



RESUMEN

La conductividad hidráulica de los suelos constituye un parámetro de gran importancia ya que describe la movilidad del agua sub superficial o subterránea siendo de difícil cuantificación por la incertidumbre que representa su determinación, sin embargo en este trabajo se procedió a analizar, validar e integrar información correspondiente a trabajos anteriores y actuales en los cuales la geología de la subcuenca del Tarqui ha sido el factor más importante, manejado a lo largo de la tesis por la disponibilidad de la misma, contando con mapas a escala 1:25000. Además de la geología se conto con registros eléctricos realizados en perforaciones, mediante los cuales se interpretó la litoestratigrafía de los pozos, pruebas de bombeo y pruebas Slug Test en las cuales se valido la conductividad hidráulica para cada perforación realizada. Toda esta información que corresponde a trabajos ya realizados se integro con la información levantada la cual consistió en la descripción de afloramientos realizados en varios sectores de la subcuenca y a partir de ello se procedió a relacionar las distintas litologías evaluadas con valores establecidos de conductividad hidráulica a partir de tablas, obteniendo un mapa con valores puntuales, para luego clasificar la conductividad hidráulica de acuerdo con la U.S. Soil Conservation Service determinándose cuatro grupos y a partir de los cuales se genero un mapa caracterizado con este parámetro, no obstante el mapa más representativo constituye el generado a partir del mapa geológico en el cual los distintos valores de conductividad hidráulica se zonificaron de acuerdo con la formación.

PALABRAS CLAVES: Conductividad Hidráulica, Subcuenca del rio Tarqui, Caracterización, Geología, Validación, Recopilación.



CONTENIDO

CONTENIDO	2
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABLAS	14
LISTA DE ECUACIONES.....	16
CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	17
1.1. ANTECEDENTES	17
1.2. INTRODUCCIÓN.....	18
1.3. ALCANCE	19
1.4. OBJETIVOS	19
1.4.1. GENERALES.....	19
1.4.2. ESPECÍFICOS	19
1.5. HIPOTESIS.....	19
CAPITULO 2: MARCO TEORICO	20
2.1. CICLO HIDROLOGICO	20
2.2. INFILTRACION Y FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA.....	21
2.2.1. LEY DE DARCY	22
2.2.1.1. DESARROLLO MATEMÁTICO DE LA LEY DE DARCY	22
2.2.1.2. LIMITACIONES DE LA LEY DE DARCY	24
2.2.1.3. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	25
Conductividad hidráulica en suelos totalmente saturados.....	26
Conductividad hidráulica en suelos parcialmente saturados	26
2.2.1.4. ACUÍFERO	27
Acuíferos anisotrópicos	27
Transmisividad	28
2.3. TECNICAS PARA EVALUAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA.....	28
2.3.1. METODOS DE CAMPO.....	29
2.3.1.1. BOMBEO DE POZOS	29
Conceptos Básicos.....	30
Prueba gasto variable	31



Prueba gasto constante.....	32
Formulas De Régimen Variable	32
2.3.1.2. PRUEBAS SLUG TEST	34
2.3.2. METODOS ESTIMATIVOS EMPLEADOS EN EL TRABAJO	35
2.3.2.1. ANALISIS LITOLOGICO Y TEXTURAL (métodos indirectos)	35
Textura	36
Porosidad.....	38
Comportamiento Físico.....	38
Estructura.....	39
Moteado y color	39
2.4. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS.....	41
2.4.1. PROSPECCION GEOFISICA	41
2.4.1.1. REGISTRO ELECTRICO	41
Carácter de los valores de resistividad.....	42
Potencial Espontáneo.....	44
Corriente Inducida.	44
2.4.1.2. REGISTRO MEDIANTE RAYOS GAMA	45
CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOS	46
3.1. DESCRIPCION DEL CONTEXTO	46
3.1.1. DELIMITACION HIDROGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO.....	46
3.1.2. UBICACIÓN Y CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	46
3.1.3. HIDROGRAFIA.....	48
3.1.4. CLIMA	49
3.1.5. GEOLOGIA LOCAL.....	49
3.1.5.1. DESCRIPCION Y LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES DE LA ZONA.....	52
3.1.5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA ZONA.....	54
3.2. RECOPIACION Y LEVANTAMIENTO DE DATOS DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI	55
3.2.1. GEOREFERENCIACION INFORMACION EXISTENTE.....	55
3.2.2. BOMBEO DE POZOS.....	56
3.2.2.1. PRUEBA DE BOMBEO POZOS SUBCUENCA DEL TARQUI	57
3.2.3. REGISTROS ELECTRICOS.....	58



3.2.4. LITOESTRATIGRAFIAS DE PERFORACIONES.....	64
3.2.5. AFLORAMIENTOS GEOLOGICOS	66
3.2.5.1. TEXTURAS DOMINANTES.....	66
3.2.5.2. POROSIDAD EFICAZ	68
3.3. INSTRUMENTACION	75
3.3.1 EQUIPO Y SENSORES PARA REGISTROS ELECTRICOS.....	75
Geologger Three.....	75
3.3.2. SENSORES DE NIVEL.....	76
Diver-Baro.....	76
Sonda eléctrica	77
3.4. METODOLOGIA USADAS EN LA CARACTERIZACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA	77
3.4.1. ESTIMACION DE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.....	79
3.4.2. LITOESTRATIGRAFIA DE LOS AFLORAMIENTOS Y CORRELACION CON LOS VALORES ESTIMADOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA.....	81
3.4.3. ANALISIS Y CARACTERIZACION DE LOS VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI	82
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION	83
4.1. ESTIMACION DE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.....	83
4.1.1. VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA DE LAS PERFORACIONES CORRESPONDIENTES AL G.P.A.....	83
4.1.1.1. INTERPRETACIONES DE LOS POZOS DEL GPA.....	86
Sector Acchayacu.....	87
Sector Gullanzhapa.....	87
Sector Chilcatotora.....	88
Sector Morascale.....	89
4.1.2. VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA DE LAS PERFORACIONES CORRESPONDIENTES A IM GOLD S.A. ECUADOR	90
4.1.3. INTEGRACION DE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA CON LITOLOGIAS Y MATERIALES REPRESENTATIVOS	92



4.2. LITOESTRATIGRAFIA DE LOS AFLORAMIENTOS Y CORRELACION CON LOS VALORES ESTIMADOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA.....	95
4.2.1. LITOESTRATIGRAFÍA DE LOS AFLORAMIENTOS.....	95
4.2.1. VALORES ESTIMADOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA.....	100
4.3. ANALISIS Y CARACTERIZACION DE LOS VALORES DE “K” DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI.	103
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
CONCLUSIONES.....	109
RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS.....	116
ANEXO 1. Georeferenciación de los puntos de información y monitoreo....	116
ANEXO 2. Ensayos de calidad de agua de los pozos del GPA dentro de la subcuenca del rio Tarqui.	119
Ensayo de calidad de agua de Acchayacu	119
Ensayo de calidad de agua de Gullanzhapa.....	120
Ensayo de calidad de agua de Chilcatotora.....	121
Ensayo de calidad de agua de Morascalle.....	122
ANEXO 3. Esquema de ubicación de la información.....	124
ANEXO 4. Litoestratigrafia de los pozos de IM GOLD S.A. ECUADOR	125
ANEXO 5. Resultados de las pruebas de bombeo realizadas por el GPA ..	126
ANEXO 6. Informe PROMAS sobre IM GOLD S.A. ECUADOR.....	132



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Calle Ortiz Jhoana Elizabeth, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Calle Ortiz Jhoana Elizabeth
0105013478

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Calle Ortiz Jhoana Elizabeth, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Calle Ortiz Jhoana Elizabeth
0105013478

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Barbecho Chuisaca Juan Gabriel, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Barbecho Chuisaca Juan Gabriel
0104445929

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Barbecho Chuisaca Juan Gabriel, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Barbecho Chuisaca Juan Gabriel
0104445929

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA.
FUNDADA EN 1987.

FACULTAD DE INGENIERIA.
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

CARACTERIZACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DE LOS SUELOS DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI.

Director:
Ing. Felipe Cisneros Ph.D.

Proyecto de graduación
previo la obtención del grado
de Ingenieros Civiles.

Tutor:
Ing. Pablo Guzmán MSc.

Autores:
Juan Gabriel Barbecho Chuisaca.
Jhoana Elizabeth Calle Ortiz.

CUENCA – ECUADOR.

OCTUBRE 2012.



LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Componentes del Ciclo Hidrológico

Figura 2.2. Distribución vertical del agua dentro de las formaciones

Figura 2.3. Representación de la formulación de la Ley de Darcy

Figura 2.4. Representación del bombeo de un pozo en un acuífero confinado

Figura 2.5. Recta de depresión de un pozo

Figura 2.6. Geometría del Piezómetro por el método Hvorslev

Figura 2.7. Configuración para la realización de un registro eléctrico

Figura 3.1. Delimitación Hidrográfica de la Subcuenca del río Tarqui

Figura 3.2. Ubicación, Relieve y zonas Pobladas de la Subcuenca del río Tarqui

Figura 3.3. División y Red Hidrográfica de la Subcuenca del Tarqui

Figura 3.4. Mapa geológico de la Subcuenca del río Tarqui

Figura 3.5. Georeferenciación de los puntos de información y estudio

Figura 3.6. Ubicación de los pozos del GPA

Figura 3.7. Registro eléctrico pozo Acchayacu

Figura 3.8. Registro eléctrico pozo Gullanzhapa

Figura 3.9. Registro eléctrico pozo Chilcatotora

Figura 3.10. Registro eléctrico pozo Morascalle

Figura 3.11. Ubicación de las perforaciones de IMGOLD

Figura 3.12. Corte de Taludes en los que se evidencia los cambios de litología

Figura 3.13. Texturas de los suelos de la Subcuenca del río Tarqui

Figura 3.14. Ubicación y fotografías de los afloramientos de la Ruta 1

Figura 3.15. Ubicación y fotografías de los afloramientos de la Ruta 2

Figura 3.16. Ubicación y fotografías de los afloramientos de la Ruta 3

Figura 3.17. Ubicación y fotografías de los afloramientos de la Ruta 4

Figura 3.18. Fotografías del equipo de registros eléctricos



Figura 3.19. Fotografías de un dispositivo Baro

Figura 3.20. Fotografías de una sonda eléctrica

Figura 3.21. Metodología empleada para la determinación de la Conductividad Hidráulica

Figura 4.1. Prueba de bombeo definitiva a partir de un caudal de operación de 0.45 lit/seg

Figura 4.2. Prueba de bombeo definitiva a partir de un caudal de operación de 0.5 lit/seg

Figura 4.3. Prueba de bombeo definitiva a partir de un caudal de operación de 0.5 lit/seg

Figura 4.4. Prueba de bombeo definitiva a partir de un caudal de operación de 2.02 lit/seg

Figura 4.5. Litoestratigrafía interpretada del pozo de Acchayacu

Figura 4.6. Litoestratigrafía interpretada del pozo de Gullanzhapa

Figura 4.7. Litoestratigrafía interpretada del pozo de Chilcatotora

Figura 4.8. Litoestratigrafía interpretada del pozo de Morascalle

Figura 4.9 Sistema montañoso de la Subcuenca del río Tarqui.

Figura 4.10 Valle de la Subcuenca del río Tarqui.

Figura 4.11. Formación Tarqui: a la izquierda toba rojiza y de color café y a la izquierda caolín compacto de color gris claro

Figura 4.12. Andesitas diaclasadas en sentido vertical

Figura 4.13. Estratos compuestos por arcilla, conglomerado y arenisca (izquierda) y contacto entre formaciones Turi y Tarqui (derecha)

Figura 4.14. Areniscas con clastos redondeados

Figura 4.15. Areniscas y lutitas de la formación Azogues

Figura 4.16. Mina de arcilla compuesta por argilitas

Figura 4.17. Pliegue anticlinal (izquierdo) y sinclinal (derecho) compuestos por arenisca

Figura 4.18. Conductividad Hidráulica Saturada de puntos y zonas identificados



Figura 4.19. Variabilidad espacial de la Conductividad Hidráulica Saturada

Figura 4.20. Mapa de clasificación de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la Geología según U.S. Soil Conservation Service

Figura 4.21. Mapa de estimación de rangos de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la geología para la Subcuenca del río Tarqui



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Métodos de medición de la conductividad hidráulica

Tabla 2.2. Rangos Conductividad Hidráulica propuesta por U.S. Soil Conservation Service

Tabla 2.3. Valores de porosidad total y eficaz

Tabla 2.4. Estructuras según el tipo de roca

Tabla 2.5. Permeabilidad relativa en función del suelo

Tabla 2.6. Valores estimados de conductividad hidráulica por varios autores

Tabla 2.7. Rangos de variación de la resistividad según tipo de roca y agua

Tabla 2.8. Valores representativos de resistividad eléctrica para formaciones geológicas

Tabla 2.9. Información que se puede obtener de Registros Eléctricos

Tabla 3.1. Edad y Cobertura de las formaciones geológicas

Tabla 3.2. Caudales de bombeo utilizados durante la prueba escalonada de bombeo

Tabla 3.3. Registros de Perforaciones de pozos GPA

Tabla 3.4. Litoestratigrafía de los pozos del GPA

Tabla 3.5. Litoestratigrafía de los pozos de IMGOLD

Tabla 3.6. Tipos de texturas de los suelos de la Subcuenca del río Tarqui

Tabla 3.7. Primer recorrido para la descripción de los afloramientos

Tabla 3.8. Segundo recorrido para la descripción de los afloramientos

Tabla 3.9. Tercer recorrido para la descripción de los afloramientos

Tabla 3.10. Cuarto recorrido para la descripción de los afloramientos

Tabla 3.11. Especificaciones técnicas de los sensores Diver y Baro

Tabla 3.12. Valores de conductividad Hidráulica del modelo aplicado por Mbanguka

Tabla 4.1. Valores de la conductividad hidráulica de los pozos del GPA ubicados en la Subcuenca del Tarqui



Tabla 4.2. Valores de conductividad hidráulica para las litologías de las perforaciones del sector de Quimsacocha

Tabla 4.3. Valores estimados de conductividad hidráulica saturada en función de la composición litológica para suelos de la subcuenca del río Tarqui.

Tabla 4.4. Resumen de características de los suelos identificados en los afloramientos

Tabla 4.5. Estimación de Rangos de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la Geología



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ley de Darcy

Ecuación 2. Velocidad de Darcy

Ecuación 3. Constante de Proporcionalidad de la Ley de Darcy

Ecuación 4. Ley de Darcy para grandes velocidades

Ecuación 5. Numero de Reynolds para ley de Darcy

Ecuación 6. Permeabilidad Intrínseca

Ecuación 7. Conductividad Hidráulica en función de la velocidad de Darcy

Ecuación 8. Conservación de masa para flujo en medios parcialmente saturados

Ecuación 9. Ley de Darcy para medios parcialmente saturados

Ecuación 10. Relación de Conductividades Hidráulica Horizontal y Vertical

Ecuación 11. Flujo a través de una sección transversal

Ecuación 12. Función de Theis

Ecuación 13. Simplificación de la función de Theis

Ecuación 14. Relación de u con S

Ecuación 15. Abatimiento de Theis

Ecuación 19. Ecuación de Jacob

Ecuación 20. Transmisividad en función de la ley de Darcy

Ecuación 21. Conductividad Hidráulica según el método de Hvorslev



CAPITULO 1: INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

La disponibilidad de agua para consumo humano en la cantidad y calidad requeridas entraña un problema complejo; se debe considerar que del balance mundial solamente el 2.53% del agua corresponde a agua dulce, de lo cual el mayor porcentaje accesible corresponde al agua subterránea con un 30.1% (Gleick, 1993). Para la caracterización y cuantificación de esta última es sustancial definir el entorno con el que interactúa en términos de espacio físico y procesos, lo cual ineludiblemente nos lleva al ciclo hidrológico y todas las variables que afectarán la ocurrencia de las aguas subterráneas como son la precipitación, ríos y otros en el proceso de recarga, así como la interacción entre aguas superficiales y aguas subterráneas que básicamente dependen del tipo de material subyacente (geología), el clima y la topografía en el que esté ubicado el sistema de agua superficial. (Keith D., 2004)

A nivel local en la subcuenca del Paute, el escaso conocimiento de los procesos, no obstante las evidencias existentes en el área de la subcuenca del Tarqui, han llevado a realizar algunos análisis para determinar la presencia de un acuífero, incluyendo el análisis comparativo de flujos base, estos considerados como expresión del aporte de las aguas subterráneas al río durante las épocas de baja precipitación (Guzman, 2012).

Frente a los diferentes factores que han sido analizados y las conclusiones e hipótesis preliminares planteadas por Guzmán, 2012, es necesario profundizar en el estudio de la hidrogeología del Tarqui como un hecho que coadyuvará a mejorar la comprensión del medio y los procesos relacionados a la hidrología en general así como los aspectos específicos de recarga, interacción entre agua superficial y agua subterránea y posibles impactos a futuro.

Así en la subcuenca del Rio Tarqui la Universidad de Cuenca a través del “Programa para el Manejo de Agua y Suelo” PROMAS, ha implementado una serie de acciones para investigar el funcionamiento hidrológico de la subcuenca de la cual las aguas subterráneas serían un componente importante. En el marco anterior se han llevado a cabo acciones de monitoreo en: lluvia, clima, caudales, niveles piezométricos, temperatura de agua, calidad de agua, etc.

Por su parte también a nivel local el “Gobierno Provincial del Azuay” GPA, ha construido pozos para aprovechamiento de agua en la zona noroccidental de la subcuenca del Tarqui, de los cuales se tienen los registros eléctricos verticales y las pruebas de bombeo respectivas.

No obstante que se notan esfuerzos por conocer o aprovechar el agua subterránea en la subcuenca del río Tarqui, estos se muestran aun insuficientes y



aislados como para determinar claramente la ocurrencia de aguas subterráneas y la cantidad así como la calidad de esta.

1.2. INTRODUCCIÓN

El ciclo hidrológico es el proceso de circulación de agua por la hidrosfera, es por ello que definirlo constituye un factor determinante si se trata de estudiar el agua subterránea.

Un componente fundamental del proceso antes mencionado constituye la infiltración, que inicia luego de transcurrir la precipitación y una vez que la capacidad de intercepción y la detención superficial del suelo han sido satisfechas, ya en el subsuelo el agua circula y se distribuye conforme a las condiciones geológicas y topográficas habiéndose definido por varios parámetros del suelo (Edward E. Johnson Inc., 1975), de los cuales el más representativo es la conductividad hidráulica, que no es otra cosa que la capacidad del agua para moverse a través de un medio permeable, siendo esta característica la mejor forma de definir la permeabilidad ya que cuantifica la capacidad de infiltración del suelo.

La presente tesis aborda la “Caracterización de la Conductividad Hidráulica de los Suelos de la subcuenca del río Tarqui”, parámetro de difícil cuantificación ya que presenta un alto grado de incertidumbre debido a que el comportamiento de los suelos es anisótropo y también su composición heterogénea, lo que conduce a encontrar distintos valores de conductividad para un mismo tipo de suelo, así como también en las teorías empleadas para su evaluación. La teoría más conocida para su tratamiento es la Ley de Darcy ya que describe la trayectoria del agua a través del suelo, así también métodos directos como bombeo de pozos, prospección geofísica y ensayos verticales, etc., resultan de mucha utilidad.

La aplicación de cualquiera de aquellos requiere recursos financieros y datos e información con la cual no se cuenta por lo tanto el manejo de limitada información para un área significativa conduce a suposiciones y simplificaciones lo que implica un problema, sin embargo la necesidad de conocer la conductividad persiste y por tanto se utilizará la información disponible para levantar un mapa de conductividad, teniendo siempre en cuenta las limitaciones existentes.

Para nuestro caso, por las características de la zona de estudio, se usarán métodos indirectos que representen la variabilidad de la conductividad hidráulica, por lo que la descripción y análisis de las características litológicas y la composición del material de las distintas capas geológicas presentes en la subcuenca de estudio a través de información cartográfica y trabajo de campo en las zonas donde es posible observar y obtener muestras de los distintos estratos, se plantean como una buena aproximación.

Entonces, inicialmente se establecería la línea base del trabajo, recopilando, validando y levantando información, posteriormente el procesamiento de datos



conducirá a la interpretación e integración de las variables cuantificadas para proponer el mapa de variabilidad espacial de la conductividad hidráulica de la zona.

1.3. ALCANCE

El presente proyecto de tesis forma parte del estudio de aguas subterráneas en la cuenca del río Tarqui. Esta tesis es una colaboración entre la Universidad de Cuenca - PROMAS y el Gobierno Provincial del Azuay. En este estudio se integrará la información de superficie con la secundaria del subsuelo, para elaborar un mapa de conductividad hidráulica.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. GENERALES

Mejorar el conocimiento de la hidrogeología de los procesos que afectan la respuesta hidrológica en la cuenca, mediante la generación de una base de datos de la cuenca que defina dicha respuesta hidrológica.

1.4.2. ESPECÍFICOS

Validar la información entregada por las diferentes entidades (Gobierno Provincial del Azuay y Programa para el Manejo del Agua y Suelo).

Integrar la información levantada y recopilada de la zona de estudio, mediante un análisis de toda la información.

Caracterizar la conductividad hidráulica a partir de la información recopilada y validación en campo de la misma, buscando la metodología que mejor se ajuste a la información procesada.

Proponer un mapa de conductividad hidráulica a partir de su caracterización.

1.5. HIPOTESIS

Se dispone de información geológica y litográfica de la subcuenca del Río Tarqui, realizando la validación en campo de dicha información y combinando información adicional de perforaciones y estudios adicionales se obtendrá un mapa referencial de la conductividad hidráulica.

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1. CICLO HIDROLOGICO

El ciclo hidrológico, constituye en la repetida circulación de humedad y de agua sobre nuestro planeta, este ciclo no tiene principio ni fin, pero básicamente el concepto del mismo se origina en los océanos, que constituyen las tres cuartas partes de la superficie de la tierra.

Es por causa de la radiación solar que el agua de los océanos llega hasta la atmósfera por evaporación. Como se muestra en la Figura 2. 3, el vapor de agua se eleva, luego se aglomera lo que da lugar a la formación de las nubes, la humedad contenida en las nubes se condensa y se precipita a tierra en forma de lluvia, granizo o nieve, elementos que constituyen las variadas formas de precipitación, la cual fluye por superficie de la tierra llegando hasta los ríos y otra parte se infiltra dentro del suelo. Una parte del agua que ya ha penetrado se queda retenida en la zona radicular de las plantas y se devuelve a la superficie por medio del fenómeno de capilaridad. Existe cierta cantidad que percola el terreno hasta llegar a un depósito subterráneo (Johnson, 1975).

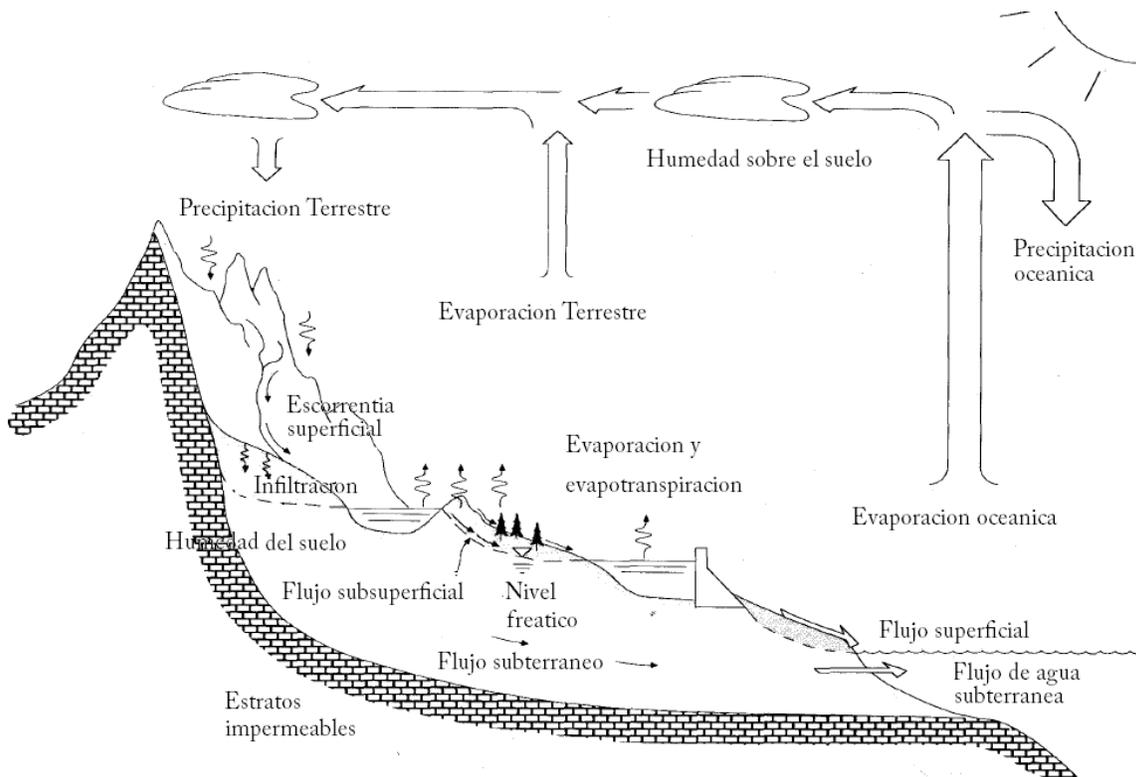


Figura 2. 3. Componentes del Ciclo Hidrológico (Keith D., 2004)

A pesar de que el concepto de ciclo hidrológico es simple, el fenómeno es enormemente complejo e intrincado. Este no es solamente un ciclo grande, sino que está compuesto de muchos ciclos interrelacionados de extensión continental, regional y local. Aunque el volumen total de agua en el ciclo hidrológico global permanece esencialmente constante, la distribución de esta agua está cambiando continuamente en continentes, regiones y cuencas locales de drenaje.

La hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima tales como la topografía, la geología, y la vegetación. También, a medida que la civilización progresa, las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos. (Chow, 1994).

2.2. INFILTRACION Y FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie hasta el suelo y se la denomina subsuperficial. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie, la cubierta vegetal, las propiedades físicas de los medios tales como porosidad, conductividad hidráulica, contenido de humedad.

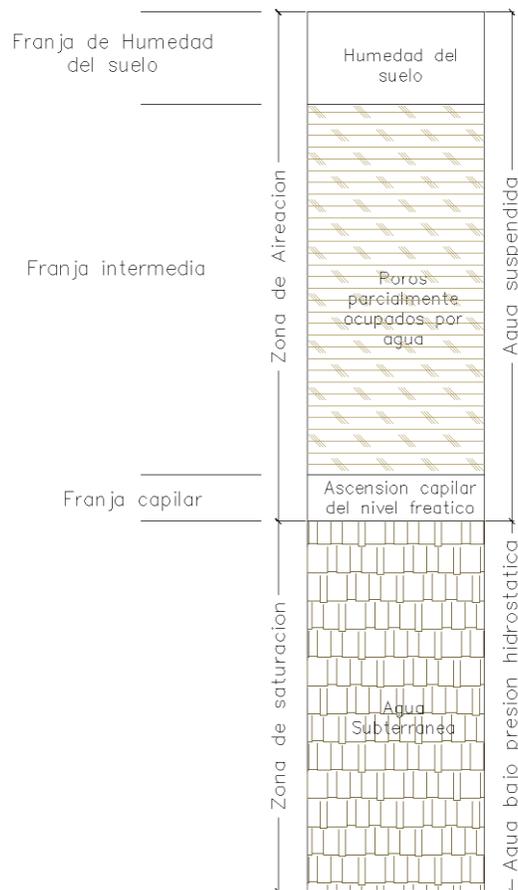




Figura 2. 4 Distribución vertical del agua dentro de las formaciones

Tres son los hechos que tienen relación con esta agua:

Primero.- que puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmosfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico descrito anteriormente;

Segundo.- que puede ser absorbida por la raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo en la atmosfera a través del proceso de transpiración.

Tercero.- que la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la acción de la gravedad hasta que alcance el nivel de saturación, constituyendo un depósito de agua subterránea.

Para comprender la manifestación del agua subterránea se debe conocer la distribución vertical del agua dentro de las formaciones, definiéndose así 2 zonas, la parcialmente saturada "Aireación" o de presiones intersticiales negativas y la zona de saturación con presiones intersticiales positivas (figura 2.2.). El origen de las presiones intersticiales radica en la presencia de agua en los poros o intersticios del suelo conocida también como presión de agua de poros que se entiende como la resistencia ejercida por la fase intersticial del suelo al aplicarse una carga en superficie (William Lambe, 1995).

La zona de aireación en la que las aberturas se encuentran parcialmente llenas de agua no tiene límites definidos ya que el espesor de la franja intermedia varía mucho, lo que tiene un efecto muy significativo en el tiempo que le toma al agua pasar para recargar la zona de saturación. El espesor de la franja capilar depende directamente de tamaño de los granos del material. (Johnson, 1975).

Siendo así la distribución del agua debajo de la superficie se pueden identificar dos tipos de flujo del agua en medios porosos, los que se dan en suelos totalmente saturados y los parcialmente saturados definidos por la Ley de Darcy fundamental para evaluar el movimiento de agua en el suelo.

2.2.1. LEY DE DARCY

La ley física que describe el movimiento del agua a través de suelos fue propuesta por Darcy en 1856. Darcy encontró que la velocidad del agua que fluye en un medio poroso es directamente proporcional al gradiente hidráulico causado por el flujo.

2.2.1.1. DESARROLLO MATEMÁTICO DE LA LEY DE DARCY

La ecuación de flujo de agua subterránea se deriva de la aplicación de las leyes de la mecánica de medios continuos para flujo de agua subterránea a través del volumen elemental representativo. La primera ley aplicada es la ecuación de

continuidad (conservación de la masa), que establece que la convergencia de flujo es igual al cambio en el almacenamiento de las aguas subterráneas en el medio poroso. La segunda ley es la segunda ley de Newton del movimiento que expresa el equilibrio de todas las fuerzas que actúa sobre el fluido en movimiento (conservación del momento). Entonces la ley de Darcy queda expresada de la siguiente manera (figura 2.3):

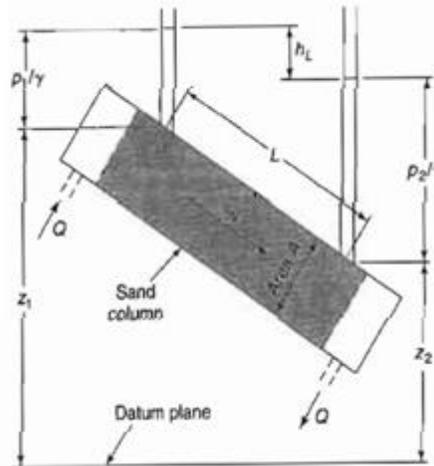


Figura 2. 3. Representación de la formulación de la ley de Darcy (Keith D., 2004)

$$q_x = -k \frac{\partial h}{\partial x} \quad \text{E. 1}$$

donde, q_x es la descarga específica, dh es la diferencia de presiones, la expresión dh/dx corresponde al mayor gradiente en la dirección de x y K es la constante de proporcionalidad, que es la conductividad hidráulica, expresada como la capacidad de transmitir el flujo en el medio. (Smedt, 2008).

En términos de velocidad sabemos que en cualquier conducto la velocidad viene definida por su geometría y su caudal, entonces si aplicamos esta consideración en el planteamiento de esta ley “Permeámetro de Darcy” obtendremos una velocidad falsa “Velocidad lineal” que circula por toda la sección del medio poroso, y para llevarla a términos de velocidad real “Velocidad de Darcy”, incluimos otro factor que es la tortuosidad del medio poroso, obteniendo así la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad de Darcy} = \text{Velocidad lineal} * \text{Coeficiente} \quad \text{E. 2}$$

donde, el coeficiente esta dado en función del parámetro tortuosidad que se lo define como una longitud real del recorrido del agua dentro del medio, que resulta ser mayor debido a la porosidad del medio. (Roman, 2009)



2.2.1.2. LIMITACIONES DE LA LEY DE DARCY

La Ley de Darcy puede no cumplirse por las siguientes razones:

- ✓ La constante de proporcionalidad “ K ” no es propia y característica del medio poroso, sino que también depende del fluido, entonces el factor K puede descomponerse así:

$$K = k \frac{\gamma}{\mu} \quad \text{E. 3}$$

donde, K es la conductividad hidráulica, k es la permeabilidad intrínseca, γ es el peso específico del fluido y μ es la viscosidad dinámicas del fluido.

Esta cuestión es fundamental, donde se estudian fluidos de diferentes características. En el caso del agua, la salinidad apenas hace variar el peso específico o la viscosidad. Solamente habría que considerar la variación de la viscosidad con la temperatura, que se duplica, con lo que se la permeabilidad de Darcy (K) sería la mitad y también se reduciría en la misma proporción el caudal circulante por la sección considerada del medio poroso. Las aguas subterráneas presentan mínimas diferencias de temperatura a lo largo del año en un mismo acuífero, pero en otros entornos sí pueden producirse diferencias de temperatura notables. (J. Tindall, 1999)

Por tanto, aunque sabemos que K depende tanto del medio como del propio fluido, como la parte que depende del fluido normalmente es despreciable, para las aguas subterráneas a efectos prácticos asumimos que la K de Darcy, o conductividad hidráulica es una característica del medio poroso.

- ✓ En algunas circunstancias, la relación entre el caudal y el gradiente hidráulico no es lineal. Esto puede suceder cuando el valor de K es muy bajo o cuando las velocidades del flujo son muy altas.

En el primer caso, si aplicamos la Ley de Darcy para calcular el flujo a través de una formación arcillosa, el caudal que obtendríamos sería bajísimo, pero en la realidad, si no se aplican un gradiente elevado, el agua no llega a circular y el caudal es 0.

En el segundo caso, si el agua circula a gran velocidad, el caudal es directamente proporcional a la sección y al gradiente, pero no linealmente proporcional, sino que la ecuación fundamental de Darcy sería potencial:

$$q = -K \left(\frac{dh}{dl} \right)^n \quad \text{E. 4}$$

Donde el exponente n es distinto de 1, K es la constante de proporcionalidad, dh/dl es el gradiente del flujo en la dirección de l y q es la carga específica.



Para estudiar este límite de validez de la ley de Darcy se aplica el número de Reynolds “R”. Este coeficiente se creó para canales abiertos o tuberías, y en general valores altos indican régimen turbulento y valores bajos indican régimen laminar. Para medios porosos se aplica la fórmula utilizada para canales o tubos, sustituyendo el diámetro de la conducción por el diámetro medio del medio poroso y considerando la velocidad de Darcy, teniendo en cuenta que el rango de validez corresponde a que si $R < 1$, sí se cumple Darcy; $R > 10$, no se cumple Darcy; R entre 1 y 10, puede cumplirse o no. (Keith D., 2004)

$$Nr = \frac{\rho v D}{\mu} \quad \text{E. 5}$$

Donde, Nr es el número de Reynolds, ρ es la densidad del fluido, μ es la viscosidad dinámica, D es el diámetro efectivo d_{10} y v es la velocidad de Darcy.

2.2.1.3. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La Conductividad Hidráulica es una propiedad de los medios porosos que depende de la permeabilidad intrínseca, de la porosidad del medio y del grado de saturación que este tenga. Para evitar confusiones entre la Permeabilidad Intrínseca y la Conductividad Hidráulica, definiremos la Permeabilidad Intrínseca a continuación.

La permeabilidad intrínseca define la capacidad de un medio de transmitir un fluido y esta propiedad está únicamente en función del medio por lo que es independiente de las propiedades del fluido. Y para evitar confusiones con la Conductividad Hidráulica, la cual incluye las propiedades del fluido (agua subterránea) se la expresa de la siguiente manera.

$$k = \frac{K\mu}{\rho g} \quad \text{E. 6}$$

Donde K es la conductividad hidráulica, μ es la viscosidad dinámica, ρ es la densidad del fluido, g la aceleración de la gravedad y esta variable tiene unidades de $[M^2]$.

Para trabajos prácticos en Hidrogeología, donde el agua es el fluido predominante, la Conductividad Hidráulica es la propiedad ocupada. Por lo tanto se puede decir que un medio tiene una unidad de conductividad hidráulica si este puede transmitir en una unidad de tiempo una unidad de volumen de agua subterránea a una viscosidad predominante a través de una sección transversal unitaria, medida en ángulo recto a la dirección del flujo, bajo una unidad de gradiente hidráulica. La Conductividad hidráulica está definida en las siguientes unidades $[M.L^{-1}]$ y se la formula mediante la siguiente expresión.

$$K = -v / \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad \text{E. 7}$$

Donde v corresponde a la velocidad de Darcy y dh/dl es el gradiente hidráulico definido por la diferencia de presiones en un tramo determinado. (Keith D., 2004)



En un suelo el agua que ocupa los espacios vacíos generalmente se encuentra distribuida en una serie de zonas verticales de humedad las cuales nos llevan a dar un diferente tratamiento a la variable conductividad hidráulica, definiéndose así 2 tipos:

Conductividad hidráulica en suelos totalmente saturados

El movimiento del agua en el suelo se controla por dos factores: la resistencia de la matriz del suelo para fluir agua, y las fuerzas que actúan en cada elemento o unidad de agua del suelo. La ley de Darcy, la ecuación fundamental que describe el movimiento de agua en el suelo, relaciona la proporción de flujo con estos dos factores. El flujo saturado ocurre cuando la presión del agua de poros es positiva; es decir, cuando el potencial matricial del suelo es el cero. En la mayoría de suelos esta situación tiene lugar cuando aproximadamente el 95% del espacio del poro total está lleno con agua. El restante 5% está lleno con el aire atrapado. (Donado L. , 2004)

Conductividad hidráulica en suelos parcialmente saturados

Esta Conductividad hidráulica ocurre sobre el nivel freático, donde los poros se encuentran parcialmente llenos de agua por lo que su contenido de agua es inferior a la porosidad y la presión del fluido es menor a la atmosférica. Entonces se puede decir que la ley de Darcy es válida para flujo de agua en medios parcialmente saturados, siempre y cuando se tenga en cuenta la dependencia de la conductividad hidráulica con el contenido de humedad.

Para la formulación de la conductividad hidráulica nos enfocaremos dentro de una área de control en la cual por la ley de conservación de masas se establecerá que el flujo neto del fluido en un volumen de control es igual a la tasa de cambio de masa dentro del volumen de control, donde la masa del fluido almacenada está definida por la humedad del suelo, su densidad y sus características geométricas, obtenido la ecuación 8 que denota el flujo másico en función de las variables de interés para llegar a la ecuación 9 en la que de acuerdo a algunos autores (J. Freeze, 1993), se define como la ecuación diferencial de la expresión de Darcy.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{d(\theta, \rho, \Delta x, \Delta y, \Delta z)}{dt} \quad \text{E. 8}$$

$$\frac{d(K(\theta) \frac{dh}{dx})}{dx} + \frac{d(K(\theta) \frac{dh}{dy})}{dy} + \frac{d(K(\theta) \frac{dh}{dz})}{dz} = \frac{d\theta}{dt} \quad \text{E. 9}$$

Donde θ es la humedad, ρ es la densidad del fluido y Δx , Δy , Δz definen la geometría del volumen de control y dh/dx , dh/dy , dh/dz son las respectivas gradientes en cada dirección del volumen de control.

Científicos como *Childs* y *Collis – George* encontraron experimentalmente también que el valor de K es función de la humedad volumétrica del suelo, " θ ". La validez de esta teoría radica en la suposición de que el arrastre de fluido en la interfase aire – agua es despreciable.



El comportamiento general de la función $K(\theta)$ está bien establecido, gracias a investigaciones de *Richards, Moore, Childs* y *Collis*- entre otros investigadores en el área de la hidráulica de suelos y extracción de petróleo. Se ha encontrado que K decrece muy rápidamente a medida que el contenido de humedad disminuye respecto al valor de saturación. Algunas de las razones para este comportamiento son las siguientes:

- ✓ La sección transversal disponible para el flujo decrece con θ .
- ✓ Los poros de mayor tamaño son los primeros que se desocupan al disminuir la humedad. El cambio de la conductividad hidráulica de un medio poroso es directamente proporcional al cuadrado del radio de los poros, mientras que la humedad es proporcional a la primera potencia de dicho radio, por lo que se puede esperar que K decrezca mucho más rápidamente que θ .
- ✓ A medida que θ decrece, se incrementa la posibilidad de que parte del agua quede atrapada en poros y cuñas aisladas de la red tridimensional general de agua. Una vez la continuidad ha sido rota, no puede haber flujo en fase líquida.

2.2.1.4. ACUÍFERO

Se denominan acuíferos aquellas formaciones o estratos comprendidos dentro de la zona de saturación (figura 2.2), de los cuales se puede obtener agua con fines utilitarios. Es una unidad geológica saturada, capaz de suministrar agua a pozos y manantiales (Edward E. Johnson Inc., 1975). Por otra parte de acuerdo al tipo de material en el que se situó el acuífero este puede ser un acuitardo en el que el agua contenida se transmite lentamente y en sentido vertical y un acuífero heterogéneo en el que la propiedad varía de acuerdo con la posición del acuífero.

Acuíferos anisotrópicos

La discusión de la conductividad hidráulica hasta este punto supone que el material geológico fue homogéneo e isótropo, lo que implica que el valor de conductividad hidráulica es la misma en todas las direcciones. Sin embargo, esto no suele ser el caso, en particular para materiales aluviales inalterados no consolidados.

En cambio, la anisotropía es la regla de que las propiedades direccionales de la conductividad hidráulica existen. En aluviales esto es resultado de dos condiciones. Uno es que las partículas individuales son raramente esféricas de modo que cuando se deposita bajo el agua tienden a descansar con su lado plano hacia abajo. La segunda es que los aluviales típicamente consisten en capas de diferentes materiales, cada uno con un único valor de conductividad hidráulica. Si las capas son horizontales, cualquier capa con una conductividad hidráulica relativamente baja hace que el flujo vertical pueda ser retardado, pero el flujo horizontal puede ocurrir fácilmente a través cualquier estrato con una conductividad hidráulica relativamente alta. Por lo tanto, el problema típico de campo en depósitos aluviales es encontrar una conductividad hidráulica , en la



dirección horizontal que sea mayor que un valor de conductividad hidráulica, en una dirección vertical.

Como se mencionó anteriormente, la conductividad hidráulica horizontal en aluviales es normalmente mayor que en la dirección vertical. Esta observación también se desprende de las derivaciones anteriores; por lo tanto (Keith D., 2004):

$$K_x > K_z \quad \text{E. 10}$$

Transmisividad

La capacidad transmisora de agua de todo el espesor del acuífero o coeficiente de transmisividad, se define como la razón de flujo en metros cúbicos por día a través de una sección transversal vertical de acuífero, cuya altura es igual a su espesor y cuyo ancho es de un metro. Cuando el coeficiente T de transmisividad se introduce en la ecuación de Darcy, el flujo a través de cualquier sección transversal vertical de acuífero viene expresado por

$$Q = T * I * W \quad \text{E. 11}$$

donde T es el coeficiente de transmisividad, I el gradiente hidráulico y W el ancho de la sección vertical a través de la cual tiene lugar el flujo (Edward E. Johnson Inc., 1975).

2.3. TECNICAS PARA EVALUAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA

La conductividad hidráulica es un parámetro importante tanto para la modelación del flujo de agua subterránea como para definir la infiltración del agua superficial a través del suelo.

Existen diversos métodos para la estimación de la conductividad hidráulica en suelos a partir de su medición in situ y en laboratorio, siendo recomendados aquellos directos por la factibilidad de obtener datos más precisos, sin embargo hay que considerar que existe variabilidad de los resultados, dificultad en la realización de las pruebas y cuanto más heterogéneo es un sitio mayor cantidad de muestras serán necesarias, evidentemente dependiendo del grado de precisión requerido. Estimar la conductividad hidráulica de los suelos a partir de otros parámetros conocidos cuya obtención sea más sencilla puede conducir a una mayor inseguridad en los resultados la incertidumbre de los modelos de estimación tiene su origen en la ignorancia de la geometría detallada de las interfaces fluido-sólido. (Donado L., 2004)

En el caso de la valoración de la conductividad hidráulica en superficie se han empleado métodos como el infiltrómetro de tensión siendo el más adecuado puesto que no depende del área superficial de ensayo (C. Coello, 2010). En cuanto a la determinación de la conductividad hidráulica subsuperficial y subterránea las técnicas de evaluación consiste en perforaciones en campo como



sondeos y pozos. A partir de ello mediante una serie de estudios y análisis se han obtenido una serie de valores experimentales, así como tablas, ábacos ecuaciones y gráficas para la determinación de la conductividad hidráulica.

A continuación en la Tabla 2.1 (Youngs, 2001) se presenta un resumen de los métodos que pueden ser usados en la determinación de la conductividad hidráulica de los suelos.

RESUMEN DE LOS METODOS DE MEDICION DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA			
CLASE DE METODO	METODO	EQUIPO	COMENTARIO
Metodo de laboratorio en suelos saturados	1. Permeámetro de carga constante	ES	Se usan pequenos nucleos y columnas de suelo
	2. Permeámetro de carga variable	ES	Se usan pequenos nucleos y columnas de suelo
	3. Permeámetro oscilante	AE	Se usan pequenos nucleos y columnas de suelo. Solo es necesario agregar una pequena cantidad de agua
Metodo de laboratorio en suelos parcialmente saturados	1. Metodo de infiltracion	ES	Se usan columnas lasgas de suelo uniforme
	2. Permeámetro de momento variable	AE	Se usan columnas lasgas de suelo uniforme
Metodos de campo con nivel freatico	1. Hoyo con barrena	ES	Muestras de suelo bajo el nivel freatico
	2. Piezometrico	ES	Muestras de suelo en la vecindad de la base abierta
	3. Dos pozos	ES	Muestras de suelo entre las dos perforaciones
	4. Bombeo de pozos	EPP	Usadas en pruebas de acuíferos a profundidad
	5. Drenaje de tierra	ES	Muestras de suelo entre las lineas de drenaje
Metodo de campo sin nivel freatico	1. Permeámetro de hoyo perforado	ES	Muestras de suelo en la vecindad de la superficie humeda
	2. Inverso del hoyo con barrena	ES	Muestras de suelo en la vecindad de la superficie humeda
	3. Permeámetro con entrada de aire	AE	Muestras de suelo dentro del tubo aislado
	4. Infiltrómetro de disco	ES	Muestras de suelo cercanas a la superficie
	5. Goteo	ES	Muestras de suelo cercanas a la superficie
	6. Sorptividad	AE	Muestras de pequeno volumen (tambien puede clasificarse como un metodo de laboratorio con suelos parcialmente saturados)
	7. Infiltrómetro de presión	AE	Usado en muestras de baja permeabilidad (tambien puede clasificarse como un metodo de campo con nivel freatico)
	8. Infiltrómetro de doble anillo	ES	Muestras de suelo cercanas a la superficie

ES: Equipo simple, encontrado en los laboratorios de suelos ofacilmente fabricable. Los metodos de campo usualmente requieren perforacion.

AE: Aparato especial, requiere taller para facilitar su ensamble

EPP: Equipo de perforacion de pozos.

Tabla 2. 2 Métodos de medición de la conductividad hidráulica (Donado L., 2004)

2.3.1. METODOS DE CAMPO

2.3.1.1. BOMBEO DE POZOS

Los ensayos de bombeo son, sin lugar a dudas el método más extendido, de más fácil aplicación y mayor garantía en sus resultados que se usa tradicionalmente con el objeto de conocer las características hidráulicas del pozo, lo cual podría asumirse como características del entorno o de otros sitios bajo ciertas condiciones, por ejemplo asumir valor similares de conductividad para el entorno inmediato si el medio puede considerarse homogéneo u otros sitios con similar geología y clima.

La metodología de los ensayos puede ser muy compleja y se deben tomar en cuenta ciertos conceptos y criterios básicos para emplear de manera correcta las teorías concernientes a la hidráulica de pozos. Un esquema representativo del bombeo de un pozo con sus partes constituyentes se presenta en la figura 2.4.



Conceptos Básicos

Nivel estático del agua: se expresa como la distancia que existe entre el nivel del terreno o algún punto de referencia cercano a la superficie del terreno y el nivel del agua en el pozo.

Nivel de bombeo: conocido como nivel dinámico, debido a que es el nivel al que se encuentra el agua mientras se bombea el pozo.

Abatimiento: el descenso del nivel del agua debido al bombeo, es decir es la diferencia que existe entre el nivel estático y el nivel dinámico del agua.

Abatimiento residual: es el nivel del agua al intentar recuperar su nivel inicial, luego de cesar el bombeo.

Rendimiento del pozo: es la descarga del pozo, sea esta por bombeo o flujo natural y se expresa en volumen de agua por unidad de tiempo.

Capacidad específica: es la relación que existe entre la descarga del pozo por unidad de abatimiento, puede determinar el grado de eficiencia del pozo.

Condiciones necesarias para la aplicación de la hidráulica de pozos:

- ✓ El pozo debe ser totalmente penetrante en el acuífero;
- ✓ Se asume al acuífero como horizontal de extensión infinita;
- ✓ Medio homogéneo e isotrópico;
- ✓ Flujo radial.

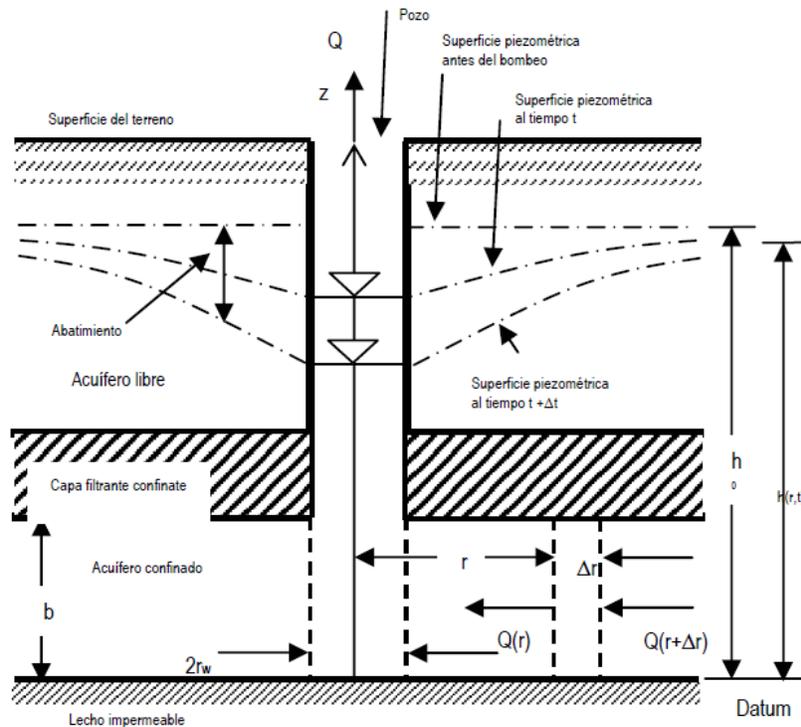


Figura 2.4. Representación del bombeo de un pozo en un acuífero confinado (Donado L.)

Prueba gasto variable

El caudal crítico estará por encima de aquel que produce una notoria disminución en el rendimiento del pozo, o sea un marcado descenso en el caudal específico. Por lo tanto, el caudal de operación de un pozo de explotación debe programarse de manera que sea menor que el *caudal crítico*.

La brusca disminución en el rendimiento, generalmente deriva de un incremento tal en la velocidad de entrada del agua, a través de las rejillas, que modifica el flujo de transicional a turbulento. Para establecer la magnitud del caudal crítico (Q_c), lo más conveniente es efectuar un ensayo a caudal variable, con mediciones de nivel hidráulico en el mismo pozo de bombeo.

Este ensayo, cuando se incrementa el caudal en cada fase sin detener el bombeo, se denomina escalonado. Es conveniente programar el ensayo escalonado para 5 fases o escalones de diferentes caudales, aunque de no ser posible puede desarrollarse sólo para 3.

Es conveniente iniciar el ensayo a un caudal equivalente a la mitad o menos del programado o de operación para el funcionamiento definitivo. La primera fase puede desarrollarse a la mitad del caudal programado, luego alcanzar una cierta estabilidad del nivel dinámico, se incrementa el caudal a 0,75 del de operación y se efectúan las mediciones de nivel como si el ensayo recién se iniciara (segunda fase). En la tercera fase se gradúa la descarga para que sea similar a la definitiva



y se procede de la misma manera con las mediciones. En la cuarta fase se supera el caudal de operación en un 50%. Previo al cambio de caudal, para pasar de una fase a otra, es necesario verificar una tendencia al equilibrio en el nivel dinámico, que puede asumirse cuando entre mediciones sucesivas realizadas cada 30 minutos, el descenso del nivel hidráulico no supera el 0,5% del producido durante la fase considerada (H.H. Cooper, 1946).

Prueba gasto constante

A partir de esta prueba se puede determinar parámetros como transmisibilidad (T), coeficiente de almacenamiento (S) y porosidad (n) que definen la capacidad de los acuíferos para almacenar y transmitir agua. El conocimiento del valor de estos parámetros es fundamental para realizar cálculos que son básicos en hidrogeología: filtraciones entre acuíferos o desde la superficie del terreno, comunicación del pozo con otras captaciones próximas, caudales óptimos de bombeo, tiempos de tránsito de contaminantes, existencia de bordes impermeables y zonas de recarga, etc.

En este ensayo los niveles en el pozo van variando durante toda la prueba, lo que significa que el agua extraída procede total o parcialmente del almacenamiento del acuífero. Estos ensayos suelen ser a caudal constante (la variable de control es el nivel). Se interpreta la evolución de los niveles durante el ensayo en el propio pozo (H.H. Cooper, 1946).

Formulas De Régimen Variable

A partir de la función de pozo de Theis ecuación 12, se plantea una ecuación tomando en cuenta ciertas consideraciones. (Sagre, 1994)

$$W(u) = -0.5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} + \frac{u^4}{4.4!} + \dots$$

$$W(u) = -0.5772 - \ln(u) - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{u^n}{n.n!} \quad \text{E. 12}$$

Siendo $W(u)$ la función de pozo que puede desarrollarse en serie y u la variable auxiliar (ecuación 14).

Jacob llegó a la conclusión de que cuando el valor de “u” es suficientemente pequeño (menor que 0.03), podían despreciarse todos los términos del desarrollo frente a los dos primeros, quedando:

$$W(u) = -0.5772 - \ln(u) \quad \text{E. 13}$$

En rigor, a efectos prácticos, suele usarse la simplificación de Jacob, cuando u es menor de 0.1. Esta aproximación es suficiente para casi la totalidad de los casos. Admitida la simplificación de la función $W(u)$, la fórmula de Theis quedará reducida a la ecuación 15 en un rango mínimo de error, en este desarrollo u se sustituye por su valor mostrado en la ecuación 14 (Vallejo, 2002).



$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad \text{E. 14}$$

$$s = \frac{0.183 Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \quad \text{E. 15}$$

Donde, s = abatimiento (m), Q = caudal de bombeo (m³/hora), T = coeficiente de transmisividad (m³/hora por metro), r = distancia desde el centro del pozo de bombeo al punto en que se mide el abatimiento (m), t = tiempo transcurrido desde que se inicia el bombeo (m), S = coeficiente de almacenamiento del acuífero.

El valor de “ u ” se vuelve menor conforme aumenta t y disminuye r . La fórmula es válida para valores de t suficientemente grandes y valores de r muy pequeños. En el caso particular de un caudal constante de bombeo los valores de Q, T y S son fijos; en estas condiciones, la ecuación 15 nos muestra que el abatimiento s varía directamente con el $\log t/r^2$, siempre que u sea menor que 0.1.

Una sencilla transformación de la ecuación 15 permite un cálculo directo de la transmisividad mediante el uso del diagrama semilogarítmico. Los puntos correspondientes a los 10 primeros minutos de bombeo, no caen sobre la recta de mejor ajuste, porque durante este periodo el valor de u es mayor que 0.1, y la fórmula modificada, no se puede utilizar en esta región (Johnson, 1975).

El método de trabajo para interpretar conjuntamente todos los valores tomados en el ensayo consiste en lo siguiente:

En la expresión 15 de Jacob, se hace:

$$t_0 = \frac{r^2}{2.25T} \quad \text{E. 6}$$

Se obtiene:

$$s = 0.183 \frac{Q}{T} \log \frac{t}{t_0} \quad \text{E. 17}$$

Expresión en la que si se toma d como función y $\log t$ como variable, es una recta de la forma:

$$y = mx + b \quad \text{E. 18}$$

en la que: $y = s$; $x = \log t$; $m = 0.183Q/T$

Para introducir valores de t en lugar de $\log t$ se hace uso de una escala semilogarítmico, quedando representada la recta de Jacob como se expresa en la figura 2.5.

Consecuentemente, para operar con este método se tiene que dibujar la curva de campo, con los pares de valores descenso (s)-tiempo (t) que se han obtenido a lo largo de la prueba, en un gráfico semilogarítmico, situando en ordenadas el descenso desde el principio en metros y en abscisas (escala logarítmica) los

tiempos desde iniciada la prueba en minutos. Después debe ajustarse una recta a los puntos obtenidos, como se muestra en el gráfico 2.5 (Vallejo, 2002).

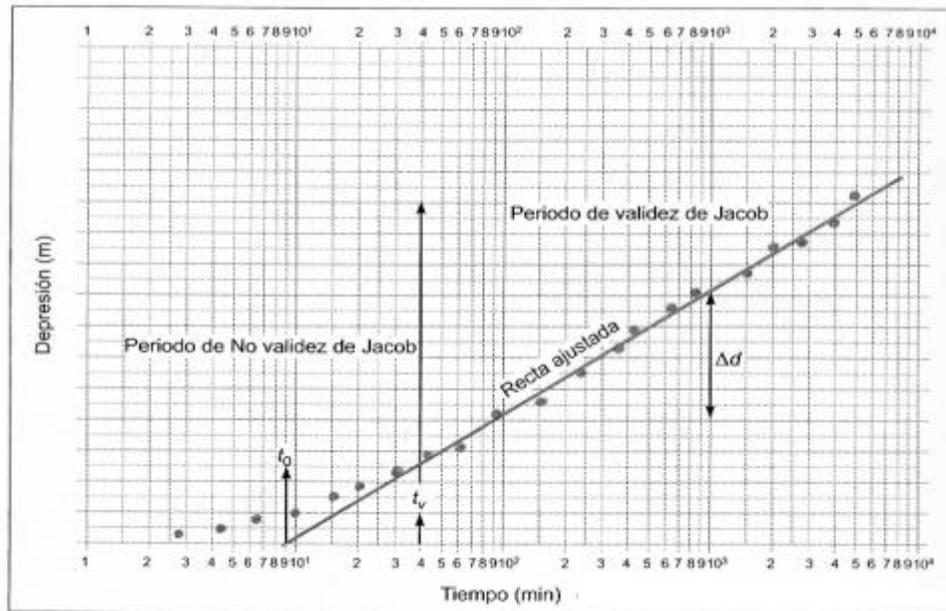


Figura 2.5 Recta de depresión de un pozo (Vallejo, 2002)

El coeficiente de transmisividad se calcula a partir del caudal de bombeo y de la pendiente de la recta de tiempo-abatimiento, utilizando para ello la pendiente de la recta de Jacob, quedando de la manera:

$$T = \frac{2.3 Q}{4\pi \Delta s} \quad \text{E. 719}$$

Donde, T = coeficiente de transmisibilidad (m³/hora por metro), Q = descarga del pozo de bombeo (m³/hora), Δs = pendiente de la recta (m)

A partir de esta expresión ecuación 20 se puede deducir la conductividad hidráulica saturada, utilizando la ley de Darcy, en la que el coeficiente se transmisividad queda definido como:

$$T = K * b \quad \text{E. 20}$$

Donde, K = conductividad hidráulica saturada (m/día), b = espesor del acuífero (m)

2.3.1.2. PRUEBAS SLUG TEST

Se pretende evaluar la posibilidad de utilizar el “Método Hvorslev” (Hvorslev, 1951), como modelo para encontrar la conductividad hidráulica saturada (K) del estrato de interés.

Se intenta usar las pruebas Slug Test, principalmente por el motivo económico. De las diferentes pruebas para obtener la conductividad hidráulica saturada de un estrato, la prueba de Slug Test es la más económica.

Otro motivo para la utilización de esta prueba, tiene que ver con la facilidad de llevar los equipos necesarios a los sitios de muestreo. (PROMAS, 2008)

La formulación expuesta por Hvorslev se presenta en la ecuación 21.

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e/R)}{2L_e t_{37}} \quad \text{E. 821}$$

donde: K = conductividad hidráulica saturada (m/día), r = radio del pozo (m), R = radio hasta el filtro (m), Le = longitud del filtro (m), t₃₇ = tiempo que tarda el agua en subir o bajar hasta el 37% de la carga inicial (m). Las variables se pueden observar en la figura 2.6.

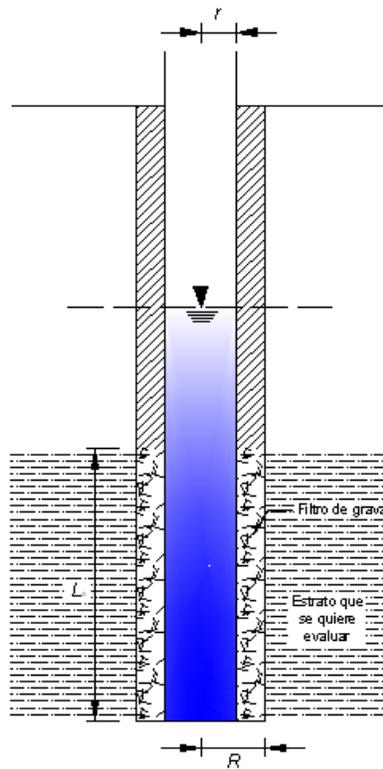


Figura 2.6. Geometría del piezómetro para el método de Hvorslev. (PROMAS, 2008)

2.3.2. METODOS ESTIMATIVOS EMPLEADOS EN EL TRABAJO

2.3.2.1. ANALISIS LITOLOGICO Y TEXTURAL (métodos indirectos)

La conductividad hidráulica de los suelos no es un valor constante debido a que en ella influyen muchos factores, por lo que no puede llegarse a determinar un valor



exacto de ésta; pero sí un valor estimado que refleje las condiciones del movimiento del agua en el suelo por lo que se trata de proponer métodos de estimación de esta variable, tal es el caso de Cendret quien encontró que existe una relación muy definida entre la K y el análisis textural de muestras de suelo, siguiendo una ley matemática que se cumple sólo hasta ciertos límites, y la cual se recomienda trabajar en función del porcentaje de arena o de limo + arcilla, para los cuales existe una correspondencia de los resultados, no así para el limo y la arcilla tomados separadamente.

Un método más descriptivo fue el planteado por la U.S. Soil Conservation Service quienes en los relevamientos de suelos en campaña, describen los horizontes, realizando una estimación cualitativa de la conductividad hidráulica. Su propuesta consiste en una escala de siete clases de conductividad hidráulica, basados en la siguiente observación visual: 1) textura y condiciones de perfil; 2) comportamiento físico (rajaduras, expansión, contracción, etc.); 3) estructura (tipo, estabilidad de los agregados, relación entre el eje horizontal y vertical de los agregados, porosidad y rajaduras); 4) moteado y color. Las clases de permeabilidad propuestas, tienen los intervalos que se detallan en la Tabla 2.2, convertidos al sistema métrico decimal y redondeadas las cifras. (Service, E.U.A. Soil Conservation).

CLASE	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	
	cm/h	m/día
Muy lenta	0.1	0.03
Lenta	0.1-0.5	0.03-0.12
Moderadamente lenta	0.5-2	0.12-0.50
Moderada	2.0-6.0	0.50-1.50
Moderadamente rápida	6.0-12.0	1.50-3.00
Rápida	12.0-18.0	3.00-4.50
Muy rápida	>18.0	>4.50

Tabla 2. 2. Rangos de Conductividad Hidráulica propuesta (Service, E.U.A. Soil Conservation).

Textura

Se refiere al arreglo y disposición que existe entre los granos o minerales individuales, con respecto a su tamaño, forma y grado de cristalización. La textura es una propiedad compleja que depende principalmente del origen del material y las características de los granos. Es importante su determinación ya que se relaciona íntimamente con propiedades índice y mecánicas como la porosidad, permeabilidad y resistencia del material (Ruiz, 2000).



Textura Arenosa: es no cohesiva y forma sólo gránulos simples. Las partículas individuales pueden ser vistas y sentidas al tacto fácilmente. Al apretarse en la mano en estado seco se soltará con facilidad una vez que cese la presión. Al apretarse en estado húmedo formará un molde que se desmenuzará al palparlo.

Textura Franco arenosa: es un suelo que posee bastante arena pero que cuenta también con limo y arcilla, lo cual le otorga algo más de coherencia entre partículas. Los granos de arena pueden ser vistos a ojo descubierto y sentidos al tacto con facilidad. Al apretarlo en estado seco formará un molde que fácilmente caerá en pedazos, pero al apretarlo en estado húmedo el modo formado persistirá si se manipula cuidadosamente.

Textura Franca: es un suelo que tiene una mezcla relativamente uniforme, en términos cualitativos, de los tres separados texturales. Es blando o friable dando una sensación de aspereza, además es bastante suave y ligeramente plástico. Al apretarlo en estado seco el molde mantendrá su integridad si se manipula cuidadosamente, mientras que en estado húmedo el molde puede ser manejado libremente y no se destrozará.

Textura Franco limosa: es un suelo que posee una cantidad moderada de partículas finas de arena, sólo una cantidad reducida de arcilla y más de la mitad de las partículas pertenecen al tamaño denominado limo. Al estado seco tienen apariencia aterronada, pero los terrones pueden destruirse fácilmente. Al moler el material se siente cierta suavidad y a la vista se aprecia polvoriento. Ya sea seco o húmedo los moldes formados persistirán al manipularlos libremente, pero al apretarlo entre el pulgar y el resto de los dedos no formarán una “cinta” continua.

Textura Franco arcillosa: es un suelo de textura fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos. El suelo en estado húmedo al oprimirse entre el pulgar y el resto de los dedos formará una cinta que se quebrará fácilmente al sostener su propio peso. El suelo húmedo es plástico y formará un molde que soportará bastante al manipuleo. Cuando se amasa en la mano no se destruye fácilmente sino que tiende a formar una masa compacta.

Textura Arcillosa: constituye un suelo de textura fina que usualmente forma terrones duros al estado seco y es muy plástico como también pegajoso al mojarse. Cuando el suelo húmedo es oprimido entre el pulgar y los dedos restantes se forma una cinta larga y flexible.

Textura Afanítica: cuando los minerales no pueden determinarse u observarse a simple vista o con ayuda de lente de mano.

Textura Porfírica: se observan a simple vista fenocristales, en una matriz afanítica.

Textura Clástica: agregados de granos o minerales de carácter fragmentario claramente visible. Los agregados tienen una amplia gama de tamaños de partículas (Ruiz, 2000).

Porosidad

Es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de una roca o suelo. Es un parámetro adimensional y depende únicamente de la constitución de la roca o suelo, es decir, de su textura característica, sin que intervenga la forma geométrica ni la potencia de la formación o su mecanismo de funcionamiento hidráulico en la naturaleza (Vallejo, 2002).

Porosidad total: depende únicamente de la textura del material, está referida al volumen total de poros, independientemente de que el fluido tenga o no la capacidad de circular entre ellos.

Porosidad eficaz: se denomina también porosidad cinemática, referida al volumen de poros conectados por los que el transporte de fluido es posible, y queda ligada no solo a la textura del suelo, sino también a las características del fluido (Vallejo, 2002).

La forma y característica de los poros influyen en la conductividad hidráulica debido a que el agua en el suelo es conducida y contenida por los poros de éste (William Lambe, 1995). En la siguiente tabla 2.3. se muestra valores estimados de la porosidad (Sanders, 1998).

TIPO DE SUELO	POROSIDAD TOTAL (%)	POROSIDAD EFICAZ (%)
Arcilla	40-60	0-5
Limos	35-50	3-19
Arenas finas, arenas limosas	20-50	10-28
Arena gruesa o bien clasificada	21-50	22-35
Grava	25-40	13-26
Shale intacta	1-10	0.5-5
Shale fracturada/alterada	30-50	
Arenisca	5-35	0.5-10
Calizas, dolomías no carstificadas	0.1-25	0.1-5
Calizas, dolomías carstificadas	5-50	5-40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0.01-1	0.0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1-10	0.00005-0.01

Tabla 2. 3. Valores de porosidad total y eficaz (Sanders, 1998)

Comportamiento Físico

Cuando los agregados se secan su volumen disminuye originándose grietas y la subsidencia del suelo, mientras que cuando se humedecen se expanden, cerrándose las grietas y volviendo el suelo a su posición original. Este



comportamiento afecta los procesos físicos y químicos de los suelos, lo que conduce a la modificación de su estructura, su infiltración, su aireación, el movimiento en profundidad de nutrientes y agroquímicos, lo mismo que el desarrollo de las raíces (Coulombe, 1996).

Estructura

Se refiere a las características a gran escala que afectan al material (tamaño, morfometría, porosidad, etc.), las cuales están en función del origen de la roca (Ruiz, 2000). A continuación en la tabla 2.4. se presenta ejemplos de estructura de acuerdo con el tipo de roca:

TIPO DE ROCA	CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS
Rocas volcánicas	Derrames lávicos, estructura fluidal, vesículas, amígdalas, etc.
Rocas intrusivas	Batolitos, stocks, diques, mantos, lopolitos
Rocas sedimentarias	Estratificación: cruzada, ondulada, graduada, masiva o laminar, fisilidad, nódulos, arrecifal
Rocas metamórficas	Foliación, esquitosidad, bandeada, granoblástica

Tabla 2. 4. Estructuras según el tipo de roca (Ruiz, 2000).

Moteado y color

Es un índice cualitativo que consiste en tres componentes: matiz, tono y valor (Ruiz, 2000). Las descripciones de colores deben utilizarse con cuidado ya que el color de una masa de suelo puede variar con la humedad o con la composición química (William Lambe, 1995).

PERMEABILIDAD RELATIVA	VALORES DE K cm/seg	SUELO TÍPICO
Muy permeable	>1x10E-1	Grave gruesa
Moderadamente permeable	1x10E-1-1x10E-3	Arena, arena fina Arena limosa, arena sucia
Poco permeable	1x10E-3-1x10E-5	Limo y arenisca fina
Muy poco permeable	1x10E-5-1x10E-7	Arcilla
Impermeable	<1x10E-7	

Tabla 2. 5. Permeabilidad relativa en función del suelo



VALORES ESTIMADOS DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)

		Domenico	Smith & W	Freeze	Fetter	Sanders
Sedimentos	Grava	25-2500	100-10E5	100-10E6	10-1000	
	Grava con arena					
	Arena gruesa	0.1-500	0.01-1000	1-1000	1-100	1-100
	Arena media	0.1-50				
	Arena fina	0.02-20			0.01-1	
	Arena arcillosa		10E-4-1	0.01-100	0.1	0.01-1
	Silt, loess	10E-4-2	10E-7-10E-3	10E-4-1	0.1	10E-4-1
	Arcilla	10E-6-4E-4			10E-6-10E-3	10E-6-10E-3
	Arcilla marina inalterada	10E-7-2E-4		10E-11-10E-7		
	Rocas sedimentarias	Calizas Carstificadas	0.1-2000	0.05-0.5	0.1-1000	
Calizas, dolomías		10E-4-0.5	0.001-0.5	10E-4-1		10E-4-1
Areniscas		3E-5-0.5	10E-5-1	10E-5-1		
Argilitas (siltstone)		10E-6-0.001				
Pizarra		10E-6-2E-4	10E-6-10E-4	10E-4-10E-8		10E-4-10E-8
Pizarra fracturada/alterada			10E-4-1			
Rocas Cristalinas	Basalto inalterado sin fracturar		10E-6-10E-3			10E-6-10E-3
	Basalto fracturado/vesicular		10-1000			0.1-10E6
	Escorias basálticas		0.001-1000			
	Basalto permeable	0.03-2000		0.02-1000		
	Igneas y metamórficas sin fracturar	10E-9-10E-5	10E-9-10E-5	10E-9-10E-5		10E-9-10E-5
	Igneas y metamórficas fracturadas	0.001-25	10E-5-1	0.0005-20		10E-5-1
	Granito alterado	0.3-5				
	Gabro alterado	0.005-0.3				

Tabla 2.6. Valores estimados de conductividad hidráulica por varios autores



2.4. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

El agua subterránea es un recurso que requiere un complejo estudio ya que está en función de varios parámetros que definen la presencia o flujo de la misma en el sub suelo, de estos parámetros las características del suelo son las que dominan el flujo del agua por lo que para llegar a la definición de estas características se necesita realizar estudios es el sitio para reconocimiento del tipo de suelo que se presenta en un determinado punto.

Estos estudios pueden ser llevados a cabo por inspecciones del subsuelo hechas en una perforación para ir caracterizando cada uno de los estratos que se encuentren o también se puede recurrir a métodos geofísicos que son los que se detallan a continuación.

2.4.1. PROSPECCION GEOFISICA

Los métodos geofísicos suministran evidencia indirecta de las formaciones subsuperficiales, estos métodos no identifican directamente el tipo de roca, ni su porosidad, ni su permeabilidad o densidad. Lo que hacen es evaluar otras propiedades de los materiales, que varían en función de ciertos factores determinantes que nos darán una idea de lo que puede estar sucediendo en el subsuelo y así poner definir si un estrato es lo suficientemente bueno como para servir de acuífero.

Los métodos geofísicos se clasifican en operacionales de superficie y operacionales de sondeo. Los términos anteriores indican que las mediciones pueden hacerse cerca o en la superficie del terreno o debajo de este, en agujeros de investigación. En este caso nos enfocaremos en los sondeos, específicamente en los registros eléctricos.

2.4.1.1. REGISTRO ELECTRICO

La operación geofísica de sondeo más común, es el registro eléctrico o perfil eléctrico. Este sirve para verificar y suplementar el registro descriptivo del pozo que el perforador lleve conforme avanza la perforación.

Un perfil eléctrico consiste de un registro de resistividades aparentes de las formaciones superficiales y de los potenciales espontáneos generados en el agujero, ambos trazados en función de la profundidad desde la superficie del terreno. Ambas propiedades se relacionan con el carácter de las formaciones y la calidad de agua debajo de la superficie.

Para correr un registro eléctrico se utilizan varios tipos de electrodos. De las tres configuraciones más usadas, la más popular en nuestro medio es el Electrodo de un solo Punto. La Figura 2.7

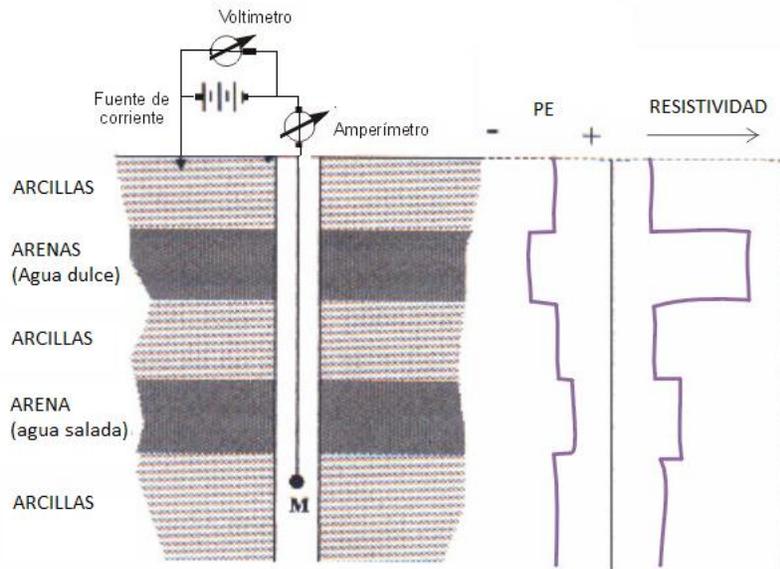


Figura 2. 7. Configuración para la realización de un registro eléctrico

Carácter de los valores de resistividad.

La resistividad cuando se emplea un electrodo de un solo punto, corresponde a la de un volumen limitado de material en los alrededores del electrodo, a una profundidad determinada. Este volumen puede concebirse como esférico en la que se incluye el tramo corto de la columna de lodo más un pequeño volumen de la formación. Las resistividades del lodo y de los materiales de la formación son diferentes de modo que el valor medio corresponde a un valor compuesto por ambos.

La interpretación de los registros se ve afectada por varias condiciones, todas las cuales deben tener cierto grado de consideración. Estas incluyen diámetros de la perforación, tipo de fluido, carácter químico del agua de la formación (varia inversamente con los sólidos disueltos del agua), porosidad de la misma, grado de invasión del lodo dentro de la formación y el tipo de diseño de electrodos que se utilice. Las curvas de registros eléctricos ponen en evidencia lo siguiente como un enfoque de interpretación general:

- ✓ Cuando se utiliza el método de resistividades en la investigación de un área determinada, se necesita tener información adicional de verificación geológica.
- ✓ Cuando se hallan secas tanto la arena como la arcilla exhiben resistividades relativamente altas, pero en casos de saturación las formaciones arcillosas exhiben una resistividad relativamente baja a no ser que se trate de formaciones arenosas de agua salada.
- ✓ Los acuíferos de agua dulce y las rocas densas poseen una resistividad más alta que la mayor parte de las otras formaciones.



- ✓ Las resistividades aparentes de los acuíferos de agua dulce que tienen baja porosidad son del mismo orden que de las rocas densas. Estas pueden diferenciarse observando la velocidad de perforación.
- ✓ Los acuíferos que contengan agua altamente salina tienen resistividades parecidas a las de las arcillas. En la práctica, estos acuíferos pueden diferenciarse con el uso de los registros de rayos gama.
- ✓ La curva de resistividad permite en muchos casos predecir con precisión el espesor y profundidad de los estratos, pero no así el tamaño de fracturas de rocas consolidadas.
- ✓ Cuando se sabe que la calidad de agua permanece constante en todos los acuíferos, los cambios de resistividad se pueden interpretar como la consecuencia de las variaciones en porosidad o debido a una condición arcillosa.
- ✓ Cuando las aguas de las formaciones son mucho más salinas que el lodo de perforación, la curva de potencial espontáneo es por lo general de magnitud negativa en los acuíferos, que en los estratos de arcilla. (Edward E. Johnson Inc., 1975)
- ✓ Algunos de los valores en los que fluctúa la resistividad en función de los materiales y presencia de agua en unidades acuíferas se presenta a continuación como un complemento de estas pautas generales para la interpretación de los registros. Tablas 2.7 y 2.8

TIPO DE MATERIAL	RESISTIVIDAD ELECTRICA (ohms-m)
Agua de origen meteórico	30 - 1000
Agua superficial en rocas ígneas	30 - 500
Agua superficial en rocas sedimentarias	10 - 100
Agua subterránea en rocas ígneas	30 - 150
Agua subterránea en rocas sedimentarias	> 1
Agua de mar	0,2
Agua potable 0,25% máximo de sólidos disueltos totales	> 1.8
Irrigación 0,7% máximo de sólidos disueltos totales	> 0,7

*Tabla 2. 7 Rangos de variación de la resistividad según tipo de roca y agua.
(Alvarez, 2003)*



ROCA	RANGO ohm-m	ROCA	RANGO ohms-m
Arcilla	8 a 32	Basaltos (fracturados)	119 a 585
Arenas, gravas, pómez	12 a 16	Basaltos (fracturados) saturados	48 a 70
Arenas, tobas arcillas, gravas	4 a 55	Andesitas	102 a 334
Aluviones	8 a 37	Piroclastos del Plioceno (grano fino)	> 14
Limos	16 a 38	Piroclastos del Plioceno (grano grueso)	24 a 55
Arenas Basálticas	62 a 85	Piroclastos del mioceno	22 a 39
Basaltos (sanos)	500 a 3000		

Tabla 2. 8 Valores representativos de resistividad eléctrica para formaciones geológicas. (R. Rodriguez)

Potencial Espontáneo.

Se basa en la medición de las diferencias naturales de potencial eléctrico entre 2 puntos sobre la superficie o a poca profundidad. Los primeros registros de potencial espontáneo (PE) fueron realizados por Fox en 1830, quien utilizando dos placas de cobre como electrodos, conectadas a un galvanómetro, detectó la existencia de yacimientos subterráneos de sulfuro de cobre en Cornwall, Inglaterra.

El agua subterránea es la principal responsable de la existencia del potencial espontáneo, debido a que actúa como un electrolito disolviendo y transportando minerales al estado iónico. El PE se mide en forma rutinaria, junto con la resistividad y frecuentemente con rayos gamma, en las perforaciones hidrogeológicas. En las perforaciones de exploración y explotación petrolíferas, se acompaña con otros registros más sofisticados como el sónico, el de inducción, el de buzamiento, etc. (Auge, 2008)

Corriente Inducida.

En el caso de las corrientes inducidas, se colocan electrodos tanto en la superficie como dentro del pozo, y se induce potencial eléctrico entre ellos, generando así un campo eléctrico el cual penetrara en la formación, para luego ser detectados en el



interior del pozo a través de cada uno de los estratos que componen la formación. Registrándose así las ondas normal corta, larga y la de potencial espontaneo. (Tabla 2.9)

REGISTRO	INFORMACION QUE PUEDE OBTENERSE	
Conductividad	Conductividad de los diferentes niveles del acuífero	
Resistividad	Normal corta y larga	Límites de capas litológicas Resistividades de zona invadida Resistividades de zona virgen Conductividad del agua de la formación
	Resistividad Lateral	Resistividad de las formaciones Conductividad del agua de la formación
Potencial Espontaneo	Conductividad del agua de la formación	
Rayos gama	Límite de las capas litológicas Contenido de arcillas Control de cementaciones	

Tabla 2. 9 Información que se puede obtener de Registros Eléctricos

2.4.1.2. REGISTRO MEDIANTE RAYOS GAMA

Es un procedimiento geofísico de sondeo basado en la medición de la radiación natural de rayos gama, provenientes de los elementos radiactivos que tienen lugar en cantidades variables, en las formaciones subsuperficiales. El registro es un diagrama que muestra la emisión relativa de los rayos gama, medida en impulsos por segundo.

Los cambios de radiación por lo general están asociados a diferencias existentes entre los tipos de materiales que componen los sucesivos estratos. Algunas formaciones contienen una mayor concentración de elementos radioactivos como uranio, torio y el isótopo radioactivo del potasio, además de otros. En la mayoría de los casos, la arcilla y la lutita contienen mayor cantidad de estos elementos que la caliza, la arenisca y la arena. El registro pues en las formaciones no consolidadas, indica principalmente lechos de arcilla en aquellas profundidades en donde la intensidad de los rayos gama es alta.

Los cambios en la calidad de agua tienen poco efecto sobre el registro de rayos gama, de modo que resulta de gran valor para identificar la posición y el espesor de las formaciones arcillosas. Cabe recalcar que hay excepciones, cuando la arena incluye partículas rocosas de material que en general es radioactivo puede presentar la misma emisión de rayos que la arcilla. (Edward E. Johnson Inc., 1975)

CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOS

3.1. DESCRIPCION DEL CONTEXTO

3.1.1. DELIMITACION HIDROGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la subcuenca del río Tarqui que está definida por la línea de contorno de la cuenca vertiente, que es la que separa las aguas que superficialmente llegan al punto de estudio, para esto se debe tener en cuenta que, la línea divisoria corta ortogonalmente a las curvas de nivel, también que cuando la divisoria va aumentando su altitud corta a la curva de nivel en su parte convexa, al igual que cuando la altitud de la divisoria va disminuyendo esta corta a las curvas de nivel por su parte cóncava, también que si cortamos el terreno por el plano normal a la divisoria, el punto de intersección con esta ha de ser el punto de mayor altitud del terreno, y finalmente, como comprobación, la línea divisoria nunca debe cortar a un río, arroyo, quebrada, excepto en el punto de menor altitud del terreno (Figura 3.1).

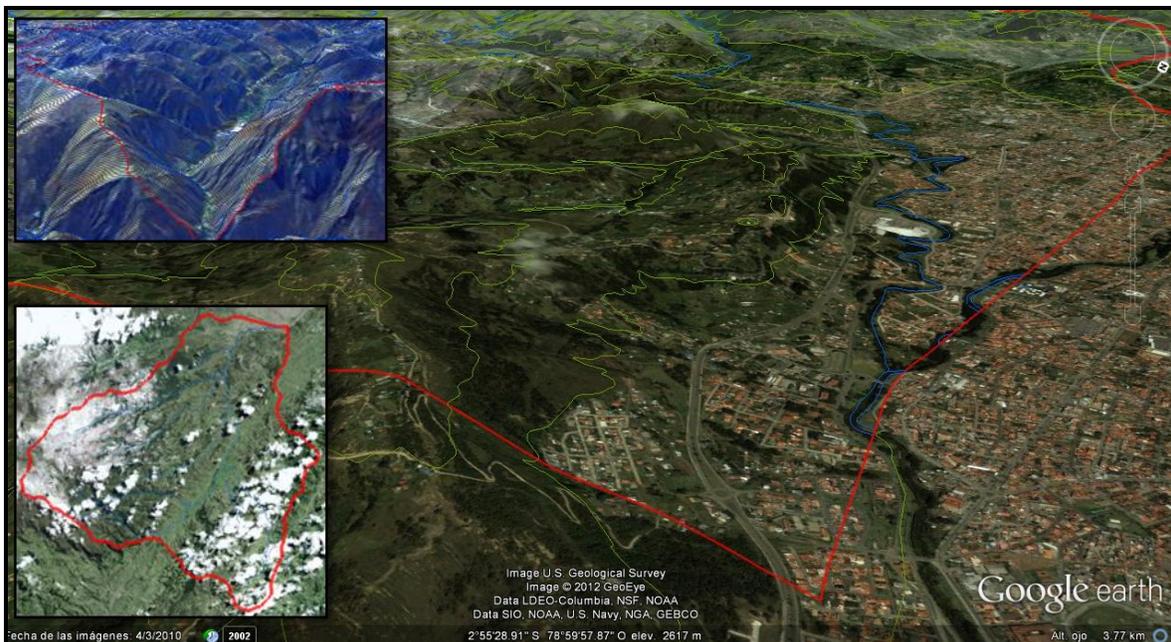


Figura 3. 2 Delimitación hidrográfica de la subcuenca del Tarqui

3.1.2. UBICACIÓN Y CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

La subcuenca del río Tarqui se encuentra en el Sur del Ecuador en la provincia del Azuay, entre la región de Girón y la ciudad de Cuenca a unos 3 km al sur de esta última que constituye la capital de la provincia del Azuay y tercera ciudad más grande del Ecuador (Figura 3.2).

Esta región correspondiente a un valle interandino con una estratigrafía compleja, el valle es esencialmente una división típica de bloque fallado, formada en un régimen tensional durante la última etapa elevación de la corteza continental a lo largo de la cadena andina. Dado el extenso número de características involucradas se origina una multiplicidad de condiciones hidrometeorológicas y fisiográficas (Coronel, 2005). Su ubicación geográfica está definida por las coordenadas geográficas 2°50' y 3°10' latitud Sur y 79°15' y 78°55' de longitud oeste, que a su vez o en coordenadas UTM en WGS84 17S corresponden a N 9650000-9680000 y E 698000-726000, cubriendo un área de aproximadamente 475 km². Y finalmente la variabilidad en cuanto a relieve está definida por los rangos de altitud de la cuenca que van desde los 3700 m msnm en el oeste y unos 2600 m msnm en la parte central, donde el río principal de drenaje de la cuenca está fluyendo.

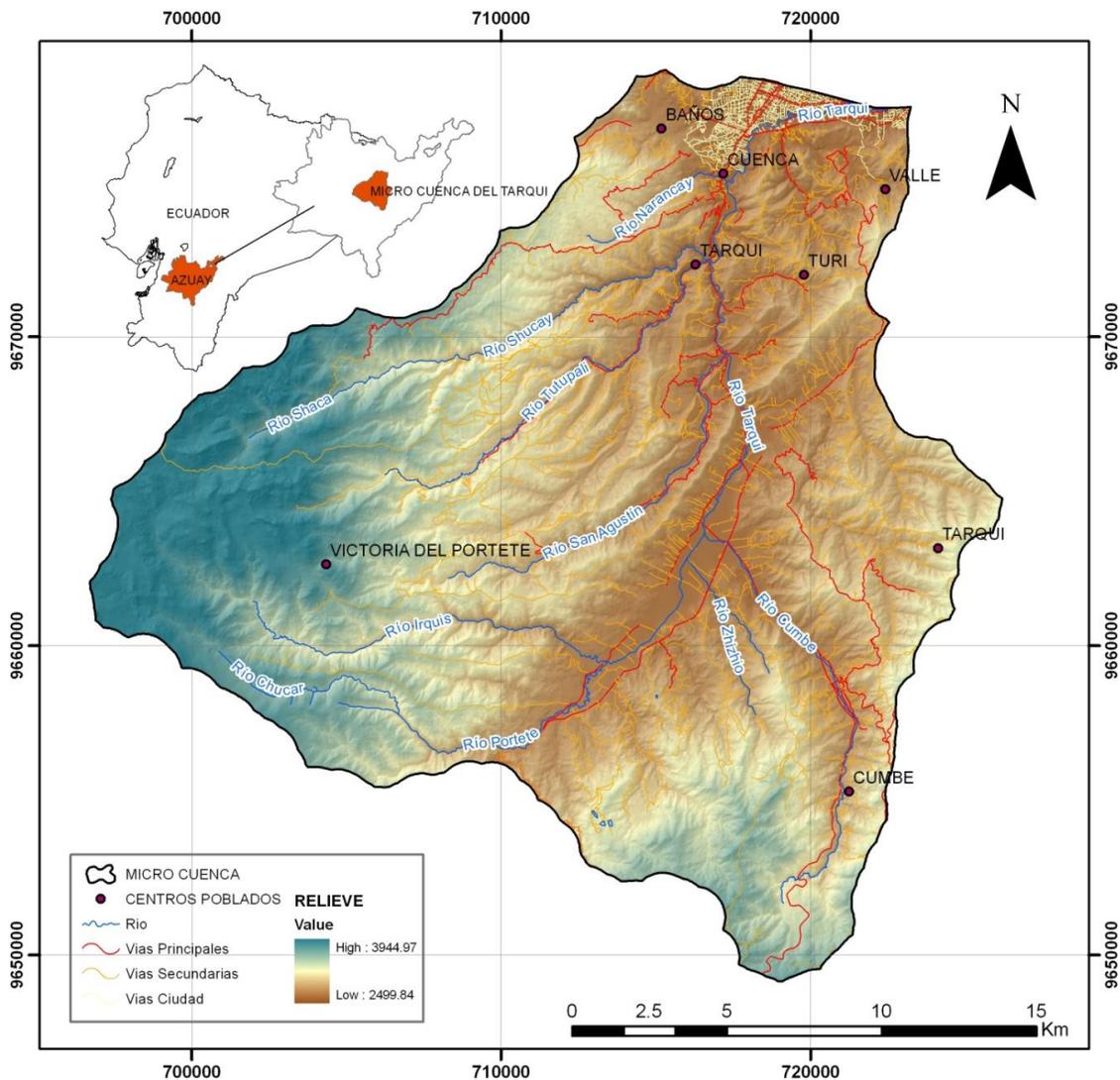


Figura 3. 2 Ubicación, Relieve y zonas Pobladas de la subcuenca del río Tarqui

3.1.3. HIDROGRAFIA

El río Tarqui dentro del Ecuador pertenece a los ríos de la vertiente atlántica, siendo un afluente del río Paute, que es parte del drenaje de la cuenca del sur de los Andes ecuatorianos del río Amazonas. (V. Vanacker, 2007). El río nace de las zonas de montaña ubicadas aguas arriba hacia el oeste y el sureste de la cuenca, fluye a través de un amplio valle en la parte central y sale de la cuenca para el noreste, antes de juntarse con el río Yanuncay. Los principales afluentes del Tarqui son Portete, Cumbe, Shucay, Tutupali y Chaparro ver Figura 3.3.

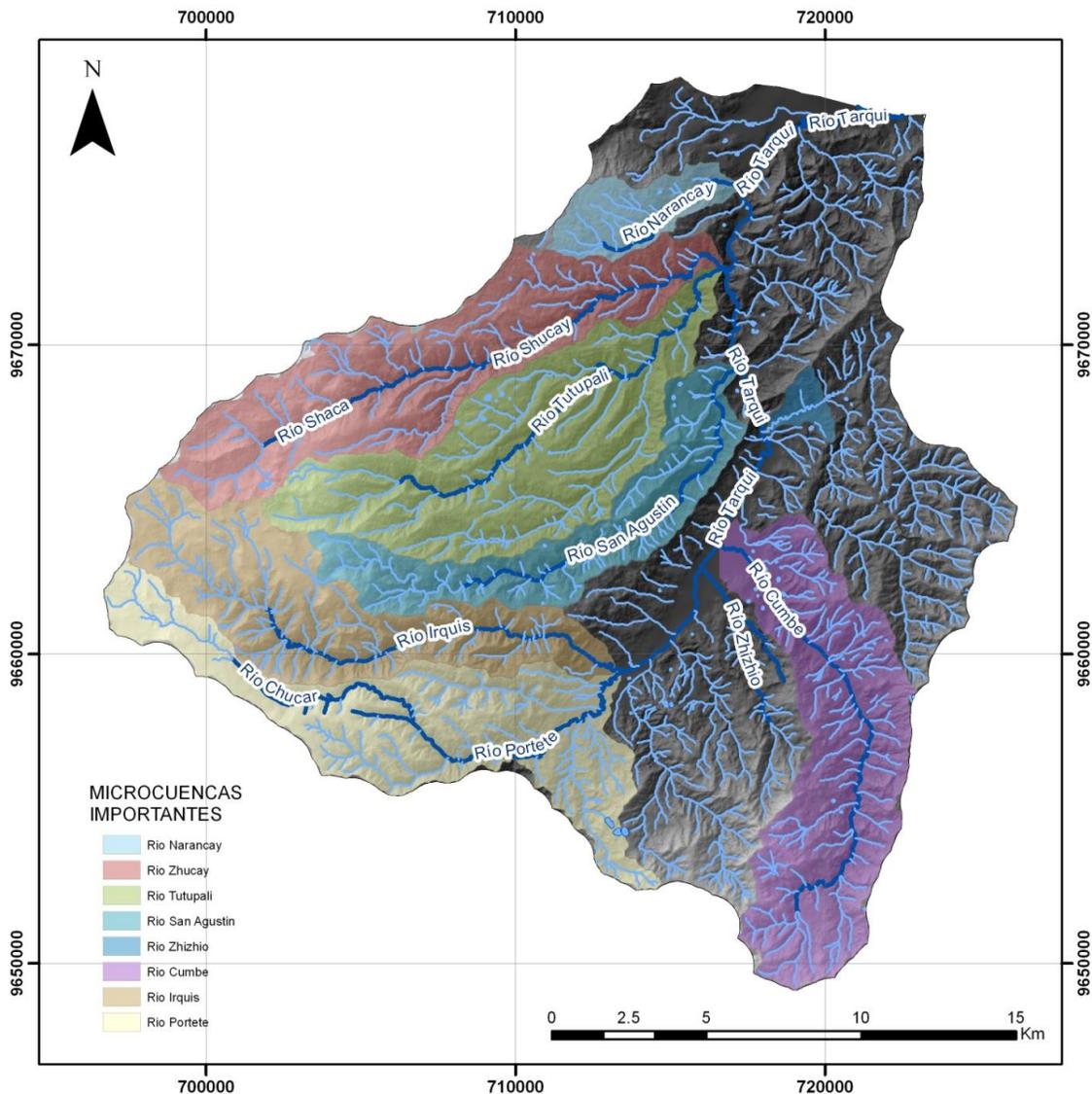


Figura 3. 3 División y Red Hidrográfica de la subcuenca del río Tarqui



Algunos de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta es la pendiente del cauce principal y la densidad de corrientes. En el primer caso la pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media, la que generalmente se calcula como el desnivel dividido para la longitud del cauce, que corresponde para este caso al 2.5%. Para el segundo caso, este parámetro relaciona el área de la subcuenca con la red de drenaje y para la subcuenca del Tarqui es 2.23 Km/Km². (Coronel, 2005).

3.1.4. CLIMA

La región se caracteriza por un régimen de lluvias bimodal, con una gran heterogeneidad espacial patrón de distribución. La temperatura media anual de precipitación de 800 mm en la depresión central a más de 1000 mm en las tierras altas. La estación seca más larga se extiende entre junio y agosto, mientras que una corta estación seca se produce alrededor de enero y febrero, el régimen de humedad es sub-húmedo a húmedo (V. Vanacker, 2007).

De acuerdo a la publicación “Zonificación agroecológica del Austro”, el descenso normal de la temperatura con respecto al incremento de la distancia en relación con la superficie terrestre tiene un valor de 6.5°C /1000m. Este descenso es menor a medida que se incrementa la altura de la superficie terrestre por tanto la absorción y la irradiación del calor solar por el suelo causa una temperatura más alta que en la misma altitud al aire libre. En el austro ecuatoriano se registra solo una pequeña variación de la temperatura durante el año. En efecto es un poco más baja de junio-agosto que de diciembre-febrero. Esto ocurre por su ubicación alrededor de 2° latitud sur es decir porque la zona está cercana al ecuador y por tanto tiene una pequeña variación durante el día además porque los rayos solares caen bajo un ángulo amplio en la superficie terrestre y porque la irradiación solar cambia poco durante el año (PROMAS, 1998). Sin embargo, vale la pena acotar que las variaciones de temperatura a escala sub diaria son representativas y pueden generar gradientes de más de 10 grados centígrados entre la temperatura menor generalmente presentada en horas de la madrugada y la máxima temperatura comúnmente presentada alrededor del medio día. Teniendo en cuenta que la información anterior es muy general ya que se refiere al Austro ecuatoriano, se considera como de mayor utilidad para caracterizar la temperatura la información de la estación ubicada en el sector de Cumbe, la cual fue proporcionada por el Ing. Vicente Iñiguez, en el que las temperaturas varían entre 10 a 12°C, y fueron monitoreadas entre agosto del 2010 a febrero del 2012, esta información corresponde a monitoreos mensuales y puede proporcionar una idea más clara, aunque no se pueda hablar de una temperatura promedio de toda la subcuenca por la variación de altura que existe.

3.1.5. GEOLOGIA LOCAL

La geología en la cuenca consiste principalmente de rocas volcánicas consolidadas y sedimentadas del Mioceno superior y del Pleistoceno Inferior y sedimentos consolidados fluviales y glaciares de Pleistoceno Inferior hasta el



presente (V. Vanacker, 2007). Como resultado, el área está dominada por suelos arcillosos, procedentes de depósitos de cenizas volcánicas. Existe variedad de los ecosistemas en la cuenca, siendo la agricultura predominante en el valle central, habiéndose establecido allí varios poblados, mientras que en las partes altas se ubican bosques de montaña y un conjunto de ecosistemas del páramo. (W. Buytaert, 2005). En la Tabla 3.1 y la Figura 3.4 se presenta la ubicación geográfica y áreas de cobertura de cada una de las formaciones que componen la subcuenca del río Tarqui en una escala de detalle 1:50000.

EDAD Y COBERTURA DE LAS FORMACIONES GEOLOGICAS DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI

NOMBRE	SIMBOLO	EDAD	AREA (Km2)	COBERTURA (%)
Deposito Aluvial	Qal	Holoceno - Cuaternario	39	8.17
Deposito Coluvial	Qc	Holoceno - Cuaternario	6	1.20
Travertino	Qtv	Holoceno - Cuaternario	0	0.09
Formación Tarqui	Mtq	Mioceno - Terciario	149	31.43
Formación Turi	Mt	Mioceno - Terciario	159	33.38
Formación Mangan	Mm	Mioceno - Terciario	30	6.32
Formación Azogues	Maz	Mioceno - Terciario	7	1.57
Formación Loyola	MI	Mioceno - Terciario	2	0.47
Formación Quimsacocha	Mq	Mioceno - Terciario	31	6.48
Grupo Saraguro Indiferenciado	Ems	Oligoceno - Terciario	16	3.47
Formación Plancharumi	Osp	Oligoceno - Terciario	5	1.07
Formación Quingeo	Eq	Oligoceno - Terciario	0	0.00
Unidad Sacapalca	Pc-Esa	Paleoceno - Terciario	1	0.19
Formación Yunguilla	Ky	Cretáceo - Mesozoico	29	6.17
TOTAL			475	100

Tabla 3. 2 Edad y Cobertura de las formaciones geológicas

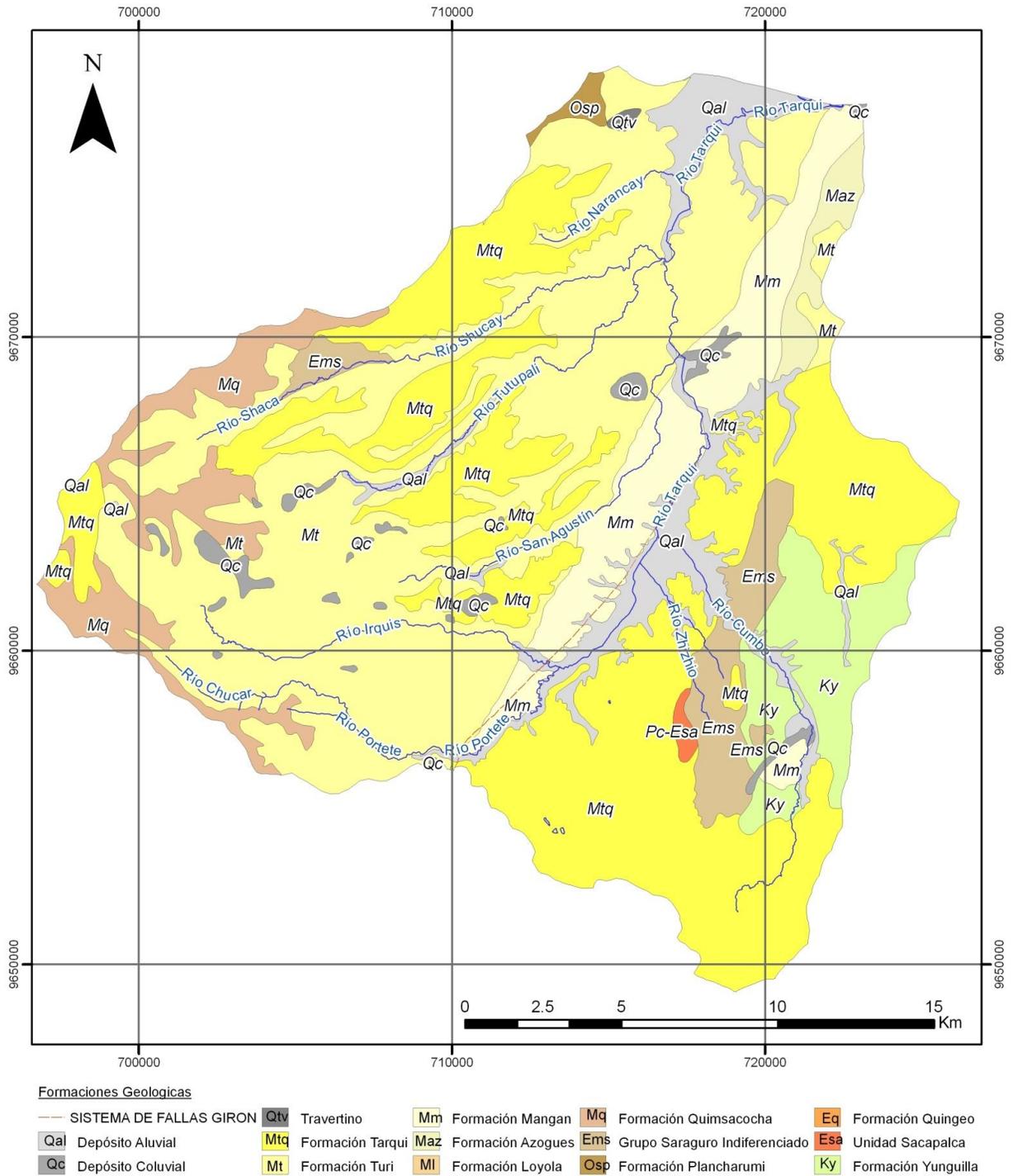


Figura 3.4. Mapa geológico de la subcuenca del río Tarqui



3.1.5.1. DESCRIPCIÓN Y LITOLOGÍA DE LAS FORMACIONES DE LA ZONA

A continuación se detalla cada una de las formaciones presentadas en la Figura 3.4.

Depósito Aluvial (Q_{Al})

Se encuentra en la mayoría de los valles amplios, y en general consiste de estratos gredosos supra yacientes a un depósito de roca gruesa. Las corrientes que cruzan los afloramientos volcánicos de Llacao depositan mucha arena.

Depósito Coluvial (Q_C)

Muchos de los valles tienen sus laderas cubiertas con una capa de material Coluvial. Este material quizás se originó como talud durante el Pleistoceno tardío, pero su formación continúa hasta ahora.

Travertino (tv)

Los depósitos de Travertino son de gran importancia por la elaboración de cemento, cal, fertilizantes y piedras ornamentales. Se pueden distinguir cuatro tipos: terrazas de hasta 20 m de potencia y de varias hectáreas de extensión; capas de hasta 10 m de alto. La depositación debido a la presencia de calcita en aguas termales aún continúa en el tipo de terrazas y ha cesado en los otros tres tipos. Se han encontrado huesos humanos y varias conchas en los depósitos, pero se desconoce la edad de los depósitos erosionados.

Formación Tarqui (M_{Tq})

Comprende una secuencia volcánica gruesa, que cubre un gran porcentaje de la parte central de la hoya. Puede ser dividida en tres unidades estratigráficas: flujos oscuros de grano fino y composición andesíticas, sobre estos yace una secuencia de tobas de composición dacíticas y riolíticas. Estos piroclastos alternan con flujos delgados de composición similar. La unidad superior está compuesta por flujos de riolita homogénea de grano medio que afloran en la parte alta de los valles formando colinas bajas, bien definidas. La mayoría de las rocas presentan alteración que es el resultado de procesos metasomáticos e hidrotermales.

Formación Turi (M_T)

Comprende rocas sedimentarias fluviales confinadas a la cuenca de Cuenca. Consiste en conglomerados andesíticos gruesos y brechosos, pobremente litificados y horizontalmente estratificados, de las de 300 m de espesor, intercalados con areniscas tobáceas de color pálido y limolitas tobáceas. Descansa discordantemente sobre el grupo Saraguro y ésta sobreyace por la formación Quimsacocha. Fue considerada del Plioceno, pero nuevas dataciones de trazas de fisión indican una edad del Mioceno Tardío.



Formación Mangán (M_M)

Esta formación corresponde a ambientes de llanura de inundación y ,fluvial y para fines descriptivos se la divide en tres unidades: Mangan inferior, consiste en estratos de limolitas, lutitas, arcillas y areniscas finas interestratificadas en horizontes generalmente menores a 1m, las arcillas y lutitas son de color claro, las limolitas son compactas y de color gris con grietas de desecación, y finalmente las areniscas tobáceas gruesas de color café aumentan de tamaño hasta volverse conglomeratica en la parte superior. Mangan medio, presenta horizontes de lutitas estratificados. Mangan superior, su estratigrafía se caracteriza principalmente por las areniscas tobáceas gruesas de color café que tienden a transformarse en conglomerados hacia arriba y se alternan con lutitas limolíticas en bloque de color verde rojizo. (Nunez, 1998)

Formación Azogues (M_{AZ})

La formación Azogues es la que mejor desarrollo tiene en los dos lados del sinclinal de la cuenca de Cuenca; se extiende desde el norte de la ciudad con el mismo nombre hasta desaparecer cerca de la discordancia producida con la formación Turi. Litológicamente consiste de una arenisca tobáceas masiva de grano grueso con interacciones de argilitas, arcillas y lutitas. El color visto en superficie es café claro, pero la roca es gris verdosa cuando está fresca. Existe un conglomerado de origen ígneo con depositación cruzada en diferentes niveles. Alcanza una potencia aproximada de 300m.

Formación Loyola (M_L)

El contacto de esta formación con la Biblián subyacente en el centro de la cuenca es gradual, pero cerca del margen, en el lado este, un conglomerado basal sobrepasa la Biblián para descansar en la formación Yunguilla. De este depósito basal se obtuvo la mayor parte de los fósiles que se han descrito anteriormente. Los depósitos superiores de aproximadamente 250 metros de espesor, consisten casi íntegramente de lutitas grises oscuras, de color amarillo claro, meteorizadas y rojizas con una flora variada pero sin diagnostico. El yeso abunda en casi todos los niveles y se observaron calizas cristalinas de 2 metros de largo por 50 cm de espesor.

Formación Quimsacocha (M_Q)

Corona la Formación Turi alrededor de la caldera de Quimsacocha. La edad es incierta pero podría ser Mioceno Tardío o más joven. Quimsacocha comprende una secuencia de lavas y tobas - brechas de flujo de composición andesítica, interpretados como productos proximales de un estrato volcán cuya localización está indicada por una depresión del cráter casi circular de 4 km de diámetro, la caldera de Quimsacocha es considerada como resultado de una relativa subsidencia de la erupción de una toba silíceas de la formación Tarqui.

Grupo Saraguro Indiferenciado ($E-M_S$)

El Grupo Saraguro es una secuencia de rocas volcánicas sub aéreas, calco – alcalinas, intermedias a ácidas, de edad Eoceno medio – tardío Mioceno



temprano. Predominan composiciones andesíticas a dacíticas, pero son comunes rocas riolíticas.

Formación Plancharumi (O_{Sp})

Corresponde a una secuencia pobremente litificadas de depósitos volcanoclásticos riolíticos y sedimentos fluvio lacustres. Presenta tobas de flujo de cenizas blancas ricas en pómez, brechas riolíticas de flujos de masa, areniscas tobáceas, limolitas laminadas y tobas finas blancas. Algunos afloramientos presentan lavas riolíticas intensamente bandeadas por flujo, están intercaladas con sedimentos y tobas de ceniza fina que contienen abundante lapilli acrecionado que se interpretan como depósitos primarios caída en aire.

Formación Quingeo (Eq)

Esta expuesta al Noroeste de Cumbe en donde sobre yace a la Unidad Yunguilla con la cual está en contacto transicional. Comprende una secuencia de areniscas rojas, limolitas y lutitas fuertemente bio-turbadas y socavadas.

Unidad Sacapalca (Pc-Esa)

Se considero previamente como restringida al graben Catamayo, sin embargo, estas rocas continúan hacia el Norte y forman una parte sustancial del afloramiento previamente mapeado como Formación Saraguro. La unidad comprende lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dacíticas esparcidas.

Formación Yunguilla (K_Y)

Es una secuencia turbidítica marina. Comprende limolitas laminadas, lutitas y areniscas finas de color gris oscuro. Las areniscas contienen cuarzo deformado y algo de moscovita detrítica. (Instituto geografico Militar del Ecuador, 2002)

3.1.5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA ZONA

Ubicado cerca del proyecto Quimsacocha, existe una falla regional conocida como Gañarín, la cual se encuentra activa actualmente, con una dirección aproximada de Norte 45° Este, el sentido de empuje es Noreste – Suroeste.

La falla que cruza parte del cantón Girón y la cuenca del Tarqui, pertenece al “Sistema de Fallas Girón”, en dirección noreste, ubicada a lo largo del Río Portete como se puede observar en la Figura 3.4. con una longitud aproximada de 18.5 km, afecta únicamente a 12.5 km de la cuenca del Río Tarqui. La falla atraviesa las formaciones Turi, Mangan y Depósitos Aluviales dentro de la cuenca.

Los dos sistemas estructurales mencionados corresponden a fallas transcurrentes profundas que controlan la presencia de actividad volcánica, algunas zonas de alteración y mineralización.



3.2. RECOPIACION Y LEVANTAMIENTO DE DATOS DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI

El análisis del parámetro Conductividad Hidráulica Saturada o transmisividad en la subcuenca del río Tarqui, requiere de la recopilación y sistematización de la investigación y estudios existentes, a partir de este análisis se ha levantado la información requerida para alcanzar los objetivos propuestos en este documento. Para ello se analizó el trabajo del Gobierno Provincial del Azuay “GPA” y Programa de Manejo de agua y suelo “PROMAS”.

En el caso del GPA, este ha venido llevando a cabo un programa de explotación de aguas subterráneas en el cual dentro de la subcuenca del río Tarqui ha realizado 4 perforaciones en los sectores de: Morascalle, Acchayacu, Chilcatotora y Gullanzhapa. De los que se ha obtenido información para algunos pozos de registros eléctricos, registros de rayos gama, pruebas de calidad de agua, pruebas de bombeo y estratigrafía.

La información fue entregada en su estado original, en libretas de campo, por lo cual se tuvo que digitalizar y en el caso de las pruebas de bombeo en formato digital con algunos cálculos, los cuales se validaron en el proceso.

El PROMAS constantemente monitorea parámetros hidrológicos en el sector mediante estaciones por lo que se tiene información continua sobre estos parámetros. A partir de febrero 2012 se han instalado sensores que monitorearan el nivel de los pozos del GPA así como en otros pozos artesanales existentes en la subcuenca. Dado que algunos pozos están siendo explotados, para que la información de nivel sea de utilidad se ha establecido un procedimiento para registro manual del caudal bombeado el cual suele ser constante.

También existe una red de piezómetros en el sector de la entrada a Cumbe, en una sección transversal del Río. Por otra parte el departamento de Geomática ha proporcionado toda la información base de la subcuenca en escala 1:25000.

3.2.1. GEOREFERENCIACION INFORMACION EXISTENTE

Dentro del trabajo de tesis el objetivo principal es el mejoramiento del conocimiento de los procesos que afecten la respuesta de la cuenca hidrográfica, por lo que la georeferenciación de toda la información que se dispone de la subcuenca es de vital importancia para la generación de correlaciones entre la información y posteriores interpretaciones. Así toda la información se encuentra referenciada en el sistema WGS84 UTM 17S, siendo dicha información (detalles ver anexo1): los pozos de inspección, afloramientos de las distintas formaciones geológicas, los puntos de monitoreo y los pozos de inspección de IMGOLD. (Figura 3.5).

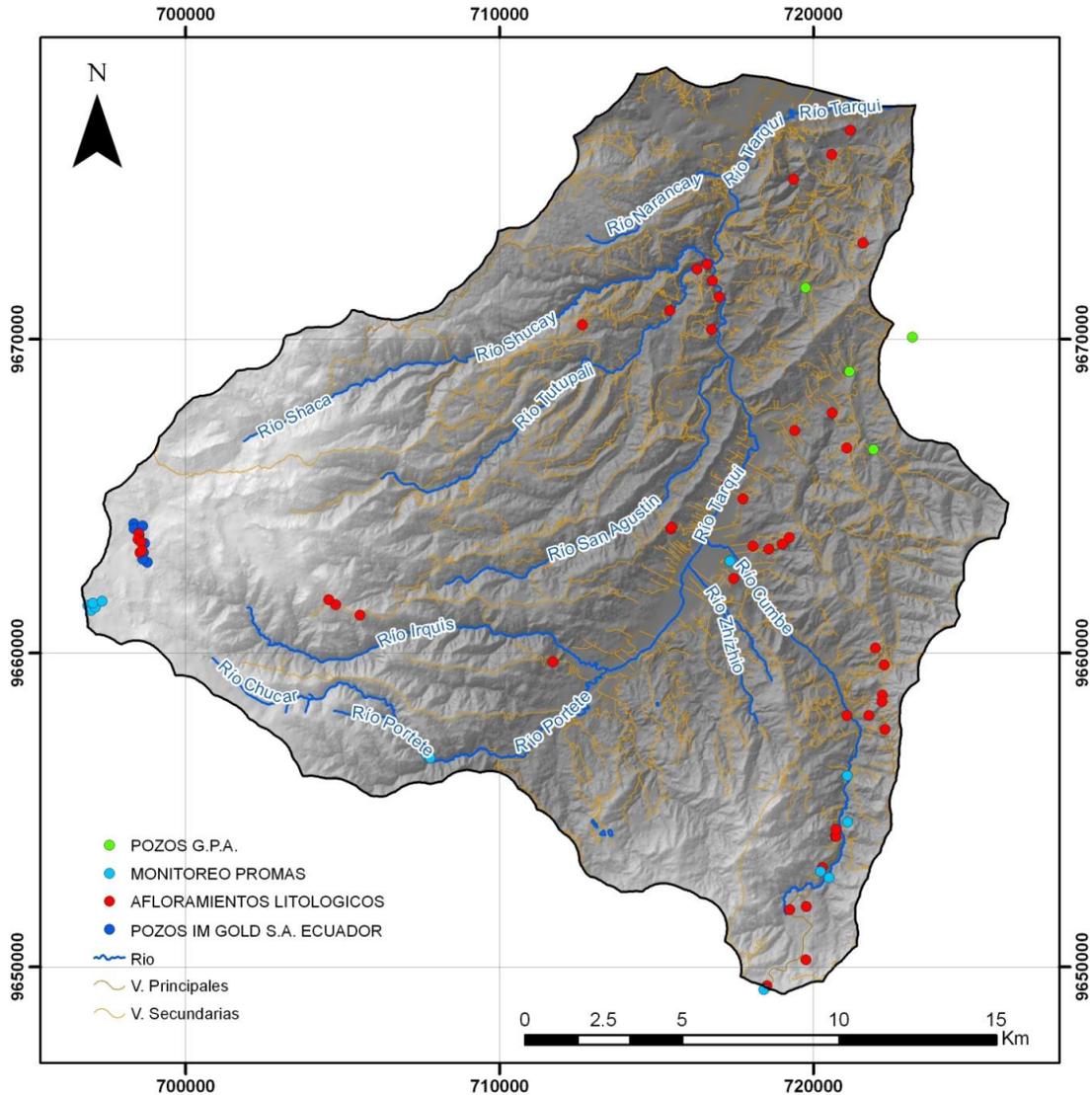


Figura 3. 5 Georeferenciación de los puntos de información y estudio

3.2.2. BOMBEO DE POZOS

Durante el análisis de las pruebas de bombeo de los pozos perforados por el Gobierno Provincial de Azuay (ver la ubicación en la Figura 3.6), se recopiló la información necesaria para la aplicación del método descrito anteriormente en el capítulo 2 sección 2.3.1.1, habiéndose de notar que se cuenta con pruebas de bombeo a caudal constante y variable. Así se realizó la gráfica semilogarítmica tiempo-abatimiento, a partir de la prueba de bombeo definitiva a caudal constante. La prueba de bombeo realizada en el pozo tuvo una duración de 24 horas. Para la prueba de bombeo escalonada las frecuencias de mediciones en cada fase dependen de la capacidad específica del pozo en el caso de los cuatro pozos localizados en la subcuenca del Tarqui, se ha tomado el periodo de medición de 120 minutos por caudal.



3.2.2.1. PRUEBA DE BOMBEO POZOS SUBCUENCA DEL TARQUI

Para la determinación de la conductividad hidráulica saturada en los 4 pozos de la subcuenca del Tarqui; Acchayacu, Chilcatotora, Gullanzhapa y Morascale, se procedió a realizar una prueba de bombeo escalonada los días 23 de octubre de 2007, 5 de junio de 2006, 3 de junio de 2008 y 18 de abril de 2006. Los distintos caudales de bombeo y tiempos empleados se presentan en la Tabla 3.2. así como también el caudal de operación utilizado para la prueba de bombeo definitiva necesario para la obtención de la gráfica tiempo-descenso.

FORMACION	PRUEBA ESCALONADA	#	CAPACIDAD		CAUDAL	
			CAUDAL lit/seg	ESPECIFICA m3/día/m	TIEMPO min	RECUPERACION lit/seg
MANGAN	ACCHAYACU/# ESCALON	1	0.25	1.09	0 - 120	0.45
		2	0.35	0.97	120 - 240	
		3	0.45	0.87	240 - 360	
		4	0.60	0.77	360 - 480	
TARQUI	CHILCATOTORA/# ESCALON	1	0.3	1.74	0 - 90	0.50
		2	0.45	1.45	90 - 180	
		3	0.54	1.16	180 - 270	
		4	0.64	1.06	270 - 360	
TARQUI	GULLANZHAPA/# ESCALON	1	0.25	1.41	0 - 120	0.50
		2	0.5	1.60	120 - 240	
		3	0.75	1.17	240 - 360	
		4	1.00	1.16	360 - 420	
ALUVIAL	MORASCALLE/# ESCALON	1	1.00	26.75	0 - 120	2.02
		2	1.50	22.31	120 - 240	
		3	2.00	21.39	240 - 360	
		4	2.50	19.17	360 - 480	

Tabla 3. 2 Caudales de bombeo utilizados durante la prueba escalonada de bombeo

3.2.3. REGISTROS ELECTRICOS.

Los registros eléctricos provienen igualmente de los pozos perforados por el GPA, estos consisten en las ondas que se generan al realizar las pruebas de potencial espontaneo y las de corriente inducida descritas en el capítulo 2 sección 2.3.1.1, a través de la máquina de Registros llamada Geologger THREE, la cual genera los registros en forma digital, los cuales serán procesados mediante el formato de graficas de las Historias de los pozos entregados por el GPA y posteriormente interpretados según los criterio expuestos en el capítulo 2 sección 2.3.1.1 y 2.3.1.2.

A continuación de acuerdo a la Tabla 3.3 que contiene referencias principales de cada pozo se presentan las graficas de los correspondientes Registros Eléctricos

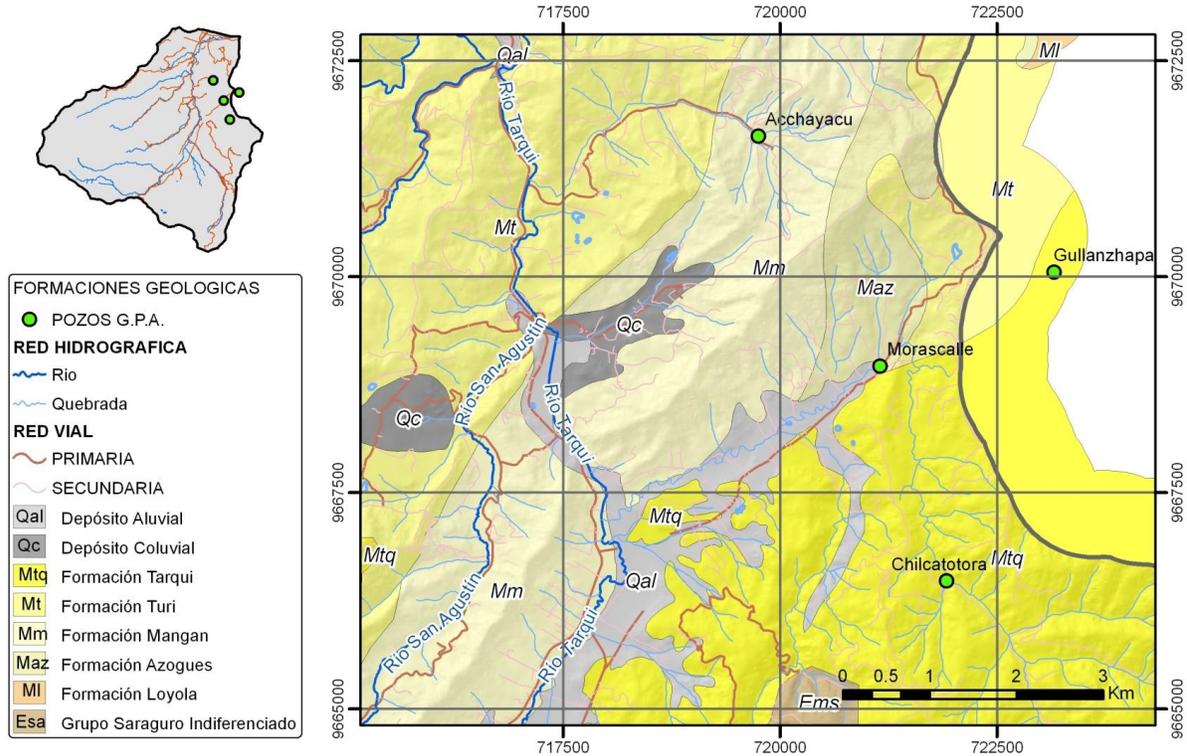


Figura 3. 6. Ubicación de los pozos del GPA



REGISTROS ELECTRICOS DE LAS PERFORACIONES DE
LOS POZOS DEL GPA

NOMBRE	FECHA	PROFUNDIDAD (m)	ALTURA (m)	FIGURA
Acchayacu	09/25/07 - 12:44 PM - Descenso	81 m	2698.2	3.7
Gullanzhapa	04/17/08 - 11:19_11:55 AM - Descenso	99 m	2751.6	3.8
Chilcatotora	05/17/06 - 11:03 AM - Descenso	89 m	2787.8	3.9
Morascale	04/05/2006 - 4:06 PM - Descenso	79 m	2672.6	3.10

Tabla 3. 3 Registros de Perforaciones de pozos GPA

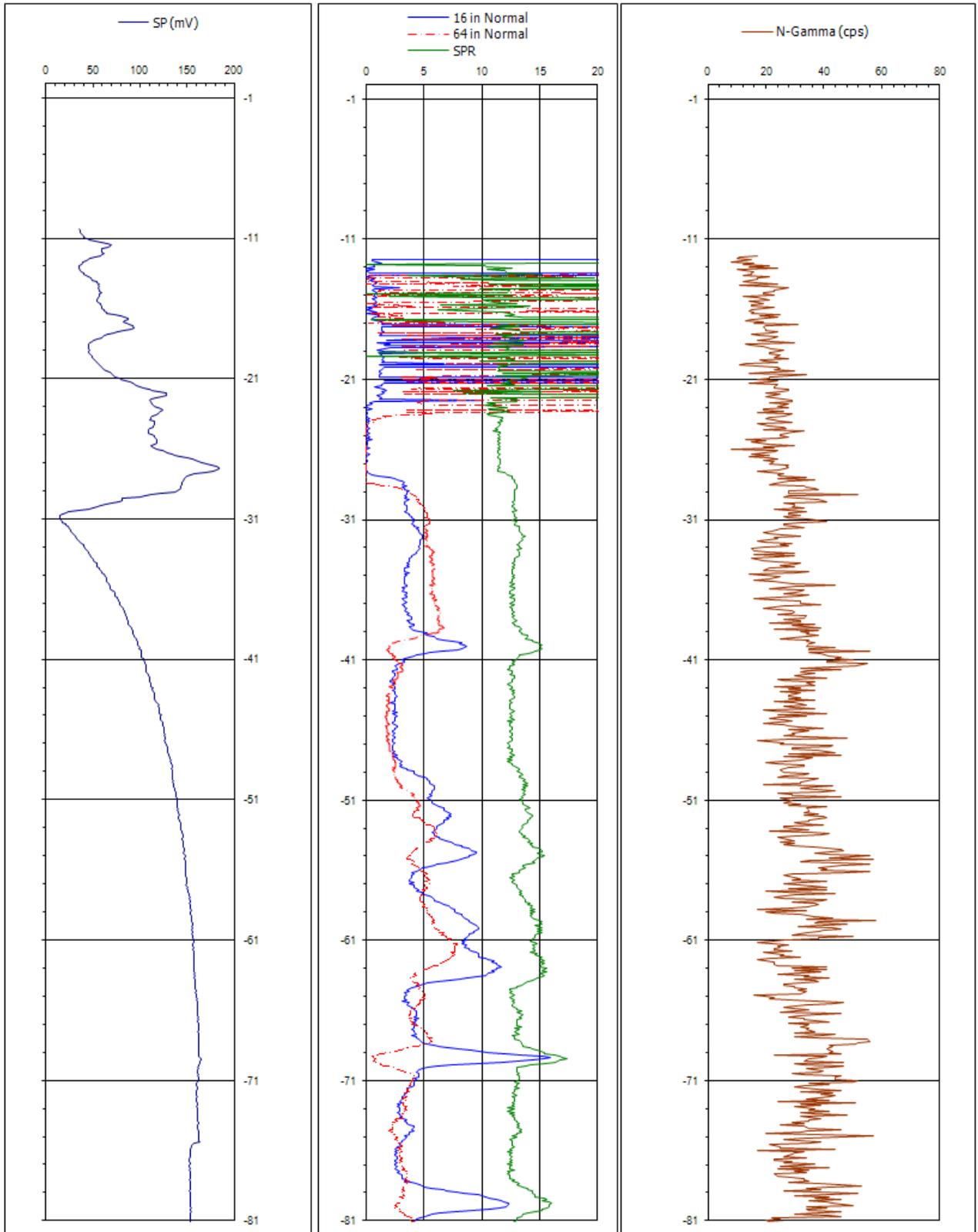


Figura 3. 7. Registro eléctrico pozo Acchayacu

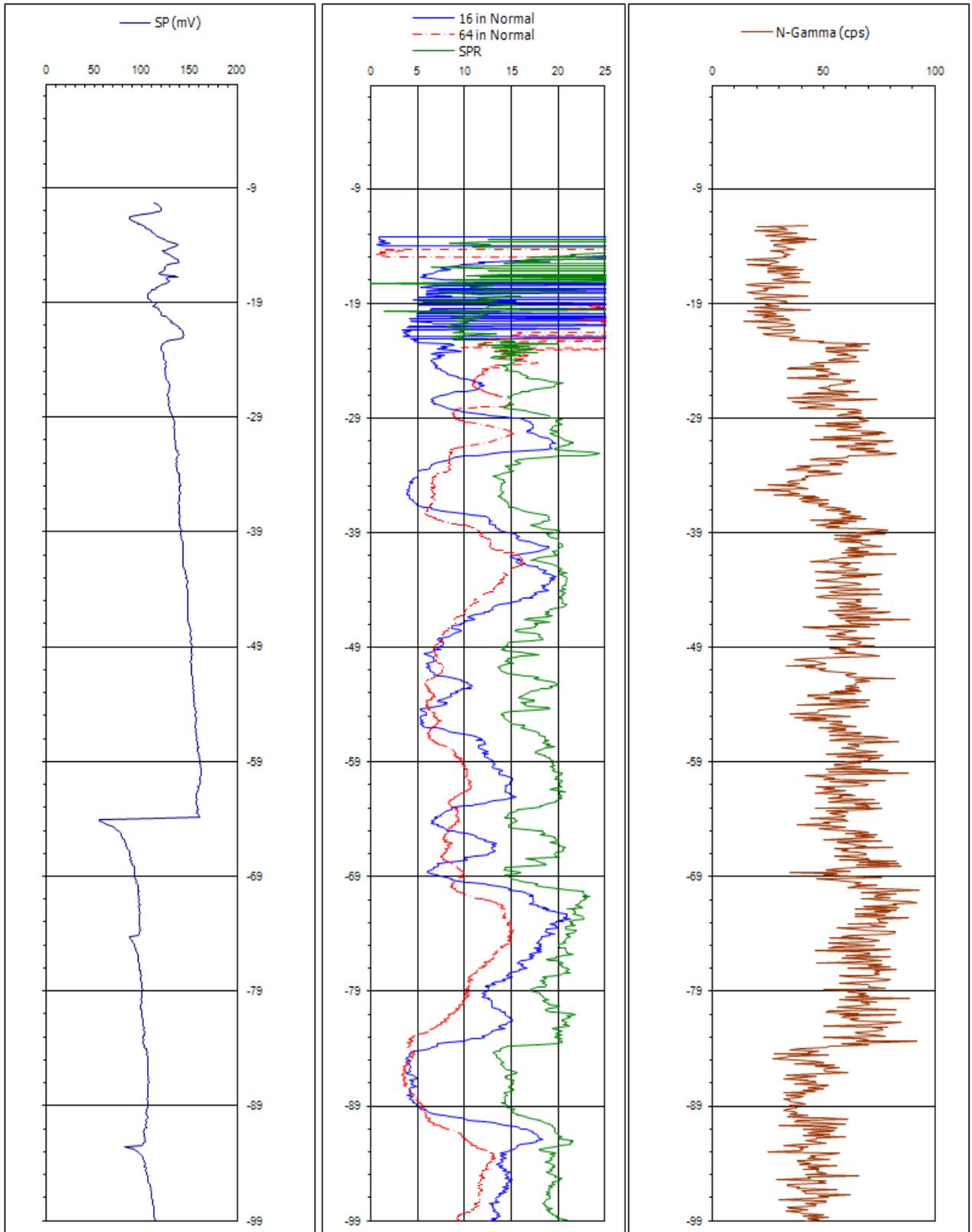


Figura 3. 8. Registro eléctrico pozo Gullanzhapa

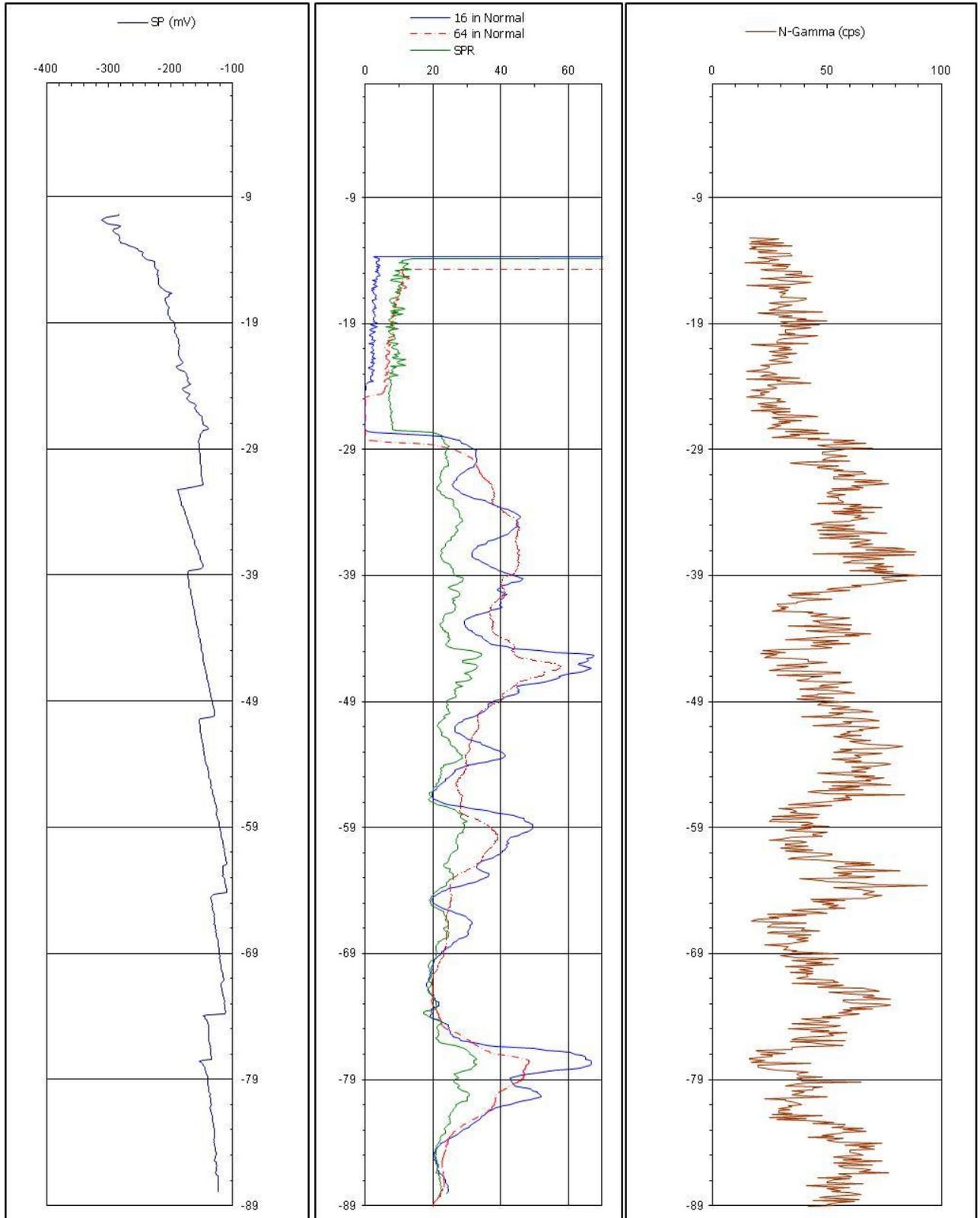


Figura 3. 9. Registro eléctrico pozo Chilcatotora

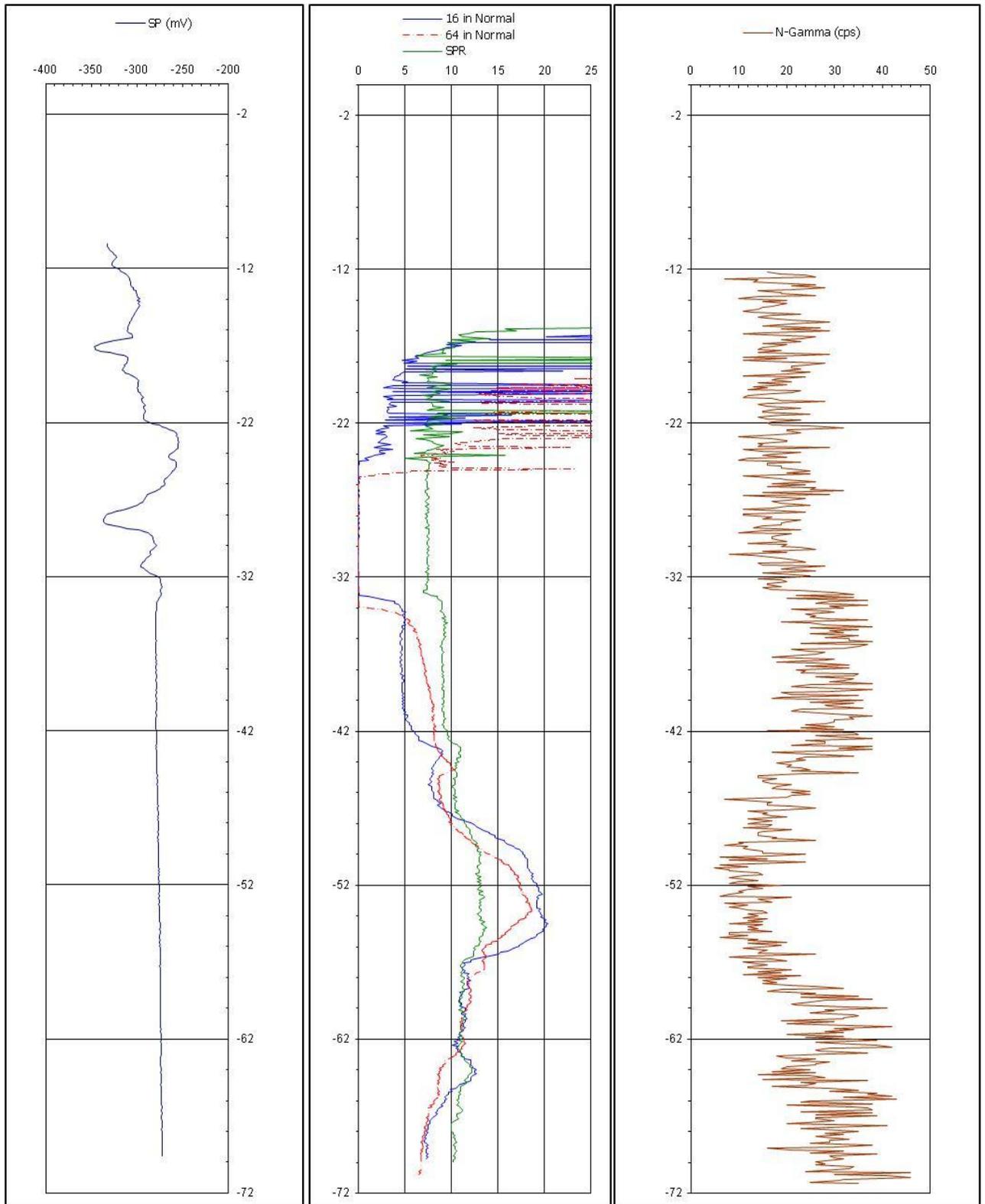


Figura 3. 10. Registro eléctrico pozo Morascale

3.2.4. LITOESTRATIGRAFIAS DE PERFORACIONES

Como se citó anteriormente en el marco teórico, la interpretación de los registros eléctricos tiene que ser apoyada con información geológica estratigráfica de las zonas donde se hayan realizado las perforaciones. Así se analizó los perfiles de perforación estableciendo las características litológicas, de textura, composición, profundidades de los estratos de acuerdo a la tabla 3.4.

LITOESTRATIGRAFIA DE LOS POZOS DEL GPA			
NOMBRE	PROFUNDIDAD	POTENCIA ESTARTO	LITOLOGIA
Acchayacu	24 m	24 m	Aluvial
	36 m	12 m	Aglomerado Rojizo con presencia de cuarzo
	79 m	43 m	Aglomerado Rojizo
	81 m	2 m	Arenisca oscura
Chilcatotora	81 m	81 m	Arcillas de color café oscuro
	24 m	24 m	Aluvial
Gullanzhapa	36 m	12 m	Caolín compacto blanco
	55 m	19 m	Caolín compacto verde
	87.5 m	32.5 m	Aglomerado amarillento
	99 m	11.5 m	Caolín compacto verdoso

Tabla 3. 4 Litoestratigrafía de los pozos del GPA

En el caso de las perforaciones de IMGOLD S.A ECUADOR, se tiene mayor información, incluso se hicieron ensayos sobre la conductividad hidráulica de los estratos permeables (Figura 3.11 y Tabla 3.5)

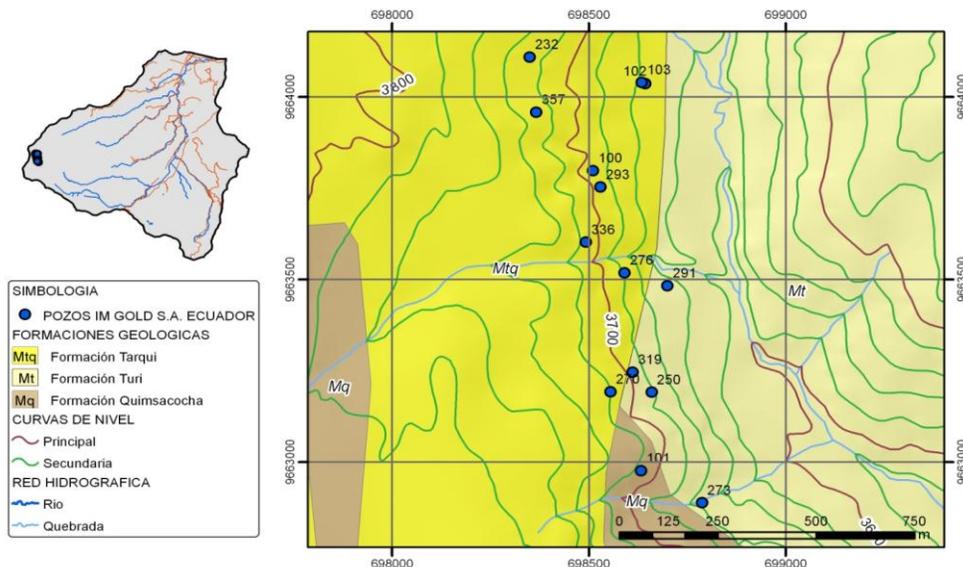


Figura 3. 11. Ubicación de las perforaciones de IMGOLD S.A ECUADOR



LITOESTRATIGRAFIA DE LAS PERFORACIONES DE IMGOLD

NOMBRE	PROF.(m)	K [m/día]	# LIT	L1-C-T	L2-C-T	L3-C-T	L4-C-T	L5-C-T
232	201,38	0.149475	5	Suelo	Lava-Andesítica-Pofirico	Toba-Andesítica-Gruesa	Toba-Andesítica-Clástica	Toba-Andesítica-Fina
250	249,55	0.3661	3	Coluvial	Toba-Andesítica-Gruesa	Lava-Andesítica-Micropofirítica	-	-
270	190,00	0.4988	4	Suelo	Toba-Andesítica-Gruesa	Lava-Andesítica-Afanítica	Toba-Andesítica-fina	-
273	199,64	-	2	Toba-Andesítica-Gruesa	Brecha-Hidrotermal	-	-	-
276	161,30	1.05535	4	Morrena	GF	Toba-Andesítica-Gruesa	Toba-Andesítica-fina	-
291	185,92	82.8595	4	Lava-Andesítica-Micropofirítica	Toba-Andesítica-Gruesa	Lava-Andesítica-Pofirico	Falla	-
293	173,30	16.7856	4	Coluvial-Clastos	Toba-Andesítica-fina	Toba-Andesítica-Gruesa	Brecha-Fracturada en mosaico	-
319	193,54	0.006	3	Suelo	Toba-Andesítica-Gruesa	Lava-Andesítica-Micropofirítica	-	-
336	195,07	0.07135	5	Morrena	Toba-Andesítica-Gruesa	Falla	Brecha-Freato-magmatica	Lava-Andesítica-Micropofirítica
357	178,30	100.4865	5	Suelo	Lava-Andesítica-Micropofirítica	Toba-Andesítica-Gruesa	Toba-Andesítica-fina	Lava-Andesítica-Porfirítica
100	181,15	1.101	5	Suelo	Lava-Andesítica-Micropofirítica	Toba-Andesítica-Afanítica	Toba-Andesítica-Clástica	Toba-Andesítica-Porfirítica
101	35,00	-	1	Toba-Andesítica-Gruesa	-	-	-	-
102	99,06	-	4	Suelo	Toba-Andesítica-Clástica	Lava-Andesítica-Micropofirítica	Brecha-Clástica	-
103	25,00	-	2	Suelo	Toba-Andesítica-Clástica	-	-	-

Tabla 3. 5. Litoestratigrafía de los pozos de IMGOLD S.A ECUADOR

3.2.5. AFLORAMIENTOS GEOLOGICOS

La litología recopilada se basó en salidas de campo en las cuales mediante información previa entregada por el departamento de Geomática del PROMAS se pudo corroborar si la información levantada coincidía con la cartografía entregada, existiendo algunas divergencias en algunos sectores en los cuales no coincidía el afloramiento de campo con la información existente, de tal manera que se procedió a darle mayor valor al dato levantado debido a que la cartografía base se encuentra en escala 1:25000, mientras tanto que una escala real puede ser objeto de grandes modificaciones.

Esta etapa de campo se realizó entre los meses de junio/julio y consistió en:

- ✓ Reconocimiento de vías y caminos de acceso.
- ✓ Planificación de cuatro rutas por las zonas más representativas de la subcuenca buscando cubrir la variación de la geología, aclarando que en algunos casos la limitación se dio por las vías de acceso.
- ✓ Ubicación y estudio de afloramientos, poniendo énfasis en sectores donde exista un cambio brusco de litología, donde se observen estructuras de interés y donde la información sea escasa.
- ✓ Descripción litológica de los afloramientos mediante fichas de campo que contienen información generalizada del talud y su entorno y recolección de muestras para su posterior análisis.
- ✓ Análisis e identificación de muestras para relacionar con información existente y su posterior ubicación en mapa SIG.



Figura 3. 12. Corte de Taludes en los que se evidencia los cambios de litología

3.2.5.1. TEXTURAS DOMINANTES

El mapa vectorial disponible de suelo fue digitalizado a partir de un mapa de suelos 1/50.000 de la cuenca del Tarqui. El mapa contiene información sobre la taxonomía de suelos, química del suelo, fertilidad, así como la textura del suelo. En las áreas en las que falta información sobre el suelo se les asignaron valores de la dominante del tipo de suelo en su vecindad inmediata. Como la codificación de las clases de textura de suelos en el mapa, difiere de la clasificación de textura de suelo estándar USDA utilizado en el modelo de WetSpa, el mapa se reclasificó sobre la base de una nota explicativa (Tabla



3.6) obtenido a partir de lo estipulado por Iñiguez (2007). El mapa de la textura del suelo se muestra en la Figura 3.13. Las texturas dominantes son franco arcilloso (43%), arcilla limosa (25%) y franco arenoso (25%) (Mbanguka, 2009).

CÓDIGO	TAMAÑO DE PARTÍCULAS	MAPA DE SUELOS DE TARQUI		WetSpa v2.1	
		CÓDIGO	TEXTURA/ DESCRIPCION	CÓDIGO	TEXTURA
g	arena gruesa	11	Fino, Medio, Grueso	1	Arena
		12	Arena arcillosa	2	Arena arcillosa
mg	moderadamente gruesa	21	Suelo franco arenoso fino a grueso	3	Franco arenoso
		22	Franco limoso	4	Franco limoso
m	mediano	31	Franca	6	Franca
		32	Limo	5	Limo
		33	Franco arcilloso (<35% de arcilla)	9	Franco arcilloso
		34	Franco arcillo arenoso	7	Franco arcillo arenoso
		35	Franco Arcillo limoso	8	Franco Arcillo limoso
f	fino	41	Franco arcilloso (> 35%)	9	Franco arcilloso
		42	Arcilla	12	Arcilla
		43	Arcilla arenosa	10	Arcilla arenosa
		44	Arcilla limosa	11	Arcilla limosa
mf	muy fino	51	Arcilla (> 60%)	12	Arcilla

Tabla 3. 6. Tipos de texturas de los suelos de la subcuenca del río Tarqui (Mbanguka, 2009)

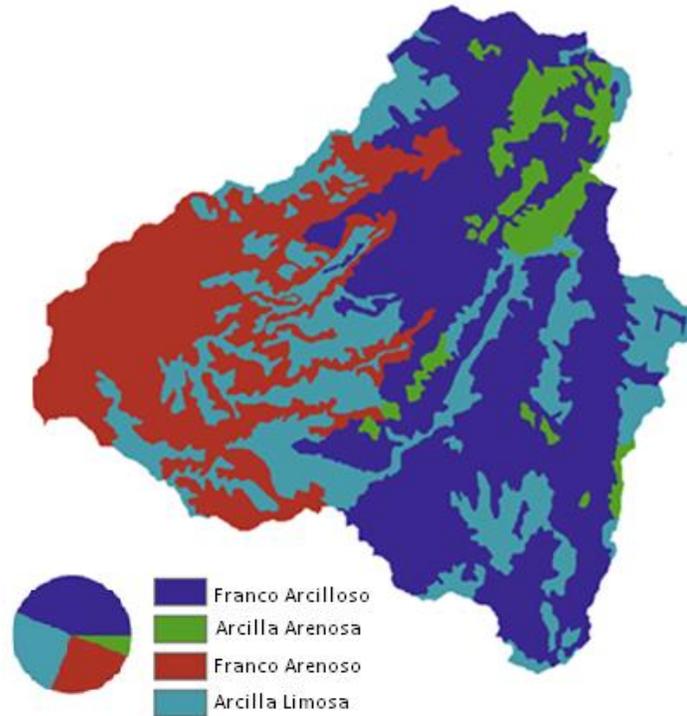


Figura 3. 13. Texturas de los suelos de la subcuenca del rio Tarqui (Mbanguka, 2009)

3.2.5.2. POROSIDAD EFICAZ

Para el caso de la porosidad, debido a la falta de información (no se cuenta con ningún tipo de ensayo de suelos que se haya realizado anteriormente en la zona), será basada simplemente en el tipo de suelo que se encuentre en cada punto levantado refiriéndose a la información del capítulo 2 (tabla 2.3) y la información de la tabla 3.12 se describirá únicamente la porosidad eficaz debido a que involucra factores como características del material y del fluido. Debido a que la distribución del tamaño de los poros se relaciona de manera directa con la conductividad hidráulica ya que mientras mayor sea la porosidad de los suelos se tiene una conductividad también mayor, por lo tanto es un parámetro de gran interés para el propósito que se han planteado desde un inicio, el cual es llegar a definir zonas características con mayor permeabilidad dentro de la subcuenca.

En la primera ruta, se atraviesa por las formaciones Mangan, Tarqui, Turi y Quimsacocha de los sectores de Victoria del Portete y Quimsacocha. (Figura 3.14. y Tabla 3.7)

DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS GEOLOGICOS

PNT	FORMACION	LITOLOGIA	PNT	FORMACION	LITOLOGIA
1.1	Mangan	Arenisca compacta con matriz arcillo limosa	1.5	Turi	Arenisca muy meteorizada, con presencia de lutitas
1.2	Tarqui	Toba con incrustaciones de	1.6	Turi	Arenisca compacta sobre

1.3	Turi	pómez Areniscas con caolín y tobas con conglomerados	1.7	Quimsacocho	toba compacta Roca volcánica con andesitas
1.4	Turi	Paquete de conglomerados y arenas			

Tabla 3.7. Primer recorrido para la descripción de los afloramientos

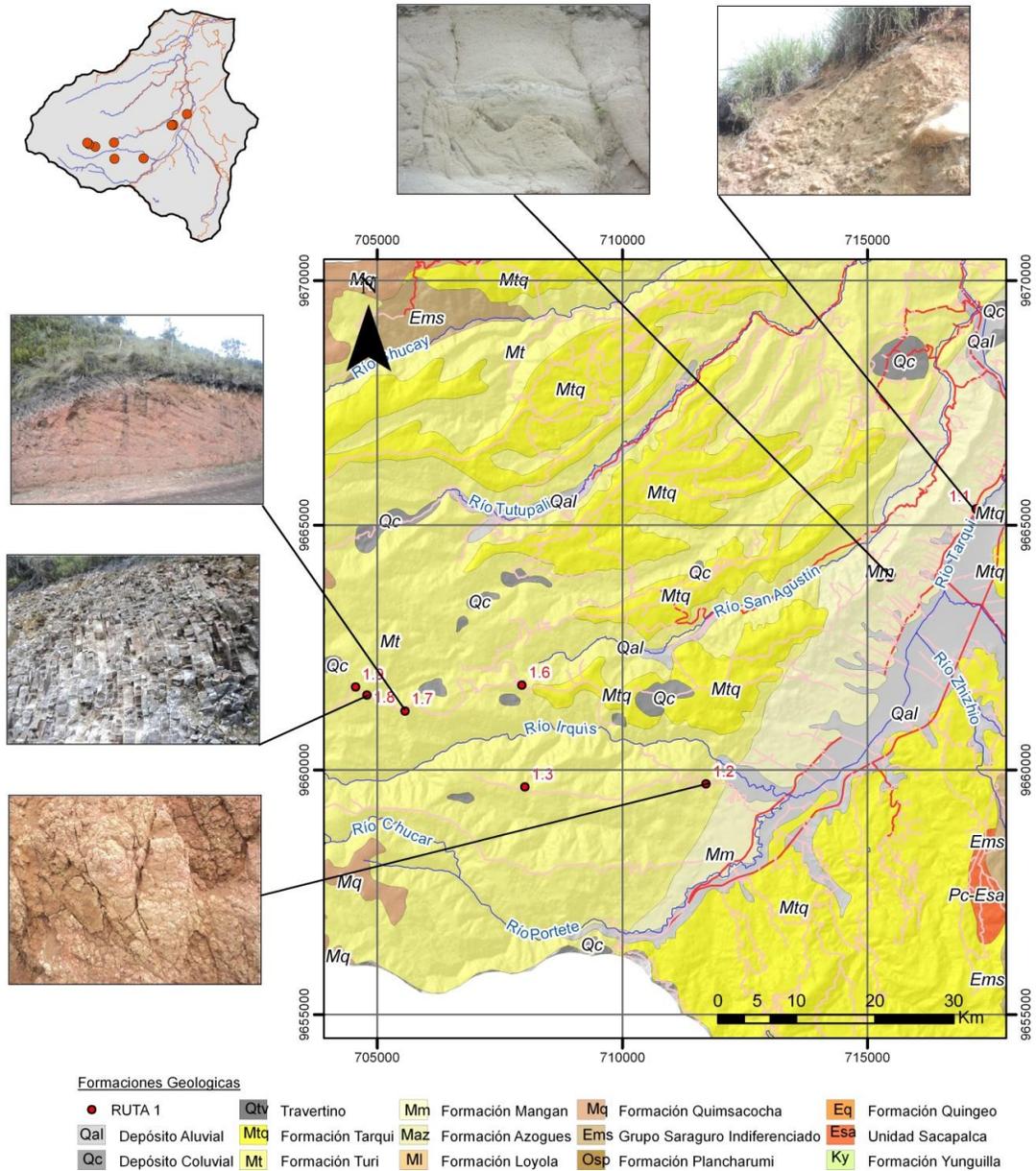


Figura 3.14. Ubicación Y fotografías de los afloramientos de la Ruta 1



En la segunda ruta, se atraviesa por las formaciones Turi, Tarqui y Yunguilla de los sectores de Zhucay, la Panamericana y Cumbe alto. (Figura 3.15 y Tabla 3.8)

DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS GEOLOGICOS

PNT	FORMACION	LITOLOGIA	PNT	FORMACION	LITOLOGIA
2.1	Turi	Arenisca fina con carbonato de calcio, limo y lutitas	2.11	Tarqui	Toba compacta de color rojizo y blanco
2.2	Turi	Arenisca blanca depositada	2.12	Tarqui	Toba de color café
2.3	Turi	Arenisca muy alterada con estratos de lutitas	2.13	Tarqui	Tobas de color café y rojas alteradas
2.4	Tarqui	Arcilla rojiza con presencia de pómez	2.14	Tarqui	Meteorizada con caolín
2.5	Turi	Arena muy fina con presencia de lutitas	2.15	Yunguilla	Argilitas meteorizadas
2.6	Turi	Arena muy fina con presencia de lutitas	2.16	Yunguilla	Argilitas meteorizadas
2.7	Turi	Conglomerados cubiertos por tobas de color blanco	2.17	Yunguilla	Argilitas meteorizadas
2.8	Tarqui	Aluvial muy fino y meteorizado	2.18	Yunguilla	Areniscas de color café amarillento
2.9	Tarqui	Tobas blancas amarillentas	2.19	Yunguilla	Areniscas
2.10	Tarqui	Roca alterada con toba y arcilla compacta	2.20	Yunguilla	Arcilla roja con presencia argilitas

Tabla 3. 8. Segundo recorrido para la descripción de los afloramientos

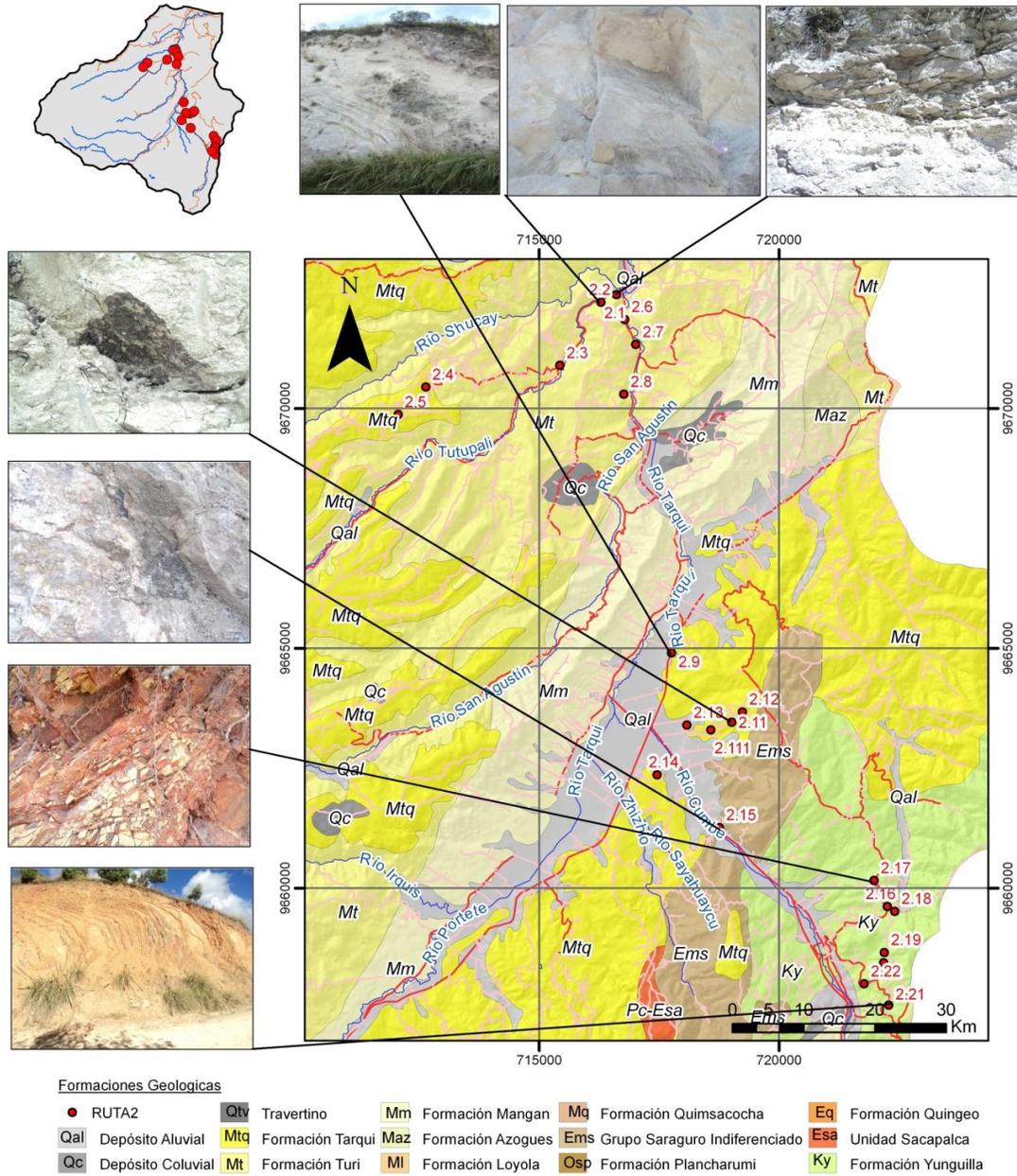


Figura 3.15. Ubicación y fotografías de los afloramientos de la Ruta 2



En la tercera ruta, se atraviesa por las formaciones Tarqui y Yunguilla de los sectores de vía Cumbe, Tarqui, la vía Cuenca-Loja y Chilcatotora alto. (Figura 3.16 y Tabla 3.9)

DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS GEOLOGICOS					
PNT	FORMACION	LITOLOGIA	PNT	FORMACION	LITOLOGIA
3.1	Tarqui	Caolín material muy diaclasado	3.7	Tarqui	Caolín
3.2	Tarqui	Arcilla con varios minerales, caolín oxido de hierro	3.8	Yunguilla	Argilitas negras muy diaclasadas
3.3	Tarqui	Material arcilloso brechificado	3.9	Tarqui	Brechas con clastos angulares y tobas
3.4	Tarqui	Caolín	3.10	Tarqui	Tobas
3.5	Tarqui	Roca con matriz arcillosa y de cuarzo	3.11	Tarqui	Incrustaciones de cuarzo
3.6	Tarqui	Tobas	3.12	Tarqui	Tobas amarillentas

Tabla 3. 9. Tercer recorrido para la descripción de los afloramientos

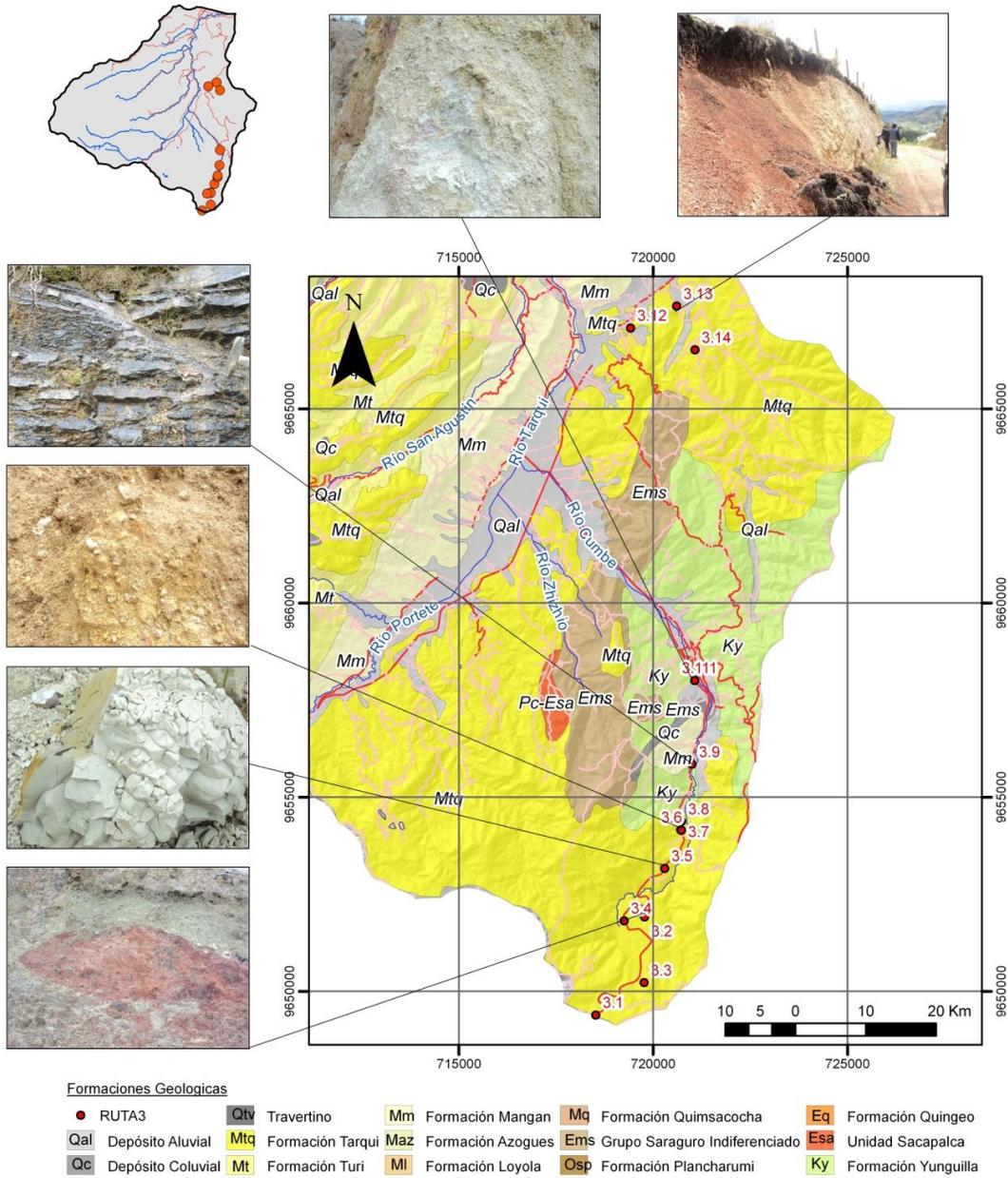


Figura 3.16. Ubicación y fotografías de los afloramientos de la Ruta 3

En la cuarta ruta, se atraviesa por las formaciones Tarqui, Turi y Azogues de los sectores de Turi, Acchayacu y Morascale. (Figura 3.17 y Tabla 3.10)

DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS GEOLOGICOS

PNT	FORMACION	LITOLOGIA	PNT	FORMACION	LITOLOGIA
4.1	Turi	Arenisca brechoide con clastos angulares y matriz arenosa	4.5	Aluvial	Conglomerado
4.2	Turi	Arenisca fina estratificada	4.6	Tarqui	Tobas amarillentas

4.3	Azogues	Lutitas con matriz arcillo limosa	4.7	Turi	Arcillas y areniscas
4.4	Turi	Lutitas			

Tabla 3. 10. Cuarto recorrido para la descripción de los afloramientos

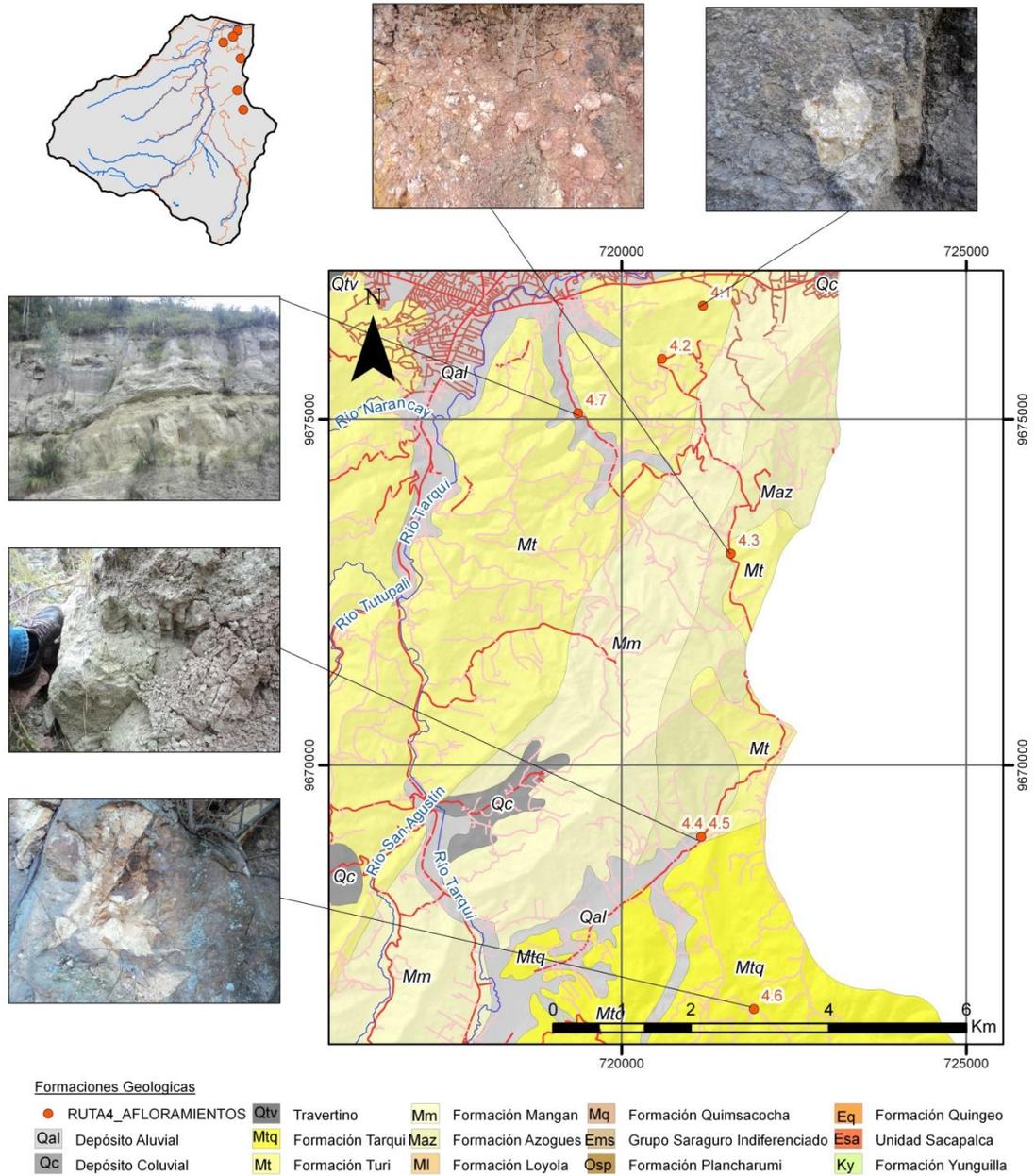


Figura 3.17. Ubicación y fotografías de los afloramientos de la Ruta 4

3.3. INSTRUMENTACION

En este número se describen los equipos utilizados para la recopilación de datos tanto por GPA como por la Universidad de Cuenca, todo esto para la generación de una base de datos que sirva de apoyo para estudios realizados en la actualidad y en lo posterior.

3.3.1 EQUIPO Y SENSORES PARA REGISTROS ELECTRICOS

Geologger Three

El medidor de resistividad del terreno es un equipo digital, que proporciona la lectura de resistividad aparente, el equipo completo está constituido por:

- Elevador de Voltaje,
- McOHM, medidor de resistividad de superficie, que también soporta algunas mediciones básicas en perforaciones (Robertson Geologging Ltd, 2000)
- Electrodos,
- Cables,
- Computador y software (Win Sev 5).

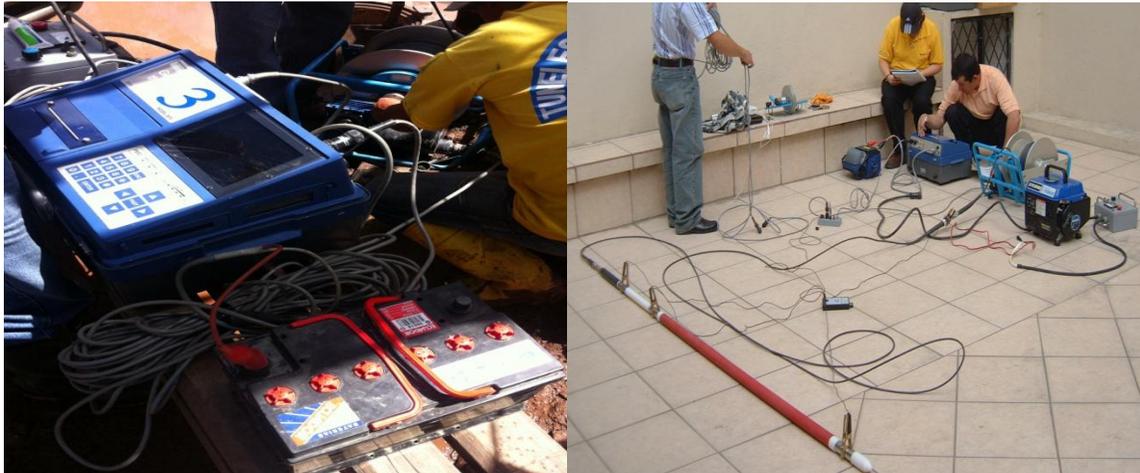


Figura 3.18. Fotografías del equipo de registros eléctricos

Equipo para Registro eléctrico en pozo:

Es el equipo que permite la medición de las resistividades eléctricas. Se utiliza cuando la perforación del pozo ha sido terminada y el procedimiento consiste en hacer descender los electrodos de corriente y potencial para medir las resistividades eléctricas del medio circundante en el pozo.

Mediante la respuesta de la formación al paso de una corriente, se obtiene un valor de resistividad y posteriormente un valor de potencial espontaneo (SP), con

lo cual se prosigue a calcular las diferente capas y su funcionamiento dentro de la columna litológica.

3.3.2. SENSORES DE NIVEL

Diver-Baro

El diver y baro son dispositivos electrónicos de medición y registro que almacenan datos en una memoria electrónica interna con un numero finito de mediciones, haciendo necesario un trabajo de monitoreo, que consiste en visitas periódicas a la estación para descargar información.

En la siguiente tabla 3.11 se muestra las especificaciones de sensores diver-baro

CARACTERISITCAS DE LOS SENSORES	
Dimensiones	22 mm de diámetro y 90 mm de longitud
Capacidad de almacenar	máximo 24000 mediciones por parámetro
Mediciones	Presión: se encuentra entre 10-100 m Temperatura: mínima -20 °C y máxima 80 °C
Precisión	Presión: menor a 5 cm de columna de agua Temperatura: máxima 0.1 °C

Figura 3.11. Especificaciones técnicas de los sensores diver-baro

La frecuencia de las visitas depende únicamente de la selección del intervalo de tiempo de medición escogido, que es el que condiciona la duración de la memoria.

En el caso de los pozos monitoreados por el PROMAS ubicados dentro de la subcuenca del Tarqui, el diver se encuentra sumergido en el agua y registra datos de nivel y el baro que está suspendido en el aire y registra información sobre presión atmosférica.



Figura 3.19. Fotografía de un dispositivo Baro

Sonda eléctrica

Su uso consiste en suspender un electrodo de un par de cables aislados, y un amperímetro indica que el circuito se ha cerrado y que la corriente circula al tocar el electrodo la superficie del agua. Para obtener la corriente se utilizan baterías o 4 pilas tipo C de 1.5 voltios cada una con un amperaje de 2200 mAh (SEBA HYDROMETRIE, 2009)

El cambio sufrido por el nivel del agua se mide con una escala vertical (cinta métrica) colocada paralelamente y a lo largo del cable, usando para ello una de las marcas metálicas las cuales el fabricante adhiere al cable cada 50 cm (para nuestro caso) y que sirven como referencia (Johnson, 1975).



Figura 3.20. Fotografía de una sonda eléctrica

3.4. METODOLOGIA USADAS EN LA CARACTERIZACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA

Los ensayos sobre Bombeo de pozos, que se tienen dentro de la subcuenca del río Tarqui conforman la base de referencia de valores típicos de Conductividad Hidráulica Saturada y están basados en la formulación de Jacob citada en el capítulo 2 sección 2.3.1 “Métodos de campo empleados en el trabajo”, por lo tanto el tipo de variable que está manejando es una “Conductividad Hidráulica Equivalente Saturada”, asignada al conjunto de capas considerados como una unidad de cada uno de los puntos de monitoreo.

Por otra parte, como se presentó en el capítulo de materiales y métodos, se recopiló información sobre la subcuenca integrada en una base de datos georeferenciada en el sistema WGS84 UTM17S, con información cartográfica, litológica y de estudios previos.

Dicha información procede de cuatro fuentes principales: 1) mapas y estudios geológicos locales; 2) estudios geofísicos; 3) registros litológicos y pruebas de bombeo de pozos de aprovechamiento de agua; y, 4) descripción de afloramientos en lugares estratégicos de la subcuenca del Tarqui.

En la Figura 3.21 se sintetiza el proceso de manejo de la información y en el Anexo 3 el esquema de ubicación de la información dentro de la base de datos.

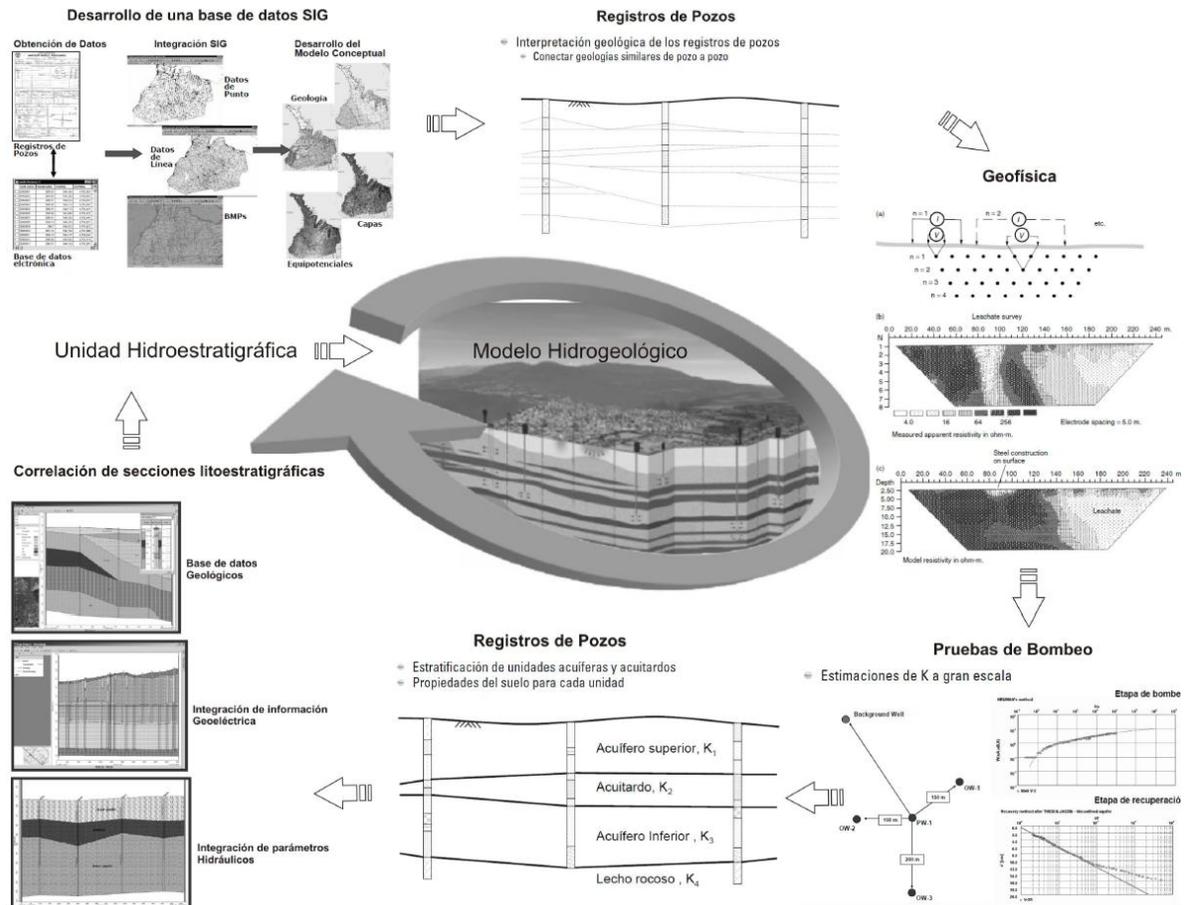


Figura 3. 21. Metodología empleada para la determinación de la conductividad hidráulica saturada

Una vez que la información este ordenada y referenciados los puntos de monitoreo entraremos en el proceso de tratamiento de información ocupándose las teorías descritas en el capítulo 2 y la información disponible detallada en el capítulo 3, con lo cual, obtendrá una tabla que integre las litologías de las formaciones geológicas con las características descriptivas de cada uno de los afloramientos, luego se van a estimar los valores de Conductividad Hidráulica saturada de las litologías a partir de valores medidos en campo dentro de la subcuenca, para así obtener un Mapa de Conductividades Hidráulicas puntuales basado en litología y características de los suelos dentro de la subcuenca del río Tarqui.

A continuación se describirán los pasos que nos llevarán a la caracterización del parámetro "K" dentro de la zona de estudio, además se especificará la ubicación de la información dentro de la base de datos generada.



3.4.1. ESTIMACION DE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.

La estimación de los valores de Conductividad Hidráulica Saturada, está basada en el método de la U.S. Soil Conservation Service, que propone intervalos de valores correspondientes a litologías típicas descritas en función de la textura, composición para nuestro caso, estas descripciones se encuentran detallados estos parámetros en el capítulo 2 sección 2.3.2.

Prioritariamente la evaluación de los valores de conductividad hidráulica saturada se fundamentará en las pruebas de bombeo y slug test descritas en el capítulo 2 sección 2.3.1, validando sus resultados en función de cuadros comparativos de valores de Conductividad Hidráulica y resultados obtenidos de ensayos realizados puntos cercanos al área de estudio nuestra.

Primeramente, se tomaran los valores de las pruebas de bombeo realizados por el GPA (capítulo 3 sección 3.1.6.2) para generar los valores de Conductividad Hidráulica según la teoría del Bombeo de Pozos citada ya anteriormente. Al ser estos valores representativos del pozo como tal y al no tener información sobre la ubicación de las rejillas por donde se infiltra el agua se procederá a analizar la Litoestratigrafía de cada uno de ellos (Tabla 3.4) estableciendo el estrato más permeable y de mayor potencia definiendo así la litología correspondiente a él valore de Conductividad hidráulica obtenido.

Los registros Eléctricos (figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10) serán usados para validar la información de la Litoestratigrafía que se tiene de los pozos dando mayor validez a la correlación planteada ya entre el valor de Conductividad Hidráulica obtenido y la litología ponderándola con el estrato de mayor potencia, verificando que corresponda a la litología más permeable. Los criterios que se manejaron para estas interpretaciones y relaciones están expuestos en el capítulo 2 sección 2.3.1.1 “Registros Eléctricos”. La ubicación de la información en la base de datos se presenta a continuación.

Pruebas de Bombeo: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS
SUBTERRNEAS_POZOS VALIDADOS TARQUI_ POZO
RESPECTIVO_Prueba de Bombeo].

Registros Eléctricos: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS
SUBTERRNEAS_POZOS VALIDADOS TARQUI_ POZO
RESPECTIVO_Registro Eléctrico].

Esta información procesada estará en un archivo conjunto de todos los puntos de monitoreo ubicado en:

Archivos SHP: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS
SUBTERRNEAS_AVANCES_MAPAS TESIS CONDUCTIVIDAD
HIDRAULICA_POZOS GPA].



Archivo XLS: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS
SUBTERRNEAS_INFORMACION BASE AGUAS
SUBTERRANEAS_PROYECTOS_PUNTOS DE MONITOREO_Tesis
Monitoreo)].

En segundo lugar, para trabajar los valores de Conductividad Hidráulica obtenidos por IM GOLD SA ECUADOR (Tabla 3.5), al igual que los pozos de GPA se buscara según la litoestratigrafía (Anexo 4), la litología que represente de mejor manera el valor obtenido en la prueba Slug Test descrita en el capítulo 2 sección 2.3.1.2. Y finalmente para validar esta información se compara con valores que se tengan de la zona. La información estará ubicada en la siguiente dirección:

Archivos SHP: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS
SUBTERRNEAS_AVANCES_MAPAS TESIS CONDUCTIVIDAD
HIDRAILICA_POZOS IMGOLD].

Finalmente se presentara una tabla que será a base de la interpretación de las litologías del trabajo en campo realizado, y en esta tabla se hará constar la fuente de la que se obtuvo el valor de Conductividad Hidráulica Saturada, la litología con la que se relaciono, la formación a la que pertenece esta interpretación y la textura correspondiente. El método anteriormente descrito facilita la caracterización del suelo en estudio desde el punto de vista de la conductividad hidráulica saturada, sin embargo para mayor confiabilidad se complementará con datos existentes para valores estimados en los suelos de la subcuenca, para así llegar a cuantificar la Conductividad Hidráulica correspondiente a determinada litología. El estudio realizado por Mbanguka (tabla 3.12) obtiene los valores basados en descripciones recolectadas de diferentes formaciones en publicaciones sobre la geología (Engineers, 1998); (M. Steinmann, 1999), e información obtenida en textos de hidrología de aguas subterráneas (Fetter, 1994); (Taigbenu, 1998); los rangos de los parámetros hidráulicos fueron estimados, para luego generar el modelo y optimizar estos valores en función de todos los parámetros obtener valores optimizados de Conductividad Hidráulica para las zonas de estudio. (Mbanguka, 2009)

TIPO DE FORMACIONES Y VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA		
Formación	Conductividad	
	hidráulica horizontal Optimizada (m/día)	Porosidad n
Pisayambo-Oeste	0.025	0.3
Pisayambo-Este	0.1	0.3
Turi	0.25	0.3
Depósito Aluvial	1	0.3
Yunguilla	0.05	0.3

Tabla 3.12 Valores de Conductividad Hidráulica del Modelo aplicado por Mbanguka.



3.4.2. LITOESTRATIGRAFIA DE LOS AFLORAMIENTOS Y CORRELACION CON LOS VALORES ESTIMADOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA.

La información presentada en el capítulo 3 sección 3.2.5.3 “Descripción de los afloramientos” fue recopilada según los criterios expuestos en el “Análisis Litológico y Textural (métodos indirectos)”, presentados en el Capítulo 2 sección 2.3.2 “Métodos Estimativos”.

Entonces luego del trabajo realizado en campo es necesario apoyarnos en información adicional (mapas y bases topográficas, imágenes satelitales, fotografías aéreas y modelos digitales de terreno, información geológica del área de estudio) para comparar, validar y relacionar la información levantada con las características que nos proporcionen la información adicional. En este punto hay que tener muy en cuenta la escala con la que han sido generados los mapas ya que las descripciones de los afloramientos in situ representan información de mayor veracidad.

El proceso descriptivo del suelo para cada afloramiento se completará señalando cada una de las siguientes características, que nos ayudarán a dar un valor más cierto sobre la capacidad de infiltración del punto descrito.

Texturas- para este punto nos vamos a ayudar de la información expuesta en la Tabla 3.6, la Figura 3.13, que define así 4 tipos de rangos dentro de la subcuenca del río Tarqui, esto es según los criterios del mapa de suelos elaborado por Mbanguka, 2009 y explicado debidamente en el capítulo 3 sección 3.2.5.1. Adicionalmente se tiene otra información emitida en un informe sobre perforaciones de IM GOLD en la zona de Quimsacocha (Tabla 3.5), que define 6 tipos de texturas explicadas debidamente en el capítulo 2 sección 3.2.5.1.

Porosidad.- esta descripción está basada en el mapa edafológico de la subcuenca entregado por el PROMAS departamento de Geomática y descrito en el capítulo 2 sección 2.3.2.1.

Clasificación Hidrogeológica.- basada en información descrita en el capítulo 2 sección 2.3.2.1.

Moteado y color.- realizado mediante inspección visual esto es descrito en campo o posteriormente con las muestras tomadas in situ.

Finalmente se generará la Tabla de Resumen de la Descripción de los afloramientos geológicos, describiendo cada una de las características citadas anteriormente. Para la estimación de la Conductividad Hidráulica de cada uno de los afloramientos se usan los siguientes criterios.-

- ✓ Similitud en la composición litológica.
- ✓ Formación geológica a la que pertenece el afloramiento.
- ✓ Tipo de textura del suelo.



- ✓ Comparación con valores existentes investigados en bibliografía.

Los cuales están explicados en el capítulo 2. La ubicación de la información usada en este punto se detalla a continuación.

Resumen de Afloramientos: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS SUBTERRNEAS_INFORMACION BASE AGUAS SUBTERRANEAS_PUNTOS DE MONITOREO_info PUNTOS estudio]

Archivos SHP: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS SUBTERRNEAS_AVANCES_MAPAS TESIS CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA_CH Afloramientos]

Información edafológica: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS SUBTERRNEAS_INFORMACION BASE AGUAS SUBTERRANEAS_TEMATICA _ EDAFOLOGIA_suelos50k.shp]

Archivos MXD: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS SUBTERRNEAS_AVANCES_MAPAS TESIS CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA_LAYOUTS_CH puntos y zonas].

3.4.3. ANALISIS Y CARACTERIZACION DE LOS VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI

A partir del estudio y análisis de datos previamente expuestos se integrará toda la información procesada teniendo en cuenta el radio de influencia de cada uno de los valores que estará definido por la distancia en la que se encontró el cambio litológico. En este análisis se incluirá toda la información sobre límites de zonas semejantes en nuestro caso la Geología y la porosidad llegando a expandir los diferentes valores de conductividad zonificando la subcuenca y de generando un mapa que cuente con información validada y de un grado de confiabilidad consecuente con los resultados obtenidos y los criterios aplicados para su obtención y posterior correlación con otros puntos.

Por lo tanto finalmente obtendremos mapas geológicos del área de estudio, que identifiquen las unidades litológicas sedimentarias que pudieran estar presentes en el subsuelo y además relacionarlas con capacidades de permeabilidad es decir con los valores que se generaran según la metodología de 3.4.2. Estos resultados serán presentados en un proyecto generado en Arc Gis ubicado en:

Archivos MXD: [Tesis Pregrado_TESIS AGUAS SUBTERRNEAS_AVANCES_MAPAS TESIS CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA_LAYOUTS_CH clasificación US SOIL CONSERV, Variabilidad interpolación CH, CH función de geología].

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. ESTIMACION DE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.

Como se vio anteriormente esta característica es de difícil cuantificación, sin embargo basados en la información disponible se usaron métodos alternativos cuya respuesta se consideran como valores medios de Conductividad Hidráulica y representarían la conductividad combinada de las capas conformadas como unidades más permeables.

4.1.1. VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA DE LAS PERFORACIONES CORRESPONDIENTES AL G.P.A.

En las figuras 4.1 a 4.4 se muestran las graficas correspondientes a las pruebas de bombeo definitivas en donde se puede observar el ajuste lineal cuyo procedimiento se detalló en el capítulo 2 sección 2.3.1.1 “bombeo de pozos”. En la Tabla 4.1 se tienen los distintos valores de transmisividad y conductividad hidráulica de cada pozo, en la que tanto la pendiente como el tiempo se obtienen de manera gráfica, no siendo así el espesor b del acuífero, para el cual es tomado una aproximación, teniendo en cuenta el diseño del pozo y en especial el número de filtros el cual es tomado como el valor de b y mediante el cálculo de la transmisividad con la ecuación 20 se puede llegar a determinar la conductividad hidráulica de cada pozo. Los datos obtenidos de las pruebas de bombeo se presentan en el anexo 5.

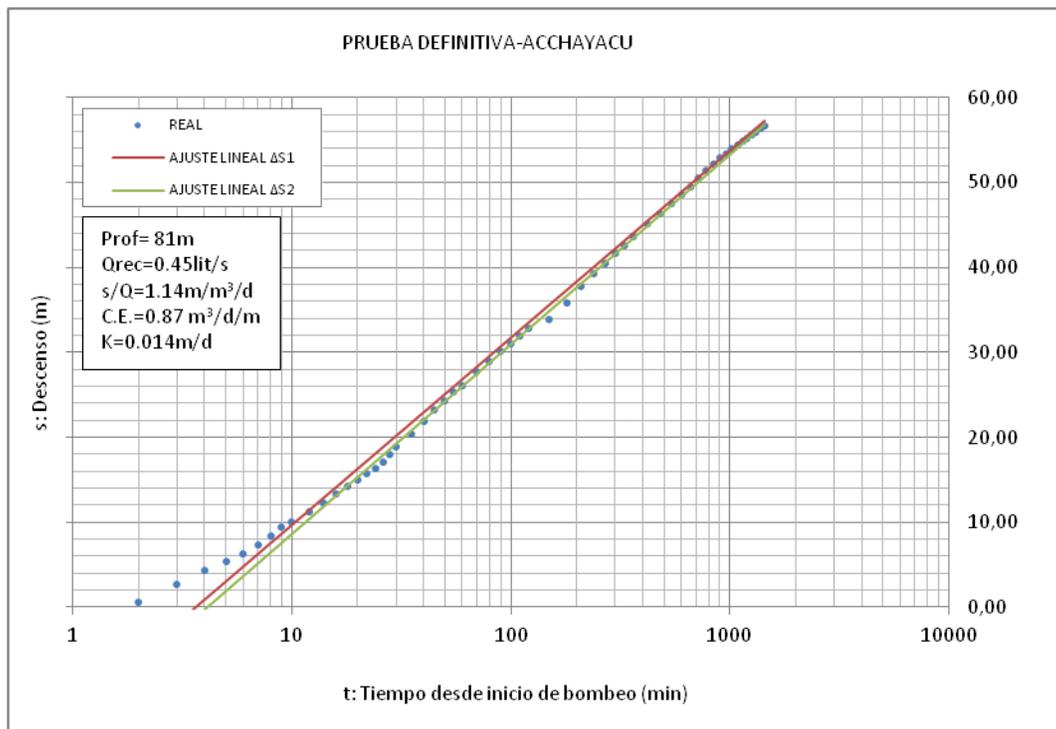




Figura 4.1 Prueba de bombeo definitiva a partir de un caudal de operación 0.45 lit/seg

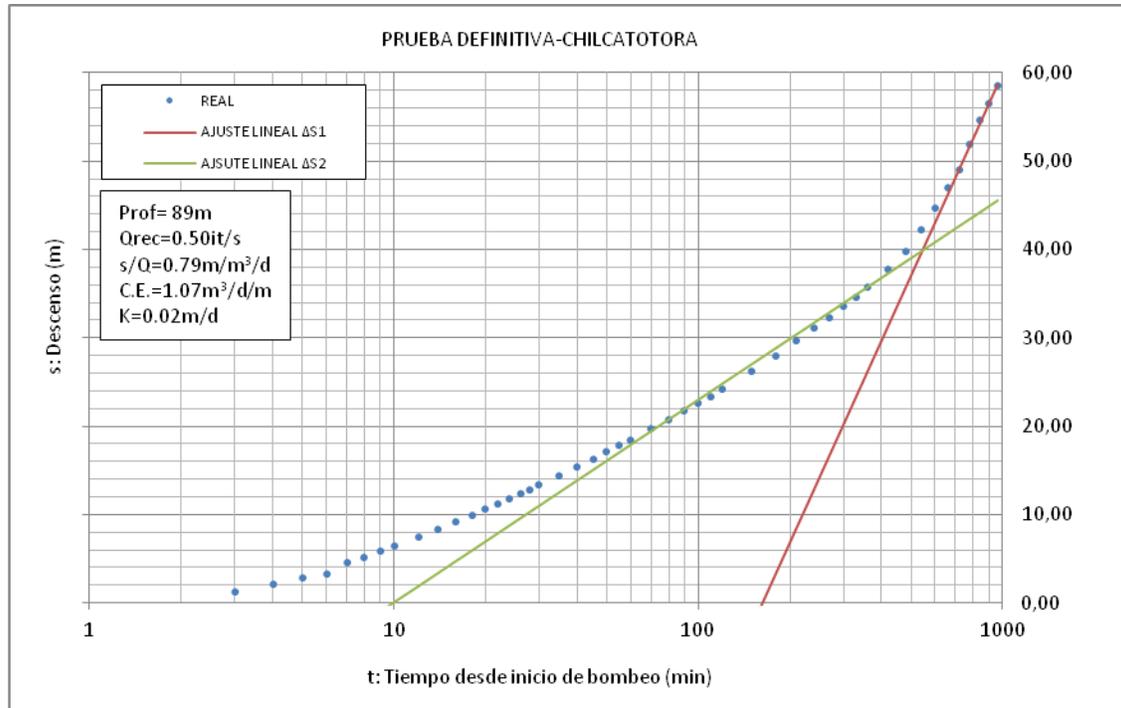


Figura 4.2 Prueba de bombeo definitiva a partir de un caudal de operación 0.50 lit/seg

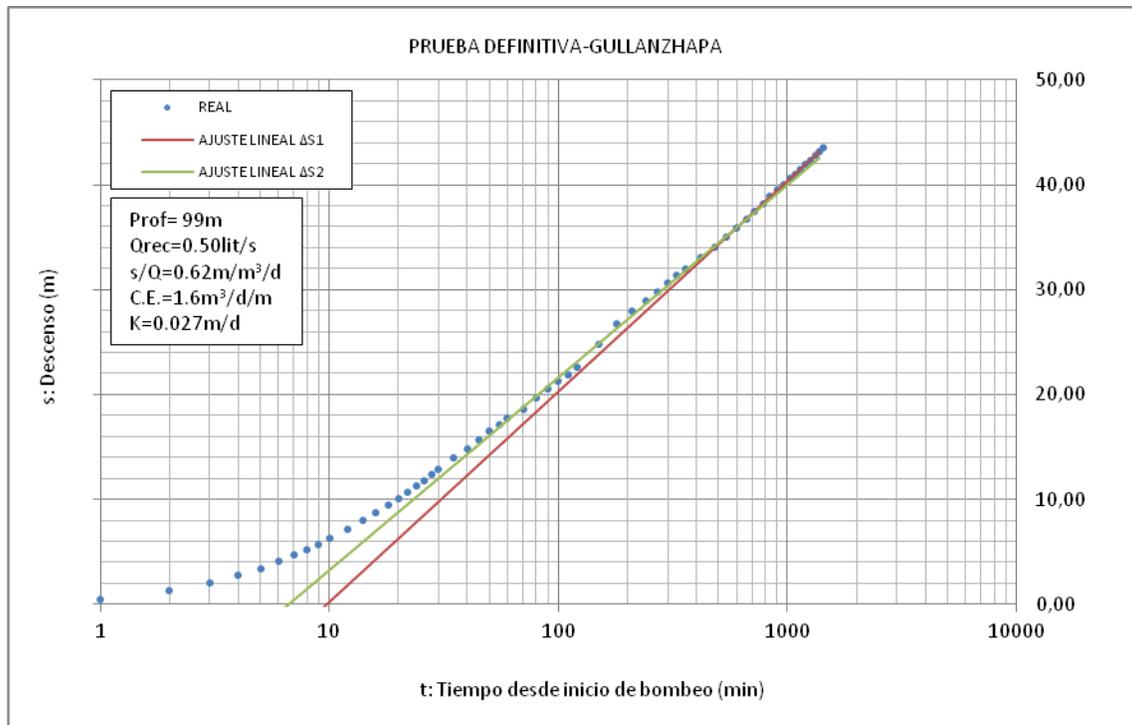


Figura 4.3 Prueba de bombeo definitiva a partir de un caudal de operación 0.50 lit/seg

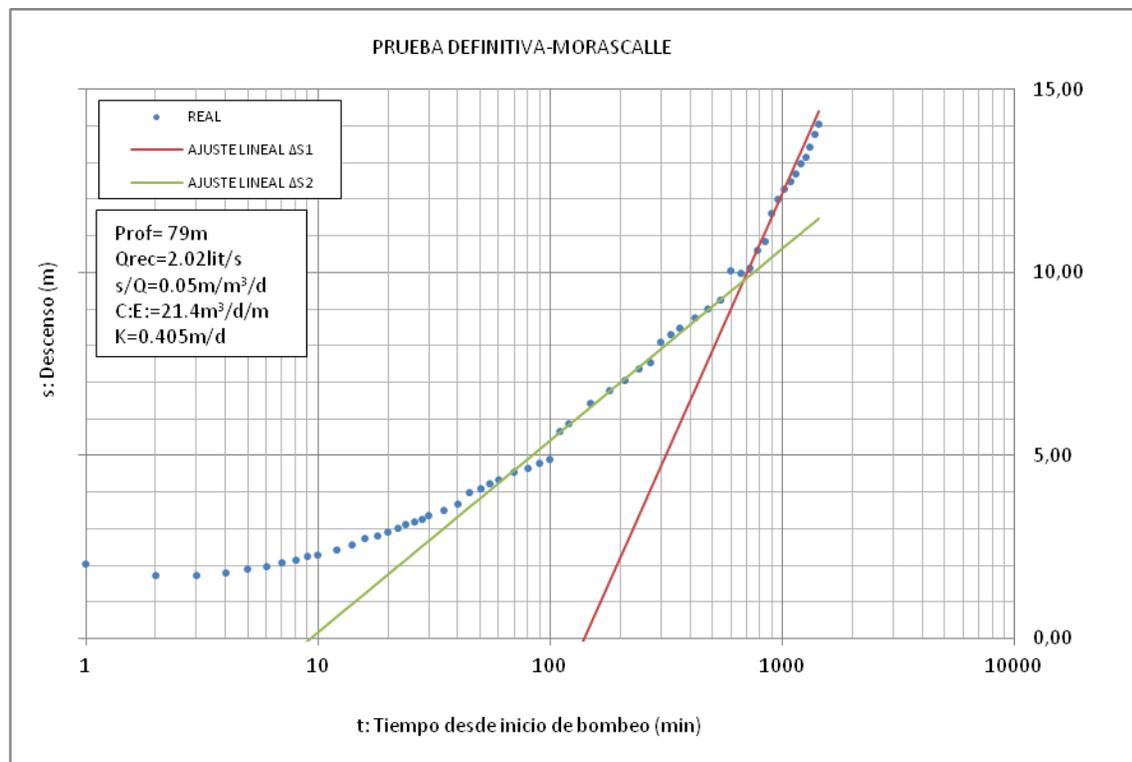




Figura 4.4 Prueba de bombeo definitiva a partir de un caudal de operación 2.02 lit/seg

De la digitalización y validación de datos entregados por el GPA y de acuerdo a la metodología citada 3.4.2. correspondiente a la estimación de valores de Conductividad Hidráulica se han generado los siguientes resultados de los pozos presentados en la Tabla 4.1., observándose que todos los valores son semejantes, sin embargo en el pozo de Morascale la conductividad hidráulica es distinta a la de los otros tres pozos, lo que hace pensar que en este sector puede existir una mayor probabilidad de infiltración de agua a través del suelo, esto será confirmado o se descartará luego de analizar la información adicional de la pruebas realizadas en cada uno de los pozos.

POZO	TIEMPO (min)	PENDIENTE (ΔS) (m)	TIEMPO (t_0) (día)	ESPSOR (b) (m)	TRANSMISIBILIDAD (T) (m ² /día)	C. HIDRAULICA (K) (m/día)
ACCHAYACU	45 - 540	18.1925	1.68E-03	27.0	0.4	0.014487
	720 - 1080	22.8909	3.17E-03	27.0	0.3	0.011514
CHILCATOTORA	45 - 540	15.8942	2.42E-03	24.0	0.5	0.020728
	720 - 1080	59.2311	7.12E-02	24.0	0.1	0.005562
GULLANZHAPA	45 - 540	15.9596	2.50E-03	18.0	0.5	0.027524
	720 - 1080	18.5509	5.02E-03	18.0	0.4	0.023679
MORASCALLE	45 - 540	4.3635	2.16E-03	18.0	7.3	0.405833
	720 - 1080	6.3619	4.17E-02	18.0	5.0	0.278355

Tabla 4.1 Valores de la conductividad hidráulica de los pozos del GPA ubicados en la subcuenca del Tarqui.

Ahora en cada uno de los pozos la información es validada relacionándola con la litología y con los registros eléctricos que se han realizado. Por lo que a continuación se presentan las interpretaciones de los pozos generadas en función a los monitoreos y estudios realizados.

4.1.1.1. INTERPRETACIONES DE LOS POZOS DEL GPA.

Interpretando la información correspondiente a los registros eléctricos se ha generado para cada caso una descripción de las características y los sucesos hidrogeológicos de cada uno de los pozos que se presenta a continuación, también cabe recalcar que la ponderación de la conductividad hidráulica en



función de la potencia de los estratos resulta una aproximación no muy fiable debido a que no siempre el estrato de mayor potencia resulta el más permeable por lo que al apoyarnos con la litología se obtendría de alguna manera valores más consistentes.

Sector Acchayacu

Como se puede ver en el registro eléctrico de la figura 3.7 específicamente en las ondas corta, luego de los 25 primeros metros se los interpreta como material muy permeable con presencia de agua, lo que es consecuente ya que estamos en la zona de nivel freático., el valor se mantiene en un promedio de 5ohm-m representando un valor muy bajo al que se le puede atribuir como un material arcilloso. El registro de rayos gama no es muy representativo para este caso porque la mayoría del material es arcilla por lo que no se registran cambios sustanciales, pero en el potencial espontaneo hay una tendencia a negatividad en los 35 m lo que significa la presencia de agua mineralizada. Validando la interpretación con la litología del pozo se evidencia la presencia de un aglomerado de matriz arcillosa en la mayoría del pozo lo que se muestra en la figura 4.5

PROFUNDIDAD (m)	K PONDERADA (m/día)	POTENCIA (m)	LITOLOGIA
24	0.004148	24	Aluvial
79	0.009506	55	Aglomerado rojizo
81	0.000346	2	Arenisca

Figura 4. 5 Litoestratigrafía interpretada del pozo de Acchayacu

Por lo tanto si el pozo tiene una conductividad hidráulica de 0.014 m/día al ponderar este valor en función de la potencia, el estrato con mayor conductividad en este caso resultaría el aglomerado rojizo con 0.009506 m/día. La certeza de este resultado sería asegurar que un aglomerado es más permeable que un aluvial lo cual puede resultar no muy cierto ya que depende de la composición y origen de cada uno, su composición al contener ambos material grueso resulta similar pero su origen no lo es, sin embargo debido a la escases de información ya que no se cuenta con el diseño de los pozos no se puede saber exactamente en donde fueron colocados los filtros y por lo tanto hablar de que estrato es el más representativo en términos de conductividad hidráulica.

Sector Gullanzhapa

En los registros eléctricos de este pozo las resistividades presentan dos variaciones considerables en los tramos comprendidos entre 45 a 55 m y 85 a 99

m, debido a que las resistividades disminuyen puede hablarse que se trata de un material poco permeable, prueba de ello puede observarse en la tabla 3.4 donde el material que constituye estos tramos está compuesto por caolín compacto que se forma a partir de la alteración hidrotermal de las tobas, el rango de resistividad en la que se encuentra el caolín también concuerda con la descripción de la tabla 2.7, asumiendo al caolín como toba puesto que es una derivación de la misma.

En los tramos restantes el comportamiento es más uniforme por lo que se asume que se encuentra entre ellos el estrato más permeable cuyas resistividades se encuentran entre 8-20 ohm-m, clasificando a este material como Aglomerado según la tabla 2.7, y debido a su similitud con el pozo de Acchayacu esta descripción se complementa con la información de la tabla 3.4 que se asemeja bastante bien.

PROFUNDIDAD (m)	K PONDERADA (m/día)	POTENCIA (m)	LITOLOGIA
24	0.011681416	24	Aluvial
55		31	Caolín Compacto
87.5	0.015818584	32.5	Aglomerado Amarillento
99		11.5	Caolín Compacto

Figura 4. 6 Litoestratigrafía interpretada del pozo de Gullanzhapa

En este caso particularmente para realizar la ponderación se eliminó la influencia del caolín debido a que este constituye un material muy fino formado por arcillas lo cual se comprobó en las visitas de campo, nuevamente resultando el aglomerado, en este caso amarillento el estrato con mayor conductividad hidráulica con 0.01581 m/día, de un total de 0.0275 m/día.

Sector Chilcatotora

En este pozo podemos observar en la figura 3.9, se trata de un material de resistividad eléctrica mucho más alta lo que nos dice que se trataría de presencia de agua dulce con un nivel freático bastante alto o de un estrato de material grueso, ya que la variabilidad del valor de resistividad se encuentra entre los 5 y los 70 ohm-m, y además con la interpretación del material de perforación que nos dice que solo corresponde a una arcilla, vemos que llegar a una correlación litología-registro eléctrico no es factible por lo que la interpretación de el material se descarta debido a los contenedores del material extraído no se encontraban referenciados y se pudo dar una confusión.



Entonces, según la Tabla 2.7 en la que valores de 8-32 ohm-m corresponden a arcillas y valores de 4-55 ohm-m corresponde a arenas o gravas y a valores de hasta 85 a arenas basálticas en estado saturado la interpretación del registro correspondería a la siguiente, aluvial hasta los 30 m, toba y en algunos tramos debido al comportamiento de los registros puede presentarse una textura más permeable. El pozo está en la formación Tarqui y como se vio en los levantamientos la litología que domina es la toba por lo que se la puede ligar con esta información e interpretar como tobas, lo que se muestra en la figura 4.7

En este pozo la conductividad hidráulica es de 0.02 m/día, al realizar la ponderación se descartó la posible presencia de material más fino debido a ciertas perturbaciones en los registros eléctricos como manera de simplificación ya que no se conoce la litoestratigrafía de este pozo, tomando toda la potencia de 59 m como toba, por lo que resulta ser el estrato más dominante con una conductividad hidráulica de 0.01325 m/día.

PROFUNDIDAD (m)	K PONDERADA (m/día)	POTENCIA (m)	LITOLOGIA
30	0.006741	30	Aluvial
89	0.01325	59	Toba

Figura 4.7 Litoestratigrafía interpretada del pozo de Chilcatotora

Sector Morascale

El comportamiento de las resistividades es similar al del pozo de Chilcatotora, con la diferencia de que presenta resistividades mucho menores que se encuentran en un rango de 5-20 ohm-m y además teniendo en cuenta que entre los 42 a 62 m de profundidad se puede apreciar un aumento considerable de resistividad lo que conduce a pensar que se atraviesa un estrato permeable. De acuerdo con las tablas que se han descrito el material en una primera instancia representa una aluvial, cuando la resistividad aumenta se puede hablar de la presencia de una arenisca este se valida con la descripción del afloramiento 4.5 de la tabla 3.10,



debido a que no se cuenta con la litología del pozo la única fuente para validar esta información es la geología de la subcuenca presentada en la figura 4.8

Al no contar con la información suficiente sobre este pozo el cual tiene una conductividad hidráulica de 0.405 m/día, la interpretación para cada estrato da como resultado al realizar la media ponderada que el depósito aluvial al contar con mayor potencia es al se le atribuye mayor conductividad hidráulica con 0.1605 m/día, en el caso del material arenoso también cuenta con una conductividad hidráulica representativa en relación a los estratos de material arcilloso, lo que hace pensar que en el diseño del pozo pudieron haberse colocado filtros en este estrato.

PROFUNDIDAD (m)	K PONDERADA (m/día)	POTENCIA (m)	LITOLOGIA
32	0.16405	32	Aluvial
42	0.051265	10	Material Arcilloso
62	0.102531	20	Material Arenoso
72	0.051265	10	Material Arcilloso

Figura 4. 8 Litoestratigrafía interpretada del pozo de Morascalles

4.1.2. VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA DE LAS PERFORACIONES CORRESPONDIENTES A IM GOLD S.A. ECUADOR

Estas, como se vio anteriormente en la Figura 3.11 están referidas a una zona más puntual que es la de Quimsacocha esperando en esta zona las formaciones de Turi, Tarqui y Quimsacocha, a pesar de que solo se tiene información sobre la conductividad Hidráulica de pozos que están en las formaciones de Turi y Tarqui. Se debe mencionar que el criterio para la ubicación de los pozos está expuesto en el informe generado por el PROMAS del proyecto de IM GOLD en el que se enuncia que las perforaciones atravesaran litologías más permeables en este caso las tobas porque son las de mayor potencia en cada perforación. (PROMAS, 2008) Con esto se trabaja La Tabla 4.2 que define litologías, formaciones y valores de Conductividad Hidráulica de los ensayos realizados.



VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA LIGADOS A LITOLOGIAS

FORMACION	NOMBRE	PROFUNDIDAD (m)	K PROMEDIO (m/d)	LITOLOGIA DE MAYOR PERMEABILIDAD	TEXTURA	POTENCIA (m)
TARQUI	232	201,38	0.149475	Toba Andesitica	Gruesa	70
	357	178,30	100.4865	Toba Andesitica	Clástica	
	100	181,15	1.101	Toba Andesitica	Gruesa	136
	293	173,30	16.7856	Toba Andesitica	Clástica	38
				Brecha	Fracturada	93
	336	195,07	0.07135	Toba Andesitica	Gruesa	171
	276	161,30	1.05535	Toba Andesitica	Gruesa	132
	319	193.54	0.006	Toba Andesitica	Gruesa	171
TURI	270	190	0.4988	Toba Andesitica	Gruesa	188
	250	249,55	0.3661	Lava Andesitica	Gruesa	50
				Toba Andesitica	Gruesa	198

Tabla 4.2 Valores de Conductividad Hidráulica para las litologías de las perforaciones del sector de Quimsacocha

La información expuesta en la tabla anterior se debe manejar con mucho cuidado ya que para esto se tomaron los estratos más permeables de cada perforación para definirlos como paquetes litológicos que consisten en una sola litología, cuando en una excavación se presenta una misma litología a diferentes profundidades el conjunto de iguales litologías representa el paquete litológico. Además se debe acotar que en los piezómetros 357, 291 y 293 hay una alta probabilidad de que exista una grieta por su gran capacidad de desalojar el agua de la prueba (PROMAS, 2008). Esta información se encuentra en el Anexo 6.

Hay que tomar en cuenta que contamos con la potencia de los estratos lo cual es vital para saber el porcentaje de aporte de agua de cada estrato hacia el pozo, los cuales están presentados en el Anexo 4.

Entonces lo primero que podemos decir es que la litología dominante en ese sector es la Toba Andesítica, de la cual si nos fijamos en los pozos 336, 276, 270, 319 y 232 se tiene paquetes litológicos permeables y de mayor potencia correspondientes a Tobas Andesíticas Gruesas y Finas, con los valores de Conductividad Hidráulica de 0.07, 1.05, 0.49, 0.006 y 0.149 respectivamente, las potencias de los estratos están expuestas en el anexo 4 en la que se evidencia que litología es la dominante en el pozo. Entonces podemos concluir que el rango de variabilidad de la Conductividad Hidráulica de las Tobas Andesíticas de textura Fina a Gruesa es de 0.006 a 1.05 m/día.

La perforación 293 presenta un paquete litológico en el cual la litología predominante por potencia es una Brecha Fracturada a la cual se le atribuirá un



valor de Conductividad Hidráulica de 16.78 m/día. De acuerdo a investigaciones realizadas por el Ing. Coello C. en suelos degradados en la cuenca del Jadan, los rangos de conductividades hidráulicas saturadas para una textura arenosa en el sector de Mosquera están alrededor de 0.71 a 0.32 m/día, lo que conlleva a pensar en una brecha totalmente fracturada o la presencia de una grieta por donde esta escurriéndose el agua. Este valor no será tomado en cuenta para la caracterización ya que es muy alto comparándolo con los otros valores de esta zona.

Para una Toba Andesítica de textura Clástica se tiene de referencia el pozo 100 en el cual su potencia corresponde a 136m con un valor de Conductividad Hidráulica de 1.101 m/día.

4.1.3. INTEGRACION DE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA CON LITOLOGIAS Y MATERIALES REPRESENTATIVOS

La Tabla 4.3 presentada a continuación es un resumen de los resultados expuestos anteriormente más valores de Conductividad Hidráulica de litologías que nos van a servir para correlacionar la Conductividad Hidráulica con los Afloramientos.

FORMACION	LITOLOGIA	TEXTURA	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)	FUENTE
Deposito Aluvial	Material arenoso		1 0.1605	Mbanguka GPA
Tarqui	Tobas Andesíticas	Gruesa a fina	0.006-1.05	IM GOLD
	Tobas Andesíticas	Clástica	1.101	IM GOLD
	Brecha	fracturada	16.78	IM GOLD
	Aglomerado amarillento		0.01581	GPA
	Toba		0.01325	GPA
Turi	Toba andesítica	Gruesa a fina	0.49	IM GOLD
			0.25	Mbanguka
Pisayambo Este			0.1	Mbanguka
Pisayambo Oeste			0.025	Mbanguka
Mangan	Aglomerado rojizo		0.009506	GPA
Yunguilla			0.05	Mbanguka
	Arcilla		10E-6-10E-3	Fetter
	Arena	Fina	0.01-1	Fetter
	Areniscas		3E-5-0.5	Domenico
	Argilitas		10E-6-0.001	Domenico
	Lutitas y Pizarras		10E4-10E-8	Fetter



Basalto		10E-6-10E-3	Smith y W.
Basalto	Fracturado	10-1000	Smith y W.
Caliza		0.05-0.5	Smith y W.

Tabla 4.3 Valores estimados de Conductividad Hidráulica Saturada para los suelos de la subcuenca del río Tarqui.

Analizando los resultados de la tabla es claro que existen algunos valores que no serán tomados en cuenta porque ya sea que pueden presentar valores muy altos o muy bajos de conductividad hidráulica de acuerdo al tipo de material que les corresponda. Además se debe advertir que las formaciones pueden presentar el mismo material sin embargo no quiere decir que deban tener la misma conductividad hidráulica ya que depende del origen y la composición que cada formación tenga. En general si se cuenta con la formación y la litología de esta, resulta muy útil asignarle un valor puntual de conductividad a cada afloramiento, teniendo en cuenta como ya de mencionó que no todos los valores son representativos para las distintas litologías.

Para el caso del depósito aluvial al tener una composición de gravas y arenas lo ideal sería asignarle valores que de acuerdo con Domenico son ≥ 0.1 m/día por lo que concuerda con la información de la tabla 4.3. Sin embargo el depósito aluvial ha sido caracterizado con un único valor que es de 1 m/día debido a que este es un valor que fue optimizado por Mbanguka y no una aproximación como el de 0.1 m/día.

En la formación Tarqui, la toba es el material predominante encontrado en campo, sin dejar de lado el caolín y la arcilla. Aunque no se cuenta con información de la toba en la tabla 2.6, si existe información recopilada y validada en la tabla 4.3, en la que el rango de valores de conductividad hidráulica se encuentra entre 0.006-1.05 m/día, pero el mínimo valor asignado a esta formación en la tabla 4.4, que corresponde a los suelos identificados en los afloramientos es de 0.001 m/día que corresponde al valor inferior de una arcilla de acuerdo a Fetter y en cuanto al caolín por su composición que contiene arcilla blanca y además es una derivación hidrotermal de la toba se le asignó en la tabla mencionada, el valor inferior del rango de la toba, es decir 0.006 m/día y además teniendo en cuenta que en las salidas de campo el caolín se encontraba muy consolidado.

Para la formación Turi la cual se encuentra estratificada con una serie de materiales como conglomerados, areniscas tobáceas y tobas, si se tiene en cuenta que las tobas en la información que se encuentra en la tabla 4.3 sobre IM GOLD tienen la misma composición y textura en las formaciones Turi y Taqui, considerando que los valores conductividad hidráulica de la formación Turi se encuentra dentro del rango 0.006-1.05 m/día, aunque estos sean de la formación Tarqui se valida porque constituye el mismo material, tanto para el caso de IM GOLD como de Mbanguka. El valor mínimo asignado en la tabla 4.4 a esta formación es de 0.01325 m/día, el cual pertenece a la ponderación del pozo



Chilcatotora, a pesar de que el pozo este dentro de la formación Tarqui, debido a que la descripción litológica del afloramiento 1.3 de la tabla 4.4 a mas de tener caolín y tobas presenta mayormente areniscas y según Domenico tienen un valor ≤ 0.5 m/día, es esta la razón por la cual se acepto el valor perteneciente al pozo de Chilcatotora, para este afloramiento, por lo tanto el rango de la formación Turi queda definido por 0.01325-0.49m/día.

En el caso de la formación Mangán su composición es variada y está constituida por limolitas, lutitas, arcillas, areniscas y areniscas tobáceas según la información de estos materiales en la tabla 4.3 todos presentan valores inferiores a 0.5 m/día, entonces teniendo en cuenta que el valor calculado en la ponderación del pozo Acchayacu es de 0.009506 m/día y dado que el pozo se encuentra en la misma formación se valida este dato. En el caso de esta formación al contar con información escasa y con un único afloramiento levantado se tiene un solo valor que corresponde al del pozo Acchayacu.

La formación Yunguilla también está formada por material muy fino como limolitas, lutitas areniscas y argilitas y de acuerdo con la tabla 4.3 según Domenico las argilitas tienen un valor superior o igual a 0.001 m/día junto con las arcillas, pero debido a que no solo una litología define la conductividad hidráulica de una formación ya que también está compuesto por areniscas y de igual manera de acuerdo con Domenico su valor superior es de 0.5 m/día, por otro lado Mbanguka le asigna a esta formación un valor de 0.05 m/día, teniendo en cuenta que el valor de Mbanguka se encuentra entre 0.5-0.001m/día, se acepta 0.05 m/día como un único valor, ya que procede de una fuente en el que dicho valor fue refinado a partir de un modelo.

En la tabla 4.3 se presentan distintos materiales que han sido extraídos de la tabla 2.6, los cuales se han encontrado en los recorridos realizados dentro de la subcuenca, las conductividades hidráulicas que les corresponden a estas litologías han sido empleadas para determinar ciertos valores de la tabla 4.5.

Finalmente la geología de la subcuenca del río Tarqui es influyente al momento de caracterizar la conductividad hidráulica ya que existen formaciones en las cuales se cuenta con un rango de valores y otras en las que se tiene un solo valor de acuerdo con lo dicho anteriormente. Por lo tanto para aquellas formaciones con las cuales no se cuenta con ningún tipo de información, en el intento de darle la mayor validez posible a los resultados se analiza los componentes litológicos de cada formación para determinar que semejanza puede presentar con otras y en base a esto intentar definir este parámetro para las demás formaciones aunque pueda resultar una aproximación grosera, por ahora puede resultar la manera más sencilla y conveniente de buscar una solución a la falta de información.



4.2. LITOESTRATIGRAFIA DE LOS AFLORAMIENTOS Y CORRELACION CON LOS VALORES ESTIMADOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA.

La variabilidad litológica encontrada en el trabajo de campo se ve reflejada en las diferentes propiedades de los suelos que han sido evaluadas y la Conductividad Hidráulica estimada para cada afloramiento según la metodología descrita en el capítulo 3 sección 3.2 proporciona una respuesta del comportamiento hidrogeológico de la subcuenca.

En las diferentes litologías levantadas se observa que la formación predominante es la Tarqui, seguida de la formación Turi lo cual concuerda con la información existente, cabe recalcar que todos los afloramientos geológicos han sido validados con la colaboración de la Facultad de Ingeniería a través de la profesora Ingeniera Martha Roura.

4.2.1. LITOESTRATIGRAFÍA DE LOS AFLORAMIENTOS

El paisaje observado en la figura 4.9 del área de estudio comprende la parte montañosa que se caracteriza por presentar un conjunto de montañas que presentan una serie de estribaciones que constituyen los diferentes drenajes que descienden desde la parte más alta formando un ángulo de aproximadamente 50 grados con respecto a la horizontal, el drenaje se aprecia fuertemente entallado a lo largo de sus laderas. La vegetación está constituida en su mayoría por árboles pequeños, arbustos y muy poca cobertura con pastizales.

En la figura 4.10 se observa el amplio valle del río Taqui rodeado de un sistema montañoso. El río forma meandros lo que es típico de llanuras aluviales y con pendientes bajas y la vegetación es mixta la parte plana constituye pastizales mientras que la alta tiene una serie de árboles y arbustos.

Como vemos la geomorfología de la subcuenca es muy variable es por ello que el análisis y estudio de esta zona constituye un trabajo que debe realizarse a profundidad y teniendo en cuenta cuan cambiante puede ser.



Figura 4.9 Sistema montañoso de la subcuenca del río Tarqui.



Figura 4.10 Valle de la subcuenca del río Tarqui.

Las distintas litologías encontradas con sus rasgos más característicos y de importancia para el desarrollo del tema se describen en función de su formación y ubicación, de manera ilustrativa considerando que existen una gran variedad de litologías. La clasificación hidrogeológica basada en Mbanguka 2009 muestra que las unidades geológicas levantadas están clasificadas como acuíferos y acuíferos

heterogéneos, perteneciendo a esta última solo la formación Yunguilla, lo que indica la posible existencia de agua en ambas unidades.

Formación Tarqui (MTq)

Esta formación fue localizada en varios sectores como en Tarqui, Cumbe, Victoria del Portete y Zhucay y constituye el mayor número de levantamientos de afloramientos que son 21, está formada por una serie de tobas compuestas por arcillas con varios minerales como cuarzo (figura 4.11. izquierda) y presenta gran cantidad de material volcánico, así como también caolín y pómez (figura 4.11. derecha). El color en general para la mayoría de las tobas está entre rojizo a café oscuro y el caolín entre gris y blanco



Figura 4.11 Formación Tarqui: a la izquierda toba rojiza y de color café, y a la derecha caolín compacto.

Formación Quimsacocha (M_Q)

Localizado en el sector de Victoria del Portete, este es el único afloramiento encontrado que pertenece a esta formación, compuesto por una roca andesítica volcánica muy diaclasada en superficie esto puede representar condiciones de flujo preferencial que se muestra en la figura 4.12. El flujo ocurre de acuerdo con la orientación que tengan las diaclasas (dirección y buzamiento) y debido a que no se determinaron estos parámetros en campo probablemente ya que las diaclasas están en sentido vertical se hablaría de que el flujo escurre o se infiltra en el mismo sentido.



Figura 4.12 Andesitas diaclasadas en sentido vertical

Formación Turi (M_T)

De los afloramientos levantados 14 pertenecen a esta formación en los sectores de Tarqui, Zhucay, Cumbe y Victoria del Portete, se encuentra estratificada y consiste en conglomerados redondeados con areniscas y una serie de lentes de lutitas (figura 4.13. derecha). Se puede observar un contacto entre las formaciones Turi y Tarqui presentado en la figura 4.13 izquierda esto fue levantado en la parte alta del sector Victoria del Portete.



Figura 4.13 Estratos compuestos por arcilla, conglomerados y areniscas (izquierda) y contacto entre formaciones Turi y Tarqui (derecha)

Formación Mangán (M_M)

Localizada en el sector Y del Portete de Tarqui, conformada por arenisca compacta, litología predominante es una secuencia alternante de arenisca tobácea de color café, con clastos que varían desde 3 a 50 cm aproximadamente lutitas

limosas rojas. Solo se encontró un afloramiento de esta formación y se presenta en la figura 4.14.



Figura 4.14 Areniscas con clastos redondeados

Formación Azogues (M_{AZ})

Ubicado en la parte alta del sector de Turi y Tarqui (sector del pozo Morascale), presenta lutitas con matriz arcillo limosa y arenisca compacta de color blanco amarillento y arenisca compacta gris claro. No se encontraron más que dos afloramientos de esta formación y se presentan en la figura 4.15.



Figura 4.15 Areniscas y lutitas de la formación Azogues

Formación Yunguilla (K_Y)

Esta formación fue levantada en la parte alta de Cumbe y en la vía Cuenca-Loja. Se encontró la presencia de argelitas de varios colores como cafés, gris oscuro, rojizo y café amarillento además de la presencia de areniscas y arcillas (figura 4.16), presenta pliegues que puede significar condiciones de flujo preferencial como el caso localizado en la parte alta de Cumbe (figura 4.17).



Figura 4.16 Mina de arcilla compuesta por argilitas.



Figura 4.17 Pliegue anticlinal (izquierda) y sinclinal (derecha) compuestos por areniscas

4.2.1. VALORES ESTIMADOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA

De los diferentes factores analizados en los suelos de la mayoría de la subcuenca se encuentra una textura franco arcillosa, lo que indica que el suelo está constituido por una textura fina y en estado húmedo presenta plasticidad, esto fue observado en campo en la extracción de muestras que al manipularlas se adhería a los dedos, además retiene mucha agua y demora en secarse.

Debido a que la porosidad depende del tipo de material mediante la información de la tabla 4.4 se ha determinado un rango de porosidad que se encuentra entre 0.0005-10, este intervalo es muy amplio por lo que predecir el comportamiento de la conductividad hidráulica saturada partiendo de este concepto puede implicar valores muy alejados de la realidad.

Cabe recalcar que para tomar un valor puntual de la conductividad hidráulica saturada para cada afloramiento se procedió nuevamente a una revisión del trabajo hecho en campo (fichas descriptivas, fotografías y muestras recolectadas), siendo así que se ha tomado para algunos casos el rango; más alto o el menor de la tabla 4.3. de acuerdo a la litología encontrada en cada afloramiento y para aquellas formaciones en las que existe un solo valor se le ha asignado ese valor



en toda la formación. Estos valores de conductividad hidráulica saturada estimados en encuentran en la siguiente tabla 4.4.

PNT	FORMACION	LITOLOGIA	TEXTURA	P. EF. (%)	COLOR	K (m/día)
1.1	Mangan	Arenisca con matriz arcillo limosa	Arcillo limoso	0.5-10	Café claro	0.009506
1.2	Tarqui	Toba con incrustaciones de pómez	Franco arcilloso	0-5	Rojo meteorizado	1.05
1.3	Turi	Areniscas con caolín y tobas con conglomerados	Arcillo limoso	0.3	Café claro	0.01325
1.4	Turi	Paquete de conglomerados y areniscas compactas	Arcillo limoso	0.3	Café claro	0.25
1.5	Turi	Arenisca muy meteorizada, con presencia de lutitas	Franco arenoso	0.3	Rojo meteorizado	0.49
1.6	Turi	Arenisca compacta sobre toba compacta diaclasada	Franco arenoso	0.3	Café meteorizado	0.49
1.7	Quimsacochoa	Roca volcánica con andesitas diaclasadas	Franco arenoso	0.0005	Gris claro	0.001
2.1	Turi	Arenisca fina con carbonato de calcio, limo y lutitas	Franco arcilloso	0.3	Amarillo claro	0.25
2.2	Turi	Arenisca blanca depositada	Franco arcilloso	0.3	Café claro	0.25
2.3	Turi	Arenisca muy alterada con estratos de lutitas	Franco arcilloso	0.3	Rojo meteorizado	0.49
2.4	Tarqui	Arcilla rojiza con presencia de pómez	Franco arcilloso	0-5	Rojo meteorizado	0.006
2.5	Turi	Arena muy fina con presencia de lutitas	Arcillo arenoso	0.3	Gris claro	0.25
2.6	Turi	Arena muy fina con presencia de lutitas	Arcillo arenoso	0.3	Blanco	0.25
2.7	Turi	Conglomerados cubiertos por tobas de color blanco	Franco arcilloso	0.3	Gris oscuro	0.49
2.8	Tarqui	Aluvial muy fino y meteorizado	Franco arcilloso	0-5	Rojo meteorizado	1
2.9	Tarqui	Tobas	Franco	0-5	Blanco	0.0132



UNIVERSIDAD DE CUENCA

			arcilloso			5
2.10	Tarqui	Roca alterada con toba y arcilla compacta	Franco arcilloso	0.00 05	Café oscuro	0.0132 5
2.11	Tarqui	Toba compacta	Franco arcilloso	0.00 05	Negro verdoso	0.0132 5
2.12	Tarqui	Toba	Franco arcilloso	0.00 05	Rojo meteorizado	0.0132 5
2.13	Tarqui	Tobas de color café y rojas alteradas	Franco arcilloso	0.00 05	Café rojizo	1.101
2.14	Tarqui	Caolín meteorizado	Arcillo limoso	0.00 05	Gris claro	0.006
2.15	Yunguilla	Argilitas meteorizadas	Franco arcilloso	0.3	Café oscuro	0.05
2.16	Yunguilla	Argilitas meteorizadas	Franco arcilloso	0.3	Rojo amarillento	0.05
2.17	Yunguilla	Argilitas meteorizadas	Franco arcilloso	0.3	Rojo	0.05
2.18	Yunguilla	Areniscas	Franco arcilloso	0.3	Amarillo claro	0.05
2.19	Yunguilla	Areniscas	Arcilla arenosa	0.3	Amarillo claro	0.05
2.20	Yunguilla	Arcilla con presencia argilitas	Franco arcilloso	0.3	Rojo	0.05
3.1	Tarqui	Caolín material muy diaclasado	Arcillo limoso	0.00 05	Gris oscuro	0.006
3.2	Tarqui	Arcilla con varios minerales, caolín oxido de hierro	Franco arcilloso	0.00 05	Gris oscuro	0.001
3.3	Tarqui	Material arcilloso brechificado	Arcillo limoso	0-5	Negro verdoso	0.001
3.4	Tarqui	Caolín	Arcillo limoso	0.00 05	Blanco	0.006
3.5	Tarqui	Roca con matriz arcillosa y con cuarzo	Franco arcilloso	0.00 05	Café amarillento	0.001
3.6	Tarqui	Tobas	Franco arcilloso	0.00 05	Café	0.0132 5
3.7	Tarqui	Caolín	Franco arcilloso	0.00 05	Blanco	0.006
3.8	Yunguilla	Argilitas negras muy diaclasadas	Franco arcilloso	0.3	Negro	0.05
3.9	Tarqui	Brechas con clastos angulares y tobas	Franco arcilloso	0.00 05	Gris oscuro	1.101
3.10	Tarqui	Tobas	Franco arcilloso	0.00 05	Blanco amarillento	1.05



3.11	Tarqui	Tobas con incrustaciones de cuarzo	Arcilla arenosa	0.0005	Rojo claro	0.01325
3.12	Tarqui	Tobas amarillentas	Franco arcilloso	0.0005	Rojo amarillento	1.05
4.1	Turi	Arenisca brechoide con clastos angulares y matriz arenosa	Franco arcilloso	0.3	Café claro	0.49
4.2	Turi	Arenisca fina estratificada	Arcilla arenosa	0.3	Café claro	0.49
4.3	Azogues	Lutitas con matriz arcillo limosa	Franco arcilloso	0.5-10	Amarillo claro	0.0095
4.4	Turi	Lutitas	Franco arcilloso	0.3	Gris claro	0.25
4.5	Depósito aluvial	Conglomerado	Franco arcilloso	0.5-10	Amarillo claro	1
4.6	Tarqui	Tobas	Franco arcilloso	0.0005	Café	1.05
4.7	Turi	Arcillas y areniscas	Arcilla arenosa	0.3	Gris claro	0.25

Tabla 4.4 Resumen de Características de Suelos identificados en los Afloramientos

4.3. ANALISIS Y CARACTERIZACION DE LOS VALORES DE “K” DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI.

Luego de haber determinado los valores de Conductividad Hidráulica Saturada para cada afloramiento, se procede mediante un mapa puntual a caracterizar el parámetro de Conductividad Hidráulica dentro de la subcuenca del río Tarqui, obteniendo como resultado la Figura 4.18, en ella se caracterizan dos formaciones la Turi, Yunguilla y un depósito aluvial y valores puntuales mostrados en el mapa.

El rango de variabilidad de la conductividad hidráulica dentro de la subcuenca del río Tarqui corresponde a 0.001 – 1.101 m/día, el cual es un rango muy grande si se trata de generar una delimitación de sectores de mayor infiltración de agua.

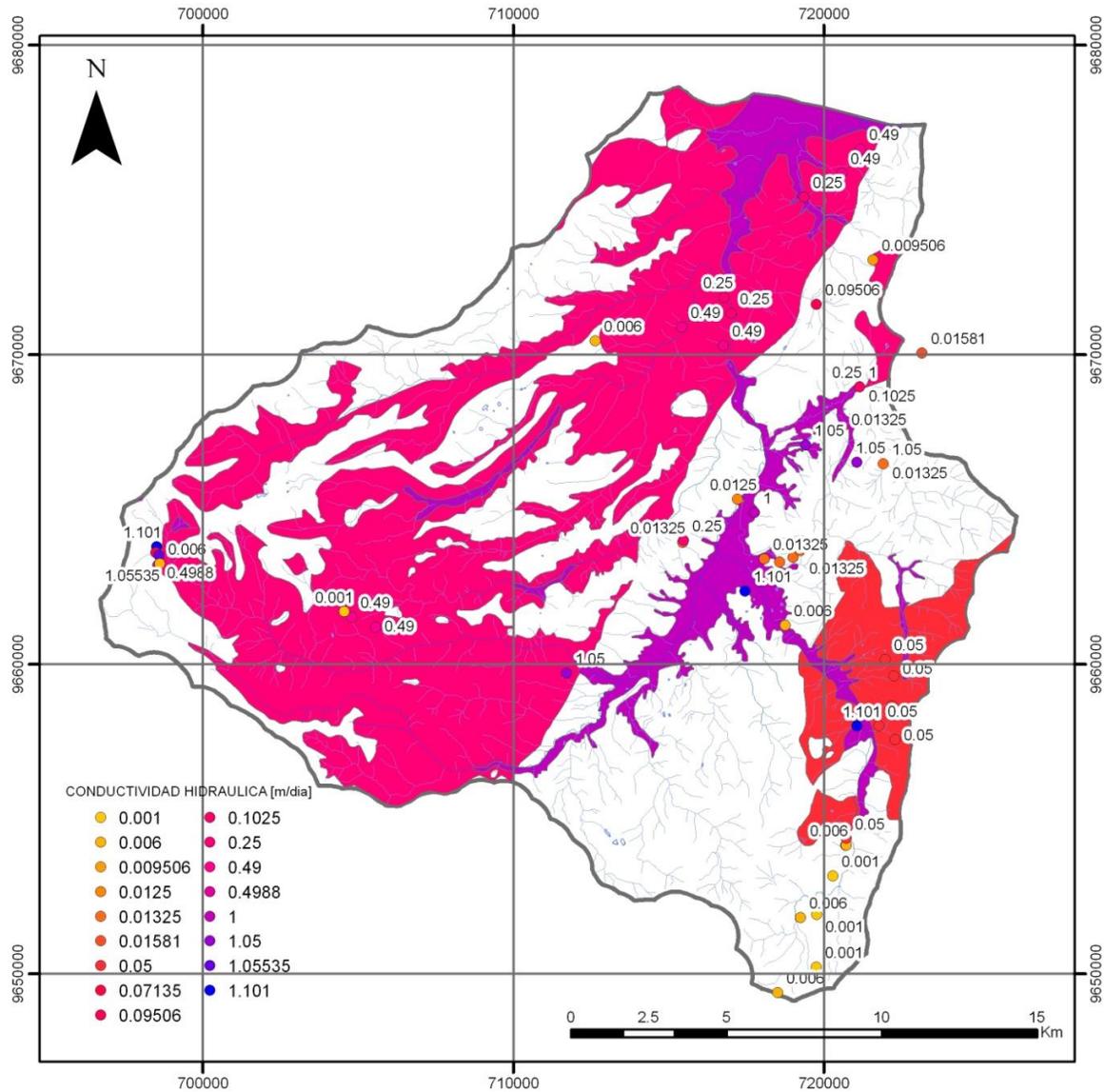


Figura 4.18 Conductividad Hidráulica Saturada de puntos y zonas identificados.

Se puede apreciar la variabilidad de la Conductividad Hidráulica en las formaciones, por ejemplo, rangos de 0.001 – 1.101 m/día para la Tarqui, 0.25 – 0.5 m/día para la Turi, de las que se obtuvo mayor cantidad de datos. La variabilidad espacial del mismo parámetro se puede apreciar en la Figura 4.19 (izquierda), mientras que en la derecha se muestra una interpolación de los datos con un radio de influencia para cada punto exagerado de 1500 m, el cual es presentado con el objeto de apreciar la necesidad de densificación de puntos para caracterizar de una mejor manera la zona.

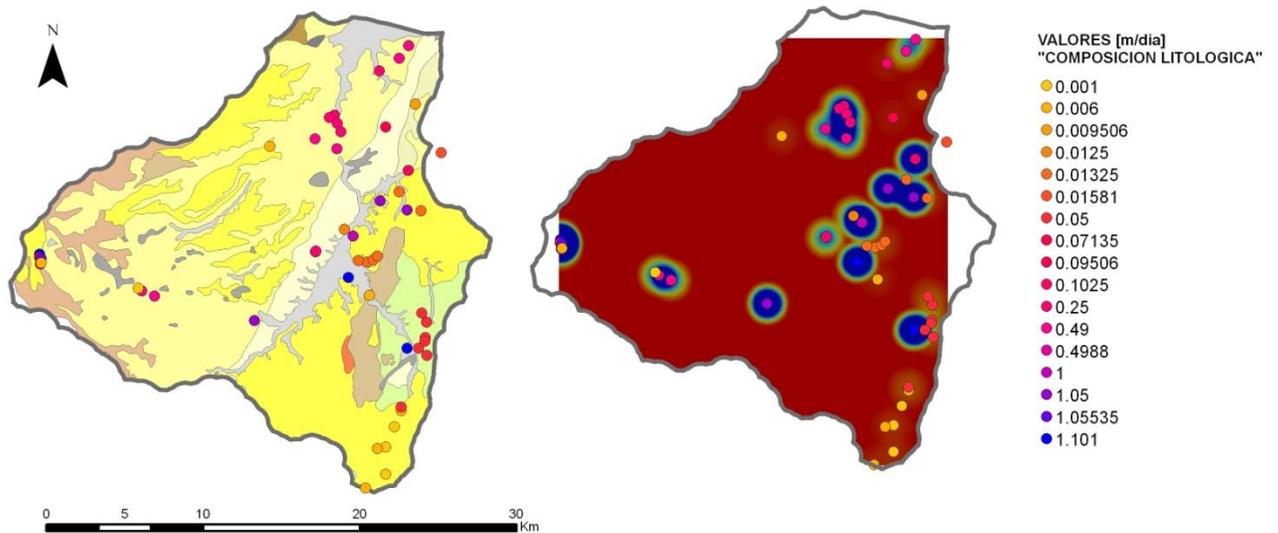


Figura 4.19 Variabilidad espacial de la Conductividad Hidráulica Saturada.

Los resultados presentados anteriormente nos dan una idea de la variabilidad de la Conductividad Hidráulica dentro de la Subcuenca del río Tarqui, lo que nos lleva a entender que la caracterización de este parámetro al estar en función de la geología y características del suelo es compleja ya que requeriríamos una gran cantidad de información sobre los parámetros y características del suelo, por lo que incluso al generar la descripción de los afloramientos y su posterior ligue con los valores de Conductividad Hidráulica nos quedamos con una idea limitada sobre este parámetro. Así a más de la información puntual de los valores de la Conductividad Hidráulica válida para un radio máximo de 500 m, en función de los límites geológicos se caracterizaron zonas con un rango definido de valores de Conductividad Hidráulica, quedando la caracterización como se muestra en la Tabla 4.5.

FORMACIONES GEOLOGICAS	COMPOSICION LITOLOGICA	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)	CLASIFICACION (U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE)
Depósito aluvial	Estratos gredosos	1	Moderada
Depósito coluvial	Derrubios	1	Moderada
Travertino	Calizas	0.05-0.5	Moderadamente lenta
Formación Tarqui	Tobas Arcilla Caolín Brechas	0.001-1.101	Moderada
Formación Turi	Arcilla Arenisca	0.01325-0.49	Moderadamente lenta



	Lutitas Conglomerados		
Formación Mangán	Lutitas Arcilla Arenisca Areniscas tobáceas	0.009506	Moderadamente lenta
Formación Azogues	Lutitas Arenisca Argilitas Arcillas Arenisca tobácea	0.01325-0.49	Moderadamente lenta
Formación Loyola	Lutitas Conglomerados Caliza	0.01325-0.49	Moderadamente lenta
Formación Quimsacochoa	Lavas Tobas Brechas	0.001	Muy lenta
Grupo Saraguro Indiferenciado	Riolita Andesita	0.001	Muy lenta
Formación Plancharumi	Tobas Brechas Areniscas tobáceas	0.001-1.101	Moderada
Formación Quingeo	Areniscas Lutitas Limolitas	0.05	Lenta
Unidad Sacapalca	Lavas Brechas tobáceas Conglomerados Lutitas Tobas	0.001-1.101	Moderada
Formación Yunguilla	Limolitas Lutitas Areniscas Argilitas	0.05	Lenta

Tabla 4.5 Estimación de Rangos de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la Geología

Además del establecimiento de rangos para cada formación geológica, también se hizo la clasificación de estos valores según el criterio manejado por la U.S. Soil Conservation Service, resultando así el mapa presentado en la Figura 4.20. Debe aclararse que al tratarse de variabilidades muy grandes para una misma formación tienen que tomarse los valores puntuales para identificar de una mejor manera cada zona.

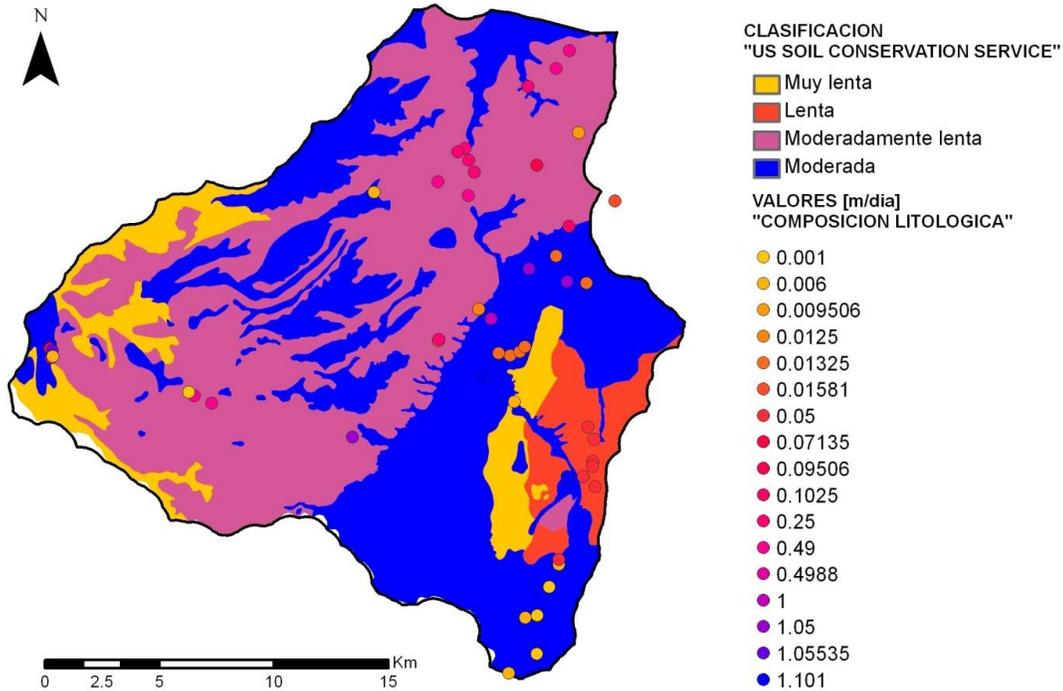


Figura 4.20 Mapa de clasificación de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la Geología según U.S. Soil Conservation Service

Finalmente presentamos el Mapa de la Conductividad Hidráulica en función de la geología (figura 4.21), del cual se encuentra ordenadas la formaciones según la que podría tener menor a mayor conductividad hidráulica en función de la composición litológica que presentada cada una de ellas, pero se debe recalcar que los valores puntuales ayudan a interpretar de mejor manera aquellos rangos muy grandes de variación. En general los valores puntuales si hablamos de la formación Tarqui la cual tiene un rango entre 0.001-1.101 m/día, se observa claramente en la figura 4.21 que los valores más bajos de conductividad hidráulica se encuentran en la parte sureste de la subcuenca en el cual se encontró durante todo el recorrido litologías compuestas por caolín y arcillas, así mismo los valores más altos de esta formación corresponden a las perforaciones realizadas en el proyecto IM GOLD, y en cuanto a los levantamientos realizados se encuentran en la parte noreste centro de la subcuenca.

Este comportamiento que no sigue ningún patrón se refleja en la mayoría de formaciones generalmente de las que se dispone de mayor información, sin

embargo algunas formaciones cuentan con un solo valor que le caracteriza a todas las que tengan la misma litología como es el caso de la formación Yunguilla.

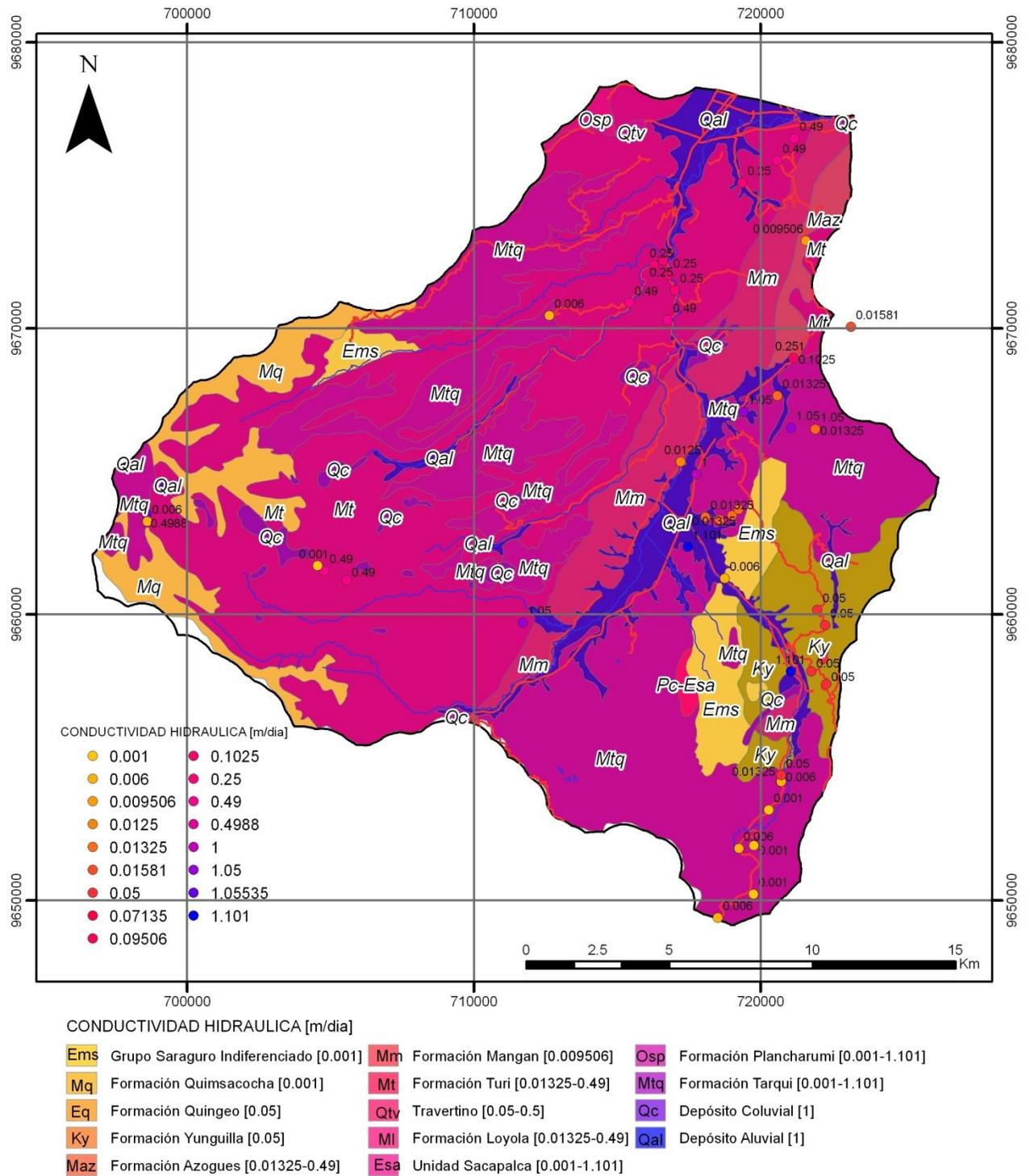


Figura 4.21 Mapa de Estimación de Rangos de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la Geología para la subcuenca del río Tarqui



CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La obtención del **“Mapa de estimación de rangos de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la geología para la subcuenca del río Tarqui”** es una propuesta inicial que involucra una serie de consideraciones, es así que constituye una base a partir de la cual se pueden plantear futuras investigaciones y posteriormente optimizar los valores de conductividad hidráulica propuestos en esta tesis.

Bajo la premisa de que la caracterización del parámetro conductividad hidráulica dentro de la subcuenca está en función de los límites físicos establecidos por las formaciones geológicas, se estimó la conductividad hidráulica saturada para dichas zonas, ya sea como valor único o un rango, sin embargo se debe tener en cuenta que estos rangos son amplios debido a la variabilidad en la composición litológica encontrada en las inspecciones de campo. Entonces para el empleo del mapa, se deben considerar los valores puntuales en donde se cuente con información de los mismos y donde no existan valores puntuales tomar el rango de valores que le caracteriza a la zona y si se conoce la composición litológica de un determinado punto dentro de esta zona poder asignarle un valor puntual basándose en la tabla **“Valores estimativos de conductividad hidráulica saturada en función de la composición litológica para suelos de la subcuenca del río Tarqui”**.

La metodología usada en la tesis es una respuesta a la problemática existente para zonas en las que se cuenta con poca información y recursos limitados para la investigación, como es el caso de la Subcuenca del río Tarqui. En ella se distinguen dos procesos de evaluación para la conductividad hidráulica: la estimación de los valores de conductividad hidráulica saturada; y, la correlación con la composición litológica para cada punto levantado.

En lo que se refiere al cálculo los métodos de Jacob y Hvorslev empleados en la validación de los cálculos, debemos tomar en cuenta que la escases de datos sobre los ensayos realizados nos llevo a inferir cuales fueron los estratos evaluados por lo que estos valores obtenidos se deben usar tomando en cuenta todas las consideraciones hechas en **“Estimación de los valores de Conductividad Hidráulica Saturada en los puntos de Monitoreo”**.

La correlación de la conductividad hidráulica en función de la descripción de la composición litológica, al ser un método que evalúa indirectamente la conductividad hidráulica se deben tener en cuenta las consideraciones realizadas para la correlación descritas en **“Litoestratigrafía de los afloramientos y correlación con los valores estimados de Conductividad Hidráulica Saturada”** y que el valor interpretado no tiene la misma validez que los valores calculados por los diferentes métodos.



Los métodos de interpolación utilizados (IDW, kernel y kriging) no representan la variación de la litología dentro de la subcuenca debido a que en un radio aproximado de 500m se presentan similares características litológicas, esto de acuerdo a las inspecciones de campo y para la escala que se maneja este radio no representa más que un punto, es por ello que no se recurrió a darle validez a ninguno de ellos, sin embargo se presenta el resultado obtenido a partir de un kriging simple en el que se exageró el radio de influencia que contiene la misma litología a uno de 1500 m.

Para densificar adecuadamente la zona y generar una Mapa de mayor detalle tomando en cuenta el área que manejamos de 475 km² necesitaríamos de al menos 605 puntos dispersos en la subcuenca o a su vez una densidad de 1.27 puntos/km² si se quiere caracterizar solo una zona. También se debe adquirir más información a detalle sobre la composición litológica, con el fin de ampliar el conocimiento sobre la geología en la zona, es decir inspecciones de campo que estén espacialmente bien escogidas para llegar a caracterizar zonas que sean de relevancia para profundizar el conocimiento que se tiene de la subcuenca del río Tarqui.

Una clasificación cualitativa realizada de acuerdo con los criterios del U.S. Soil Conservation Service presentada en el **“Mapa de clasificación de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la Geología según U.S. Soil Conservation Service”** clasifica a la mayoría del área de la subcuenca con una conductividad hidráulica entre moderada a moderadamente lenta, sin embargo debido a la generalidad del mapa propuesto, ya que no se cuenta con la suficiente información para generar rangos de valores más amplios que logren cubrir los siete tipos de clasificaciones que emplea el método, podría hablarse de que el mapa no es representativo, no así el método empleado.

El mapa que se considera más representativo es el que se relaciona de manera directa con la geología **“Mapa de estimación de rangos de Conductividad Hidráulica Saturada en función de la geología para la subcuenca del río Tarqui”** ya que en función de las litologías levantadas y las descritas en cada formación se ha determinado la similaridad existente entre cada formación, para llegar a tener una clara idea de cuáles pueden ser las litologías que mayor conductividad hidráulica presenten y de esta manera poder definir un mapa que refleje condiciones más reales que definan el comportamiento de la subcuenca de río Tarqui a pesar de que los valores tomen rangos amplios.

Del mapa antes citado se puede decir que los sectores de mayor permeabilidad corresponden a las zonas donde se encuentran los depósitos de origen aluvial representando un 9.37% del área total de la subcuenca, así también para las formaciones de Tarqui, Plancharumi y Unidad Sacapalca esperamos valores altos de conductividad hidráulica que podrían alcanzar hasta los 1.101 m/día representando una probabilidad de que en un 32.69% del área de la subcuenca algunas zonas posean valores altos de conductividad hidráulica saturada. Por otra parte vemos también que la mayor cobertura de área de la subcuenca las tienen



las formaciones Tarqui y Turi con un 64.81% del área de la subcuenca y para las cuales esperamos conductividades que podría llegar hasta valores de 1.101 y 0.5 m/día respectivamente.

El comportamiento de los pozos (Gobierno Provincial del Azuay) de acuerdo con los caudales de recuperación 0.45 lit/seg en Acchayacu, 0.50 lit/seg Chilcatotora y Gullanzhapa y 2.02 lit/seg en Morascale, son similares excepto en Morascale en el que se tiene valores altos de caudales de bombeo, esto implicaría que el caudal de recuperación también lo sea, este comportamiento se le atribuye a que el pozo se encuentra en a una zona más baja en relación al resto, además de que la varias quebradas son concurrentes a este punto lo que constituye mayor escorrentía por lo que su recarga se debe directamente a la red hidrográfica “Río la Compañía” que pasa por el pozo.

Es importante señalar que el pozo de Morascale se encuentra ubicado en un depósito aluvial que de acuerdo con la litoestratigrafía tiene una potencia de 32 m, se puede decir entonces que los valores de su rendimiento como conductividad hidráulica se deben a su ubicación en una zona que puede asimilarse a la zona hiporreica de un curso de agua superficial, pero que en este caso son más bien es una especie de curso “ciego”, en el sentido de que el agua superficial no se ve pero se puede señalar con claridad lo que correspondería a un cauce, donde la presencia de vegetación también delata el alto contenido de agua.



RECOMENDACIONES

Como se vio en la tabla “**Valores estimativos de conductividad hidráulica saturada en función de la composición litológica para suelos de la subcuenca del río Tarqui**” la información que se tiene sobre el parámetro conductividad hidráulica dentro de la subcuenca sigue siendo escasa ya que lo ideal sería tener un valor de conductividad hidráulica para cada componente litológico de cada formación, por lo que se recomienda realizar ensayos de pozos, inspecciones de campo, que definan la geología a menor escala. El mejor método debido al factor costo los representa el SLUG TEST mediante la aplicación de la teoría de Hvorslev.

Se deben incorporar al estudio de la subcuenca, nueva información como estudios edafológicos o de relieve los cuales pueden proporcionar nuevas pistas sobre el comportamiento de la conductividad hidráulica. Incorporando todos los recursos informativos de monitoreos que se tengan sobre parámetros evaluados en la subcuenca y pensando en la metodología que se está llevando a cabo con respecto a la recopilación de información sobre la subcuenca, se puede pensar en evaluar el parámetro conductividad hidráulica mediante los denominados modelos distribuidos en los cuales se divide la subcuenca en unidades homogéneas a partir de las cuales se evalúa la respuesta global de la subcuenca, lo cual es un trabajo más complejo debido al manejo del modelo y a toda la información necesaria para el empleo del mismo.



BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, A. (2003). *Geofísica aplicada en los proyectos de Ingeniería Civil*. Sanfadila.

Auge, M. (2008). *Metodos Geoelectricos para la Prospeccion de Agua Subterranea*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

C. Coello, B. D. (2010). *Análisis de Métodos de Estimación de la Conductividad Hidráulica Saturada en Suelos Degradados*. Cuenca.

Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. Texas: McGraw-Hill.

Coronel, D. (Enero de 2005). Cuantificación del recurso agua subterráneo en la subcuenca del río Tarquí y elaboración de sondeos eléctricos verticales. *Tesis de Magister de ciencias en manejo y conservación de agua y suelo*. Cuenca, Ecuador.

Coulombe, C. E. (1996).

Donado L., C. J. (Mayo de 2004). Modelo de Conductividad Hidráulica en Suelos. *Modelo de Conductividad Hidráulica en Suelos*. Bogotá D.C., Colombia.

Donado, L. (s.f.). Hidráulica de Pozos. Colombia.

Donado, L. (Mayo de 2004). Modelo de Conductividad Hidráulica en Suelos. *Modelo de Conductividad Hidráulica en Suelos*. Bogotá D.C., Colombia.

E.U.A. Soil Conservation Service. (2008). Drainage Surveys. *U.S. Soil Conservation Service*, Section 16.

Edward E. Johnson Inc. (1975). *El agua subterránea y los pozos*. USA: Johnson screens.

Engineers, U. A. (1998). *Water Resources Assessment of Ecuador*. Mobile District and Topographic Engineering Center.

Fetter, C. (1994). *Applied Hydrogeology*. Prentice Hall Englewood.

Gleick, P. (1993). *Water in Crisis A guide to the world's fresh water resources*. New York: Oxford University Press.

Guzman, P. (27 de Abril de 2012). Comparative analysis of base flow recession curves for different Andean catchments. Viena, Austria, Belgica.

H.H. Cooper, C. J. (1946). *A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history*. Washington: Union Trans. V 27: 526-534.



Instituto geografico Militar del Ecuador. (18 de Noviembre de 2002). Mapa Geologico de Cuenca 2° - 3°. Ecuador.

J. Freeze, J. C. (1993). *Groundwater*. Pretice Hall.

J. Tindall, A. K. (1999). *Unsaturated zone hydrology for Scientists and Engineers*. New Jersey, USA.

Johnson, E. (1975). *El agua subterránea y los pozos*. New York: Wheelabrator Clean Water Inc.

Juang, C. H., & D., H. R. (1986a). A probabilistic permeability model and the pore size density function. *International Journal for numerical and analytical methods in geomechanics*. Vol. 10, p. 543-553.

Juang, C. H., & D., H. R. (1986). Fabric, pore size distribution, an permeability of sandy soils. *Journal of the geotechnical engineering division. ASCE*. Vol. 112, No. 9: 855-868.

Keith D., M. L. (2004). Groudwater Hydrology. En M. L. Keith D., *Groundwater Movement* (pág. 90). USA: Jhon Wiley y Sons, Inc.

M. Steinmann, D. H. (1999). *Neogene Tectonic Evolution And Exhumation of the Southern Ecuadorian Andes*. Tectonophysics.

Mbanguka, R. P. (Septiembre de 2009). *Developing an Alternative Groundwater Modelling Strategy for Zones with Limited Data Availability. A Case Study of the Tarqui Catchment*. Bruselas, Bélgica.

Nunez, E. (1998). *Geologia del Ecuador*. Guayaquil - Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral.

PROMAS. (2008). *Estudio de Aguas Subterraneas - Informe Preliminar*. Cuenca.

PROMAS. (1998). *Zonificación Agroecológica del austro ecuatoriano*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

R. Rodriguez, C. O. *Estudio Geoelectrico del sistema acuifero de la cuenca de Mexico*. Mexico: Instituto de Geofisica, Escuela Superior de Ingenieria y Arquitectura.

Robertson Geologging Ltd. (2000).
http://www.geologging.com/spanish/news/news_archive.htm. Obtenido de
http://www.geologging.com/spanish/news/news_archive.htm:
<http://www.geologging.com>



Roman, F. J. (Diciembre de 2009). Flujo en medios porosos: Ley de Darcy. Espana: <http://web.usual.es/javisan/hidro>. Obtenido de <http://web.usual.es/javisan/hidro>

Ruiz, G. (2000). *Geología aplicada a la Ingeniería Civil*. Mexico: LIMUSA.

Sagre, J. Q. (Agosto de 1994). Hidráulica de Pozos. *Curso internacional de manejo y protección de acuíferos*. Bogotá, Colombia.

Sanders, L. (1998). *A manual of Field Hydrology*. Prentice-Hall.

SEBA HYDROMETRIE. (2009). *SEBA HYDROMETRIE*. Obtenido de <http://www.seba-hydrometrie.com>: <http://www.seba-hydrometrie.com/index.php?id=246&L=4>

Service, E.U.A. Soil Conservation. (2008). *Drainage Surveys*. Washington.

Smedt, F. D. (2008). Groundwater Modelling. *Vrije University Brussels*. Brussels, Belgica: Lecture Notes (Unpublished).

Taigbenu, A. (1998). Introduction to Hydrogeology. *Groundwater Module in the WaterNet*. Unpublished.

V. Vanacker, A. M. (2007). Geomorphology, Vol 87(1-2), pp 53-67. *Spatial variation of suspended sediment concentrations in a tropical Andean river system: The Paute river, southern Ecuador human impact and Geomorphology in tropical Mountain areas*.

Vallejo, L. G. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACION.

W. Buytaert, J. S. (2005). Geoderma. *Clay mineralogy of the paramo soils of south Ecuador*.

William Lambe, R. W. (1995). *Mecánica de suelos*. Massachusetts: Instituto Tecnológico de Massachusetts.

Youngs, E. (2001). *Hydraulic conductivity of saturated soils. Chapter 4 in soil and environmental analysis*. New York: Smith y Dekker Inc.

**ANEXOS***ANEXO 1. Georeferenciación de los puntos de información y monitoreo***GEOREFERENCIACION DE PUNTOS DE INTERES DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO TARQUI**

PNT. #	DESCRIP./FUENTE	NOMBRE	ALTURA (m)	NORTE (m)	ESTE (m)
1	POZOS/GPA	La Estancia	2219.6	9683466.7	746276.8
2	POZOS/GPA	El Cabo Ultimo	2217.9	9683617.5	747138.1
3	POZOS/GPA	El Cabo 2	2216.1	9683630.7	747456.4
4	POZOS/GPA	El Cabo 1	2213.7	9683914.3	747256.8
5	POZOS/GPA	La Huiguera	2273.9	9685744.4	747542.4
6	POZOS/GPA	Zhumir	2189.3	9689373.5	747582.9
7	POZOS/GPA	Chicty	2202.8	9693704.9	750546.9
8	POZOS/GPA	Tutucan	2177.8	9692617.6	749918.7
9	POZOS/GPA	Colegio 26 de Febrero	2174.0	9692657.7	748347.2
10	POZOS/GPA	Chican	2228.4	9687016.5	748338.7
11	POZOS/GPA	Uzhupud	2207.4	9685174.8	747817.2
12	POZOS/GPA	Quimshi	2252.4	9677310.1	745765.4
13	POZOS/GPA	Nallig	2234.5	9678191.6	746147.7
14	POZOS/GPA	Chicahuiña	2332.1	9680443.6	745601.1
15	POZOS/GPA	Parcoloma	2353.8	9679850.5	745483.6
16	POZOS/GPA	Bullcay	2159.0	9683101.5	746804.6
17	POZOS/GPA	Chaquilcay	2324.9	9683935.3	742500.2
18	POZOS/GPA	El Descanso	2324.3	9686409.2	736229.3
19	POZOS/GPA	San Juan Pamba	2316.0	9685764.1	736232.6
20	POZOS/GPA	Tacalzhapá	2569.2	9674739.7	729320.1
21	POZOS/GPA	Delegsol	2549.7	9667172.2	741022.4
22	POZOS/GPA	Punta Hacienda	2749.9	9664784.6	732010.0
23	POZOS/GPA	Machay	2731.3	9664171.3	729827.3
24	POZOS/GPA	San Antonio de Trobana	2651.2	9669636.3	731044.1
25	POZOS/GPA	Mosquera	2665.5	9670604.7	728888.0
26	POZOS/GPA	El Chorro de Santa Ana	2584.7	9672894.4	729911.8
27	POZOS/GPA	Rosas San Fernando	2345.8	9649684.8	694643.3
28	POZOS/GPA	San Antonio de Cataviña	1466.0	9639972.2	693073.6
29	POZOS/GPA	Lacay Patapata	1094.5	9635452.0	690943.4
30	POZOS/GPA	Atalaya	1184.3	9636885.9	692526.1
31	POZOS/GPA	Acchayacu	2698.2	9671627.1	719756.2
32	POZOS/GPA	Gullanzhapá	2751.6	9670050.7	723162.4
33	POZOS/GPA	Morascalle	2672.6	9668963.2	721157.2
34	POZOS/GPA	Chilcatotora	2787.8	9666474.5	721921.4
35	POZOS/GPA	Shagal	119.1	9685123.6	653324.7
36	POZOS/GPA	La Esperanza	108.1	9666628.4	643248.6
37	POZOS/GPA	Ponce Enriquez	20.0	9661397.3	638876.5
38	POZOS/GPA	El Estadio	2529.0	9678462.5	721656.5



UNIVERSIDAD DE CUENCA

39	POZOS/IMGOLD	232		3764	9664109	698350
40	POZOS/IMGOLD	250		3769	9663191	698660
41	POZOS/IMGOLD	270		3809	9663192	698556
42	POZOS/IMGOLD	273		3805	9662888	698788
43	POZOS/IMGOLD	276		3766	9663518	698591
44	POZOS/IMGOLD	291		3748	9663483	698700
45	POZOS/IMGOLD	293		3752	9663753	698530
46	POZOS/IMGOLD	319		3769	9663246	698612
47	POZOS/IMGOLD	336		3762	9663602	698493
48	POZOS/IMGOLD	357		3753	9663958	698367
49	POZOS/IMGOLD	100		3753	9663798	698511
50	POZOS/IMGOLD	101		3797	9662976	698633
51	POZOS/IMGOLD	102		3740	9664036	698644
52	POZOS/IMGOLD	103		3742	9664040	698635
53	EST. MONITOREO/VARIAS	ETAPA	Estación meteorológica	2628.0	9663956.3	716523.7
54	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Pluviográficas	3418.6	9649274.9	718433.5
55	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Piezómetros	2664.5	9661106.2	718899.0
56	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Hidrografica_Aforo	2653.0	9661077.5	718800.3
57	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Estación meteorológica	2672.6	9668963.2	721157.2
58	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Aforo	2672.6	9668963.2	721157.2
59	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Aforo	2672.6	9668963.2	721157.2
60	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Pozo piezómetro	2672.6	9668963.2	721157.2
61	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Pozo piezómetro	2787.8	9666474.5	721921.4
62	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Pozo piezómetro	2698.2	9671627.1	719756.2
63	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Pozo piezómetro	2751.6	9670050.7	723162.4
64	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Pozo piezómetro	2633.7	9662918.9	717341.5
65	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Pluviográficas	2999.5	9653035.0	720240.2
66	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Meteorológica	2870.0	9654604.8	721096.2
67	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Hidrográfica	2874.0	9652833.8	720503.5
68	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Hidrográfica	2732.0	9656080.5	721087.0
69	EST. MONITOREO/VARIAS	PROMAS	Hidrográfica	2644.0	9661122.4	718784.3



70	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Hidrográfica	2651.0	9661114.2	718771.2
71	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Hidrográfica	2652.0	9661107.2	718760.2
72	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Pluviográficas	3418.0	9649265.4	718424.3
73	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Pluviográficas	3005.0	9653030.3	720234.8
74	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Pluviográficas	2663.0	9661099.0	718918.4
75	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Hidrográfica	2904.0	9658576.3	703276.3
76	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Hidrográfica	2889.0	9656761.3	707662.3
77	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Hidrográfica	2876.0	9656641.3	707801.3
78	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Pluviográficas	2740.0	9657029.3	710715.3
79	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Climática	2874.0	9654606.5	721097.9
80	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Climática	3829.0	9661503.4	696890.7
81	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Humedad	3815.0	9661346.5	696990.3
82	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Humedad	3794.0	9661447.3	697121.0
83	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Humedad	3805.0	9661578.7	697050.1
84	MONITOREO/VARIAS EST.	PROMAS	Humedad-pluviográfica-hidrográfica	3750.0	9661641.6	697345.2
85	AFLORAMIENTOS	1.1		2621.0	9665331.3	717218.6
86	AFLORAMIENTOS	1.2		2806.9	9659711.8	711710.9
87	AFLORAMIENTOS	1.3		3209.9	9659652.0	708016.1
88	AFLORAMIENTOS	1.4		2766.9	9663934.8	715457.9
89	AFLORAMIENTOS	1.5		2791.0	9663995.4	715484.2
90	AFLORAMIENTOS	1.6		3103.8	9661733.2	707953.5
91	AFLORAMIENTOS	1.7		3335.9	9661199.1	705567.3
92	AFLORAMIENTOS	1.8		3372.0	9661525.9	704791.6
93	AFLORAMIENTOS	1.9		3368.3	9661695.1	704560.8
94	AFLORAMIENTOS	1.1		2814.8	9663939.1	715259.4
95	AFLORAMIENTOS	2.1		2626.7	9672371.3	716614.9
96	AFLORAMIENTOS	2.2		2605.9	9672211.0	716294.2
97	AFLORAMIENTOS	2.3		2671.6	9670894.5	715432.4
98	AFLORAMIENTOS	2.4		2956.8	9670442.5	712640.4
99	AFLORAMIENTOS	2.5		3021.1	9669870.9	712062.1



100	AFLORAMIENTOS	2.6	2608.7	9671850.7	716786.5
101	AFLORAMIENTOS	2.7	2613.5	9671330.9	717016.1
102	AFLORAMIENTOS	2.8	2621.7	9670293.0	716767.6
103	AFLORAMIENTOS	2.9	2639.4	9664901.8	717764.4
104	AFLORAMIENTOS	2.1	2639.5	9663298.1	718581.6
105	AFLORAMIENTOS	2.11	2740.0	9663454.0	719016.1
106	AFLORAMIENTOS	2.12	2834.6	9663669.7	719241.8
107	AFLORAMIENTOS	2.13	2630.7	9663396.4	718083.4
108	AFLORAMIENTOS	2.14	2644.4	9662361.6	717462.5
109	AFLORAMIENTOS	2.15	2649.2	9661259.1	718761.3
110	AFLORAMIENTOS	2.16	2872.6	9659614.9	722260.8
111	AFLORAMIENTOS	2.17	2924.8	9660156.3	721984.7
112	AFLORAMIENTOS	2.18	2928.7	9659514.2	722420.1
113	AFLORAMIENTOS	2.19	2965.8	9658657.4	722200.2
114	AFLORAMIENTOS	2.10	2949.6	9658443.0	722184.6
115	AFLORAMIENTOS	2.21	2892.6	9657557.9	722293.7
116	AFLORAMIENTOS	2.22	2817.7	9658004.6	721777.5
117	AFLORAMIENTOS	3.1	3410.3	9649385.4	718522.7
118	AFLORAMIENTOS	3.2	-	9651912.0	719774.0
119	AFLORAMIENTOS	3.3	3280.0	9650218.0	719763.0
120	AFLORAMIENTOS	3.5	2988.0	9653160.0	720294.0
121	AFLORAMIENTOS	3.6	2927.0	9654155.0	720708.0
122	AFLORAMIENTOS	3.7	2867.2	9654144.8	720723.5
123	AFLORAMIENTOS	3.8	2853.4	9654371.6	720722.3
124	AFLORAMIENTOS	3.9	2841.8	9655844.8	720998.6
125	AFLORAMIENTOS	3.10	2714.0	9658002.2	721069.2
126	AFLORAMIENTOS	3.11	2655.3	9667080.1	719414.6
127	AFLORAMIENTOS	3.12	2654.8	9667643.5	720600.5
128	AFLORAMIENTOS	3.13	2865.1	9666518.8	721072.0
129	AFLORAMIENTOS	4.1	2671.2	9676638.9	721184.9
130	AFLORAMIENTOS	4.2	2661.7	9675868.4	720588.1
131	AFLORAMIENTOS	4.3	2856.9	9673055.9	721584.7
132	AFLORAMIENTOS	4.4	2672.6	9668963.2	721157.2
133	AFLORAMIENTOS	4.5	2672.6	9668963.2	721157.2
134	AFLORAMIENTOS	4.6	2787.8	9666474.5	721921.4
135	AFLORAMIENTOS	4.7	2581.4	9675084.7	719370.2

ANEXO 2. Ensayos de calidad de agua de los pozos del GPA dentro de la subcuenca del río Tarqui.

Ensayo de calidad de agua de Acchayacu

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA	
Muestra	Comunidad de Acchayacu.- Parroquia
procedencia:	Tarqui.- Cuenca.
Fecha de Análisis:	29 de Octubre del 2007
Análisis solicitado	Gobierno Provincial del
por:	Azuay.



PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
TEMPERATURA		°C.	in situ
TURBIEDAD	6.30	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	50.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	25.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	200.4	microsiemens/ cm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	132.3	mg/l	por cálculo
PH	6.6		
ALCALINIDAD TOTAL	112.0	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F. ACIDEZ	0.0	mg/l, CaCO ₃ mg/l, CaCO ₃	
CO ₂		mg/l	
DUREZA TOTAL	20.0	mg/l, CaCO ₃	
Ca ⁺⁺	4.0	mg/l	
Mg ⁺⁺	2.4	mg/l	por cálculo
Na ⁺		mg/l	
K ⁺		mg/l	
HIERRO TOTAL	1.1	mg/l	
MANGANESO	0.0	mg/l	
CLORUROS	10.0	mg/l	
SULFATOS	5.0	mg/l	
N. NTIRITOS	0.0	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.5	mg/l	como Nitrógeno

Ensayo de calidad de agua de Gullanzhapa

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra procedencia: Comunidad de Gullazhapa.- Parroquia Tarqui.- Azuay.
Fecha de Análisis: 6 de Junio del 2008
Análisis solicitado por: Gobierno Provincial del Azuay.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
TEMPERATURA		°C.	in situ



TURBIEDAD	0.92	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	9.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	9.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	738.0	microsiemens/ cm	
SOLIDOS TOTALES	642.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	642.0	mg/l	
PH	7.3		
ALCALINIDAD TOTAL	466.0	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD F. ACIDEZ	0.0	mg/l, CaCO3	
CO2		mg/l	
DUREZA TOTAL	22.0	mg/l, CaCO3	
Ca++	5.6	mg/l	
Mg++	1.9	mg/l	por cálculo
Na+		mg/l	
K+		mg/l	
HIERRO TOTAL	0.1	mg/l	
MANGANESO	0.0	mg/l	
CLORUROS	4.0	mg/l	
SULFATOS	15.3	mg/l	
N. NTIRITOS	1.72	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.053	mg/l	como Nitrógeno

Ensayo de calidad de agua de Chilcatotora

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra procedencia:	Comunidad de Chilca Totorá.- Tarquí.- Cuenca.- Azuay.
Fecha de Análisis:	6 de Junio del 2006
Análisis solicitado por:	Gobierno Provincial del Azuay.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
TEMPERATURA		°C.	in situ
TURBIEDAD	9.3	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	64.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	20.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	1443.0	microsiemens/ cm	



SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	952.4	mg/l	por cálculo
PH	7.0		
ALCALINIDAD TOTAL	190.0	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD F.	0.0	mg/l, CaCO3	
ACIDEZ		mg/l, CaCO3	
CO2		mg/l	
DUREZA TOTAL	84.0	mg/l, CaCO3	
Ca++	20.0	mg/l	
Mg++	8.3	mg/l	por cálculo
Na+		mg/l	
K+		mg/l	
HIERRO TOTAL	1.1	mg/l	
MANGANESO	0.0	mg/l	
CLORUROS	293.0	mg/l	
SULFATOS	19.0	mg/l	
N. NTIRITOS	0.0	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.5	mg/l	como Nitrógeno

Ensayo de calidad de agua de Morascale

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra procedencia:	Comunidad de Moras Calle.- Parroquia Tarqui.
Fecha de Análisis:	21 de Abril del 2006
Análisis solicitado por:	Gobierno Provincial del Azuay.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
TEMPERATURA		°C.	in situ
TURBIEDAD	1.45	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	8.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	8.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	821.5	microsiemens/ cm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	542.2	mg/l	por cálculo
PH	6.9		
ALCALINIDAD TOTAL	268.0	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD F.	0.0	mg/l, CaCO3	
ACIDEZ		mg/l, CaCO3	
CO2		mg/l	
DUREZA TOTAL	258.0	mg/l, CaCO3	

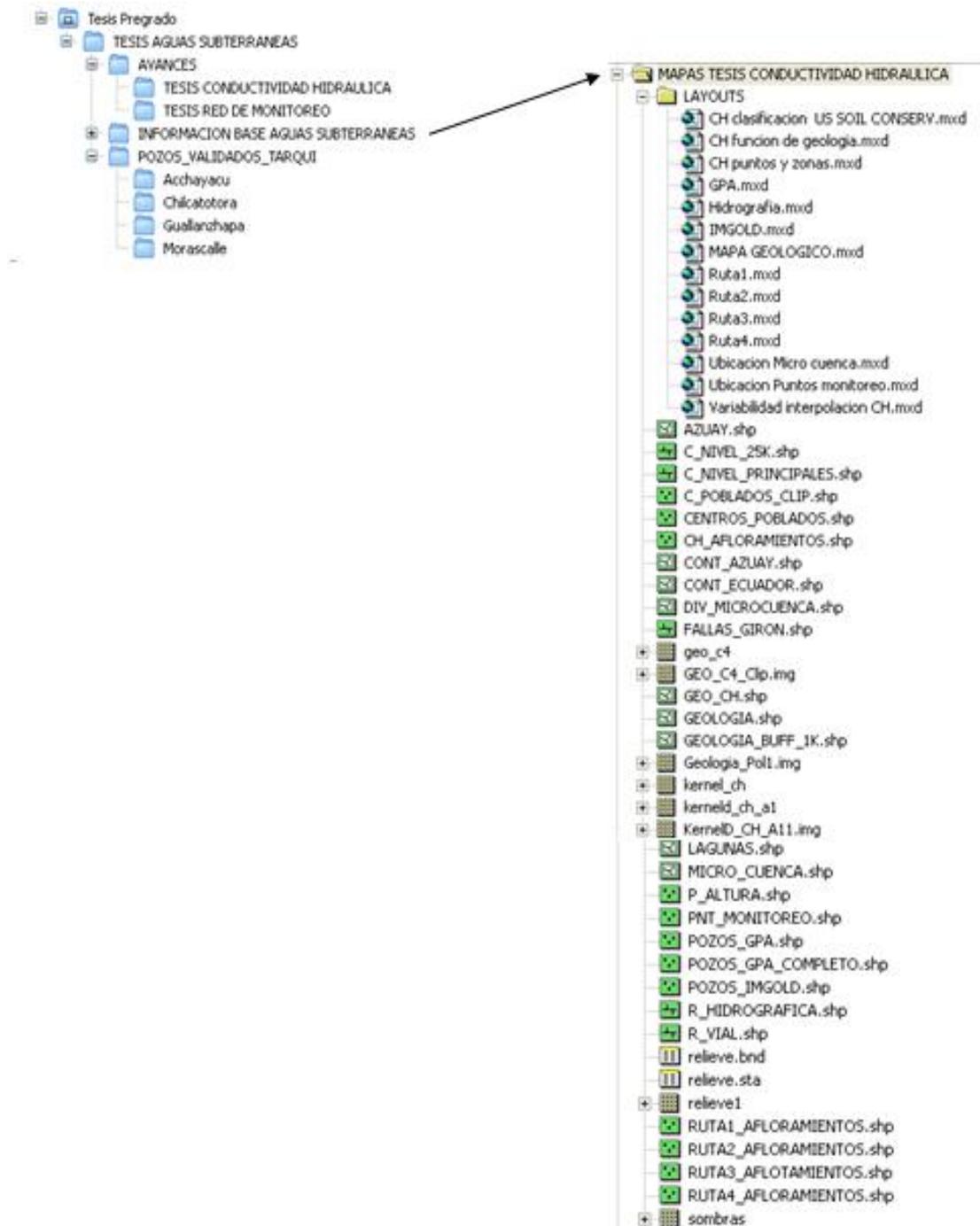


UNIVERSIDAD DE CUENCA

Ca ⁺⁺	58.4	mg/l	
Mg ⁺⁺	27.2	mg/l	por cálculo
Na ⁺		mg/l	
K ⁺		mg/l	
HIERRO TOTAL	0.4	mg/l	
MANGANESO	0.6	mg/l	
CLORUROS	33.0	mg/l	
SULFATOS	275.0	mg/l	
N. NTIRITOS	0.0	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.3	mg/l	como Nitrógeno

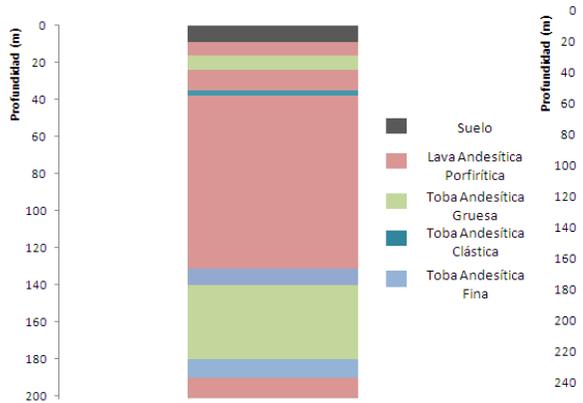


ANEXO 3. Esquema de ubicación de la información

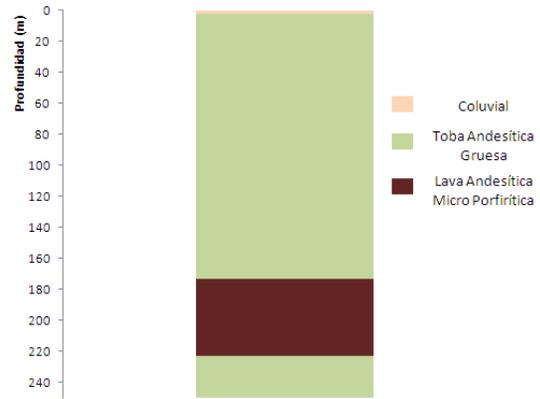




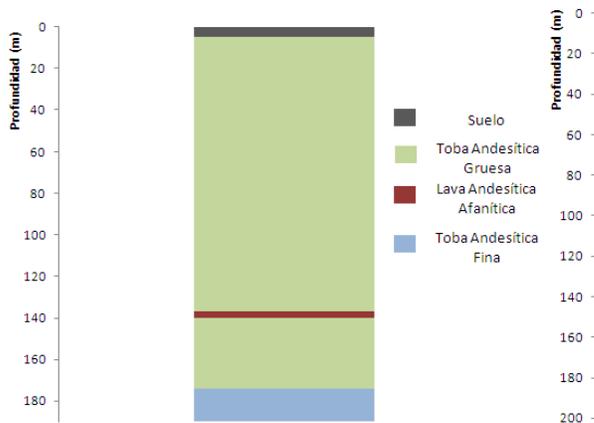
ANEXO 4. Litoestratigrafía de los pozos de IM GOLD S.A. ECUADOR



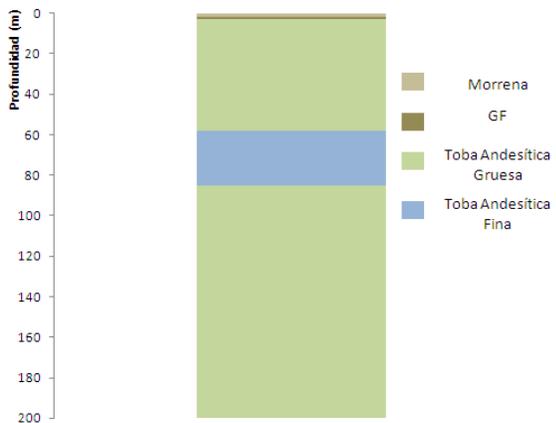
Piezómetro 232



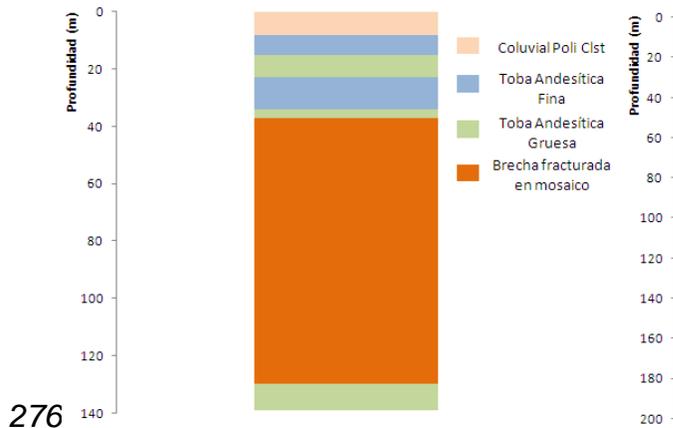
Piezómetro 250



Piezómetro 270

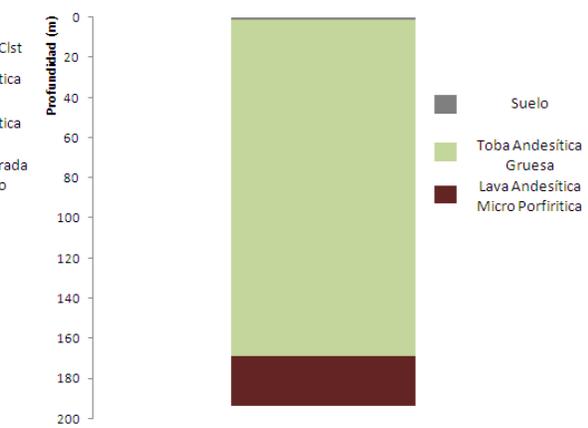


Piezómetro



276

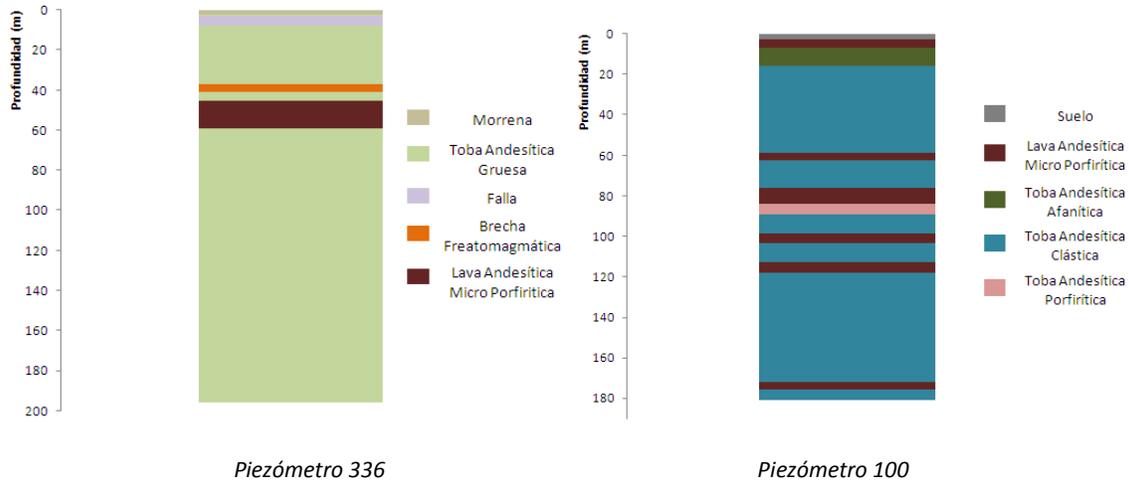
Piezómetro 293



Piezómetro 319



UNIVERSIDAD DE CUENCA



ANEXO 5. Resultados de las pruebas de bombeo realizadas por el GPA

NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA (m): 4.05
 CAUDAL (lts/seg): 0.45

PRUEBA DE BOMBEO DEFINITIVA ACCHAYACU

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	CAUDAL (lts/seg)	NIVEL	NIVEL	DESCENSO (m)	ΔS1 (m)	ΔS2 (m)
				DE Medida	DE BOMBEO			
23/10/2007	9:30	0	0.45		1.40			
23/10/2007	9:31	1	0.45	3.75	2.55	-1.50	-13.7	-12.3
23/10/2007	9:32	2	0.45	5.87	4.67	0.62	-6.98	-5.67
23/10/2007	9:33	3	0.45	7.95	6.75	2.70	-3.05	-1.8
23/10/2007	9:34	4	0.45	9.64	8.44	4.39	-0.26	0.96
23/10/2007	9:35	5	0.45	10.60	9.40	5.35	1.91	3.09
23/10/2007	9:36	6	0.45	11.58	10.38	6.33	3.67	4.83
23/10/2007	9:37	7	0.45	12.66	11.46	7.41	5.17	6.31
23/10/2007	9:38	8	0.45	13.69	12.49	8.44	6.46	7.59
23/10/2007	9:39	9	0.45	14.64	13.44	9.39	7.61	8.71
23/10/2007	9:40	10	0.45	15.37	14.17	10.12	8.63	9.72
23/10/2007	9:42	12	0.45	16.54	15.34	11.29	10.4	11.46
23/10/2007	9:44	14	0.45	17.61	16.41	12.36	11.89	12.94
23/10/2007	9:46	16	0.45	18.55	17.35	13.30	13.19	14.21
23/10/2007	9:48	18	0.45	19.43	18.23	14.18	14.33	15.34
23/10/2007	9:50	20	0.45	20.23	19.03	14.98	15.35	16.35
23/10/2007	9:52	22	0.45	20.96	19.76	15.71	16.27	17.26
23/10/2007	9:54	24	0.45	21.59	20.39	16.34	17.12	18.09
23/10/2007	9:56	26	0.45	22.27	21.07	17.02	17.89	18.86
23/10/2007	9:58	28	0.45	23.19	21.99	17.94	18.61	19.57
23/10/2007	10:00	30	0.45	24.12	22.92	18.87	19.28	20.23
23/10/2007	10:05	35	0.45	25.69	24.49	20.44	20.78	21.7
23/10/2007	10:10	40	0.45	27.11	25.91	21.86	22.07	22.98



UNIVERSIDAD DE CUENCA

23/10/2007	10:15	45	0.45	28.44	27.24	23.19	23.21	24.1
23/10/2007	10:20	50	0.45	29.55	28.35	24.30	24.24	25.11
23/10/2007	10:25	55	0.45	30.53	29.33	25.28	25.16	26.02
23/10/2007	10:30	60	0.45	31.40	30.20	26.15	26	26.86
23/10/2007	10:40	70	0.45	32.94	31.74	27.69	27.5	28.33
23/10/2007	10:50	80	0.45	34.22	33.02	28.97	28.79	29.61
23/10/2007	11:00	90	0.45	35.34	34.14	30.09	29.94	30.73
23/10/2007	11:10	100	0.45	36.35	35.15	31.10	30.96	31.74
23/10/2007	11:20	110	0.45	37.25	36.05	32.00	31.88	32.65
23/10/2007	11:30	120	0.45	38.08	36.88	32.83	32.73	33.49
23/10/2007	12:00	150	0.45	39.17	37.97	33.92	34.89	35.62
23/10/2007	12:30	180	0.45	41.15	39.95	35.90	36.66	37.36
23/10/2007	13:00	210	0.45	43.10	41.90	37.85	38.15	38.84
23/10/2007	13:30	240	0.45	44.56	43.36	39.31	39.45	40.11
23/10/2007	14:00	270	0.45	45.77	44.57	40.52	40.59	41.24
23/10/2007	14:30	300	0.45	46.96	45.76	41.71	41.61	42.25
23/10/2007	15:00	330	0.45	47.88	46.68	42.63	42.54	43.16
23/10/2007	15:30	360	0.45	48.83	47.63	43.58	43.38	43.99
23/10/2007	16:30	420	0.45	50.32	49.12	45.07	44.88	45.47
23/10/2007	17:30	480	0.45	51.61	50.41	46.36	46.17	46.74
23/10/2007	18:30	540	0.45	52.84	51.64	47.59	47.31	47.87
23/10/2007	19:30	600	0.45	53.87	52.67	48.62	48.33	48.88
23/10/2007	20:30	660	0.45	54.76	53.56	49.51	49.26	49.79
23/10/2007	21:30	720	0.45	55.71	54.51	50.46	50.1	50.62
23/10/2007	22:30	780	0.45	56.71	55.51	51.46	50.88	51.39
23/10/2007	23:30	840	0.45	57.43	56.23	52.18	51.6	52.1
24/10/2007	0:30	900	0.45	58.11	56.91	52.86	52.27	52.76
24/10/2007	1:30	960	0.45	58.66	57.46	53.41	52.89	53.37
24/10/2007	2:30	1020	0.45	59.17	57.97	53.92	53.48	53.95
24/10/2007	3:30	1080	0.45	59.65	58.45	54.40	54.03	54.5
24/10/2007	4:30	1140	0.45	60.09	58.89	54.84	54.56	55.02
24/10/2007	5:30	1200	0.45	60.50	59.30	55.25	55.06	55.51
24/10/2007	6:30	1260	0.45	60.86	59.66	55.61	55.53	55.97
24/10/2007	7:30	1320	0.45	61.22	60.02	55.97	55.98	56.42
24/10/2007	8:30	1380	0.45	61.58	60.38	56.33	56.41	56.84
24/10/2007	9:30	1440	0.45	61.95	60.75	56.70	56.82	57.25

Nivel Estático del Agua

(m): 5.96

Caudal (lts/seg): 0.50

PRUEBA DE BOMBEO DEFINITIVA CHILCATOTORA

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	CAUDAL (lts/seg)	NIVEL	NIVEL	DESCENSO (m)	ΔS1 (m)	ΔS2 (m)
				DE Medida	DE BOMBEO			



UNIVERSIDAD DE CUENCA

6/6/2006	9:30	0	0.50		5.36			
6/6/2006	9:31	1	0.50	4.49	3.45	-2.51	-22.8	-167.93
6/6/2006	9:32	2	0.50	6.63	5.59	-0.37	-15.9	-145.06
							-	
6/6/2006	9:33	3	0.50	8.22	7.18	1.22	11.86	-131.68
6/6/2006	9:34	4	0.50	9.08	8.04	2.08	-8.99	-122.18
6/6/2006	9:35	5	0.50	9.78	8.74	2.78	-6.77	-114.82
6/6/2006	9:36	6	0.50	10.26	9.22	3.26	-4.95	-108.8
6/6/2006	9:37	7	0.50	11.62	10.58	4.62	-3.42	-103.72
6/6/2006	9:38	8	0.50	12.16	11.12	5.16	-2.09	-99.31
6/6/2006	9:39	9	0.50	12.80	11.76	5.80	-0.91	-95.42
6/6/2006	9:40	10	0.50	13.49	12.45	6.49	0.14	-91.95
6/6/2006	9:42	12	0.50	14.43	13.39	7.43	1.95	-85.93
6/6/2006	9:44	14	0.50	15.33	14.29	8.33	3.49	-80.84
6/6/2006	9:46	16	0.50	16.12	15.08	9.12	4.82	-76.44
6/6/2006	9:48	18	0.50	16.88	15.84	9.88	5.99	-72.55
6/6/2006	9:50	20	0.50	17.60	16.56	10.60	7.04	-69.07
6/6/2006	9:52	22	0.50	18.23	17.19	11.23	7.99	-65.93
6/6/2006	9:54	24	0.50	18.81	17.77	11.81	8.86	-63.06
6/6/2006	9:56	26	0.50	19.34	18.30	12.34	9.66	-60.42
6/6/2006	9:58	28	0.50	19.85	18.81	12.85	10.4	-57.97
6/6/2006	10:00	30	0.50	20.30	19.26	13.30	11.08	-55.7
6/6/2006	10:05	35	0.50	21.40	20.36	14.40	12.62	-50.61
6/6/2006	10:10	40	0.50	22.36	21.32	15.36	13.95	-46.2
6/6/2006	10:15	45	0.50	23.24	22.20	16.24	15.12	-42.32
6/6/2006	10:20	50	0.50	24.10	23.06	17.10	16.17	-38.84
6/6/2006	10:25	55	0.50	24.85	23.81	17.85	17.12	-35.69
6/6/2006	10:30	60	0.50	25.40	24.36	18.40	17.99	-32.82
6/6/2006	10:40	70	0.50	26.78	25.74	19.78	19.53	-27.74
6/6/2006	10:50	80	0.50	27.76	26.72	20.76	20.86	-23.33
6/6/2006	11:00	90	0.50	28.68	27.64	21.68	22.03	-19.44
6/6/2006	11:10	100	0.50	29.56	28.52	22.56	23.08	-15.97
6/6/2006	11:20	110	0.50	30.40	29.36	23.40	24.03	-12.82
6/6/2006	11:30	120	0.50	31.15	30.11	24.15	24.9	-9.95
6/6/2006	12:00	150	0.50	33.21	32.17	26.21	27.12	-2.59
6/6/2006	12:30	180	0.50	35.02	33.98	28.02	28.94	3.43
6/6/2006	13:00	210	0.50	36.63	35.59	29.63	30.47	8.52
6/6/2006	13:30	240	0.50	38.08	37.04	31.08	31.8	12.92
6/6/2006	14:00	270	0.50	39.35	38.31	32.35	32.98	16.81
6/6/2006	14:30	300	0.50	40.52	39.48	33.52	34.03	20.29
6/6/2006	15:00	330	0.50	41.65	40.61	34.65	34.98	23.43
6/6/2006	15:30	360	0.50	42.78	41.74	35.78	35.84	26.3
6/6/2006	16:30	420	0.50	44.73	43.69	37.73	37.38	31.39
6/6/2006	17:30	480	0.50	46.77	45.73	39.77	38.71	35.8
6/6/2006	18:30	540	0.50	49.28	48.24	42.28	39.88	39.68
6/6/2006	19:30	600	0.50	51.76	50.72	44.76	40.93	43.16
6/6/2006	20:30	660	0.50	53.96	52.92	46.96	41.88	46.31



UNIVERSIDAD DE CUENCA

6/6/2006	21:30	720	0.50	56.01	54.97	49.01	42.75	49.18
6/6/2006	22:30	780	0.50	58.84	57.80	51.84	43.55	51.82
6/6/2006	23:30	840	0.50	61.60	60.56	54.60	44.28	54.26
7/6/2006	0:30	900	0.50	63.52	62.48	56.52	44.97	56.54
7/6/2006	1:30	960	0.50	65.50	64.46	58.50	45.61	58.67
7/6/2006	2:30	1020	0.50		0.00	(5.96)	46.22	60.67
7/6/2006	3:30	1080	0.50		0.00	(5.96)	46.79	62.56
7/6/2006	4:30	1140	0.50		0.00	(5.96)	47.33	64.34
7/6/2006	5:30	1200	0.50		0.00	(5.96)	47.84	66.03
7/6/2006	6:30	1260	0.50		0.00	(5.96)	48.32	67.64
7/6/2006	7:30	1320	0.50		0.00	(5.96)	48.79	69.18
7/6/2006	8:30	1380	0.50		0.00	(5.96)	49.23	70.65
7/6/2006	9:30	1440	0.50		0.00	(5.96)	49.65	72.05

Nivel Estático del Agua

(m): 10.05

Caudal (lts/seg): 0.50

PRUEBA DE BOMBEO DEFINITIVA GULLANZHAPA

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	CAUDAL (lts/seg)	NIVEL	NIVEL	DESCENSO (m)	ΔS1 (m)	ΔS2 (m)
				DE Medida	DE BOMBEO			
4/6/2008	10:00	0	0.50		5.40			
4/6/2008	10:01	1	0.50	11.47	10.47	0.42	15.06	-19.9
4/6/2008	10:02	2	0.50	12.40	11.40	1.35	-9.53	-13.85
4/6/2008	10:03	3	0.50	13.10	12.10	2.05	-6.3	-10.31
4/6/2008	10:04	4	0.50	13.77	12.77	2.72	-4	-7.8
4/6/2008	10:05	5	0.50	14.48	13.48	3.43	-2.22	-5.85
4/6/2008	10:06	6	0.50	15.15	14.15	4.10	-0.77	-4.26
4/6/2008	10:07	7	0.50	15.73	14.73	4.68	0.46	-2.92
4/6/2008	10:08	8	0.50	16.29	15.29	5.24	1.53	-1.75
4/6/2008	10:09	9	0.50	16.79	15.79	5.74	2.47	-0.72
4/6/2008	10:10	10	0.50	17.33	16.33	6.28	3.31	0.2
4/6/2008	10:12	12	0.50	18.23	17.23	7.18	4.76	1.79
4/6/2008	10:14	14	0.50	19.02	18.02	7.97	5.99	3.13
4/6/2008	10:16	16	0.50	19.80	18.80	8.75	7.06	4.3
4/6/2008	10:18	18	0.50	20.50	19.50	9.45	8	5.33
4/6/2008	10:20	20	0.50	21.18	20.18	10.13	8.84	6.24
4/6/2008	10:22	22	0.50	21.77	20.77	10.72	9.6	7.08
4/6/2008	10:24	24	0.50	22.35	21.35	11.30	10.29	7.84
4/6/2008	10:26	26	0.50	22.87	21.87	11.82	10.93	8.53
4/6/2008	10:28	28	0.50	23.38	22.38	12.33	11.52	9.18
4/6/2008	10:30	30	0.50	23.87	22.87	12.82	12.07	9.78
4/6/2008	10:35	35	0.50	24.98	23.98	13.93	13.3	11.13



UNIVERSIDAD DE CUENCA

4/6/2008	10:40	40	0.50	25.89	24.89	14.84	14.36	12.29
4/6/2008	10:45	45	0.50	26.75	25.75	15.70	15.3	13.32
4/6/2008	10:50	50	0.50	27.52	26.52	16.47	16.14	14.24
4/6/2008	10:55	55	0.50	28.23	27.23	17.18	16.9	15.07
4/6/2008	11:00	60	0.50	28.81	27.81	17.76	17.6	15.83
4/6/2008	11:10	70	0.50	29.70	28.70	18.65	18.83	17.18
4/6/2008	11:20	80	0.50	30.69	29.69	19.64	19.89	18.34
4/6/2008	11:30	90	0.50	31.54	30.54	20.49	20.83	19.37
4/6/2008	11:40	100	0.50	32.34	31.34	21.29	21.67	20.29
4/6/2008	11:50	110	0.50	32.94	31.94	21.89	22.43	21.12
4/6/2008	12:00	120	0.50	33.60	32.60	22.55	23.13	21.88
4/6/2008	12:30	150	0.50	35.87	34.87	24.82	24.91	23.83
4/6/2008	13:00	180	0.50	37.81	36.81	26.76	26.36	25.42
4/6/2008	13:30	210	0.50	38.95	37.95	27.90	27.59	26.77
4/6/2008	14:00	240	0.50	39.94	38.94	28.89	28.66	27.93
4/6/2008	14:30	270	0.50	40.81	39.81	29.76	29.6	28.96
4/6/2008	15:00	300	0.50	41.65	40.65	30.60	30.44	29.88
4/6/2008	15:30	330	0.50	42.41	41.41	31.36	31.2	30.71
4/6/2008	16:00	360	0.50	43.00	42.00	31.95	31.89	31.47
4/6/2008	17:00	420	0.50	44.12	43.12	33.07	33.12	32.82
4/6/2008	18:00	480	0.50	45.11	44.11	34.06	34.18	33.98
4/6/2008	19:00	540	0.50	46.06	45.06	35.01	35.12	35.01
4/6/2008	20:00	600	0.50	46.87	45.87	35.82	35.96	35.93
4/6/2008	21:00	660	0.50	47.77	46.77	36.72	36.72	36.76
4/6/2008	22:00	720	0.50	48.56	47.56	37.51	37.42	37.52
4/6/2008	23:00	780	0.50	49.24	48.24	38.19	38.06	38.22
5/6/2008	0:00	840	0.50	49.95	48.95	38.90	38.65	38.87
5/6/2008	1:00	900	0.50	50.54	49.54	39.49	39.2	39.47
5/6/2008	2:00	960	0.50	51.10	50.10	40.05	39.71	40.03
5/6/2008	3:00	1020	0.50	51.61	50.61	40.56	40.2	40.56
5/6/2008	4:00	1080	0.50	52.08	51.08	41.03	40.65	41.06
5/6/2008	5:00	1140	0.50	52.54	51.54	41.49	41.08	41.53
5/6/2008	6:00	1200	0.50	52.97	51.97	41.92	41.49	41.98
5/6/2008	7:00	1260	0.50	53.39	52.39	42.34	41.88	42.41
5/6/2008	8:00	1320	0.50	53.89	52.89	42.84	42.25	42.81
5/6/2008	9:00	1380	0.50	54.27	53.27	43.22	42.61	43.2
5/6/2008	10:00	1440	0.50	54.58	53.58	43.53	42.95	43.52

Nivel Estático del Agua (m): 5.96

Caudal (lts/seg): 2.02

PRUEBA DE BOMBEO DEFINITIVA MORASCALLE

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	CAUDAL (lts/seg)	NIVEL	NIVEL	DESCENSO (m)	ΔS1 (m)	ΔS2 (m)
				DE Medida	DE BOMBEO			



UNIVERSIDAD DE CUENCA

19/4/2006	9:30	0	2.02		5.40			
19/4/2006	9:31	1	2.02	8.99	7.99	2.03	-5.05	-30.64
19/4/2006	9:32	2	2.02	8.67	7.67	1.71	-3.48	-26.34
19/4/2006	9:33	3	2.02	8.69	7.69	1.73	-2.56	-23.83
19/4/2006	9:34	4	2.02	8.75	7.75	1.79	-1.9	-22.05
19/4/2006	9:35	5	2.02	8.85	7.85	1.89	-1.39	-20.67
19/4/2006	9:36	6	2.02	8.93	7.93	1.97	-0.98	-19.54
19/4/2006	9:37	7	2.02	9.03	8.03	2.07	-0.63	-18.59
19/4/2006	9:38	8	2.02	9.11	8.11	2.15	-0.32	-17.76
19/4/2006	9:39	9	2.02	9.19	8.19	2.23	-0.06	-17.03
19/4/2006	9:40	10	2.02	9.25	8.25	2.29	0.18	-16.38
19/4/2006	9:42	12	2.02	9.39	8.39	2.43	0.6	-15.25
19/4/2006	9:44	14	2.02	9.53	8.53	2.57	0.95	-14.3
19/4/2006	9:46	16	2.02	9.69	8.69	2.73	1.25	-13.47
19/4/2006	9:48	18	2.02	9.78	8.78	2.82	1.52	-12.74
19/4/2006	9:50	20	2.02	9.86	8.86	2.90	1.76	-12.09
19/4/2006	9:52	22	2.02	9.97	8.97	3.01	1.98	-11.5
19/4/2006	9:54	24	2.02	10.07	9.07	3.11	2.17	-10.96
19/4/2006	9:56	26	2.02	10.15	9.15	3.19	2.36	-10.46
19/4/2006	9:58	28	2.02	10.23	9.23	3.27	2.53	-10
19/4/2006	10:00	30	2.02	10.31	9.31	3.35	2.68	-9.58
19/4/2006	10:05	35	2.02	10.47	9.47	3.51	3.03	-8.62
19/4/2006	10:10	40	2.02	10.65	9.65	3.69	3.34	-7.8
19/4/2006	10:15	45	2.02	10.93	9.93	3.97	3.61	-7.07
19/4/2006	10:20	50	2.02	11.06	10.06	4.10	3.84	-6.41
19/4/2006	10:25	55	2.02	11.18	10.18	4.22	4.06	-5.82
19/4/2006	10:30	60	2.02	11.29	10.29	4.33	4.26	-5.29
19/4/2006	10:40	70	2.02	11.49	10.49	4.53	4.61	-4.33
19/4/2006	10:50	80	2.02	11.62	10.62	4.66	4.91	-3.5
19/4/2006	11:00	90	2.02	11.74	10.74	4.78	5.18	-2.78
19/4/2006	11:10	100	2.02	11.85	10.85	4.89	5.42	-2.12
19/4/2006	11:20	110	2.02	12.62	11.62	5.66	5.64	-1.53
19/4/2006	11:30	120	2.02	12.84	11.84	5.88	5.84	-0.99
19/4/2006	12:00	150	2.02	13.37	12.37	6.41	6.34	0.39
19/4/2006	12:30	180	2.02	13.72	12.72	6.76	6.76	1.52
19/4/2006	13:00	210	2.02	14.00	13.00	7.04	7.11	2.47
19/4/2006	13:30	240	2.02	14.32	13.32	7.36	7.41	3.3
19/4/2006	14:00	270	2.02	14.50	13.50	7.54	7.68	4.03
19/4/2006	14:30	300	2.02	15.05	14.05	8.09	7.92	4.68
19/4/2006	15:00	330	2.02	15.25	14.25	8.29	8.14	5.27
19/4/2006	15:30	360	2.02	15.44	14.44	8.48	8.34	5.81
19/4/2006	16:30	420	2.02	15.73	14.73	8.77	8.69	6.76
19/4/2006	17:30	480	2.02	15.97	14.97	9.01	8.99	7.59
19/4/2006	18:30	540	2.02	16.20	15.20	9.24	9.26	8.32
19/4/2006	19:30	600	2.02	17.01	16.01	10.05	9.5	8.97
19/4/2006	20:30	660	2.02	16.93	15.93	9.97	9.71	9.56
19/4/2006	21:30	720	2.02	17.09	16.09	10.13	9.91	10.1



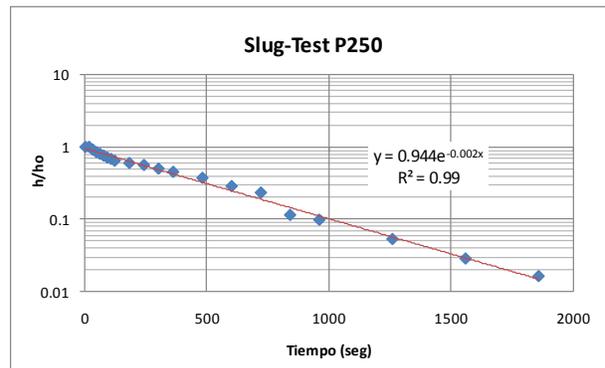
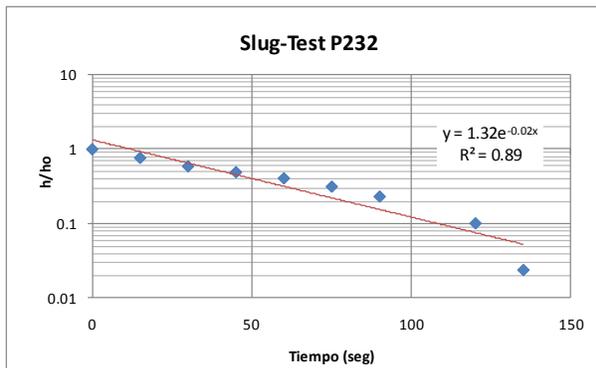
19/4/2006	22:30	780	2.02	17.55	16.55	10.59	10.09	10.6
19/4/2006	23:30	840	2.02	17.80	16.80	10.84	10.26	11.05
20/4/2006	0:30	900	2.02	18.59	17.59	11.63	10.42	11.48
20/4/2006	1:30	960	2.02	18.97	17.97	12.01	10.57	11.88
20/4/2006	2:30	1020	2.02	19.24	18.24	12.28	10.71	12.26
20/4/2006	3:30	1080	2.02	19.46	18.46	12.50	10.84	12.61
20/4/2006	4:30	1140	2.02	19.65	18.65	12.69	10.96	12.95
20/4/2006	5:30	1200	2.02	19.92	18.92	12.96	11.07	13.26
20/4/2006	6:30	1260	2.02	20.12	19.12	13.16	11.19	13.56
20/4/2006	7:30	1320	2.02	20.37	19.37	13.41	11.29	13.85
20/4/2006	8:30	1380	2.02	20.72	19.72	13.76	11.39	14.13
20/4/2006	9:30	1440	2.02	21.00	20.00	14.04	11.49	14.39

ANEXO 6. Informe PROMAS sobre IM GOLD S.A. ECUADOR

Pruebas de "Slug Test"

Según se ve en la Figura 14, las pruebas de Slug Test, por el método Hvorslev no se pueden validar debido principalmente al método constructivo de cada piezómetro, por lo que se obtienen valores de conductividad hidráulica no válidos para el tipo de material que se está evaluando en el sector del proyecto.

Se puede observar también en la Figura 1, en los piezómetros 291 y 357, que su conductividad hidráulica es exagerada para su litología, por ello se cree que existe una grieta, pues sus gráficos son la típica muestra de una grieta en un reservorio.



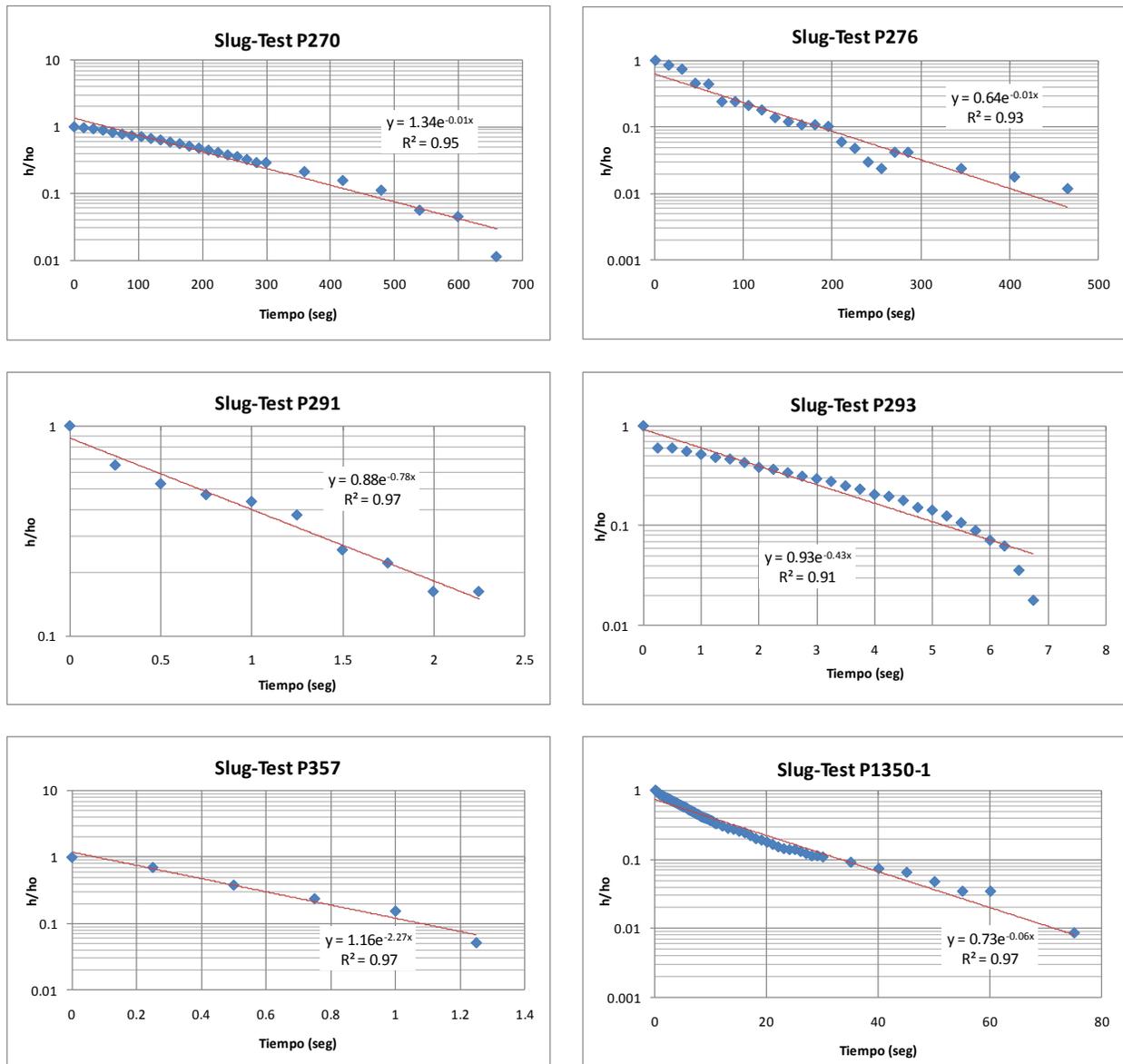


Figura 14: Diferentes pruebas de "Slug Test" en los piezómetros manuales.
Fuente: PROMAS

En la tabla 19, se puede ver que se obtuvieron diferentes resultados de conductividad hidráulica para un mismo material, por lo que no se debe usar este método para piezómetros que no han sido construidos con la metodología de la figura 2.6



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Piezómetro	Conductividad Hidráulica K	Unidad
232	0,5450	[m/día]
	0,0183	[m/día]
	0,0195	[m/día]
	0,0151	[m/día]
250	0,1241	[m/día]
	0,1239	[m/día]
	0,3580	[m/día]
	0,8584	[m/día]
270	0,4988	[m/día]
276	0,8498	[m/día]
	1,2609	[m/día]
291	82,8595	[m/día]
293	2,8494	[m/día]
	0,4581	[m/día]
	20,1063	[m/día]
	43,7286	[m/día]
319	0,0060	[m/día]
336	0,0562	[m/día]
	0,0865	[m/día]
357	100,4865	[m/día]
1350-01	4,7621	[m/día]
	2,3313	[m/día]
	1,1014	[m/día]

*Tabla 19: Resultados de las pruebas de "Slug Test" en los piezómetros manuales.
Fuente: PROMAS*

Conclusiones

Consecuencia de los resultados obtenidos, se concluye, que todos los piezómetros deben ser construidos con la geometría mostrada en la figura 2.6

Hay una alta probabilidad de que exista una grieta en los piezómetros 357, 291 y 293, por su gran capacidad de desalojar el agua de la prueba.