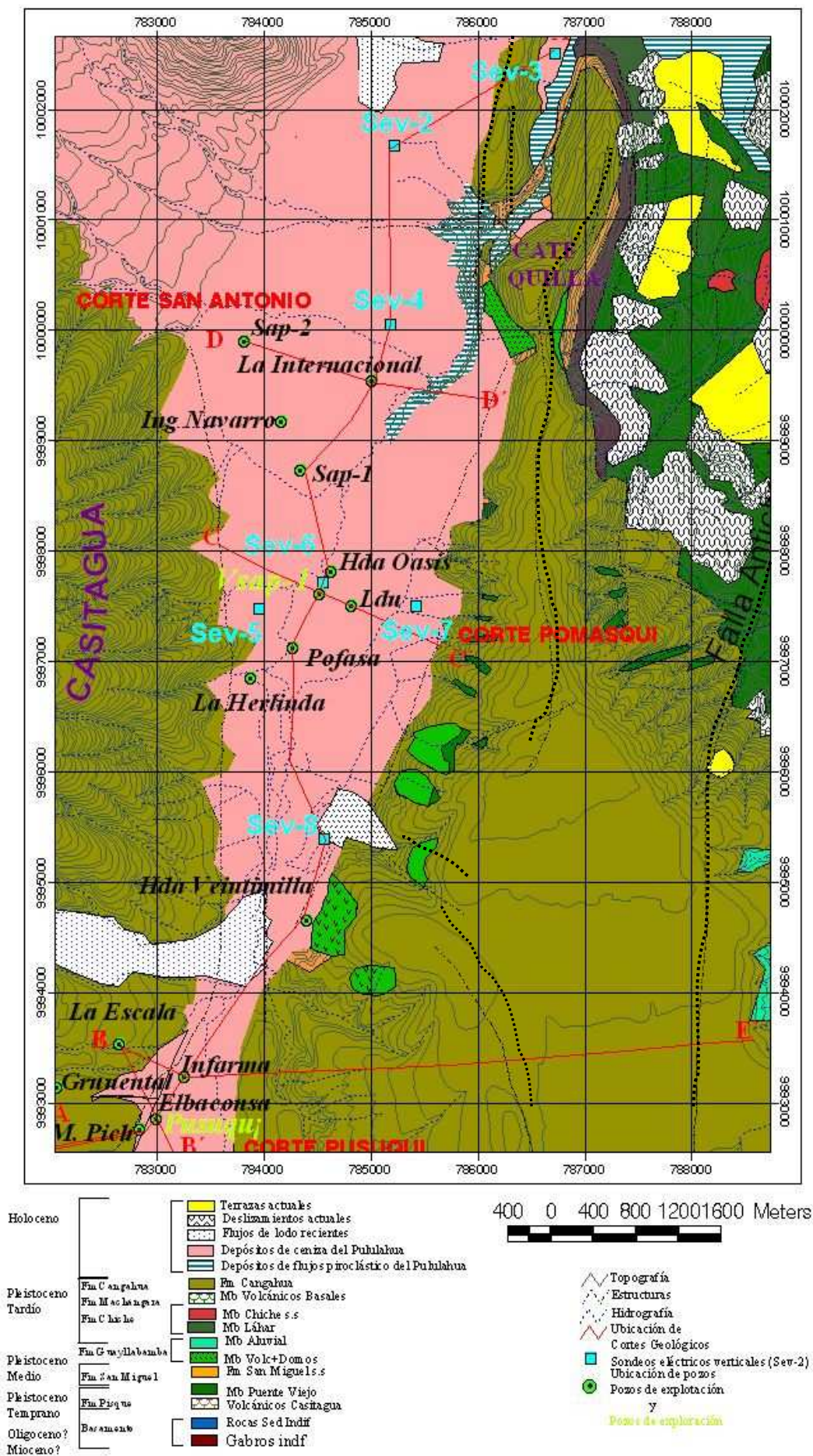
Coetáneo con la fm. Machángara, en el Norte está la fm. Mojanda, con productos volcánicos y volcanoclásticos del Complejo Volcánico Mojanda

Al finalizar el Pleistoceno, se depositó la fm. Cangahua, ampliamente distribuida en todo el VIC, se forma la depresión Guayllabamba debido a la interacción entre fallas del Sistema activo de fallas de Quito, la falla San Miguel del Común y una falla heredada de rumbo NE (falla del Río San Pedro). En esta depresión han colapsado bloques hectométricos de sedimentos hacia su centro, que involucran a toda la secuencia post-San Miguel.

En el Holoceno las pequeñas cuencas de Pusuquí, Pomasqui y San Antonio fueron llenadas por potentes depósitos de varios tipos de flujo (block & ash flows, flujos piroclásticos, surges, lahares y caídas) que corresponden a los depósitos y

flujos del volcán Pululahua. En las subcuencas de Quito y Pusuquí se depositaron los sedimentos lacustres locales (referidos como depósitos “La Carolina”).

En conclusión, las subcuencas (Quito-San Antonio-Guayllabamba) representan un paleovalle en el que se han formado grandes abanicos de depositación de erupciones históricas tanto del Pichincha, Casitagua y Pululahua.



Mapa 2.1 Geológico y ubicación de los cortes geológicos, modificado de Villagomez (2003)

2.3 GEOLOGIA LOCAL

Con el propósito de mejorar el detalle de la litoestratigrafía del valle Pusuquí-San Antonio, se realizaron análisis estratigráficos y litológicos, basados en la información recopilada de mapas geológicos (escala 1:25000), perforaciones, además de trabajo de campo con levantamiento de columnas estratigráficas (anexo I, columnas estratigráficas), análisis de información geofísica (anexo I, sondeos eléctricos verticales) y dos perforaciones con recuperación de testigos (anexo I, perforaciones Pusuquí y Valle San Antonio de Pichincha-1).

De la información disponible, se concluyó que el relleno y el basamento hidrogeológico del acuífero Pusuquí-San Antonio están formados por rocas volcánicas, volcanosedimentarias, depósitos lacustres con influencia volcánica y sedimentos volcánicos que están representados por materiales clásticos con aporte casi exclusivamente piroclástico. Estos materiales están agrupados en las formaciones que se describen a continuación:

- **VOLCÁNICOS CASITAGUA (Plioceno Tardío)**

Las perforaciones de exploración (Pusuquí, Valle San Antonio de Pichincha (Vsap-1), anexo I), reportaron depósitos compuestos de una toba amarillenta de grano fino con gránulos de pómez oxidados; se evidencian esporádicas gravas grises y verdosas, seguidas de arenas de grano fino a medio de colores amarillentos a gris verdosos, de compacidad media a alta, intercaladas con arenas limosas, limos y gravilla de pómez (anexo I, fotografías de los testigos de perforación). Mineralógicamente en muestras obtenidas entre 90-202 m de profundidad, se observó magnetita con un 2%, 15-20% de cuarzo, 2-3% de hornblenda, 1% de plagioclasa y biotita, además de trazas de moscovita y epidota. Líticos con 53-76% que corresponden a tobas volcánicas, piedra pómez y lavas andesíticas. (Análisis mineralógicos y granulométricos, para pozos exploratorios Pusuquí y Vsap-1, EMAAP-Q, 2005)

En la perforación Vsap-1, a los 120 metros de profundidad, se reportan lavas de color gris oscuro a rojizo de composición andesítica, oxidadas y muy fracturadas.

Estos depósitos serían parte de flujos y avalanchas cuya fuente estaría relacionada con el volcán Casitagua, como lo menciona Andrade (2002).

Ego (1995) interpreta al Casitagua como contemporáneo a la formación Pisque, con base en una datación K-Ar que reportó 2.25 ± 0.25 Ma para una lava de este volcán, la cual es concordante con otras obtenidas para la formación Pisque en la zona de la loma Catequilla (mapa 2.1). Asimismo INEMIN-Geotermia Italiana-ESPE (1989) reportan una datación K-Ar de 1.4 Ma para el domo Lulunurcu que intruye al Casitagua al Sur, confirmando así una edad Pliocénica Tardía de los volcánicos Casitagua.

- **FORMACIÓN SAN MIGUEL (Pleistoceno)**

Al margen del río Monjas (UTM 785800/ 1000006), al Noreste de la población de San Antonio, en la vía San Antonio Puéllaro, se observó sedimentos deformados pertenecientes a la formación San Miguel, con un espesor entre 40-50m (anexo I, columna No 4), estos corresponden a sedimentos de origen volcánico compuesto por capas métricas a decimétricas de areniscas líticas gruesas-medias gris verdosas, con clastos de andesitas y pómez, intercaladas con limolitas tobáceas cenizas vítreas y tobas retrabajadas, formadas por material vítreo muy fino.

Según Villagomez (2003), esta formación corresponde a depósitos fluviales, deltaicos y menormente lacustres, que se depositaron en un medio subacuoso.

- **FORMACIÓN GUAYLLABAMBA (Pleistoceno Medio)**

Villagomez (2003), se refiere a dos pequeños cuellos volcánicos con forma de domos: Pacpo y Catequilla, que se ubican al Este de Pomasqui y San Antonio (mapa 2.1). Estos contienen a rocas pertenecientes al miembro Domos; Pacpo está compuesto de subintrusivos cuarzodioríticos a riolíticos, además de

xenolitos andesíticos, mientras que Catequilla contiene andesitas negras. Las rocas que componen el miembro domos, intruyen y deforman a las rocas de la formación San Miguel que se encuentran recubiertos por la formación Cangahua.

Hacia el Noreste de Pomasqui, en las canteras ubicadas en las coordenadas 9995000/786000, existen productos volcánicos primarios, como flujos de lava, junto con flujos piroclásticos de tipo block & ash. También incluye depósitos de avalanchas. Los flujos de lava tienen composición andesítica y la fuente parece estar ubicada en los cuellos de Pacpo, Catequilla (Villagomez 2003).

En los pozos de exploración con recuperación de testigos (Pusuquí y Vsap-1) y los de explotación, no se reportaron rocas que pertenezcan a esta formación en la cuenca Pusuquí-San Antonio, en los límites considerados para el área del acuífero en estudio (figura 1.3; mapa 2.1)

- **FORMACIÓN MACHÁNGARA (Pleistoceno Superior)**

Esta formación está presente en los testigos de la perforación Pusuquí (anexo I, perforaciones). Perforaciones realizadas más al Norte, en el sector de Pomasqui, (anexo I, perforación Vsap-1) no interceptan a esta formación, por lo que se presume que va reduciendo su espesor, hasta desaparecer en el sector antes mencionado.

En Pusuquí (anexo I, perforación Pusuquí), se observó una secuencia caracterizada por ser heterogénea y de textura gruesa que está formada por sucesiones de arenas, gravas y bloques de hasta 30 cm de diámetro, además de brechas tobáceas. A esta secuencia, Villagómez (2003), denominó formación Machángara, ya que sus características geológicas no son coincidentes con la formación Guayllabamba.

Mineralógicamente, en muestras tomadas a una profundidad entre 79-91m, se reportó 2% de magnetita, 3% de horblenda, 18% de cuarzo, 1% de plagioclasa, trazas de hematina y líticos de piedra pómez, tobas volcánicas y lavas andesíticas

en un 56% (Análisis mineralógicos y granulométricos, para pozos exploratorios Pusuquí y Vsap-1, EMAAP-Q, 2005)

Estos materiales son consecuencia de procesos eruptivos del Ruco Pichincha (Villagómez 2003, Muñoz 2005)

- **FORMACIÓN CANGAHUA (Pleistoceno Superior-Holoceno)**

Petrográficamente son tobas volcánicas alteradas, de colores amarillentos, cremas hasta kaki, intercaladas por estratos de lapilli blancos y cenizas finas endurecidas, formadas a partir de material piroclástico re TRABAJADO y meteorizado.

Mineralógicamente, basados en las perforaciones Pusuquí y Vsap-1, esta compuesta de 15-20% de cuarzo, 2-5% de hornblenda, 1% de plagioclasa y magnetita, 76-56% de líticos que corresponden a tobas volcánicas, piedra pómez y lavas intermedias a ácidas (Análisis mineralógicos y granulométricos, para pozos exploratorios Pusuquí y Vsap-1, EMAAP-Q, 2005)

La cangahua tiene una textura limo-arenosa, se encuentra estratificada como se observa en los cortes al margen derecho del río Monjas y periclinal en la mayoría de las lomas (Casitagua) de la zona de estudio.

En esta formación se incluyen depósitos de conos aluviales que se desprenden de las estribaciones orientales del volcán Pichincha hacia los principales drenajes (río Monjas-San Antonio) que llegan a las subcuencas.

- **FLUJOS PIROCLÁSTICOS PULULAHUA (Holoceno)**

Flujos piroclásticos tipo block y ash, se observaron a partir de los 2400 msnm al margen del río Monjas-San Antonio. Están compuestos de flujos provenientes de los domos La Marca, Cosa-Minga, Shaygua que están relacionados con el Complejo Volcánico Pululahua (Andrade 2002).

Los flujos se observaron en los cortes de las quebradas al Noroeste de localidad de San Antonio, así como en los registros de la perforación sap-2 (anexo I, perforación sap-2), ubicada en el sector del monumento de la mitad del mundo; están compuestos por bloques que corresponden a rocas de composiciones dacíiticas y andesíticas, además de una brecha gris clara con tonalidades rojizas.

- **DEPÓSITOS LACUSTRES (Holoceno)**

Hacia el eje de la cuenca de San Antonio, existen depósitos lacustres con aporte volcánico. Se observó una secuencia de aproximadamente 5m de espesor compuesta por cenizas volcánicas de color gris claro, con tamaño de grano muy fino en la base, mientras que en la parte media se observó cenizas más gruesas, con intercalaciones de arena fina de color gris oscuro. Hacia el tope de la secuencia, se encontró fragmentos de pómez blanquecinos, intercalados con ceniza más fina de tonalidades grises claras. Cabe señalar que en el tope se evidenció ceniza poco arcillosa que contiene material carbonoso.

Sobreyaciendo la secuencia descrita, se observó turba bien estratificada de color negro a gris oscuro con material orgánico (raíces y maderas) intercalada con estratos centimétricos de ceniza fina, la misma que termina esta secuencia. (anexo I, perforaciones Ing Navarro, sap-1, sap-2).

- **DEPOSITOS DEL PULULAHUA (Holoceno)**

Se encuentran relleno los valles de Pomasqui y San Antonio; de acuerdo con (Andrade, 2002) son lahares, surges y caídas. Los depósitos están mejor desarrollados hacia la zona de San Antonio. Los mejores afloramientos se encontraron en los cortes del río Monjas (anexo I, columnas estratigráficas) y la quebrada Colorada.

Son caídas de cenizas finas, con fragmentos de pómez blancos, andesitas y dacitas grises claras a oscuras; lapilli de pómez blanquecino, con estratificación subhorizontal (anexo I, perforaciones).

- **DEPOSITOS LA CAROLINA (Holoceno)**

En el sector de Pusuquí, los reportes de pozos exploratorios (Pusuquí) y de explotación (Mutualista Pichincha, Elbaconsa), confirman la presencia de sedimentos caracterizados por paquetes de limos, arcillas, arenas medias a gruesas, intercaladas con cenizas y caídas de pómez (anexo I, perforaciones), a los que Alvarado en 1996, denomina como depósitos La Carolina. Sin embargo pozos más al Norte, en el sector de Pomasqui, en los registros de las perforaciones Pofasa y Vsap-1, no se reportaron estos depósitos, lo que hace deducir que van reduciendo su espesor hasta desaparecer en la zona de Pomasqui.

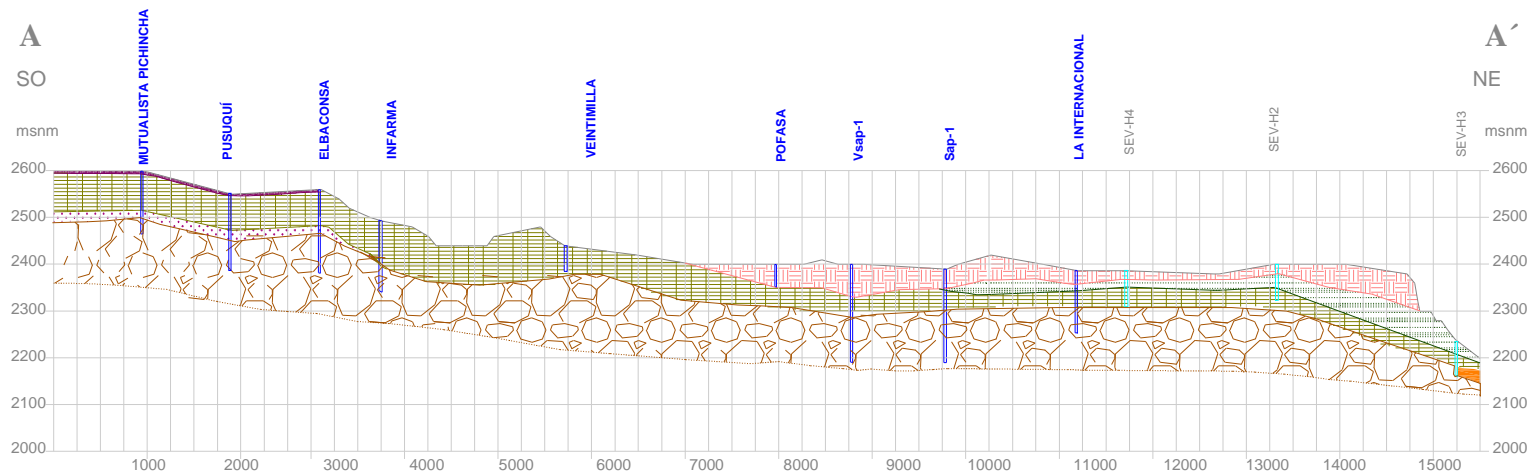
2.3.1 CORTES GEOLÓGICOS

Un corte longitudinal A-A' y cuatro cortes transversales seleccionados a conveniencia por sectores: B-B' (Pusuquí), C-C' (Pomasqui) y D-D' (San Antonio de Pichincha) y E-E' (Pusuquí), permiten distinguir los depósitos y formaciones establecidas para el área en estudio. Las ubicaciones de los cortes se observan en el mapa 2.1

El corte Longitudinal, atraviesa todo el valle Pusuquí-San Antonio, en dirección Suroeste-Noreste, desde el pozo Mutualista de Pichincha (sector Pusuquí), hasta el sev-3 en el sector de la quebrada La Portada (mapa 2.1). En este corte se puede observar los rellenos de la subcuenca Pusuquí-San Antonio, además de las formaciones reportadas en cada uno de los pozos y sondeos eléctricos analizados.

Los cuatro cortes transversales, tienen dirección Este-Oeste en cada uno de los sectores mencionados.

CORTE LONGITUDINAL PUSUQUÍ - SAN ANTONIO (A-A')

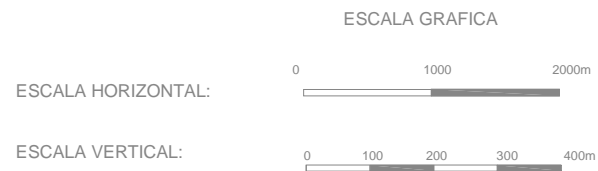


LEYENDA

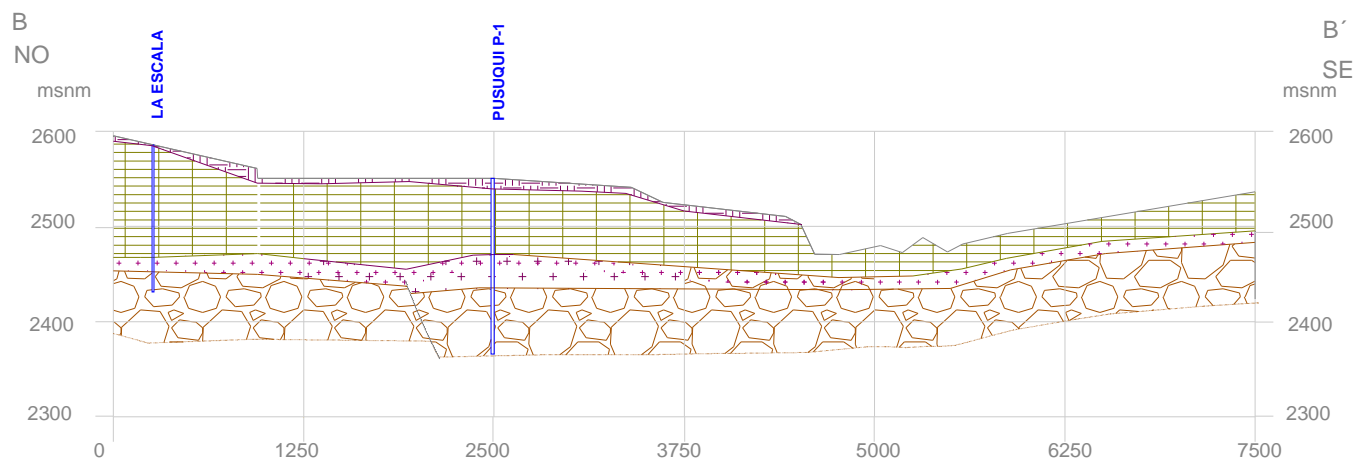
EDADES	
HOLOCENO	DEPOSITOS LA CAROLINA
HOLOCENO	DEPOSITOS PULULAHUA
HOLOCENO	FLUJOS PULULAHUA
HOLOCENO	Fm. CANGAHUA
PLEISTOCENO SUP.	Fm. MACHANGARA
PLEISTOCENO TARDÍO	Fm. SAN MIGUEL
PLEISTOCENO TEMPRANO	
PLIOCENO TARDÍO	VOLCANICOS CASITAGUA

SIGNOS CONVENCIONALES

	SUPERFICIE DEL TERRENO
	PERFORACIÓN
	SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV-3)
	CONTACTO LITOLÓGICO
	CONTACTO INFERIDO



CORTE TRANSVERSAL B - B'
(SECTOR PUSUQUÍ)



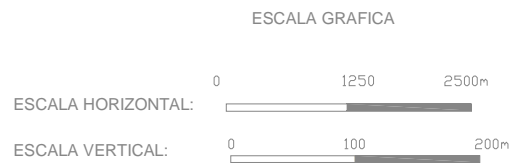
LEYENDA

EDADES

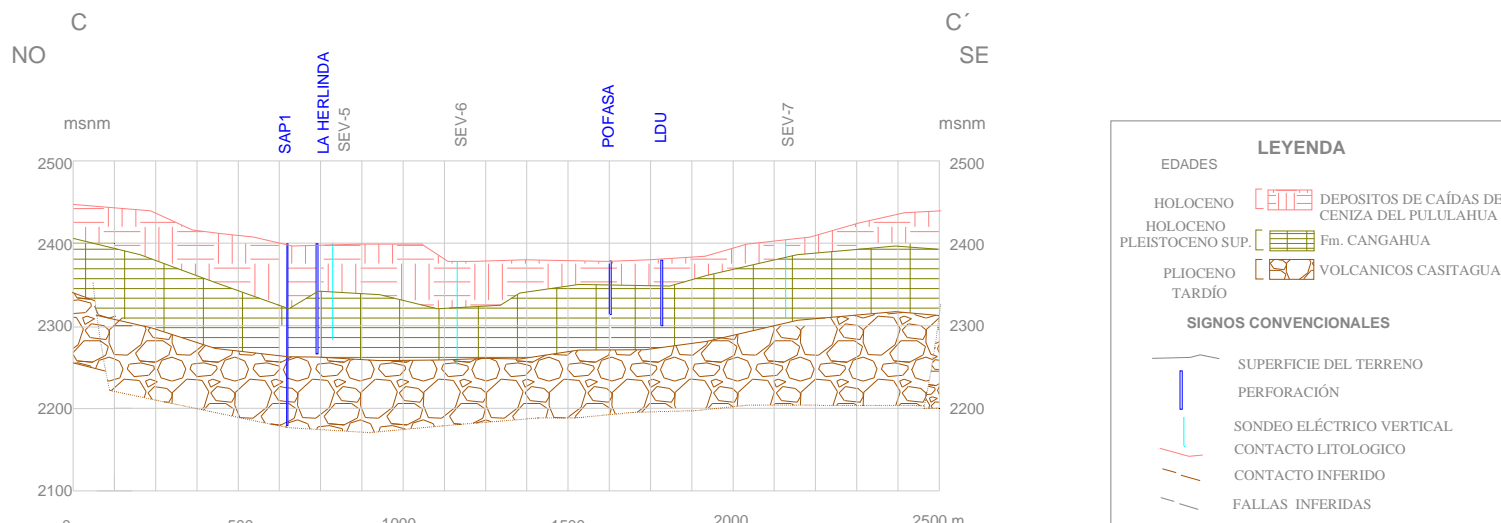
HOLOCENO		DEPOSITOS LA CAROLINA
HOLOCENO		Fm. CANGAHUA
PLEISTOCENO SUP.		Fm. MACHANGARA
PLEISTOCENO TARDÍO		Fm. MACHANGARA
PLIOCENO TARDÍO		VOLCANICOS CASITAGUA

SIGNOS CONVENCIONALES

	SUPERFICIE DEL TERRENO
	PERFORACIÓN
	CONTACTO LITOLÓGICO
	CONTACTO INFERIDO
	FALLA INFERIDA



CORTE TRANSVERSAL C - C'
(SECTOR POMASQUI)



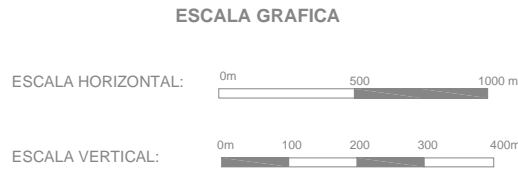
LEYENDA

EDADES

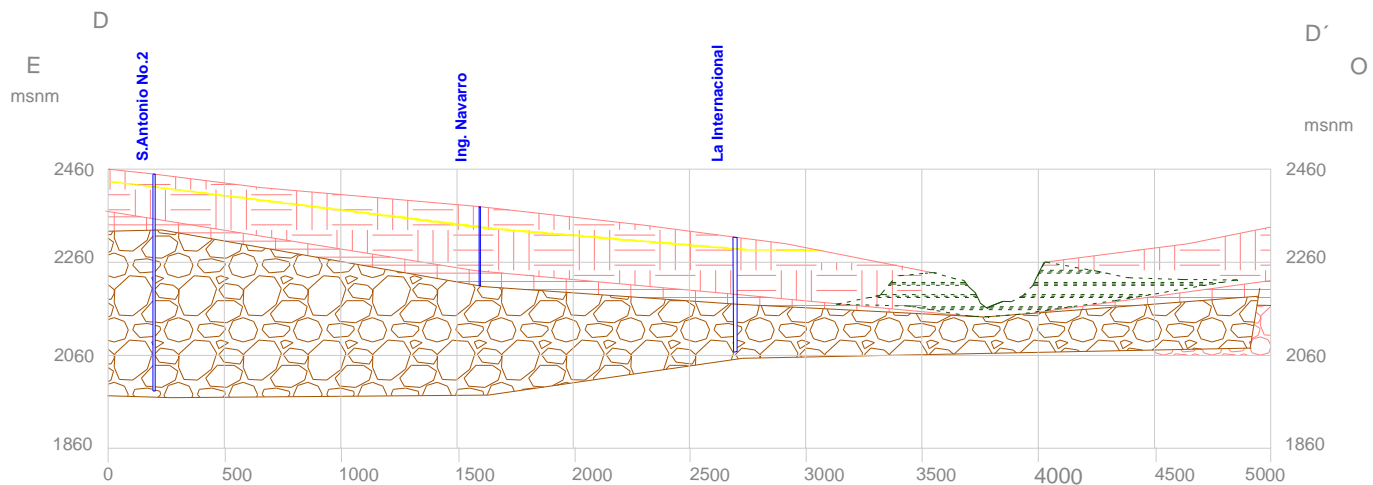
- HOLOCENO [Red hatched] DEPOSITOS DE CAÍDAS DE CENIZA DEL PULULAHUA
- HOLOCENO [Green hatched] Fm. CANGAHUA
- PLEISTOCENO SUP. [Orange hatched] VOLCANICOS CASITAGUA TARDÍO

SIGNOS CONVENCIONALES

- [Black line] SUPERFICIE DEL TERRENO
- [Blue vertical line] PERFORACIÓN
- [Cyan vertical line] SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL
- [Red dashed line] CONTACTO LITOLOGICO
- [Orange dashed line] CONTACTO INFERIDO
- [Grey dashed line] FALLAS INFERIDAS



CORTE TRANSVERSAL D-D'
(SECTOR SAN ANTONIO DE PICHINCHA)



LEYENDA

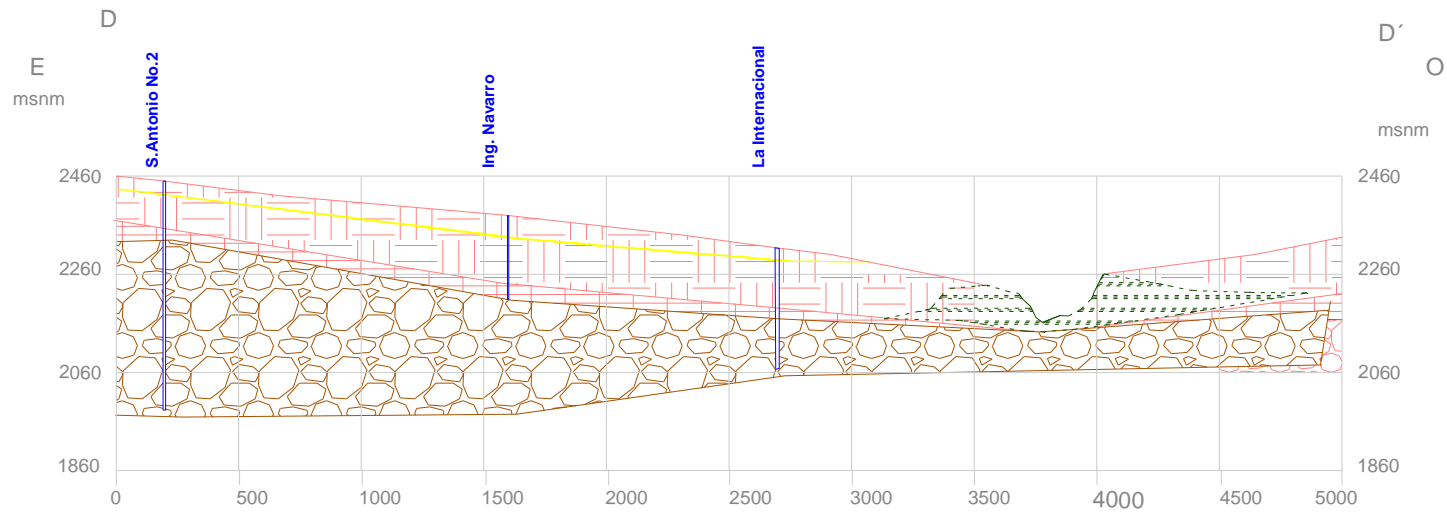
EDADES	
HOLOCENO	DEPOSITOS DE CAÍDAS DE CENIZA DEL PULULAHUA
HOLOCENO	DEPÓSITOS LACUSTRES
HOLOCENO SUP.	DEPÓSITOS DE FLUJOS PIROCLÁSTICOS DEL PULULAHUA
HOLOCENO SUP.	Fm. CANGAHUA
PLEISTOCENO SUP.	VOLCÁNICOS CASITAGUA
PLIOCENO TARDÍO	
SIGNOS CONVENCIONALES	
	SUPERFICIE DEL TERRENO
	PERFORACIÓN
	CONTACTO LITOLÓGICO
	CONTACTO INFERIDO

ESCALA GRAFICA

ESCALA HORIZONTAL:

ESCALA VERTICAL:

CORTE TRANSVERSAL D-D'
(SECTOR SAN ANTONIO DE PICHINCHA)



LEYENDA

EDADES	
HOLOCENO	DEPOSITOS DE CAÍDAS DE CENIZA DEL PULULAHUA
HOLOCENO	DEPÓSITOS LACUSTRES
HOLOCENO	DEPÓSITOS DE FLUJOS PIROCLÁSTICOS DEL PULULAHUA
PLEISTOCENO SUP.	Fm. CANGAHUA
HOLOCENO	VOLCÁNICOS CASITAGUA
PLEISTOCENO SUP.	
PLIOCENO	
TARDÍO	
SIGNOS CONVENCIONALES	
	SUPERFICIE DEL TERRENO
	PERFORACIÓN
	CONTACTO LITOLÓGICO
	CONTACTO INFERIDO

ESCALA GRAFICA

ESCALA HORIZONTAL:

ESCALA VERTICAL:

EPOCA	Esp. medio (m)	FORMACIONES Y DESCRIPCIÓN
HOLOCENO	5	<u>Depósitos La Carolina</u> limos arenosos, arenas limosas, limos arcillosos
	40	<u>Depósitos de caídas de ceniza del Pululahua</u> Cenizas finas con fragmentos de pómez, andesitas y dacitas, intercaladas con lapilli de pómez
	15	<u>Depósitos Lacustres</u> Secuencia de cenizas volcánicas con intercalaciones de arenas. Turba intercalada por ceniza fina
	50	<u>Depósitos de flujos piroclásticos del Pululahua</u> Rocas dacíticas, andesíticas y brechas con líticos básicos.
HOLOCENO PLEISTOCENO SUP	75	<u>Fm Cangahua</u> Tobas volcánicas alteradas, intercaladas por lapilli de pómez y cenizas endurecidas <u>Fm Machángara</u> Depósitos de avalancha, flujos de lodo, flujos piroclásticos y lahares, secuencias de arenas, gravas y bloques, además de brechas tobáceas
PLEISTOCENO TARDÍO	10	
PLEISTOCENO TEMPRANO	70	<u>Fm San Miguel</u> Sedimentos de origen volcánico areniscas grises verdosas, intercaladas con limolitas tobáceas y cenizas vítreas
PLIOCENO TARDÍO	100	<u>Volcánicos Casitagua</u> Depósitos de avalancha, flujos piroclásticos y de lava. Secuencia de arenas café claro a gris verdoso con intercalaciones de tobas café-amarillenta con gránulos de pómez.

Figura 2.3 Columna estratigráfica generalizada del relleno de la subcuenca Pusuquí-San Antonio, donde se encuentra el acuífero en estudio

2.4 IDENTIFICACIÓN Y LÍMITES DE ESTRATOS EN EL ACUÍFERO PUSUQUÍ-SAN ANTONIO

Con base en la morfología, geología (perforaciones, sondeos eléctricos; anexo I) e hidrogeología (inventario de puntos de agua; capítulo IV), se identificaron las áreas de acumulación, recarga y descarga; asimismo se determinaron los estratos, formaciones y límites del acuífero en estudio (mapa 2.2).

El acuífero, se caracteriza por tener una configuración alargada (aproximadamente 11 Km) y estrecha, con un ancho de aproximadamente 2 Km. Está contenido en el relleno volcanosedimentario de la subcuenca del mismo nombre, en la que se diferenciaron tres formaciones geológicas:

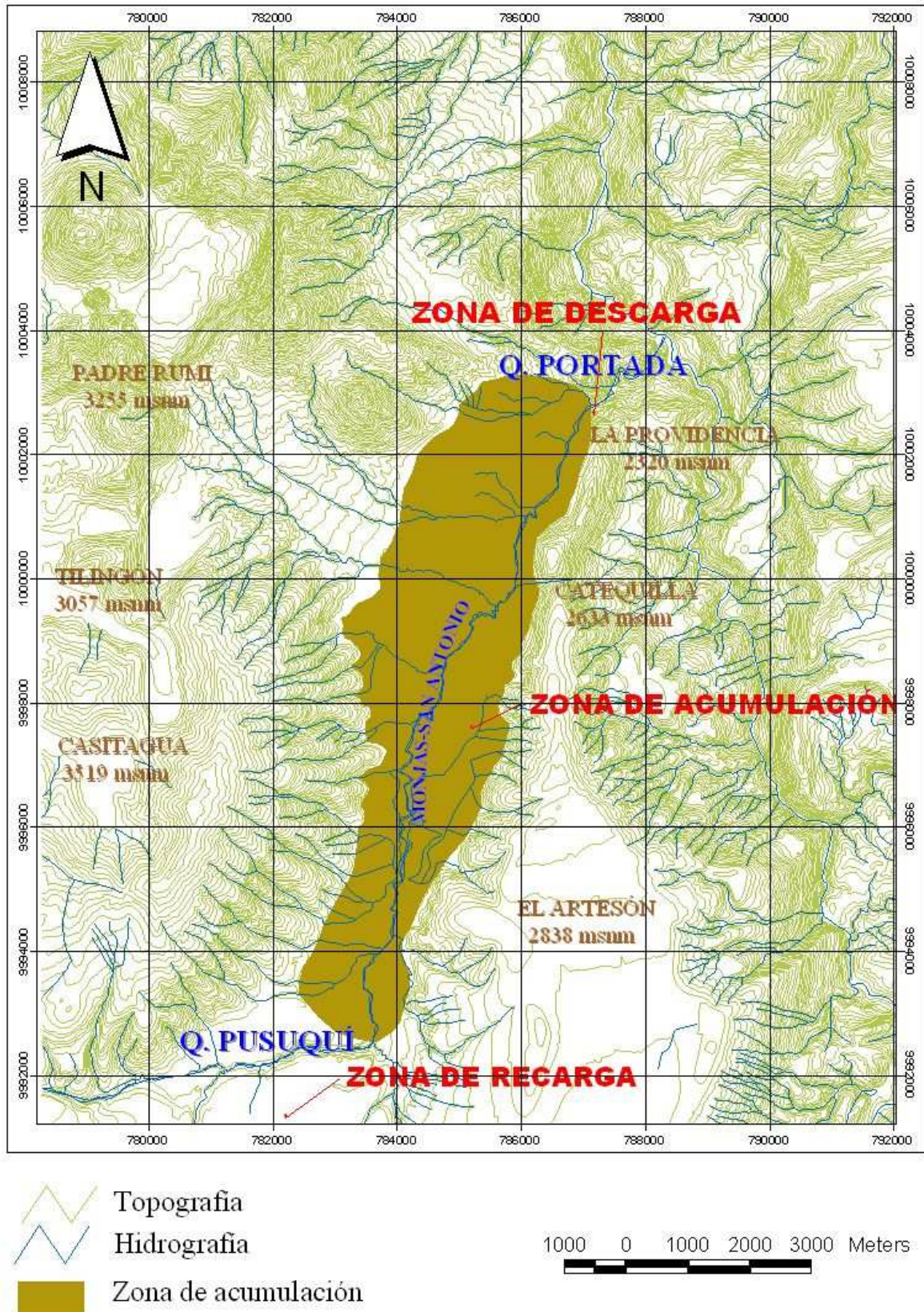
- Depósitos Casitagua: se encuentran a partir de los 100 m de profundidad, su espesor es desconocido ya que ninguna perforación alcanzó la base de estos depósitos. De acuerdo a las perforaciones exploratorias Pusuquí y Valle San Antonio de Pichincha (Vsap-1), corresponden a material variado, con secuencias de limos arenosos, arenas limosas; gravas, bloques andesíticos, flujos de lava. (geología local; subcapítulo 2.3)
- Formación Cangahua: tiene un espesor promedio de 70 m, corresponde a limos arenosos y arenas limosas intercaladas por lapilli de pómez y cenizas finas (geología local; subcapítulo 2.3), además de lentes de arena, grava y bloques de composición andesítica que se encuentran entre los 80-95 m de profundidad.
- Depósitos y flujos Pululahua: con un espesor variable entre 60 y 70 m. Son estratos constituidos de limos arenosos, arenas limosas, arenas medias y gruesas con intercalaciones de lapilli de pómez (geología local; subcapítulo 2.3). Se distribuyen en toda la zona de estudio, haciéndose más potente a partir de la Quebrada Colorada, con un espesor promedio de 100 m (anexo I, columna estratigráfica N° 4).

El acuífero está ubicado en la cuenca del río Monjas, tiene una zona de acumulación con un área de 22 km², una zona de descarga ubicada al Noreste a partir de los 2200 msnm y una zona de recarga ubicada al Suroccidente, en la cota 2600 msnm. A la zona de recarga, se la dividió en zona de recarga directa o de infiltración directa, debido a las infiltraciones procedentes de las precipitaciones (que se analizarán en el capítulo 3) y la zona de recarga debido al escurrimiento subterráneo, a través de los estratos descritos en el relleno volcanosedimentario que contiene al acuífero en estudio, el que está constituido de estratos con características litológicas similares y continuidad en la estratificación de las formaciones y miembros localizados al Sur, en el acuífero de Quito (Muñoz 2005).

La zona de acumulación o infiltración directa, tiene los siguientes límites:

- Al Sur la quebrada Pusuquí, la que marca una depresión del relieve entre el Noroccidente de Quito y la subcuenca Pusuquí-San Antonio.
- Al Norte la quebrada La Portada, la que marca un cambio litológico en planta y perfil (perfil geológico A-A´).
- Al Este el levantamiento Velasco Carcelén, Catequilla, La Providencia
- Al Oeste el volcán Casitagua.

La zona de descarga, se encuentra a partir de la quebrada La Portada, constituye el límite Norte del acuífero, el que marca un cambio litológico, evidenciado en la aparición de la formación San Miguel (corte geológico A-A´).



Mapa 2.2 Límites y zonas del acuífero en estudio

CAPITULO III

3. HIDROMETEREOLOGIA

3.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo expone la cuantificación del recurso hídrico, para lo cual se analizó las variables de precipitación, temperatura, evapotranspiración, infiltración y escorrentía superficial.

El balance hídrico se determinó en la zona de acumulación o infiltración directa, debido a que es la única zona que registra información hidrometeorológica; a pesar de que la información es limitada, se obtuvo una buena aproximación del balance (descrito en el subcapítulo 3.7), así también se consideró el aporte subterráneo proveniente del Sur, del acuífero de Quito, debido a que esa es la zona considerada como recarga al acuífero en estudio (capítulo 2).

3.2 INFORMACIÓN DISPONIBLE

Los datos que se utilizaron están registrados en cuatro estaciones meteorológicas (cuadro 3.1). La estación San Antonio de Pichincha, perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), es la única ubicada en la zona de estudio y es tomada como referencia para la homogenización de los datos de las tres restantes ubicadas en la periferia Sur, al Noroccidente de Quito; estas estaciones están controladas por la Empresa de Alcantarillado y Agua de Quito (EMAAP-Q).

Nº	ESTACION	COD.	PERÍODO	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)
1	COTOCOLLAO	M342	1963-1997	9989243	778864	2720
2	EL CONDADO	M618	1980-1997	9988997	779390	2710
3	CALDERON	M345	1949-1997	9989120	787094	2645
4	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	M115	1980-1997	9998862	785300	2402

Cuadro 3.1 Ubicación de estaciones Meteorológicas

3.3 CLIMATOLOGÍA

Las condiciones climáticas están influenciadas por factores físicos como el relieve, la morfología, dirección del viento, además de la precipitación y temperatura. Para la zona de estudio, la temperatura promedio es de 16°C, (INAMHI, Estación San Antonio de Pichincha), teniendo como valores máximos y mínimos medios 17,6°C y 14,5°C, respectivamente (figura 3.1).

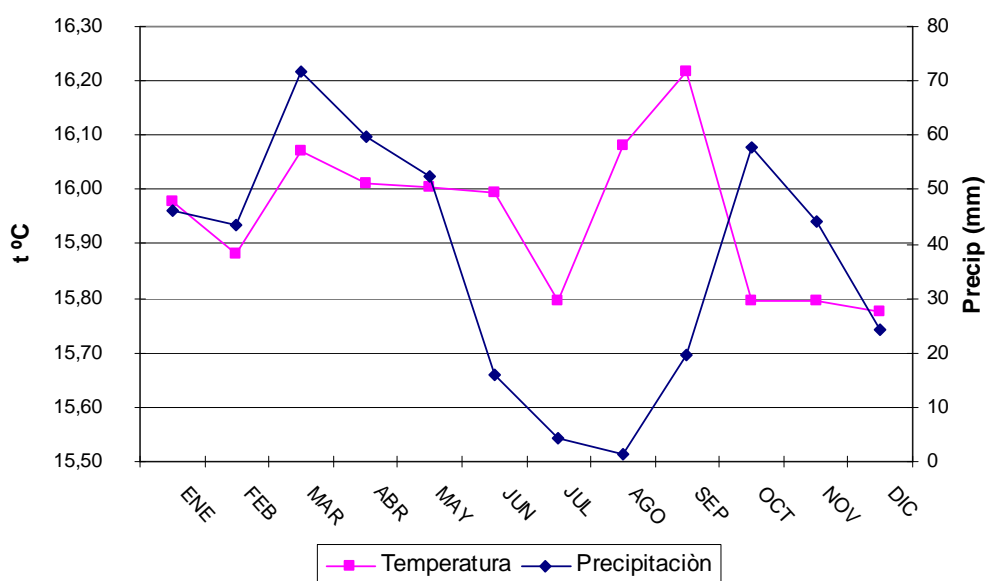


Figura 3.1 Relación de la precipitación y la temperatura en la zona de acumulación (estación San Antonio de Pichincha)

La precipitación, esta influenciada por el relieve; la presencia de las cadenas montañosas al Este (Calderón-Catequilla) y al Oeste (Casitagua), constituyen barreras que controlan la distribución de las lluvias, su importancia y la influencia en otros parámetros se tratará más adelante, en Hidrología.

A partir de los valores de precipitación (cuadro 3.2) con la temperatura (figura 3.1), se deduce que el clima del valle corresponde al ecuatorial mesotérmico semiárido temperado (Pourrut, 1995).

3.4 HIDROGRAFÍA

El drenaje principal en el área de estudio, constituye el río Monjas-San Antonio, que la atraviesa longitudinalmente en dirección Nor-Noreste. A este río confluyen aproximadamente 25 quebradas que permanecen secas la mayor parte de tiempo, especialmente las situadas en la parte central de la cuenca.

El río Monjas-San Antonio, se origina en las estribaciones del volcán Ruco Pichincha, los caudales registrados en un período de cuatro años (2002-2005) desde la estación El Colegio hasta la estación San Antonio de Pichincha (Unidad Ejecutora de Proyectos e Hidrología de la EMAAP-Q) oscilan entre 1.1 m³/s, en época de sequía hasta 1.7 m³/s en época de sequía moderada a baja, sin llegar a lluviosa.

3.5 HIDROLOGÍA

3.5.1 PRECIPITACIÓN

En el área analizada, la precipitación presenta una distribución heterogénea, con mayores precipitaciones en los meses de marzo y abril (71,7mm; 59,6 mm), en contraste con los meses de julio y agosto, donde alcanza un valor mínimo de 1,5 mm (cuadro 3.2).

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	57.1	87.1	33.8	107.4	7.6	7.3	0.8	18.8	23.5	44.5	37.0	27.9
1981	9.8	28.2	85.1	92.5	32.7	7.1	5.9	13.8	7.9	14.3	47.0	44.9
1982	24.0	32.3	48.5	92.5	103.5	2.8	15.2	4.8	19.5	76.8	99.4	93.5
1983	33.3	42.5	92.9	88.8	35.7	8.1	2.8	11.3	4.8	47.4	64.5	57.1
1984	19.5	90.9	44.7	76.4	15.9	22.4	8.2	3.6	29.8	51.8	60.2	17.5
1985	19.6	23.2	26.3	79.3	67.8	20.3	2.8	20.5	31.9	11.6	23.7	24.4
1986	16.2	57.9	85.4	69.1	61.7	1.0	3.0	0.7	17.2	79.4	31.3	19.7
1987	48.3	33.3	51.9	55.9	87.1	0.3	5.5	14.6	43.6	19.5	0.0	10.5
1988	29.5	32.9	12.4	148.6	44.6	49.4	23.4	18.2	52.5	38.0	58.2	18.9
1989	77.5	43.7	79.6	43.4	69.9	35.8	5.4	5.8	75.4	63.5	6.3	23.5
1990	12.7	36.0	23.5	48.3	14.5	17.7	15.5	6.1	8.0	136.1	7.6	30.0
1991	60.3	9.1	53.1	34.1	69.7	15.0	13.0	3.4	26.0	6.0	78.4	39.2
1992	18.4	36.2	19.5	60.7	44.2	13.9	2.6	2.1	34.2	35.9	30.1	17.8
1993	70.9	99.2	107.3	130.3	41.9	1.0	0.0	0.0	27.7	47.8	42.1	40.3
1994	68.9	121.5	130.1	59.5	95.8	0.0	0.0	0.0	0.6	48.3	76.7	0.0
1995	10.4	22.2	90.4	0.5	10.8	78.0	0.0	0.0	0.4	72.8	0.0	0.0
1996	26.8	8.5	46.6	88.2	142.1	2.2	0.0	0.0	27.8	22.6	38.4	63.7
1997	101.8	14.0	103.4	55.4	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6	92.2	22.6	2.4
MEDIA	46.3	43.3	71.7	59.6	52.4	16	4.4	1.5	19.7	57.7	44.2	24.2

Cuadro 3.2 Valores de precipitación media mensual en la zona de acumulación; estación San Antonio de Pichincha

Las estaciones con las que se contó para el análisis de precipitación cuentan con registros que temporalmente no son coincidentes; con el fin de no distorsionar la tendencia pluviométrica de la zona, se recurrió a homogeneizar los datos de los registros de las estaciones analizadas (cuadro 3.1) en el rango de 17 años (1980-1997), obteniéndose los valores de precipitaciones medias multi anuales para cada estación (cuadro 3.3).

A partir de los datos del cuadro 3.3 de precipitación media multianual de las estaciones analizadas y mediante una regresión lineal que compara este parámetro con la altura, se obtuvo los puntos de distribución de la precipitación a lo largo de la zona de acumulación (capítulo 2).

NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	SUMA
COTOCOLLAO	58,81	60,86	94,62	111,92	59,86	30,44	19,16	23,67	57,85	93,77	61,30	50,04	60,2	722,3
CONDADO	52,7	73,3	89,3	114,3	62,8	24,9	14,4	19,7	52,4	86,0	60,9	45,5	58,0	696,1
CALDERON	43,2	42,6	77,8	77,5	54,2	13,8	1,4	4,0	27,9	54,5	54,4	31,2	40,2	482,3
SAN ANTONIO	46,3	43,3	71,7	59,6	52,4	16,0	4,4	1,5	19,7	57,7	44,2	24,2	36,7	441,0

Cuadro 3.3 Cuadro de valores de precipitación media multianual

Con la ayuda del programa Arcview 3.2, para la interpolación, el trazado triangular y los cálculos, se generó el mapa de Isoyetas (mapa 3.1) en el que se cuantificó la precipitación media como:

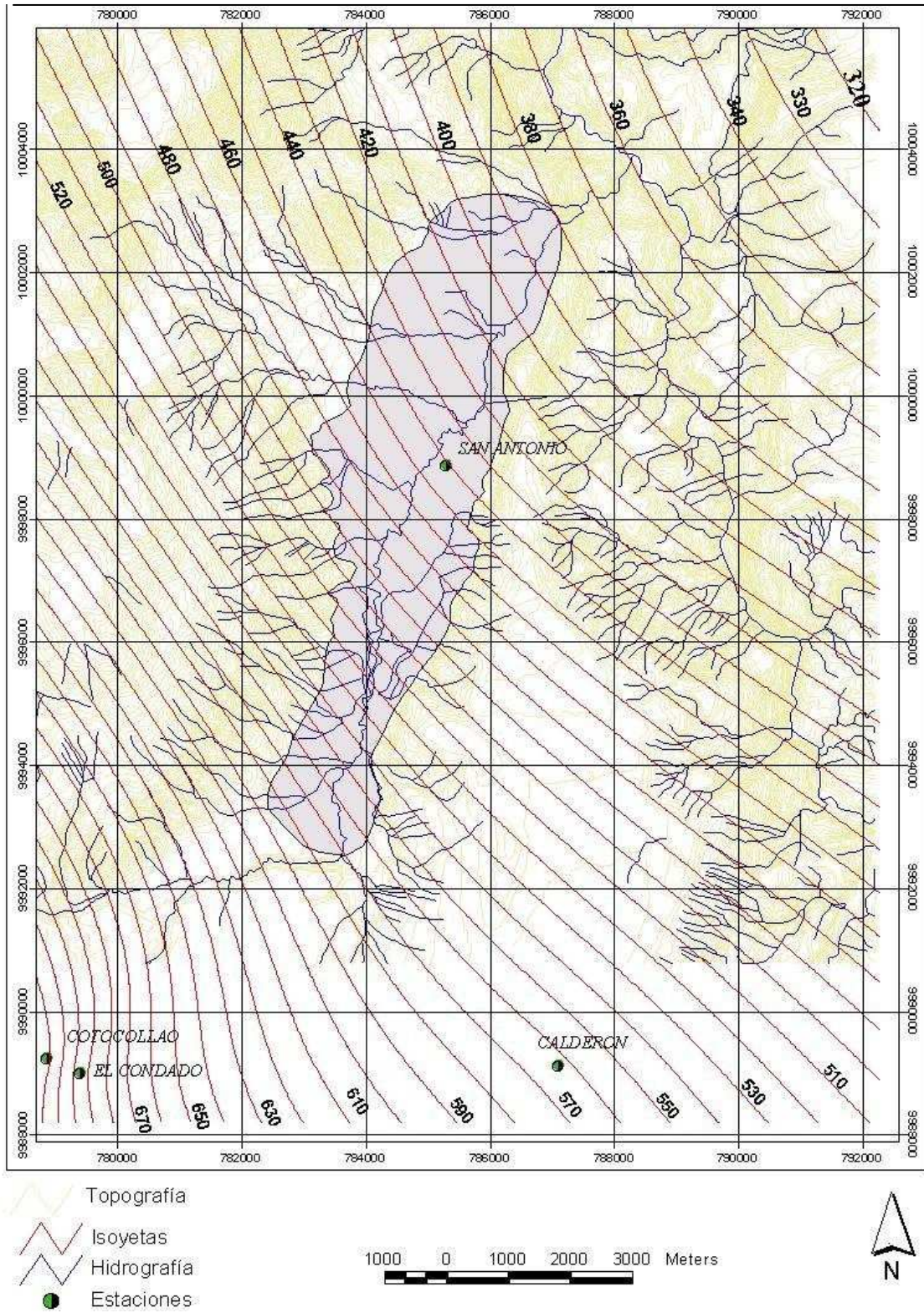
$$Pm = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N-1} P_{i+1/2} A_{i,i+1} \quad (2.1)$$

En donde:

$A_{i,i+1}$ = área delimitada por dos isoyetas consecutivas $P_{i+1/2} = (P_1 + P_{i+1}) / 2$

A = área total de la cuenca; 22Km² con N número de isoyetas.

Con este análisis y aplicando la fórmula 2.1, se obtuvo 585.4 mm de precipitación media multi anual para la zona de acumulación o infiltración directa (definida en el capítulo 2).



Mapa 3.1 Isoyetas (Distribución de la lluvia con respecto la altitud)

3.5.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es el proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y vuelve a la atmósfera en forma de vapor. En este proceso influyen factores muy variables y difíciles de medir como el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de las plantas. Con el fin de optimizar estos factores, Thornthwaite, 1948, introdujo un nuevo concepto de “evapotranspiración potencial” o pérdidas por evapotranspiración (Orsolini, 2000).

Mediante la aplicación de este concepto y basado en ecuaciones empíricas, se estimó la evapotranspiración potencial, por la relación de Thornthwaite (1948):

$$E_m = 16 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a \quad (3.1)$$

En donde:

E_m = evapotranspiración potencial mensual en mm; para un mes ficticio de 30 días y una insolación teórica durante 12 de las 24 horas del día.

T = temperatura media mensual, expresada en °C

I = índice calórico anual, obtenido de la suma de índices mensuales (i) y se expresa con la fórmula:

$$I = \sum_1^{12} i \quad (3.2)$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (3.3)$$

a = función del índice calórico anual (I), se expresa:

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1972 \times 10^{-5} I + 0.49239 \quad (3.4)$$

En coordenadas logarítmicas, las curvas representativas de la ecuación 3.1, son rectas correspondientes a lugares y climas diferentes. De la experimentación, estas rectas concurren en un punto de coordenadas (E,T) donde, E= 135mm y T=26,5 °C (Orsolini, 2000)

MESES												
Lat.grad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.00	1.00	0.93	0.94
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	0.98	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	0.97	0.97	0.86	0.85
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	0.96	0.96	0.83	0.81
45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	0.94	0.94	0.79	0.75
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	0.92	0.92	0.76	0.70

Cuadro 3.4 Factor de ajuste para la evapotranspiración potencial computada por la ecuación de Thornthwaite. (referida al hemisferio Norte), tomado de Orsolini ,2000

Tomando en cuenta la duración real del mes 30 días y el número máximo de sol de 12 horas, se introduce una constante K_t (cuadro 3.4), la misma que constituye un factor de ajuste para la evapotranspiración potencial calculada por la fórmula de Thornthwaite, con lo que tenemos:

$$ETP = K_t E_m \quad (3.5)$$

Aplicando las fórmulas mencionadas, se obtuvo los valores de evapotranspiración potencial, registrados en el cuadro 3.5

Mes	Temperatura del aire °C	Evapotranspiración Thornwaite (mm)			
		i	E_m	kt	ETP
Ene	16	5.8	67.0	1.04	69.63
Feb	15.9	5.8	66.2	0.94	62.26
Mar	16.1	5.9	67.7	1.04	70.38
Abr	16	5.8	67.0	1.01	67.62
May	16	5.8	67.0	1.04	69.63
Jun	16	5.8	67.0	1.01	67.62
Jul	15.8	5.7	65.5	1.04	68.14
Ago	16.1	5.9	67.7	1.04	70.38
Sep	16.2	5.9	68.4	1.01	69.08
Oct	15.8	5.7	65.5	1.04	68.14
Nov	15.8	5.7	65.5	1.01	66.18
Dic	15.8	5.7	65.5	1.04	68.14
Media	15.96		799.9		817.21
		69.55	= l	Reserva	23.2 mm/mes
		1.718	= a	Máx. =	
l:	Índice calórico anual, obtenido de la suma de índices mensuales				
a:	Función del índice calórico anual				
E_m	Evapotranspiración mensual (mm)				
EPT	Evapotranspiración potencial (mm)				

Cuadro 3.5 Cálculo de Evapotranspiración Potencial para condiciones medias, en la zona de acumulación (estación San Antonio de Pichincha)

Comparando los valores de la evapotranspiración potencial con la precipitación media multianual, que consta en el cuadro 3.3; se calculó la evapotranspiración real (cuadro 3.6).

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ETP	69.63	62.26	70.38	67.62	69.63	67.62	68.14	70.38	69.08	68.14	66.18	68.14	817.21
P	50.25	55.00	83.36	90.83	57.29	21.29	9.85	12.19	39.45	72.99	55.20	37.72	585.42
P - ETP	-19.38	-7.26	12.98	23.21	-12.34	-46.34	-58.29	-58.19	-29.63	4.85	-10.97	-30.42	-231.78
Delta R	0.00	0.00	12.98	23.21	-12.34	-10.86	0.00	0.00	0.00	4.85	-4.85	0.00	
R	0.00	0.00	12.98	23.20	10.86	0.00	0.00	0.00	0.00	4.85	0.00	0.00	
ETR	50.25	55.00	70.38	67.62	69.63	32.15	9.85	12.19	39.45	68.14	60.05	37.72	572.43
Def	19.38	7.26	0.00	0.00	0.00	35.47	58.29	58.19	29.63	0.00	6.12	30.42	244.77
Exc	0.00	0.00	0.00	12.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.99
Q (mm)	0.00	0.00	0.00	6.49	3.25	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Q (m3/s)	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01

ETP: Evapotranspiración potencial de Thornthwaite (mm)
P: Precipitación media, calculada para la zona de infiltración directa.
R: reserva máxima disponible, remanente de agua existente en el suelo, escurrimiento superficial
ETR: Evapotranspiración real (mm)
Def: Déficit de agua
Exc: Exceso de agua
Q: Caudal escurrido

Cuadro 3.6 Cálculo de la evapotranspiración real

Del cuadro 3.6, se obtuvo 572.43 mm de evapotranspiración real, lo que corresponde al 97.8% de la precipitación media mensual; el escurrimiento superficial tiende a cero, consecuentemente, un 2.2% corresponde al aporte a la infiltración.

Cabe resaltar que el escurrimiento superficial, no se estimó por mediciones de lluvias y crecidas simultáneas. Debido a la falta de información de la intensidad de las precipitaciones y duración de las mismas, se estimó el porcentaje a partir del balance hídrico mensual; considerando el déficit de la lluvia y los excedentes (agua que no puede ser retenida en el suelo y que se escapa a la escorrentía superficial o subterránea) mes a mes.

Debido a que la evapotranspiración real es muy alta (97.8% de la precipitación) se verificó el método de cálculo utilizado en el balance medio mensual (cuadro 3.7); se realizó un análisis de sensibilidad para la evapotranspiración calculada por el método de Thornthwaite, modificando inicialmente la temperatura en un $\pm 10\%$.

A continuación, se complementó este análisis modificando en el mismo modelo numérico, la precipitación en un $\pm 10\%$ (anexo II, análisis de sensibilidad). El porcentaje (10%) corresponde al común utilizado en las variaciones de periodos secos a lluviosos (Departamento Acuífero de Quito, Ing Tapia comunicación personal)

Como resultado, los porcentajes de evapotranspiración, escorrentía e infiltración no variaron significativamente, con relación al cuadro 3.6; se obtuvo rangos de porcentaje de evapotranspiración que oscilan entre 99.1-95.3% de la precipitación para la zona de acumulación o infiltración directa (cuadro 3.7).

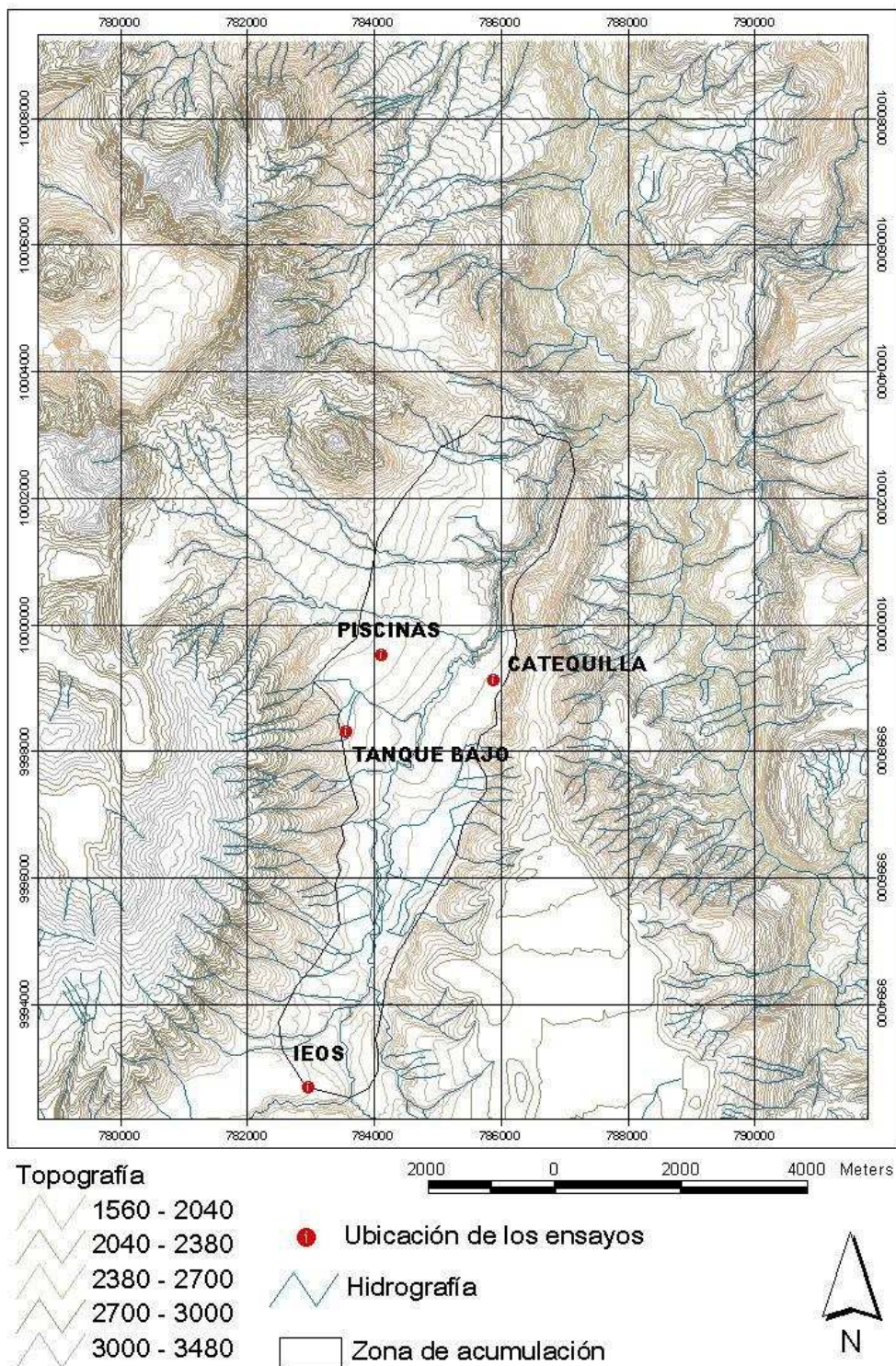
Parámetro	Cond.Iniciales	Temperatura aumentada en un 10%	Temperatura disminuida en un 10%	Precipitación aumentada En un 10%	Precipitación Disminuida en un 10%
Evapotranspiración	97.8	98.8%	96.1%	95.3%	99.1%
Escorrentía	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Infiltración	2.2%	1.2%	3.9%	4.7%	0.9%

Cuadro 3.7 Porcentajes de Evapotranspiración, escorrentía, infiltración para el análisis de sensibilidad del método numérico aplicado

El cuadro 3.7 corrobora el buen manejo del método matemático de cálculo utilizado para la determinación de la evapotranspiración real. Sin embargo, por la alta tasa de evapotranspiración obtenida (cuadro 3.6), se recurrió a analizar los parámetros que intervienen en la infiltración natural, la que esta influenciada por dos tipos de condiciones: la precipitación, que en el caso del valle Pusuquí-San Antonio es baja (cuadro 3.6) y la textura y estructura del suelo, lo que determina la capacidad de campo del mismo.

En la zona de acumulación, se determinó la capacidad de infiltración del suelo, mediante pruebas de infiltración, análisis de tipos de suelo y contenido de humedad del mismo.

Se efectuaron cuatro mediciones puntuales de la tasa infiltración (mapa 3.2), para lo que se utilizó infiltrómetros de doble anillo.



Mapa 3.2 Ubicación de los ensayos de infiltración y contenido de humedad del suelo

La figura 3.2 muestra el infiltrómetro utilizado; consiste en dos tubos de metal cilíndricos de diámetro variable entre 20 - 80 cm y longitud entre 50 - 100cm.

La prueba registró los descensos de agua con el transcurso del tiempo, con lo que se evaluó la velocidad a la cual el agua infiltra el suelo.



Figura 3.2 Prueba con Infiltrómetro de doble cilindro o doble anillo

En los sitios seleccionados, la capacidad de infiltración que se determinó está entre 1,4 -1,7 m/día, que corresponde a suelos de permeabilidad media (De Miguel Fernandez, 1999), de una granulometría limo-arenosa (anexo II, ensayos de clasificación del suelo).

Se determinó también el contenido de humedad del suelo; los valores son muy bajos ya que están en el rango de 0,02% a 7,39% para muestras secas y 1,19 a 15% para muestras húmedas (anexo II, ensayos de clasificación del suelo), lo que determina que la humedad del suelo es reducida y que se trata de suelos con baja capacidad de campo.

Debido a la baja capacidad de campo y al índice de infiltración, la mayor parte del agua infiltrada no se queda retenida en el suelo, por lo que se puede asumir que no aporta mayormente a la evapotranspiración, de tal forma que la evapotranspiración real calculada (cuadro 3.6), por el método de Thornthwaite puede no ajustarse a las condiciones reales, ya que este método tiene limitaciones en el cálculo; estas se deben a que:

- El período de tiempo estimado para el cálculo de los excedentes (un mes, cuadro 3.6), es muy largo para este caso, ya que la capacidad de campo del suelo es baja.
- Los métodos de cálculo (métodos matemáticos, en el método de Thornthwaite) utilizados, manejan fórmulas con mayor validez en las zonas geográficas donde fueron extraídas, pudiendo proporcionar mayores errores en otras regiones, dependiendo de la diferencia de las características climatológicas entre el área analizada y el área que se tomó como estándar para la aplicación del método.

Estos errores son corregidos con mediciones de campo de la evapotranspiración y correcciones numéricas, que no se realizaron en este proyecto.

No obstante, con esta limitación, se realizó el análisis del balance medio mensual preliminar en la zona de acumulación, aplicando el método establecido por Thornthwaite; en el futuro se debe afinar con información detallada de precipitación, o mediciones directas de evapotranspiración.

3.6 BALANCE HÍDRICO

Para la determinación del balance hídrico, se definieron los ingresos y almacenamientos mencionados en el capítulo 2, numeral 4; estos son:

- Infiltración directa debido a la precipitación en la zona de acumulación; la presencia de volcanosedimentos (capítulo 2) favorece la infiltración y

percolación de las aguas provenientes de las lluvias hacia los principales niveles acuíferos.

Se estimó la infiltración directa en 283.343 m³/año; evaluada a partir del 2.2% de la precipitación media multianual (cuadro 3.6), para el área de la zona de acumulación (22 km²)

- Ecurrimiento subterráneo proveniente del acuífero del Centro-Norte de Quito, estimado en 17.699.545 m³/año (basado en caudales de explotación de pozos y vertientes, así como del caudal de acumulación del acuífero Centro Norte de Quito; Muñoz, 2005); éste se registra como descarga de dicho acuífero y constituye la recarga al acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha.

Tomando en cuenta las recargas expuestas, se determinó para la zona de acumulación, un ingreso de 570 l/s. (cuadro 3.8)

En las pérdidas totales del acuífero se consideró a los caudales que resultan de vertientes (basado en los aforos y estimaciones de caudales en el campo) y pozos bombeados, además del drenaje natural (cuadro 3.8), con lo que se obtuvo 548 l/s

El cuadro 3.8 compara el caudal de recarga o ingreso estimado al acuífero y el caudal de descarga o pérdidas. La diferencia entre estos caudales estaría en un porcentaje de error del 6.3%, este valor es bajo dentro del rango de error de la incertidumbre que resulta de las limitaciones de los datos; tomando en cuenta que para la determinación del balance medio mensual, se consideró valores medios anuales, considerando que a largo plazo, el acuífero tiene almacenamiento prácticamente constante debido a que las recargas en los años lluviosos, se equiparan con las recargas menores en los años secos.

1.- Datos de Recarga				
1.1.- Recarga directa en la planicie o zona de acumulación			caudal	unidades
% de infiltración en la zona directa o de acumulación, calculado en el cuadro 3.6	2,2	%		
Precipitación media multianual en la zona de acumulación o infiltración directa. Tomado del cuadro 3.6	585,42	mm		
área acumulación o infiltración directa en Km ²	22,00	Km ²		
área acumulación o infiltración directa en m ²	22000000	m ²		
Recarga 1.1	283.343,28	m ³ /año	8.98	l/s
1.2.- Recarga Acuífero de Quito				
Descarga del acuífero de Quito tomado de Muñoz, 2005	17.699.545,00	m ³ /año	561,25	l/s
Recarga al acuífero Pusuquí-San Antonio	17.699.545,00	m ³ /año		
Total Volumen de Recarga (1.1 + 1.2)	17.982.888,28	m³/año	570,23	l/s
2.- Datos de Descarga				
Volúmenes de Extracción (Pozos y Vertientes)				
2.1 Pozos				
Pozos de operación, a cargo de la EMAAP-Q	26	l/s		
Pozos Privados	49,07	l/s		
Suma de caudales de pozos privados y a cargo de la EMAAP-Q	75,06	l/s		
2.2 Vertientes				
Parcayacu, Curipoglio	7,00	l/s	(EMAAP-Q-IEOS)	
Pusuquí	4	l/s	(EMAAP-Q-IEOS)	
Pailluco	3	l/s	(EMAAP-Q-IEOS)	
Hacienda Oasis1	3	l/s	estimado	
Hacienda Oasis2	3	l/s	estimado	
VSAP.1 Deslizamiento	2	l/s	estimado	
VSAP.2 Deslizamiento	4	l/s	estimado	
VSAP.3 Deslizamiento (galería)	4	l/s	estimado	
VSAP.4 monjas frente piscinas	3	l/s	estimado	
VSAP.5 entrada hacienda	3	l/s	estimado	
Drenaje natural; caudal de acumulación	512	l/s	estimado	
Total Volumen de Descarga	548	l/s		
3.- Balance Hídrico Acuífero				
Total Volumen de Recarga	17.982.888.28	m³/año	0.57	m³/s
Total Volumen de Extracción	17.281.172.80	m³/año	0.54	m³/s
Diferencia entre la recarga y la descarga	0.03	m³/s		
% de error entre la diferencia de los caudales de ingreso y salida	6.3	%		
caudal estimado: observación en el campo caudal tomado de aforos: EMAAP-Q, IEOS.				

Cuadro 3.8 Balance Hídrico

CAPITULO IV

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 INTRODUCCIÓN

La zona de estudio, está representada por tres macroestructuras, que presentan límites definidos por su morfología y características geológicas. El macizo montañoso Casitagua ubicado al Oeste y las elevaciones Velasco-Carcelén, Catequilla y La Providencia, ubicadas al Este y la cuenca intermontana (C.I) de pequeñas dimensiones denominada Pusuquí-San Antonio de Pichincha.

La zona de estudio, corresponde a la cuenca intermontana, en la que se desarrolla el acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha, el que contiene unidades acuíferas que por las evidencias geológicas e isotópicas es la continuación de la unidad acuífero Centro-Norte de Quito (Estudio Hidrológico-isotópico del acuífero de Quito, 2000). Esta idea está basada en la similitud litológica y la continua estratigrafía entre el acuífero Centro Norte de Quito y el acuífero Pusuquí-San Antonio; a más de las direcciones de flujo y los niveles presentes en el acuífero Centro Norte de Quito, determinados en las investigaciones realizadas desde el año 2000 por el Departamento Acuífero de Quito, de la EMAAP-Q.

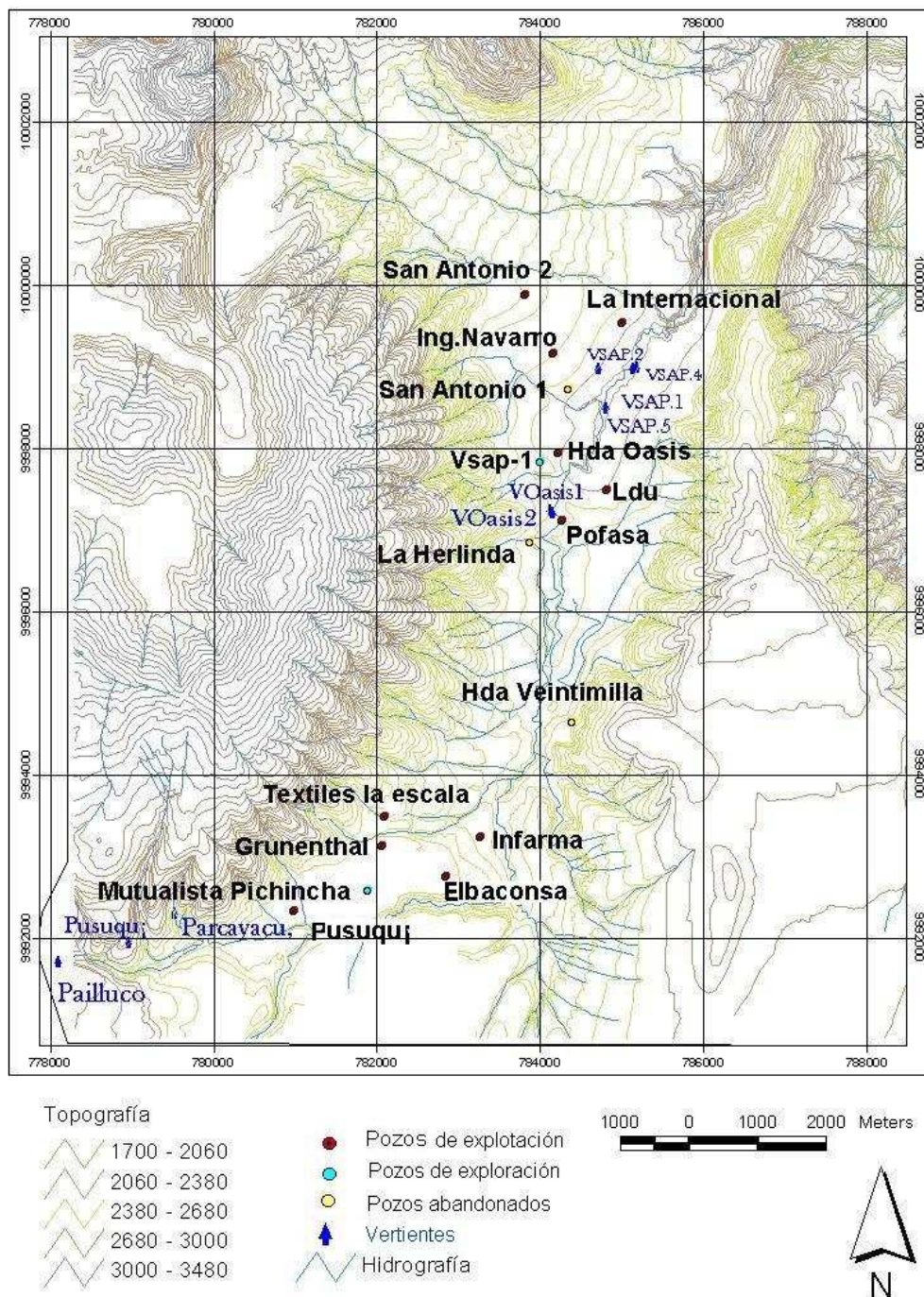
Para corroborar esta hipótesis, en este capítulo, se analizó información de niveles acuíferos, unidades acuíferas, parámetros hidrogeológicos y direcciones de flujo, para compararlos con los obtenidos en el trabajo de Muñoz (2005), para el acuífero Centro Norte de Quito y así ratificar o descartar la hipótesis inicial.

4.2 INFORMACION DISPONIBLE

La información analizada proviene de dos pozos de investigación (Pusuquí, Vsap-1, que sirven para monitoreo piezométrico y químico) y catorce pozos de

explotación, tres de los cuales están fuera de operación (Hda Veintimilla, San Antonio 1, La Herlinda) (mapa 4.1)

Para establecer la zonificación del acuífero, se contó con nueve vertientes que se muestran en el mapa 4.1.



Mapa 4.1 Ubicación de pozos y vertientes

4.3 DETERMINACIÓN DE NIVELES ACUÍFEROS

Con base en los parámetros geológicos (formaciones y depósitos del relleno volcanosedimentario del acuífero, capítulo 2), geofísicos (formaciones y depósitos determinados en base a resistividades eléctricas) e hidrogeológicos (inventario de puntos de agua, ensayos de infiltración y pruebas de bombeo), se obtuvo la correlación de los sondeos eléctricos verticales y los pozos de exploración Pusuquí y Vsap-1 (figura 4.1 y 4.2), con lo que se caracterizó al acuífero Pusuquí-San Antonio, tanto vertical como horizontalmente.

Los límites horizontales fueron definidos en el capítulo 2, mientras que los límites verticales fueron definidos hasta las profundidades analizadas en las perforaciones exploratorias y de explotación. Cabe resaltar que ninguna perforación realizada en el área de estudio ha alcanzado el basamento hidrogeológico, se presume que bajo los depósitos Casitagua, se encuentra dicho basamento compuesto por flujos de lava andesítica de textura masiva, con características de conductividad hidráulica baja (Informe de investigaciones de resistividad eléctrica, julio 2005).

El acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha está formado por lentes y estratos diferenciados por su litología, los que se relacionan a los depósitos Pululahua, flujos Pululahua, formaciones Cangahua y Machángara y depósitos Casitagua, todos ellos descritos en el capítulo 2.

Con respecto a los depósitos y flujos Pululahua, estos se reportan en las perforaciones localizadas a partir de la localidad de Pomasqui, las perforaciones ubicadas en el sector de Pusuquí, no reportan a estos depósitos, lo que hace presumir que aparecieron entre Pusuquí y Pomasqui (punto no determinado con precisión; cortes geológicos, capítulo 2)

4.3.1 CORRELACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS Y POZOS CON NIVELES ACUÍFEROS

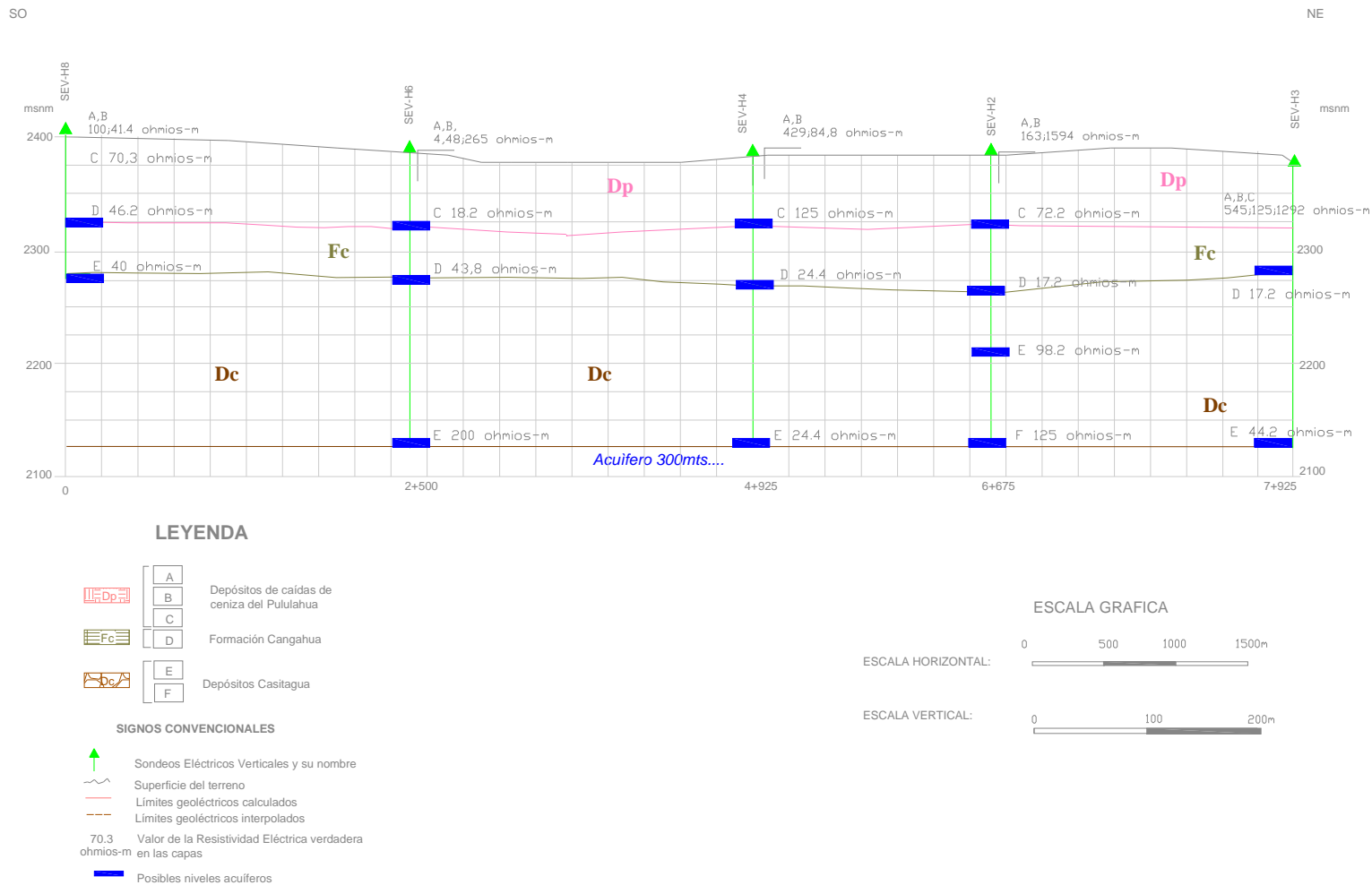


Figura 4.3 Corte Geoelectrónico Pusuquí-San Antonio, determinación de los niveles acuíferos

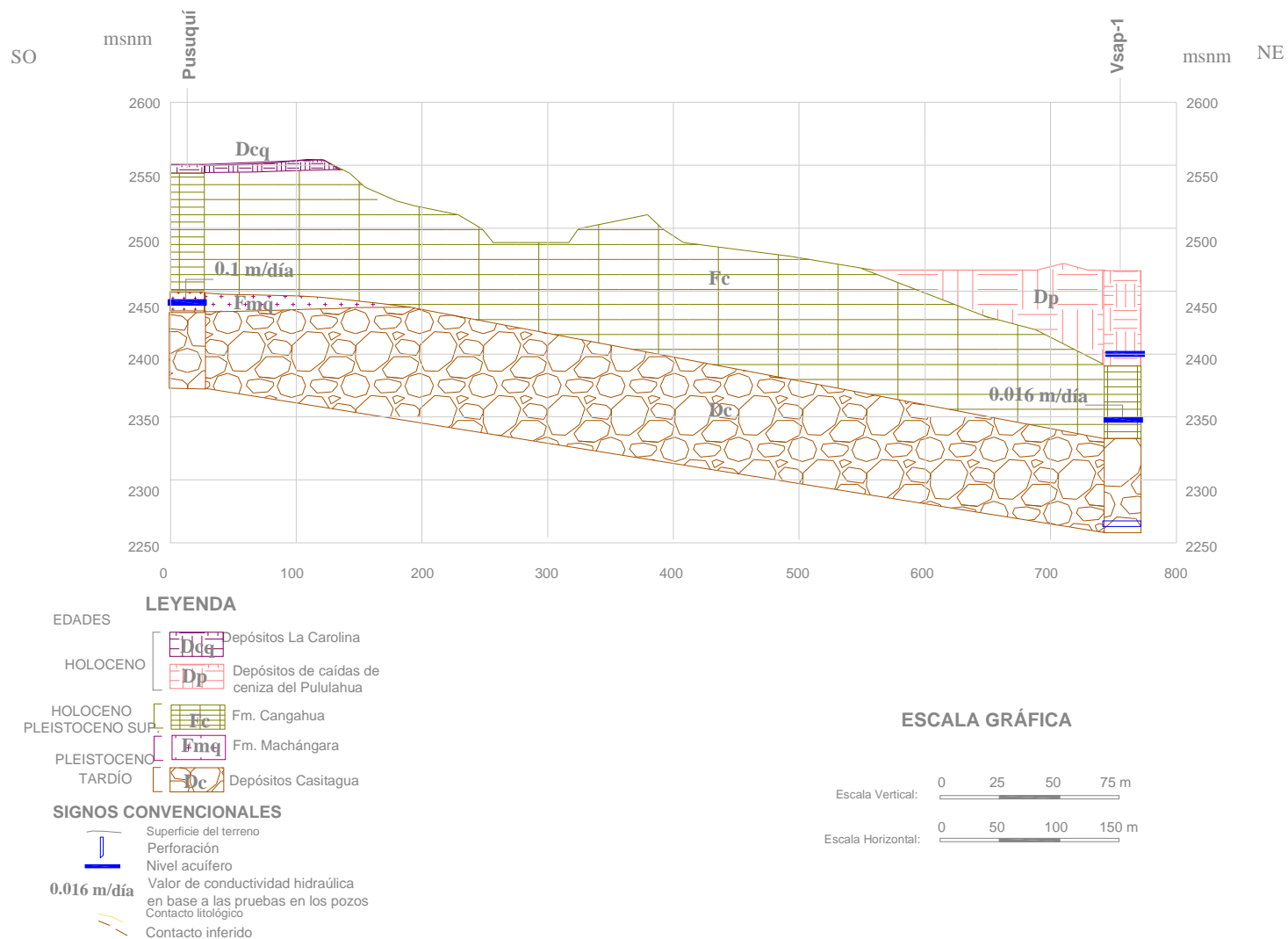


Figura 4.2 Perfil Geológico entre los pozos de exploración Pusuquí (782846/9992754) y Vsap-1 (784347/9998734)

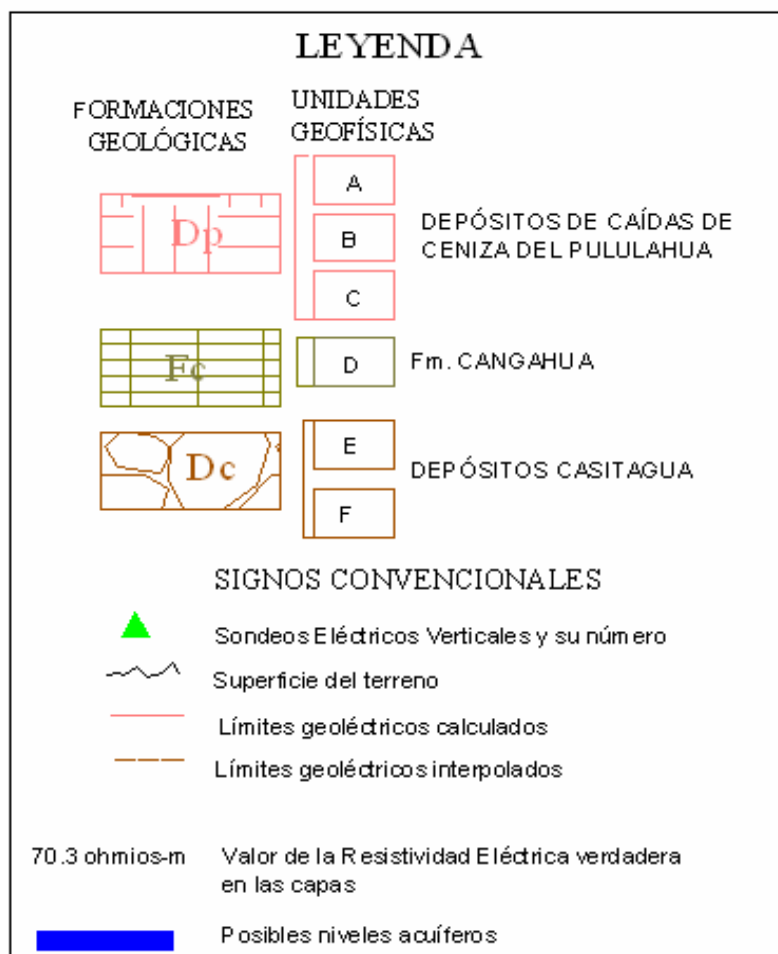


Figura 4.3 Leyenda del corte Geoeléctrico y Geológico de los pozos de exploración Pusuquí y Vsap-1

Los depósitos y flujos del Pululahua, tienen espesor variable, con un promedio de 70 m, siendo más potente a partir de la quebrada Colorada, con un espesor promedio de 100 m (anexo I, columna estratigráfica N° 4). A los 40 m de profundidad, se encuentran arenas gruesas y medias con intercalaciones de lapilli de pómez, con resistividades de 18 a 72 ohmios-metro (figura 4.1 y 4.2). Estos volcanosedimentos componen el nivel acuífero superior con un espesor promedio de 30 m.

A este nivel se lo consideró como libre. Ninguna de las perforaciones analizadas, caracterizan a este nivel.

El segundo nivel acuífero fue determinado en la formación Cangahua, las perforaciones de exploración y explotación (anexo I, perforaciones), además de los sondeos eléctricos verticales (figura 4.1) reportaron lentes de arena, grava y bloques de composición andesítica con resistividades de 17 a 44 ohmios-metro. Este nivel se encuentra entre los 75 y 100 m de profundidad y se halla sobreyacido por una capa semiconfinante que corresponde a limos arenosos de aproximadamente cinco metros de espesor.

El tercer nivel, se podría encontrar a partir de los 120 m, su espesor es desconocido, ya que la perforación con mayor profundidad (Vsap-1) no logró llegar hasta la base de los depósitos Casitagua. A los 120 m se observó (perforación Vsap-1), un flujo de lava andesítica, muy fracturada de aproximadamente 10 m de espesor; sin embargo, ninguna perforación caracterizó a este nivel, sus parámetros y espesor son desconocidos.

A pesar de la variedad litológica; discontinuidades en la estratificación y acuñamientos presentes en el área de estudio, se consideró al acuífero Pusuquí-San Antonio como multicapa, con un espesor que supera los 210 m (profundidad de la perforación exploratoria Vsap-1), compuesto por dos niveles acuíferos, constituidos en distintas capas, depósitos y formaciones que están interrelacionados hidráulicamente.

Contiene además un acuífero colgado, ubicado en los depósitos lacustres localizados en el sector de San Antonio de Pichincha, en las piscinas municipales (anexo I, perforaciones). Entre los depósitos de conductividad hidráulica aproximada de 1.7 m/día (anexo II, ensayos de infiltración), se encuentra un estrato de menor conductividad hidráulica, compuesto de cenizas, limos y principalmente turba (0,001-0,07 m/día; De Miguel Fernández, 1999); en él se encuentran las vertientes VSAP-1, VSAP-2, VSAP-3, VSAP-4, VSAP-5 (fotografías 4.1 y 4.2)



Fotografía 4.1. Vertientes y estrato de turba ubicadas en San Antonio de Pichincha (Sector de las piscinas municipales)



Fotografía 4.2 Vertientes y estrato de turba ubicadas en San Antonio de Pichincha (Sector de las piscinas municipales, al margen derecho del río)

4.4 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

4.4.1 PERMEABILIDAD Y TRANSMISIVIDAD

Con el fin de establecer los parámetros de permeabilidad y transmisividad, se recurrió a analizar los datos (pruebas de permeabilidad, de bombeo, abatimiento, litología) proporcionados por las perforaciones exploratorias (Pusuquí, Vsap-1) y de explotación (Pofasa, Idu, textiles La Escala, Ing Navarro, San Antonio 1y 2, La Internacional, Grunenthal, Mutualista Pichincha, Elbaconsa, Infarma).

Las pruebas de bombeo no aportaron la argumentación necesaria para los cálculos de los parámetros hidrogeológicos de los niveles acuíferos, ya que se realizaron con una duración menor a 12 horas, lo que provocó abatimientos inestables y de poca profundidad.

Las aguas subterráneas que se encuentran en el segundo nivel, a una profundidad de 75 a 100 m, presentan niveles de agua que ascienden hasta 42,5 m de profundidad, es decir el nivel piezométrico está por encima del contacto superior del segundo nivel acuífero (perforación Vsap-1), por lo que se consideró al agua de este nivel como artesiana, del acuífero semiconfinado.

Sin embargo los valores de conductividad hidráulica obtenidos en base a las pruebas efectuadas por el coeficiente de filtración en la perforación Vsap-1, están alrededor de $1.8E-5$ cm/seg, es decir 0.016m/día, para una profundidad de 75 a 80 m (informe de sondeos mecánicos y eléctricos, EMAAP-Q, 2005), igualmente para la perforación Pusuquí se obtuvieron valores inferiores a 0.1m/día, para 111-150 m de profundidad (informe de sondeos mecánicos y eléctricos, EMAAP-Q, 2005). Según De Miguel 1999, estos valores corresponden a limos y arcillas areno-limosas, lo que difiere con la litología registrada en las perforaciones exploratorias, las que reportan a arenas, gravas y brechas (anexo I, perforaciones).

Se recalcularon los valores de conductividad hidráulica, aplicando la metodología sugerida y establecida por De Miguel 1999, es decir el cálculo de los parámetros hidrogeológicos mediante regímenes de bombeo estacionario y cuasiestacionario.

Para la recuperación de niveles al culminar los bombeos; los valores obtenidos están por debajo de 0.001 m/día (anexo III, cálculo de parámetros hidrogeológicos), lo que correspondería a arcillas, arcillas margosas, argilitas (De Miguel 1999). Estos resultados tampoco corresponden con la litología descrita en el acuífero (capítulo 2).

Por las razones expuestas, se recurrió a asumir los parámetros hidrogeológicos (conductividad hidráulica, transmisividad) con base en la literatura (Freeze y Cherry, 1979), y las pruebas de infiltración realizadas en el sector (capítulo 3), tomando en cuenta la litología existente en cada estrato (anexo I, perforaciones), confirmada con los testigos de perforación (anexo I, fotografías de los testigos de perforación).

Para el primer nivel acuífero se asumió una conductividad hidráulica entre 1.4-1.7 m/día, lo que corresponde a limos arenosos y arenas limosas. Para el segundo nivel acuífero se asumió 1.7-2.8 m/día, lo que corresponde a arenas limosas, arenas de grano fino a medio.

En cuanto a la transmisividad, se obtuvo para el primer nivel acuífero, 42-51 m²/día, considerando una conductividad hidráulica de 1.4-1.7 m/día y un espesor promedio de 30 m. Para el segundo nivel acuífero, se consideró un espesor promedio de 25 m, con lo que se obtuvo 42.5-70 m²/día de transmisividad.

4.4.2 NIVELES PIEZOMÉTRICOS

La determinación de la profundidad del nivel piezométrico, constituyó una dificultad, ya que la mayoría de los pozos fueron perforados sin aislar los distintos niveles acuíferos, por lo que no se pudo establecer el nivel piezométrico para cada nivel acuífero.

Sin embargo, se realizaron tres campañas de medición de niveles (anexo III, niveles piezométricos); para la medición se contó con dos pozos (Pusuquí y Vsap-1), en cada campaña. Para el sector de Pusuquí, la profundidad media del nivel piezométrico, obtenida fue entre 75-90 m, mientras que en Pomasqui y San Antonio se localiza entre 30-54 m.

Tomando en cuenta las mediciones de la campaña del 07/07/2006, se ploteó el mapa 4.2, que representa las curvas de isopiezas generalizadas para el acuífero, estas reflejan una dirección predominante del flujo del Sur hacia el Noreste.

Las direcciones de flujo establecidas para el acuífero de estudio, son coincidentes con la continuación de las líneas de flujo establecidas para el acuífero Centro Norte de Quito, ya que en este último, tienen una tendencia hacia el Noreste (Muñoz 2005)

4.5 MODELO CONCEPTUAL

El modelo conceptual establecido para el acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha, consta de dos niveles acuíferos interconectados, agrupados en el acuífero multicapa, como se observa en la figura 4.4

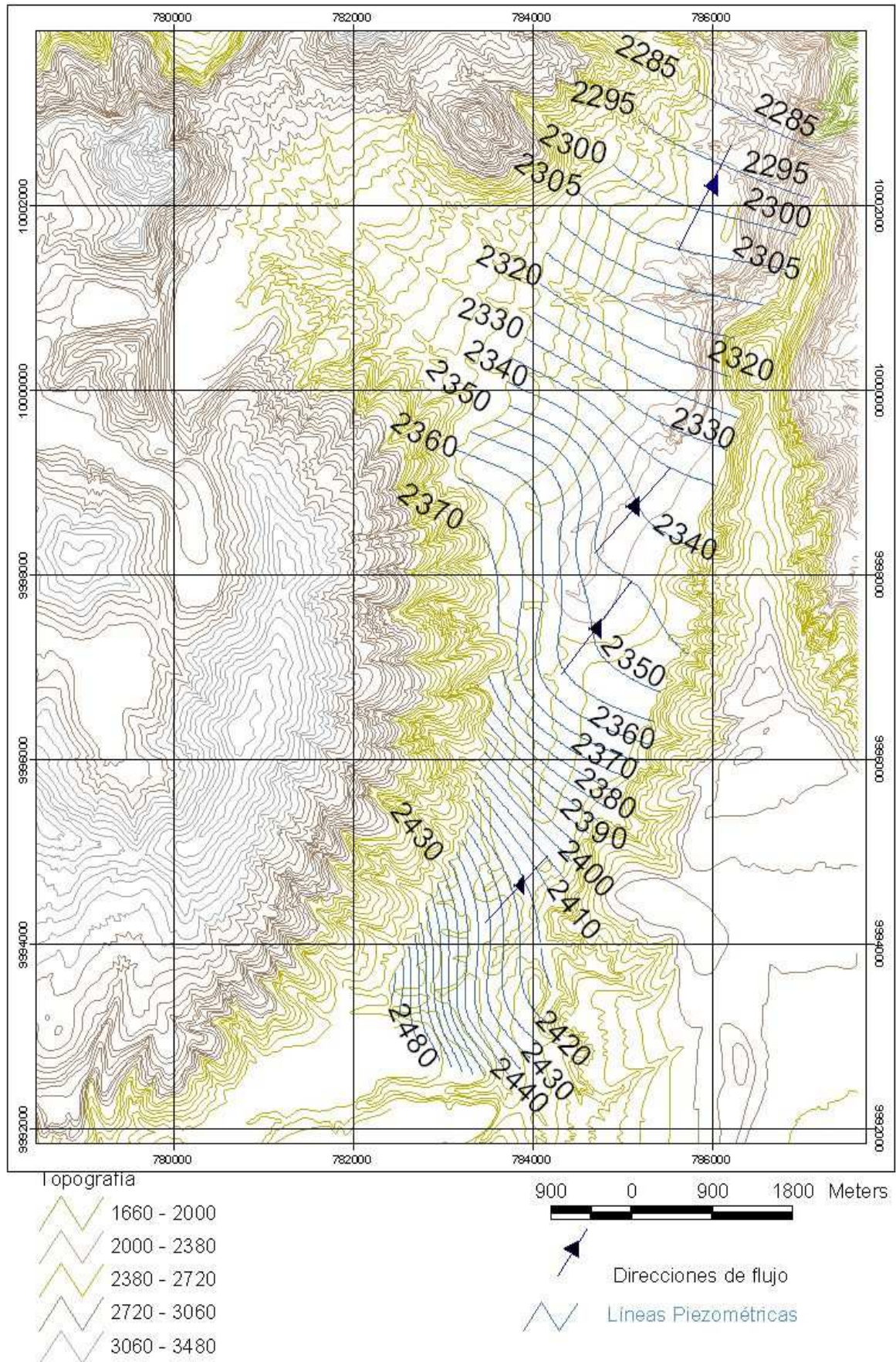
El tercer nivel acuífero, no determinado en este estudio, debido a la falta de información, se supone estaría a partir de 120 m de profundidad.

El segundo nivel acuífero, consiste en un acuífero semiconfinado, que se encuentra a partir de los 75 m de profundidad, con un espesor promedio de 25 m, ubicado en la formación Cangahua.

El primer nivel acuífero, consiste en un acuífero libre, se encuentra a partir de los 40 m de profundidad, con un espesor medio de 30 m, que corresponde a los depósitos y flujos Pululahua.

La zona de recarga principal, se ubica en el extremo Sur del acuífero y corresponde al acuífero de Centro Norte de Quito. Adicionalmente la infiltración en la zona de acumulación, proviene de las precipitaciones en el sector, que a pesar de ser bajas (capítulo 3), constituyen una recarga al acuífero.

Este modelo, visualiza la dependencia y conexión del acuífero de Quito con el acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha. Los dos presentan condiciones y características geológicas (capítulo 2, formaciones afines) e hidrogeológicas (direcciones de flujo) muy similares.



Mapa 4.2 Isopiezas

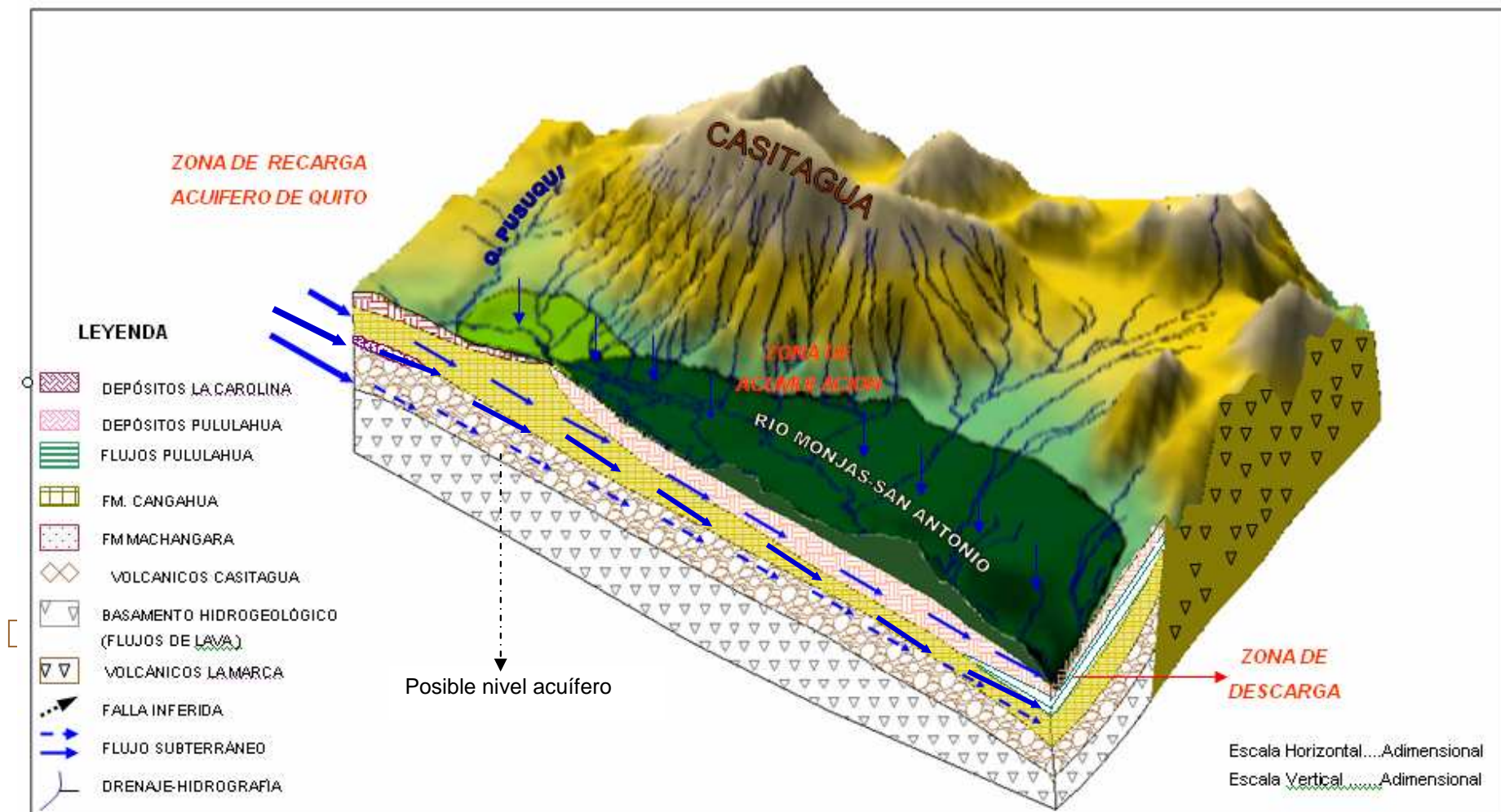


Figura 4.4 Modelo conceptual del acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha

CAPITULO V

5. MODELACIÓN

5.1 INTRODUCCIÓN

Debido a necesidad de entender y representar los fenómenos físicos que ocurren en la naturaleza y en este caso específico al flujo subterráneo, se recurre a modelos matemáticos fundamentados en procesos numéricos establecidos, que definen al sistema de aguas subterráneas, su dinámica y características, requiriendo inicialmente de una concepción clara y precisa de los procesos que involucran este fenómeno físico (modelo conceptual)

Con estos antecedentes, el objetivo específico de este capítulo es elaborar el primer Modelo Hidrogeológico Conceptual y Numérico del Acuífero Pusuquí–San Antonio, para así contar con una herramienta operacional de análisis, que permita dar una concepción del funcionamiento y dinámica del flujo subterráneo.

De acuerdo con Hernández et, al, (2001), el modelo hidrogeológico tiene dos aplicaciones fundamentales:

- (i) Entender y cuantificar la ocurrencia y distribución del agua subterránea
- (ii) Utilizar el modelo como una herramienta de manejo que implica la toma de decisiones que modifican el estado del sistema acuífero, como por ejemplo la localización de nuevos pozos (nuevas concesiones), análisis de caudales, restricción en el bombeo.

El modelo desarrollado permite elaborar escenarios que resultan de las decisiones tomadas; por ejemplo aumentar en forma desmesurada el caudal de explotación, puede modelarse obteniendo como resultado un escenario.

Finalmente el análisis de los escenarios simulados ayuda a tomar decisiones (por ejemplo autorizar o negar una concesión, implementar o abandonar alguna política específica del uso de agua subterránea).

5. 2 INFORMACIÓN DISPONIBLE

El fundamento teórico del presente capítulo, fue proporcionado por:

- BASILE.P.- **Mecánica de fluidos avanzada**.- Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales.- enero 2005.
- HERNANDEZ A, MARTINEZ J., LIANUSA H. y DILLA F. **Modelos de Acuíferos**. Texto de la Maestría de Ingeniería Hidráulica. CIH. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE. 2001.
- PROYECTO RLA/8/031.- **Manejo Integrado y Sostenible de los Recursos Hídricos Subterráneos en América Latina**.-Universidad de Chile.- Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.- Departamento de Ingeniería Civil.
- TAPIA.F, ZURITA,F.- **Modelación de la Dinámica del Flujo en Acuíferos**.-Método de análisis y proceso de estudio.- Aplicación al acuífero de Quito.- 2004
- VARNI.M, VIVES.L.-**Aplicación de los Métodos Numéricos en Hidrología Subterránea**.- unidades 1-6.-2004.
- WATERLOO HIDROGEOLOGIC.- Visual Modflow 3.1.0.- **User's Manual**.- 433 pág.

5. 3 MODELO HIDROGEOLÓGICO MATEMÁTICO

Comprende las ecuaciones diferenciales que gobiernan el flujo subterráneo, sus soluciones analíticas y las soluciones aproximadas (ecuaciones algebraicas), además del modelo numérico, en el que intervienen las condiciones de borde iniciales, esquema de discretización y malla o grilla a discretizar

5.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ECUACIONES QUE GOBIERNAN EL FLUJO SUBTERRÁNEO.

Las principales ecuaciones utilizadas para este fin son: la ley de Darcy, el principio de conservación de la masa y la ecuación de Laplace.

- Ley de Darcy

Darcy experimentalmente encontró los factores que gobiernan el flujo hídrico en un medio poroso. Determinó que la tasa o velocidad (q) a la cual el agua fluye a través de un medio poroso (filtro de arena), es directamente proporcional a la diferencia de altura entre los dos extremos del lecho filtrante, e inversamente proporcional a la longitud del lecho. La figura 5.1 simula una tubería horizontal llena de arena a la que se le aplica agua a través de un extremo, esta fluye y descarga a través del otro. La presión observada en cada extremo, es medida en un piezómetro (tubo vertical de pequeño diámetro).

Darcy constató de esta manera la relación entre la velocidad (q), la diferencia de altura de agua entre los piezómetros y la longitud (Δs).

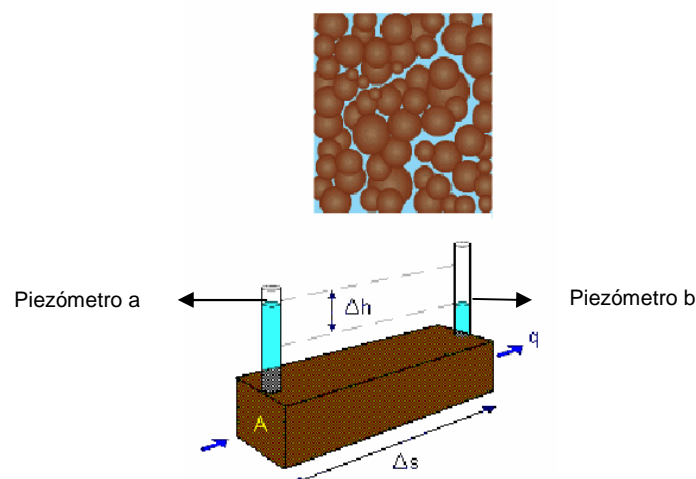


Figura 5.1 Experimento en el que se basa la ley de Darcy, tomado del proyecto RLA/031, curso regional de capacitación en modelación de aguas subterráneas

$$q\alpha \frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{h_A - h_B}{\Delta s}$$

Tomando en cuenta que el flujo también es proporcional al área perpendicular al escurrimiento (A) y transformando la relación anterior a una igualdad, se tiene:

$$Q = K.A. \left(\frac{h_A - h_B}{\Delta s} \right) \quad (5.1)$$

Donde K es la constante de proporcionalidad y se denomina conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad. En términos generales la ecuación (5.1), se expresa como:

$$Q = -K.A. \left(\frac{\partial h}{\partial s} \right) \quad (5.2)$$

En la ecuación (5.2) $\frac{\partial h}{\partial s}$ es conocido como el gradiente hidráulico, en el que ∂h representa el cambio en la cota piezométrica entre dos puntos situados muy cercanos y ∂s es la distancia entre ellos. El signo negativo indica que el flujo es en la dirección de cota piezométrica decreciente. De la ecuación 5.2 se obtiene:

$$K = -\frac{Q}{A(\partial h / \partial s)} \quad (5.3)$$

La constante de proporcionalidad de Darcy, K, según Hubbert, 1956, depende de las propiedades del medio poroso y el tipo de fluido que pasa a través de él. Por lo tanto, la descarga es directamente proporcional al peso específico del fluido (ρ) e inversamente proporcional a la viscosidad dinámica del fluido, con lo que tenemos:

$$K = k \frac{\gamma}{\mu} \quad (5.4)$$

$$K = k \frac{\rho g}{\mu} \quad (5.5)$$

Donde k es la permeabilidad intrínseca del suelo ρ es la densidad del fluido y g es la aceleración de la gravedad

La ley de Darcy, puede describir a un flujo bidimensional o tridimensionalmente, con lo que se tiene:

$$Q_x = K \frac{\partial h}{\partial x} \quad Q_y = K \frac{\partial h}{\partial y} \quad Q_z = K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (5.6)$$

- Principio de la Conservación de la masa

La ley de conservación de la masa es en efecto, la aplicación de la segunda ley de Newton y se aplica en el estudio del flujo subterráneo.

Para esto se requiere que la suma del flujo de agua que entra en un volumen elemental representativo, sea igual a la suma del flujo que sale, además implica que el potencial es independiente del tiempo, es decir condiciones estacionarias o de equilibrio.

Si consideramos que el agua es incompresible, el volumen se conservará; asimismo se asume que el almacenamiento es constante, es decir no existe variación en el almacenamiento.

En la figura 5.2 se observa una representación del volumen elemental ΔV que será igual a Δx , Δy , Δz a lo largo de los ejes x, y, z .

El balance de masa será igual a la suma del análisis para cada lado del cubo. Tomando en cuenta la cara 1, la componente del vector q_y representa el flujo de masa de agua (masa por unidad de área a través del lado del cubo considerado y tiempo) con densidad en el punto $P(x, y, z)$.

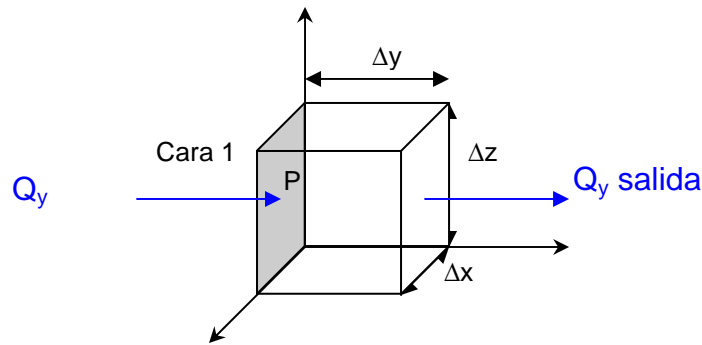


Figura 5.2 Experimento en el que se basa el Principio de Conservación de la masa, tomado y modificado de Basile,P, 2005)

Así se tiene que el flujo es la suma del vector Q_y y $(\frac{\partial Q_y}{\partial y})\Delta y$ por lo tanto, la variación neta en el porcentaje de descarga en la dirección y es:

$$\left(\frac{\partial Q_y}{\partial y}\right)\Delta y = \left(\frac{\partial Q_y}{\partial y}\right)\Delta V \quad (5.7)$$

Con un análisis similar para las direcciones z y x, el cambio neto de la descarga en la dirección x es:

$$\left(\frac{\partial Q_x}{\partial x}\right)\Delta x = \left(\frac{\partial Q_x}{\partial x}\right)\Delta V \quad (5.8)$$

Mientras que para la dirección z es:

$$\left(\frac{\partial Q_z}{\partial z}\right)\Delta z = \left(\frac{\partial Q_z}{\partial z}\right)\Delta V \quad (5.9)$$

Si sumamos las ecuaciones (5.7, 5.8 y 5.9) y dividimos para ΔV se obtiene la ecuación (5.10) que representa al principio de conservación de la masa para el flujo:

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + \frac{\partial Q_z}{\partial z} = 0 \quad (5.10)$$

El lado izquierdo de la ecuación (5.10) representa la variación del volumen del fluido por unidad de volumen, que es la divergencia de q expresada como:

$$\text{div}q = \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + \frac{\partial Q_z}{\partial z} \quad (5.11)$$

- Ecuación de Laplace

Esta ecuación resulta de combinar la ley de Darcy (ecuación 5.6) y el Principio de Conservación de la masa (ecuación 5.10), en tres dimensiones (x,y,z) se tiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.12)$$

Donde K es el vector en tres componentes, $K = K_x(x,y,z), K_y(x,y,z), K_z(x,y,z)$

El lado izquierdo de la ecuación representa la variación de los caudales que ingresan y salen al sistema acuífero, las que definen un cubo sobre el que ocurre el flujo. En términos generales, el lado derecho de la ecuación (5.12) representa la variación de almacenamiento en un intervalo de tiempo. En condiciones estacionarias, sin que se produzca variación en el almacenamiento, el valor asignado es cero quedando la ecuación (5.13)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (5.13)$$

La ecuación (5.13) es una ecuación en derivadas parciales en tres componentes x,y,z.

5.3.2 MODELOS NUMÉRICOS Y CONDICIONES DE BORDE INICIALES

La ecuación diferencial 5.13, es transformada en una solución analítica (ecuación algebraica, ecuación matricial), mediante los modelos numéricos, a través de esquemas numéricos más o menos complejos. El procedimiento tradicional para el desarrollo de un modelo numérico de aguas subterráneas se resume en la figura 5.3.

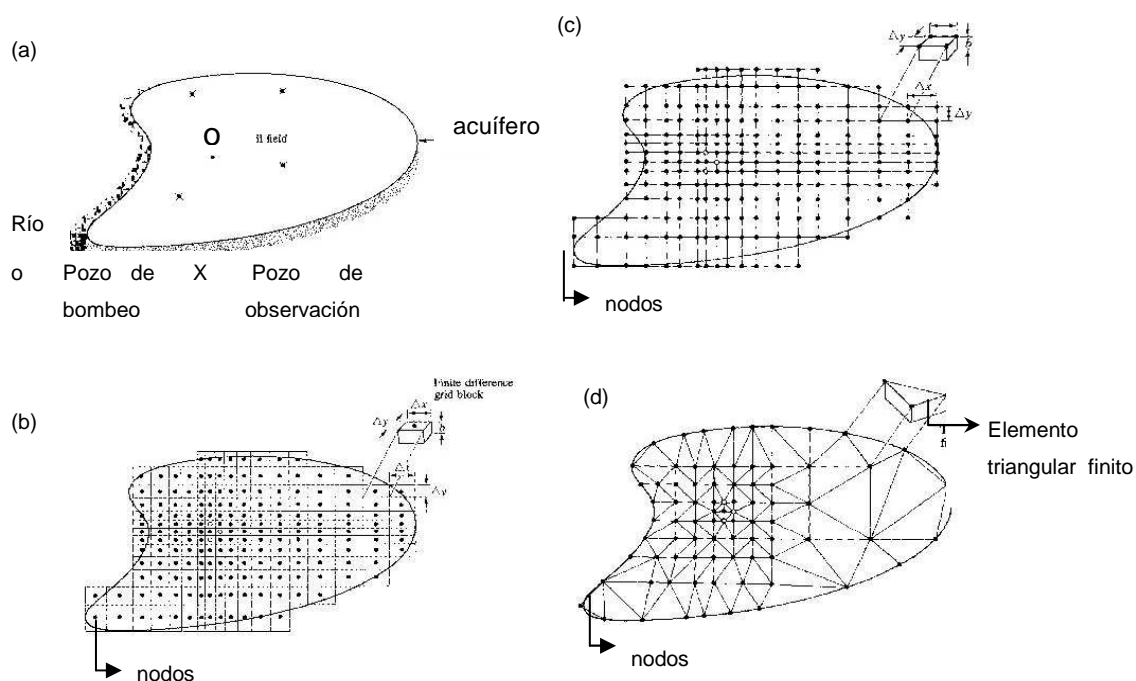


Figura 5.3 Desarrollo de modelos numéricos (discretización), Modificado del Proyecto RLA/8/031, Manejo Integrado y Sostenible de los Recursos Subterráneos en América Latina

Este procedimiento incluye condiciones de borde o datos iniciales de sistemas sencillos (niveles estáticos que reproduzcan el comportamiento real que se va a simular), lo que es posible solo en casos unidimensionales. A este efecto, es necesario recurrir a los métodos numéricos de solución. De acuerdo con Tapia y Zurita, (2004) estos son:

- Diferencias Finitas.- Resuelve ecuaciones diferenciales a través de aproximaciones algebraicas naturales. Las ecuaciones se plantean en función

de valores de la variable en los nodos (figura 5.3,b) o centrados en los bloques y se formulan sustituyendo los operadores diferenciales por sus aproximaciones en diferencias finitas, logrando de esta manera transformar ecuaciones diferenciales a ecuaciones lineales.

- Diferencias Finitas Integradas.- Este método consiste en sustituir al medio por regiones arbitrarias e irregulares. Las ecuaciones parten de los volúmenes asociados a cada nodo, haciendo más complicado el ajuste y el ingreso de datos.
- Elementos Finitos.- Define a las condiciones de contorno mediante nodos (figura 5.3,b,c), las ecuaciones se plantean con base en dichas condiciones, siendo más complicada la resolución.
- Elementos de contorno.- Consiste en discretizar el contorno, las ecuaciones se basan en métodos de integración.
- Otros.- Se basan en el uso de funciones bases que permiten obtener soluciones exactas en nodos adyacentes. Estos métodos no son muy utilizados, la metodología es más complicada.

5.3.3 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SOLUCIÓN PARA MODELOS NUMÉRICOS

Los métodos numéricos de solución están involucrados con la aplicación de los modelos numéricos, una vez transformadas las ecuaciones diferenciales en ecuaciones lineales

Si retomamos la ecuación (5.12) y la reescribimos en una dimensión, se tiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.14)$$

A la ecuación (5.14), incorporamos el espesor (b) del estrato acuífero, con lo que tenemos:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kb \frac{\partial h}{\partial x} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.15)$$

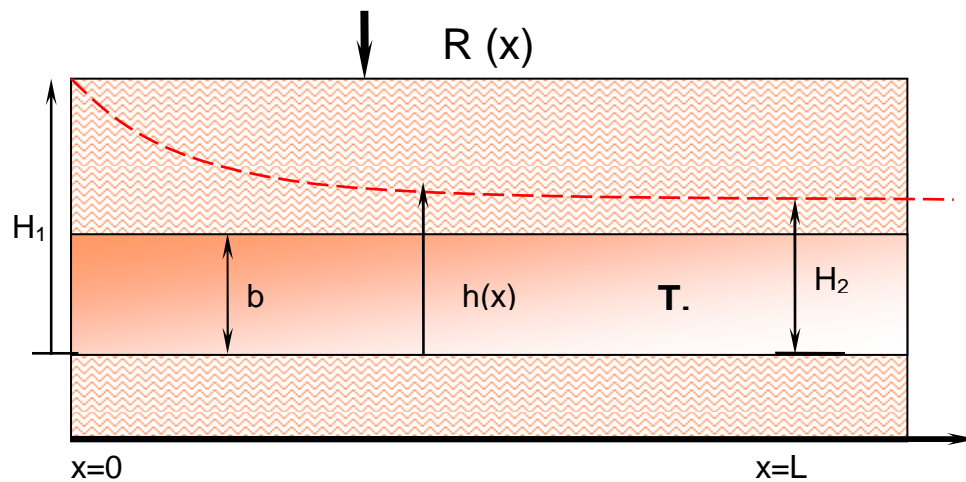


Figura 5.4 Esquema de la ecuación de Laplace en una dirección, con recarga R , modificado de Hidrología de Acuíferos en Rocas Sedimentadas, Aplicación de los métodos numéricos en Hidrología Subterránea

Si se agrega una recarga en la parte superior del suelo ($R(x)$), la ecuación (5.15), se transforma en:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kb \frac{\partial h}{\partial x} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} - R(x) \quad (5.16)$$

En régimen permanente:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kb \frac{\partial h}{\partial x} \right) = -R(x) \quad (5.17)$$

De la figura 5.4, se tienen las condiciones de borde:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kb \frac{\partial h}{\partial x} \right) = -R(x) \quad (5.18)$$

$$h(x=0) = H_1$$

$$h(x=L) = H_2$$

Simplificando la ecuación (5.18):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) = -Rx \quad (5.19)$$

Con diferenciales totales, se tiene:

$$\frac{d}{dx} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) = -Rx \quad (5.20)$$

Integrando la ecuación (5.20):

$$T \frac{dh}{dx} = -Rx + C_1 \quad (5.21)$$

Ordenando:

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{R}{T}x + C_1 \quad (5.22)$$

Lo que se puede integrar nuevamente para obtener:

$$h(x) = -\frac{R}{T} \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \quad (5.23)$$

Incorporando las condiciones de borde:

$$h(x=0) = -\frac{R}{T} \frac{0^2}{2} + C_1 \cdot 0 + C_2 \quad (5.24)$$

$$h(x=L) = -\frac{R}{T} \frac{L^2}{2} + C_1 L + C_2$$

En donde:

$$C_2 = H_1$$

$$C_1 = \frac{H_2 - H_1}{L} + \frac{RL}{2T} \quad (5.25)$$

Reemplazando las constante C_1 y C_2 se obtiene:

$$h(x) = -\frac{R}{T} \frac{x^2}{2} + \left(\frac{H_2 - H_1}{L} + \frac{RL}{2T} \right) x + H_1 \quad (5.26)$$

$$h(x) = H_1 + \frac{H_2 - H_1}{L} x + \frac{R}{2T} x(L - x)$$

Las ecuaciones 5.16 y 5.26 se utilizan para resolver las condiciones de borde que corresponden al valor de la variable de estado que es conocida en algún sector de la zona modelada. Esto se traduce como nodos de la malla (figura 5.3), los que están representados por:

Para i nudos:

$$\begin{aligned} h_1 - 2h_2 + h_3 &\cong -R\Delta x^2 / T \\ h_2 - 2h_3 + h_4 &\cong -R\Delta x^2 / T \\ h_3 - 2h_4 + h_5 &\cong -R\Delta x^2 / T \\ &\dots\dots\dots \\ h_{i-1} - 2h_{i2} + h_{i+1} &\cong -R\Delta x^2 / T \end{aligned} \quad (5.27)$$

Al combinar los i nudos y escribir en forma matricial, se tiene:

$$[A][h] = [b] \quad (5.28)$$

Si se invierte la matriz (A):

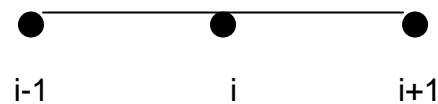
$$[h] = [A]^{-1}[b] \quad (5.29)$$

Al combinar todas las ecuaciones se tiene:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 \\ -R\Delta x^2 \\ -R\Delta x^2 \\ \cdot \\ H_2 \end{bmatrix} \quad (5.30)$$

Al resolver esta matriz se tiene una solución para (h) que se resuelve con un enfoque iterativo, que toma la expresión general para generar un algoritmo de convergencia, expresado:

$$h_{i-1} - 2h_i + h_{i+1} = -\frac{R}{T}\Delta x^2 \quad (5.31)$$



Las técnicas iterativas tienen dos métodos de solución:

Jacobi.- Es el método menos eficiente y raramente empleado, debido a la dificultad de convergencia en la función representada por:

$$h_i^{m+1} = \frac{1}{2}(h_{i-1}^m + h_{i+1}^m) + \frac{R\Delta x^2}{2T} \quad (5.32)$$

Gauss-Seidel.- Este procedimiento es más efectivo, trabaja a través de los métodos de resolución numérica de diferencias finitas, siguiendo una malla ordenada, esta representado por:

$$h_i^{m+1} = \frac{1}{2}(h_{i-1}^{m+1} + h_{i+1}^m) + \frac{R\Delta x^2}{2T} \quad (5.33)$$

Las condiciones de borde para los dos métodos están dadas por:

$$\begin{aligned} h_i^0 &= 0 \forall i \\ h_1 &= H_1 \\ h_i &= H_2 \end{aligned} \quad (5.34)$$

5.4 EL MODELO DIGITAL

El modelo digital, permitió codificar toda la información en el lenguaje computacional, que involucra, las condiciones relevantes en el flujo, parámetros de conductividad hidráulica, transmisividad, niveles piezométricos, presiones, es decir todos los parámetros involucrados sobre el desarrollo del flujo subterráneo.

Este modelo es capaz de resolver simulaciones en dos dimensiones. Presenta ventajas en la representación gráfica, facilitando la entrada de datos para definir el escenario de simulación. Asimismo muestra ventajas en la representación de los resultados. El esquema de resolución numérico empleado por el modelo digital corresponde a un esquema de diferencias finitas, explicado anteriormente.

5.4.1 METODOLOGIA DE LA MODELACION

Debido a la complejidad de representar un fenómeno físico, es imprescindible realizar abstracciones, las que están basadas en una correcta conceptualización del sistema a modelar, por lo que se requiere de un procedimiento lógico a seguir. Según Tapia y Zurita (2004), este procedimiento se basa en:

- **Conceptualización:** Se fundamenta en la determinación del modelo conceptual (capítulo 4) en el que intervienen las acciones internas y externas del sistema, geometría del medio, área de acumulación del flujo subterráneo, recarga y descarga.
- **Discretización:** Se interrelaciona con el método numérico que se utilice, en este caso, diferencias finitas; este consiste en dividir a la región a modelar en subregiones contiguas, no sobrepuestas.
- **Estimación de parámetros:** Tiene que ver con la calibración del modelo, la misma que está determinada por mediciones y ajustes realizados en el campo (pruebas de infiltración y medición de niveles). Cabe mencionar que los parámetros involucrados en esta estimación son difíciles de determinar, ya que se trabaja en un medio heterogéneo, por lo que se determinan mediante estimaciones representativas, que se ajusten al sistema analizado.

5.5 MODELACION EN MOD FLOW

Para la modelación de este proyecto, se utilizó el programa Modflow 3.1.0, que interactúa en tres interfases que se interrelacionan con los pasos tradicionales en un proceso de modelación hidrogeológica, las fases en las que opera son:

- **Interfase de entrada o ingreso de datos**

Contiene la información básica que se requiere para la construcción de un modelo de simulación del flujo de agua subterránea. La información consta de planos topográficos e hidrológicos que se pueden importar desde archivos tipo ASCII, txt o tipo shape. Las importaciones involucran celdas que pueden ser agrupadas por zonas representativas.

Luego se discretiza el modelo definiendo la malla de modelación, (el programa selecciona un sistema de filas y columnas con el fin de construir un modelo en bloques desplegados en un orden lógico, basados en la zona acumulación del flujo subterráneo). De esta forma, se define el área que se va a modelar, mostrando las dimensiones en planta y las capas que van a ser parte del modelo.

El siguiente paso consiste en proporcionar las propiedades hidrogeológicas (la litología, conductividad hidráulica, niveles piezométricos).

Como parte de las acciones externas que se debe considerar en un modelo de simulación hidrogeológica son la recarga y la extracción.

La recarga se obtuvo mediante el balance hídrico (capítulo 3) y la extracción, se adquirió de los datos de vertientes y puntos de agua (capítulo 4).

Un aspecto importante en la modelación de un determinado sistema es la incorporación de pozos de bombeo o recarga. Visual Modflow permite incorporar (o eliminar) pozos en forma gráfica. Los tipos de pozos que se pueden definir son:

- Pozos de extracción: se definen asignando una tasa de extracción negativa.
- Pozos de inyección: se definen asignando una tasa de extracción positiva.
- Pozos de observación: estos pozos son utilizados como puntos de observación para las cargas hidráulicas.

Un pozo queda definido al especificar su nombre dentro del modelo, su tasa de extracción (o inyección), tiempo de funcionamiento (inicio y término), profundidad, coordenadas y ubicación de cribas (dónde efectivamente se extrae o se inyecta el agua).

Las áreas de recarga más comunes ocurren por efectos de la precipitación, la cual percola y se incorpora al sistema de aguas subterráneas.

Mediante el Visual Modflow es posible simular la recarga de otras fuentes, tales como recargas artificiales. Para asignar la recarga a las celdas seleccionadas sólo se debe ingresar el tiempo inicio, el tiempo fin y el valor de la recarga.

Una modelación numérica de flujo necesita datos iniciales del sistema y datos de funcionamiento del mismo. Como dato inicial, se considera el flujo subterráneo que ingresa al sistema acuífero, representado por el nivel de agua definido para la zona de ingreso, este dato es posible asignar como carga constante, en el que se define:

- Tiempo Inicio; tiempo en que se comienza a aplicar la condición de borde.
- Tiempo Final; tiempo en que se deja de aplicar la condición de borde.
- Valor inicial y final de la carga (m); si estos valores son distintos, Visual Modflow interpola linealmente en el tiempo (final e inicial).

Como parte de los ingresos, se tienen los caudales de un río, es necesario asignar una condición de borde del mismo. La información que se debe definir en cada una de las celdas para esta condición de borde es la siguiente:

- Cota o elevación de la superficie libre del cuerpo de agua; esta condición puede variar en el tiempo.
- Cota del fondo del río
- Conductancia; corresponde a un parámetro numérico que representa la resistencia al flujo entre el cuerpo de agua superficial y el agua subterránea.

En resumen, se ingresan datos de estimaciones de recarga, ríos, infiltraciones, pozos de observación (coordenadas, sus respectivos niveles estáticos para luego calibrarlos con las corridas correspondientes) y pozos de bombeo (coordenadas, cribas, caudales de explotación).

- Interfase de corrida o de modelación

Modflow cuenta con diferentes corridas para la resolución de ecuaciones numéricas, para la simulación. Se las selecciona en el programa y dependen exclusivamente de las fórmulas aplicadas para la resolución de las ecuaciones lineales, las iteraciones y resolución de las mismas.

La más recomendable es la denominada “Solve for Visual Modflow, (WHS)” ya que utiliza un modelo numérico de diferencias finitas (visual modflow pro user’s manual, 2003). Con este método, el análisis y el cálculo es más rápido y eficiente, la resolución de ecuaciones es más sencilla, lo que conlleva a que el manejo y el entendimiento sea más aceptable; el ajuste es más rápido teniendo varias corridas para cada grupo de datos, lo que se evidencia en la convergencia de los resultados.

Visual Modflow utiliza diferentes tipos de arreglos que están resumidos en cuatro tipos:

- Tipo 0, que se refiere a un acuífero confinado, cuya transmisividad y almacenamiento se consideran constantes para la simulación.
- Tipo 1, utilizado para acuíferos no confinados, donde la transmisividad es variable y es calculada desde el espesor saturado tomando en cuenta la conductividad hidráulica. El coeficiente de almacenamiento es constante.
- Tipo 2, se lo utiliza para acuíferos confinados y no confinados, la transmisividad es constante y el coeficiente de almacenamiento puede estar entre valores para acuíferos confinados y no confinados.
- Tipo 3, también es aplicado para los dos tipos de acuíferos anteriormente mencionados, la transmisividad es variable, mientras que el coeficiente de almacenamiento puede variar entre valores para los dos tipos de acuíferos.

En el programa se puede elegir el método computacional, el que esta directamente relacionado con la forma de cálculo de la transmisividad que puede ser mediante: media armónica, media aritmética, media logarítmica.

– **Interfase de salida**

La entrega de resultados y calibración del modelo involucra gráficas de curvas de niveles piezométricos calculados, líneas de flujo, velocidades, relaciones entre niveles calculados y observados. Estos resultados se los puede observar tanto en dos como en tres dimensiones.

5.6 MODELACION DEL ACUIFERO DEL VALLE PUSUQUI-SAN ANTONIO

La modelación del acuífero Pusuquí-San Antonio, se fundamenta en el modelo conceptual (capítulo 4). La recarga, corresponde al acuífero de Quito, estimada en 17677280 m³/año (Muñoz 2005); se incluye a la infiltración directa o zona de acumulación 283343 m³/año (capítulo 3, balance hídrico)

Se estimó 17376321 m³/año (capítulo 3) para la descarga y un 6.3% de diferencia entre los caudales de recarga y descarga

Los parámetros a modelar se resumen en las interfases descritas a continuación:

5.6.1 INTERFASE DE ENTRADA (CONDICIONES DE BORDE)

– **CARTOGRAFÍA**

Los planos topográficos e hidrológicos se importaron desde archivos tipo shape; involucran el área de acumulación y la hidrología; el resultado se presenta en la figura 5.5.

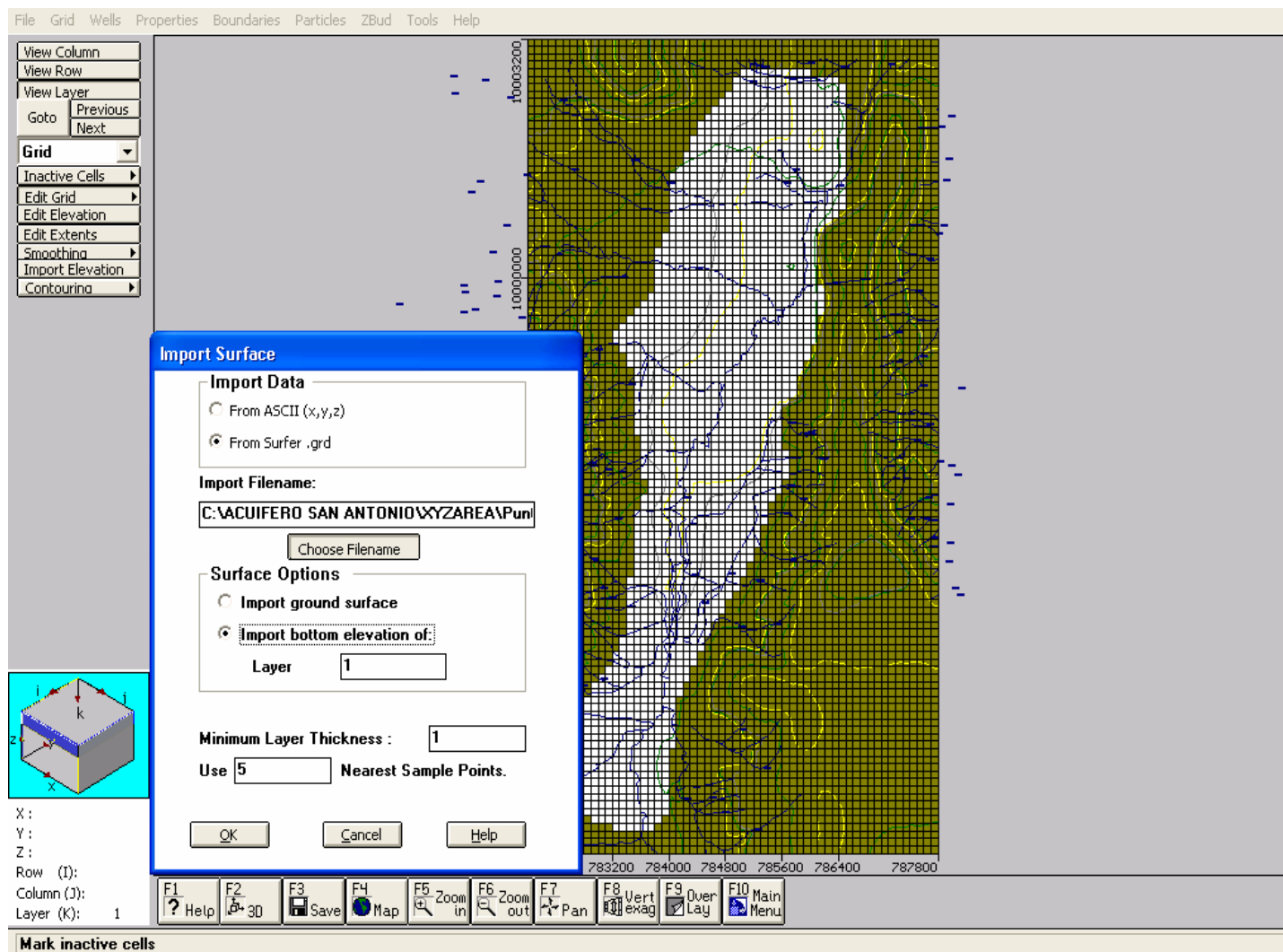


Figura 5.5 Importación de archivos de elevación del área a modelar

– ÁREA A MODELAR

El área que se modeló, abarca 22 Km², está dividida en un dominio de 95 filas y 130 columnas, representadas en una malla 100x100, como se observa en la figura 5.6

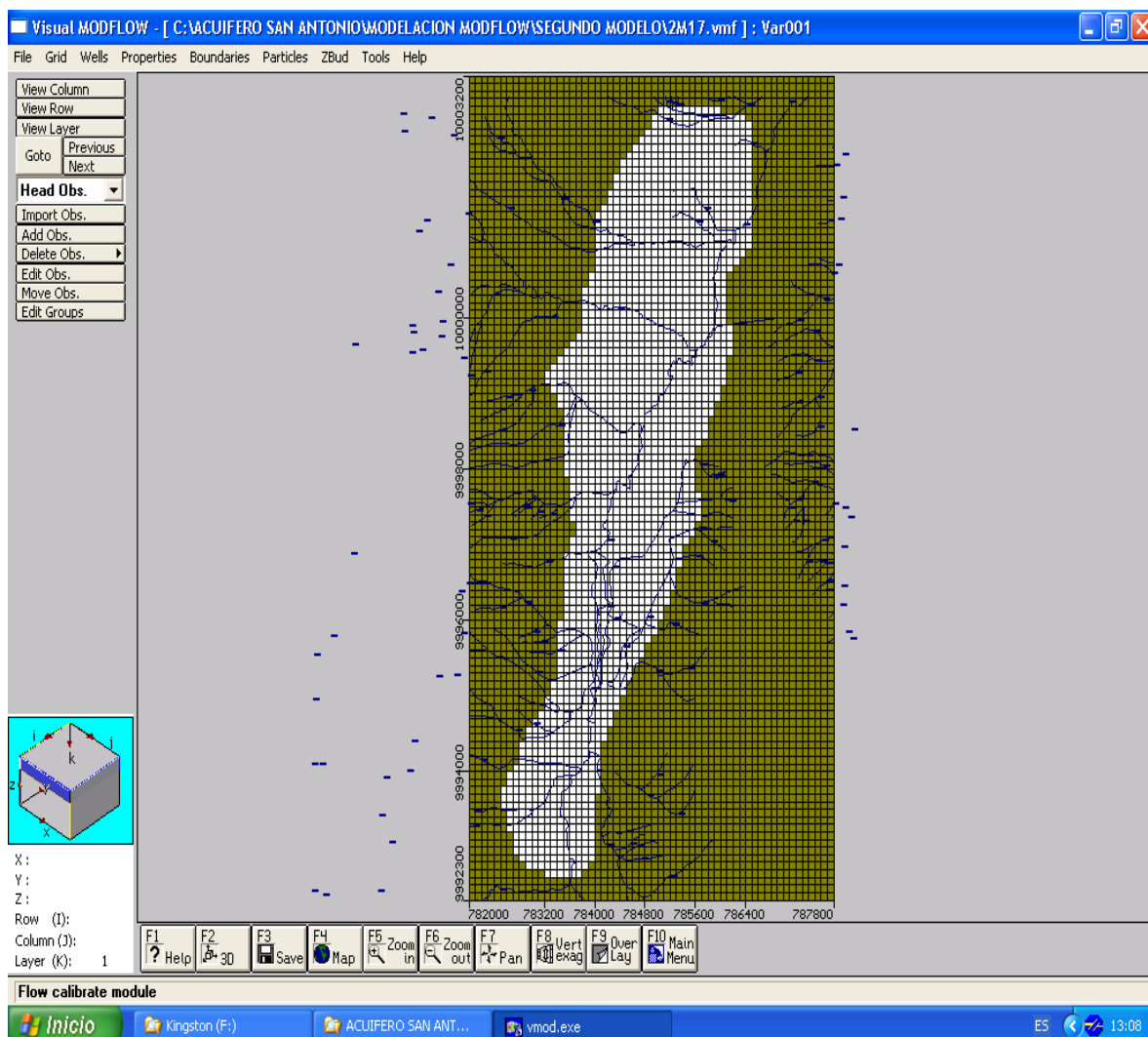


Figura 5.6 Determinación de la malla a modelar

– LITOLOGÍA

Se ingresaron también las capas a modelar (figura 5.7); estas corresponden a las formaciones que se las definió considerando sus características geológicas (capítulo 2), e hidrogeológicas (capítulo 4).

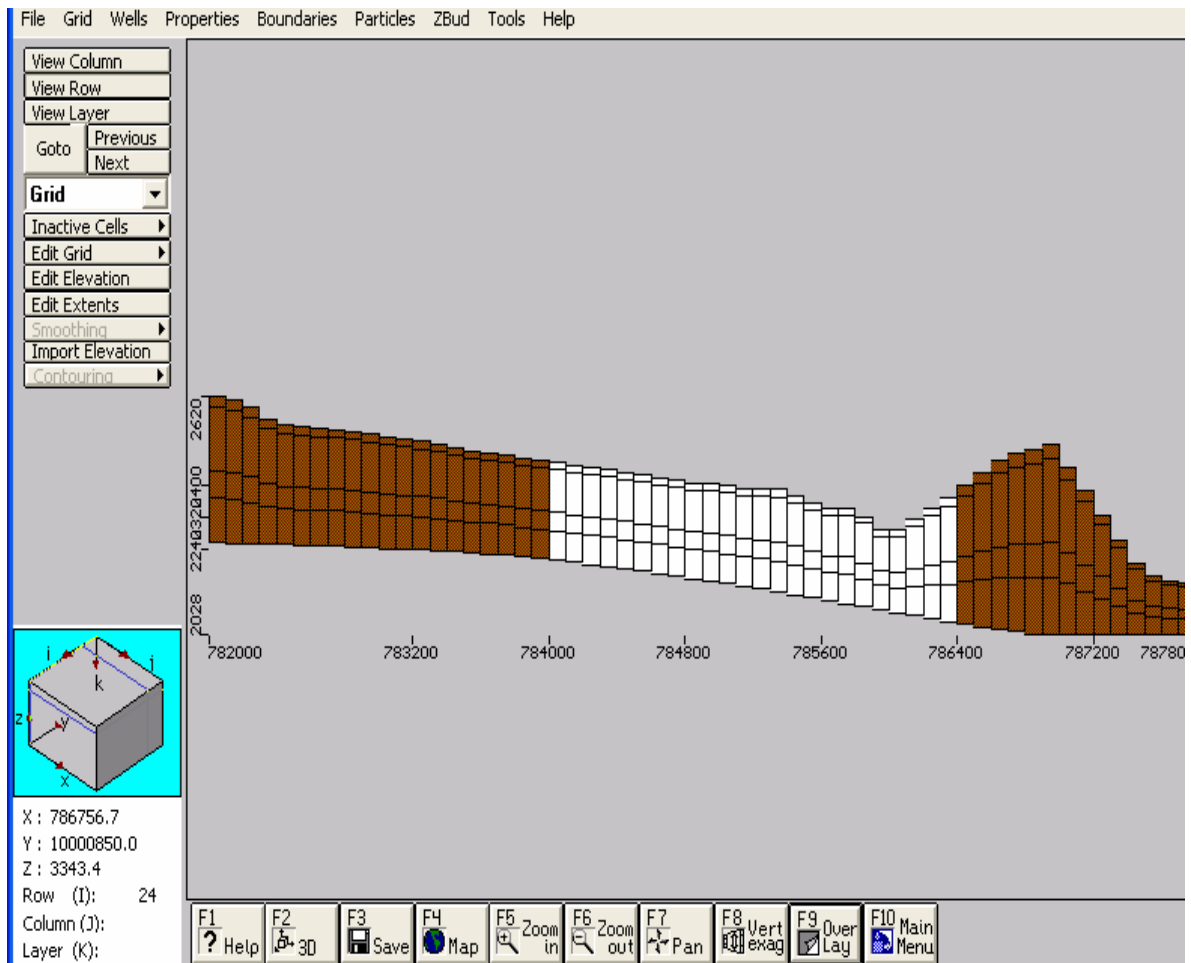


Figura 5.7 Ingreso de estratos y capas acuíferas a modelar

– RECARGA

La recarga se ingresó mediante la condición de nivel estático constante. Los niveles corresponden a los situados en la zona de recarga, es decir niveles registrados en el acuífero de Quito (Muñoz, 2005) y corroborados con mediciones en el campo (anexo III). Los pozos en esta zona registran un nivel estático de 94-95 m, con una cota de 2600 msnm, como se muestra en la figura 5.8.

La infiltración en la zona de acumulación, se estimó en 283343 m³/día (capítulo 3), lo que corresponde a 13 mm/año (figura 5.9)

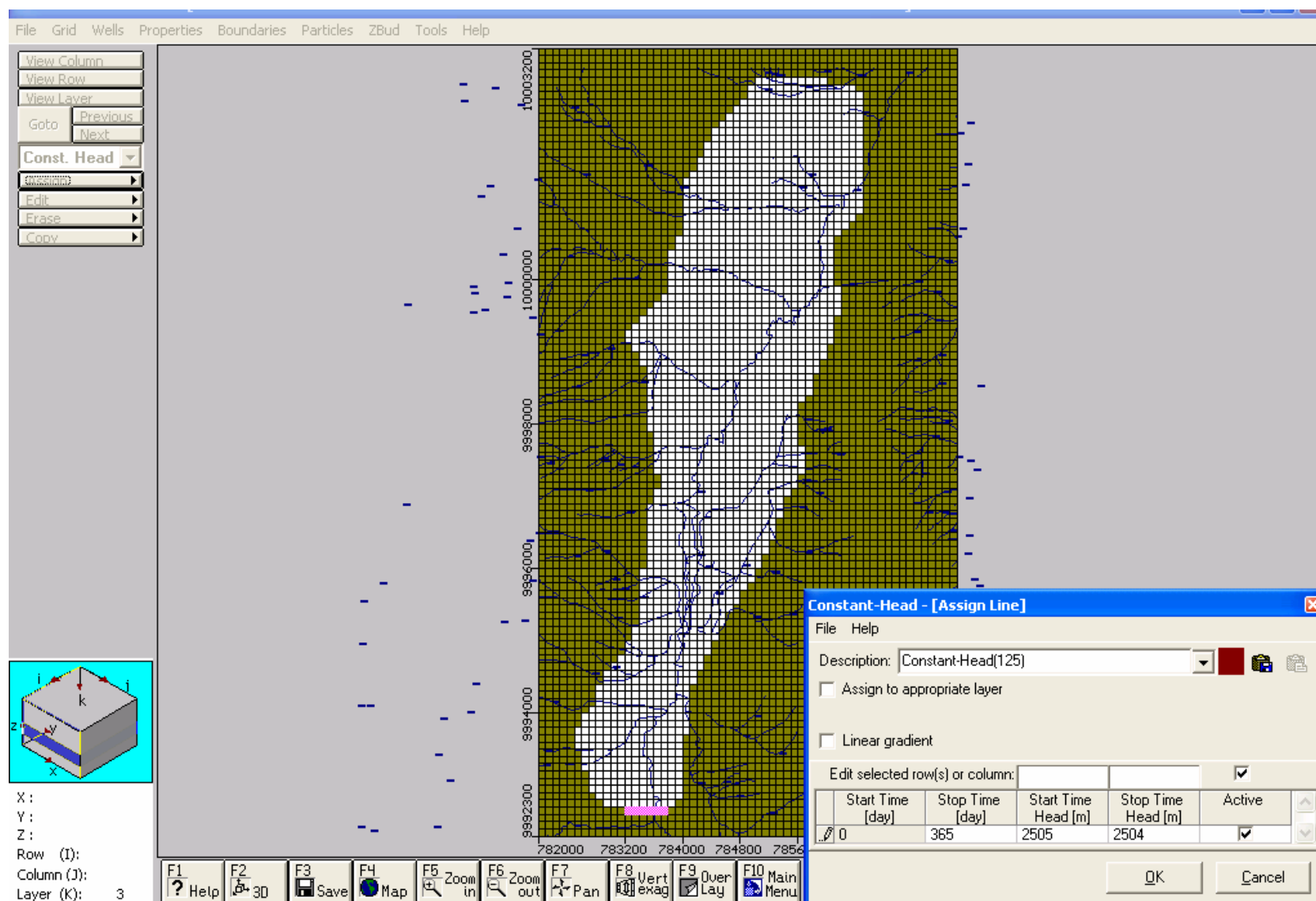


Figura 5.8 Ingreso de acciones externas (condiciones de borde del flujo subterráneo)

Cabezas constantes de entrada

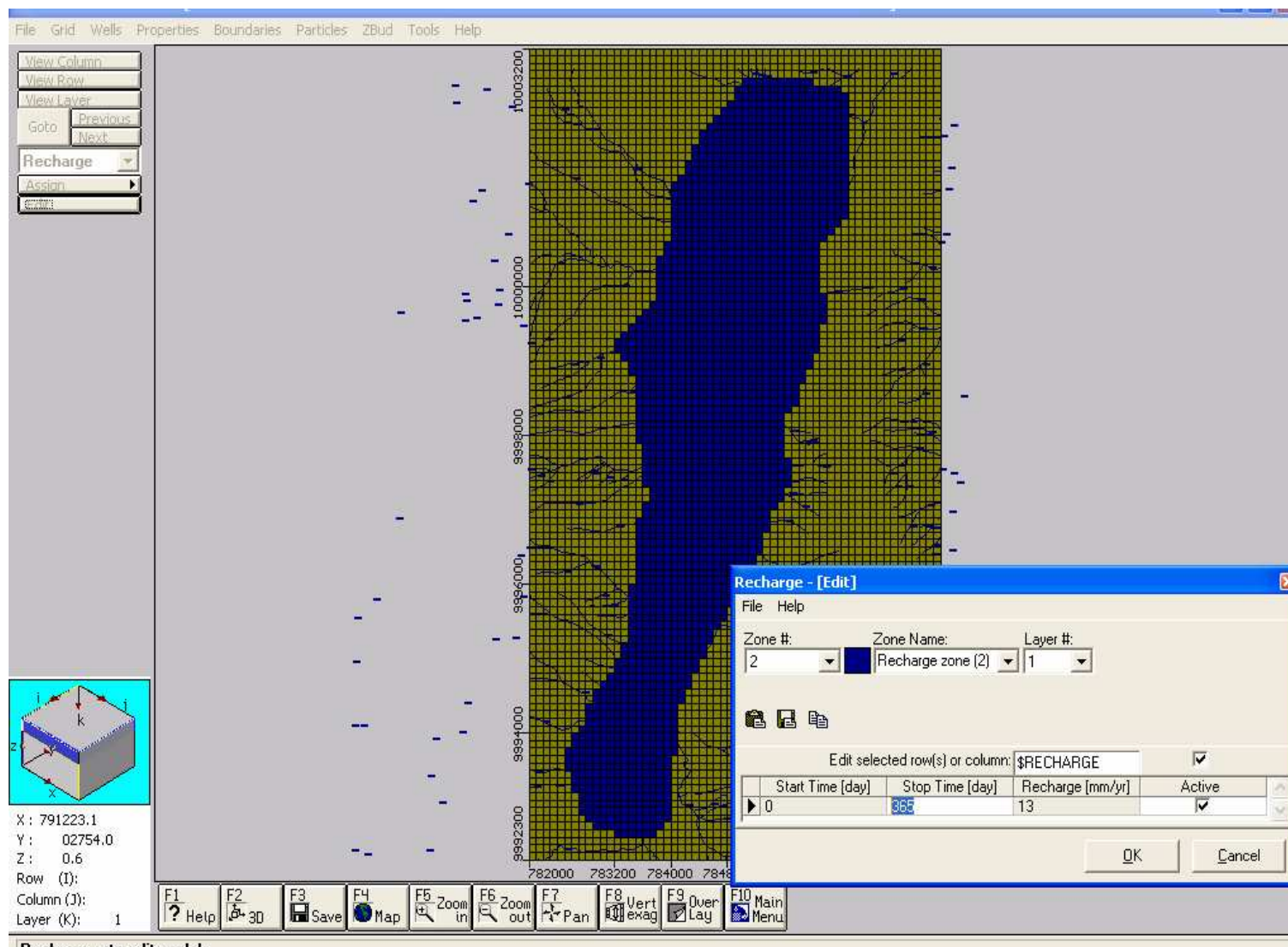


Figura 5.9 Ingreso del área de infiltración local

– RÍO MONJAS-SAN ANTONIO

Como parte de la modelación, se consideró importante, tomar en cuenta al río Monjas-San Antonio (figura 5.10), ya que atraviesa toda el área acuífera de Sur a Norte. Las condiciones de borde se definieron con la cota de superficie de 2300 m, cota de fondo y conductancia de 1.5m/día, datos obtenidos por el Departamento Acuífero de Quito, 2005, a partir de los registros de la Unidad Ejecutora de Proyectos e Hidrología (UEPRO E HIDROLOGÍA, 2003). La cota en la que se encuentra el nivel acuífero modelado es de 2505 msnm, en cambio la cota del río es 2300 msnm, por lo que no está considerado como recarga para el nivel modelado

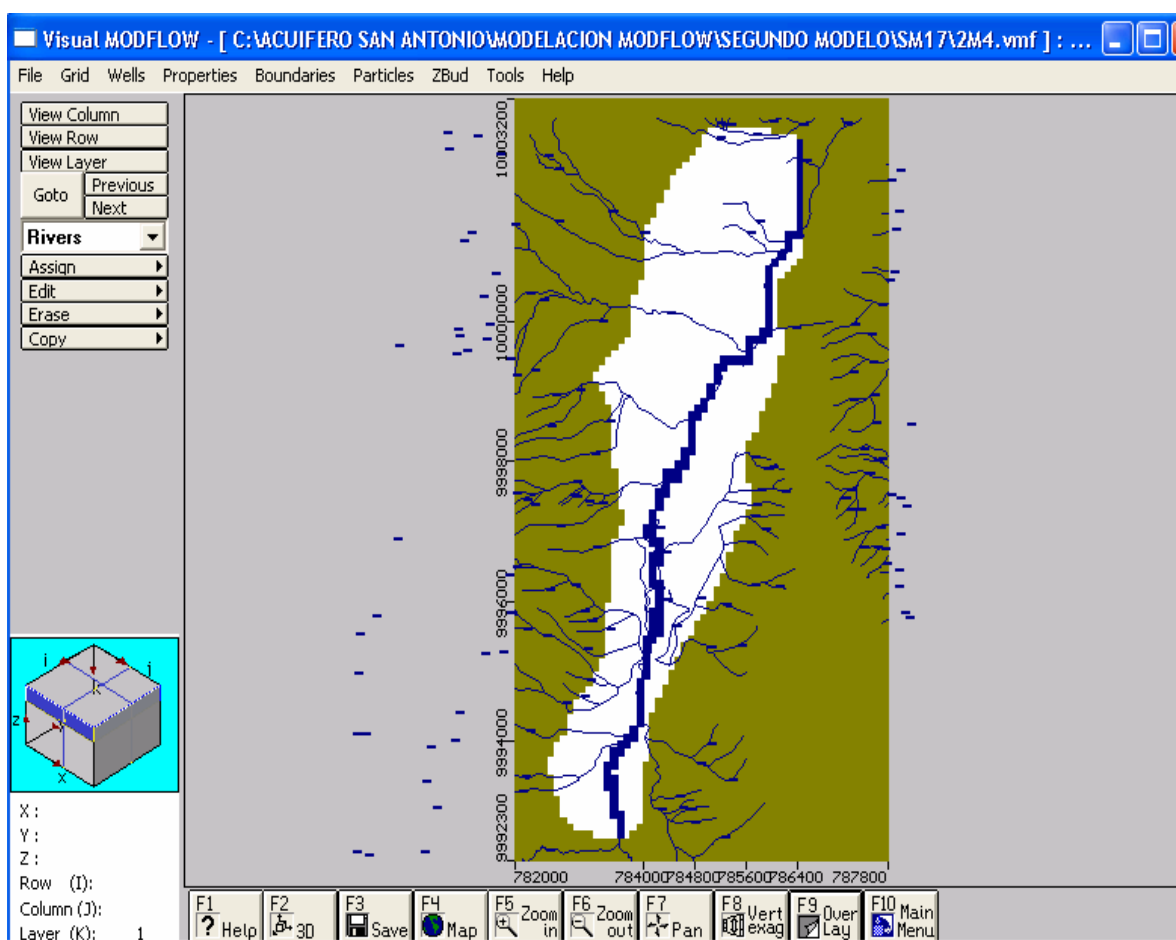


Figura 5.10 Ingreso de las condiciones de borde del río Monjas-San Antonio

– CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La conductividad hidráulica, fue estimada a partir de los valores que presenta la literatura, de acuerdo con la litología presente en el área (capítulo 4). En la figura 5.11 se observan los estratos con sus respectivas conductividades.

La zona en blanco, es generada por el programa, al no poder eliminarla, toma el valor de cero, lo que no representa influencia alguna sobre las capas a modelarse, ni en el análisis matemático que el programa realiza.

Con fines de modelación, se consideró a la conductividad hidráulica constante en las tres direcciones x,y,z; es decir, características isotrópicas

El estrato en rojo, representa a los depósitos Casitagua, en este estudio, no se logró caracterizar hidrogeológicamente a este estrato. Para fines de modelación, se consideró a estos depósitos como basamento hidrogeológico, es decir un estrato “impermeable” con una permeabilidad baja, figura 5.11.

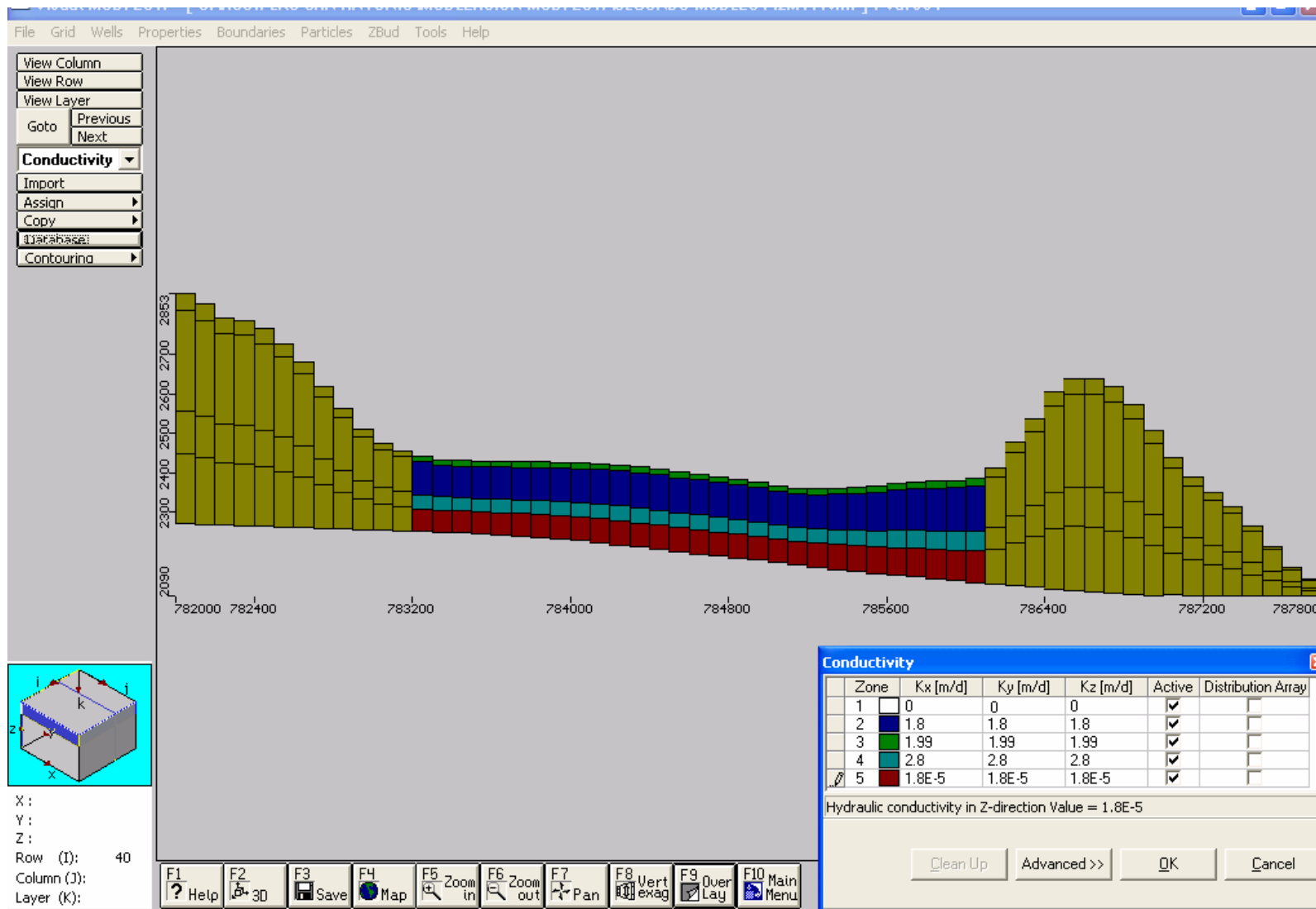


Figura 5.11 Ingreso de las conductividades hidráulicas o permeabilidades, perfil E-W, diseñado por el Modflow

– POZOS DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN

Posteriormente se introdujeron los pozos de observación Pusuquí, Vsap-1, la Herlinda, hacienda Oasis, con sus respectivos niveles estáticos medidos en la campaña realizada en el 2006 (anexo III, niveles piezométricos); además de los sondeos sev-2, sev-3, sev-5, sev-6 y sev-7, considerando el rango del nivel de agua que reporta cada uno de los sondeos eléctricos verticales (anexo I, sondeos eléctricos verticales) como muestra la figura 5.12.

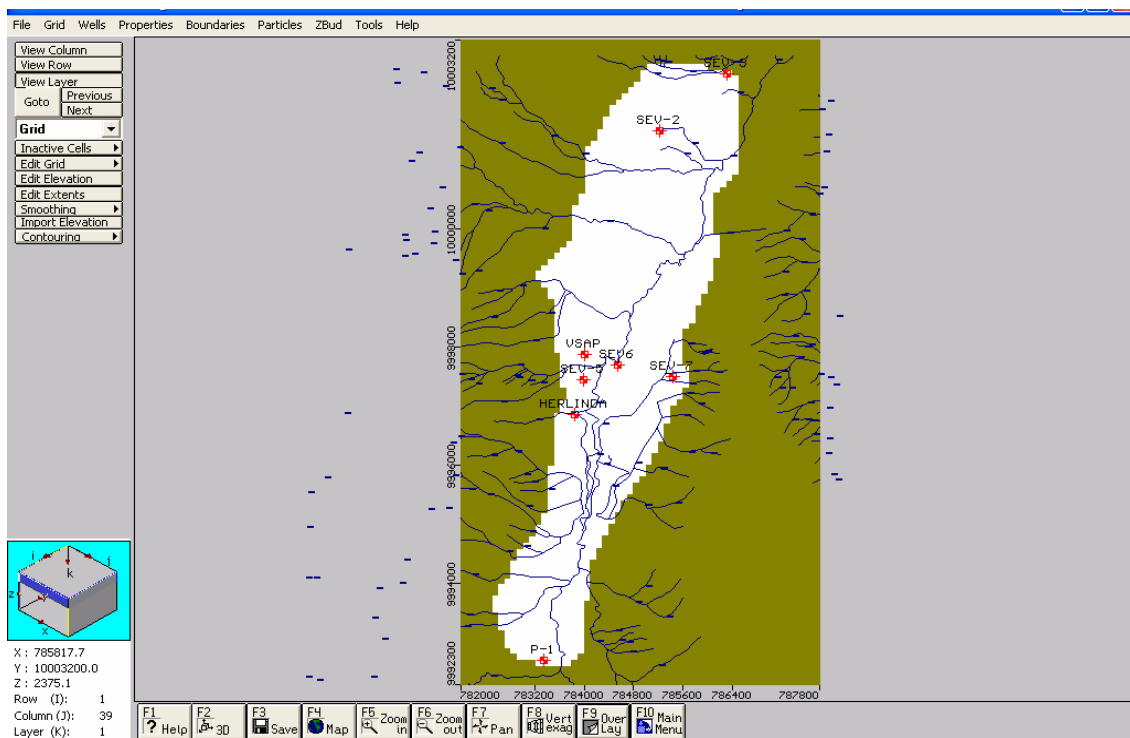


Figura 5.12 Ingreso de pozos de observación

– DESCARGA

Como la descarga, se ingresó cada uno de los pozos de explotación, con la ubicación de sus cribas y los caudales de extracción, tal como se observa en la figura 5.13

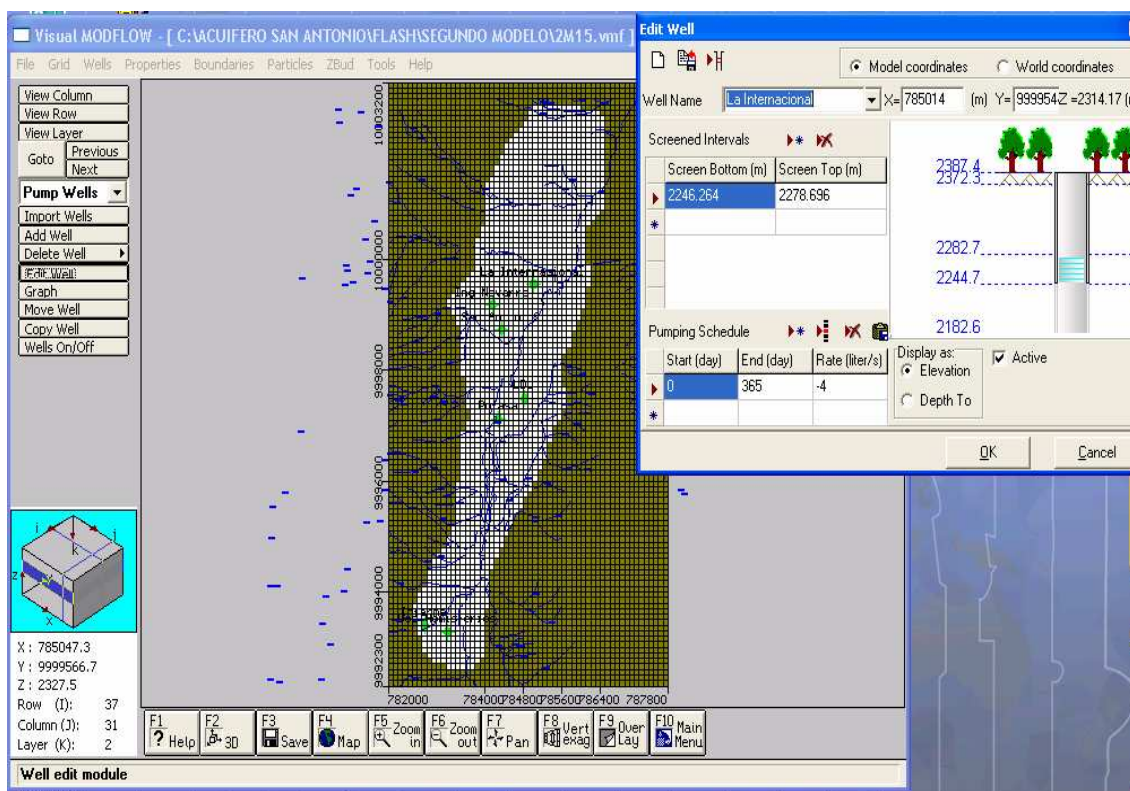


Figura 5.13 Ingreso de pozos de bombeo

5.6.2 INTERFASE DE CORRIDA (MODELACIÓN Y CALIBRACIÓN)

En esta interfase, el programa realiza iteraciones consecutivas (modelación, subcapítulo 5.2.3), con el fin de encontrar la función que llegue a la convergencia y consecuentemente, resolver las ecuaciones involucradas en la simulación del flujo subterráneo (modelación, subcapítulo 5.2). La resolución de estas ecuaciones permitió evidenciar las similitudes y diferencias entre el modelo conceptual propuesto y el modelo simulado. Cabe señalar que la función esta relacionada con el análisis numérico escogido para la modelación.

5.6.3 INTERFASE DE SALIDA (RESULTADOS)

En esta interfase se determinaron los parámetros que se ajustan con el modelo conceptual propuesto, es decir el modelo simulado determinó los parámetros de conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento; además de direcciones de flujo y balance hídrico calculados por el programa Visual Modflow a partir de los datos ingresados en la interfase de ingreso.

Los parámetros calculados por el modelo, deben ser coincidentes con los medidos en el campo, tomando en consideración el análisis de error que puede existir entre la comparación, a este proceso se lo reconoce como calibración.

El programa Visual Modflow, incorpora rutinas de cálculo matemáticas en el proceso de calibración, refiriéndose al error estándar de los niveles calculados y medidos, en dos regímenes principales, el permanente y el no permanente.

En este estudio, se consideró el régimen permanente para las diversas corridas del programa; como primer resultado, se obtuvo la calibración de los niveles estáticos medidos con los calculados, con lo que se alcanzó el 11% de error estándar (figura 5.14). Es decir que la diferencia en profundidad, entre el nivel estático medido en el campo y el nivel estático calculado por el programa está en 1.45 m (figura 5.14), por lo que se consideró un buena aproximación entre el modelo conceptual propuesto y el modelo simulado.

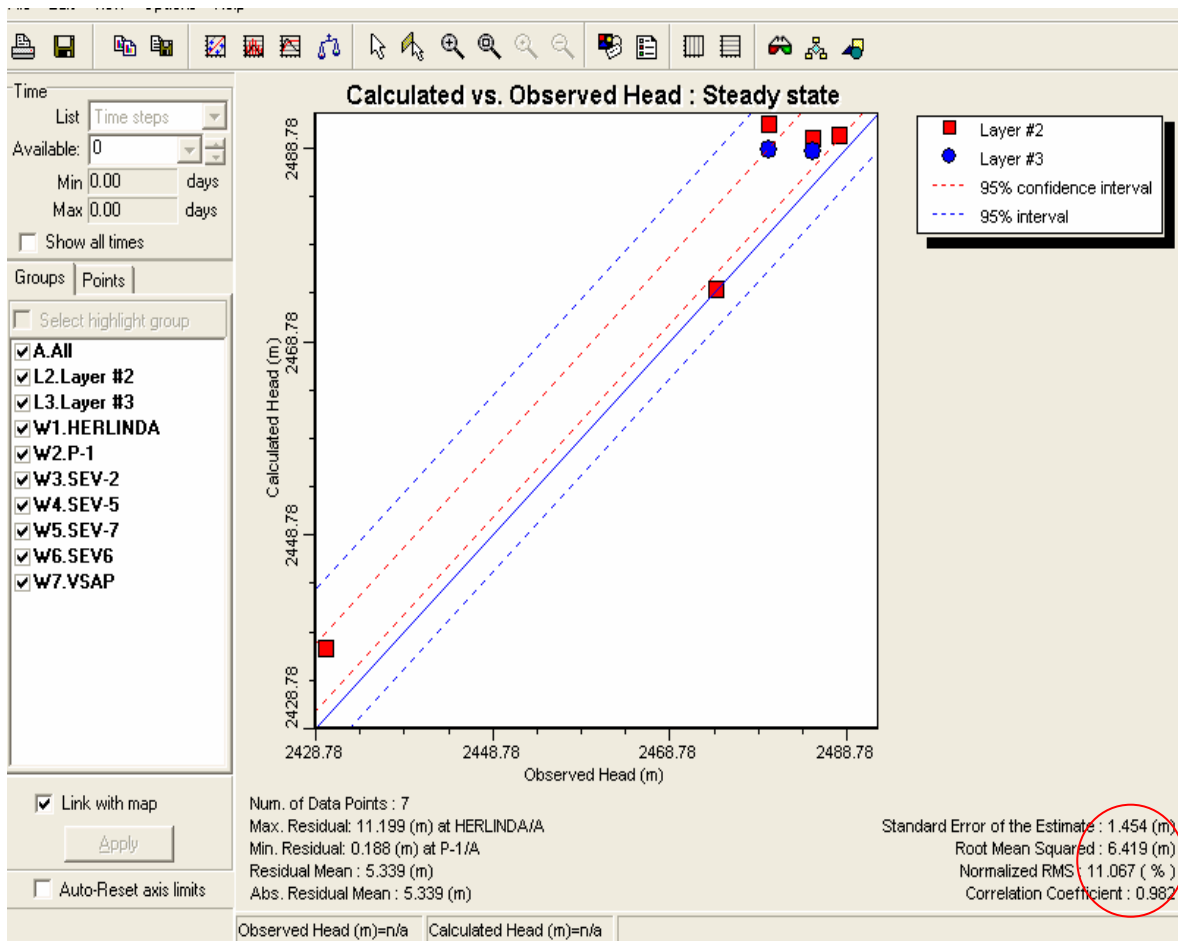


Figura 5.14 Calibración del modelo, porcentaje de error entre el valor del nivel estático calculado por el programa y el nivel medido en el campo

Parte de los resultados del modelo, constituye la validación del balance hídrico (figura 5.15). Los valores calculados por el programa están en el orden de 49997 m³/día (figura 5.15). Contrarrestando este valor con los calculados en el capítulo 3, (49268 m³/día), se observó una similitud; consecuentemente, existió una buena aproximación entre lo calculado para el modelo conceptual y lo ejecutado por el programa.

Otro resultado del modelo, constituye las líneas de dirección de flujo (figura 5.16), que se manifiestan muy similares a las obtenidas en el modelo conceptual (capítulo 4)

Se obtuvo también, el modelo en tres dimensiones del acuífero (figura 5.17), que corrobora el modelo conceptual propuesto para la zona de estudio.

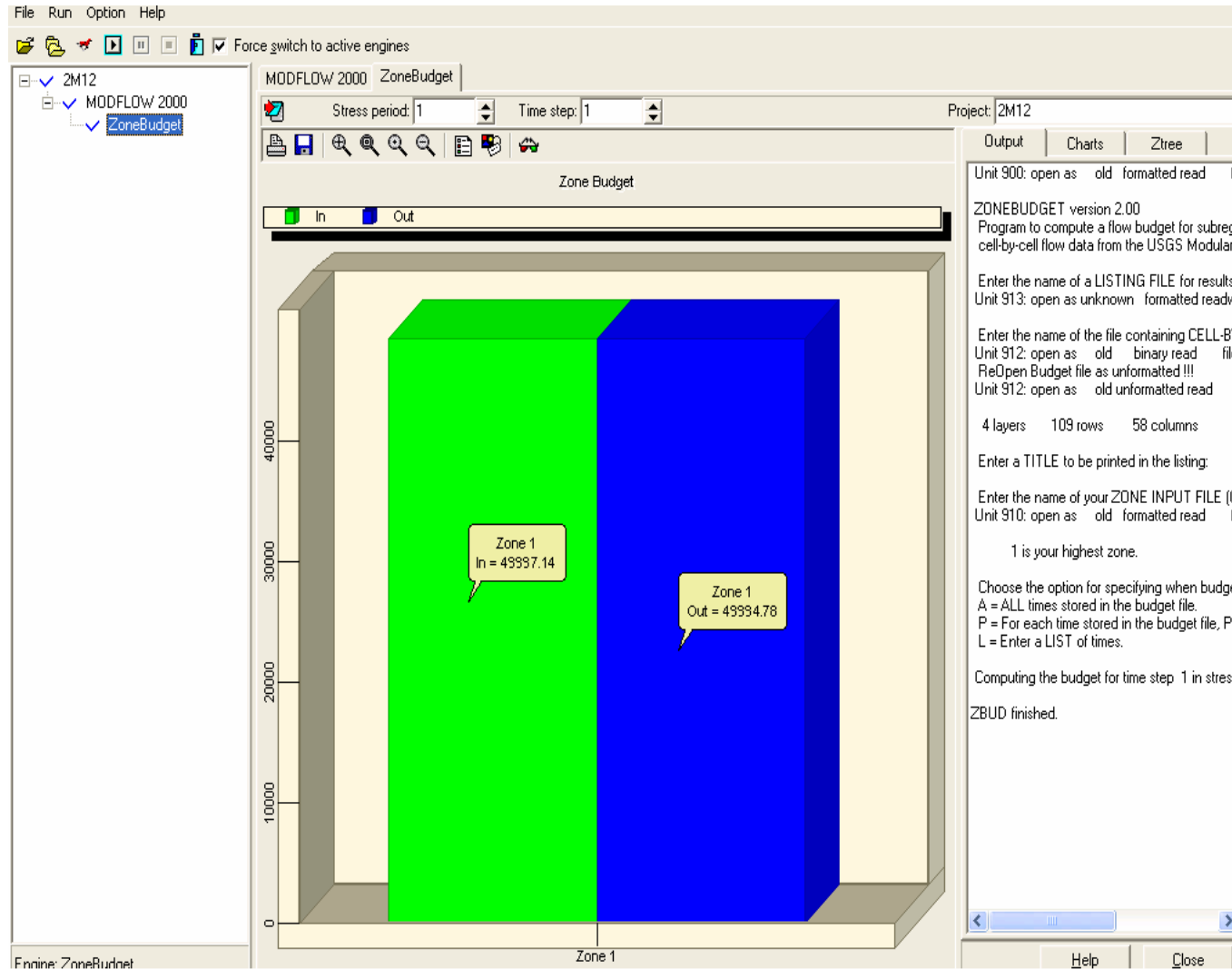


Figura 5.15 Balance hídrico, entrada y salida del flujo subterráneo, calculado por el Visual Modflow

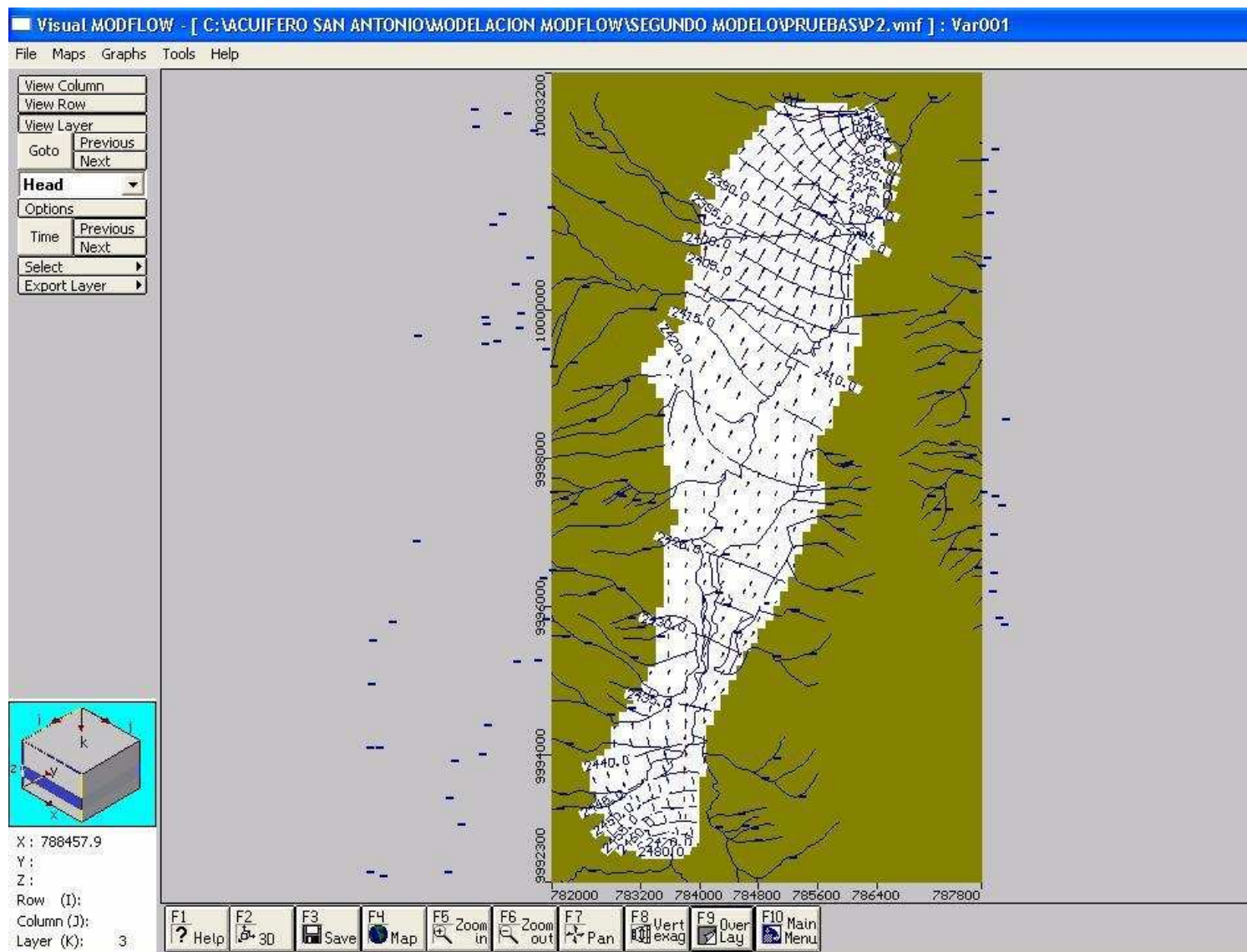


Figura 5.16 Direcciones y velocidades del flujo subterráneo

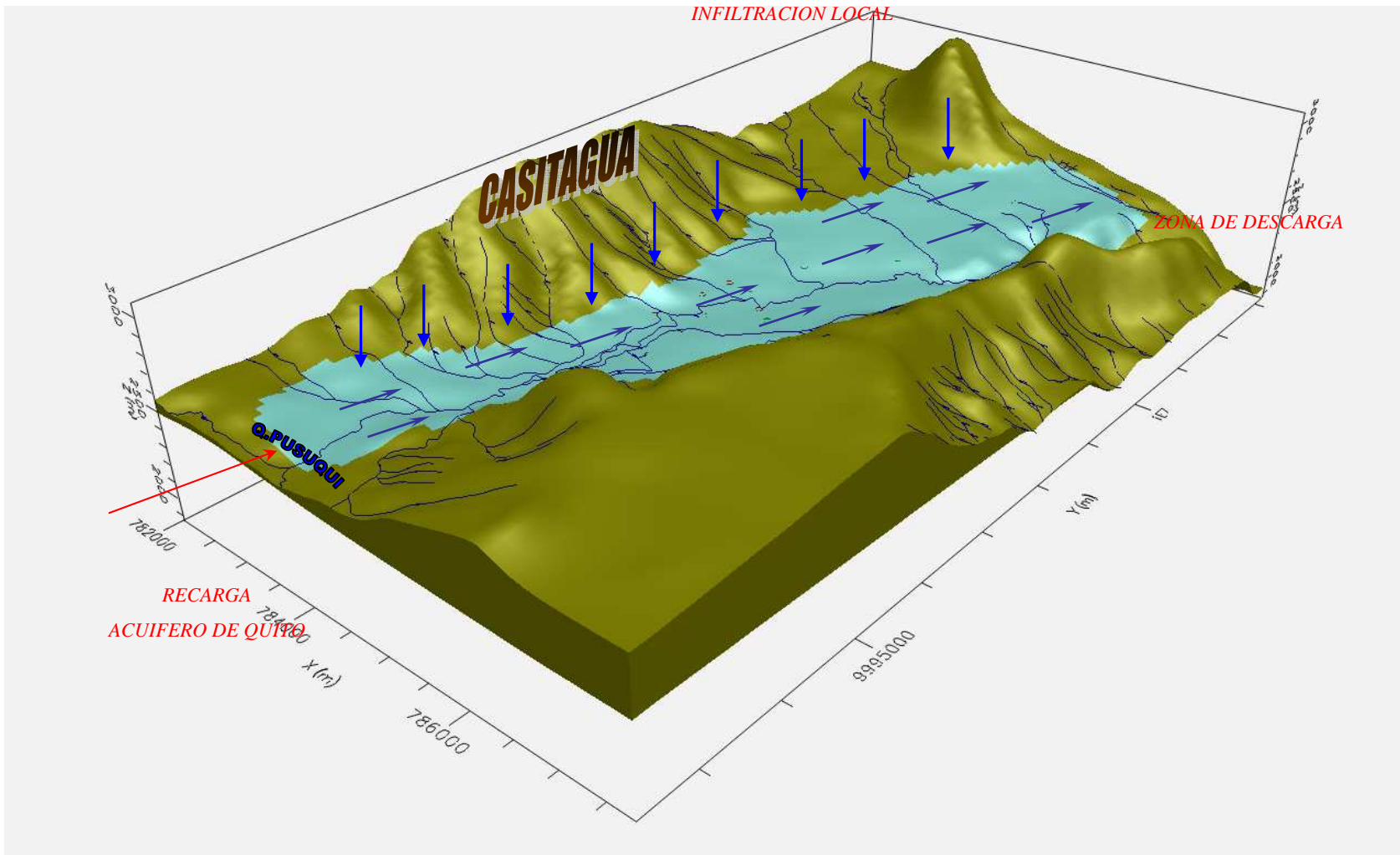


Figura 5.17 Modelo en tres dimensiones del acuífero Pusuquí-San Antonio

CAPITULO VI

6. HIDROQUIMICA

6.1 INTRODUCCIÓN

El estado natural del agua está determinado por procesos naturales; por ejemplo: los suelos, las rocas, algunos insectos y excrementos de animales; o artificiales, fundamentalmente, por causas humanas; por ejemplo: con sustancias que cambien el ph y la salinidad del agua, producidas por actividades mineras y agrícolas.

Por lo expuesto, es imprescindible caracterizar la calidad del agua contenida en el acuífero, por lo que, se determinó la condición físico-química y bacteriológica del agua para ser clasificada como buena o mala para el consumo humano y doméstico.

Para tal efecto, se efectuaron los análisis a diez muestras de agua, tomadas a lo largo del acuífero en estudio; se recogieron muestras de cuatro pozos y seis vertientes, en cuatro campañas de monitoreo químico, realizadas entre el 2004 al 2007 (anexo IV, parámetros químicos). El proceso estuvo a cargo del Laboratorio de Control y Calidad de la EMAAP-Q

Las muestras se sometieron a dos análisis: microbiológico y fisicoquímico. Con el primero se determinó si el agua fue contaminada por bacterias, microorganismos o heces fecales, mientras que con el segundo, se estableció los aspectos físicos como: aspecto, color, material sedimentario, partículas en suspensión y sustancias dañinas para la salud; a más de los aniones y cationes más frecuentes (Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn, Zn).

En el campo se efectuaron las determinaciones de: conductividad eléctrica, potencial hidrógeno y sólidos disueltos, mientras que en el laboratorio se determinó: alcalinidad total, bicarbonatos, calcio, cloruros, color, dureza, magnesio, nitritos, nitratos, oxígeno disuelto, sulfatos, turbiedad, sílice, coliformes

totales, carbono orgánico total, aluminio, arsénico, hierro, manganeso, potasio, sodio, zinc.

Debido a que los valores de las sustancias contenidas en el agua, son normadas se comparó los resultados de los análisis de las cuatro campañas, con los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS, publicado en el Registro Oficial del 31 de marzo del 2003), para aguas de consumo humano y doméstico que solo requieren desinfección para su potabilización.

Para los análisis de las campañas del 2006 y 2007, se comparó los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1108, publicada en el Registro Oficial No 231 del 17 de marzo del 2006), instaurada para aguas de consumo humano y doméstico en los sistemas de abastecimiento público y privado a través de redes de distribución y tanqueros.

Cabe mencionar que los resultados de las campañas 2004, 2006 y 2007, estuvieron incompletos, por lo que los resultados obtenidos, sirvieron para comparar las sustancias reportadas con los límites admisibles para cada una de ellas.

Los diagramas hidroquímicos, se vieron limitados a los resultados del muestreo de la campaña del 2005. Se obtuvieron los resultados de cuatro pozos y seis vertientes (anexo IV, parámetros químicos). Se plotearon los resultados de los análisis, usando el programa Aquachem (anexo IV, reportes), con lo que se estableció la clasificación hidrogeoquímica del agua, a la que posteriormente se la comparó con la clasificación realizada para el proyecto Acuífero de Quito, para determinar semejanzas y diferencias.

6.2 ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA

Con base en los resultados de las campañas de monitoreo 2004 al 2007, se definió los valores de los elementos que superan los límites máximos permisibles para considerar al agua como potable, es decir aguas aptas para el consumo humano y doméstico, establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS, 2003) y la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1108, 2006-2007). El anexo IV incluye las reglamentaciones anteriormente mencionadas así como los valores que incumplen las normas, resaltadas en amarillo.

El resumen de la comparación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de las muestras con las legislaciones mencionadas consta en el cuadro 6.1. En él se resaltan en colores los parámetros que incumplen las normas (TULAS, 2003 y NTE INEN 1108, 2006-2007) de acuerdo al año analizado.

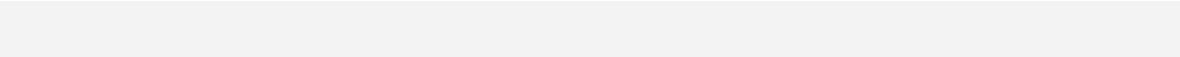
Del análisis de los datos de las campañas de monitoreo, se destacan los siguientes aspectos:

- Para las campañas realizadas por la EMAAP-Q, el 62% de las muestras incumplen al menos por una vez la norma en los valores que corresponden al hierro y manganeso. Los máximos valores corresponden a las muestras que fueron tomadas en la zona de San Antonio de Pichincha (pozos: San Antonio-1 (PSAP-1), liga deportiva universitaria (LDU) y la vertiente San Antonio de Pichincha N° 4 (VSAP- 4).

El incremento en el contenido del hierro y manganeso, se debe a que en el sector San Antonio de Pichincha, existe un estrato de turba (anexo I, columna No 3), es decir alto contenido de carbón, lo que indica condiciones reductoras (anaeróbicas), las que se reflejan en los análisis físico-químicos con un alto contenido de dióxido de carbono; además de la ausencia de oxígeno disuelto (anexo IV, parámetros químicos).

- El 46% de las muestras incumplen la norma en coliformes totales, principalmente en la campaña del 2006, esto se debe a la presencia de materia fecal en las proximidades de las vertientes VSAP-4, VSAP-1 y vertiente Oasis. En lo que se refiere al pozo Vsap-1, el incremento está asociado a la contaminación del pozo con materia fecal, en el instante del muestreo.

En conclusión, las muestras en el sector de San Antonio de Pichincha, son aptas para el consumo humano y doméstico. El incremento en el contenido del hierro y manganeso, produce una coloración amarillo-marrón de alta intensidad, sin causar toxicidad o peligro alguno; sin embargo, estas sustancias pueden ser controladas por medio de tratamiento. Así también las muestras deberán ser sometidas a un tratamiento de desinfección por cloración, para evitar la presencia de coniformes totales.



POZOS Y VERTIENTES	PARÁMETROS QUE INCUMPLEN LA NORMA	14/04/2004	20/07/2004	2005	2006	2007
Pofasa	STD, HIERRO	NR	SI	SI	NO	NR
Vsap-1	COLOR, TURBIEDAD, HIERRO, MANGANESO, COLOR, TURBIEDAD, STD, HIERRO, MANGANESO, COLOR, STD, HIERRO, MANGANESO, CARB. ORGANICO, DUREZA, COLIF. TOTALES,	NR	NO	NO	NO	NO
Hda Oasis	TURBIEDAD, HIERRO, MANGANESO	NR	NR	NO	NR	NR
LDU	STD, HIERRO, MANGANESO, COLOR, TURBIEDAD, MANGANESO, STD, HIERRO, MANGANESO, COLOR, STD DUREZA, HIERRO, MANGANESO, FOSFORO, ESCH. COLI, DUREZA TOTAL	NO	NO	NO	NO	NO
VSAP-1	COLOR, TURBIEDAD, STD, HIERRO, MANGANESO, COLIF. TOTALES, HIERRO, MANGANESO, ESCH. COLI	SI	SI	NO	SI	NR
VSAP-2	COLOR, TURBIEDAD, STD, HIERRO, MANGANESO	NR	NR	NO	NR	NR
VSAP-4	COLOR, TURBIEDAD, HIERRO, MANGANESO, STD, HIERRO, MANGANESO, COLOR, TURBIEDAD, STD, COLIF.TOTALES, HIERRO, MANGANESO, COLOR, STD, HIERRO, MANGANESO, CARBONO ORGÁNICO, DUREZA, COLIF. TOTALES. ARSÉNICO	NO	NO	NO	NO	NR
VSAP-5	COLOR, TURBIEDAD, STD, HIERRO, MANGANESO	NR	NR	NO	NR	NR
VERT. OASIS1	COLIF. TOTALES	NR	NR	NO	NR	NR
VERT. OASIS2	COLIF. TOTALES	NR	NR	NO	NR	NR
NR: no existe reporte de análisis NO: cumple la norma SI: cumple la norma						

Cuadro 6.1. Resumen de los parámetros que incumplen las norma TULAS 2003, para las campañas (2004-2005) y la norma NTE para las campañas 2006-2007

6.3 DIAGRAMAS HIDROQUIMICOS

Con base en los resultados de los análisis físico-químicos, de las muestras tomadas en la campaña del 2005 (anexo IV, parámetros químicos), se elaboraron los diagramas de Piper para cada una de las muestras, para lo que se utilizó el programa Aquachem (anexo IV, diagramas de Piper), lo que permitió establecer el tipo de agua.

La figura 6.1 indica que las aguas del acuífero Pusuquí- San Antonio de Pichincha son de tipo Bicarbonatadas, Cálcico-.Magnésicas

La vertiente SAP-5 y el pozo Pofasa, presentan una mayor concentración cálcica, sin alterar la tendencia general de las muestras

Tomando como referencia las muestras de la campaña del 2005 y 2007, ubicadas en el sector de Pomasqui (LDU, Vsap-1) y San Antonio de Pichincha (PSAN ANTONIO1), se observó que las muestras del sector Sur del acuífero (Pomasqui), contienen más sodio que las ubicadas en San Antonio de Pichincha, que muestran una composición más cálcica (anexo IV, diagramas de Piper). Esto se debe a que al Norte del acuífero las rocas de los estratos que conforman los niveles acuíferos, son más ácidas (rocas más claras, mayor presencia de: plagioclasas ácidas: Albita, Oligoclasa y Cuarzo; denominadas como andesitas ácidas; Andrade, 2002) estas rocas, hacen que las aguas se enriquezcan en Calcio y Magnesio.

Tomando en cuenta la relación de las aguas subterráneas con respecto a su mineralización, se observó que las concentraciones de sólidos totales disueltos, en las campañas del 2004 al 2007, se conservaron en el tiempo con valores que están por debajo de 1 gr/l, por lo que corresponden a aguas dulces (anexo IV, clasificación de las aguas), según la clasificación del tipo del agua O.A.Aliokin (tomado de De Miguel Fernández, 1999)

Considerando la concentración de iones hidrógeno, las campañas de muestreo del 2004 al 2007, indicaron valores de ph que varían de 6 – 8 unidades, con lo que se demuestra que el agua tiene un comportamiento de aguas que varían de débilmente ácidas a débilmente básicas (según E.B.Pasoxov, tomado de, De Miguel Fernández, 1999) (anexo IV, clasificación de las aguas)

Haciendo referencia a la clasificación de Alokín (anexo IV, clasificación de las aguas), en lo que se refiere a la dureza total, esta fluctúa entre 2-8 mg.eq/l, lo que corresponde a aguas algo duras.

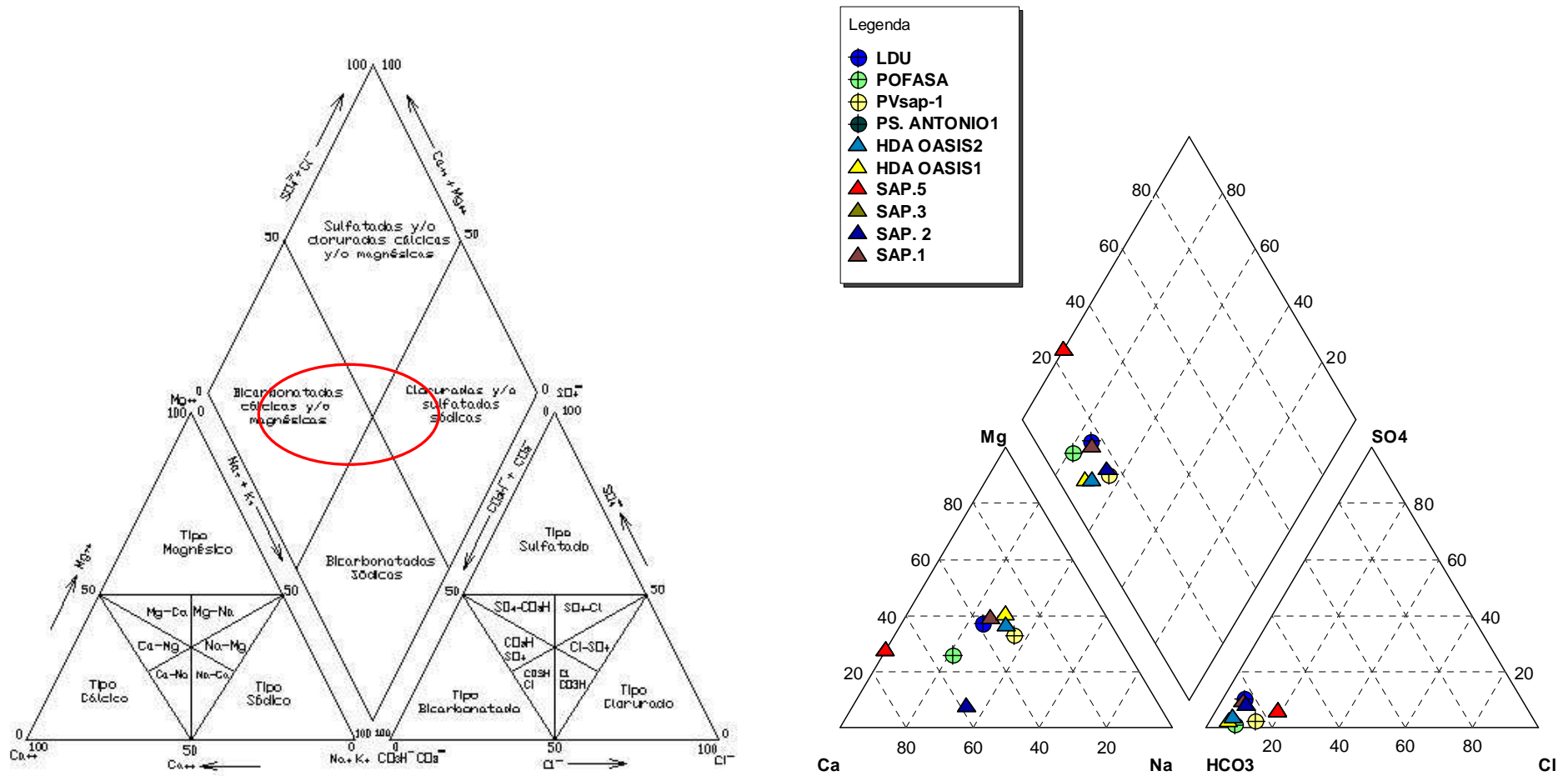


Figura 6.1 Diagrama de Piper para los pozos y vertientes muestreados en la campaña del 2005, en el Acuífero Pusuquí- San Antonio de Pichincha

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha, se caracteriza por tener una configuración alargada de (aproximadamente 11 Km) y estrecha, con un ancho de aproximadamente 2 Km. Está contenido en un relleno volcanosedimentario que contiene a tres formaciones geológicas principales: depósitos y flujos Pululahua, formación Cangahua y depósitos Casitagua.
- Los límites son: al Sur la quebrada Pusuquí, que marca una depresión del relieve entre el Noroccidente de Quito y la subcuenca Pusuquí-San Antonio, al Norte la quebrada La Portada, que marca un cambio litológico en planta y perfil, al Este el levantamiento Velasco Carcelén-Catequilla, La Providencia, y al Oeste el volcán Casitagua.
- El acuífero está ubicado en la cuenca del río Monjas, tiene una zona de acumulación con un área de 22 km², una zona de descarga ubicada al Noreste a partir de los 2200 msnm y una zona de recarga ubicada al Suroccidente, en la cota 2600 msnm.
- La recarga tiene dos componentes: la Infiltración directa debido a la precipitación que es 283.343 m³/año; y el escurrimiento subterráneo proveniente del acuífero del Centro-Norte de Quito, estimado en 17.699.545 m³/año; con una recarga total de 570 l/s.
- El modelo conceptual establecido para el acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha, consta de dos niveles acuíferos. El nivel superior se ubica en los depósitos y flujos Pululahua, tiene un espesor medio de 30 m y se localiza a partir de los 40 m de profundidad. El segundo nivel acuífero, se halla a partir de 75 m de profundidad, tiene un espesor medio de 25 m y corresponde a la formación Cangahua.

- El nivel acuífero superior es libre, mientras que el segundo nivel acuífero es semiconfinado, los dos niveles están conectados hidráulicamente formando un acuífero multicapa.
- Con base en la litología, se asumió un valor promedio de conductividad hidráulica para cada nivel, el primer nivel acuífero posee una conductividad hidráulica entre 1.4-1.7 m/día y el segundo nivel acuífero con 1.7-2.8 m/día
- La transmisividad, del primer nivel acuífero es 42-51 m²/día, considerando una conductividad hidráulica de 1.4-1.7 m/día y un espesor promedio de 30 m. Para el segundo nivel acuífero, se consideró un espesor promedio de 25 m, con lo que se obtuvo 42.5-70 m²/día de transmisividad.
- El nivel piezométrico para el 07/07/2006 se ubicó a una profundidad entre 75-90 m (2485-2470 msnm) en el sector de Pusuquí, mientras que en Pomasqui y San Antonio se localiza entre los 30-54 m (2360-2336 msnm).
- Las direcciones de flujo para el acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha, son coincidentes con las líneas de flujo del acuífero Centro Norte de Quito, con tendencia hacia el Nor-Este
- El modelo numérico aplicado para la simulación permitió corroborar los parámetros hidrogeológicos definidos para el modelo conceptual; así también las direcciones de flujo y el balance hídrico.
- Los volúmenes de recarga al acuífero están dependiendo netamente del aporte del acuífero de Quito, es decir el agua subterránea que se localiza en la zona de estudio, abastecerá a la población local si los volúmenes de recarga desde el Sur, siguen aportando caudales hacia el acuífero Pusuquí-San Antonio, de lo contrario el acuífero en estudio no podrá ser explotado, ya que la recarga local, es insuficiente (9 l/s) para abastecer las necesidades de la zona.
- La calibración de los niveles estáticos medidos con los calculados, alcanzó el 11% de error estándar. Es decir que la diferencia en profundidad, entre el nivel estático medido en el campo y el nivel estático calculado por el programa está en 1.45 m, por lo que se consideró una buena aproximación entre el modelo conceptual propuesto (basado en los fenómenos físicos que ocurren en la realidad) y el modelo simulado.

- La calidad físico-química y bacteriológica, determinó que el agua contenida en las localidades de Pusuquí y Pomasqui es apta para el consumo humano y doméstico, luego de ser tratadas con el proceso de cloración. En el sector de San Antonio de Pichincha, el incremento en el contenido del hierro y manganeso, produce una coloración amarillo-marrón de alta intensidad, sin causar toxicidad o peligro alguno; sin embargo, estas sustancias pueden ser controladas por medio de tratamiento. Así también las muestras deberán ser sometidas a un tratamiento de desinfección por cloración, para evitar la presencia de coliformes totales.
- Las aguas en la zona de estudio, son químicamente estables, son de tipo bicarbonatadas-Cálcico-Magnésicas, muy similares a las determinadas para el acuífero de Quito, que son de tipo Bicarbonatadas Magnésicas.
- Las aguas subterráneas, localizadas más al Norte, en el sector de San Antonio de Pichincha, muestran una composición más cálcica que las localizadas en el sector de Pomasqui. Los estratos que conforman los niveles acuíferos, contienen rocas más ácidas, por lo que las aguas se enriquecen en Calcio y Magnesio.
- En el acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha, las aguas subterráneas se clasifican como dulces, con variaciones de ph que le dan un comportamiento de débilmente ácidas a débilmente básicas.
- El acuífero de Pusuquí-San Antonio de Pichincha representa la continuación del acuífero Centro Norte de Quito, la similitud de los estratos, la continuidad de la estratificación, los parámetros hidrogeológicos asumidos, las direcciones de flujo y la el tipo de agua, garantizan dicha continuidad.

7.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable afinar el análisis hidrológico, con información detallada de precipitación, o mediciones de evapotranspiración directa en la zona de acumulación ya que estos parámetros regulan e inciden directamente en la infiltración hacia las aguas subterráneas.
- Se recomienda realizar un estudio hidrogeológico del tercer nivel acuífero, que se encontraría a partir de los 120 m
- Realizar pruebas de bombeo, para cada uno de los niveles, aislándolos, con el fin de conocer el nivel piezométrico y las propiedades hidrogeológicas de cada uno de manera individual.
- Asimismo se debe monitorear las características físico-químicas de cada nivel
- El modelo debe ser afinado con estos nuevos datos; de esta manera se podrá simular escenarios para gestionar el recurso hídrico.

CAPITULO VIII

8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- APELO y POSTMA, 1993.- **Geochemistry Grounwater and Pollution**
A.A. Balkema / Rotterdam/ Brookfield.- 1-536
- ALVARADO, A,1996.- **Evolución Geológica Cuaternaria y Paleosismicidad de la Cuenca de Quito.**- Tesis de grado, Ingeniería en Geología.-EPN.-Quito-Ecuador.
- ANDRADE, D, 2002.- **Estudio Geovolcanológico del Complejo Volcánico Pululahua.**- Proyecto de titulación, Ingeniería en Geología.- EPN.-186 pág
- pág
- CLAIR.N, SAWYER, PERRY L Mc CARTY; GENE F.PARKIN; 2000.- **Química para Ingeniería Ambiental.**- cuarta edición.- Colombia.-714 pág
- CLAPPERTON, Ch y VERA, R, 1986, **The Quaternary glacial sequence in Ecuador: a reinterpretation of the work of Walter Sauer.**-Journal of Quaternary Science. 1, pp. 45-56.
- CORNEJO, R, 1980.-**Geología de la zona entre San Antonio de Pichincha y el Río Guayllabamba.**- Tesis de Grado, EPN, Quito, Ecuador 102 pág.
- CUSTODIO, E, .- **Hidrogeología y Aguas Subterráneas.**- Ediciones Omega, S.A-Casanova,220.- Tomo I, II.- Barcelona-11.-2359 pág.
- DGGM. 1978a, **Hoja geológica “Quito”.** Escala 1:50000
- DGGM. 1982d, **Hoja geológica “San Antonio”.** Escala 1:25000.
- DE MIGUEL, C,1999.- **Hidrogeología Aplicada.**- Editorial Félix Varela, 453 pág
- DE MIGUEL,C, 2003.- **Curso de Actualización de Aguas Subterráneas.**-Departamento Acuífero de Quito.-EMAAP-Q

- DE MIGUEL, C, 2005.- **Caracterización Hidrogeológica de los Acuíferos de Pusuquí-San Antonio de Pichincha y del valle de Los Chillos.**-Departamento Acuífero de Quito.-EMAAP-Q
- EGO, F & SEBRIER, M, 1995.- **The Ecuadorian Inter-Andean Valley: a Major and Complex both restraining bend and Compressive Graben since upper Miocene time.**
- EGÜEZ, A, ALVARADO, YEPES, MACHETTE, COSTA y DART, 2003.- **Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions.**
- EMAAP-Q, 1981-1985.- Proyecto **Recarga Artificial Acuífero de Quito.**
- EMAAP-Q, UNIDAD EJECUTORA DE PROYECTOS E HIDROLOGÍA, N, 2003.- **Registro de caudales del río Monjas-San Antonio.**
- EMAAP-Q, 2003.- Unidad de Mantenimiento Electromecánico de Distribución .- **Reporte de mantenimiento de pozos.**
- EMAAP-Q, DEPARTAMENTO ACUÍFERO DE QUITO, 2004.- **Informe de sondeos mecánicos y eléctricos, sondeo P-1.- Pusuquí.-** vol 2 de 5.
- EMAAP-Q, DEPARTAMENTO ACUÍFERO DE QUITO, 2005- **Informe de sondeos mecánicos y eléctricos, sondeo Vsap-1.-** San Antonio de Pichincha.
- EMAAP-Q, DEPARTAMENTO ACUÍFERO DE QUITO, 2005- **Investigaciones de resistividad eléctrica en la exploración de aguas subterráneas.**
- FOTOGRAFÍAS AÉREAS, 1983/02/04.- Escala 1:60000, 1:20000, IGM, Instituto Geográfico Militar.-Departamento de fotografía aérea.-rollo 86.
- HERNANDEZ A, MARTINEZ. J., LLANUSA. H. y DILLA. F. "**Modelos de Acuíferos**".- Texto de la Maestría de Ingeniería Hidráulica. CIH. - Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE.- 2001.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERÍA-GEOTERMICA ITALIANA- ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, 1989.- **Mapa Geológico del Volcán Guagua Pichincha.**-Escala 1:50000, Convenio de Cooperación Técnica Ecuador-Italia.

- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA.- Departamento de Agrometeorología .- Registros de balances hídricos.
- LAYEDRA, H,1997.- **Modelo Hidrodinámico del Acuífero de Pujilí con el Uso de Sistema de Modelización GMS.**- Tesis de grado, Ingeniería en Geología.-EPN.-107 pág.
- LAVENU, A, Winter,T, Dávila,F,1995.- **A Pliocene-Quaternary compressional basin in the Interandean Depression.**- Central Ecuador. Geophys. Journal. Int. 121, 279-300.
- LAVENU, A, BAUDINO R, and Ego F,1996.- **Stratigraphie des depots Tertiaires et Quaternaires de la Depression Interandine d'Equateur (entre 0° et 2°15S).** Bulletin Institut Francais d' Etudes Andines.- 25, pp. 1-15.
- MARTINEZ, D,2003, **Taller sobre monitoreo de Aguas Subterráneas.**- Departamento Acuífero de Quito.-EMAAP-Q
- MARTINEZ, D,2005, Informe de consultoría.- **Análisis de la información Hidrogeoquímica de los valles de los Chillos, Pífo-El Quinche y Pusuquí-San Antonio de Pichincha.**- Departamento Acuífero de Quito.-EMAAP-Q
- MIDUVI.- Proyecto **Abastecimiento de Agua.**- Uyachul Alto.- Pusuquí.- Prov. Pichincha Proyecto, **Textiles Equinoccial.**- San Antonio de Pichincha.- Prov. Pichincha.
- MUÑOZ, T, 2005.- **Modelación del nivel principal del acuífero de Quito.**- Proyecto de titulación.- Ingeniería en Geología.- EPN.- 174 pág
- ORSOLINI.H, ZIMMERMANN.E, et,al, 2000.- **Hidrología.**- Editorial UNR.-336 pág.
- POURRUT. P,1995, Estudios de Geografía, **El agua en el Ecuador.**
- PROYECTO RLA/8/31, 2000.- **Estudio Hidrológico-Isotópico del Acuífero de Quito.**- Informe Técnico Final.- Quito-Ecuador.
- PROYECTO RLA/8/023, 2004.- **Manejo Integrado y Sostenible de los Recursos Hídricos Subterráneos en América Latina.**- Curso de Capacitación en Modelación de Aguas Subterráneas.

- SERRANO,C,1982.- **Estudio Geoquímico del Noroccidente del Pululahua.**- Tesis de grado, ingeniería en Geología.- EPN
- TAUPIN, J, 2004.-**Interpretación Isotópica de los datos existentes del Acuífero de Quito, Propuesta de un plan de muestreo para completar el estudio.**
- TAPIA, F, 2006.- **Estudio Hidrogeológico del acuífero del Valle de los Chillos.**- Departamento Acuífero de Quito.-EMAAP-Q
- VARNI,M ,VIVES,L, 2004.- **Aplicación de los Métodos Numéricos en Hidrología Subterránea.**- Unidades 1-6
- VILLAGOMEZ, D, EGUEZ, A WINKLER Y SPIKINGS, 2002- **Plio-Quaternary Sedimentary and Tectonic Evolution of the Central Inter-Andean Valley in Ecuador.**
- VILLAGOMEZ, D, 2003 - **Evolución Geológica Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador.**-Proyecto de titulación, Ingeniería en Geología.- EPN
- WATERLOO HIDROGEOLOGIC, 2003.- Visual Modflow 3.1.0.- **User's Manual.**-433pág

ANEXOS

ANEXO I.

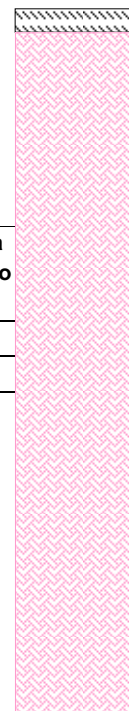
- COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS
- SONDEOSELÉCTRICOS VERTICALES
- PERFORACIONES
- FOTOGRAFÍAS DE LOS TESTIGOS DE PERFORACIÓN

COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

COLUMNA No 1 (QDA SAN CAYETANO)

X 784227
 Y 9997944
 Cota 2400
 Sector Pomasqui

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	Km/día asumido
1,0	Limo arenoso, con arena fina color café oscuro	Suelo	2	1,4
2,0				
4,0	<p>Alternancia de arenas limosas y limos arenosos de colores grises claros y oscuros; tamaños de arena de fina a media y en menor porcentaje gruesa con bajo contenido de humedad.</p> <p>Se obtiene 48% de arenas medias y un 51% de arenas finas y limos intercalaciones decimétricas de capas de ceniza gris clara y crema las capas son subhorizontales bien estratificadas, de compactación media</p> <p>Se observa pómez re TRABAJADA</p>	Flujos Pululahua	20	1,8
6,0				
8,0				
10,0				
12,0				
14,0				
16,0				
18,0				
20,0				



COLUMNA No 2 (LA PAMPA)

X 784282
 Y 9997126
 Cota 2398
 Sector Pomasqui

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día asumido
1,0	Limo arenoso, con arena muy fina color café oscuro	Suelo	1,5	1,4
4,0	Secuencia de arenas limosas y limos arenosos de colores grises claros y oscuros; tamaños de arena de fina a media y en menor porcentaje gruesa	Flujos Pululahua	28,5	1,8
6,0	Se observan			
8,0	70% de arena café -amarillenta y grisácea de grano fino			
10,0	20% de gravas grisácea de tamaños de hasta 50cm; 10% de gravas de colores grises y blanquecinos, tamaños de hasta 10cm, predominan tamaños de 4cm.			
12,0	intercalaciones decimétricas de capas de ceniza gris clara y crema			
14,0	las capas son subhorizontales			
16,0	bien estratificadas, de compactación media			
18,0	Se observa pómez retrabajada			
20,0	color crema-amarillenta			



COLUMNA No 3 (SAN ANTONIO DE PICHINCHA)

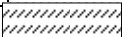

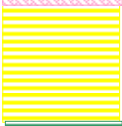

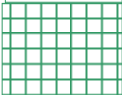

X 785171,00
 Y 9999004,00
 Cota 2389,00
 Sector Piscinas Municipales



PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día asumido
1,0	Limo café oscuro, algo deleznable	Suelo	1,5	1,7
2,0	Secuencia de arenas finas a muy finas color café claro con alternancia de limos arenosos y arenas limosas	depósitos lacustres	8,5	1,7
3,0	intercalaciones de ceniza muy fina color crema a blanquecina			
4,0				
5,0	Turba color café muy oscura, consolidada con presencia de raíces			
6,0	Sedimentos lacustres bien estratificados, no muestran deformación			
7,0	arenas finas al tope de las capas, mientras que en la base las arenas se vuelven más gruesas.			
8,0	en el tope se observan limos arenosos color amarillento, afectados por oxidación			
9,0	La Presencia de oxidación, de hierro es evidente, así como de capas decimétricas			
10,0				

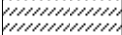




COLUMNA No 4 (RÍO MONJAS-CATEQUILLA)

X 785800,00
 Y 1000006,00
 Cota 2350
 Sector Catequilla

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	Km/día asumido	
0,5	Limo color café oscuro deleznable	Suelo	2	1,45	
4,0	Alternancia de cenizas Cenizas gruesas color rosado, retrabajadas de hasta 20cm con presencia de lapilli de pómez blanca	Depósitos Pululahua	30	1,5	
6,0					
8,0	Se observan dacitas en un 10%, entre la pómez y la ceniza gruesa.				
10,0	A la base de la secuencia, carbón y lapilli de pómez acrecionado				
15,0	además de una capa decimétrica de suelo café claro				
20,0	Secuencia de bloques de dacitas y cenizas con estratificación cruzada				
25,0	color blanca y muy fina				
30,0	seguidas de cenizas rosadas con pómez y líticos de composición dacítica				
35,0	Sedimentos lacustres, finos, bien estrati- ficados que no presentan deformación	Sedimentos Lacustres	10	1,5	
40,0					
45,0	Dacitas grises que al tope se vuelven rojizas. Poca matriz	Flujo Pululahua	30	3	
50,0	subangulares con pátinas negras				
55,0					
60,0					
65,0	Andesitas verdes y grises subangulares a subredondeadas en una matriz compacta			3	
70,0					
75,0	Tobas crema				
80,0					
85,0		Formación San Miguel	25	1,5	
90,0	Sedimentos deformados sedimentos grises a cremas				
100					

COLUMNA No 5 (QUEBRADA LA PORTADA)

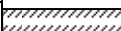

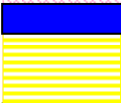
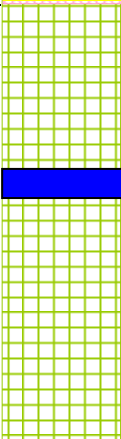


X 787000,00
 Y 1000032,00
 Cota 2300

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	Km/día Asumido	
1,0	Limo color café oscuro deleznable	Suelo	2	1,4	
5,0	Secuencia conformada por caídas de pómez, re TRABAJADAS. Intercaladas en una matriz de cenizas gruesas y finas amarillentas a café	Depósitos Pululahua	9	1,6	
10,0					
15,0	flujo color rosado, monolítico compuesto por dacitas grises y rosadas	Flujo Pululahua	30	2	
20,0					
25,0					
30,0					
35,0					
40,0					
45,0	Flujo monolítico, con un 15% de matriz. Dacitas con grandes cristales de hornblenda de colores verdosos	Flujo Pululahua	40	2	
50,0					
55,0					
60,0					
65,0					
70,0					
75,0					
80,0					
85,0	Avalancha de escombros, color amarillo-verdoso, con presencia de bloques de andesita de coloraciones verduzcas, daitas y brechas	Formación Pisque	30	2	
90,0					
95,0					
100					
105					
110					

SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

SONDEO VERTICAL No 2 (SEV-2)

X 785212
 Y 10001663
 Cota 2389
 Sector San Antonio de Pichincha, escuela 9 de Junio

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día asumido	RESISTIVIDAD Ω m		
1,0	limos compactados	Suelo	1	1,7	163		
5,0	Secuencia de arenas finas a medias con presencia de limos arenosos de grano fino muy compactados gravas alteradas	Depósitos Pululahua	85	1,8	239		
10,0					72,7		
20,0							
30,0							
40,0							
50,0					569		
60,0							
70,0					17,2		
80,0	Sedimentos lacustres		20	1,8			
90,0	Tobas muy compactadas	Cangahua	94	1,5	22		
100,0							
110,0							
120,0							
140,0							
160,0							
180,0							
200,0	gravas y bloques	Casitagua	100	3			
300,0					100		

SONDEO VERTICAL No 3 (SEV-3)

X 786722
 Y 10002500
 Cota 2245
 Sector San Antonio de Pichincha, Quebrada la Portada

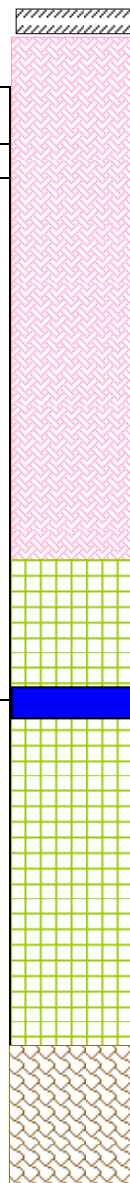
PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día asumido	RESISTIVIDADES Ω m
1,0	limos compactados	Suelo	1	1,7	545
5,0	Secuencia de arenas finas a medias con presencia de limos arenosos de grano fino muy compactados cenizas, arenas finas	Depósitos Pululahua	85	2	1292
10,0					17,2
20,0					
30,0					
40,0					
50,0					
60,0					503
70,0					
80,0					44,2
90,0					Sedimentos deformados
100,0					
110,0					
120,0	200				
140,0					
160,0					
180,0					



SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL No 4 (SEV-4)

X 785181
 Y 10000039
 Cota 2417
 Sector San Antonio de Pichincha, vía a Puéllaro

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día asumido	RESISTIVIDADES Ω m
1,0	limos compactados	Suelo	1	1,7	429
5,0	Secuencia de arenas finas a medias con presencia de limos arenosos de grano fino muy compactados gravas alteradas	Depósitos Pululahua	85	1,8	125
10,0					
20,0					
30,0					
40,0					
50,0					
60,0					
70,0					
80,0			20	1,8	
90,0	Tobas muy compactadas	Cangahua	94	1,5	24,4
100,0					
110,0					
120,0					
140,0					
160,0					
180,0					
200,0	Lavas	Casitagua	100	3	4759
300,0					



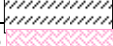

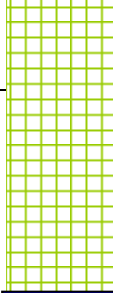


SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL No 5 (SEV-5)

X 783957,96
 Y 9997466,17
 Cota 2410
 Sector Pomasqui

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día asumido	RESISTIVIDADES Ω m
1,5	Limo arenoso	Suelo	1,5	1,4	429
5,0	Secuencia de arenas finas a medias con presencia de limos arenosos y lapilli de pómez	Depósitos Pululahua	83,5	1,7	85,5
10,0					517
20,0					126
30,0					
40,0					
50,0					
60,0	Secuencia de arenas finas a medias con presencia de limos arenosos			1,7	24,5
70,0					
80,0					
90,0					
100,0	Tobas compactadas	Cangahua	70	1,5	30
110,0					
120,0					
140,0					
160,0					
180,0					Lavas
200,0					
300,0					

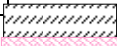





SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL No 6 (SEV-6)

X 784550,70
 Y 9997699,67
 Cota 2362
 Sector Pomasqui, quebrada San Cayetano

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día asumido	RESISTIVIDADES Ω m	
1,0	limos arenosos	Suelo	1	1,7	265	
5,0	secuencia de arenas finas a medias con presencia de limos arenosos	Depósitos Pululahua	94	1,7	18,2	
10,0					43,8	
20,0						
30,0						
40,0						
50,0						
60,0						
70,0	gravas con presencia de alteración de composición volcánica				200	
80,0						
90,0						
100,0	tobas compactadas	Cangahua	85	1,5		
110,0						
120,0						
140,0						
160,0	lavas	Casitagua	120	3	17,3	
180,0						
200,0						
300,0						

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL No 7 (SEV-7)

X 785424,83
 Y 9997496,11
 Cota 2420
 Sector Pomasqui, ciudadela El Rosario

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día asumido	RESISTIVIDADES Ω m		
1,0	limos compactados	Suelo	1	1,4	242		
5,0	Secuencia de arenas finas a medias con presencia de limos arenosos de grano fino muy compactados gravas alteradas	Depósitos Pululahua	84	1,7	35,2		
10,0					207		
20,0					150		
30,0							
40,0					17		
50,0							
60,0							
70,0							
80,0							
90,0					Tobas muy compactadas		Cangahua
100,0							
110,0							
120,0							
140,0							
160,0	27						
180,0							
200,0	Lavás	Casitagua	130	3	46,4		
300,0							

SONDEO VERTICAL No 8 (SEV-8)

X 784568,00
 Y 9995383
 Cota 2458
 Sector Pomasqui, Santa Rosa

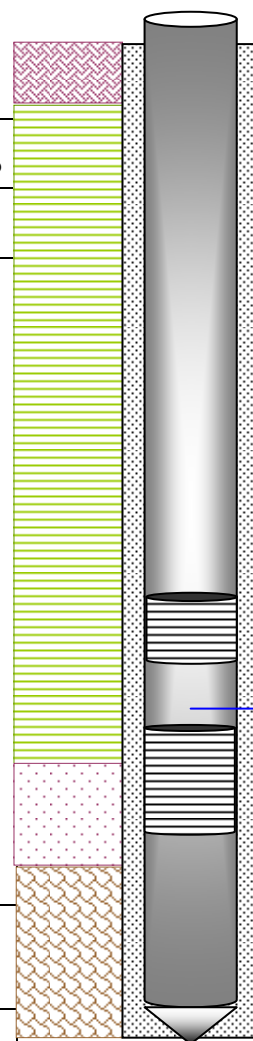
PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	K m/día	RESISTIVIDADES Ω m
				asumido	
0,5	limos compactados	Suelo	0,5	1,4	41,4
5,0	tobas de compactación media	Cangahua	95,5	1,7	46,2
10,0					
20,0					
30,0					
40,0					
50,0					
60,0					
70,0					
80,0					
90,0					
100,0					
110,0	gravas y bloques	Machángara	25	2	17,5
120,0					
140,0	Tobas muy compactadas	Casitagua	40	1,5	40
160,0					
180,0					
200,0	Lavas	Casitagua	139	3	40
300,0					

PERFORACIONES

POZO DE EXPLOTACIÓN ELBACONSA

X 782999,0
 Y 9992853,0
 Cota 2535
 Sector Pusuquí
 Tipo Pozo de explotación

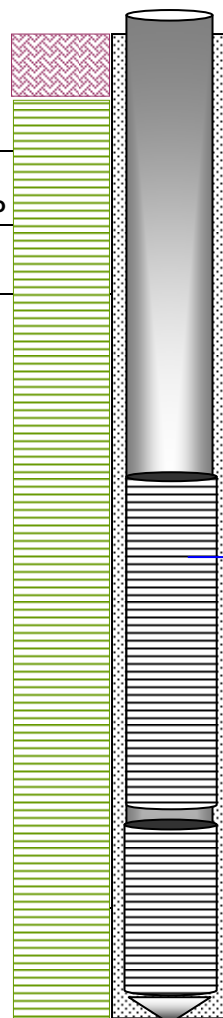
PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPESOR m	K m/día asumido	OTROS cribas (m)
4	Limo arenoso con presencia de arenas finas	Suelo	4	1,46	
10	Arena limosa con intercalaciones de arena limosa y grava	Cangahua	86	1,5	
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100,0	Arenas, gravas y bloques Las arenas son de grano fino a medio	Machángara	13,2	2	77,8 80,8 NP 89,4 97,6 102 108,3
110,0	Arena fina a media, con intercalaciones de limos y arenas limosas	Depósitos Casitagua	27	1	
120,0					
130,0					



POZO DE EXPLOTACIÓN TEXTILES LA ESCALA

X 782660
 Y 9993530,9
 Cota 2514
 Sector Pusuquí
 Tipo Explotación

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	ESPESOR m	FORMACION	Km/día asumido	OTROS cribas (m)
4,0	Limo arenoso, café oscuro con arena fina	4	Suelo	1,4	
10,0	arena limosa, color café-oscuro de compactación media Intercalaciones de limo-arenoso café oscuro	66	Cangahua	1,5	66 NP
20,0					
30,0					
40,0	toba de grano fino	16		0,9	70 m
50,0					
60,0	arena limosa, color grisácea de grano fino a medio con Intercalaciones pómez blanquecina	26		1,5	104 106
70,0					
80,0					
90,0	arena limosa, con grano fino a muy fino, de coloración grisácea	20		1,5	130
100,0					
110,0					
120,0					
130,0					
132,0					



POZO DE EXPLOTACIÓN MUTUALISTA PICHINCHA

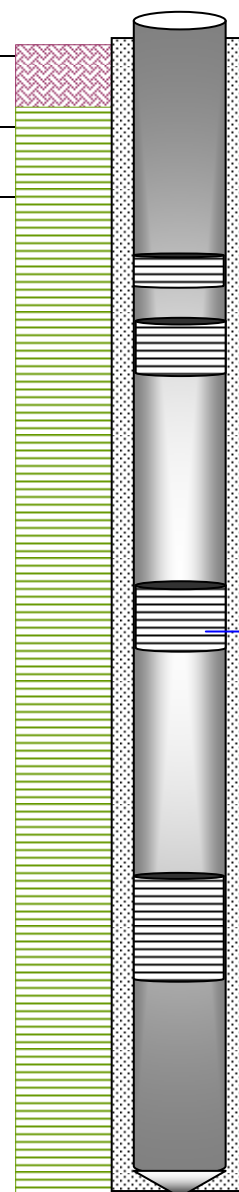
X 781905,1
 Y 9992588.3
 Cota 2560,0
 Sector Pusuquí
 Tipo Pozo de explotación

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPESOR m	K m/día asumido	OTROS cribas (m)
4,0	Limo arenoso con presencia de arena fina	Suelo		1,4	
10,0	Toba color marrón claro de grano fino, con presencia de limos	Cangahua	160	0,9	
20,0	arena limosa, color marrón oscuro de grano fino a medio				
30,0					
40,0					
50,0					
60,0					
70,0	toba de grano fino, con intercalaciones de arena fina a media, de color gris. Presencia de ceniza volcánica				
80,0					
90,0					
100,0					
110,0	Toba color marrón claro de grano fino, con presencia de limos			0,9	
120,0	arena limosa, con grano fino			0,9	NP 120 125
130,0	grano fino a medio				
140,0	presencia de gravilla de pómez blanca, suelta				
150,0					
160,0					
170,0					164 167 170
180,0	gravas y bloques , con presencia de ceniza fina gris oscura	Machángara	27	1,5	
187,0					

POZO DE EXPLOTACIÓN INFARMA

X 783267,00
 Y 9993242,00
 Cota 2480
 Sector Pusuquí
 Tipo Pozo de explotación

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPESOR m	K m/día asumido	OTROS cribas (m)
4,0	Limo arenoso con presencia de arenas finas	Suelo	4	1,46	
10,0	toba de grano fino, con intercalaciones de arena fina a media, de color gris; limos arenosos y arenas limosas Presencia de ceniza volcánica	Cangahua	148	1	28,35
20,0					29,9
30,0					32
40,0					35,7
50,0					73,2
60,0					76,25
70,0					NP
80,0					76,3
90,0					
100,0					
110,0					113,5
120,0					117,1
130,0					
140,0					
150,0					
152,0					



POZO DE EXPLOTACIÓN GRUNENTHAL

X 782071
 Y 9993144
 Cota 2560
 Sector Pusuquí
 Tipo Pozo de explotación

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPESOR m	K m/día asumida	OTROS cribas (m)
5,0	Limo arenoso café amarillento de consistencia media a dura	Suelo	5	1,46	
10,0 20,0	Arena limosa café-amarillenta con intercalaciones de gravilla arena limosa y capas centimétricas de pómez				
30,0 40,0 50,0 60,0 70,0 80,0	Secuencia de arenas limosas y limos arenosos café amarillentos con intercalaciones de lapilli de pómez blanca	Cangahua	75	1,5	
90,0	Arenas, gravas y bloques	Machángara	20	2	
100,0	Toba de grano fino		10	0,9	
110,0 120,0 130,0	Arenas de grano fino a medio, de compactación dura intercalada con arenas limosas y limos arenosos Presencia de gravilla de pómez	Depósitos Casitagua	70	1,7	
140,0 150,0	Toba, con presencia de gránulos de pómez			1,7	
160,0 170,0 180,0 185,0	Arenas de grano fino a medio, de compactación dura intercalada con arenas limosas y limos arenosos Presencia de gravilla de pómez			1,7	

POZO HACIENDA VEINTIMILLA

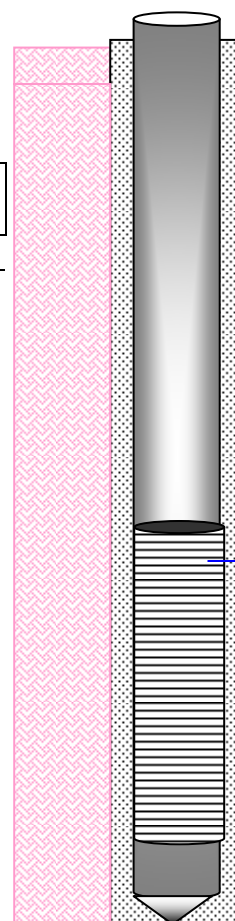
X 784403,36
 Y 9994652,34
 Cota 2433
 Sector Pomasqui
 Tipo Pozo abandonado

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPESOR m	Km /dia	OTROS cribas (m)
2,0		Suelo		1,4	
10,0	Secuencia de arenas limosas y limos arenosos con intercalaciones de lapilli de pómez blanca	Depósitos Pululahua	46	1,8	
20,0					
30,0					
40,0					
46,0					

POZO DE EXPLOTACIÓN POFASA




X 784282,00
 Y 9997126,00
 Cota 2402
 Sector Pomasqui
 Tipo Pozo de explotación

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPEJOR m	K m/día asumido	OTROS Cribas (m)
2,0	Limo arenoso	Suelo	2	1,4	
10,0					
20,0	Arena fina a media gris obscura con intercalaciones de gravillas angulares con cuarzo y feldespato	Depósitos Pululahua	48	1,5	
30,0	Presencia de limos arenosos y arenas limosas			1	28 NP 30m
40,0	Arenas media a gruesas con presencia de lapilli de pómez			1,8	
50,0					46



POZO DE EXPLOTACIÓN VALLE SAN ANTONIO DE PICHINCHA (VSAP-1)

X 784347
 Y 9998734
 Cota 2390
 Sector Pomasqui
 Tipo

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	Km/día asumida		OTROS cribas (m)
2,0	Limo arenoso, con arena fina color café oscuro	Suelo	2	1,7		NP 42,5
10,0	Alternacias de arenas limosas y limos arenosos de colores grises claros y oscuros; tamaños de arena de fina a media y en menor porcentaje gruesa	Depósitos Pululahua	69	1,4		
20,0	Arenas bloque y gravas 70% de arena café -amarillenta y grisácea de grano fino					
30,0	20% de bloques grisáceos de tamaños de hasta 40cm; 10% de gravas de colores grises y blanquecinos, tamaños de hasta 8cm, predominan tamaños de 3cm.					
40,0	La composición de los bloques y las gravas es andesítica					
50,0						
60,0						
70,0						
80,0	Toba: color café oscuro-amarillento de grano fino a medio. Deleznable. Se observa granos de pómez de tamaños de hasta 3mm y esporádicas gravas brecha: (95,60-97) 60% de clastos grises, mtz limo-arenosa y clastos de composición andesítica	Cangahua		0,7		
90,0						
100,0						
110,0	Lavas andesíticas: color gris oscuro y rojizas fracturadas con planos rugosos			1		
120,0						
130,0						
140,0	Toba: color café oscuro-amarillento de grano fino a medio. Deleznable. Se observa granos de pómez		17	0.9		
150,0						
160,0						
170,0	Arena y clastos, 60% de arena de color rojizo de grano fino a medio; 40% de clastos de colores grises y rojizos subangulares, de composición andesítica	Depósitos Casitagua	61	2		
180,0	Los tamaños predominantes son menores a 3cm. El conjunto se presenta suelto y ligeramente consolidado					
190,0						
200,0						
210,0						

POZO DE EXPLORACIÓN LA HERLINDA

X 783885,00
 Y 9996850,00
 Cota 2400
 Sector Pomasqui

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESP m	Km/día	OTROS cribas (m)
2,0	Limo arenoso, con arena fina color café oscuro	Suelo	2	1,7	
10,0	Alternacias de arenas limosas y limos arenosos de colores grises claros y oscuros; tamaños de arena de fina a media	Depósitos Pululahua	73	1,4	NP 45
20,0					
30,0					
40,0					
50,0	Arenas bloque y gravas La composición de los bloques y las gravas es andesítica			1,8	
60,0					
70,0					
80,0	Toba: color café oscuro-amarillento de grano fino a medio. Esporádicas gravas y presencia de pómez	Cangahua	43	1	
90,0					
100,0					
110,0					
118,0					

POZO DE EXPLOTACIÓN HACIENDA OASIS

X 784227
 Y 9997944
 Cota 2385
 Sector Pomasqui

PROF MTS.	DESCRIPCION LITOLÓGICA	FORMACION	ESP. m	Km/día asumido	OTROS Cribas (m)
2,0	Limo arenoso, café oscuro-amarillento	Suelo	2	1,7	
10,0	alternancia de cenizas cremasy arenas grises finas a medias	Depósitos Pululahua	68	0,9	
20,0					
30,0	Secuencia de arenas limosas y limos arenosos con presencia de lapilli de pómez blanca			1,4	
40,0					
50,0	arenas finas con intercalaciones de lapilli de pómez retrabajada, oxidado Presencia de abundante cuarzo gravilla semi redondeada , suelta limo arenoso: con presencia de arena fina gris, suelta consistencia media a dura			1,8	NP 42 42
60,0					55
70,0					

POZO DE EXPLOTACIÓN LIGA DEPORTIVA UNIVERSITARIA (LDU)

X 784821
 Y 9997498,0
 Cota 2380
 Sector Pomasqui

PROF MTS.	DESCRIPCION LITOLOGICA	FORMACION	ESP m	Km/día asumido	OTROS Cribas (m)
1,0	Limo arenoso de compactación baja	Suelo	1	1,7	
10,0	Alternancias de arenas limosas y limos arenosos de colores grises claros y oscuros;	Depósitos Pululahua	59	1,7	
20,0					
30,0					
40,0					
50,0	Paleosuelo, pedazos de madera arenas de grano fino, gravas grises y bloques de composición andesítica			0,07	
60,0					
70,0	Toba: color café oscuro-amarillento de grano fino a medio. Granos de pómez Esporádicas gravas de composición andesítica Intercalaciones de arenas medias a la base, la arena se vuelve más gruesa	Cangahua	62	1	
80,0					
90,0					
100,0					
110,0					
120,0					
122,0					

POZO DE EXPLOTACIÓN ING. NAVARRO

X 784170,0
 Y 9999172,0
 Cota 2420,0
 Sector San Antonio de Pichincha

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPEJOR. m	K m/día asumido		OTROS Cribas (m)
2,0	Limo arenoso	Suelo	2	1,7		
10,0	Secuencia de limos arenosos y arenas limosas, con intercalaciones de cenizas y lapilli de pómez	Depósitos Pululahua	16	1,8		
20,0 30,0	Sedimentos lacustres estratificados secuencia de cenizas y limos Material fino y bituminoso	Depósitos Lacustres	19	0,07		
40,0 50,0 60,0	Toba volcánica, intercalada con ceniza y lapilli de pómez	Cangahua	28	0,7		
70,0 80,0 90,0 100,0 110,0	Toba volcánica, intercalada con ceniza y lapilli de pómez	Cangahua	55	1		
120,0 130,0	Lavas andesíticas de color rojizo	Casitagua	10	2		
						NP 70 100 112 117 120

POZO DE EXPLORACIÓN SAN ANTONIO DE PICHINCHA (sap-2)

X 783824,0

Y 9999892,0

Cota 2455,0

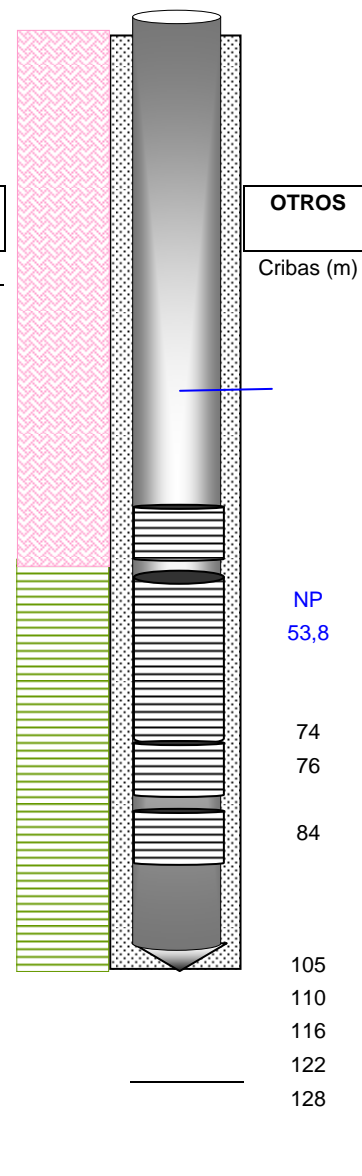
Sector San Antonio de Pichincha

PROF	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPEJOR m	K m/día asumido	OTROS Cribas (m)
2,0	Limo arenoso	Suelo	2	1,7	
10,0	secuencia de arenas medias y gruesas con intercalaciones de limos arenosos	Depósitos Pululahua		1,8	
30,0	tobas con intercalaciones de turba, color café oscuro con presencia de raíces y oxidación	Depósito Lacustre		0,07	
40,0	arenas medias y gruesas con intercalaciones de limos arenosos	Flujo Pululahua	73	1,8	
50,0					
60,0					
70,0					
80,0	arenas limosas de grano medio y gravas sueltas limos arenosos	Cangahua	105	1,7	80
90,0					
100,0					
110,0					110
120,0					NP
130,0					117
140,0					129
150,0					135
160,0					
170,0					168
180,0	lava color gris a rojiza, fracturada	Casitagua	52	2	
190,0					
200,0					
210,0					217
232,0					

POZO DE EXPLOTACIÓN LA INTERNACIONAL

X 785014,00
 Y 9999544,00
 Cota 2387
 Sector San Antonio de Pichincha

PROF MTS.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPESOR m	K m/día asumido	OTROS
2,0	Limo arenoso, poco compactado	Suelo		1,7	Cribas (m)
10,0	secuencia de arenas finas a medias con intercalaciones de lapilli de pómez	Depósitos Pululahua	76	1,8	
20,0					
30,0					
40,0					
50,0					
60,0					
70,0					
80,0	toba: color marròn de grano fino a medio, levemente soldada Con presencia de pómez	Cangahua	56	1	
90,0					
100,0					
110,0					
120,0					
130,0					
132,0					



POZO DE EXPLOTACIÓN SAN ANTONIO DE PICHINCHA (sap-1)

X 784347
 Y 9998734
 Cota 2390
 Sector San Antonio de Pichincha

PROF	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	FORMACION	ESPESOR m	K m/día asumida	OTROS
2,0	Limo arenoso		2	1,7	
10,0	secuencia de arenas finas a medias con intercalaciones de lapilli de pómez	Depósitos Pululahua	48	1,8	
20,0					
30,0					
40,0					
50,0	turba, color café oscuro con presencia de raíces y oxidación	Depósitos Lacustres	10	1,8	NP 50
60,0	aglomerados de color rosado	Flujos Pululahua	50	2	
70,0					
80,0					
90,0					
100,0					
110,0	toba de color café oscuro de grano fino con gránulos de pómez arena limosa arenas de grano medio y gravas sueltas	Cangahua	91	1	
120,0					
130,0					
140,0					
150,0					
160,0				1,8	
170,0					
180,0					
190,0					
200,0					
201,0					

FOTOGRAFÍAS DE LOS TESTIGOS DE PERFORACIÓN

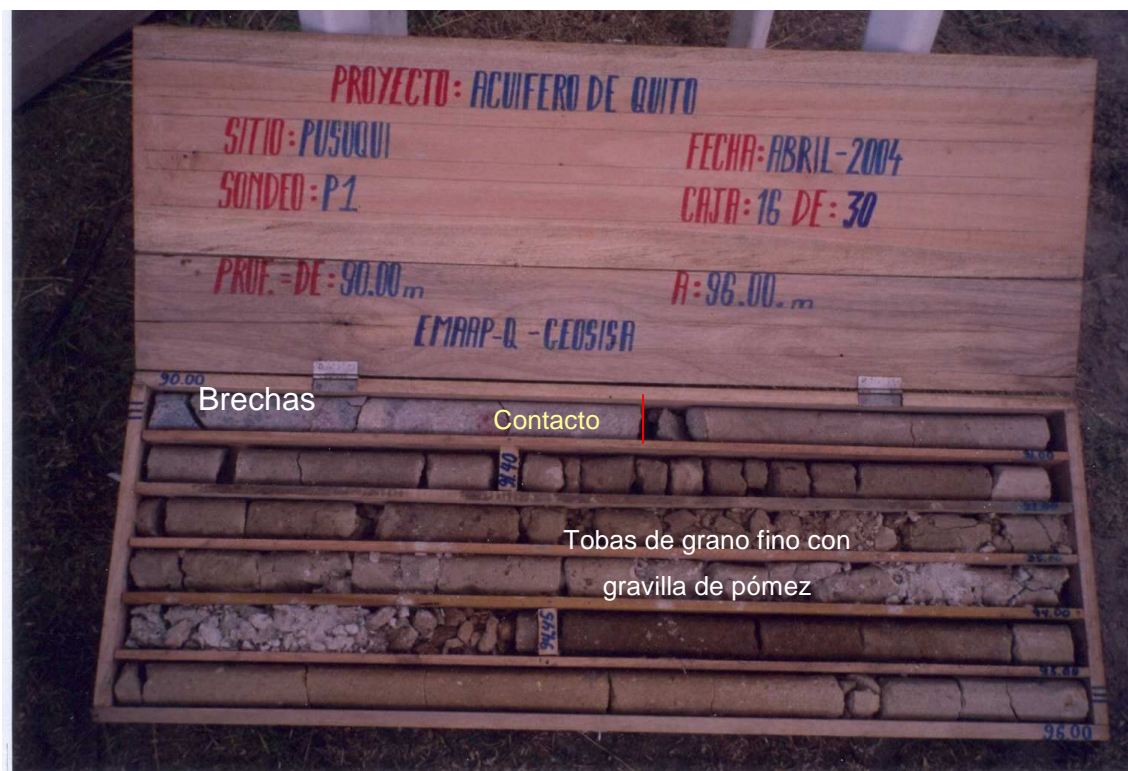
RECUPERACIÓN DE TESTIGOS DEL POZO EXPLORATORIO PUSUQUÍ



Fotografía 1 Contacto entre el Suelo y la Formación Cangahua



Fotografía 2 Contacto entre la Formación Cangahua y la Formación Machángara



Fotografía 3 Contacto entre la Formación Machángara y los Depósitos Casitagua



Fotografía 4 Secuencia de los Depósitos Casitagua

**RECUPERACIÓN DE TESTIGOS DE LA PERFORACIÓN
VALLE SAN ANTONIO DE PICHINCHA (VSAP-1)**



Fotografía 5 Secuencia de los Flujos Piroclásticos del Pululahua



Fotografía 6 Contacto entre los Flujos del Pululahua y la Formación Cangahua



Fotografía 7 Formación Cangahua



Fotografía 8 Formación Cangahua

RECUPERACIÓN DE TESTIGOS DE LA PERFORACIÓN VALLE SAN ANTONIO DE PICHINCHA (VSAP-1)



Alternancia de
arenas
limosas y
limos
arenosos

Fotografía 9 Flujos Pululahua



→ Arenas, gravas y bloques

→ Contacto: Flujo Pululahua y Cangahua

Fotografía 10 Flujo Pululahua y Formación Cangahua



Toba: de grano
fino a medio

Ceniza: grano
fino, deleznable

Fotografía 11 Depósitos Casitagua



Lava de
composición
andesítica,
fracturada

Fotografía 12 Depósitos Casitagua



Fotografía 13 Depósitos Casitagua

ANEXO II.

- REGISTROS DE PRECIPITACIONES
- REGISTROS DE TEMPERATURA
- ENSAYOS DE INFILTRACIÓN
- ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO
- FOTOGRAFÍAS DE LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN
- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MÉTODO NUMÉRICO DE THORNTHWAITE

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

COTOCOLLAO

PERIODO: 1980-1992
 CODIGO: M342
 LATITUD: 00° 05' 50" S 9989244
 LONGITUD: 78° 29' 41" W 778864,8
 ELEVACION: 2720

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1980	41,7	150,2	101	90	22,7	34,3	9	19	8	96,7	111,6	27,6	711,8
1981	32,6	50,8	86	94,7	41,5	17	39	34,1	12	59,6	38	65,9	571,2
1982	123,6	69	86,5	157,1	198,6	14,5	41	4	52	162,8	119,8	183,3	1212,2
1983	78,5	44,5	225	165,9	77	37,5	3	11	4,5	91,4	60	83	881,3
1984	60	64,2	178,9	150,2	35,8	26	20	33	122	98,2	95,6	13	896,9
1985	32,5	35,5	69	84	72	25,9	7,9	39,5	38	43,8	42,8	29,9	520,8
1986	86,0	26,8	91,2	82,0	83,1	34,2	24,7	19,4	57,8	81,4	75,9	51,1	713,6
1987	44,8	55,2	96,6	114,2	83,2	15,6	26,1	21,1	61,9	83,7	14,0	7,1	623,4
1988	47,7	74,7	27,2	198,7	69,6	67,5	33,0	35,6	81,2	73,4	110,6	44,7	864,0
1989	74,8	80,7	106,4	84,0	58,8	46,8	14,1	27,6	99,0	152,1	11,2	41,6	797,1
1990	44,3	80,9	44,1	59,5	13,2	29,2	15,8	25,9	35,3	141,2	33,5	50,6	573,5
1991	72,2	39,0	143,4	66,7	81,4	45,4	19,0	12,1	50,3	41,7	77,8	48,9	697,9
1992	41,9	57,8	92,8	70,6	42,6	14,0	6,2	7,8	71,4	34,7	67,7	44,2	551,7
1993	32,0	51,0	45,0	85,0	13,0	15,0	5,0	20,0	100,0	82,0	10,0	10,0	468,0
1994	45,0	70,0	28,0	115,0	82,0	38,0	20,0	25,0	72,0	85,0	111,0	45,0	736,0
1995	40,0	45,0	45,0	199,0	43,0	27,0	10,0	27,0	60,0	70,0	12,0	50,0	628,0
1996	75,0	64,0	144,0	114,0	15,0	26,0	25,0	36,0	58,0	150,0	34,0	60,0	801,0
1997	86,0	36,0	93,0	84,0	45,0	34,0	26,0	28,0	58,0	140,0	78,0	45,0	753,0
SUMA	706,3	628,4	1161,1	1232,9	815,3	356,6	210,9	237,0	673,3	1004,5	708,8	597,3	13001,4
													722,3
MEDIA	58,8	60,9	94,6	111,9	59,9	30,4	19,2	23,7	57,9	93,8	61,3	50,0	722,3
MEDIANA	46,4	56,5	92,0	92,4	51,9	28,1	19,5	25,5	58,0	84,3	63,8	45,0	
MINIMA	32,0	26,8	27,2	59,5	13,0	14,0	3,0	4,0	4,5	34,7	10,0	7,1	
MAXIMA	123,6	150,2	225,0	199,0	198,6	67,5	41,0	39,5	122,0	162,8	119,8	183,3	

EL CONDADO

PERIODO: 1980 - 1992
 CODIGO: M618
 LATITUD: 00° 05' 58" S 9988998
 LONGITUD: 78° 29' 24" W 779390,7
 ELEVACION: 2710

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1980	60,5	141,0	53,0	92,8	28,2	24,5	3,4	14,5	28,5	80,8	90,6	34,9	652,8
1981	32,8	70,8	91,9	133,9	51,3	13,3	9,4	36,1	23,0	56,1	52,9	110,7	682,3
1982	89,4	47,6	88,3	142,9	190,5	10	35,2	5,1	33,4	152,8	139,5	146,8	1081,4
1983	63,3	50,1	198,5	150	63,5	29	3	22	4,5	74	63,5	72,5	793,0
1984	41	120,2	109	163,5	33,5	22	16	28,1	109	90	70,5	15,8	818,6
1985	41,7	22,0	52,8	79,0	57,4	26,4	14,4	31,3	41,7	30,4	46,4	44,8	488,2
1986	68,3	107,4	108,6	102,9	84,3	3,5	1,9	7,6	24,2	63,4	64,2	41,2	677,0
1987	40,5	50,9	92,2	109,9	78,8	11,3	21,8	16,8	57,5	79,3	9,6	2,7	571,0
1988	43,4	70,4	22,8	194,4	65,2	63,1	28,7	31,2	76,9	69,1	106,3	40,4	812,0
1989	70,5	76,4	102,1	79,6	54,5	42,5	9,8	23,3	94,7	147,8	6,8	37,2	745,0
1990	40,0	76,6	39,8	55,2	8,9	24,8	11,5	21,6	31,0	136,9	29,2	46,2	521,0
1991	67,8	34,7	139,1	62,4	77,1	41,1	14,7	7,8	45,9	37,4	73,4	44,6	646,0
1992	37,6	53,4	88,5	66,3	38,3	9,6	1,9	3,5	67,0	30,4	63,4	39,9	499,7
1993	70,0	60,0	40,0	80,0	58,0	10,0	15,0	10,0	95,0	64,0	47,0	5,0	553,0
1994	38,0	80,0	102,0	110,0	80,0	25,0	22,0	17,0	77,0	80,0	15,0	45,0	690,0
1995	69,0	80,0	139,0	160,0	65,0	41,0	29,0	32,0	58,0	70,0	80,0	40,0	863,0
1996	37,0	107,0	100,0	195,0	55,0	29,0	10,0	24,0	30,0	148,0	90,0	10,0	834,0
1997	68,0	60,0	40,0	80,0	40,0	22,0	12,0	22,0	46,0	137,0	48,0	41,0	614,0
SUMA	978,7	1308,5	1607,7	2057,7	1129,6	448,1	259,6	353,8	943,3	1547,3	1096,4	818,7	12542,0
													696,0
MEDIA	52,7	73,3	89,3	114,3	62,8	24,9	14,4	19,7	52,4	86,0	60,9	45,5	696,1
MINIMA	32,8	22,0	22,8	55,2	8,9	3,5	1,9	3,5	4,5	30,4	6,8	2,7	
MAXIMA	89,4	141,0	198,5	195,0	190,5	63,1	35,2	36,1	109,0	152,8	139,5	146,8	

CALDERON

PERIODO: 1980 - 1997
 CODIGO: M345
 LATITUD: 00° 05' 54" S 9989120
 LONGITUD: 78° 25' 15" W 787094,9
 ELEVACION: 2645

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1980	49,2	38,6	33,5	120,8	48,7	0	0	32,1	18	103,3	108,6	48,4	601,2
1981	20,2	26,8	42,5	81,2	135,1	30	20	6,8	0	11,1	59,7	73,1	506,5
1982	75,3	60	73,1	81,6	126	12,9	29,6	7,4	60,4	41,8	118,3	211,6	898,0
1983	56,2	36,1	130,1	153	67,5	12,9	0,3	4,4	0	63,8	40,6	117,8	682,7
1984	38,6	69,4	60,3	73,4	46,6	7,5	13,5	0	144,3	47,4	70	11,7	582,7
1985	35,0	20,7	21,0	121,2	99,1	12,8	1,7	29,0	74,7	9,1	44,7	46,9	515,9
1986	64,0	116,4	105,3	26,0	28,1	0,0	0,0	0,0	46,3	72,2	46,9	54,2	559,4
1987	93,7	52,7	111,3	75,7	123,5	23,9	0,0	11,1	84,9	38,6	0,0	25,7	641,1
1988	33,9	41,6	87,7	155,7	17,2	15,1	23,4	17,1	76,9	74,6	91,0	46,9	681,1
1989	62,1	66,5	112,4	16,4	9,3	24,4	3,0	2,5	102,2	186,5	0,8	20,7	606,8
1990	2,3	62,4	52,1	36,0	5,8	16,5	1,3	17,2	0,0	162,8	17,5	47,8	421,7
1991	31,1	0,0	57,5	58,8	86,0	9,7	4,7	0,0	28,9	7,1	81,2	36,1	401,1
1992	26,0	7,0	47,1	64,5	28,3	0,0	1,2	0,0	33,4	53,8	56,5	2,1	319,9
1993	66,1	140,9	141,8	152,7	57,4	0,0	0,1	1,8	67,2	0,0	53,6	64,6	746,2
1994	104,4	82,6	143,4	44,3	20,2	0,0	0,0	0,0	11,8	42,0	30,8	23,9	503,4
1995	0,5	20,4	52,6	97,6	53,1	0,0	0,0	8,5	0,0	20,0	52,6	0,0	305,3
1996	26,4	26,6	51,8	109,4	135,6	48,1	4,0	4,4	65,1	67,3	11,7	59,7	610,1
1997	88,7	0,5	75,9	56,3	47,0	36,2	0,0	0,0	16,6	83,2	131,1	15,3	550,8
SUMA	345,5	340,4	622,2	619,6	433,4	110,5	11,3	31,9	223,0	436,2	435,0	249,5	10133,9
													482,3
MEDIA	43,2	42,6	77,8	77,5	54,2	13,8	1,4	4,0	27,9	54,5	54,4	31,2	482,3
MINIMA	0,5	0,0	21,0	16,4	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
MAXIMA	104,4	140,9	143,4	155,7	135,6	48,1	29,6	32,1	144,3	186,5	131,1	211,6	

SAN ANTONIO DE PICHINCHA

PERIODO: 1980-1992
 CODIGO: M115
 LATITUD: 00° 00' 37" S 9998863
 LONGITUD: 78° 26' 13" W 785300,8
 ELEVACION: 2402

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1980	57,1	87,1	33,8	107,4	7,6	7,3	0,8	18,8	23,5	44,5	37,0	27,9	452,8
1981	9,8	28,2	85,1	92,5	32,7	7,1	5,9	13,8	7,9	14,3	47,0	44,9	356,5
1982	24,0	32,3	48,5	92,5	103,5	2,8	15,2	4,8	19,5	76,8	99,4	93,5	612,8
1983	33,3	42,5	92,9	88,8	35,7	8,1	2,8	11,3	4,8	47,4	64,5	57,1	489,2
1984	19,5	90,9	44,7	76,4	15,9	22,4	8,2	3,6	29,8	51,8	60,2	17,5	356,3
1985	19,6	23,2	26,3	79,3	67,8	20,3	2,8	20,5	31,9	11,6	23,7	24,4	351,4
1986	16,2	57,9	85,4	69,1	61,7	1,0	3,0	0,7	17,2	79,4	31,3	19,7	442,6
1987	48,3	33,3	51,9	55,9	87,1	0,3	5,5	14,6	43,6	19,5	0,0	10,5	370,5
1988	29,5	32,9	12,4	148,6	44,6	49,4	23,4	18,2	52,5	38,0	58,2	18,9	526,6
1989	77,5	43,7	79,6	43,4	69,9	35,8	5,4	5,8	75,4	63,5	6,3	23,5	529,8
1990	12,7	36,0	23,5	48,3	14,5	17,7	15,5	6,1	8,0	136,1	7,6	30,0	356,0
1991	60,3	9,1	53,1	34,1	69,7	15,0	13,0	3,4	26,0	6,0	78,4	39,2	407,3
1992	18,4	36,2	19,5	60,7	44,2	13,9	2,6	2,1	34,2	35,9	30,1	17,8	315,6
1993	70,9	99,2	107,3	130,3	41,9	1,0	0,0	0,0	27,7	47,8	42,1	40,3	608,5
1994	68,9	121,5	130,1	59,5	95,8	0,0	0,0	0,0	0,6	48,3	76,7	0,0	601,4
1995	10,4	22,2	90,4	0,5	10,8	78,0	0,0	0,0	0,4	72,8	0,0	0,0	285,5
1996	26,8	8,5	46,6	88,2	142,1	2,2	0,0	0,0	27,8	22,6	38,4	63,7	466,9
1997	101,8	14,0	103,4	55,4	0,0	0,0	0,0	0,0	32,6	92,2	22,6	2,4	424,4
SUMA	705,0	818,7	1134,5	1254,5	912,8	282,3	95,9	123,7	463,4	908,5	723,5	531,3	7954,1
													441
MEDIA	46,3	43,3	71,7	59,6	52,4	16	4,4	1,5	19,7	57,7	44,2	24,2	441,0
MINIMA	9,8	8,5	12,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	6,0	0,0	0,0	
MAXIMA	101,8	121,5	130,1	148,6	142,1	78,0	23,4	20,5	75,4	136,1	99,4	93,5	

REGISTROS DE TEMPERATURA

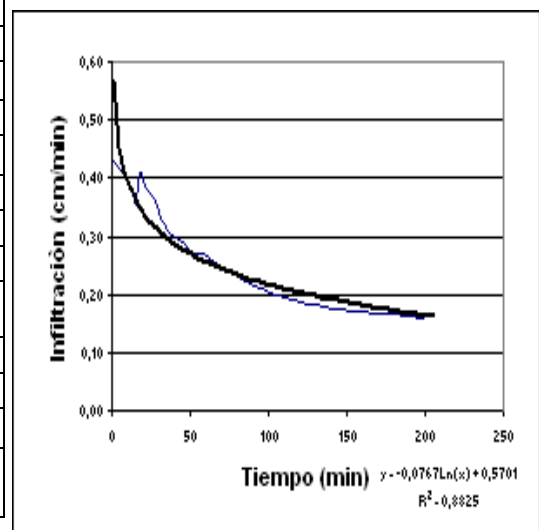
TEMPERATURAS (Est.SAN ANTONIO DE PICHINCHA)												
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	15,9	15,2	16,3	15,9	16,2	16,2	15,7	15,9	16,1	15,6	15,3	15,6
1981	15,5	15,6	15,7	15,8	15,8	15,2	15,5	15,4	15,9	15,4	15,5	15,7
1982	15,2	15,8	15,7	15,6	15,4	15,9	15,7	16,2	15,7	15	15,6	15,7
1983	16,7	16,6	16,7	16	16,2	15,7	15,9	15,9	15,8	15,6	15,8	15,1
1904	14,5	14,6	15,1	15,1	15,1	15,2	14,6	15,7	15,9	15,2	14,6	15,4
1985	14,5	15,1	15,4	15,4	15,2	15,7	14,8	15,3	15,8	15,4	15,2	15,4
1906	15,8	15	15,3	16	15,8	15,9	16,5	16,1	16,4	15,5	15,4	15,8
1987	16,1	15,5	15,8	16	16,1	15,7	15,9	16,2	16,1	16,2	16,7	15,5
1998	16,4	16,4	16,5	15,7	16,1	15,7	15,6	15,8	15,8	15,7	15,6	14,7
1989	15,4	15,3	15,2	16,1	16,1	15,2	15,9	16,1	16	15,7	16,2	15,7
1990	16,4	15,9	16,5	16,4	16,4	16,7	15,9	16,8	16,7	15,7	16,4	16,5
1991	16,7	16,8	16,7	16,3	16,7	16,9	16,4	17,3	17,2	16,8	16,4	16,9
1992	17,1	16,7	17,3	16,8	16	16,2	16	15,7	16,1	16,3	15,5	15,4
1993	15,7	16,2	15,8	15,7	15,7	15,7	15,5	15,7	15,9	15,6	15,5	15,4
1994	16,5	15,5	16,4	15,7	15,7	16,8	15,5	15,7	15,9	15,6	15,5	15,4
1995	16,4	16,5	16,1	17,1	17,1	16,5	16,6	16,9	17,2	16,5	16,4	16,9
1996	16,4	17,3	17,1	16,8	16,8	16,7	16,1	17,6	17	16,7	16,5	16,5
1997	16,4	15,9	15,7	15,8	15,7	16	16,2	16,4	16,4	15,8	16,2	16,3
Promedio	16,0	15,9	16,1	16,0	16,0	16,0	15,8	16,1	16,2	15,8	15,8	15,8
Desv. Est	0,71	0,71	0,63	0,50	0,51	0,53	0,50	0,56	0,48	0,49	0,55	0,61
Mínima	14,5	14,6	15,1	15,1	15,1	15,2	14,6	15,3	15,7	15	14,6	14,7
Máxima	17,1	17,3	17,3	17,1	17,1	16,9	16,6	17,6	17,2	16,8	16,7	16,9

ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

SONDEO N° 1 ENSAYO SAN ANTONIO				UTM 9999516 784116			
Tiempo	Prof.	Delta	i	Tiempo	Prof.	Delta	i
(min)	(cm)	cm	cm/min	(min)	(cm)	cm	cm/min
1	-	-	-	95	20,5	0,6	0,22
10	4,3	0,5	0,43	100	21,1	0,3	0,21
12	4,8	0,6	0,40	105	21,4	0,6	0,20
14	5,4	0,5	0,39	110	22	0,5	0,20
16	5,9	0,5	0,37	115	22,5	0,5	0,20
18	6,4	1,8	0,36	120	23	0,5	0,19
20	8,2	0,5	0,41	125	23,5	0,5	0,19
22	8,7	0,5	0,40	130	24	0,6	0,18
24	9,2	0,5	0,38	135	24,6	0,5	0,18
26	9,7	0,6	0,37	140	25,1	0,5	0,18
28	10,3	0,5	0,37	145	25,6	0,6	0,18
30	10,8	1,1	0,36	150	26,2	0,5	0,17
35	11,9	0,5	0,34	155	26,7	0,7	0,17
40	12,4	1	0,31	160	27,4	0,5	0,17
45	13,4	1,1	0,30	165	27,9	0,5	0,17
50	14,5	0,5	0,29	170	28,4	0,5	0,17
55	15	1,1	0,27	175	28,9	1,2	0,17
60	16,1	1,2	0,27	180	30,1	0,5	0,17
65	17,3	0,6	0,27	185	30,6	0,3	0,17
70	17,9	0,5	0,26	190	30,9	0,5	0,16
75	18,4	0,6	0,25	195	31,4	0,5	0,16
80	19	0,5	0,24	200	31,9	0,5	0,16
85	19,5	0,5	0,23	205	32,4	0,5	0,16
90	20	0,5	0,22				

CALCULOS

Diametro cilindro interno:	0,2	m
Área:	0,0314159	m ²
Q cilindro interno:	8,000	l
	0,008	m ³
tiempo prueba	205	min
delta t estabilizado	0,5	cm
descenso total:	0,50	en 205 min
Qprueba:	0,039	l/min
	56,195122	min/día
	0,056	m ³ /día
infiltración (K)	1,789	m/día
	0,00207031	cm/s

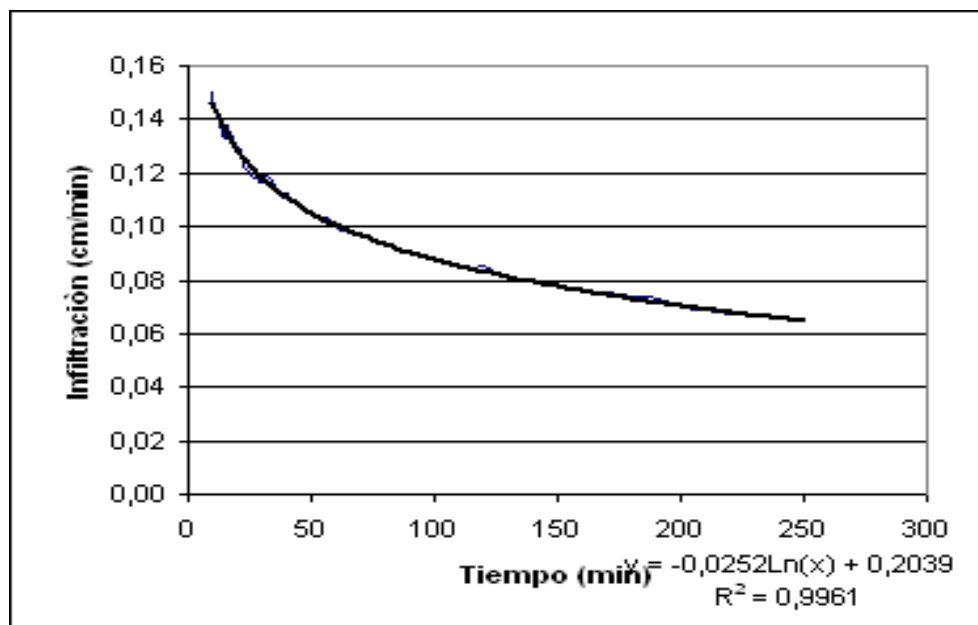


ENSAYO DE INFILTRACIÓN

SONDEO N° 2 ENSAYO IEOS				UTM 9992686 782960			
Tiempo (min)	Prof. (cm)	Delta cm	i cm/min	Tiempo (min)	Prof. (cm)	Delta cm	i cm/min
1	0	0	0	74	7,1	0,1	0,10
10	1,5	0,1	0,15	76	7,2	0,1	0,09
11	1,6	0,1	0,15	78	7,3	0,1	0,09
12	1,7	0,1	0,14	80	7,4	0,1	0,09
13	1,8	0,1	0,14	82	7,6	0,2	0,09
14	1,9	0,1	0,14	84	7,8	0,2	0,09
15	2	0,1	0,13	86	7,9	0,1	0,09
16	2,2	0,2	0,14	88	8	0,1	0,09
17	2,3	0,1	0,14	90	8,1	0,1	0,09
18	2,4	0,1	0,13	92	8,2	0,1	0,09
19	2,5	0,1	0,13	94	8,4	0,2	0,09
20	2,6	0,1	0,13	96	8,5	0,1	0,09
21	2,7	0,1	0,13	98	8,6	0,1	0,09
22	2,7	0	0,12	100	8,7	0,1	0,09
23	2,8	0,1	0,12	102	8,9	0,2	0,09
24	2,9	0,1	0,12	105	9,1	0,2	0,09
25	3	0,1	0,12	110	9,4	0,3	0,09
26	3,1	0,1	0,12	115	9,6	0,2	0,08
27	3,2	0,1	0,12	120	10,2	0,6	0,09
28	3,3	0,1	0,12	125	10,3	0,1	0,08
29	3,4	0,1	0,12	130	10,5	0,2	0,08
30	3,5	0,1	0,12	135	10,8	0,3	0,08
32	3,8	0,3	0,12	140	11,1	0,3	0,08
34	4	0,2	0,12	145	11,4	0,3	0,08
36	4,1	0,1	0,11	150	11,7	0,3	0,08
38	4,2	0,1	0,11	155	11,9	0,2	0,08
40	4,5	0,3	0,11	160	12,2	0,3	0,08
42	4,6	0,1	0,11	165	12,5	0,3	0,08
44	4,8	0,2	0,11	170	12,8	0,3	0,08
46	4,9	0,1	0,11	175	13,1	0,3	0,07
48	5,1	0,2	0,11	180	13,3	0,2	0,07
50	5,2	0,1	0,10	185	13,6	0,3	0,07
52	5,4	0,2	0,10	190	13,9	0,3	0,07
54	5,6	0,2	0,10	205	14,2	0,3	0,07
56	5,8	0,2	0,10	210	14,4	0,2	0,07
58	5,9	0,1	0,10	215	14,6	0,2	0,07
60	6	0,1	0,10	220	14,8	0,2	0,07
62	6,1	0,1	0,10	225	15,1	0,3	0,07
64	6,3	0,2	0,10	230	15,3	0,2	0,07
66	6,5	0,2	0,10	235	15,6	0,3	0,07
68	6,6	0,1	0,10	240	15,8	0,2	0,07
70	6,8	0,2	0,10	245	16	0,2	0,07
72	7	0,2	0,10	250	16,2	0,2	0,06

CÁLCULOS	
Diametro cilindro interno:	0,2
Área:	0,03142
Q cilindro interno:	8,000
	0,008
tiempo prueba	250
delta t estabilizado	0,2
descenso total:	0,25
	0,032
Qprueba:	46,08
	0,046

K=	1,467	m/día
	0,0017	cm/s

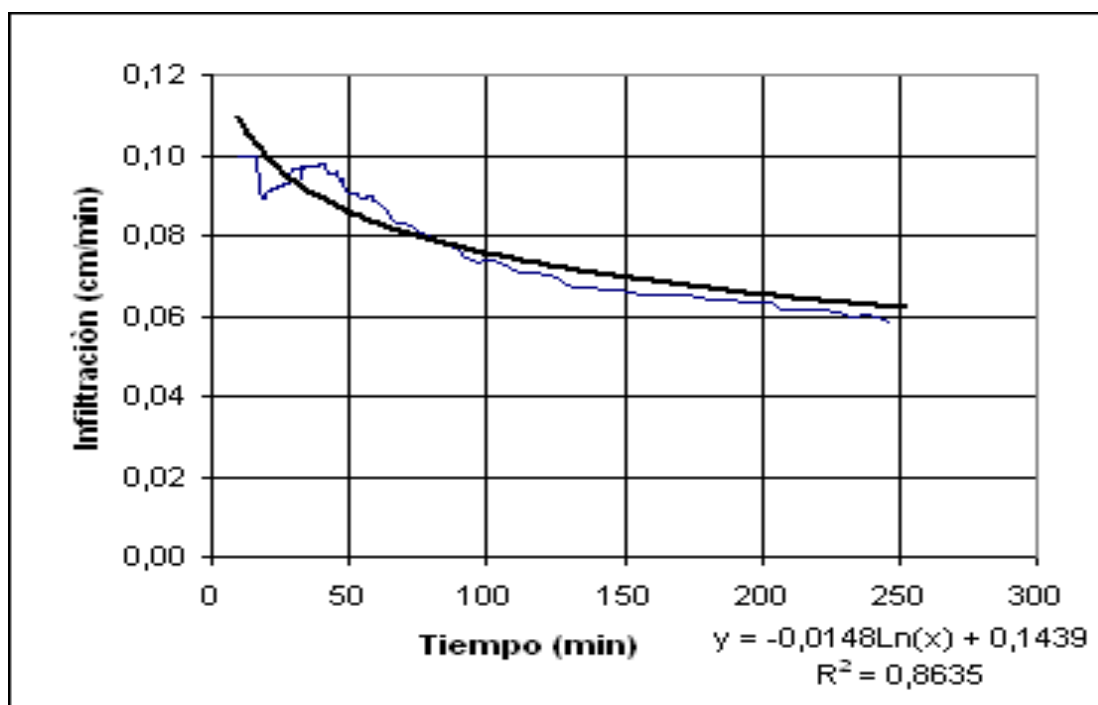


ENSAYO DE INFILTRACIÓN

SONDEO N° 3 ENSAYO TANQUE S.ANTONIO BAJO				UTM 9998304 783568			
Tiempo	Prof.	Delta	i	Tiempo	Prof.	Delta	i
(min)	(cm)	cm	cm/min	(min)	(cm)	cm	cm/min
1				59	5,3	0	0,09
10	1			60	5,3	0,2	0,09
11	1,1	0,1	0,10	62	5,5	0,1	0,09
12	1,2	0,1	0,10	64	5,6	0,1	0,09
13	1,3	0,1	0,10	66	5,7	0	0,09
14	1,4	0,1	0,10	68	5,7	0,1	0,08
15	1,5	0,1	0,10	70	5,8	0,2	0,08
16	1,6	0,1	0,10	72	6	0,1	0,08
17	1,7	0,1	0,10	74	6,1	0,1	0,08
18	1,7	0	0,09	76	6,2	0,1	0,08
19	1,7	0	0,09	78	6,3	0,1	0,08
20	1,8	0,1	0,09	80	6,4	0,1	0,08
21	1,9	0,1	0,09	82	6,5	0,1	0,08
22	2	0,1	0,09	84	6,6	0,1	0,08
23	2,1	0,1	0,09	86	6,7	0,1	0,08
24	2,2	0,1	0,09	88	6,8	0,1	0,08
25	2,3	0,1	0,09	90	6,9	0,1	0,08
26	2,4	0,1	0,09	92	7	0,2	0,08
27	2,5	0,1	0,09	97	7,2	0,3	0,07
28	2,6	0,1	0,09	102	7,5	0,4	0,07
29	2,7	0,1	0,09	107	7,9	0,2	0,07
30	2,9	0,2	0,10	112	8,1	0,2	0,07
31	3	0,1	0,10	117	8,3	0,3	0,07
32	3,1	0,1	0,10	122	8,6	0,3	0,07
33	3,2	0,1	0,10	127	8,9	0,2	0,07
34	3,2	0	0,09	132	9,1	0,1	0,07
35	3,4	0,2	0,10	137	9,2	0,3	0,07
36	3,5	0,1	0,10	142	9,5	0,3	0,07
37	3,6	0,1	0,10	147	9,8	0,3	0,07
38	3,7	0,1	0,10	152	10,1	0,2	0,07
39	3,8	0,1	0,10	157	10,3	0,3	0,07
40	3,9	0,1	0,10	162	10,6	0,3	0,07
41	4	0,1	0,10	167	10,9	0,3	0,07
42	4,1	0,1	0,10	172	11,2	0,3	0,07
43	4,1	0,1	0,10	177	11,5	0,3	0,06
44	4,2	0,1	0,10	182	11,8	0,2	0,06
45	4,3	0,1	0,10	187	12	0,3	0,06
46	4,4	0,1	0,10	192	12,3	0,2	0,06
47	4,5	0	0,10	197	12,5	0,3	0,06
48	4,5	0,1	0,09	202	12,8	0,3	0,06
49	4,6	0	0,09	207	13,1	0	0,06
50	4,6	0	0,09	212	13,1	0,3	0,06
51	4,6	0,1	0,09	217	13,4	0,3	0,06
52	4,7	0,1	0,09	222	13,7	0,3	0,06
53	4,8	0,1	0,09	227	14	0,2	0,06
54	4,9	0	0,09	232	14,2	0	0,06
55	4,9	0,1	0,09	237	14,2	0,4	0,06
56	5	0,1	0,09	242	14,6	0,2	0,06
57	5,1	0,1	0,09	247	14,8	0	0,06
58	5,2	0,1	0,09	252	14,8	0	0,06

CÁLCULOS	
Diametro cilindro interno:	0,2
Área:	0,03142
Q cilindro interno:	8,000
	0,008
tiempo prueba	252
delta t estabilizado	0,1
descenso total:	0,10
Qprueba:	0,032
	45,7143
	0,046

infiltración (K)	1,455
	0,00168

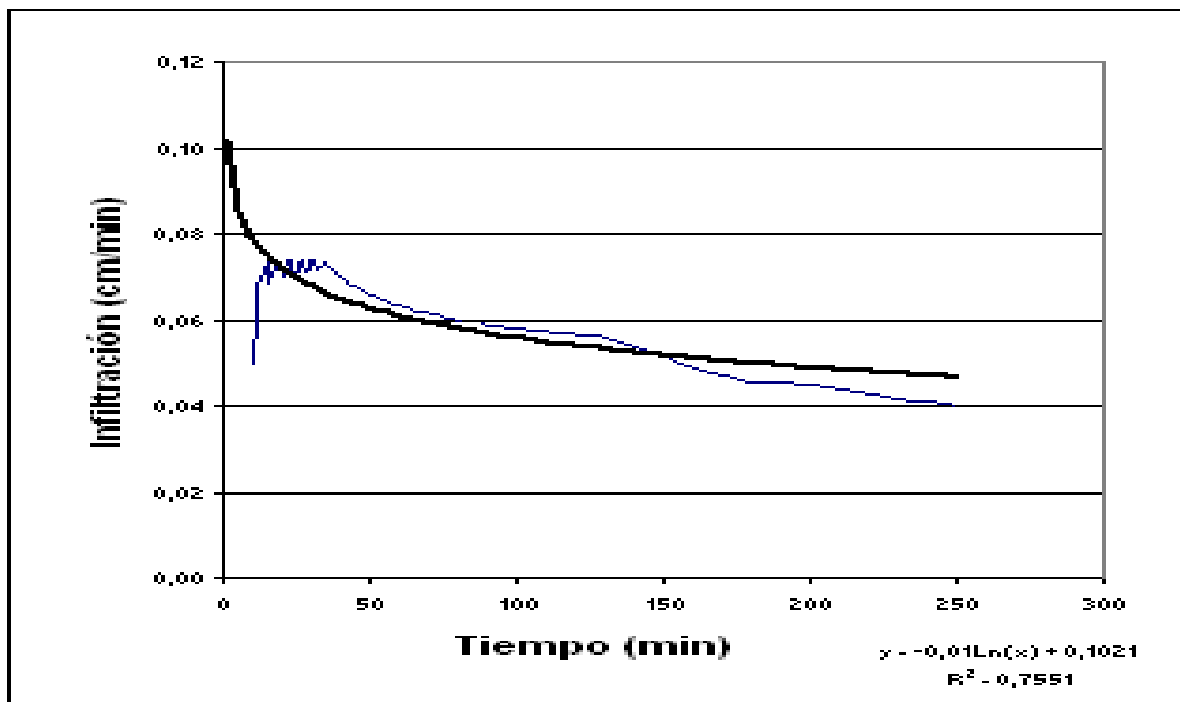


ENSAYO DE INFILTRACIÓN

SONDEO N° 4 ENSAYO CATEQUILLA				UTM 9998942 786138			
Tiempo (min)	Prof. (cm)	Delta cm	i cm/min	Tiempo (min)	Prof. (cm)	Delta cm	i cm/min
1				84	5	0,1	0,06
10	0,5	0,1	0,05	86	5,1	0,1	0,06
11	0,7	0,2	0,06	88	5,2	0,1	0,06
12	0,8	0,1	0,07	90	5,3	0,1	0,06
13	0,9	0,1	0,07	92	5,4	0,1	0,06
14	1	0,1	0,07	94	5,5	0,1	0,06
15	1,1	0,1	0,07	96	5,6	0,1	0,06
16	1,1	0	0,07	98	5,7	0,1	0,06
17	1,2	0,1	0,07	100	5,8	0,1	0,06
18	1,3	0,1	0,07	102	5,9	0,1	0,06
19	1,4	0,1	0,07	104	6	0,1	0,06
20	1,4	0	0,07	106	6,1	0,1	0,06
21	1,5	0,1	0,07	108	6,2	0,1	0,06
22	1,6	0,1	0,07	110	6,3	0,1	0,06
23	1,7	0,1	0,07	112	6,4	0,1	0,06
24	1,7	0	0,07	114	6,5	0,1	0,06
25	1,8	0,1	0,07	116	6,6	0,1	0,06
26	1,9	0,1	0,07	118	6,7	0,1	0,06
27	2	0,1	0,07	120	6,8	0,1	0,06
28	2	0	0,07	122	6,9	0,1	0,06
29	2,1	0,1	0,07	124	7	0,1	0,06
30	2,2	0,1	0,07	126	7,1	0,1	0,06
31	2,3	0,1	0,07	128	7,2	0,1	0,06
32	2,3	0	0,07	130	7,3	0,1	0,06
34	2,5	0,2	0,07	135	7,4	0,1	0,05
36	2,6	0,1	0,07	140	7,5	0,1	0,05
38	2,7	0,1	0,07	145	7,6	0,1	0,05
40	2,8	0,1	0,07	150	7,7	0,1	0,05
42	2,9	0,1	0,07	155	7,7	0	0,05
44	3	0,1	0,07	160	7,8	0,1	0,05
46	3,1	0,1	0,07	165	7,9	0,1	0,05
48	3,2	0,1	0,07	170	8	0,1	0,05
50	3,3	0,1	0,07	175	8,1	0,1	0,05
52	3,4	0,1	0,07	180	8,2	0,1	0,05
54	3,5	0,1	0,06	185	8,4	0,2	0,05
56	3,6	0,1	0,06	190	8,6	0,2	0,05
58	3,7	0,1	0,06	195	8,8	0,2	0,05
60	3,8	0,1	0,06	200	9	0,2	0,05
62	3,9	0,1	0,06	205	9,1	0,1	0,04
64	4	0,1	0,06	210	9,2	0,1	0,04
66	4,1	0,1	0,06	215	9,3	0,1	0,04
68	4,2	0,1	0,06	220	9,4	0,1	0,04
70	4,3	0,1	0,06	225	9,5	0,1	0,04
72	4,4	0,1	0,06	230	9,6	0,1	0,04
74	4,5	0,1	0,06	235	9,7	0,1	0,04
76	4,6	0,1	0,06	240	9,8	0,1	0,04
78	4,7	0,1	0,06	245	9,9	0,1	0,04
80	4,8	0,1	0,06	250	10	0,1	0,04
82	4,9	0,1	0,06				

CÁLCULOS		
Diametro cilindro interno:	0,2	m
Área:	0,03142	m ²
Q cilindro interno:	8,000	l
	0,008	m ³
tiempo prueba	252	min
delta t estabilizado	0,1	cm
descenso total:	0,10	250 min
	0,032	l/min
Qprueba:	45,7143	min/día
	0,046	m ³ /día

infiltración		
(K)	1,455	m/día
	0,00168	cm/s



ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

PROYECTO : ACUIFERO SAN ANTONIO
 OBRA :
 UBICACIÓN : IEOS
 FECHA : MARZO/2007

PUNTO : P2
 MUESTRA No : M-3 (AP)
 PROFUNDIDAD :

	CAPSULA	P.CAP. S. HUM. (g)	P.CAP. S. SECO (g)	P.CAP (g)	HUMEDAD (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)
HUMEDAD NATURAL		71,14 65,75	67,57 62,69	20,04 20,61	7,51 7,27	7,39
LIMITE LIQUIDO		MATERIAL NO PLASTICO				
LIMITE PLASTICO		MATERIAL NO PLASTICO				

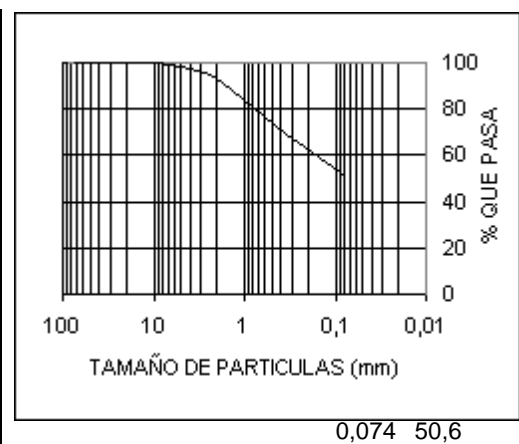
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA
 PESO DE LA MUESTRA SECA

118,79 g
 110,61 g

GRANULOMETRIA

CURVA GRANULOMETRICA

TAMIZ	P.RETENIDO	% RETENIDO	% Q' PASA
3"		0,0	100,0
2"		0,0	100,0
1 1/2"		0,0	100,0
1"		0,0	100,0
3/4"		0,0	100,0
1/2"		0,0	100,0
3/8"		0,0	100,0
No 4	1,94	1,8	98,2
No 10	7,52	6,8	93,2
No 40	31,50	28,5	71,5
No 200	54,66	49,4	50,6



GRAVA	2%
ARENA	48%
FINOS	51%

SUCS	ML
AASHTO	A-4
IG.	0

PROYECTO : ACUIFERO SAN ANTONIO
 OBRA :
 UBICACIÓN : IEOS
 FECHA : MARZO/2007

PUNTO : P2
 MUESTRA No : M-3 (DP)
 PROFUNDIDAD :

	CAPSULA	P.CAP. S. HUM. (g)	P.CAP. S. SECO (g)	P.CAP (g)	HUMEDAD (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)
HUMEDAD NATURAL		77,50 75,20	69,09 68,75	20,95 20,55	17,47 13,38	15,43
LIMITE LIQUIDO		MATERIAL NO PLASTICO				
LIMITE PLASTICO		MATERIAL NO PLASTICO				

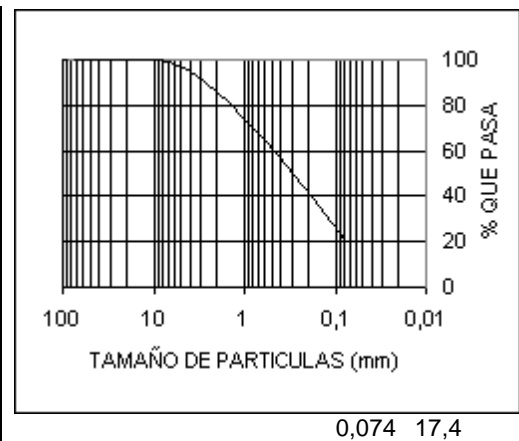
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA
 PESO DE LA MUESTRA SECA

119,5 g
 103,53 g

GRANULOMETRIA

CURVA GRANULOMETRICA

TAMIZ	P.RETENIDO	% RETENIDO	% Q' PASA
3"		0,0	100,0
2"		0,0	100,0
1 1/2"		0,0	100,0
1"		0,0	100,0
3/4"		0,0	100,0
1/2"		0,0	100,0
3/8"		0,0	100,0
No 4	4,96	4,8	95,2
No 10	15,36	14,8	85,2
No 40	44,64	43,1	56,9
No 200	85,50	82,6	17,4



GRAVA	5%
ARENA	78%
FINOS	17%

SUCS	SM
AASHTO	A-2-4
IG.	0

PROYECTO : ACUIFERO SAN ANTONIO
 OBRA :
 UBICACIÓN : SAN ANTONIO
 FECHA : MARZO/2007

PUNTO : P1
 MUESTRA No : M-1(AP)
 PROFUNDIDAD :

	CAPSULA	P.CAP. S. HUM. (g)	P.CAP. S. SECO (g)	P.CAP (g)	HUMEDAD (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)
HUMEDAD NATURAL		76,31 63,47	76,30 63,46	20,33 20,89	0,02 0,02	0,02
LIMITE LIQUIDO		MATERIAL NO PLASTICO				
LIMITE PLASTICO		MATERIAL NO PLASTICO				

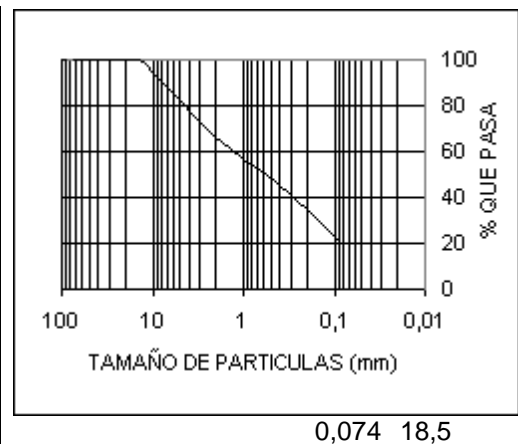
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA
 PESO DE LA MUESTRA SECA

127,97 g
 127,94 g

GRANULOMETRIA

CURVA GRANULOMETRICA

TAMIZ	P.RETENIDO	% RETENIDO	% Q' PASA
3"		0,0	100,0
2"		0,0	100,0
1 1/2"		0,0	100,0
1"		0,0	100,0
3/4"		0,0	100,0
1/2"	1,08	0,8	99,2
3/8"	8,63	6,7	93,3
No 4	23,45	18,3	81,7
No 10	43,63	34,1	65,9
No 40	69,15	54,0	46,0
No 200	104,31	81,5	18,5



GRAVA	18%
ARENA	63%
FINOS	18%

SUCS	SM
AASHTO	A-1-b
IG.	0

PROYECTO : ACUIFERO SAN ANTONIO
 OBRA :
 UBICACIÓN : SAN ANTONIO
 FECHA : MARZO/2007

PUNTO :
 MUESTRA No : M-2 (DP)
 PROFUNDIDAD :

	CAPSULA	P.CAP. S. HUM. (g)	P.CAP. S. SECO (g)	P.CAP (g)	HUMEDAD (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)
HUMEDAD NATURAL		74,45 74,17	69,09 68,75	20,95 20,55	11,13 11,24	11,19
LIMITE LIQUIDO		MATERIAL NO PLASTICO				
LIMITE PLASTICO		MATERIAL NO PLASTICO				

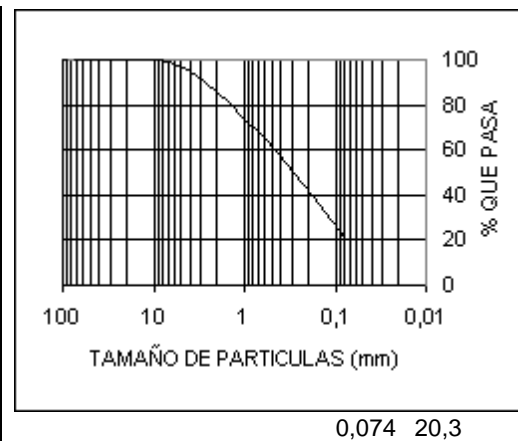
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA
 PESO DE LA MUESTRA SECA

120,85 g
 108,69 g

GRANULOMETRIA

CURVA GRANULOMETRICA

TAMIZ	P.RETENIDO	% RETENIDO	% Q' PASA
3"		0,0	100,0
2"		0,0	100,0
1 1/2"		0,0	100,0
1"		0,0	100,0
3/4"		0,0	100,0
1/2"		0,0	100,0
3/8"		0,0	100,0
No 4	3,96	3,6	96,4
No 10	15,33	14,1	85,9
No 40	45,64	42,0	58,0
No 200	86,62	79,7	20,3



GRAVA	4%
ARENA	76%
FINOS	20%

SUCS	SM
AASHTO	A-2-4
IG.	0

FOTOGRAFÍAS DE LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN



Fotografía 1 Prueba de infiltración, realizada en la población de San Antonio de Pichincha. El material corresponde a suelo limo arenoso, con un valor de $K=1.455$ m/día



Fotografía 2 Prueba de infiltración, realizada en la población de Pusuquí, tanque IEOS. El material corresponde a suelo limo arenoso, con un valor de $K=1.467$ m/día



Fotografía 3 Prueba de infiltración, realizada en las laderas del volcán Catequilla, al noreste de la urbanización La Pampa. El material corresponde a suelo limo arenoso, con un valor de $K=1.455$ m/día



Fotografía 4 Prueba de infiltración, realizada en las laderas del volcán Casitagua, en el tanque bajo de la EMAAP-Q. El material corresponde a suelo limo arenoso, con un valor de $K=1.455$ m/día

**ANÁLISIS DE
SENSIBILIDAD DEL
MÉTODO DE
THORNTHWAITE**

Mes	Temperatura del aire °C	Evapotranspiración Thornwaite (mm)			
		i	Em	kt	ETP
Ene	17.600	6.721	72.7	1.04	75.6
Feb	17.490	6.658	71.8	0.94	67.5
Mar	17.710	6.785	73.6	1.04	76.5
Abr	17.600	6.721	72.7	1.01	73.4
May	17.600	6.721	72.7	1.04	75.6
Jun	17.380	6.595	71.0	1.01	71.7
Jul	17.710	6.785	73.6	1.04	76.5
Ago	17.820	6.849	74.5	1.04	77.4
Sep	17.380	6.595	71.0	1.01	71.7
Oct	17.380	6.595	71.0	1.04	73.8
Nov	17.380	6.595	71.0	1.01	71.7
Dic	17.380	6.595	71.0	1.04	73.8
Medio	17.5		866.4		885.3

80.215 = l Reserva

1.927 = a Max.= 17.4 mm/mes

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ETP	75.6	67.5	76.5	73.4	75.6	71.7	76.5	77.4	71.7	73.8	71.7	73.8	885.3
P	50.2	55.0	83.4	90.8	57.3	21.3	9.8	12.2	39.4	73.0	55.2	37.7	585.4
P - ETP	-25.4	-12.5	6.8	17.4	-18.3	-50.4	-66.7	-65.3	-32.2	-0.8	-16.5	-36.1	-299.9
Delta R	0.0	0.0	6.8	17.4	-17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
R	0.0	0.0	6.8	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR	50.2	55.0	76.5	73.4	74.7	21.3	9.8	12.2	39.4	73.0	55.2	37.7	578.6
Def	25.4	12.5	0.0	0.0	0.9	50.4	66.7	65.3	32.2	0.8	16.5	36.1	306.7
Exc	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8
Q (mm)	0.0	0.0	0.0	3.4	1.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Balance Hídrico	Evaporación		98.8%	578.6
	Escurrimiento		0.0%	0.0
	Infiltración		1.2%	6.8

Mes	Temperatura	Evapotranspiración Thornwaite (mm)			
	del aire °C	i	Em	kt	ETP
Ene	14.400	4.960	62.4	1.04	64.9
Feb	14.300	4.908	61.7	0.94	58.0
Mar	14.400	4.960	62.4	1.04	64.9
Abr	14.400	4.960	62.4	1.01	63.0
May	14.400	4.960	62.4	1.04	64.9
Jun	14.400	4.960	62.4	1.01	63.0
Jul	14.200	4.857	61.1	1.04	63.5
Ago	14.400	4.960	62.4	1.04	64.9
Sep	14.500	5.013	63.0	1.01	63.7
Oct	14.200	4.857	61.1	1.04	63.5
Nov	14.200	4.857	61.1	1.01	61.7
Dic	14.200	4.857	61.1	1.04	63.5
Medio	14.3		743.3		759.3
	59.110	= l	Reserva Max. =	23.2	mm/mes
	1.528	= a			

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ETP	64.9	58.0	64.9	63.0	64.9	63.0	63.5	64.9	63.7	63.5	61.7	63.5	759.3
P	50.2	55.0	83.4	90.8	57.3	21.3	9.8	12.2	39.4	73.0	55.2	37.7	585.4
P - ETP	-14.6	-3.0	18.5	27.8	-7.6	-41.7	-53.7	-52.7	-24.2	9.5	-6.5	-25.8	-173.9
Delta R	0.0	0.0	18.5	27.8	-7.6	-15.6	0.0	0.0	0.0	9.5	-6.5	-3.0	
R	0.0	0.0	18.5	23.2	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	3.0	0.0	
ETR	50.2	55.0	64.9	63.0	64.9	36.9	9.8	12.2	39.4	63.5	61.7	40.7	562.3
Def	14.6	3.0	0.0	0.0	0.0	26.1	53.7	52.7	24.2	0.0	0.0	22.8	197.0
Exc	0.0	0.0	0.0	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1
Q (mm)	0.0	0.0	0.0	11.6	5.8	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Balance Hídrico	Evaporación		96.1%	562.3
	Escurrimiento		0.0%	0.0
	Infiltración		3.9%	23.1

Mes	Temperatura del aire °C	Evapotranspiración Thornwaite (mm)			
		i	Em	kt	ETP
Ene	16.000	5.818	67.0	1.04	69.6
Feb	15.900	5.763	66.2	0.94	62.3
Mar	16.100	5.873	67.7	1.04	70.4
Abr	16.000	5.818	67.0	1.01	67.6
May	16.000	5.818	67.0	1.04	69.6
Jun	16.000	5.818	67.0	1.01	67.6
Jul	15.800	5.709	65.5	1.04	68.1
Ago	16.100	5.873	67.7	1.04	70.4
Sep	16.200	5.929	68.4	1.01	69.1
Oct	15.800	5.709	65.5	1.04	68.1
Nov	15.800	5.709	65.5	1.01	66.2
Dic	15.800	5.709	65.5	1.04	68.1
Medio	16.0		799.9		817.2

69.547 = l

1.718 = a

Reserva
Max. =

23.2

mm/mes

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ETP	69.6	62.3	70.4	67.6	69.6	67.6	68.1	70.4	69.1	68.1	66.2	68.1	817.2
P	55.3	60.5	91.7	99.9	63.0	23.4	10.8	13.4	43.4	80.3	60.7	41.5	643.9
P - ETP	-14.3	-1.8	21.3	32.3	-6.6	-44.2	-57.3	-57.0	-25.7	12.2	-5.5	-26.6	- 173.3
Delta R	0.0	0.0	21.3	32.3	-6.6	-16.6	0.0	0.0	0.0	12.2	-5.5	-6.7	
R	0.0	0.0	21.3	23.2	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	6.7	0.0	
ETR	55.3	60.5	70.4	67.6	69.6	40.0	10.8	13.4	43.4	68.1	66.2	48.2	613.5
Def	14.3	1.8	0.0	0.0	0.0	27.7	57.3	57.0	25.7	0.0	0.0	20.0	203.7
Exc	0.0	0.0	0.0	30.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4
Q (mm)	0.0	0.0	0.0	15.2	7.6	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Balance Hídrico	Evaporación		95.3%	613.5
	Escurrimiento		0.0%	0.0
	Infiltración		4.7%	30.4

ANEXO III

- PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS
- NIVELES PIEZOMÉTRICOS

PARÁMETROS HIDROGEOOLÓGICOS

Pozo	Ensayo Permeabilidad.	Caudal l / s.	Abat. m.
Pusuquí	Inyección -Cuchareo		
Elbaconsa	No	-	-
La Escala	Bombeo	10,00	11,90
Mutualista Pichincha	No	-	-
Infarma	No	-	-
Grunenthal	No	-	-
Pofasa	Bombeo	8,5	14,93
Vsap-1	Inyección-Cuchareo	-	-
La Herlinda	No	-	-
Hda Oasis	No	-	-
LDU.	Bombeo	-	-
Ing. Navarro	Bombeo	7,42	27,62
San Antonio 2	Bombeo	10,65	9,97
La Internacional	No	-	-
San Antonio 1	Bombeo	9,75	19,38
Hda. Veintimilla	No	-	-

q	A	q	A	Q	A	q	A
0,25	80	2,75-3,0	91	5,5-5,75	102	8,25-8,5	113
0,25-0,5	81	3,0-3,25	92	5,75-6,0	103	8,5-8,75	114
0,5-0,75	82	3,25-3,5	93	6,0-6,25	104	8,75-9,0	115
0,75-1,0	83	3,5-3,75	94	6,25-6,5	105	9,0-9,25	116
1,0-1,25	84	3,75-4,0	95	6,5-6,75	106	9,25-9,5	117
1,25-1,5	85	4,0-4,25	96	6,75-7,0	107	9,5-9,75	118
1,5-1,75	86	4,25-4,5	97	7,0-7,25	108	9,75-10,0	119
1,75-2,0	87	4,5-4,75	98	7,25-7,5	109	≥ 10	120
2,0-2,25	88	4,75-5,0	99	7,5-7,75	110		
2,25-2,5	89	5,0-5,25	100	7,75-8,0	111		
2,5-2,75	90	5,25-5,5	101	8,0-8,25	112		

Cálculo de los parámetros Hidrogeológicos mediante las metodologías propuestas por De Miguel, 1999, donde:

R: Radio de Influencia de bombeo $R=2S\sqrt{Aq}$

S: abatimiento al finalizar el bombeo (m)

A: Parámetro que caracteriza la permeabilidad en función del caudal específico, se determina de la tabla 4.2.

q: Caudal específico (l/seg.m.) $q = \frac{Q}{S}$

Q: caudal de bombeo (l/s).

S: abatimiento del nivel con caudal Q (m)

Trasmisividad acuífera, T (m²/día) $T = A \times Q$

Piezoconductividad de nivel, a (m²/día) $a = \frac{(0,666R)^2}{t}$

t: tiempo de bombeo (días)

Coefficiente de almacenamiento de las rocas (entrega de agua), μ ,

adimensional $\mu = \frac{T}{a}$

Determinación de Parámetros Hidrogeológicos										
Pozo	Q l/seg.	S m.	t día.	q l/s.m.	A	R m.	T m ² /día.	a m ² /día.	μ	Parámetros Medios.
La Escala	4,2	2,73	0,375	1,538	86	62,79	32,27	4663,35	0,0285	q=1,75 l/s. R = 147,68 m. T = 39.39 m ² /día a= 108851.73 m ² /día μ= 0,00105
LDU	10,98	1,64	0,333	6,695	107	87,72	16,4	10249,5	0,069	
San Antonio 2	10,65	9,97	0,417	1,068	84	188,80	89,71	37915,5	0,0024	
Ing. Navarro	2,00	14,77	0,3125	0,135	80	96,90	10,8	13327,0	0,00016	
San Antonio 1	9,75	19,38	0,1041	0,50	81	246,00	40,5	257850,0	0,0008	
Pofasa	8,5	14,93	0,333	0,5693	82	203,90	46,68	55378,2	0,00084	
Para el cálculo de los valores medios, se seleccionaron los pozos perforados que caracterizan diversos niveles										

NIVELES PIEZOMÉTRICOS

No	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)	PROF. (m)	NIVEL ESTATICO			
						REPORTADO	13/03/2007	07/07/2006	04/03/2004
1	Pusuquí	9992754	782847	2560	180	94,85	98	96	98
2	Elbaconsa	9992348	781000	2560	134	94,0	-	-	-
3	Textiles la escala	9993503	782102	2560	132	66,0	-	-	-
4	Mutualista Pichincha	9992588	781905	2560	187	90,0	-	-	-
5	Grunenthal	9993144	782071	2560	185	90,0	-	-	-
6	Infarma	9993242	783267	2480	153	44,8	-	-	-
7	Pofasa	9997126	784282	2402	62	40,0	-	-	-
8	La Herlinda	9996850	783885	2400	118	40,0	-	-	-
9	Hda Veintimilla	9994652	784403	2440	100	40,0	-	-	-
10	Hda Oasis	9997944	784227	2385	70	45,0	-	-	-
11	Ldu	9997498	784821	2380	122	39,0	-	-	-
12	Vsap-1	9997837	784012	2400	210	42,5	43	45	46
13	Ing.Navarro	9999172	784170	2420	130	70,0	-	-	-
14	San Antonio 2	9999892	783824	2455	232	85,0	-	-	-
15	San Antonio 1	9998734	784347	2390	201	80,0	-	-	-
16	La Internacional	9999544	785014	2387	132	84,0	-	-	-

ANEXO IV

- LÍMITES ADMISIBLES PARA CONSIDERAR AL AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO
- PARÁMETROS QUÍMICOS
- DIAGRAMAS DE PIPER
- CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS

**LÍMITES ADMISIBLES
PARA CONSIDERAR AL
AGUA APTA PARA EL
CONSUMO HUMANO Y
DOMÉSTICO**

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN TULAS 2003		
PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO ADMISIBLE
PARÁMETROS DE CAMPO		
PH	UNID.	6-9
PARÁMETROS DE LABORATORIO		
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/l	250
COLOR	Pt-Co	20
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	500
NITRITOS (N-HO ₂ ⁻)	mg/l	1
NITRATOS (N-HO ₃)	mg/l	10
OXÍGENO DISUELTO (O ₂)	mg/l	no <6
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	500,0
SULFATOS (SO ₄ ⁻²)	mg/l	250,0
AMONIACO (NH ₃)	mg/l	1
TURBIEDAD	NTU	10
COLIF. TOTAL	NMP/100ml	50
ESCHERICHA COLI	NMP/100ml	
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/l	
MATERIALES POR ABSORCION ATOMICA		
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	0,1
ARSENICO (As)	mg/l	
HIERRO TOTAL	mg/l	0,3
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,1
POTASIO (K ⁺)	mg/l	
SODIO (Na ⁺)	mg/l	200
ZINC (Zn ²⁺)	mg/l	5

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108 PUBLICADA EN EL REGISTRO OFICIAL No 231,17 DE MARZO DEL 2006		
PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO ADMISIBLE
PARÁMETROS DE CAMPO		
PH	UNID.	9,5-8,5
PARÁMETROS DE LABORATORIO		
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/l	250
COLOR	Pt-Co	15
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	300
FOSFATOS (PO ₄ ⁻³)	mg/l	0,1
NITRITOS (N-HO ₂ ⁻)	mg/l	0,0
NITRATOS (N-HO ₃)	mg/l	10
OXÍGENO DISUELTO (O ₂)	mg/l	no <6
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	1000,0
SULFATOS (SO ₄ ⁻²)	mg/l	200
AMONIACO (NH ₃)	mg/l	1
TURBIEDAD	NTU	5
COLIF. TOTAL	NMP/100ml	50
MATERIALES POR ABSORCION ATOMICA		
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	0,3
ARSENICO (As)	mg/l	0,01
HIERRO TOTAL	mg/l	0,3
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,1
POTASIO (K ⁺)	mg/l	20,0
SODIO (Na ⁺)	mg/l	200
ZINC (Zn ²⁺)	mg/l	3

PARÁMETROS QUÍMICOS

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS; CAMPAÑA DE MUESTREO ABRIL-2004				
PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITES MAX. PERMISIBLES (TULAS 2003)	POMASQUI	SAN ANTONIO
			LIGA	VERT. SAP.4
PARÁMETROS DE CAMPO				
HORA			10:20	10:32
PH	UNIDADES	6-9	7,6	6,6
CONDUCTIVIDAD	$\mu S / cm$		781	725
STD	mg/l	500	422	389
PARÁMETROS DE LABORATORIO				
ALCALINIDAD TOTAL (CaCO ₃)	mg/l		393	
BICARBONATOS (HCO ₃)	mg/l		435,54	479,46
CALCIO (Ca ²⁺)	mg/l		56,91	45,61
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/l	250	21,7	15,9
COLOR	Pt-Co	20	5	35
DUREZA Total (CaCO ₃)	mg/l	500	285	282
FOSFATOS (PO ₄ ³⁻)	mg/l		0,32	0,19
MAGNESIO (Mg ²⁺)	mg/l		34,6	40,9
NITRITOS (N-HO ₂ ⁻)	mg/l	1	<0.05	<0.05
NITRATOS (N-HO ₃ ⁻)	mg/l	10	0	0
OXÍGENO DISUELTO (O ₂)	mg/l	6	3,21	0,67
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	500	509	497
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/l	250	109,42	96,14
SÍLICE (SiO ₂)	mg/l		50,08	58,78
TURBIEDAD	NTU	10	2,42	10,2
MICROBIOLÓGICOS				
COLIF. TOTAL	NMP/100ml	50	1	91
ESCHERICHIA COLI	NMP/100ml	ausencia	0	4
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/l	2	2,12	0,89
MATERIALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA				
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	0,1	<0.03	<0.03
ARSENICO (As)	mg/l	0,05	0,02	0,005
HIERRO (Fe ²⁺)	mg/l	0,3	1,246	1,325
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,1	0,663	0,167
POTASIO (K ⁺)	mg/l		8,187	7,504
SODIO (Na ⁺)	mg/l	200	111,25	109,5
ZINC (Zn ²⁺)	mg/l	5	0,002	0,002

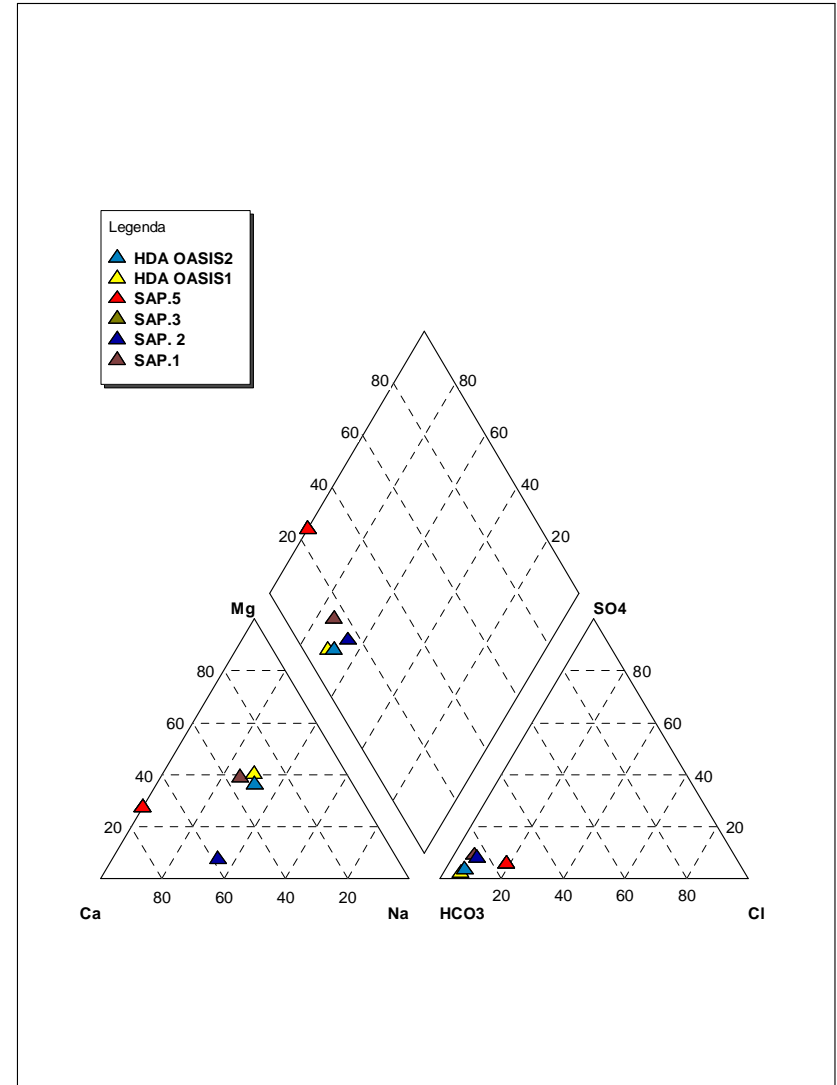
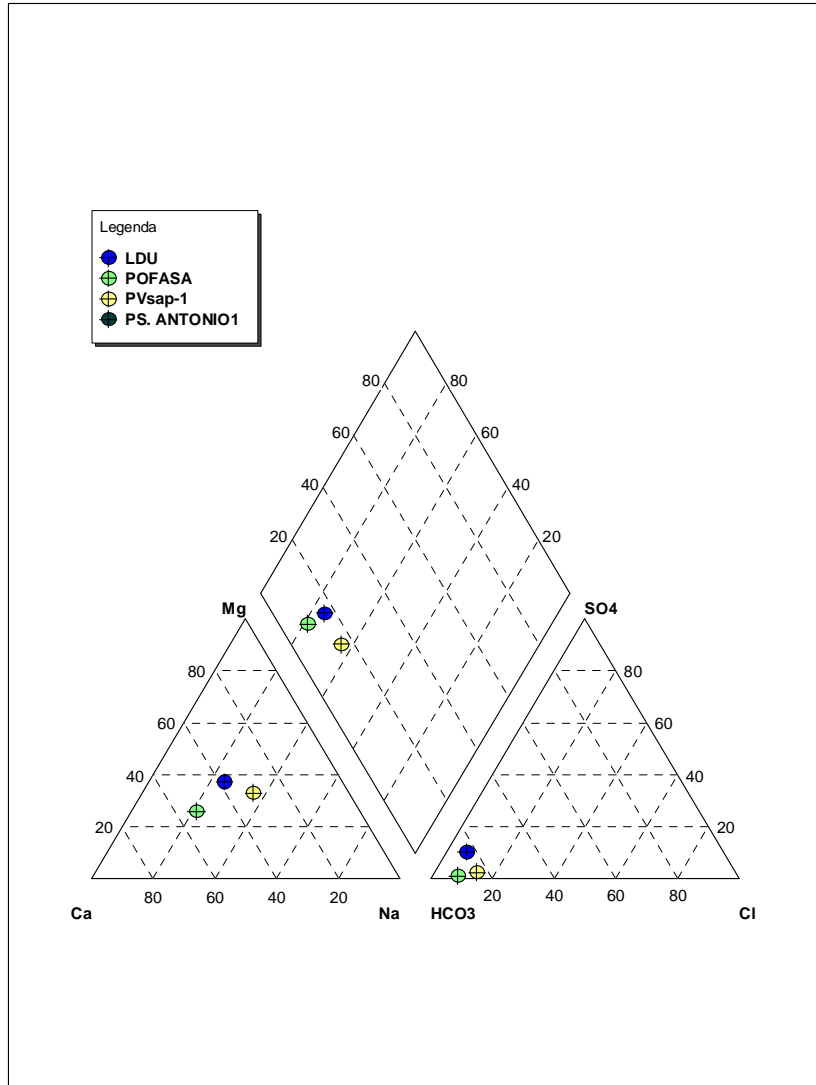
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS; CAMPAÑA DE MUESTREO JULIO-2004						
PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITES MAX. PERMISIBLES (TULAS)	POMASQUI	SAN ANTONIO		
			LIGA	P.SAP-1	VERT.SAP.4	POFASA
PARÁMETROS DE CAMPO						
HORA			10:30	11:30	11:40	12:49
PH	UNIDADES	6--9	6,88	6,4	6,34	7,27
CONDUCTIVIDAD	µs/cm		781	788	717	456
STD	mg/l	500	414	420	382	242
ALCALINIDAD TOTAL (CaCO ₃)	mg/l		193	368	365	113
BICARBONATOS (HCO ₃)	mg/l		235,46	448,96	445,3	137,86
CALCIO (Ca ²⁺)	mg/l		56,93	46,23	45,14	30,1
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/l	250	19,3	15	14,5	29
COLOR	Pt-Co	20	25	25	15	5
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	500	286	291	277	179
FOSFATOS (PO ₄ ⁻³)	mg/l		4,33	1,92	1,94	4,09
MAGNESIO (Mg ²⁺)	mg/l		34,9	42,6	39,9	25,1
NITRITOS (N-HO ₂)	mg/l	1	0,25	0,25	0,05	0,05
NITRATOS (N-HO ₃)	mg/l	10	1	0	0	10
OXÍGENO DISUELTO (O ₂)	mg/l	6	4,99	0,53	0,64	0,27
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	500	540	203	502	447
SULFATOS (SO ₄ ⁻²)	mg/l	250	151,6	80	85,94	59,16
SÍLICE (SiO ₂)	mg/l		38,19	40,02	48,88	36,91
TURBIEDAD	NTU	10	11,2	38,6	5,67	2,2
MICROBIOLÓGICOS						
COLIF. TOTAL	NMP/100ml	50	0	0	53	68
ESCHERICHIA COLI	NMP/100ml	ausencia	0	0	0	0
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/l	2	-	-	-	-
MATERIALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA						
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	0,1	<0.03	<0.03	<0.03	0,05
ARSENICO (As)	mg/l	0,05	0,006	0,004	0,007	<0.001
HIERRO (Fe ²⁺)	mg/l	0,3	0,261	3,92	1,45	0,216
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,1	0,655	0,469	0,471	0,07
POTASIO (K ⁺)	mg/l		7,216	6,479	5,843	8,466
SODIO (Na ⁺)	mg/l	200	45,725	55	66,45	25,875
ZINC (Zn ²⁺)	mg/l	5	0,003	1,625	<0.001	0,013

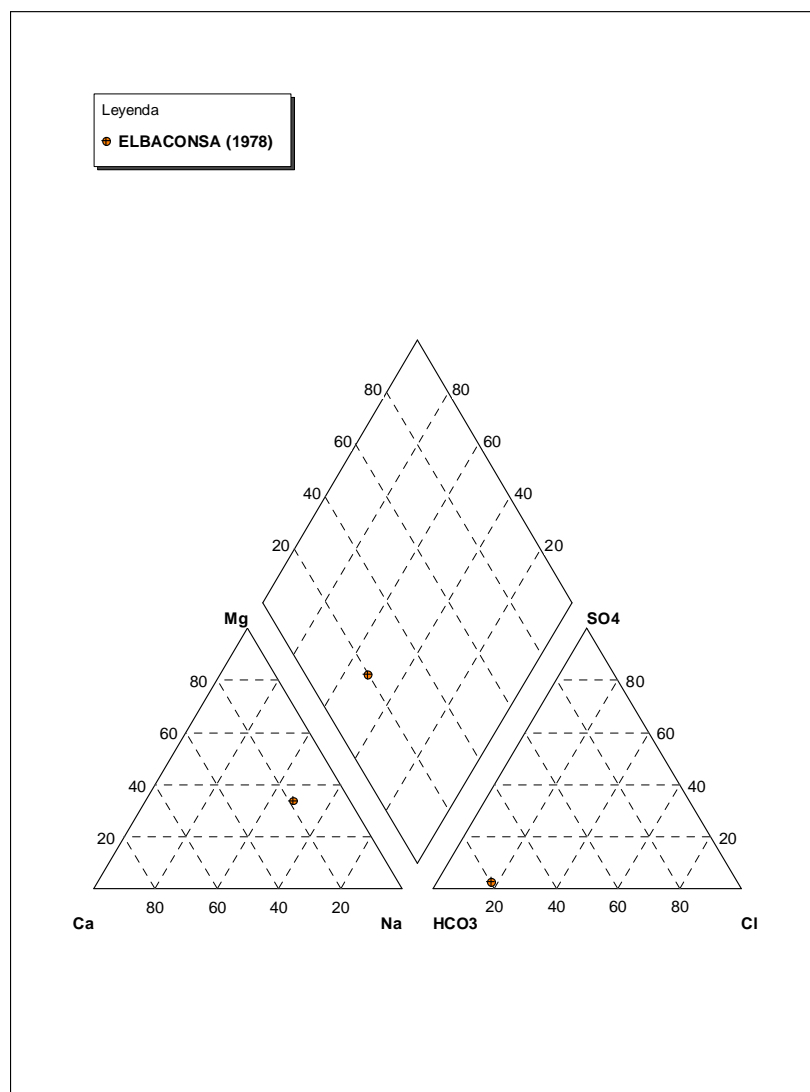
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS; CAMPAÑA DE MUESTREO OCTUBRE-2005											
PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITES MAX.	POMASQUI					SAN ANTONIO			
		PERMISIBLES	LDU	HDA	POZO	VERT	VERT	VERT	VERT	VERT	VERT
		TULAS 2003		OASIS	SAP-1	HDA OASIS1	HDA OASIS2	SAP.4	SAP.5 ENTR	SAP.1DES	SAP.2DES
PARÁMETROS DE CAMPO											
PH	UNIDADES	6-9	7,26	6,23	6,68	6,31	6,29	7,16	7,36	6,87	6,87
CONDUCTIVIDAD	µs/cm		789	410		691	691	1138	1408		
STD	mg/l	500	503	284	503	458	454	693	955	548	651
PARÁMETROS DE LABORATORIO											
ALCALINIDAD TOTAL (CaCO ₃)	mg/l		318	393,3	329	304	303	475	517	348	483
BICARBONATOS (HCO ₃)	mg/l		387,96	393,3	401,38	370,88	369,66	579,5	630,74	424,56	589,26
CALCIO (Ca ²⁺)	mg/l		58,67	49,97	46,19	39,82	43,08	115,55	219,34	58,34	134,64
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/l	250	17,4	32,76	14,1	13,6	15,5	60,2	91,3	16,9	33,4
COLOR	Pt-Co	20	20	15	25	0	0	200	50	50	250
DUREZA Total (CaCO ₃)	mg/l	500	288	218,19	292	232	229	264	341	307	295
FOSFATOS (PO ₄ ⁻³)	mg/l		0,25	1,15	0,2	0,26	0,23	0,23	0,23	0,35	0,24
MAGNESIO (Mg ²⁺)	mg/l		34,4	22,57	42,9	32,2	29,5	6	50,3	39,1	10,2
NITRITOS (N-HO ₂ ⁻)	mg/l	1	<0.05	0,14	<0.05	<0.05	<0.05	0	0	<0.05	<0.05
NITRATOS (N-HO ₃ ⁻)	mg/l	10	1	0,26	1	3	3	3	3	0	1
SULFATOS (SO ₄ ⁻²)	mg/l	250	37,14	8,1	12,68	6,15	10,53	35,52	37,19	35,64	44
TURBIEDAD	NTU	10	6,48	15	11,6	0,16	0,12	59,6	15,5	16,5	88,9
MICROBIOLÓGICOS											
COLIF. TOTAL	NMP/100ml	50	<2	0,000046	4	<2	115	24,19	25	24,19	<2
ESCHERICHIA COLI	NMP/100ml	ausencia	<2	-	<2	<2	<2	24,19	488	517	<2
MATERIALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA											
ARSENICO (As)	mg/l	0,05	0,011	-	0,008	0,011	0,008	0,006	0,005	0,01	0,008
HIERRO (Fe ³⁺)	mg/l	0,3	1,04	5,56	2,83	<0,015	<0,015	17,22	4,51	3,99	17,07
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,1	0,632	0	2,35	<0,013	<0,013	2,84	2,04	0,581	2,35

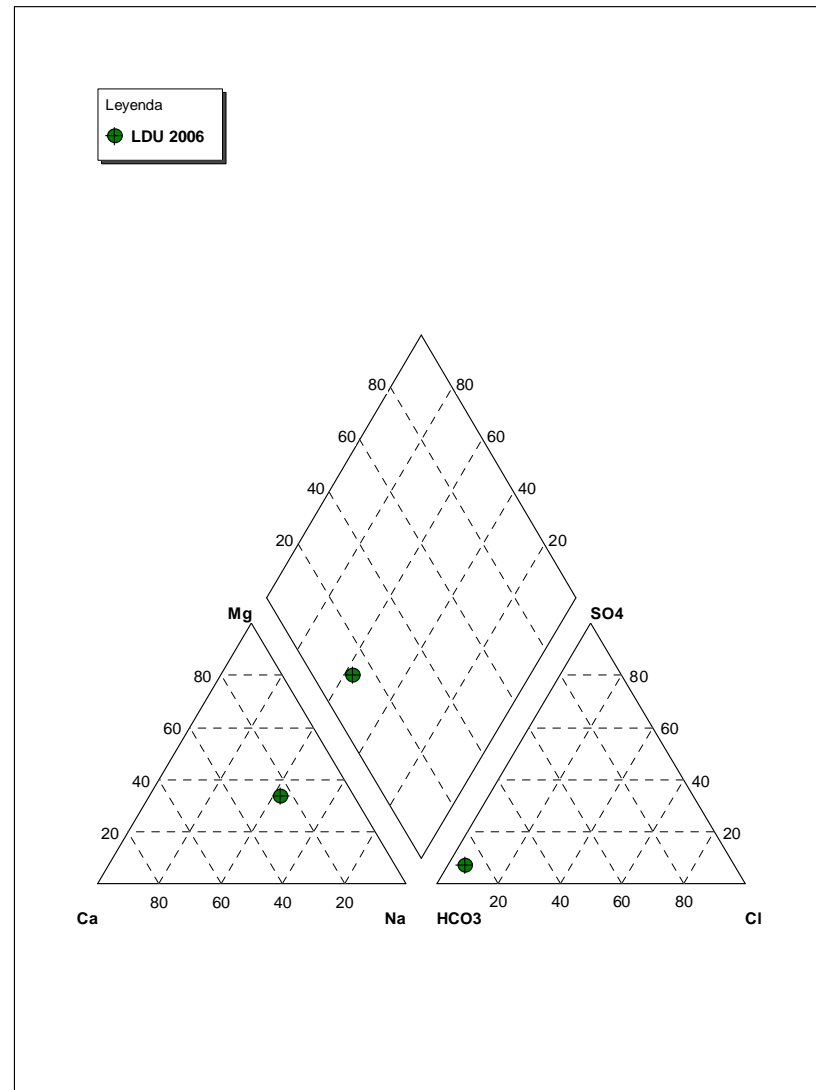
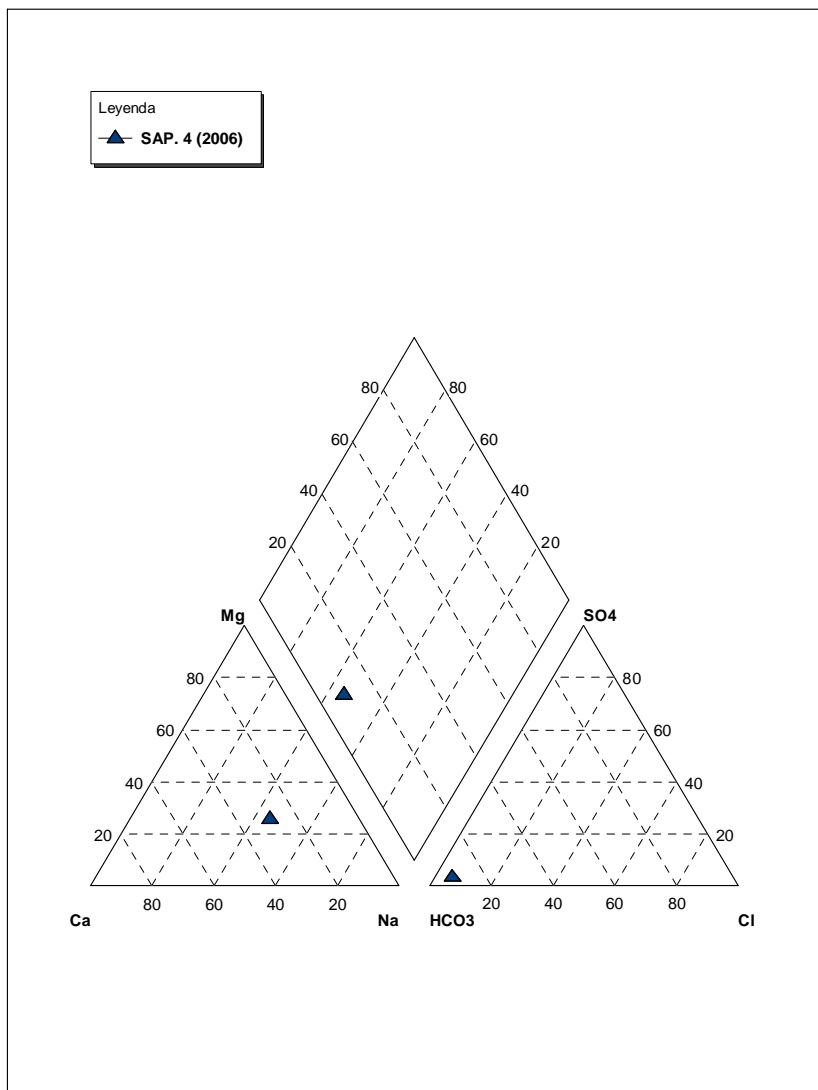
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS; CAMPAÑA DE MUESTREO MAYO 2006						
PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITES MAX.	POMASQUI			SAN ANTONIO
		PERMISIBLES	POFASA	LDU	POZO	VERT
		2006			SAP-1	SAP.4
PARÁMETROS DE CAMPO						
HORA DE MUESTREO				10:40	10:05	9:50
PH	UNIDADES	6,5-8,5	6,46	7,06	6,92	7,32
CONDUCTIVIDAD	µs/cm		1026	778	745	870
STD	mg/l	1000	691	401	386	451
PARÁMETROS DE LABORATORIO						
ALCALINIDAD TOTAL (CaCO ₃)	mg/l		486	429,66	398,1	486,78
BICARBONATOS (HCO ₃)	mg/l		592,92	523,75	485,76	595,83
CALCIO (Ca ²⁺)	mg/l		113,83	51,75	44,13	71,79
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/l	250	30,6	19,2	14,88	21,6
COLOR	Pt-Co	15	0	25	20	25
DUREZA Total (CaCO ₃)	mg/l	300	423	310,91	335,96	335,96
MAGNESIO (Mg ²⁺)	mg/l		33,6	44,28	47,31	38,17
NITRITOS (N-HO ₂ ⁻)	mg/l	0	<0.05	0	0	0
NITRATOS (N-HO ₃ ⁻)	mg/l	10	2	4,38	5,67	51,2
OXÍGENO DISUELTO (O ₂)	mg/l	6		4,91		
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	500		523	519	588
SULFATOS (SO ₄ ⁻²)	mg/l	200	5,58	33,48	14,42	16,65
SÍLICE (SiO ₂)	mg/l			36,12	57,86	44,95
FLORUROS					0	0,4677
TURBIEDAD	NTU	5	0,18	2,73	3,76	2,92
MICROBIOLÓGICOS						
COLIF. TOTAL	NMP/100ml	50	34	2	140	914
ESCHERICHIA COLI	NMP/100ml	ausencia	<2	0	0	11
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/l	2		-	8,87	7,3
MATERIALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA						
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	0,25		<0.03	<0.03	0,07
ARSENICO (As)	mg/l	0,01	0,007	0,011	0,01	0,012
HIERRO (Fe ²⁺)	mg/l	0,3	0,443	0,609	0,755	0,674
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,1	<0,015	0,631	0,307	0,753

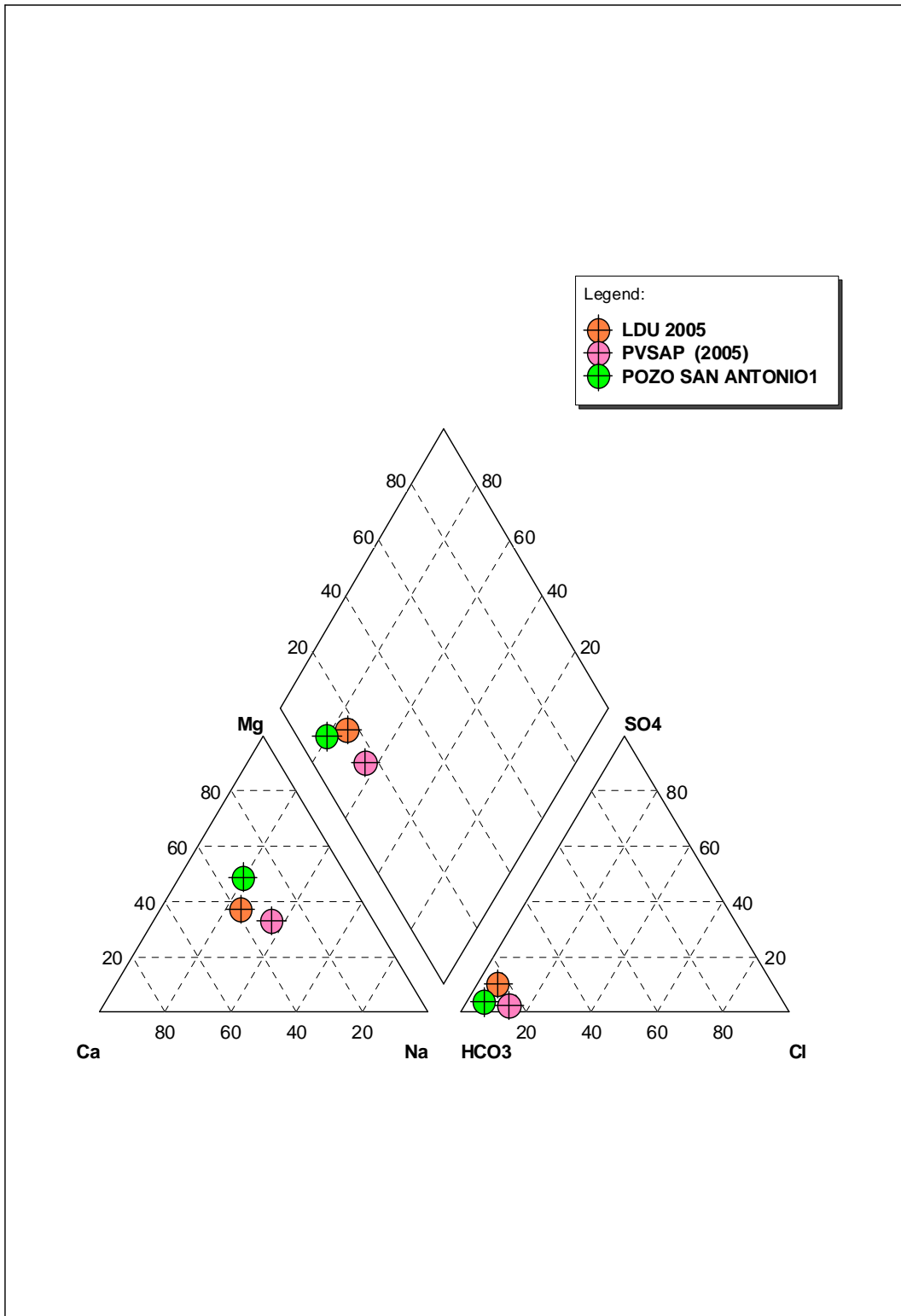
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS; CAMPAÑA DE MUESTREO JUNIO 2007				
PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITES MAX.	POMASQUI	SAN ANTONIO
		PERMISIBLES	LDU	POZO SA1
		2007		
PARÁMETROS DE CAMPO				
HORA DE MUESTREO			10:20	12.00
PH	UNIDADES	6,5-8,5	7,52	6,54
CONDUCTIVIDAD	µs/cm		844	754
PARÁMETROS DE LABORATORIO				
CLORUROS (Cl)	mg/l	250	19,53	12,78
COLOR	Pt-Co	15	200	5
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	300	2,99	271,80
NITRITOS (N-HO ₂ ⁻)	mg/l	0	0	0
NITRATOS (N-HO ₃ ⁻)	mg/l	10	0,97	1,01
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	500	206	521
SULFATOS (SO ₄ ⁻²)	mg/l	200	37,85	32,97
FLORUROS			0,75	0,75
TURBIEDAD	NTU	5	62,60	2,26
MICROBIOLÓGICOS				
COLIF. TOTAL	NMP/100ml	50	10	<1
ESCHERICHIA COLI	NMP/100ml	ausencia	<1	<1
MATERIALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA				
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/l	0,25	0,11	0,11
ARSENICO (As)	mg/l	0,01	0,01	0,005
HIERRO (Fe ²⁺)	mg/l	0,3	0,390	0,769
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/l	0,1	1,034	0,236
BARIO (Ba)	mg/l	0,7	<0,100	0,230
CADMIO (Cd)	mg/l	0,003	<0,002	<0,002
ANTIMONIO (Sb)	mg/l	0,005	<0,001	0,005
COBALTO (Co)	mg/l	0,2	0,02	0,017
COBRE (Cu)	mg/l	1	0,014	0,006
CROMO TOTAL (Cr)	mg/l	0,05	<0,006	0,007
LITIO (Li)	mg/l	0,2	0,008	0,01
MERCURIO (Hg)	mg/l	0,0	<0,001	<0,001
NIQUEL (Ni)	mg/l	0,02	0,02	0,02
PLATA (Ag)	mg/l	0,05	<0,002	0,002
PLOMO (Pb)	mg/l	0,01	<0,005	<0,005
POTASIO (K ⁺)	mg/l	20,0	7,419	5,942
SELENIO (Se)	mg/l	0,01	<0,001	<0,001
SODIO (Na ⁺⁺)	mg/l	200	72,99	77,253
VANADIO (V)	mg/l	0,1	<0,02	0,058
ZINC (Zn ⁺²)	mg/l	3	0,114	0,019

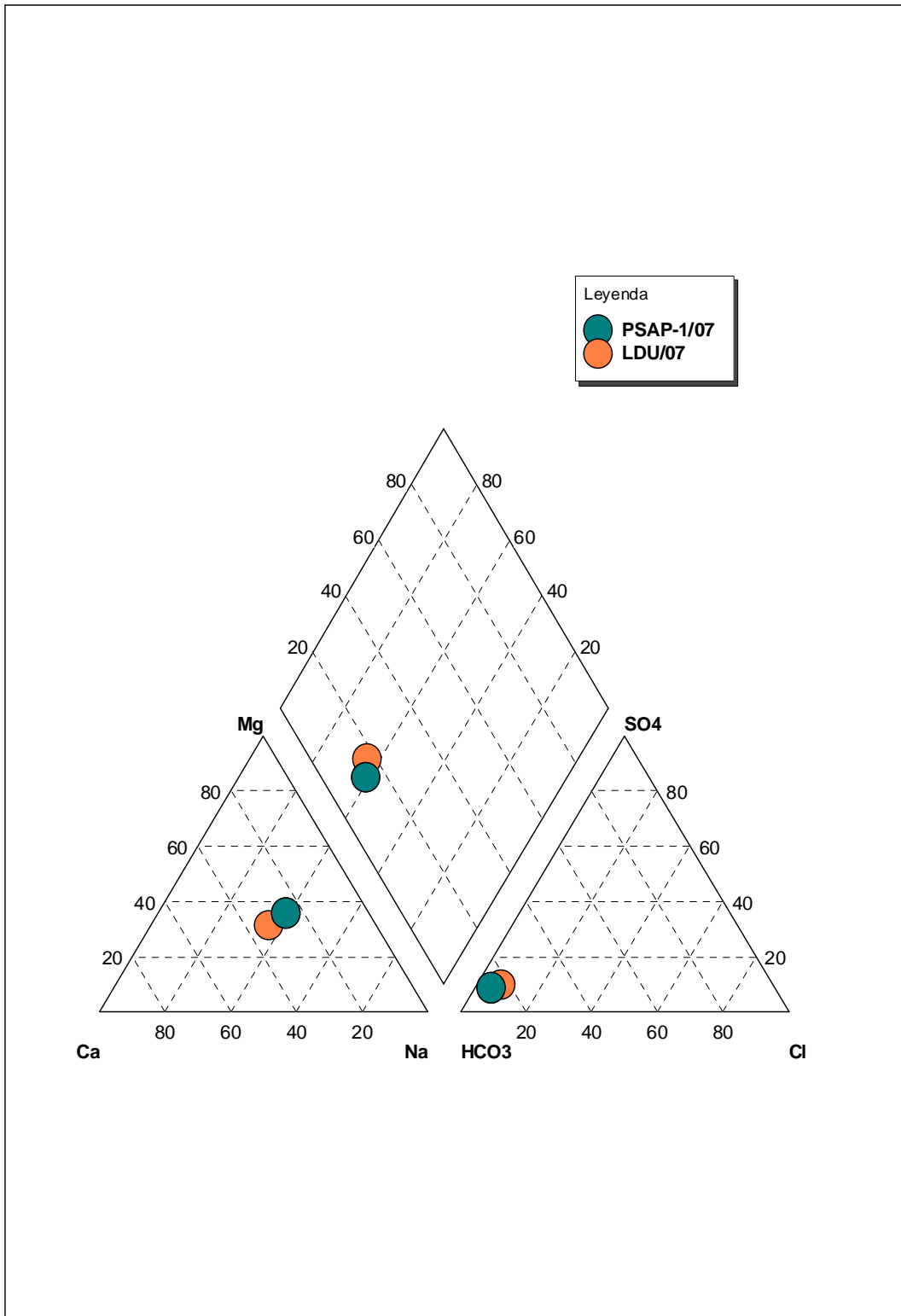
DIAGRAMAS DE PIPER











CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS

CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS POR SU PH, MINERALIZACIÓN Y DUREZA

Según O.A.Aliokin, tomado de De Miguel Fernández 1999

VALOR DE PH	DENOMINACION DE LAS AGUAS
< 3	Muy ácidas
3 - 5	Ácidas
5 - 6.5	Débilmente ácidas
6.5 – 7.5	Neutras
7.5 – 8.5	Débilmente básicas
8.5 – 9.5	Básicas
> 9.5	Muy básicas

Tabla 1 Clasificación de las aguas según el ión hidrógeno

MINERALIZACIÓN EN g/L	DENOMINACION DE LAS AGUAS
< 1	Aguas dulces
1 - 3	Agus poco salinas
3 - 10	Aguas saladas
10 – 50	Muy saladas
> 50	Rasoles

Tabla 2 Clasificación de las aguas según el la mineralización

DUREZA PERMANENTE Y NO CARBONATADA – mq.equi	DENOMINACION DE LAS AGUAS
< 1.5	Muy blandas
1.5 – 3	Blandas
3 – 6	Algo duras
6 – 9	Duras
> 9.0	Muy duras

Tabla 3 Clasificación de las aguas según la dureza