

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**“IDENTIFICACION DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS MEDIANTE
PRUEBAS HIDRÁULICAS EN EL PROYECTO CERRO CORONA,
CAJAMARCA, PERÚ”**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentada por el Bachiller:

VÍCTOR ELVER GUEVARA CERVERA

ASESOR:

Ing. Jose Alfredo Siveroni Morales

**Cajamarca - Diciembre
2013**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica



TESIS

**“IDENTIFICACION DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS MEDIANTE
PRUEBAS HIDRÁULICAS EN EL PROYECTO CERRO CORONA,
CAJAMARCA, PERÚ”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTADA POR EL BACHILLER:

VÍCTOR ELVER GUEVARA CERVERA

ASESOR:

Ing. Jose Alfredo Siveroni Morales

CAJAMARCA - DICIEMBRE

2013

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca quienes contribuyeron en mi formación profesional en especial a mi asesor Ing. José Siveroni Morales por el apoyo brindado durante todo el desarrollo de la presente tesis.

A la empresa MWH PERU S.A por brindarme la oportunidad de realizar la tesis **“Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú”**, en su prestigiosa empresa, dotando de grandes experiencias y mayores conocimientos aplicados en el ámbito profesional de la Hidrogeología.

Especial agradecimiento al M.Sc. Dave Evans, Ing. Eduardo Marín Gomez, por compartir con mi persona su sabiduría y brindarme su apoyo durante la realización de este trabajo.

A mis padres, hermana, esposa, amigos y compañeros que me han apoyado incondicionalmente de una u otra manera con la realización de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

El esfuerzo y trabajo involucrado en el desarrollo de esta tesis son dedicados con cariño a mi esposa, padres y hermana.

RESUMEN

El trabajo realizado en esta Tesis Profesional propone una metodología para definir unidades hidrogeológicas. Sin embargo, no existe una definición aceptada ampliamente por lo que el presente trabajo se propone definir unidades hidrogeológicas usando características litológicas de testigos de perforación diamantina y valores de conductividad hidráulica.

La metodología de investigación científica empleada en esta tesis es del tipo descriptiva e interpretativa, y ha sido desarrollada en 2 etapas :(a) trabajos de gabinete, que consisten en la recopilación de información proveniente de trabajos de campo y estudios anteriores; (b) trabajos de campo, constituidos por el cartografiado geológico e hidrogeológico local, aforo de manantiales y arroyos, toma de características litológicas de testigos de perforación y realización de ensayos de permeabilidad en perforaciones diamantinas.

A partir de los procesos descritos anteriormente se realiza un tratamiento estadístico de la información seleccionada, condiciones de flujo subterráneo, determinación de unidad hidrogeológica, mediante condiciones litológicas y conductividad hidráulica de las Formaciones Pariatambo y Yumagual, así como también del Volcánico Huambos e Intrusivos. Se usaron el software Arc Gis, Strater 2 y Microsoft Office 2007.

Se identificó la existencia de cuatro unidades hidrogeológicas clasificadas y catalogadas en acuíferos y acuitardos.

INDICE GENERAL

	Pág.
PORTADA	
AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
INDICE.....	iv

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del Problema	1
1.2.1 Definición.....	1
1.2.2 Planteamiento del Problema	2
1.2.3 Formulación del Problema.....	2
1.2.4 Delimitación del Estudio	2
1.2.5 Justificación del Problema.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos	3
1.4 Ubicación y Acceso	3
1.5 Clima y Vegetación	5
1.6 Geomorfología y Drenaje	6
1.6.1 Geomorfología.....	6
1.6.2 Drenaje.....	6
1.7 Geología Regional y Local	8
1.7.1 Geología Regional.....	8
1.7.1.1 Secuencia Estratigráfica	8
1.7.1.1.1 Formación Chulec	8
1.7.1.1.2 Formación Pariatambo	9
1.7.1.1.3 Formación Yumagual	10
1.7.1.1.4 Formación Mujarrum	11
1.7.1.1.5 Volcánico Huambos	12
1.7.1.1.6 Rocas Intrusivas.....	12

1.7.1.2 Geología Estructural	13
1.7.1.3 Geología Histórica	14
1.7.2 Geología Local	18
1.7.2.1 Formación Pariatambo.....	18
1.7.2.2 Formación Yumagual.....	19
1.7.2.3 Volcánico Huambos (Ts-vh).....	22
1.7.2.4 Intrusivos.....	22
1.7.2.5 Depósitos Cuaternarios	23
1.7.3 Geología Estructural Local	26
1.7.3.1 Sistemas Estructurales	26
1.7.4 Estratificaciones y fracturamientos.....	27

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.....	28
2.2 TEORIAS RELATIVAS AL PROBLEMA DE INVESTIGACION	29
2.3 FUNDAMENTOS TEORICOS	31
2.3.1 Parámetros Geológicos Geomecánicos del Macizo Rocosó.....	31
2.3.2 Hidrogeología y Parámetros Hidrogeológicos	33
2.3.3 Pruebas de Conductividad Hidráulica	39
2.4 Formulación de la Hipótesis	46

CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación	47
3.2 Procedimiento y Técnicas de Recolección de datos.....	47
3.2.1 Técnicas de Gabinete.....	47
3.2.1.1 Recopilación de la información y fuente de datos	47
3.2.1.2 Procesamiento de datos y análisis de la información	48
3.2.2 Técnicas de Campo.....	55
3.2.2.1 Reconocimiento Geológico de Superficie, Mapeo Hidrogeológico y Selección de puntos de perforación.....	55
3.2.2.2 Monitoreo de perforación	58
3.3 Descripción del Equipo e Instrumentos de Medición.....	77
3.4 Control de Calidad de los Datos	79

CAPITULO IV: PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultado de la Investigación y Análisis de la Información	80
4.1.1 Programa y Monitoreo de Perforación.....	80
4.1.1.1 Registro Geológico de Testigos de Perforación	83
4.1.2 Hidrogeología	94
4.1.2.1 Mapeo Hidrogeológico (Inventario de Fuentes de Agua Subterránea)..	94
4.1.2.2 Pruebas de Conductividad Hidráulica (permeabilidad).....	97
4.1.2.3 Retornos y Niveles de Agua Durante la Perforación	106
4.1.2.4 Rasgos Kársticos (Epicarst y Endokarst).....	107
4.1.2.5 Diseño e Instalación de piezómetros.....	108
4.1.2.6 Monitoreo de niveles de agua y elaboración de hidrogramas	112
4.1.2.7 Unidades Hidrogeológicas	115
4.2 Contratación de la Hipótesis.....	116
4.3 Interpretación de la información	116
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	128
BIBLIOGRAFÍA.....	131
ANEXOS	
ANEXO A:....MAPEO HIDROGEOLÓGICO E INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	
ANEXO B:.....LOGUEO DE TESTIGOS DE PERFORACION	
ANEXO C:.....PRUEBAS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (PERMEABILIDAD)	
ANEXO D:.....REGISTRO FOTOGRÁFICO DE TESTIGOS DE PERFORACIÓN	
ANEXO E:.....REGISTRO DE NIVELES PIEZOMETRICOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Mapa de Ubicación y Accesos al Proyecto Cerro Corona.....	4
Figura 1-2: Disposición litológica y emplazamientos cupríferos presentes en el norte del Perú, Chicama1–Yanacocha.....	13
Figura 1-3: Columna Estratigráfica Regional-Hualgayoc y Local Proyecto Cerro Corona.....	17
Figura 2-1: Representación esquemática de los diferentes tipos de acuíferos.....	36
Figura 2-2: Conductividad hidráulica (m/s) para los diferentes tipos de materiales.....	37
Figura 2-3: Representación esquemática del nivel freático (FCIHS, 2004).....	37
Figura 2-4: Representación esquemática del nivel piezómetro (FCIHS, 2004).....	38
Figura 2-5: Esquemización de un ensayo Lugeón.....	44
Figura 2-6: Esquema de los diferentes tipos de packer utilizados en un ensayo Lugeón.....	45
Figura 2-7: Patrones de unidades Lugeon para el análisis e interpretación de Conductividad Hidráulica y tipo de flujo.....	46
Figura3-1: Patrones y tipos de resultados de prueba con obturador (MWH).....	49
Figura 3-2: Guía y leyenda estándar para la elaboración de mapas hidrogeológicos (Strucmeier y Margat, 1995).....	54
Figura 3-3: Esquema de prueba Lefranc Carga Constante.....	64
Figura 3-4: Esquema de prueba Lefranc Carga Variable.....	66

	Pág.
Figura 3-5: Formato de logueo para campo (formato interno MWH).....	72
Figura 3-6: Representación gráfica de la medición y cálculo del índice RQD (González Vallejo, 2002).....	72
Figura 3-7: Diseño y elaboración de piezómetro.....	74
Figura 4-1: Sección geológica longitudinal NW-NE (B-B'), desde Valle La Hierba a Tajo Cerro Corona.....	87
Figura 4-2: Sección geológica longitudinal NW-NE (B-B'), desde Valle La Hierba a Tajo Cerro Corona.....	88
Figura 4-3: TC-03 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	89
Figura 4-4: TC-04 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	90
Figura 4-5: TC-01 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	90
Figura 4-6: TC-02 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	91
Figura 4-7: H-02 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	91
Figura 4-8: H-01 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	92
Figura 4-9: R-01 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	92
Figura 4-10: R-02 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	93
Figura 4-11: F-01 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).....	93
Figura 4-12: Representación de la permeabilidad vs profundidad en cada Perforación.....	98

	Pág.
Figura 4-13: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación TC-03.....	99
Figura 4-14: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación TC-04.....	100
Figura 4-15: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación TC-01.....	101
Figura 4-16: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación TC-02.....	102
Figura 4-17: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación H-02.....	103
Figura 4-18: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación H-01.....	103
Figura 4-19: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación R-01.....	104
Figura 4-20: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación R-02.....	105
Figura 4-21: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación F-01.....	106
Figura 4-22: Detalle típico del diseño e instalación de piezómetros múltiples (MWH-2011).....	111
Figura 4-23: Evolución de niveles piezométricos y precipitación diaria en el área de estudio.....	113
Figura 4-24: Sección Hidrogeológica C-C' orientada de W-E.....	122
Figura 4-25: Sección Hidrogeológica C-C' orientada de W-E, clasificación por unidad hidrogeológica.....	122
Figura 4-26: Sección Hidrogeológica D-D' orientada de NW-SE, interpretada a partir de perforaciones diamantinas.....	123

	Pág.
Figura 4-27: Sección hidrogeológica orientada de NW-SE, clasificación por unidad hidrogeológica.....	123
Figura 4-28: Sección Hidrogeológica E-E' orientada de SW-SE.....	124
Figura 4-29: Sección Hidrogeológica E-E' interpretada por unidad hidrogeológica...	124
Figura 4-30: Sección hidrogeológica F-F' orientada de SW a NE.....	125
Figura 4-31: Sección hidrogeológica F-F', interpretada por unidad hidrogeológica...	125
Figura 4-32: Valores de conductividad hidráulica por unidad hidrogeológica.....	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1: Datos de precipitación total anual y evaporación potencial.....	5
Tabla 2-1: Profundidades alcanzadas con máquina de perforación Longyear.....	31
Tabla 2-2: Condiciones de las discontinuidades del macizo rocoso asociados a los diferentes valores lugeon.....	46
Tabla 3-1: Clasificación de unidades hidrogeológicas en función de su litología.....	52
Tabla 3-2: Clasificación de unidades hidrogeológicas en función de su permeabilidad (K).....	53
Tabla 3-3: Estandarización de colores para tipos de acuíferos (Strucmeier y Margat, 1995).....	54
Tabla 3-4: Datos tomados en campo prueba de packer, pozo TC-01.....	63
Tabla 3-5: Medias tomadas en campo, perforación TC.01.....	65
Tabla 3-6: Términos descriptivos para la dureza de la roca (Manual interno MWH)....	69
Tabla 3-7: Términos descriptivos para la erosión de la roca (Manual interno MWH)....	69
Tabla 3-8: Términos descriptivos para la alteración de la roca (Manual MWH).....	70
Tabla 3-9: Términos descriptivos para la textura de la roca (Manual interno MWH)....	70
Tabla 3-10: Términos descriptivos para la dureza de la roca (Knight Piésold).....	70
Tabla 4-1: Detalle de perforación y profundidad.....	81
Tabla 4-2: Resumen pruebas de conductividad hidráulica.....	97
Tabla 4-3: Identificación de rasgos kársticos de acuerdo a profundidades.....	108

	Pág.
Tabla 4-4: Detalle de instalación de piezómetros instalados.....	110
Tabla 4-5: Permeabilidad en tipos de roca.....	115
Tabla 4-6: Unidades Hidrogeológicas clasificadas en el Proyecto Cerro Corona.....	116

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1-1: Fm. Chulec. Parte baja del poblado el Tingo. Vista al Sur Este.....	9
Foto 1-2: Fm. Yumagual. Localidad de Cuadratura al Sur del poblado Hualgayoc. Vista Nor Oeste.....	11
Foto 1-3: Formación Mujarrum. Afloramiento sobre carretera Cajamarca-Hualgayoc. Vista al Sur Oeste.....	11
Foto 1-4: Formación Pariatambo cerca al contacto con el intrusivo riolítico.....	19
Foto 1-5: Unidad inferior de la Formación Yumagual caracterizado por bancos delgados de calizas.....	20
Foto 1-6: Vista de gruesos bancos carbonatados que es lo que caracteriza a la parte media de la Formación Yumagual, ruta 501.....	21
Foto 1-7: Afloramiento muy característico de la parte superior de la Formación Yumagual.....	22
Foto 3-1: Técnicas para mapeo geológico, a) Medida de rumbos y buzamientos de estratos y b) Identificando tipo de roca.....	56
Foto 3-2: a) Método volumétrico balde/cronometro y b) Equipo utilizado para la toma de parámetros fisicoquímicos de campo.....	56
Foto 3-3: Maquina CS-100, utilizada para perforaciones y pruebas hidráulicas.....	58
Foto 3-4: Instalación de obturador (packer), a) Instalación en campo y b) Esquema y parámetros de ensayo packer.....	59
Foto 3-5: Instalación de accesorios para prueba packer.....	62
Foto 3-6: Registro geológico de testigos de perforación.....	68

	Pág.
Foto 3-7: Algunos materiales de campo utilizados para el estudio.....	79
Foto 4-1: Maquina de perforación diamantina, modelo CS-100 (Ruen Drilling).....	80
Foto 4-2: Perforaciones TC-01 y TC-04 en Valle Chorro Blanco. Vista al suroeste.....	81
Foto 4-3: Perforaciones H-02 y H-01 Oeste Valle La Hierba. Vista al noroeste.....	82
Foto 4-4: Registro de datos de testigos de perforación, pozo R-01. Vista al noroeste.....	82
Foto 4-5: Testigo de perforación, pozo TC-03 a una profundidad de 83.40 a 87.60 m.....	84
Foto 4-6: Formación Yumagual en contacto con la monzodiorita a los 53 m.81.....	84
Foto 4-7: Zona de falla interceptada con la perforación R-02, zona de contacto con la caliza de la Formación Yumagual.....	85
Foto 4-8: Volcánico Huambos, brecha volcánica polimictica, presencia de oxidación en fracturas, pozo H-02.....	85
Foto 4-9: Caliza gris oscura con capas de margas del pozo F-01, profundidad de 56.05 m a 60.31 m.....	86
Foto 4-10: Mapeo e inventario de fuentes de agua subterránea y superficial, toma de parámetros de campo Manantial M-01.....	94
Foto 4-11: Cavidad kárstica y disolución de fracturas en la Formación Pariatambo.....	95
Foto 4-12: Testigo de perforación, fractura con oxido.....	107
Foto 4-13: Identificación de rasgo kárstico a los 30.4 m en el pozo TC-01.....	107
Foto 4-14: Instalación de piezómetros, sondaje TC-04 (piezómetros multinivel).....	109
Foto 4-15: Monitoreo de piezómetros con sonda eléctrica (H-02).....	112

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El conocimiento y el uso del de un sistema de agua subterráneas requiere una comprensión de los factores hidrogeológicos que controlan el almacenamiento y transporte en el subsuelo del agua subterránea (*i.e* *Monreal et al., 2001; Copeland et al., 2009; saz et al., 2009*).

La investigación de unidades hidrogeológicas contempla una caracterización de las unidades geológicas teniendo en cuenta sus características litológicas y propiedades hidrogeológicas evaluadas a partir del registro geológico de pozos y ejecución de pruebas hidráulicas realizadas en perforaciones diamantinas.

La tesis se encuentra estructurada en cuatro capítulos y sus correspondientes epígrafes y subapartados: (I) Introducción, (II) Marco Teórico, (III) Metodología de la Investigación, y (IV) Presentación y Discusión de Resultados. Un quinto bloque incluye las Conclusiones y Recomendaciones productos de la investigación. Finalmente se presentan las referencias bibliográficas y anexos.

1.2 Planteamiento del Problema

1.2.1 Definición

El proyecto “Cerro Corona” se encuentra desarrollando sus operaciones de explotación desde agosto del 2008, a medida que avanza su etapa de desarrollo nace una mayor necesidad de consumo de agua, humano e industrial.

La dirección de flujo subterráneo y determinación de una masa de agua real en cada formación presente en el área de estudio se dificulta a consecuencia de la composición original de la roca y la presencia de rasgos estructurales con direcciones NS cortadas por otras que van de NE

a SW. Esto no ha permitido una correcta definición de la dinámica de flujo subterráneo, ni una evaluación del potencial hídrico, motivo por el cual amerita realizar un estudio de investigación basado en pruebas hidráulicas utilizando perforaciones diamantinas.

1.2.2 Planteamiento del Problema

El principal problema al que se enfrenta el Proyecto Cerro Corona es la identificación de unidades hidrogeológicas con potencial de explotación de aguas subterráneas con fines de abastecimiento para consumo humano e industrial, no teniendo referencias de la caracterización del macizo rocoso con respecto a la profundidad, ubicación, litología y rasgos geológicos que conlleven a la identificación de unidades saturadas.

1.2.3 Formulación del Problema

¿Cómo reconocer Unidades Hidrogeológicas utilizando parámetros hidrogeológicos a partir de pruebas hidráulicas y características litológicas de pozos realizadas durante perforaciones diamantinas?

1.2.4 Delimitación del Estudio

El presente estudio se realizó en el proyecto Cerro Corona, ubicado en la sierra norte de nuestro país, en la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, donde determinaremos una caracterización de unidades geológicas mediante pruebas hidráulicas en las zonas del Valle La Hierba, Valle Tomas, Valle Chorro Blanco y Las Gordas del proyecto en mención.

Se considera que al realizar trabajos de campo en lugares puntuales del proyecto se asume características litológicas y parámetros hidrogeológicos para la zona SE de las áreas en investigación (La Hierba, Valle Tomas y Las Gordas), por considerarse geológicamente zonas con características litológicas equivalentes (Formación Yumagual, Formación Pariatambo e intrusivos).

1.2.5 Justificación del Problema

El presente estudio desarrollado es una herramienta muy importante en la identificación de potencial hídrico y régimen dinámico de flujo subterráneo, en base a pruebas hidráulicas para identificar las diferentes unidades hidrogeológicas, que nos permitan evaluar el posible recurso hídrico subterráneo presente en el área de estudio.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Caracterizar e identificar unidades hidrogeológicas mediante pruebas hidráulicas.

1.3.2 Específicos

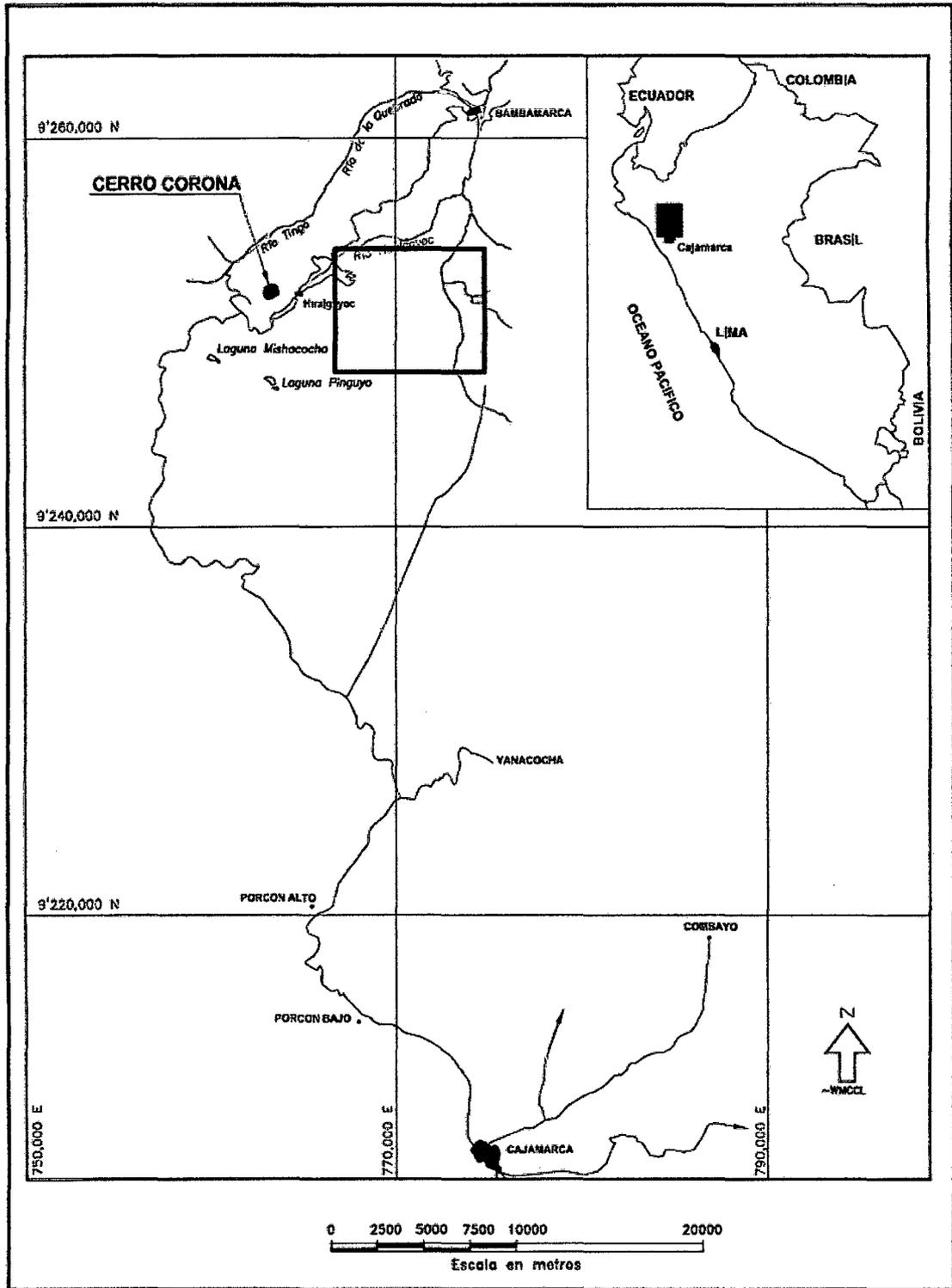
- ✓ Analizar la geología de los testigos de perforación.
- ✓ Definir el nivel de conductividad hidráulica aceptable para la formación de una unidad hidrogeológica.
- ✓ Elaborar e interpretar secciones hidrogeológicas.
- ✓ Realizar un modelo conceptual de las diferentes unidades hidrogeológicas.

1.4 Ubicación y Acceso

El Proyecto Cerro Corona se encuentra ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Hualgayoc, Comunidad Campesina El Tingo, Anexo Predio La Jalca, Caseríos Coymolache y Pilancones. Geográficamente, se encuentra ubicado en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes del Norte de Perú entre los 3 600 y los 4 050 m de altitud.

El acceso hacia el Proyecto Cerro Corona desde Cajamarca es mediante la carretera Cajamarca – Hualgayoc. El proyecto se ubica aproximadamente a 90 km por carretera al noroeste de la capital del departamento de Cajamarca, a 8 km del pueblo de Hualgayoc y a 30 km de la ciudad de Bambamarca, el mayor centro poblado cercano.

Figura 1-1: Mapa de Ubicación y Accesos al Proyecto Cerro Corona.



Fuente: Water Management Consultants

1.5 Clima y Vegetación

De acuerdo con el diagrama bioclimático de Holdridge (1967), en el cual se plasma la interacción de factores climáticos como la temperatura, precipitación y humedad ambiental, el área del proyecto está caracterizada por una zona ubicada entre 3,600 m y 4,000 m de altitud clasificada como subhúmeda y fría con una estación de lluvias y una estación seca bien definidas, mientras que el clima en las elevaciones por encima de los 4,000 m de altitud es húmedo y frío. Aunque ambas zonas permanecen húmedas a lo largo del año, el período entre octubre y abril recibe la mayoría de las precipitaciones anuales y es considerado como la estación de lluvias. El período comprendido entre mayo y setiembre es conocido regionalmente como estación seca.

La precipitación total anual no varía drásticamente de un año a otro, fluctuando este valor entre 756 mm y 1,721.5 mm.

Tabla 1-1: Datos de precipitación total anual y evaporación potencial.

Estación	Altitud (msnm)	Precipitación (mm/año)	Evaporación (mm)
Bambamarca	2450	746.45	
Hualgayoc	3510	1356.1	676.4
UT30	3805	1250.5	

Fuente: Water Management Consultants

El área del proyecto posee en general una cobertura vegetal homogénea, dominada por pastos naturales altos (pajonal) y siempre verde, herbáceas dicotiledóneas diversas y algunos estratos arbustivos propios de las zonas denominadas Jalca o Páramo. En las partes altas, asociados a roquedales, se encuentran estratos de plantas inferiores como musgos y helechos.

Entre las especies que se registran figuran: herbáceas de los géneros Calamagrostis, Festuca y Stipa, además de las especies Paranephelius uniflorus, Werneria nubigena; arbustos como Lupinus jelskianus, Monnina

conferta e *Hypericum laricifolium* y árboles como *Polylepis racemosa* (*Knight Piesold, 2005*).

1.6 Geomorfología y Drenaje

1.6.1 Geomorfología

El área presenta una complejidad geomorfológica ya que es el resultado de procesos endógenos y exógenos. La erosión actual en colinas y vertientes es fuerte, lo que ocurre en los lugares donde las pendientes son pronunciadas.

Las Gordas y Las Águilas; quebradas típicas formadas por la glaciación alpina tardía con influencia tectónica. Las pendientes en el lecho del riachuelo son bajas principalmente del orden entre 2.5% a 5.0% y con cambios de pendientes en algunos sectores del lecho entre 10% y 20% por la influencia tectónica y el cambio litológico. El fondo de las quebradas, tienen anchos variables entre 50m y 150m, con laderas empinadas, formando valles en forma "U", característico del modelado glaciar. La influencia tectónica ha hecho que estas quebradas cambien de sentido de este-oeste a norte-sur, tal como es el caso del valle Las Gordas y el valle Las Águilas (*Knight Piesold, 2005*).

Los principales cerros que se observan en los alrededores del área de estudio son:

Las Gordas (3852m), Candela (3998m), Coymolache (4058m), Las Águilas (3785m) y Las Flacas (3724m), con desniveles que varían entre 120 y 450 m, con respecto a las quebradas.

1.6.2 Drenaje

Quebrada Mesa de Plata, surge en los Cerros Candela y Corona a una cota de 3,990 msnm y fluye a lo largo de los flancos norte y oriental del Cerro Corona antes de confluir con el Río Hualgayoc, a una cota de 3,481 msnm. La cuenca tiene una superficie de 2,31 km².

Knight Piesold (2005) informa un caudal promedio anual en un año normal de 33 l/s para la quebrada.

Quebrada Corona, surge en el flanco sur del Cerro Corona. La quebrada fluye hacia el sur desembocando en el Río Hualgayoc, con el que confluye a una cota de 3,570 msnm.

Knight Piesold (2005) informa un caudal promedio anual en un año normal de 5,3 l/s para la quebrada.

Quebrada Las Gordas, que es un área de captación de 3 km², se encuentra a una altitud de 4,050 msnm en el Cerro Candela y descarga al Río Tingo a una altitud de 3.590 msnm. El caudal promedio en un año normal se calcula en 46 l/s. La Quebrada Las Águilas tiene un área de captación de 1,2 km² y su altitud varía de 4,039 a 3,600 msnm. La quebrada, que desemboca en el Río Tingo aguas arriba de la confluencia de Las Gordas/Río Tingo, tiene un caudal promedio anual calculado en un año normal de 22 l/s.

Río Tingo, se encuentra a una altitud de 3,900 msnm en los flancos de los Cerros de Tantahuatay. El río, que fluye de oeste a este, tiene un área de captación de 9 km² sobre su confluencia con la Q. Las Águilas. Se ha calculado un flujo promedio anual para un año normal de 241 l/s para el Río Tingo aguas abajo de su confluencia con las Quebradas Las Águilas y Las Gordas.

El flujo de agua superficial varía estacionalmente de acuerdo con la variación de la precipitación y los caudales de los ríos suelen aumentar en un orden de magnitud durante la estación lluviosa, en comparación con la estación seca. El flujo base promedio se ha estimado basándose en los caudales durante los meses de bajo caudal, junio a agosto (Knight Piesold, Abril 2005). Además, se estima un flujo base de 34 l/s para el Río Hualgayoc, basándose en dos

mediciones de caudal a partir de agosto de 1995 informadas por Knight Piesold (2005).

Manantiales

Es posible que una cierta cantidad de manantiales estén relacionados con agua subterránea en una capa de suelo superior, sedimentos aluviales y basamento rocoso muy meteorizado y erosionado. Esta capa se extiende sobre basamento rocoso con un menor fracturamiento y menor permeabilidad. Es posible que esta capa superior permeable no presente una gran continuidad lateral, pero a nivel local podría tener una permeabilidad relativamente alta, de manera que el flujo que se produce en esta capa ocurre en forma paralela al contacto con el basamento rocoso.

Cuando el fondo de esta capa superior intercepta la topografía, se produce descarga de agua subterránea en forma de flujo desde manantiales. Estos flujos de manantiales muestran una alta variación estacional directamente relacionada con las variaciones estacionales de la precipitación (Knight Piesold, 2005).

1.7 Geología Regional y Local

1.7.1 Geología Regional

1.7.1.1 Secuencia Estratigráfica

En el área afloran rocas sedimentarias e ígneas cuyas edades correspondientes han sido datadas desde las unidades menores volcánicas que pertenecen al Terciario-Cretáceo Inferior (Plano 1).

A continuación se describe sobre las unidades litoestratigráficas a fin de obtener una idea regional relacionadas a la interpretación en la identificación de unidades hidrogeológicas.

1.7.1.1.1 Formación Chulec

Ubicado al SE del Poblado El Tingo, litológicamente consta de una serie de capas delgadas de calizas nodulares y arenosas de color

gris pardo a pardo amarillentos, con intercalaciones de lutitas gris claras a negras en la parte inferior y de calizas negro azulinas en la parte superior, bastante fosilíferas, tiene una potencia promedio de 250m., y evidencian un ambiente de sedimentación marina poco profundo (Lagos-Quispe 2006).

El contacto inferior de la Formación Chulec sobreyace a las lutitas y areniscas calcáreas de la Formación Inca, su contacto superior infrayace a la Formación Pariatambo. Su edad corresponde al Albiano Inferior (Turner, S. 1996).

La Formación Chulec tiene contactos concordantes tanto con la Formación Inca como con la Formación Pariatambo. El contacto inferior está indicando por el cambio de material lutáceo a los sedimentos arenosos y ferruginosos de la Formación Inca, mientras que el contacto superior está ubicado en el horizonte donde aparecen las calizas en lajas de la Formación Pariatambo (Turner, S. 1996).

Foto 1-1: Fm. Chulec. Parte baja del poblado el Tingo. Vista al Sur Este



1.7.1.1.2 Formación Pariatambo

Litológicamente consiste de estratos calcáreos con nódulos silíceos (Chert), intercalada con lutitas que en conjunto alcanzan una potencia promedio de 200m. Se encuentra sobreyaciendo a la

Formación Chulec e Infrayaciendo a la Formación Yumagual. La edad que se asigna es del Albiano Superior (Turner, S. 1996).

La Formación Pariatambo presenta una intercalación de margas y de calizas nodulares, propio de un ambiente de sedimentación marino de mayor profundidad que la Formación Yumagual (Lagos y Quispe 2006).

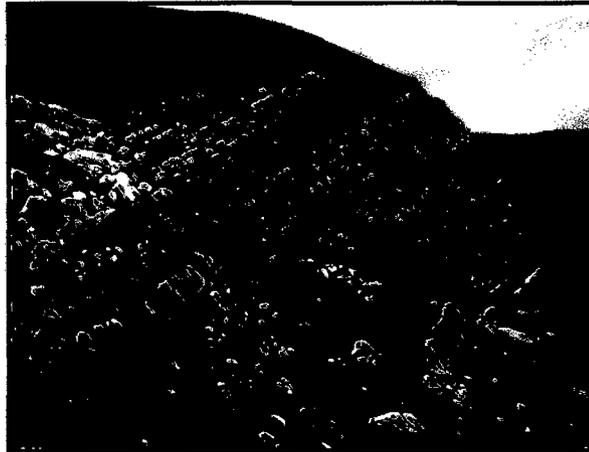
Esta Formación cuenta con un desarrollo más típico en los cuadrángulos de Cutervo, Chota, y Celendín, donde presenta un grosor de 150-250m de caliza con intercalaciones de lutitas delgadas. La caliza es fina de color negro, bituminosa y generalmente tiene un olor fétido. Su estratificación es delgada y uniforme, de tal manera que forma lajas bastante características (Turner, S. 1996).

1.7.1.1.3 Formación Yumagual

Esta formación es una de las más representativas en la zona de estudio litológicamente consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduscas en bancos más o menos uniformes, lo que evidencia un ambiente de sedimentación marino somero (Lagos, Alejandro y Quispe, Zenón 2006). Suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo y se le asigna una edad del Cenomaniano (Turner, S. 1996).

La Formación Yumagual se caracteriza por tener un delgado miembro intermedio bastante fosilífero, por lo que litológicamente puede confundírsele con las formaciones Mujarrum o Quilquiñan (Turner, S. 1996).

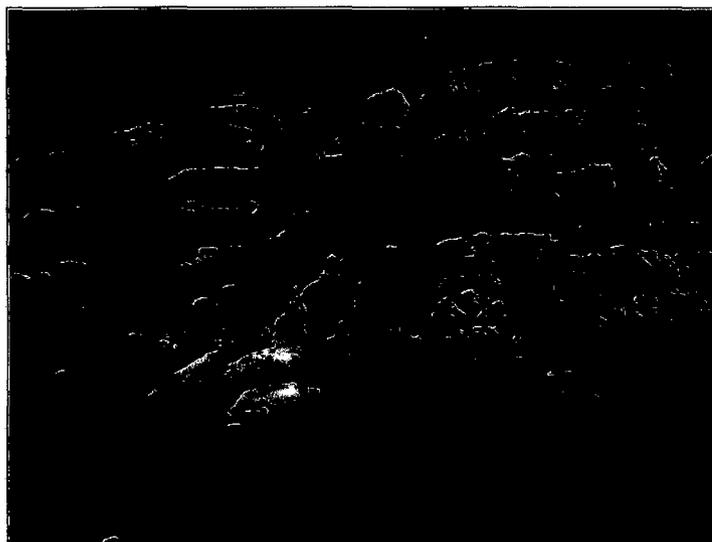
Foto 1-2: Fm. Yumagual. Localidad de Cuadratura al Sur del poblado Hualgayoc. Vista Nor Oeste.



1.7.1.1.4 Formación Mujarrum

Ubicado al SE de la zona de estudio, litológicamente consiste en una secuencia de calizas nodulares macizas, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas a pardo amarillentas fosilíferas, calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles (Benavides y Tafur 1950-1956).

Foto 1-3 Formación Mujarrum. Afloramiento sobre carretera Cajamarca-Hualgayoc. Vista al Sur Oeste.



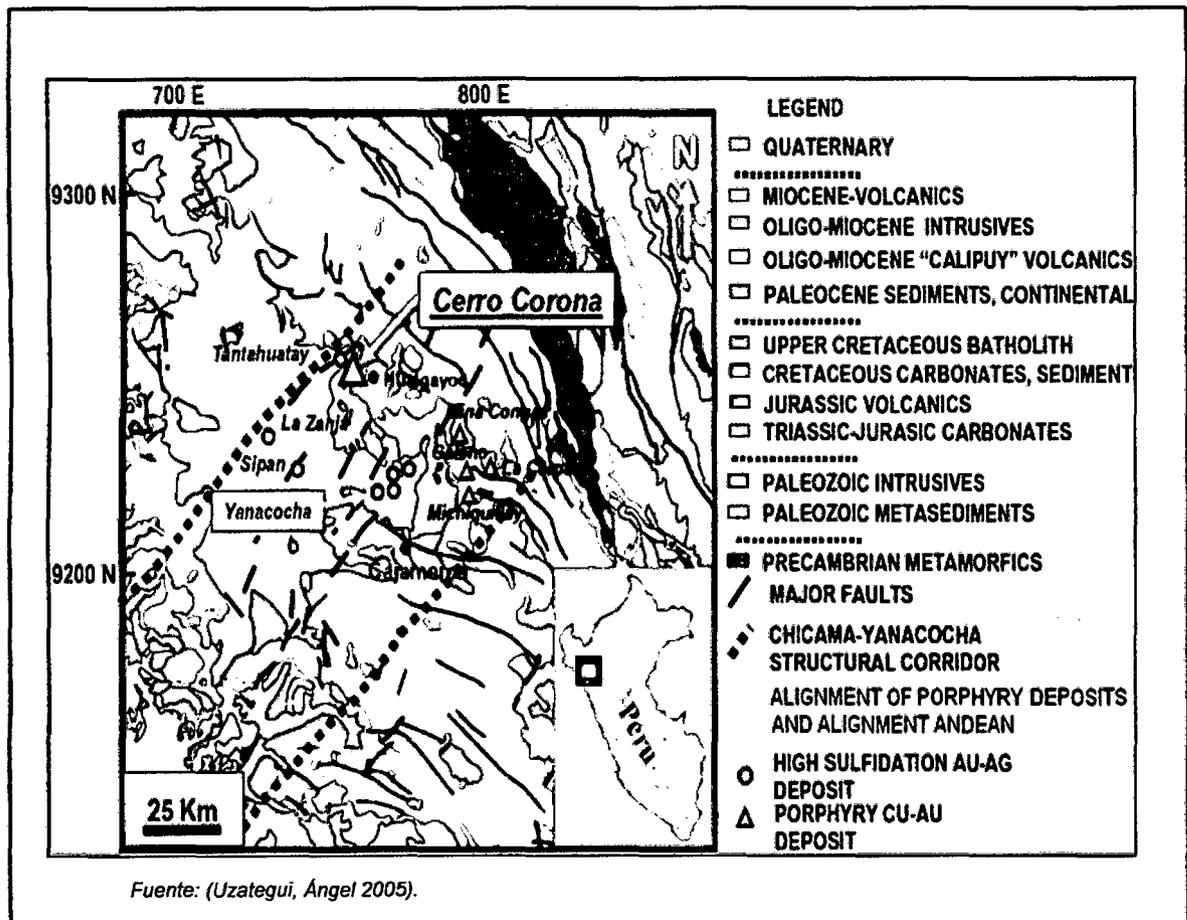
1.7.1.1.5 Volcánico Huambos

Son depósitos muy posteriores conformados por piroclastos (bloques y cenizas) con altos contenidos de clastos de composición dacítica a riodacítica, dispuestos en forma sub horizontal, de distribución regional en bancos potentes, rellenan los relieves. A esta unidad lo representa la última fase importante del vulcanismo Cenozoico en Cajamarca, se le asigna una edad del Neógeno por datación K/Ar de 8.4 +/- 0.05 Ma. (Turner, S. 1996).

1.7.1.1.6 Rocas Intrusivas

Se emplazan intruyendo a los Volcánicos Huambos alterados, pero no llegan a cortar a los derrames andesíticos más jóvenes. Presentan débil propilitización. Cortando este basamento sedimentario se tienen stocks y cuerpos intrusivos de composición intermedia como la monzodiorita San Miguel y la diorita Puente de la Hierba, además de otros cuerpos intrusivos menores como el sill Coimolache. Sobreyaciendo en discordancia al basamento se tiene una amplia distribución de rocas volcánicas.

Figura 1-2: Disposición litológica y emplazamientos cupríferos presentes en el norte del Perú, Chicama – Yanacocha.



1.7.1.2 Geología Estructural

El área del proyecto está relacionado al Corredor Estructural Chicama – Yanacocha (Quiroz, 1997), que controla la sucesión de una serie de fenómenos estructurales, magmáticos e hidrotermales. El megabloque estructural desde Yanacocha a Tantahuatay y La Granja, está limitado al norte por la flexión de Cutervo y al sur por la flexión de Cajamarca; dentro de este bloque estructural los lineamientos estructurales principales más antiguos y dominantes son los andinos NW-SE, cortados por estructuras del sistema trasandino NE-SW y fallas E-W relacionadas a los depósitos de Tantahuatay, Cerro Corona y Ciénaga, de manera subordinada se tiene fallas menores con orientaciones N-S (Tosdal R.M., 1996).

Fallas mayores de dirección NW son cortadas por fallas NE, movimientos tectónicos sucesivos produjo fallas de dilatación EW que generalmente están mineralizadas. (Tosdal R.M., 1996). El Proyecto Cerro Corona se ubica dentro de una franja estructural que alberga gran cantidad de yacimientos tales como: Yanacocha, Sipán, La Zanja (alta sulfuración); Los Pircos (baja sulfuración); Michiquillay, Conga, Corona, La Granja y Peña de las Águilas (pórfidos de Cu-Au) (Tosdal R.M., 1996).

1.7.1.3 Geología Histórica

La geología histórica empieza en el Ciclo Andino desarrollado entre el Mesozoico –Cenozoico, empezando con una depresión geosinclinal y terminando con un gran levantamiento, que elevó las rocas deformadas del geosinclinal a su posición actual (*Barboza, 2012*).

En el intervalo entre estos eventos limita dos períodos mayores, uno de relleno del geosinclinal y otro de deformación posterior, los mismos que muestran una considerable superposición de eventos sedimentarios y tectónicos (*Barboza, 2012*).

El primer período es esencialmente de hundimiento, interrumpido solo ocasionalmente por levantamiento y deformación compresiva, es más largo, comprende desde el Triásico medio hasta el Cretáceo superior con una duración de 100 m.a, caracterizándose por una sedimentación marina o, continental o volva no-sedimentaria, según las épocas y lugares.

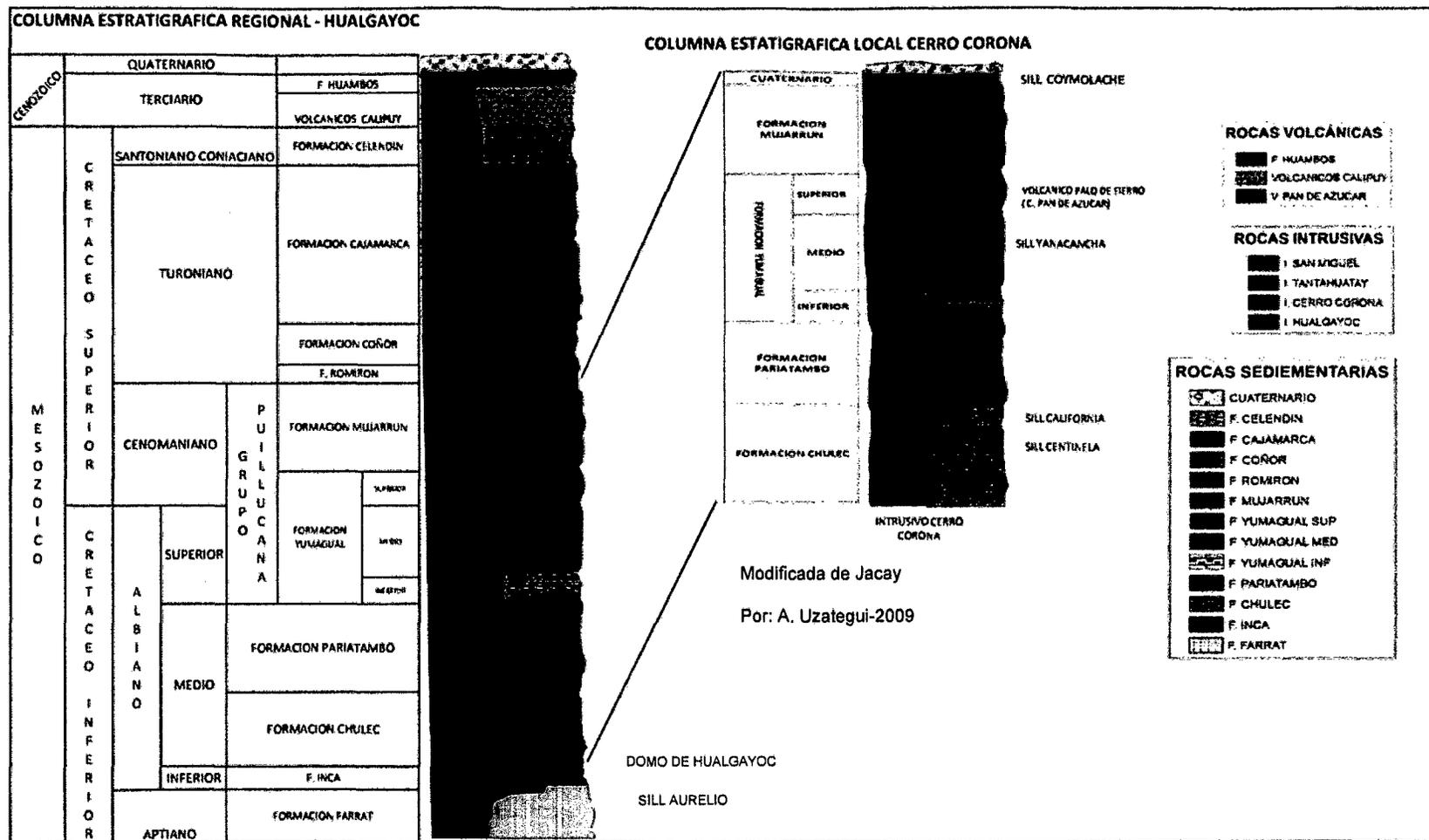
El segundo período más corto, comprende desde el Cretáceo superior hasta la época actual, alcanzando la Cadena de los Andes su actual fisonomía, sobre todo en los últimos cinco millones de años donde alcanza un sobre levantamiento importante (*Barboza, 2012*).

Durante el Cretáceo inferior los mares fueron someros, extendiéndose desde un área positiva en el margen Oeste hasta la Cordillera Oriental.

Durante el Cretáceo Superior (Fase Peruana), los mares se mantuvieron con transgresiones y regresiones en la región septentrional y central del país (*Barboza, 2012*).

Las características de la vida en el Cretáceo, los amonites adquieren un mayor desarrollo, así como los pelecípodos formadores de arrecifes. Así mismo, se desarrollan foraminíferos, lamelibranquios, gasterópodos y equinodermos.

Figura 1-3: Columna Estratigráfica Regional-Hualgayoc y Local Proyecto Cerro Corona.



Fuente: Uzategui A. – Jacay, 2009

1.7.2 Geología Local

El plano numero 3 muestra la geología del área, compuesta de rocas sedimentarias, principalmente calizas y margas del Cretáceo de las Formaciones Pariatambo y Yumagual se encuentran aflorando dentro del área de proyecto y sus alrededores. Al hacer un corte transversal de este basamento sedimentario se observan cuerpos intrusivos de composición intermedia (Figura 4-1).

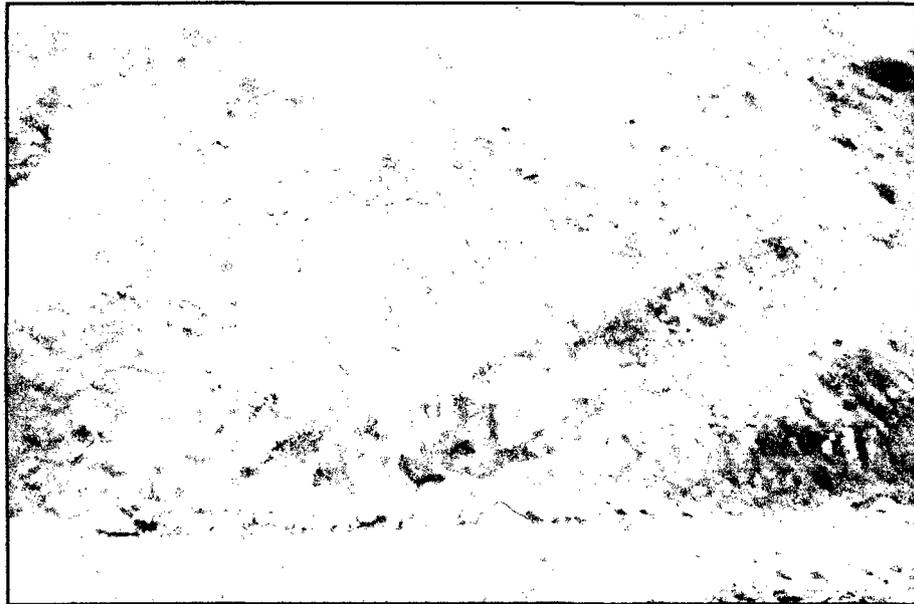
De acuerdo a la investigación de campo mostrada en la metodología de este trabajo las siguientes descripciones litológicas son el resultado de mapeos realizados como primera etapa de la investigación en la zona.

1.7.2.1 Formación Pariatambo

Esta secuencia sedimentaria se caracteriza por su coloración gris oscura en superficie y por el arreglo de la estratificación delgada que es de manera tabular, se trata de una serie rítmica especialmente al tope de esta unidad, siendo de carácter más arcilloso en niveles inferiores; en el conjunto de esta unidad litoestratigráfica se puede reconocer una alternancia rítmica de margas arcillosas de coloración gris y calizas bituminosas, o de coloración marrón rojiza cuando se encuentra afectado por hidrotermalismo.

Esta unidad litoestratigráfica en esta región es asociado a calizas gris oscuras de aproximadamente 1 a 2 metros de espesor en su parte media tal como se puede observar en la ruta que cruza el tajo El Zorro, así como también en la ruta 501 y en las cercanías al contacto con el intrusito riolítico, lugares estos últimos en que se encuentra mármolizado (Jacay, 2009).

Foto 1-4: Formación Pariatambo cerca al contacto con el intrusivo riolítico ubicado valle Tingo, donde se puede observar delgados bancos de calizas de coloración gris a marrón por efecto del metasomatismo e hidrotermalismo.



1.7.2.2 Formación Yumagual

La Formación Yumagual se divide en tres unidades distintas, considerando las características litológicas, color, espesor estratigráfico y morfología de la superficie. En general, la Formación Yumagual tiene una superficie meteorizada color gris y una superficie fresca color gris claro y azul oscuro. Presenta una cobertura de suelo limitada y crea escarpas verticales. Estas secuencias de carbonato varían entre estratos gruesos en la base de la secuencia y estratos delgados en la secuencia superior. La parte superior de la secuencia presenta margas de color gris oscuro (Jacay, 2009).

Miembro Inferior

Esta unidad se observa en el tramo 501 (vía hacia poblado El Tingo), consta de delgados niveles de carbonatos de coloración gris oscura con bastante materia orgánica, que corresponden a calizas packstone a grainstone, los que se intercalan con gruesos niveles

de margas de coloración gris oscura de hasta 3 metros de espesor. Esta unidad es considerada una zona de transición con la Formación Pariatambo con bajo potencial de karstificación (Jacay, 2009).

Foto 1-5: Parte inferior de la ruta 501 vía comunidad el Tingo, en donde se puede observar la unidad inferior de la Formación Yumagual caracterizado por bancos delgados de calizas.



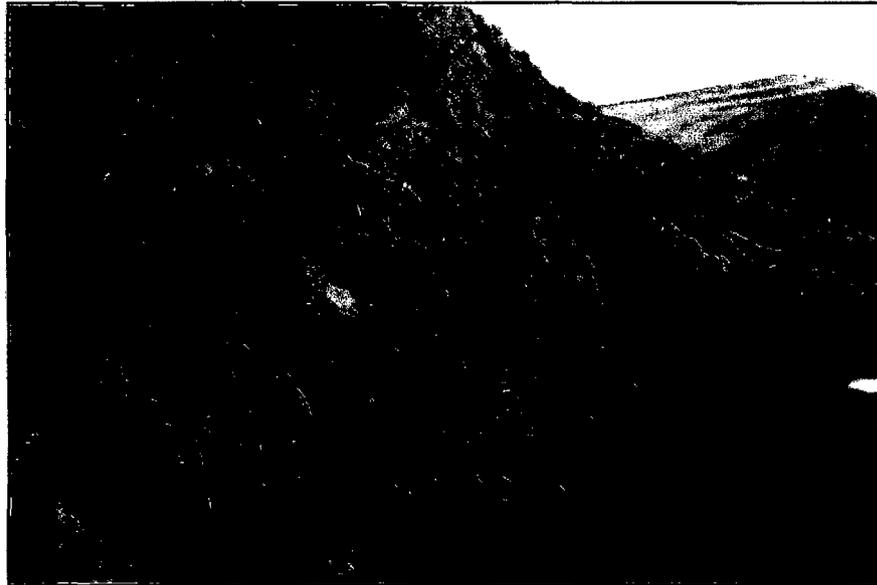
Miembro Medio

Su característica principal de esta unidad es el grosor de los bancos carbonatados los que alcanzan de hasta 3 a 4 metros de espesor, siendo la coloración gris clara a gris oscura lo que predomina en las calizas del tipo wackstone a packstone, siendo la presencia de la caliza mudstone al tope de esta secuencia, al interior de estas secuencias los bancos son generalmente ondulados y/o nodulosos lo que en ciertos horizontes se presente a manera de "acumulación de conglomerados de material carbonatado".

En toda esta unidad las fracturas son perpendiculares a la estratificación en la mayoría se trata de fracturas abiertas de hasta

2 centímetros de ancho; es en la parte superior de esta unidad en que se hacen más frecuentes las estructuras de karstificación que aprovechan las fracturas abiertas (Jacay, 2009).

Foto 1-6: Vista de potentes bancos carbonatados que es lo que caracteriza a la parte media de la Formación Yumagual, ruta 501 hacia poblado el Tingo.



Miembro Superior

Esta unidad observada en el corte de la vía 501 (hacia poblado el Tingo), yace en un contacto a la unidad media el que es marcado por la presencia de potentes niveles de margas de coloración gris oscuras, plumizas a gris marrón, su tope con la Formación Mujarrun lo constituye un cambio progresivo de secuencias decrecientes a niveles de calizas tabulares muy homogéneo. Las calizas se clasifican en rocas granulares nodulares con lecho estratificado ondulante, generalmente, las fracturas en esta unidad son perpendiculares a la estratificación, donde la mayoría están abiertas y son favorables para la karstificación (Jacay, 2009).

Foto 1-7: Afloramiento muy característico de la parte superior de la Formación Yumagual, en donde se puede apreciar los potentes niveles de margas, ubicado en la vía 501 hacia el poblado el Tingo.



1.7.2.3 Volcánico Huambos (Ts-vh)

Consta de aglomerados del Plioceno y del Mioceno, flujos piroclásticos. En la mayoría de los casos, los piroclásticos de Huambos son mediana a abruptamente estratificados, parcialmente compactados, con trazas menores de tobas soldadas (ignimbrita). Esta unidad geológica representa la roca más joven en el área (Knight Pisold, 2005).

1.7.2.4 Intrusivos

Durante el (Eoceno-Mioceno) las rocas de basamento sedimentario fueron intruidas por varios cuerpos ígneos, incluyendo el intrusivo Cerro Corona, cuerpo principal del intrusivo es una diorita porfírica con dos cuerpos más pequeños, uno que corresponde a una diorita hacia el este y el otro que corresponde a un cuarzo diorita hacia el oeste, intruyendo en la parte sur del cuerpo (Knight Pisold, 2005).

Los dos cuerpos pequeños están ubicados a lo largo del eje noreste-suroeste, coincidiendo con la tendencia de fallas principal en el área, lo cual indica que las intrusiones están parcialmente controladas por las fallas.

Otros cuerpos intrusivos afloran en ambas márgenes del Río Tingo, aproximadamente 6 km del oeste al noroeste de Cerro Corona. Este cuerpo intrusivo está relacionado con varios flujos riolíticos que afloran en los flancos de Cerro Las Gordas y Cerro Las Águilas.

Los intrusivos están fuertemente meteorizados en la superficie con una alteración argílica sobreimpresa que hace difícil reconocer los patrones de alteración metasomáticos primarios (Knight Pisold, 2005).

1.7.2.5 Depósitos Cuaternarios

Los sedimentos cuaternarios se encuentran ampliamente distribuidos, con espesores que varían en promedio entre 1.0 y 10.0m de espesor. Los sedimentos encontrados corresponden a depósitos glaciares, aluviales, coluviales y sedimentos orgánicos palustres.

Los depósitos glaciares (till) se presentan en la margen izquierda de la quebrada Las Gordas, Valle Tomas, en los alrededores del actual campamento de Cerro Corona, consisten de gravas con arcillas y arenas, compactación media, humedad media a alta (Knight Pisold, 2005).

Los depósitos coluviales se presentan alineados a la presa, en las laderas de ambas márgenes de las quebradas Las Gordas, Las Águilas y Valle Tomas, consisten de gravas y bloques angulosos, meteorizados, de tamaño máximo de 0.30m y algunos de 1.0m, presentan compacidad suelta con algo de matriz. El espesor de este depósito varía en promedio entre 1.0 y 5.0m (Knight Pisold, 2005).

Los materiales orgánicos de bofedales se ubican en el lecho de las quebradas Las Gordas, Las Águilas y Valle Tomas, consisten en la alternancia de arcillas orgánicas, limos y arenas, no compactadas, sueltas y saturadas.

Finalmente, sobreyace los sedimentos cuaternarios recientes en forma discontinua suelo s orgánicos (topsoil) con espesores que varían entre 0.3 y 1.7 m aproximadamente (Knight Pisd, 2005).

1.7.3 Geología Estructural Local

Las fallas han sido reconocidas en campo durante el mapeo geológico-estructural y con apoyo en el registro geológico de las perforaciones diamantinas.

Estructuralmente, el área de estudio está influenciada por varios procesos tectónicos distintos. Los patrones de drenaje en el área de proyecto se ven influenciados en gran medida por estructuras de falla. Los ríos El Tingo, Hualgayoc y Quilcate se han desarrollado a lo largo de fallas regionales con drenaje de agua subterránea concentrada a lo largo de estas estructuras (Plano 3). Existen tres sistemas estructurales principales en Cerro Corona.

1.7.3.1 Sistemas Estructurales

a) Sistema de Falla NE-SW

Determinado principalmente por las fallas con dirección que varían entre N 245° y N 270°, buzamiento entre 75°-80° SW y con potencias < a 2 m. Este sistema se nota claramente en las áreas de Las Gordas y Valle Tomas.

b) Sistema de Falla NW-SE

Caracterizado por las fallas que varían sus direcciones de N 140° a N 330°, buzamientos que varían de 75°-85° SW y con potencias promedios de 0.5 m. Existe numerosas fallas de menor envergadura, producto de los esfuerzos de las principales antes mencionadas. Estas fallas toman presencia en el área del Valle Chorro Blanco y Las Gordas.

c) Sistema de Falla E-W

Estas fallas son paralelas entre si y se expanden desde el Valle La Hierba hasta el Tajo Corona.

1.7.4 Estratificaciones y fracturamientos

La estratificación en las calizas es definida con rumbo de N20° a 65° E y buzamientos que varían entre 10° y 55° al sureste. En algunos casos la estratificación es sub-horizontal por presencias de fallas geológicas y la cercanía del intrusivo.

Este análisis muestra que los sistemas de fracturamientos se encuentran relacionados a los sistemas de fallas. Están presentes las familias de discontinuidades: E-W, N-S, NE-E y NW.

Esta estratificación y fracturamiento presente en su gran mayoría en la roca caliza conlleva a jugar un rol importante para el flujo subterráneo en las formaciones presentes en el área de estudio (Plano 3).

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Ya que en el presente proyecto no ha sido realizado ningún estudio de caracterización de masas de agua subterránea es conveniente relacionar algunos trabajos previos realizados internacionalmente, localmente no existen trabajos relacionados específicamente al tema.

2.1 ANTECEDENTES

- ◆ Según el boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 63, numero. 1, 2011, p. 119-135 **“Metodología para la definición de unidades hidroestratigraficas: caso del Acuífero del Valle del Rio Yaqui, Sonora, México”** se hace mención que las secciones hidroestratigraficas en la zona del valle del rio Yaqui nos muestran como varían los espesores de las unidades 2 y 3 varían de acuerdo a su litología, los espesores varían debido a la generación de fallas en el basamento.
- ◆ En el año 2009 Diaz C. y Ochoa G. realizan la tesis **“Análisis y correlación entre el parámetro RQD y la Permeabilidad Lugeón”**. En este estudio se hace mención que debido al alto grado de fracturamiento que presenta el macizo rocoso, se inferiría un comportamiento en cuanto a la permeabilidad, donde el RQD es directamente proporcional al grado de fracturamiento. Según los resultados de pruebas de permeabilidad a presión se observó que el TQD entre 0 y 25% (alto fracturamiento), se obtenían valores de permeabilidad menores a los 3 Lugeon (baja).
Para el caso el fracturamiento está relacionado al RQD, dirección de flujo y por ende a la permeabilidad; parámetros importantes para determinar unidades hidrogeológicas.
- ◆ En el año 2005 la consultora Water Management Consultants (WMC) realiza el primer estudio bajo el título **“Modelo de Flujo de agua subterránea del Área del Proyecto Cerro Corona”**. En este estudio, el

autor hace referencia a la simulación de las aguas subterráneas anteriores a la minería en el área del proyecto, evaluación de los recursos potenciales para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua del proyecto Cerro Corona.

- ◆ Finales del 2005 la consultora Knight Piésold Consultores S.A. presenta un reporte final de campo bajo el título **“Proyecto Cerro Corona Investigación Geotécnica Deposito de Relaves”**. En este reporte, el autor menciona trabajos de campo como: Ensayos hidráulicos, geología de las perforaciones diamantinas, identificación de unidades geotécnicas.

2.2 TEORIAS RELATIVAS AL PROBLEMA DE INVESTIGACION

El concepto de unidad hidroestratigráfica fue originalmente definido por Maxey (1964) como un cuerpo de roca de extensión considerable que forma parte de un esquema geológico con un sistema hidrológico distintivo, y como unidad fundamental para describir sistemas hidrogeológicos en el campo basada en las propiedades de las rocas que afectan las condiciones de aguas subterráneas.

Maxey (1964) identificó la necesidad de definir unidades de agua subterránea basadas, no solo en características litológicas específicas, sino también en la dinámica del régimen hidrogeológico incluyendo parámetros aplicables especialmente al movimiento de agua, su ocurrencia y almacenamiento.

El conocimiento y uso de un sistema de aguas subterráneas requiere de una comprensión de los factores hidrogeológicos que controlan el almacenamiento y transporte en el subsuelo del agua subterránea. Por ello es importante el conocimiento de la estratigrafía (en este caso la hidroestratigrafía). Los hidrogeólogos durante mucho tiempo han observado que el flujo de agua subterránea a menudo no está relacionado con los límites de las unidades estratigráficas estándares. Los términos hidrogeológicos “acuífero” y “unidad hidroestratigrafía” son comúnmente utilizados para subdividir el subsuelo en

unidades relacionadas con la hidrología del agua subterránea (*i.e Monreal et al., 2001; Copeland et al., 2009; Sanz et al., 2009*).

Fetter (1994) define a la unidad hidroestratigráfica como una formación, parte de una formación o grupo de formaciones en las que existen características hidrológicas similares que permiten agruparlas en acuíferos y constituidas por unidades geológicas agrupadas con base en su conductividad hidráulica similar.

Poehls y Smith (2009) consideran que una unidad estratigráfica es lo mismo que una unidad hidrogeológica y definen como una o más unidades geológicas de amplia extensión lateral que distinguen de los cuerpos de roca o sedimentos que la rodean y relacionadas por medio de parámetros hidrogeológicos similares como la conductividad hidráulica.

La necesidad de conocer las condiciones al interior de un macizo rocoso han motivado el desarrollo de tecnologías diversas; así tenemos que, entre los métodos indirectos se disponen a las perforaciones diamantinas como un procedimiento para la obtención de muestras inalteradas de rocas, para ser analizadas y/o ensayadas en laboratorio (*Arévalo, 1992*).

La perforación diamantina, que en si corresponde a las perforaciones de tipo rotatorio, reciben tal designación debido a que para la horadación de la roca emplea coronas (brocas de sección anular) de acero con diamantes industriales integrados a una matriz de carburo de tungsteno (*Arévalo, 1992*).

Así tenemos por ejemplo, para las máquinas perforadoras marca Longyear, las siguientes son las profundidades máximas que pueden lograrse con el diámetro indicado, de acuerdo a los modelos de fabricación (*Arévalo, 1992*).

Tabla 2-1: Profundidades alcanzadas con máquina de perforación Longyear, según diámetro de broca.

MODELO	DIAMETRO DE PERFORACION		
	HQ	NQ	BQ
Longyear 24	–	40 m	70 m
Longyear 34	250 m	400 m	480 m
Longyear 38	450 m	600 m	850 m
Longyear 44	650 m	1000 m	1250 m

Las pruebas de absorción de agua tipo Lugeon son frecuentes en los estudios de obras hidráulicas que involucran a macizos de roca. Su aplicación requiere el conocimiento de las presiones que intervienen en la prueba, la resistencia del macizo y su respuesta a las presiones de agua inducidas por la construcción de una obra hidráulica en particular. Estos temas normalmente no son abordados en la ejecución de este tipo de pruebas (Arévalo, 1992).

2.3 FUNDAMENTOS TEORICOS

2.3.1 Parámetros Geológicos Geomecánicos del Macizo Rocosó

La geología aporta a la Hidrogeología todos los condicionantes relativos al medio de circulación del agua subterránea, ya que las posibilidades de almacenamiento y desplazamiento dependen de las características de ese ámbito geológico. Por ello y aunque a la hidrogeología no le interesan todos los aspectos geológicos, es indudable que necesita de las bases fundamentales que ella la proporciona (Intercade-2010).

El estudio de la identificación de unidades hidrogeológicas mediante ensayos hidráulicos se orienta hacia aspectos fundamentales como:

- ♦ **La litología** de la formación acuífera, en sentido amplio, desde el punto de vista de sus características, en razón de la: textura, porosidad, tamaño y continuidad de poros: permeabilidad; solubilidad; cambios laterales y verticales de facies. La litología controla la existencia o

inexistencia de acuíferos, la capacidad de almacenamiento y circulación del agua, la permeabilidad horizontal y vertical, etc.

- ◆ **Designación de la calidad de la roca (RQD)**, el índice RQD (*Rock Quality Designation*) desarrollado por Deere entre 1963 y 1967, se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo, (*Manual de campo Knight Piésold Consulting*).

$$\%RQD = \frac{(\sum \text{de testigos} > 10\text{cm}) \times 100}{\text{Longitud perforada}} \dots\dots\dots 2.1$$

- ◆ **Recuperación total de testigos**, se refiere a la suma de los testigos recuperados de una perforación. Por lo general la roca perforada se pierde cuando es muy fracturada, en zonas de falla o cuando encuentran cavidades propio de la naturaleza del terreno (*Manual de campo Knight Piésold Consulting*).

$$\%Recuperación = \frac{\text{Longitud recuperada} \times 100}{\text{Longitud perforada}} \dots 2.2$$

- ◆ **Espaciamiento de juntas**, distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes y paralelas (*Manual de campo Knight Piésold Consulting*).

- ◆ **Condición de las discontinuidades de la masa rocosa; a) Rugosidad**, caracterizada por el grado de ondulación a gran escala (plana, ondulada, irregular) y el grado de suavidad (liso, suave, rugoso). Este parámetro es un componente potencialmente importante de su resistencia al corte especialmente en el caso de juntas cerradas y sin relleno; por tanto a medida que el espesor del relleno o a la apertura se incrementa la importancia de la rugosidad decrece.

En la práctica ondulación afecta a la dirección inicial de los desplazamientos de corte mientras que el grado de suavidad afecta a la

resistencia al corte; **b) Relleno** en discontinuidades, termino para el material que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad. La distancia perpendicular entre las paredes adyacentes de la discontinuidad se conoce como el ancho del relleno de la junta, a diferencia de la apertura que es un espacio o una característica abierta. Debido a la enorme variedad de ocurrencias las juntas rellenas muestran un amplio comportamiento físico en particular en lo que respecta a su resistencia al corte, deformabilidad y permeabilidad. El comportamiento físico amplio depende de muchos factores de los cuales los siguientes son probablemente los más importantes: mineralogía del material de relleno, gradación del tamaño de partículas, relación de sobre-consolidación, contenido de agua y permeabilidad, desplazamiento de corte previo, rugosidad de las paredes, ancho y fracturamiento; **c) Intemperización**, viene a ser el grado de alteración ya sea física o química que ha sufrido la roca por procesos físicos (cambios de temperatura) y químicos (alteración filica, propilítica.), (*Manual de campo Knight Piésold Consulting*).

2.3.2 Hidrogeología y Parámetros Hidrogeológicos

El entender lo que es agua subterránea, y el aprender a medirla y a utilizarla ha llevado muchos decenios de años y ha ido de la mano del desarrollo de las técnicas cuya primera utilidad iba destinada a otras materias. El estudio de las rocas como depósitos permeables por porosidad o fracturación, y las leyes que en ellas se mueven los fluidos (*Agustin Navarro*).

Las aguas subterráneas provienen de la infiltración en el terreno de las aguas de lluvias, lagos y ríos, que después de pasar la franja capilar del suelo, circulan y se almacenan en formaciones geológicas porosas o fracturadas, denominadas acuíferos (*Mario Valencia Cuesta, 2010*).

Teniendo como base principal el concepto de hidrogeología (aguas subterráneas) nace temas y conceptos fundamentales relacionados al desarrollo del proyecto de investigación:

- ◆ **Acuífero** (del latín: aqua = agua; fero = llevar), es toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua, a las surgencias o a las captaciones. Es decir, aquella que permite el movimiento del agua por gravedad (agua gravífica), en condiciones que pueda ser económicamente explotable (por ejemplo: arenas y gravas o calizas karstificadas), (ETSIM 2005-2007).

- ◆ **Acuífardo** (del latín: aqua = agua; tardare = retardar), es toda formación geológica capaz de almacenar cantidades apreciables de agua, pero que la transmite muy lentamente, por lo que no es interesante para el emplazamiento de captaciones, si bien permite la recarga, vertical o lateral, a acuíferos que estén en contacto con ella (por ejemplo: arcillas limosas y limos), (ETSIM 2005-2007).

- ◆ **Acuícludo** (del latín: aqua = agua; claudere = encerrar), es toda formación geológica que almacena agua, incluso hasta su saturación, pero que no la transmite y, por tanto, no es posible su aprovechamiento (por ejemplo: arcillas), (ETSIM 2005-2007).

- ◆ **Acuífugo** (del latín: aqua = agua; fugere = huir), es toda formación geológica que ni almacena ni transmite agua (por ejemplo: granito no alterado), (ETSIM 2005-2007).

Atendiendo al comportamiento hidráulico de las formaciones geológicas, así como su posición estructural en el terreno, se distinguen tres tipos principales de acuíferos:

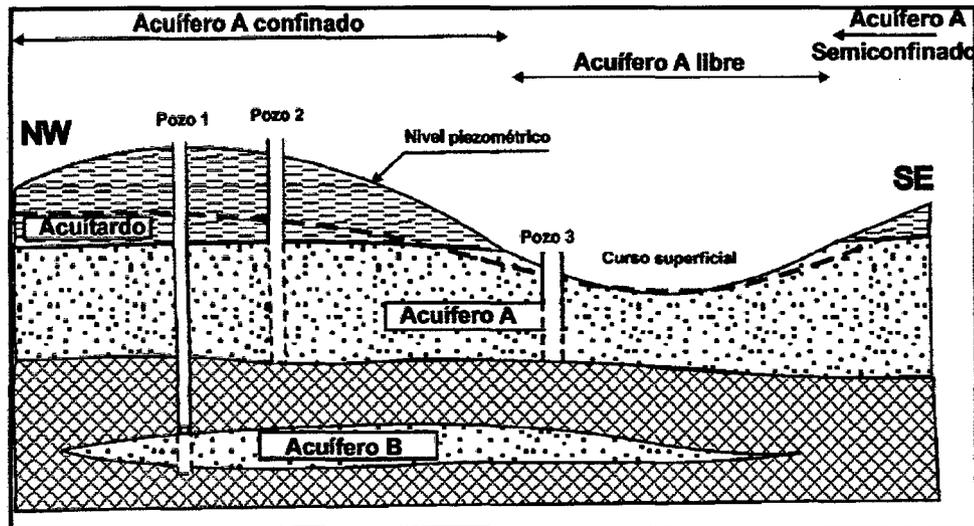
- a) **Acuíferos libres**, son aquellos en los que el nivel superior de saturación se encuentran a presión atmosférica. A la superficie piezométrica de un acuífero libre se le denomina superficie freática.

Por esta razón, los acuíferos libres son también conocidos como "acuíferos freáticos". Por tanto la superficie freática es una superficie real que delimita el acuífero libre (por debajo) de la zona vadosa (por encima), (ETSIM 2005-2007).

- b) **Acuíferos confinados** (o cautivos), corresponden a formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinados entre dos capas o estratos que podemos asumir como impermeables, ya sean acuífugos o acuícludos, (ETSIM 2005-2007).
- c) **Acuíferos semiconfinados**, corresponden a situaciones similares a las que presentan los acuíferos confinados, pero con la particularidad de que el estrato confinante corresponde a un acuitardo, en lugar de un acuífugo o acuícludo, los acuíferos semiconfinados pueden recibir una cierta recarga, también llamada goteo, a través de la capa semipermeable que los confina, (ETSIM 2005-2007).

Por último, se habla de **acuíferos colgados**, haciendo referencia a acumulaciones de agua subterránea de escasa continuidad lateral situadas por encima del nivel freático. Este tipo de acuíferos deberán de corresponder, en sentido estricto, a alguno de los tres tipos de acuíferos citados anteriormente. Sin embargo, debido a sus pequeñas dimensiones es habitual clasificar por separado. Los acuíferos colgados son frecuentes en formaciones geológicas detríticas (aluvial y fluvial) en las que podemos encontrarnos con depósitos de materiales poco permeables (limos y arcillas) inmersos en un material granular de mayor permeabilidad, (ETSIM 2005-2007).

Figura 2-1: Representación esquemática de los diferentes tipos de acuíferos.



Fuente: Intercade 2010

- ◆ **Coefficiente de Almacenamiento o Porosidad Eficaz (Me).**- Matemáticamente la *porosidad eficaz* (Me) de una roca es el volumen de poros interconectados o volumen de agua gravífica (Ve), con relación al volumen de roca (V), expresado en porcentaje (Castany, 1975).

$$Me = \frac{Ve}{V} \times 100 \dots \dots \dots 2.3$$

- ◆ **Permeabilidad (K).**- Matemáticamente la *permeabilidad o conductividad hidráulica* (Darcy, 1856) se define como el caudal de agua que pasa a través de una superficie unitaria de acuífero bajo un gradiente hidráulico unidad (Pulido, 1978).

$$K = \frac{Q}{I \cdot A} \dots \dots \dots 2.4$$

Dónde: K = Permeabilidad (m/día). Q = Caudal (m3/día). A = Área (m2). I = Gradiente hidráulico (adimensional).

El movimiento del agua a través de las rocas puede darse por dos factores: por medio de los intersticios que se presentan en medios

porosos (*permeabilidad propia o primaria*), común en rocas detríticas. En medios fracturados, el movimiento del agua es controlado por fallas, fracturas, diaclasas y excepcionalmente por alteración superficial (*permeabilidad adquirida o secundaria*), propia de rocas ígneas y sedimentarias afectadas por el tectonismo de la zona (Bidner, 2001).

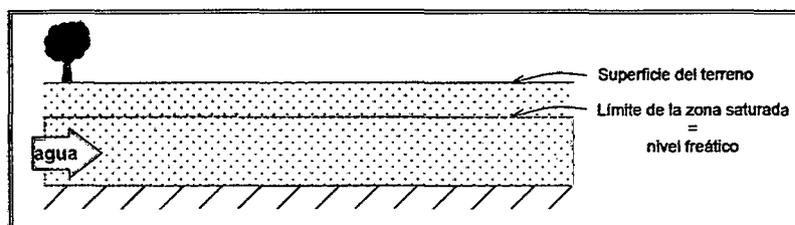
Figura 2-2: Conductividad hidráulica (m/s) para los diferentes tipos de materiales.

Conductividad (m/s)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Tipo de Conductividad	Muy Alta	Alta			Moderada				Baja		Muy Baja
Tipo de suelo	Grava			Arena	arena fina, silts, till, arcillas			Arcillas homogéneas			
Tipo de roca	Cavidades		Caliza y Dolomita		Cavernas/Fracturada		Basalto	Denso		Esquisto	
			Fracturada		Fracturado/Alterada		Alterada	Volcánico Basalto		Arenisca	
								Metamorficos		No fracturada	
								Sal estratificada		Granito	

Fuente: Modificado de After Isherwood, 1979

- ◆ **Nivel Freático.**- El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas.

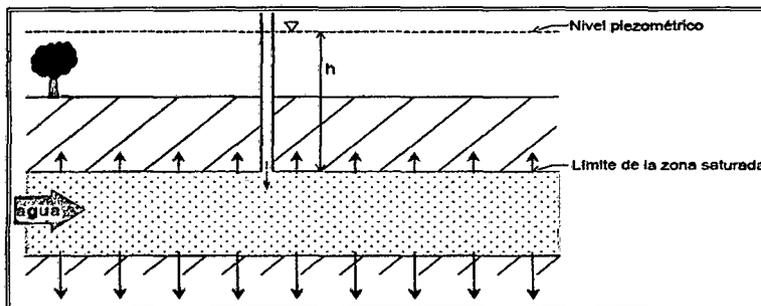
Figura 2-3: Representación esquemática del nivel freático (FCIHS, 2004).



Si perforamos total o parcialmente la formación acuífera, la superficie obtenida por los niveles de agua de cada pozo forman una superficie real: superficie freática o piezométrica, que coinciden.

- ◆ **Nivel Piezómetro.-** La presión que ejerce el agua sobre el techo impermeable puede medirse por su equivalente a la altura “h” que alcanzaría una columna de agua con la base situada sobre dicho techo.

Figura 2-4: Representación esquemática del nivel piezométrico (FCIHS, 2004).



- ◆ **Grado de saturación.-** Es la magnitud que mide la fracción de poro o espacio vacío de la roca ocupado por agua líquida, es decir, depende de la cantidad de agua contenida en los espacios vacíos o intersticios (o poros) del terreno. Esto nos lleva a considerar dos ámbitos: la zona saturada (poros íntegramente rellenos de agua líquida) y la zona no saturada (con espacios por tanto ocupados por aire u otro fluido).
- ◆ **Piezómetro.-** Es un instrumento compuesto por un tubo vertical o inclinado, generalmente de material PVC, que puede ser de distinto diámetro (1" a 4"), dependiendo del objetivo de estudio (Manual interno MWH).
- ◆ **Manantial.-** Es aquel punto o área de surgencia natural de agua, procedente de un acuífero, que actúa como aliviadero natural al embalse subterráneo (Baquero, 2007).
- ◆ **Aforo de Manantiales;** Es la medida de caudal que descarga un manantial en un momento determinado. Para calcular el caudal de descarga de los manantiales inventariados en el presente estudio, se usó el método cubeta/cronómetro (APDF, 2002), cuya expresión matemática es la siguiente:

$$Q = \frac{V}{T} \dots \dots \dots 2.5$$

Donde: Q= Caudal (l/s), V= Volumen de la cubeta (l), T= Tiempo que tarda el llenado de cubeta (s).

- ◆ **Unidad Hidrogeológica.-** Es un conjunto de materiales geológicos de comportamiento hidrogeológico similar (propiedades hidráulicas comunes) que participan de un funcionamiento hidrogeológico unitario (*Poehls y Smith 2009*).
- ◆ **Unidad Lugeón.-** Un Lugeón (Lg) es una unidad equivalente a 1 litro por minuto y metro, bajo una presión de 10 kg/cm²; esto es aproximadamente igual a 1×10^{-7} m/s. Es una unidad pequeña, y valores menores de un Lugeón indican en la práctica terrenos poco permeables.
- ◆ **Perforación Diamantina.-** Es la acción o acto que, a través de medios mecánicos, tiene como finalidad construir un agujero. La labor de perforación tiene diversa aristas, dependiendo del objetivo (*Arévalo, 1992*).

2.3.3 Pruebas de Conductividad Hidráulica

Las pruebas de conductividad hidráulica (también conocidas como pruebas de permeabilidad cuando el líquido en cuestión es el agua) se han realizado ampliamente en todo el programa de perforación hidrogeológica. La caracterización de la conductividad hidráulica de las rocas con respecto a la profundidad, la ubicación, litología, y en determinadas características geológicas. En esta sección se presentan los métodos utilizados para obtener los datos de conductividad hidráulica.

Son ensayos que sirven para medir la velocidad del flujo a través de los vacíos del suelo o fractura de las rocas, que se encuentran dentro de la perforación (*Hernández 2007*).

- ◆ **Método Lefranc Carga Constante.-** El método de prueba de carga constante se utiliza generalmente en roca muy fracturada y generalmente se realiza en la parte superior de 20 m de la perforación,

donde la masa de roca es típicamente más débil y fuertemente fracturado. Esta prueba se utiliza a menudo cuando las pruebas de lugeón son fallidas, y en intervalos más profundos donde los packer no hizo un sello efectivo con el macizo rocoso.

Este método de ensayo consiste en exponer la permeabilidad del pozo de perforación en un intervalo especificado y añadiendo agua a la perforación hasta que se eleva a cerca de la superficie del suelo para mantener una presión de carga constante en el intervalo expuesto. El volumen acumulado de agua que fluye a través del intervalo se mide durante un período de tiempo. Conociendo la cantidad medida de agua (Q) que entra en la longitud expuesta (L) de la zona de prueba, el área de sección transversal (A) de la zona de prueba, el tiempo necesario para el volumen de agua Q para ser descargada, y h carga, la conductividad hidráulica (KH) se calculó (Manual interno MWH):

$$K_H = \frac{Q \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{2\pi L H_G} \dots\dots\dots 2.6$$

Donde:

K_H = Conductividad hidráulica horizontal

H_G = Carga hidráulica constante (altura del agua dentro del sondeo, por encima del nivel estático previo)

D = Diámetro del intervalo de prueba (zona filtrante)

m = $\sqrt{k_h / k_v}$ una medida de las condiciones anisotrópicas

- ♦ **Método Lefranc Carga Variable.**- Tiene una variante de régimen no permanente muy fácil de aplicar y que sólo precisa un pequeño volumen de agua. El método es adecuado en terrenos no excesivamente permeables. Se añade agua al tubo hasta que el nivel llegue hasta una cierta altura conocida, en general el borde del tubo. Con un cronómetro y un medidor de nivel se va determinando el nivel del agua en tiempos sucesivos al cese de la inyección (*Manual interno MWH*). Entonces se cumple:

$$K_H = \frac{d^2 \ln\left(\frac{2mL}{D}\right)}{8L(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \text{-----} 2.7$$

Dónde:

K_H = Conductividad hidráulica horizontal

L = Longitud de prueba

D = Diámetro del intervalo de prueba (zona filtrante)

d = Diámetro interno packer.

t_1, t_2 = Tiempo inicial y final respectivamente.

H_1, H_2 = Altura inicial y final respectivamente de nivel de agua.

$m = \sqrt{k_h / k_v}$ una medida de las condiciones anisotrópicas

- ♦ **Prueba Lugeón (prueba con obturador).**- La prueba de inyección es la prueba de obturador estándar, en la cual el agua es bombeada e inyectada hacia el intervalo del sondaje aislado por el obturador bajo presión. Además de registrar información básica del ensayo (profundidad del obturador, diámetro de sondaje, diámetro de tubería, etc.), los únicos datos hidráulicos que necesitan ser registrados al

alcanzar condiciones constantes, son el flujo y la presión de inyección (*Manual interno MWH*).

A partir de estos datos, la transmisividad (la cual es aproximadamente el producto de la conductividad hidráulica y la longitud del intervalo) del intervalo aislado puede ser estimada utilizando la ecuación clásica de Thiem.

$$K_H = \frac{Q}{2\pi LH_G} * \ln\left(\frac{L}{r}\right) \quad \dots\dots\dots 2.8$$

For : $L \geq 10r$

Lugeon = (liters / m / min) × (10 / pressure(bars))

Dónde:

- K = Conductividad hidráulica horizontal
- Q = Ratio constante de flujo en la zona de prueba
- L = Longitud de la zona de prueba
- HG = Carga Hidráulica diferencial neta
- r = Radio de la zona de prueba

Y:

$$\text{Lugeón (Lu)} = (\text{Litros/m/min}) \times (10/\text{presión (bar)})$$

En el proceso de perforación, los fragmentos y sedimentos de perforación pueden penetrar en las fracturas y otras características permeables en el pozo, lo que podría afectar a la conductividad hidráulica de las zonas de fracturas. Esto es particularmente cierto si la circulación del agua se pierde y las zonas de fracturas transmisivas terminan como el receptor del agua de perforación y de los sedimentos. Dado que el daño de las rocas debido a la perforación no se puede atenuar mediante el lavado del pozo, se supone que la conductividad hidráulica calculada representa un valor mínimo.

Calculo de presión máxima e inflación de packer

$$\sigma_t = (H_{\text{suelo}} \times \gamma_{\text{suelo}} + H_{\text{roca}} \times \gamma_{\text{roca}}) \dots \dots \dots 2.9$$

$$\mu = [(H_{\text{suelo}} + H_{\text{roca}}) - \text{GWL}] \times \gamma_w \dots \dots \dots 2.10$$

$$\sigma' = \sigma_t - \mu \dots \dots \dots 2.11$$

$$H_g = H (\text{Gravity}) \times \gamma_w \dots \dots \dots 2.12$$

$$P_{\text{max}} = \sigma' - H_g \dots \dots \dots 2.13$$

Considerando:

RQD > 75%

PM1=25%Pmax, PM2=50%Pmax, PM3=75%Pmax, PM4=PM2
y PM5=PM1

RQD ≤ 75%

PM1=20%Pmax, PM2=40%Pmax, PM3=60%Pmax, PM4=PM2
y PM5=PM1

Dónde:

Hm = Altura de presión manométrica

GWL = Nivel de agua

H_(Gravity) = Espesor desde la superficie hasta la mitad del intervalo de prueba (L/2).

d_{top} = Profundidad de superficie a inicio de tramo de prueba

d_{bottom} = Profundidad de superficie a piso de zona de prueba

L = Longitud de prueba

2r = Diámetro de perforación

PM = Presión de manómetro

A = Sobrante casing en superficie

Para cálculo de presión de inflado de obturador:

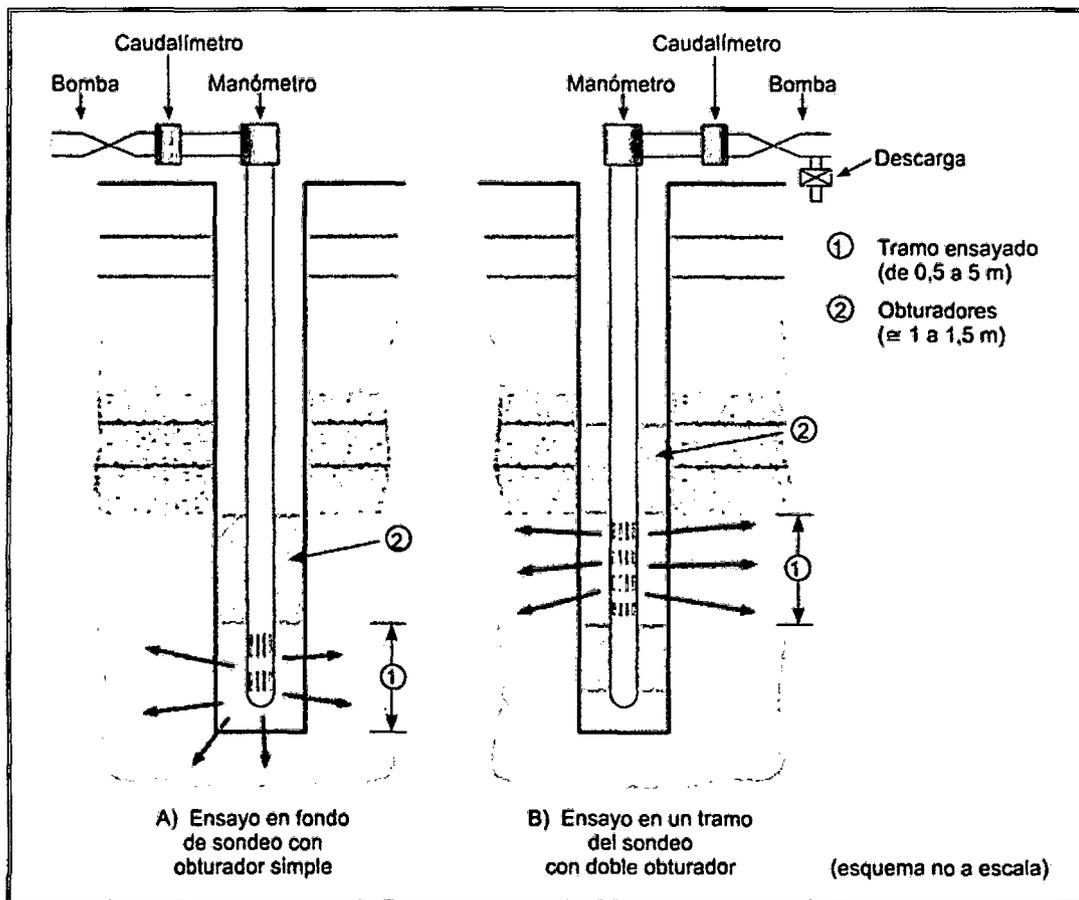
$$P_p = (H_{(psi)} + 200 \text{ psi}) \times 1.1 \dots\dots\dots 2.14$$

Dónde:

P_p = Presión de inflado de obturador

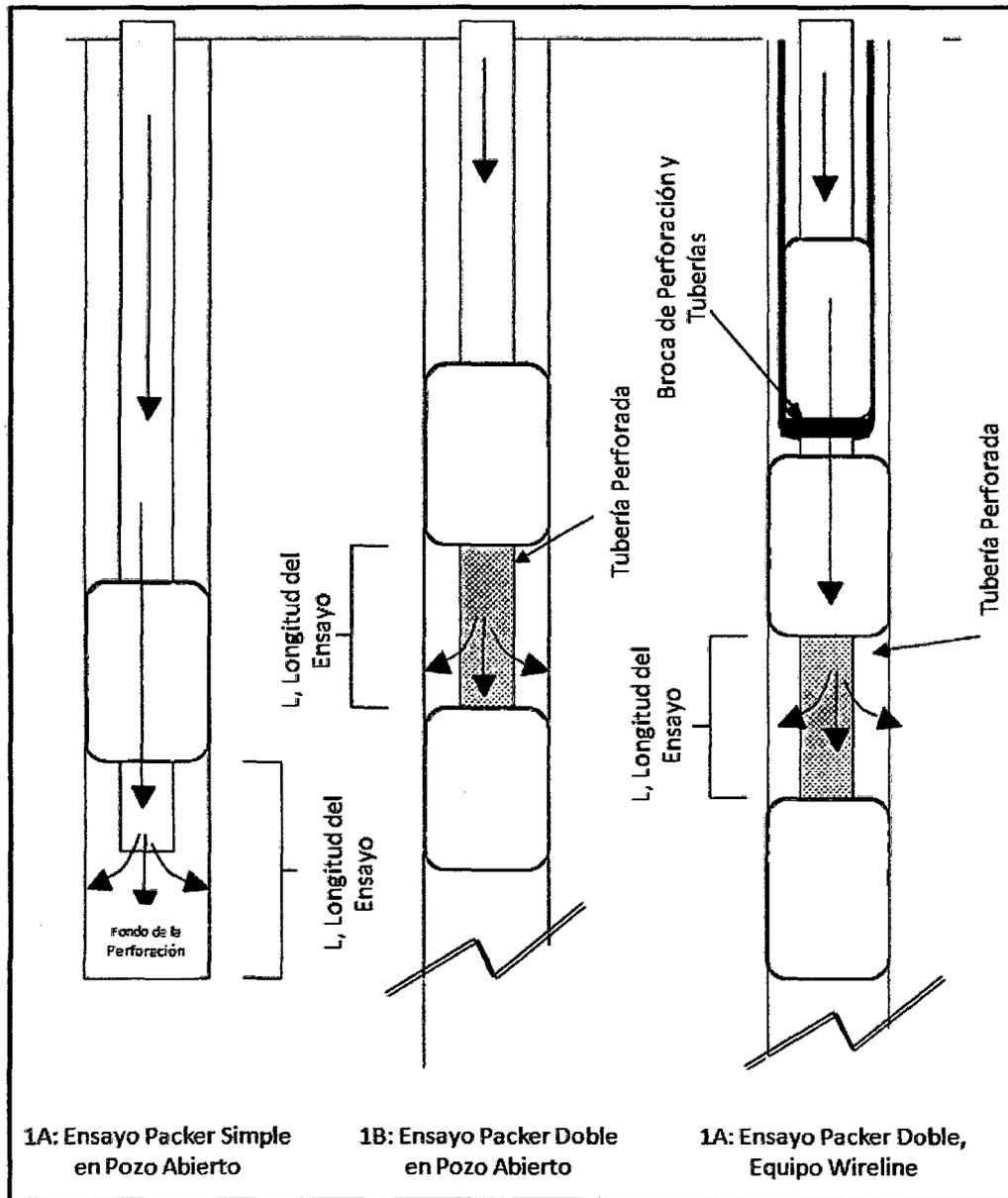
H = Presión hidrostática

Figura 2-5: Esquemmatización de un ensayo Lugeón (prueba con obturador).



Fuente: Gonzales Vallejo, 2002

Figura 2-6: Esquema de los diferentes tipos de packer utilizados en un ensayo Lugeón



Fuente: Por Michael Royle, M.A.Sc.
(mroyle@srk.com)

Tabla 2-2: Valores utilizados para cada prueba Lugeón.

Fase de Prueba	Descripción	Etapas de presión
1 ^{to}	Baja	0.25P _{max}
2 ^{da}	Media	0.50P _{max}
3 ^{ra}	Máxima	0.75P _{max}
4 ^{ta}	Media	0.50P _{max}
5 ^{ta}	Baja	0.25P _{max}

Fuente: Camilo Quiñones-Rozo, P.E. 1

Tabla 2-2: Condiciones de las discontinuidades del macizo rocoso asociados a los diferentes valores Lugeon.

Rango Lugeon	Clasificación	Conductividad Hidráulica Rango (cm/seg.)	Condiciones de la Masa Rocosa Discontinuidades	Precisión (Lugeon)
< 1	Muy Bajo	$< 1 \times 10^{-5}$	Muy cerrado	< 1
1 - 5	Bajo	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Cerrado	+0
5 - 15	Moderado	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Parcialmente Abierto	+1
15 - 50	Medio	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	Algunos abiertos	+5
50 - 100	Alto	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	varios abiertos	+10
> 100	Muy Alto	$> 1 \times 10^{-3}$	Estrechamente espaciados o vacíos	> 100

Fuente: Camilo Quiñones-Rozo, P.E. 1

Figura 2-7: Patrones de unidades Lugeon para el análisis e interpretación de Conductividad Hidráulica y tipo de flujo (documento interno MWH PERU).

Gráfico Unidades Lugeon				
Flujo Laminar ➔		Flujo Turbulento ➔		
	Tomar el promedio de todos los valores Lugeon.		Tomar el resultado de la presión pico.	
Dilatación de Fracturas ➔				
	Tomar el resultado de la presión baja o media.	Tomar el resultado de la presión baja.	Tomar el resultado de la presión media.	Tomar el resultado de la presión baja o media.
Lavado de Relleno en Fracturas (Wash Out) ➔		Llenado de Poros (Void Filling) ➔		NOTAS ADICIONALES 1) El flujo laminar indica fracturas limpias, finas y relativamente planares. 2) El flujo turbulento indica fracturas amplias y rugosas.
	Tomar el resultado de la presión baja inicial.		Tomar el resultado de la presión baja final.	

2.4 Formulación de la Hipótesis

En el área de estudio existen importantes unidades geológicas que debido a su composición litológica son susceptibles a formar zonas saturadas, estas se caracterizan teniendo en cuenta parámetros geológicos e hidrogeológicos a base de perforaciones diamantinas y pruebas hidráulicas.

CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación

La metodología aplicada en la presente tesis, se basa en sus objetivos, por la cual, se considera una **investigación descriptiva e interpretativa**, que logra caracterizar una situación concreta señalando las características y propiedades geomecánicas de los diferentes tipos de roca presentes en el área de estudio; y **analítico** que compara datos obtenidos en campo en diferentes pruebas hidráulicas.

3.2 Procedimiento y Técnicas de Recolección de datos

Básicamente diferenciaremos dos grupos metodológicos, según el espacio físico donde suelen aplicarse, el gabinete y el trabajo de campo.

3.2.1 Técnicas de Gabinete

Dentro de esta etapa se realizan trabajos de planificación, recopilación de información, procesamiento de datos y análisis de la información.

3.2.1.1 Recopilación de la información y fuente de datos

Revisión Bibliográfica. Antes de iniciar el programa de campo, toda la información hidrogeológica, geológica y estructural, disponible se revisó por el equipo de proyecto antes del desarrollo de la etapa de campo.

En primer lugar, se recopiló la información bibliográfica, cartográfica y documental existente acerca del tema de investigación. Para la búsqueda y revisión bibliográfica se recurrió a la consulta de las bases de datos en la biblioteca virtual de MWH PERU y base bibliográfica buscada en INTERNET.

Para la recopilación cartográfica y parte de la geología se recurrió a la información contenida en la base de datos presentes en los archivos de trabajos anteriores hechos por empresas consultoras como:

GOLDER ASSOCIATES, KNIGHT PIÉSOLD, SCHLUMBERGER Y BOLETIN CUADRANGULO CHOTA (14f).

Se recopiló información meteorológica de pluviómetros ubicados dentro del área de estudio y calibrado teniendo como base la estación meteorológica de Cerro Corona – Gold Fields.

Se realizaron las coordinaciones respectivas con Ruen Drilling Perú empresa encargada de realizar las perforaciones diamantinas con la finalidad de establecer estándares y ejecución de las pruebas hidráulicas durante el avance de perforación.

3.2.1.2 Procesamiento de datos y análisis de la información

Esta etapa está basada en la interpretación de datos de campo recogidos de las pruebas hidráulicas realizadas durante las perforaciones diamantinas, procesamiento de información geológica e hidrogeológica obtenida durante el avance de perforación en el programa Strater 2, elaboración de mapa geológico y perfiles hidrogeológicos en el programa Arc Gis 9.3.

a) Interpretación y análisis de pruebas con obturador (pruebas Lugeon)

La metodología de interpretación para la figura 3-1 es de la siguiente manera: los patrones Housby que se presentan en la figura corresponden y ayudan a identificar características del macizo rocoso para cada tramo de prueba durante el avance de perforación, de allí que: la forma de las curvas gasto (Q) versus presión es variable y depende de las características de fracturamiento del macizo (distribución, espesor y relleno de fracturas).

Para realizar este tipo de interpretaciones, se utilizan los 5 valores calculados en unidades Lugeon, uno para cada perforación de

presión, y se inspeccionan para determinar el régimen de flujo o evento que ocurre en el tramo.

Figura 3-1: Patrones y tipos de resultados de prueba con obturador (Manual interno MWH).

MWH PERU S.A.		PATRONES TIPOS DE RESULTADOS DE PRUEBAS LUGEON (HOULSBY 1976)				
TIPO DE FLUJO	ESTADIOS 10°c/u	PRESIONES DE PRUEBA MAX. RELATIVA (APROX.)	PATRONES LUGEON CALCULADOS PAR CADA 10" PATRON GENERALIZADO	CARACTERISTICAS DE LOS PATRONES E INTERPRETACION	VALOR A USAR COMO "K" DEL ENSAYO	CURVA DE INTERPRETACION
FLUJO LAMINAR	1°					P=Kg/cm ²
	2°			LOS 5 VALORES LUGEON SON APROXIMADAMENTE IGUALES	SE USA EL PROMEDIO DE LOS 5 VALORES	
	3°					
	4°					
	5°					
FLUJO TURBULENTO	1°					P=Kg/cm ²
	2°			EL VALOR LUGEON MAS BAJO OCURRE EN LA PRESION MAXIMA	SE USA EL VALOR LUGEON PAR LA PRESION MAXIMA	
	3°					
	4°					
	5°					
FLUJO DILATACION	1°					P=Kg/cm ²
	2°			EL VALOR LUGEON MAS ALTO OCURRE EN LA PRESION MAXIMA	SE USA LOS VALORES LUGEON PAR LAS PRESIONES MINIMAS y/o MEDIAS	
	3°					
	4°					
	5°					
FLUJO EROSION	1°					P=Kg/cm ²
	2°			LOS VALORES LUGEON AUMENTAN EN EL PROCESO DE LA PRUEBA (POR CAMBIOS EN EL MEDIA ROCOSO)	SE USA EL EL VALOR LUGEON MAS ALTO	
	3°					
	4°					
	5°					
FLUJO RELLENO	1°					P=Kg/cm ²
	2°			LOS LUGEONES DECRECEN EN EL PROCESO DE LA PRUEBA. (LOS VACIOS SON GRADUALMENTE RELLENADOS)	SE USA EL EL VALOR LUGEON MAS BAJO	
	3°					
	4°					
	5°					
1,0 U.L.=1,3x10 ⁶ cm/seg (CA. HOULSBY, 1976)						
CLASIFICACION DEL VALOR LUGEON REPRESENTATIVO						
0 - 1 U.L. - MUY FAVORABLE						
1 - 3 U.L. - FAVORABLE						
3 - 10 U.L. - DESFAVORABLE						
> 10 U.L. - MUY DESFAVORABLE						

En la figura 3-1 los incrementos de presión se muestran en barras. Observándose la forma en que aumenta la presión hasta un pico en la tercera corrida y luego se reduce, de forma simétrica. Las barras mostradas en la columna cuatro, representan los valores en unidades Lugeon, calculados para cada valor de presión.

En el primer caso, se observa que los valores son similares para cada corrida de presión, lo que implica que el flujo es generalmente laminar, pero no exclusivamente, considerando la mezcla de tamaños de fisuras y condiciones encontradas en la mayoría de los intervalos de ensayo.

Cuando el flujo es de este tipo, cada uno de los cinco valores de unidades Lugeon puede ser aceptado como el resultado del ensayo para el tramo, así como también puede tomarse un promedio de los mismos.

En el segundo caso, mostrado en la misma figura, se observa una distribución simétrica con el valor más bajo en el punto de mayor presión, indicativo de un flujo turbulento. Este valor bajo, debe ser considerado como el resultado del ensayo para el tramo.

El patrón de valores mostrados en el tercer caso, es de algún modo el inverso del anterior. La presión pico produce un valor mucho mayor de unidades Lugeon que en los otros puntos de presión. Esta presión ha sido suficiente para dilatar localmente las fisuras, ya sea por compresión de materiales blandos o por sellar fisuras paralelas adyacentes. La dilatación es temporal, por lo que el valor de unidades Lugeon para el tramo debe ser representado por el de menor magnitud, generalmente relacionado al punto de menor presión.

El cuarto caso, muestra permeabilidades en incremento durante las cinco corridas, sin presentar decrecimiento alguno. Esto es indicativo del lavado de fisuras o de la introducción de fragmentos

de roca en las fisuras dilatadas evitando su cierre. La ocurrencia frecuente de esto indica que la presión empleada es muy alta. La permeabilidad que debe tomarse es la del punto de la última corrida (a menor presión), con esto se presume que la presión pico es similar a la presión que eventualmente habrá con la presa en servicio, que podría producir resultados similares si no se emplea lechada.

Por último el quinto caso, muestra el inverso del patrón anterior. Los valores de unidades Lugeón se reducen progresivamente, indicando que espacios vacíos y fisuras están siendo rellenados, y por lo tanto el agua no continuar circulando.

Lo prudente es continuar realizando el ensayo a menores presiones hasta que la tendencia de disminución cese, indicando que todos los espacios vacíos han sido llenados.

En conclusión, se considera tres parámetros principales para cada tramo de prueba elegido: la permeabilidad representativa, tipo de flujo y unidad lugeon.

Ejemplo: Teniendo los datos de campo indicados en la tabla 3-4, tramo de ensayo 19.0m a 30.4m, H es 38.61m, diámetro 9.6 cm, P1= 20 psi y un gasto promedio de 1.31 l/m. Calcular la Conductividad Hidráulica, parámetro Lugeon para la primera presión tomada.

Remplazando en la expresión 2.8 tenemos:

$$KH = \frac{1.31}{2(3.1415)(38.61)(11.40)} \times \ln\left(\frac{11.40}{9.6}\right)$$

$$KH = 4.335E-06 \text{ cm/s}$$

Calculando Lugeón:

$$\text{Lugeón} = \left(\frac{1.31}{11.40}\right) \left(\frac{10}{20 \times 0.06894757}\right)$$

Lugeón= 0.8 U.L (muy favorable).

De la misma manera calculamos para cada una de las cuatro presiones restantes y teniendo en consideración lo antecedido (5 casos de Houlby) se define la conductividad hidráulica, tipo de flujo y unidad Lugeon representativo para cada tramo de prueba.

Para el cálculo de la conductividad hidráulica mediante el método de Carga variable y Constante se calculan con las expresiones 2.6 y 2.7 respectivamente.

Los datos de las pruebas hidráulicas se presentan en el anexo C.

b) Caracterización Hidrogeológica

El método consiste en usar la información del parámetro hidrogeológico (conductividad hidráulica) calculados a partir de la ejecución de pruebas hidráulicas utilizando perforaciones diamantinas, finalmente con el estudio de esta información se establecen con mayor o menor precisión según los casos, los límites y tipos principales de unidades hidrogeológicas (tabla 3-1).

Tabla 3-1: Clasificación de unidades hidrogeológicas en función de su litología.

TIPO DE ROCA	UNIDAD HIDROGEOLOGICA
Rocas sedimentarias no consolidadas	Acuíferos porosos no consolidados
Rocas sedimentarias consolidadas	Acuíferos fisurados y acuitardos
Rocas volcánicas	Acuíferos fisurados y acuitardos
Rocas volcánicas-sedimentarias	Acuíferos porosos y acuitardos
Rocas intrusivas metamórficas	Acuitardos, acuícludos y acuífugos

Fuente: Intercade 2010

Tabla 3-2: Clasificación de unidades hidrogeológicas en función de su permeabilidad (K).

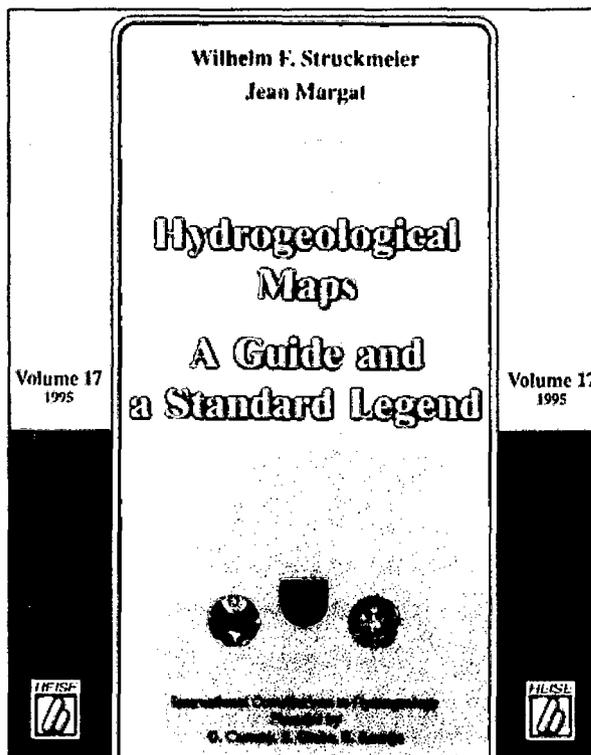
CLASIFICACION		k
ACUÍFERO	Excelente	Muy Alta
	Regular	Alta
	Pobre	Media
ACUITARDO		Baja a moderada
ACUICLUDO		Muy baja
ACUIFUGO		Nula o muy Baja

Sanchez, 2012

La metodología usada para la definición de unidades hidrogeológicas consta básicamente en dos partes: (1) Definición de la estratigrafía y paquetes litológicos presentes (análisis de litología de los pozos, homogenización de unidades litológicas, secciones geológicas) y (2) Propiedades hidrogeológicas (conductividad hidráulica).

La representación de la simbología, la leyenda y los colores del mapa hidrogeológico, se basan en la guía planteada por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (Figura 3-2), escrita por Struckmeier y Margat (1995), y que actualmente es utilizada por la mayoría de países en el mundo.

Figura 3-2: Guía y leyenda estándar para la elaboración de mapas hidrogeológicos (Struckmeier y Margat, 1995).



De acuerdo a esta guía, se explica el significado de colores usados para elaborar el mapa hidrogeológico de la zona de estudio.

Tabla 3-3: Estandarización de colores para tipos de acuíferos (Struckmeier y Margat, 1995).

COLOR	DESCRIPCIÓN
Azul	Acuíferos porosos no consolidados
Verde	Acuíferos fisurados (areniscas, cuarsitas y calizas)
Morado	Acuíferos fisurados en rocas volcánicas o ígneas
Azul Oscuro	Acuíferos Kársticos
Marrón	Acitardos o unidades poco a nada permeables

Finalmente, con todos los datos obtenidos, se realiza el informe respectivo para su presentación final.

3.2.2 Técnicas de Campo

Básicamente las labores de campo se centraron en dos tareas detalladas a continuación:

3.2.2.1 Reconocimiento Geológico de Superficie, Mapeo Hidrogeológico y Selección de puntos de perforación

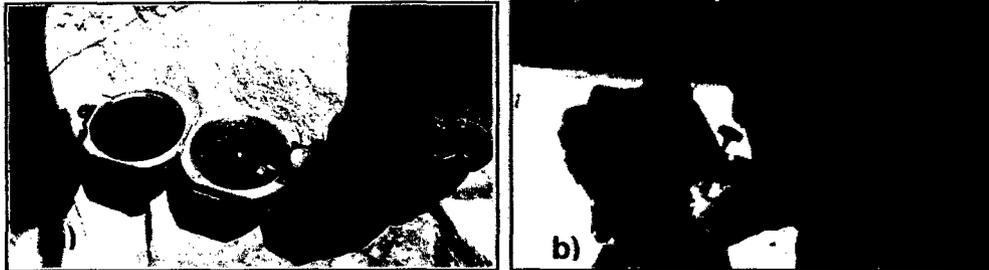
Los primeros trabajos realizados en la zona de estudio fueron con el propósito de validar la información ya obtenida del levantamiento geológico realizado y obtenido como antecedente, el mapeo incluyó:

- ❖ Obtener características geológicas de los afloramientos y estructuras (rumbo, buzamientos).
- ❖ Delimitar e identificar las diferentes formaciones geológicas en el área de estudio.
- ❖ **Inventario de fuentes de agua;** en los puntos de agua, junto con la descripción del entorno geológico, se midió la conductividad eléctrica (CE $\mu\text{S}/\text{cm}$), el pH, la temperatura (T °C). Estos parámetros fisicoquímicos, se midieron con un conductivímetro WTW- pH/Cond 340i/Set y un Medidor Combo Digital HL98129 (Foto 3-2, b), estos equipos fueron calibrados diariamente al iniciar el trabajo de campo, y **aforo de manantiales;** en cada uno de los manantiales inventariados, se toma la medida de sus parámetros fisicoquímicos, se hicieron las medidas de los parámetros necesarios para el cálculo del caudal de dichas fuentes usando el método volumétrico de balde/cronómetro (APDF, 2002).

El método del balde consiste simplemente en utilizar un balde graduado en litros (Foto 3-2, a). Para medir el flujo de agua, solo basta recoger toda el agua que pasa por el canal que conduce el agua hasta el balde y tomar el tiempo que tarda en llenarse, finalmente el caudal se calcula con la fórmula 2.5 del capítulo anterior. Para caudales mayores de 4 l/s, es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad que se llenara en 2.5 segundos. En el caso que se incrementen los caudales mayores a 10 litros se utilizara

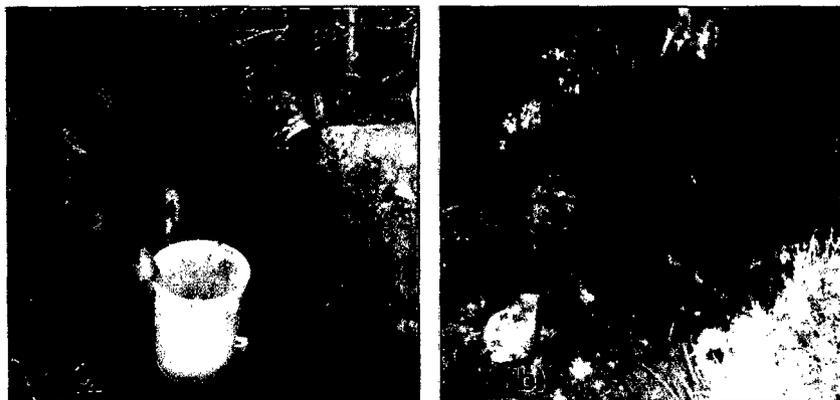
recipientes que cumplan la función tal con la cantidad de flujo presente. En el presente estudio se utilizaron jarras de 1 litro y balde de 4 litros, debido al bajo caudal que presentan los manantiales y arroyos inventariados.

Foto 3-1: Técnicas para mapeo geológico, a) Medida de rumbos y buzamientos de estratos y b) Identificando tipo de roca.



En base a la geología y datos analizados se propuso la ubicación de ocho perforaciones diamantinas con diámetro de 96 mm (HQ-3) a profundidades de hasta 150m.

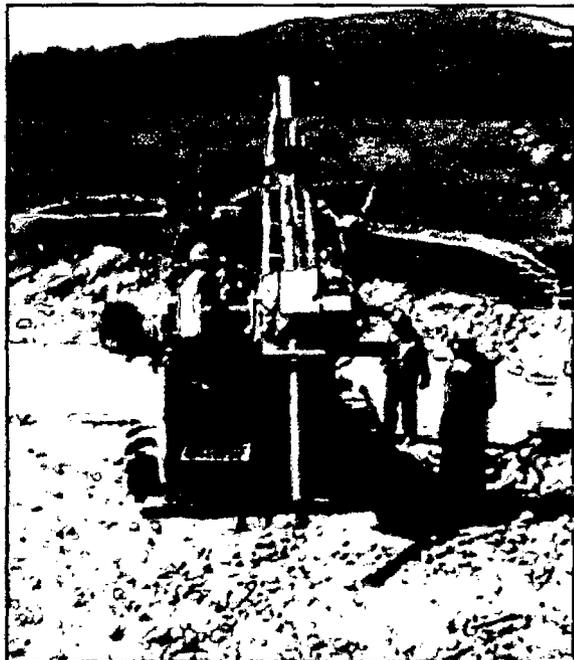
Foto 3-2: a) Método volumétrico balde/cronometro y b) Equipo utilizado para la toma de parámetros fisicoquímicos de campo.



3.2.2.2 Monitoreo de perforación

Se realizó un intensivo trabajo desde el 15 de enero del 2011 hasta fines de agosto del 2011 realizándose una campaña de nueve perforaciones diamantinas con una máquina de la empresa contratista Ruen Drilling del tipo CS-100 con profundidades que varían hasta los 200 m, esta tarea implica a:

Foto 3-3: Máquina CS-100, utilizada para perforaciones y pruebas hidráulicas.



A. Metodología y Ejecución de Pruebas de Conductividad Hidráulica

La metodología que se utilizó para la ejecución de pruebas hidráulicas en las nueve perforaciones diamantinas menciona en que cada una de ellas cuenta con sus respectivos pasos y consideraciones que se tendrán en cuenta para cada una de las pruebas.

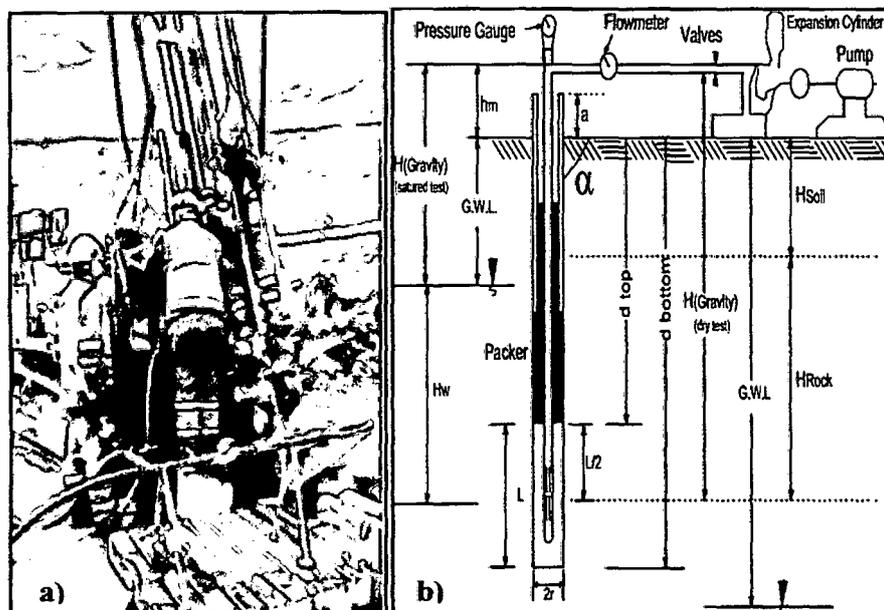
a.1) Prueba Lugeon (prueba con obturador/presión de agua)

- Revisión de logueo de testigos.
- Elección del tramo adecuado para realizar la prueba, la longitud de los tramos de perforación en los que se realiza la prueba debe adaptarse a la naturaleza del terreno. En numerosos

casos resulta adecuado el empleo de tramos de prueba de longitud reducida (5m), con objeto de analizar detalladamente zonas características excepcionales.

- Lavar el pozo por un lapso de 30 minutos, para eliminar los materiales finos que pudieran encontrarse en el fondo del taladro.
- Se ordena al perforista levantar la tubería de perforación hasta la profundidad de prueba.
- Luego de la verificación se procede a introducir el obturador en el interior de la tubería de perforación en el taladro.
- Se baja el obturador lentamente, encintando cada cierto tramo el cable wireline y la línea de inflación, para evitar que este material se deteriore y/o corte al momento del sacado del mismo al momento de finalizada la prueba.

Foto 3-4: Instalación de obturador (packer), a) Instalación en campo y b) Esquema y parámetros de ensayo packer (MWH).



- Se procede a inyectar nitrógeno mediante la línea de inflación hasta tener una presión adecuada en el obturador (presión de inflado).
- Calculamos presión de obturador utilizando la expresión 2.14 del capítulo anterior, tomamos como referencia información del pozo TC-01. Se tiene que nivel de agua en pozo es de 35.0 m, tramo de prueba es de 45.0 a 50.0 m, la presión de obturador será:

$$P_p = (10 \times 0.7 \text{ psi} + 200 \text{ psi}) \times 1.1$$

$$P_p = 207 \text{ psi} \times 1.1$$

$$P_p = 227 \text{ psi} \cong 230 \text{ psi}$$

- Calculamos las cinco presiones que serán usadas para el ensayo, tomando como referencia el esquema que se presenta en la foto 3-3b y utilizando datos tomados en campo (TC-01) tales como:

$$\text{GWL} = 7.65 \text{ m.}, \text{ (profundidad del nivel de agua)}$$

$$\text{Tramo de ensayo} = 19.0 \text{ m a } 30.40 \text{ m.}$$

$$\text{Hm} = 2.36 \text{ m.}, \text{ (altura de manómetro)}$$

$$\text{H suelo} = 10.30 \text{ m.}$$

$$\alpha = 65^\circ \text{ (inclinación de perforación)}$$

Paso 1: Con los datos referidos calculamos datos que serán usados en el paso 2.

Se tiene el tramo de ensayo del cual tenemos la altura de roca que es 30.40 m. (99.71 pie), este dato se utilizara cuando el tramo de ensayo sea desde la

superficie, pero para el caso tenemos el tramo desde los 19.0 m a 30.40 m y se considera lo siguiente:

$$T_m = \frac{(30.40 \times 3.28) + (19 \times 3.28)}{2} = 81.015 \text{ pie}$$

Entonces,

$$H_{roca} = [(81.015 \text{ pie} - (10.3 \times 3.28)] \text{sen}65^\circ = 42.81 \text{ pie}$$

Paso 2: Usando las expresiones 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 y reemplazando datos en cada una de ellas se tiene:

$$\sigma_t = \frac{(33.78 \times 1009 + (42.81 \times 140))}{144} = 65.08 \text{ psi}$$

$$\mu = \frac{[(33.78 + 42.81) - 25.092]}{62.5} = 0.82 \text{ psi}$$

$$\sigma' = 65.08 - 0.82 = 64.26 \text{ psi}$$

$$H_g = \frac{32.83 \times 62.4}{144} = 14.22 \text{ psi}$$

$$P_{max} = 64.26 - 14.22 = 46.04 \text{ psi}$$

Paso 3: Se tiene la presión máxima (46.04 psi) y teniendo el % RQD > 75%, se calcula las cinco presiones representativas para usar en la prueba de obturador.

$$P_1 = 25\%P_{max} = 11.51 \text{ psi.}$$

$$P_2 = 50\%P_{max} = 23.02 \text{ psi.}$$

$$P_3 = 75\%P_{max} = 34.53 \text{ psi.}$$

$$P_2 = 50\%P_{max} = 23.02 \text{ psi.}$$

$$P_1 = 25\%P_{max} = 11.51 \text{ psi.}$$

Nota:

- ✓ Todos los datos de campo están expresados en metros y para el cálculo han sido transformados a pies (por 3.28), luego estos han sido transformados a psi.
- ✓ Es posible que los datos de presiones a usar pueden variar teniendo en consideración la composición y características del macizo rocoso.
- En superficie se arma las conexiones de caudalímetro, manómetro, estabilizador de flujo y línea de desfogue.

Foto 3-5: Instalación de accesorios para prueba packer.



- Se deberá considerar el nivel del agua en el sondaje, altura del caudalímetro, altura de la tubería de perforación sobre el terreno (Stick Up), diámetro de las tuberías de perforación en el intervalo de prueba, hora de inicio y fin de prueba.
- Una vez terminado el proceso de armado del equipo, se procede a inyectar agua según datos de presiones calculadas previamente; se inicia la prueba usando presión baja (P1), se

continua con presión media (P2) hasta llegar a una presión máxima (P3), luego se disminuye a presión media (P2) y finalizamos con la presión baja (P1), en cada presión usada se tendrá que registrar cuánta agua se está usando, este consumo se registrara cada minuto en el caudalímetro, este proceso deberá efectuarse por un tiempo prudencial de 5 a 10 minutos para cada presión.

Tabla 3-4: Datos tomados en campo prueba de packer, pozo TC-01.

Tiempo(min)	P _M = (psi) = 20.00		P _M = (psi) = 26.00		P _M = (psi) = 40.00		P _M = (psi) = 26.00		P _M = (psi) = 20.00	
	Flujo (m ³)	Flujo q(l)								
0	254.000		272.000		296.000		323.000		344.500	
1	255.250	1.3	273.900	1.9	298.750	2.8	324.950	1.9	345.600	1.1
2	256.550	1.3	275.750	1.9	301.300	2.6	326.700	1.8	346.750	1.1
3	257.800	1.3	277.600	1.9	303.900	2.6	328.600	1.9	347.930	1.2
4	259.000	1.2	279.450	1.8	306.500	2.6	330.550	1.9	349.050	1.1
5	260.250	1.3	281.200	1.8	309.100	2.6	332.600	2.1	350.350	1.3
6	261.550	1.3	283.000	1.8	311.500	2.4	334.400	1.8	351.550	1.2
7	263.000	1.4	284.850	1.9	313.850	2.4	336.250	1.9	352.780	1.2
8	264.400	1.4	286.750	1.9	316.050	2.2	338.150	1.9	354.000	1.2
9	265.750	1.4	288.500	1.8	318.300	2.3	340.150	2.0	355.220	1.2
10	267.150	1.4	290.300	1.8	320.650	2.3	342.000	1.9	356.450	1.2

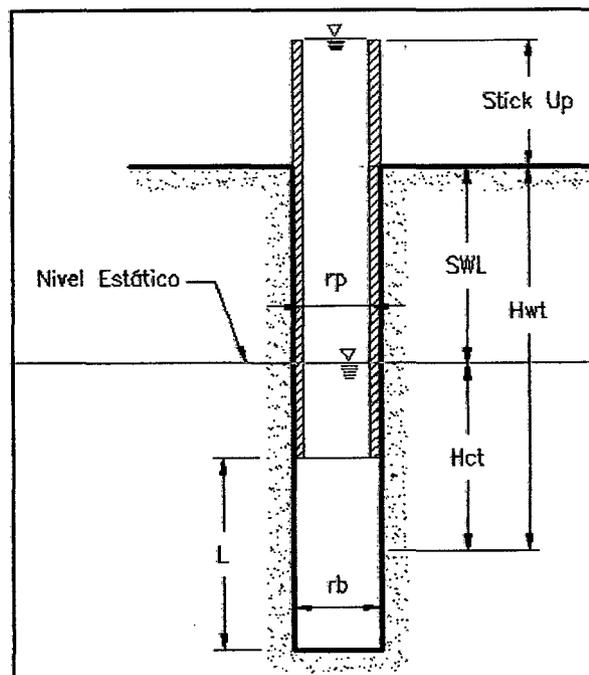
- Se deberá verificar de que no existan fugas de agua en la superficie, esto dependerá del grado de fisuración de la formación geológica.
- Se mide durante cinco o diez minutos el caudal inyectando a una presión constante hasta tener tres (03) últimas lecturas de caudales sean constantes.
- Una vez finalizada la prueba Lugeon, se procede a desinflar el obturador, se espera un tiempo prudencial de diez (10) minutos y se procede a retirar el obturador del taladro.

- Este proceso de armar y realizar la prueba Lugeon no debe superar las tres (03) horas.

a.2) Prueba Lefranc Carga Constante

El ensayo consiste en inyectar agua a caudal constante por un tiempo determinado considerando los siguientes pasos:

Figura 3-3: Esquema de prueba Lefranc Carga Constante.



- Revisar el logueo.
- Elegir tramo adecuado para realizar la prueba, de acuerdo a la naturaleza del terreno.
- Lavar el taladro un período de 10 a 15 minutos.
- Medir el nivel agua si es que lo hubiera.
- Retirar las tuberías de perforación.
- Inyectar agua de manera constante al taladro por el espacio anular del casing hasta llenar el taladro.

- Medir el caudal de inyección usando un caudalímetro por un lapso de 15 minutos y mediadas de gasto cada 1min, el agua se mantendrá estática a una misma altura dentro del casing.
- Se toma los datos por un periodo de 15 min, terminado la prueba se coloca nuevamente la tubería de perforación y se continúa con el avance.

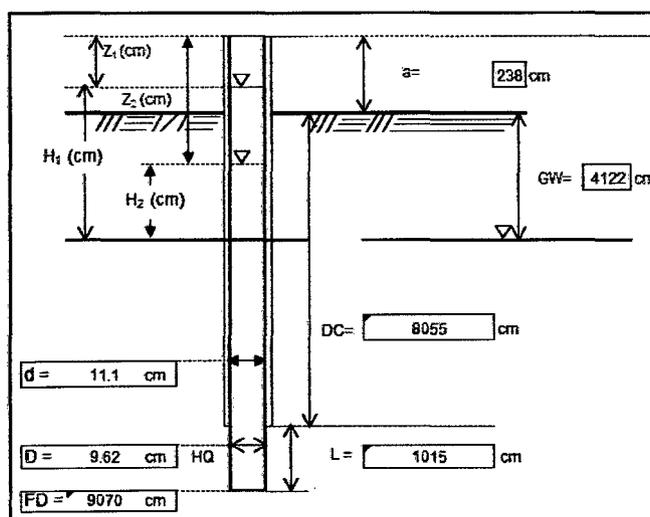
Tabla 3-5: Medias tomadas en campo, perforación TC-01.

t (min)	Lecturas	Q(l/min)	Q(m ³ /día)
0	701.00		
1	732.00	31.00	44.64
2	765.00	33.00	47.52
3	798.00	33.00	47.52
4	833.00	35.00	50.40
5	865.00	32.00	46.08
6	899.00	34.00	48.96
7	934.00	35.00	50.40
8	966.00	32.00	46.08
9	1000.00	34.00	48.96
10	1034.00	34.00	48.96
11	1069.00	35.00	50.40
12	1102.00	33.00	47.52
13	1136.00	34.00	48.96
14	1170.00	34.00	48.96
15	1204.00	34.00	48.96

a.3) Prueba Lefranc Carga Variable

En las pruebas Lefranc de flujo variable con descenso de agua desde la superficie hacia el fondo de la perforación, es necesario ir determinando la velocidad con que varía el nivel del agua dentro de la perforación habiendo previamente echado una columna de agua.

Figura 3-4: Esquema de prueba Lefranc Carga Variable (Manual interno MWH).



Para la ejecución de estas pruebas no se requieren instalaciones de equipo especial, necesitándose únicamente verter agua dentro de la perforación hasta un nivel que satisfaga las condiciones de carga especificada y con una sonda eléctrica ir midiendo el descenso del nivel de agua en lapsos de tiempo determinados, controlados con un cronómetro, el procedimiento tiene los siguientes pasos:

- Revisar el logueo.
- Elegir tramo adecuado para realizar la prueba, de acuerdo a la naturaleza del terreno.
- Lavar el taladro un período de 10 a 15 minutos.
- Medir el nivel agua si es que lo hubiera.
- Retirar las tuberías de perforación.
- Colocar tubería de PVC de una (01) pulgada de diámetro en el interior del taladro, por tratarse de terrenos no consolidados, la parte inferior de la tubería debe conservarse abierta para realizar mediciones del nivel de agua mediante una sonda eléctrica (wáter

level), transducer o medidor sónico (Sonic wáter level), además la tubería de PVC debe mantenerse fijo a una determinada profundidad usando una grampa para tuberías.

- Medir el caudal que se inyectara al taladro, usando balde de 20 litros y cronómetro, realizar el proceso 3 veces y obtener el promedio de las lecturas.
- Inyectar agua de manera constante al taladro por el espacio anular hasta llenar el taladro.
- Esta prueba requiere típicamente llenando el agua a la parte superior del casing y luego medir el nivel de agua con un medidor de nivel de agua como se descende (es decir, se recupera) hacia el equilibrio hidrostático. Típicamente, los intervalos de prueba son logarítmicas (es decir: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30 minutos).
- Se medirá la recuperación del nivel de agua con cualquiera de los siguientes instrumentos sonda eléctrica, transducers y/o medidor sónico (Sonic water level) de manera logarítmica (cada 10 segundos los primeros 2 minutos, cada 20 segundos los siguientes 03 minutos, cada 30 segundos los siguientes 05 minutos, cada 01 minuto los siguientes 05 minutos y luego cada 05 minutos por un período de 10 minutos más), tomar datos hasta que el nivel del agua se recupera por lo menos en un 70%.
- Una vez concluida el ensayo se continúa la perforación.

B. Logueo Geológico - Geotécnico de Testigos de Perforación

Para esta tarea se tuvo en campo un formato especial impreso donde se llenó todas las características del pozo perforado. Los datos que se registraron fueron los siguientes:

- ♣ Código del sondaje, orientación, inclinación, fecha de inicio y fin, perforistas, ayudantes.
- ♣ Número de corridas, longitud de las corridas, número de caja por las corridas, porcentaje de recuperación.
- ♣ Textura de la roca.
- ♣ Dureza.
- ♣ Formas de partículas (sólo para arena y materiales más gruesos).
- ♣ Contenido de agua.
- ♣ Estructura (Fallas, fracturas, diaclasas, espacios vacíos).
- ♣ Grado de meteorización y oxidación.
- ♣ Mineralización (óxidos, sulfuros, silicatos, carbonatos, haluros, sulfatos, etc).
- ♣ Color (ejm Gris amarillento claro).
- ♣ Olor (si es aplicable).
- ♣ Origen Probable la información tiene que estar entre paréntesis.
- ♣ Medida del porcentaje de recuperación de muestra (% recuperación).
- ♣ RQD (Rock Quality Design).
- ♣ Toma de fotografía a testigos de perforación.

Foto 3-6: Registro geológico de testigos de perforación, pozo PZ-01 (Gebblast.CI)



Figura 3-5: Formato de logueo para campo (formato interno MWH).

CONTRACTOR INFORMATION				BOREHOLE INFORMATION																
Drilling Company: Ruen Drilling Peru		North (m): 8251317	Inclination: -65	Bit Type: diamond	Pipe Diameter: 121.75 - 131.75	Reviewed by: E.Marin														
Drillers (Day/Night): D. Tildracurú, Celán		East (m): 759952	Location: Valle Tomas	Casing Depth: 1.4	Slick up: 0.57	Approved by: E.Marin														
Drillers Helpers (Day/Night): J.C.-G.C.A.L.E.-N.P		Elevation(m): 3839	Drilling Rig: CS-1000	Depth Total: 150	Start Date: 30/7/2011	Logged by: V.Guevara														
Field Responsible (Day/Night): J.Almoneda		Azimuth: 270	Drilling Method: Rotation	Core Diameter: 8.6	Finish Date: 8/10/2011															
Depth (m)	From:	To	CORE RECOVERY DATA				DISCONTINUITY DATA										K (cm/s)	Comments	WELL DETAILS (Parameters)	
			Recovery (%)	ROD (N)	Weathering Index	Strength Index	Lithology Symbol	Geology Formation	Geological Description	Frequency	Dip (Core axis)	Type of Disc.	Width	Type of Infilling	Amount of Infilling	Surface Shape				Roughness

Las tablas que se detallan a continuación se utilizaron para la descripción de las características geológicas y geomecánicas durante el registro geológico de las 9 perforaciones.

Tabla 3-6: Términos descriptivos para la dureza de la roca (Manual interno MWH).

Muy duro	No puede ser rasguñado con el cuchillo o la selección aguda. La fractura de la muestra de mano requiere varios golpes con el martillo de geólogo.
Duro	Puede ser rasguñado con el cuchillo o la selección solamente con dificultad, se requiere varios golpes con el martillo para separar la muestra de mano.
Moderadamente duro	Puede ser rasguñado con el cuchillo o la selección aguda. Forma surcos de 1/4 de pulgada profundo, puede ser a mano excavado con la punta del martillo de geólogo. Los especímenes de la mano se pueden separar por un golpe moderado.
Medio	Se puede hacer surcos por la presión firme del cuchillo o la de golpes con la punta del martillo de geólogo.

Tabla 3-7: Términos descriptivos para la erosión de la roca (Manual interno MWH).

Fresco	Roca fresca, cristales brillantes, pocos empalmes puede demostrar la coloración leve. La roca suena a golpe de martillo si es cristalino.
Muy leve	Roca generalmente fresca, empalmes manchados, algún empalme puede demostrar capas finas de arcilla si está abierto, los cristales en cara quebrada demuestran brillante, la roca suena a golpe de martillo si es cristalina.
Leve	Roca generalmente fresca, los empalmes manchados y descoloración extiende en roca hasta 1 adentro. Los empalmes abiertos pueden contener la arcilla.
Moderado	Las partes significativas de la roca demuestran efecto de descoloración y de la erosión. En rocas granitoides, la mayoría de los feldespatos son embotados y descolorados, algunos demuestran arcilloso.
Moderado severo	Toda la roca excepto cuarzo descolorado o manchado. En rocas granitoides, todos los feldespatos se descoloran y caolinizan en su mayoría. La roca demuestra la pérdida severa de fuerza y se puede excavar con la punta del martillo de geólogo.
Muy severo	Toda la roca excepto el cuarzo descolorado o manchado. La fábrica de la roca perceptible pero totalmente reducido en eficacia a suelo con solamente los fragmentos de permanecer fuerte de la roca.
Totalmente	Roca reducida a suelo, la fábrica de la roca no perceptible o perceptible solamente en pequeñas localizaciones dispersadas. El cuarzo puede estar presente como los diques.

Tabla 3-8: Términos descriptivos para la alteración de la roca (Manual interno MWH).

Fresco	La roca no demuestra ninguna descoloración, la pérdida de fuerza, o el otro efecto de la erosión/ de la alteración.
Alterado levemente	La roca se descolora levemente, pero no perceptible bajar en fuerza que roca fresca.
Alterado moderado	Se descolora y perceptiblemente se debilita la roca, pero menos que medio se descompone; una muestra de 2 pulgadas mínima de diametro no se puede romper facilmente a mano a travez de la tela de la roca.
Alterado alto	Mas que la mitad de la roca se descompone; se debilita la roca para poder romperse una muestra de 2 pulgadas mínima del diametro facilmente a mano a travez de la tela de la roca.
Alterado totalmente	Los minerales originales de la roca se han descompuesto casi enteramente a minerales secundarios, aunque la tela original puede estar intacta; el material se puede granular a mano.
Suelo residual	Los minerales originales de la roca se han descompuesto enteramente a minerales secundarios, y la tela original de la roca no es evidente, el material se puede romper facilmente a mano.

Tabla 3-9: Términos descriptivos para la textura de la roca (Manual interno MWH).

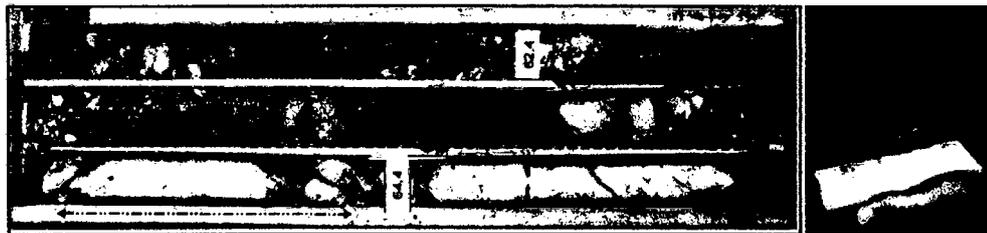
	Demasiado pequeño a simple vista
Fine Grained Granuloso fino	Barely seen by naked eye Visto apenas a simple vista
Medium Grained Medio granuloso	Up to 1/8 in.
Coarse Grained De grano grueso	1/8 to 1/4 in.
Very Coarse Grained Muy de grano grueso	+ 1/4 in.

Tabla 3-10: Términos descriptivos para la dureza de la roca (Knight Piésold).

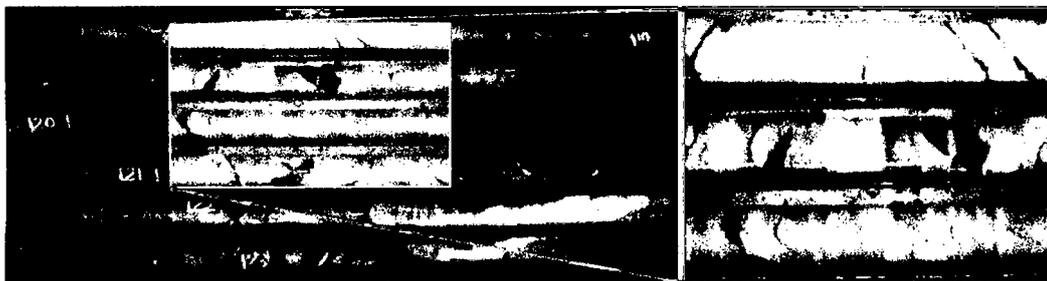
R1	Roca muy debil	Desmenuzable bajo golpes firmes con punta del martillo de geólogo, puede desconcharse con una navaja.
R2	Roca débil	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se puede hacer marcas poco profundas golpeando firmemente con la picota de geólogo.
R3	Roca medianamente dura	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pue- romper con un golpe firme de la picota de geólogo.
R4	Roca dura	Se requiere mas de un golpe con la picota de geólogo para romper la muestra.
R5	Roca muy dura	Se requieren varios golpes con la picota de geólogo para romper la muestra.
R6	Roca estremadamente dura	Solo se puede romper esquirfas de la muestra con la picota de geólogo.

Ejemplo 1: Como determinamos la resistencia de roca en campo.

Para determinar la resistencia de la roca en el tramo señalado (62.4m a 64.40m) de inicia con la prueba del martillo de geólogo a lo largo de la corrida para definir, roca dura y débil, si se define como débil y teniendo como consideración la tabla 3-7, para el ejemplo se tiene una roca débil representada por un R2.



Ejemplo 2: Como hacer el registro de fracturas en los testigos de perforación.



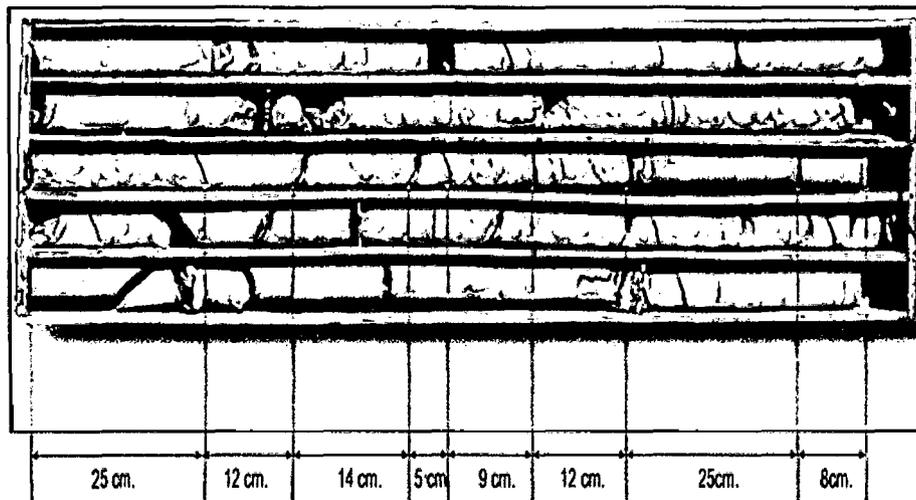
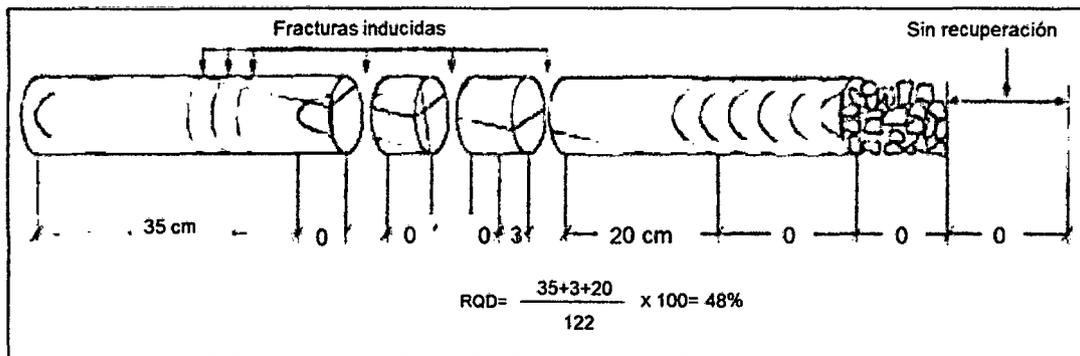
Existen 3 tipos de fracturas abiertas que se encuentran en los testigos (Manual interno MWH):

- Fracturas artificiales por traslado y manipulación (azul).
- Fracturas artificiales provocados por la maquina (amarillo).
- Juntas naturales presentes en el macizo rocoso (rojo).

Para la muestra se tiene 1 fractura natural, 1 artificial por traslado y/o manipulación y 1 artificial provocada por la máquina.

Ejemplo 3: Metodología para cálculo del RQD (designación de la calidad de la roca).

Figura 3-6: Representación gráfica de la medición y cálculo del índice RQD (González Vallejo, 2002).

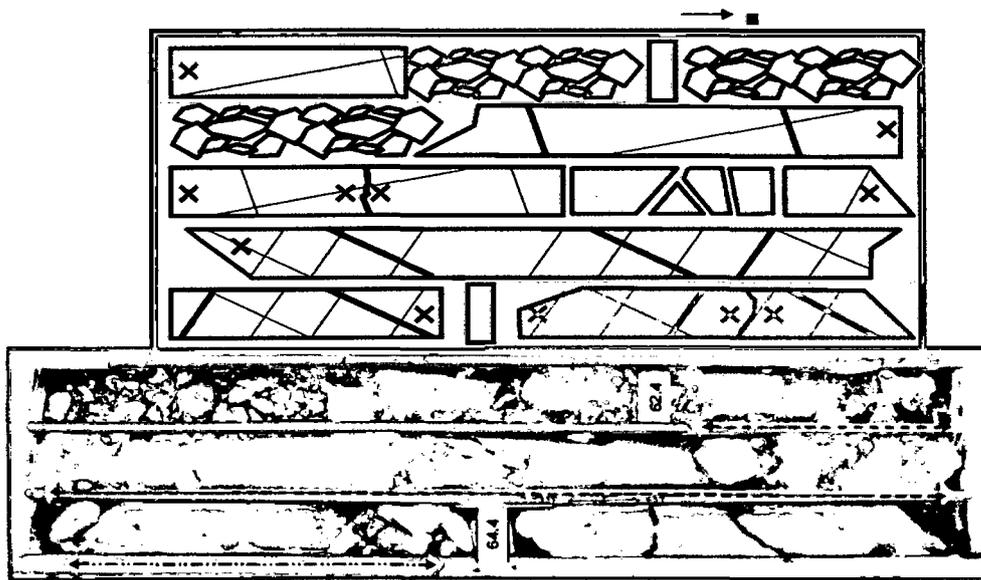


Remplazando en la expresión 2.1 tenemos:

$$RQD = \frac{25+12+14+12+25}{110} \times 100$$

$$RQD=80\%$$

Ejemplo 4: Metodología para cálculo del porcentaje de recuperación.



Calcular el porcentaje de recuperación para la perforación de 62.4m a 64.4 si se perforo una corrida de perforación de 2.5m.

Remplazando los datos en la expresión 2.2

$$\%TCR = \frac{64.4-62.4}{2.5} \times 100$$

$$\%TRC = 80\%$$

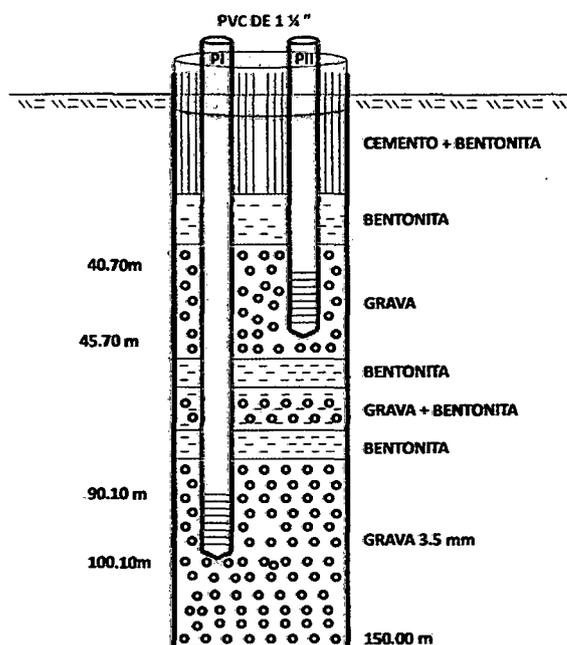
C. Metodología para Diseño e Instalación de Piezómetros

Se instalaron 9 piezómetros multinivel PVC de 2" y 1 ¼ " de diámetro, para la instalación de cada uno de ellos se tuvo en consideración lo siguiente:

- ♣ Ingresos de agua.
- ♣ Nivel freático.
- ♣ Estructuras geológicas (fallas, fracturas, discontinuidades etc)
- ♣ Tipo de roca (Litología).
- ♣ Oxidación.

- ♣ Medición de fondo del sondaje.
- ♣ Conductividad hidráulica para los distintos tramos del pozo calculada en gabinete.

Figura 3-7: Diseño de instalación de un piezómetro.



Fuente: Elaboración propia

La figura 3-7 nos indica un diseño simple teniendo en cuenta las consideraciones antecedidas, este diseño se entregó a los involucrados del trabajo (Ruen Drilling) dando inicio a la instalación del piezómetro siguiendo los siguientes pasos:

- ♣ Medir la longitud de la tubería PVC y el diámetro externo e interno del mismo.
- ♣ Medir el fondo del taladro con un cable de acero galvanizado unido a un peso el mismo que se encuentra al inicio del carrete, el peso está hecho de material acerado.
- ♣ Antes de realizar la instalación del piezómetro se deberá lavar el sondaje con agua limpia para levantar los detritos y materiales finos

(arcillas y limos) que pudieran haber quedado en el fondo del sondaje.

- ♣ Verificar las tuberías de PVC (tanto ranurado y lisa), estos deberán encontrarse en perfecto estado (hilos de las roscas y tuberías en buen estado), las tuberías que se encuentren deteriorados y /o en mal estado deberán ser retirados de la plataforma de perforación para luego ser desechados.
- ♣ Enumerar las tuberías (ranurada y lisa) que se instalarán en el taladro con un plumón de manera correlativa, esto es con la finalidad de tener un mejor control de las tuberías que están ingresando al sondaje y evitar equivocaciones al momento de llevar la numeración en forma mental.
- ♣ Se deberá bajar primeramente la tubería ranurada, además se empalmará de tubería ciega hasta la superficie, la tubería ranurada deberá estar por debajo del nivel del agua y en zona que evidencie buena carga hidráulica.
- ♣ Al instalar el piezómetro, se tendrá especial cuidado al momento de enroscar y bajar las tuberías de PVC a la profundidad del taladro según el diseño realizado previamente, debido a que podría romperse los hilos de las tuberías que se encuentran en las roscas y este podría soltarse, generando la caída de los tubos al fondo del taladro.
- ♣ Al momento de bajar el piezómetro en el taladro, se recomienda verificar el acople que existe entre la reducción (objeto metálico que se utiliza para bajar la tubería de PVC al fondo del taladro y este va conectado al cable wireline) y la tubería de PVC, debido a que la tubería podría desembonarse de la reducción generando la caída del mismo al fondo del taladro.
- ♣ Una vez instalado el piezómetro en el sondaje, se procederá a echar por el espacio anular material filtrante (grava de sílice de 2-4 ó 3-5 mm de diámetro) hasta cubrir un metro por encima de la tubería ranurada.

- ♣ Instalación de tubería tremie (tubería metálica auxiliar diámetro AQ) hasta un metro por encima de la zona de material filtrante para luego proceder con la instalación de bentonita granular de 3/8.
- ♣ Luego se procederá a colocar un sello en el taladro que está compuesto por bentonita granular de 3/8 pulgadas de diámetro (como mínimo se requiere 2 m. de sello), este proceso de sellado deberá ser muy lento, se tendrá especial cuidado con la bentonita debido a que reacciona al estar en contacto con el agua generando su hinchamiento y puede generar una obstrucción a cualquier profundidad de la tubería tremie; este proceso generaría demoras en la instalación del piezómetro.
- ♣ Se deberá medir constantemente el fondo del taladro para cumplir con el diseño del piezómetro.
- ♣ Al concluir la instalación del piezómetro se terminará con el llenado de una mezcla de cemento y bentonita en polvo por el espacio anular después del sello de bentonita granular 3/8, (conocido como Grout cuya relación se presenta con 60 litros de agua, 3 bolsas de cemento y 3 kilogramos de bentonita), este proceso de llenado se ejecutará hasta llegar hasta la superficie.
- ♣ De acuerdo a como se vaya agregando los materiales como grava y bentonita de 3/8, se retirará progresivamente el casing¹ para evitar rellenar el espacio anular (espacio entre el piezómetro y casing), si ocurriese el llenado del espacio anular con los materiales mencionados, tendremos complicación en la instalación del piezómetro hasta una posible pérdida total del sondaje, se deberán tomar acciones inmediatas como la inyección de agua a presiones moderadas a alta por la tubería tremie² para poder limpiar y remover el material que causa la obstrucción en el espacio anular, en caso de que no funcionará este método se deberá dar media rotación y tratar de levantar el casing al mismo momento, realizarlo periódicamente por un determinado tiempo hasta que el material se suelte y libere el piezómetro del casing, en el caso

extremo de que no funcione ninguno de los métodos mencionados anteriormente se deberá coordinar inmediatamente con el supervisor y/o gerente de proyecto las acciones a tomar en campo frente a este tipo de situación.

La ubicación de piezómetros permite obtener información básica sobre el movimiento y comportamiento del agua subterránea, como es el caso de la dirección de flujo, la ubicación de zonas de recarga y descarga de un acuífero, la existencia de heterogeneidades hidráulicas tales como cambios de permeabilidad dentro de una misma formación geológica o cambios de acuífero, la existencia de niveles acuíferos libres y confinados superpuestos o adyacentes, la existencia de flujos verticales o laterales entre formaciones distintas (Manzano, 2008-2009).

D. Monitoreo de Niveles piezómetros

Se monitoreo los niveles piezómetros en cada una de las 9 perforaciones que se instaló piezómetros, los niveles se monitorearon desde el inicio de la campaña de perforación con la finalidad de ver las variaciones de nivel piezómetro, las mediciones se realizaron con un wáter level meter.

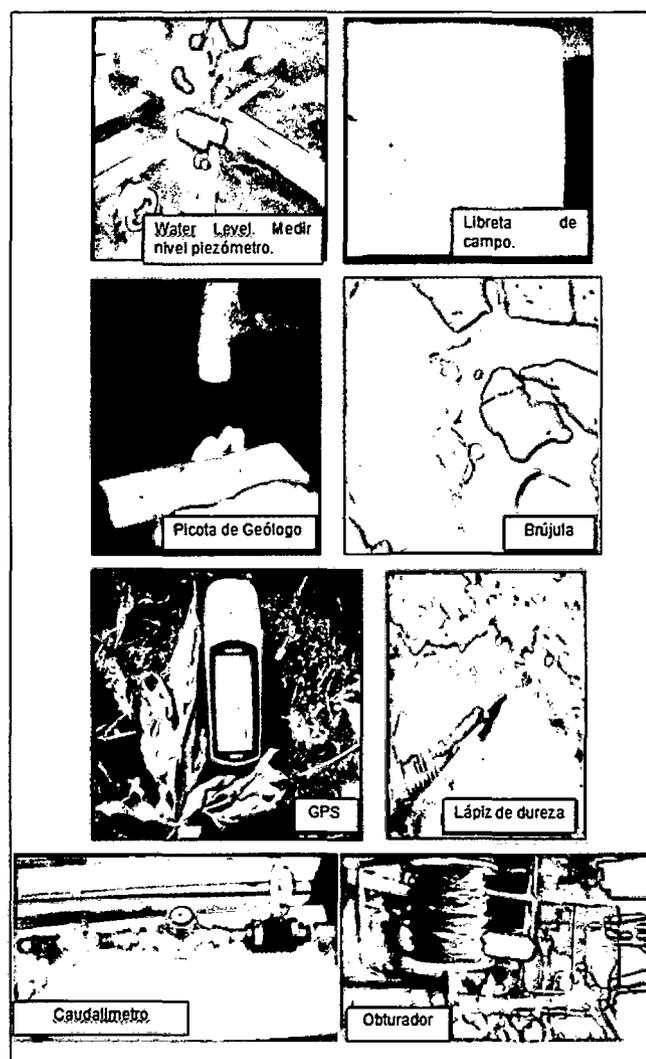
3.3 Descripción del Equipo e Instrumentos de Medición

Los equipos utilizados en campo durante la campaña de perforación y tareas involucradas para el desarrollo de la presente investigación (Foto 3-7) son los siguientes:

- Carta topográfica, geológica 1/100,000 respectivamente.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global Navegatorio) tipo Garmin.
- 1 Brújula tipo Bruntom.
- 1 lápiz de dureza.
- 1 picota de geólogo.
- 1 flexometro de 5m.

- 1 protactor.
- 1 lupa 20x.
- 1 cámara fotográfica digital modelo Lumix.
- 1 libreta de campo.
- Lápices de colores.
- 1 Water level meter de 150m.
- 1 Medidor de profundidad, para medir fondo de perforación y durante instalación de piezómetro.
- Equipo de protección personal (EPP).
- Movilidad (camioneta 4x4).

Foto 3-7: Algunos materiales de campo utilizados para el estudio.



3.4 Control de Calidad de los Datos

Los ensayos hidráulicos, parámetros geológicos-geotécnicos realizados en campo son de calidad ya que se sigue un procedimiento estándar de toma de datos que maneja internamente la empresa MWH PERU S.A.

Todo parámetro geológico, hidrogeológico y geotécnico recogido en campo pasa por un control de calidad dado en este caso por el jefe de proyecto, una vez revisado y levantadas las observaciones va a una base de datos en los programas Excel y Strater tal cual fuere el caso.

CAPITULO IV: PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultado de la Investigación y Análisis de la Información

4.1.1 Programa y Monitoreo de Perforación

Se realizó una campaña de perforación realizada a partir del 15 de enero del 2011 hasta fines de agosto del mismo año, un total nueve perforaciones en las áreas de Chorro Blanco, Valle Tomas, Valle la Hierba, Las Gordas (Plano 2) fueron realizadas con una maquina modelo CS-1000 (Foto 4-1) de la empresa Ruen Drilling, empleando el método de perforación convencional rotatorio con recuperación de testigos utilizando un casing HWT y tuberías HQ con recuperación de testigos de perforación. Las longitudes de perforación fluctuaron de 50 m a \cong 200 m. Las perforaciones tuvieron inclinaciones de -60° y -90° desde zonas verticales a zonas de falla y contactos geológicos.

Foto 4-1: Maquina de perforación diamantina, modelo CS-1000 (Ruen Drilling).



Típicamente, con el empleo del casing HW se avanzó de 0 a 12 m bajo superficie para actuar como una casing superficial y estabilizar la parte superior de la perforación. Luego, se utilizó un sistema de extracción de testigos de tamaño HQ para avanzar la perforación hasta alcanzar la profundidad total de hasta 200 m.

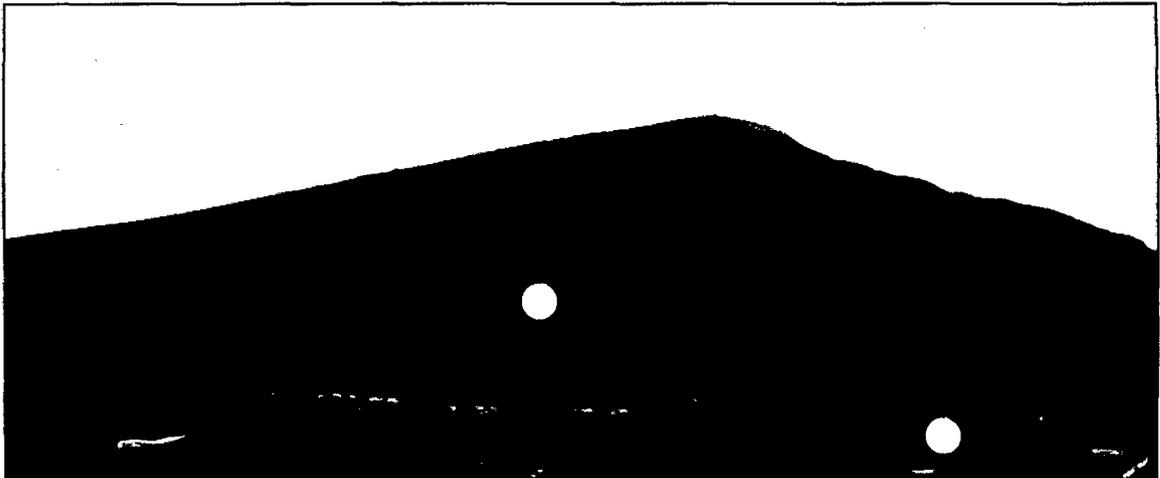
Tabla 4-1: Detalle de perforación y profundidad

Perforación	Coordenadas (PSAD56)		Altitud (msnm)	Profundidad (m)	Litología
	Latitud	Longitud			
TC-03	9251317	759952	3839	150.00	Caliza
TC-04	9251316	760394	3945	200.30	Caliza
TC-01	9251201	761042	3843	60.40	Caliza
TC-02	9250935	761235	3950	137.20	Caliza/Intrusivo
H-02	9251823	759624	3829	63.40	Volcánico/Diatrema
R-01	9252588	761172	3812	100.15	Riolita
R-04	9252580	761500	3811	140.20	Caliza/Falla
H-01	9252252	759674	3727	80.10	Volcánico
F-01	9252839	762116	3793	120.5	Caliza

Foto 4-2: Perforaciones TC-01 y TC-04 en Valle Chorro Blanco. Vista al suroeste.

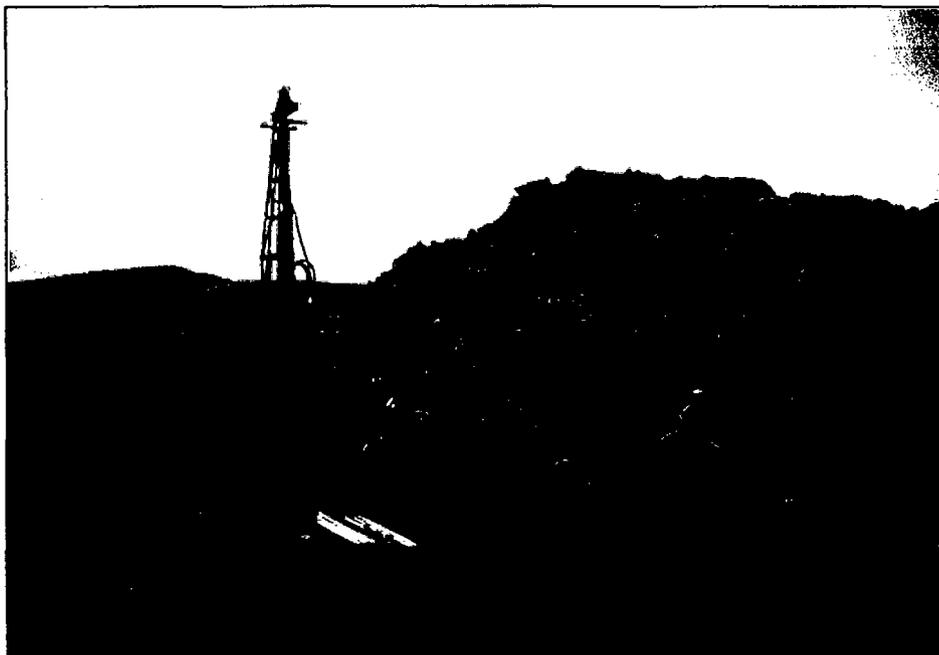


Foto 4-3: Perforaciones H-02 y H-01 oeste Valle La Hierba. Vista al suroeste.



Se loguearon (descripción de testigos de perforación) a detalle las condiciones geológicas y propiedades hidrogeológicas encontradas en los testigos, interpretaron los datos de perforación, pruebas y resultados con el propósito de mejorar y/o modificar el programa de campo, se registró los métodos y resultados de las pruebas de permeabilidad en coordinación con la empresa perforista.

Foto 4-4: Registro de datos de testigos de perforación, pozo R-01. Vista al noroeste.



Para el trabajo se contó con formatos que proporcionan un resumen de los parámetros para cada perforación como ubicación, cantidades, fechas y pruebas. Estas hojas resumen y los registros geológicos detallados de campo se encuentran en el Anexo B. Los registros resumidos de Strater se encuentran en el Anexo B, y los registros fotográficos de las perforaciones en el Anexo D.

4.1.1.1 Registro Geológico de Testigos de Perforación

La litología predominante encontrada en las perforaciones TC-03, TC-04, TC-02 y TC-01 ubicadas en los **Valles Tomas y Chorro Blanco**, fueron calizas intercaladas con margas y lutitas de las formaciones Pariatambo y Yumagual del Cretáceo inferior y superior respectivamente (Anexo B).

En total se identificaron 03 rasgos kársticos, a los 49.0m en TC-03; a los 30.0m en el TC-01 y en TC-04.

Se interceptó el intrusivo monzodiorítico de textura porfírica de grano medio a los 53 m con la perforación TC-02.

También se encontraron calizas figera a moderadamente marmolizadas, producto de los pequeños cuerpos intrusivos (diques) que se observaron en los sondajes. En los sondajes se observaron fallas geológicas y fracturas rellenas de óxidos de Hierro, arena y arcilla. La mayoría de las fracturas identificadas son abiertas, parcial o completamente rellenas de óxidos de Hierro, de superficie irregular, y rugosas, producto de la disolución cárstica predominante en la zona de estudio.

Foto 4-5: Testigo de perforación, caliza de grano fino de la Formación Pariatambo, caliza marmolizada, pozo TC-03 a una profundidad de 83.40 m a 87.60 m.

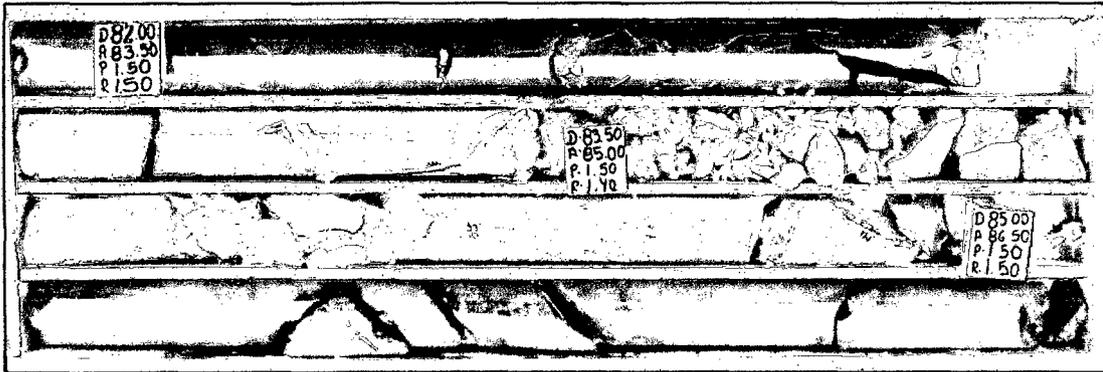
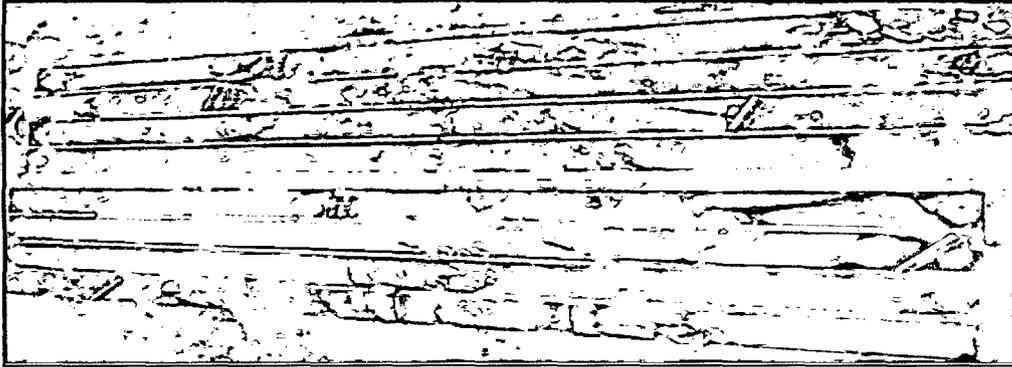


Foto 4-6: Caliza gris blanquecina de la Formación Yumagual en contacto con la monzodiorita a los 53 m.



Un resumen de la litología encontrada en cada sondaje se muestra con mayor detalle se puede observar en el Anexo B y Anexo D. La litología identificada con las perforaciones R-01 y R-02 ubicadas en la zona de Riolita consta de una roca riolítica gris clara a gris blanquecina, tiene una textura porfírica de grano medio con fenocristales de cuarzo y feldespato potásico. La roca esta meteorizada y oxidada aproximadamente a los 40 m con fracturamiento moderado a intenso. La perforación R-02 intercepto un contacto de falla con caliza los 94.40 m (Figura 4-24), la zona de falla se encuentra alterada con gran contenido de arcilla y sulfuros con un ángulo de aproximadamente 65° NE.

Foto 4-7: Zona de falla interceptada con la perforación R-02, zona de contacto con la caliza de la Formación Yumagual.



En la perforación H-02 y H-01 ubicada en el Valle La Hierba identificó una litología que consta de Brecha Volcánica (Volcánico Huambos) polimictica con clastos sub angulosos a subredondeados en la matriz, interceptando bloques de intrusivo (diatrema); las fracturas se encontraron semiabiertas y rellenas de arcilla y arena, presencia de zonas de oxidación y un moderado fracturamiento.

Foto 4-8: Volcánico Huambos, brecha volcánica polimictica, presencia de oxidación en fracturas, pozo H-02.



La geología del área de **Facilidades** representada por la perforación F-01 consta de calizas de la Formación Yumagual, compuesta por los lechos bien definidos de calizas negras a grises, margas y lutitas calcáreas. En esta perforación se muestran la presencia de cavidades kársticas a pequeña escala y fracturas de disolución.

Foto 4-9: Caliza gris oscura con capas de margas del pozo F-01, profundidad de 56.05 m a 60.31 m.



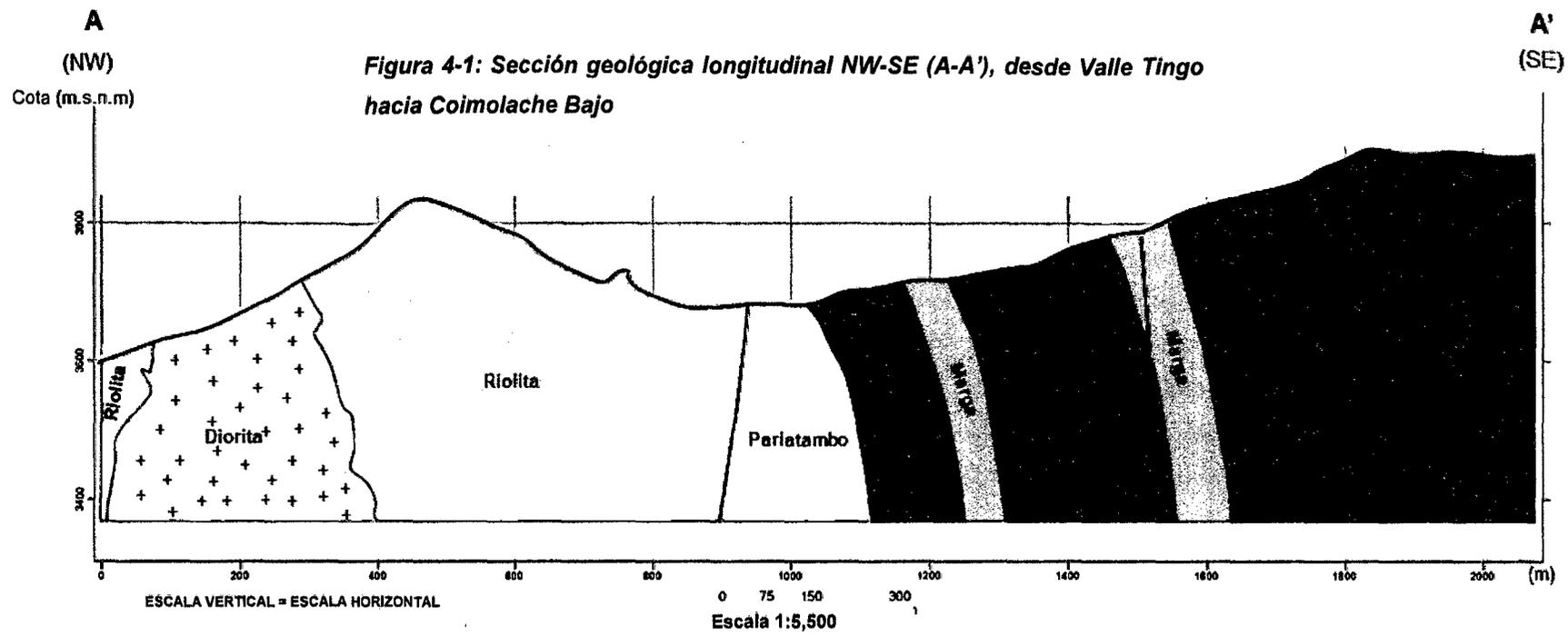
Las secciones geológicas que se muestran (ver figura 4-1 y 4-2) representan en forma resumida la geología del área de estudio.

Sección A-A'

- En la sección longitudinal A-A' que se extiende de NW-SE (Valle Tingo-Coymolache Bajo), se observa la presencia de un cuerpo intrusivo de composición diorítica asociado a los flujos de composición riolítica presentes en los flacos de los Cerros Las Gordas, Las Águilas.
- Nótese la presencia de la falla con dirección NE-SW que es la que limita la Riolita con las calizas Pariatambo, al SE contamos con las calizas Yumagual, que en su composición cuenta con paquetes de composición margosa.

Sección B-B'

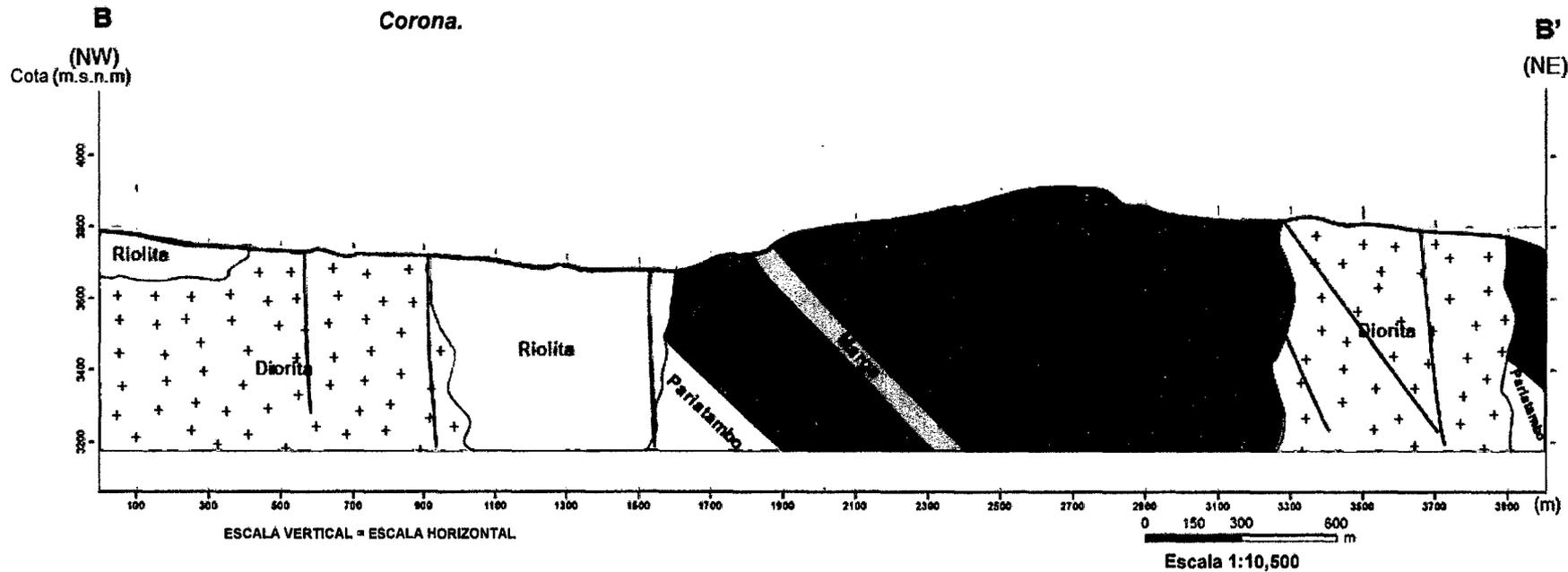
- En la sección longitudinal B-B' que se extiende de NW-NE con una longitud de 4Km, esta abarca desde La Hierba al Tajo Cerro Corona. Al NW notamos la presencia de un intrusivo de composición diorítica asociado a flujos riolíticos presentes en los Cerros Las Águilas y Las Gordas. Al NE se observa el cuerpo principal del intrusivo (diorita porfirítica). Al centro se observa la Fm. Yumagual y la intercalación de paquetes de margas con buzamientos que van desde 30° a 55° al SE.



- Leyenda**
- Riolita
 - Intrusivo
 - Fm. Yumagual
 - Marga
 - Fm. Pariatambo
- Simbología**
- Falla
 - Perfil Topográfico

	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Carro Corona, Cajamarca, Perú</i>	
PROYECCIÓN: UTM	SECCIÓN GEOLÓGICA A-A'
FECHA: Diciembre 2013	SECCIÓN N°:
TESISTA: Victor Elver Guevara Cervera	01

Figura 4-2: Sección geológica longitudinal NW-NE (B-B'), desde Valle La Hierba a Tajo Cerro Corona.



- Simbología**
- Falla
 - ~ Perfil Topográfico
- Leyenda**
- Riolita
 - +++ Intrusivo
 - Fm. Yumagual
 - ▨ Marga
 - ▤ Fm. Pariatambo

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA</p>	
<p>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</p>	
<p>TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú</i></p>	
PROYECCIÓN:	UTM
FECHA:	Diciembre 2013
TESISTA:	Victor Elver Guevara Cervera
SECCION GEOLÓGICA B-B'	
SECCIÓN N°:	02

◆ **Calidad de Roca**

La recuperación de los testigos durante todo el programa de perforación fue bastante alta (típicamente >95%), sugiriendo buenas técnicas de perforación y generalmente condiciones de roca fuerte y competente (Formación Yumagual y Formación Pariatambo), observados mayormente en los pozos del Valle Tomas y Valle Chorro Blanco. Se observaron bajos valores de recuperación en materiales débiles como aquellos encontrados en roca severamente meteorizada y descompuesta, en zonas de corte o falla o en rocas intensamente fracturadas, en intervalos meteorizados débiles y alterados hidrotermalmente.

Se observó una buena correlación entre la frecuencia de fractura y el RQD. Como se esperó, el bajo RQD correspondió a una alta frecuencia de fractura y por lo general a intervalos de mayor permeabilidad. La recuperación de testigos/material de muestra de los suelos de cobertura y sedimentos cuaternarios fue pobre.

Figura 4-3: TC-03 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).

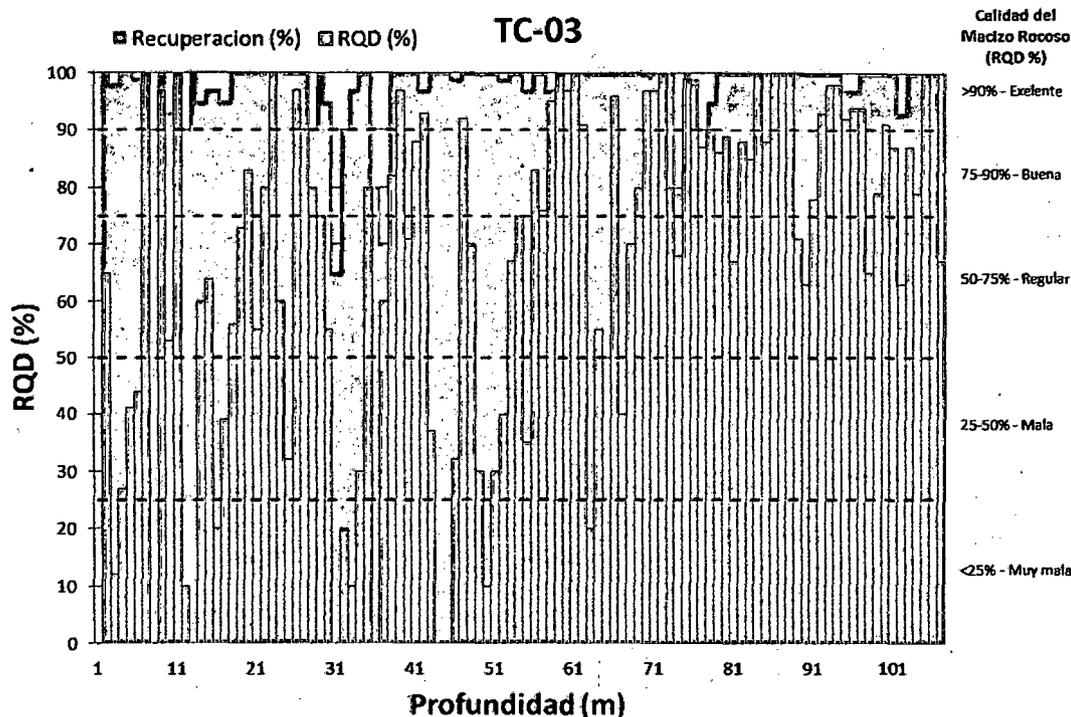


Figura 4-4: TC-04 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).

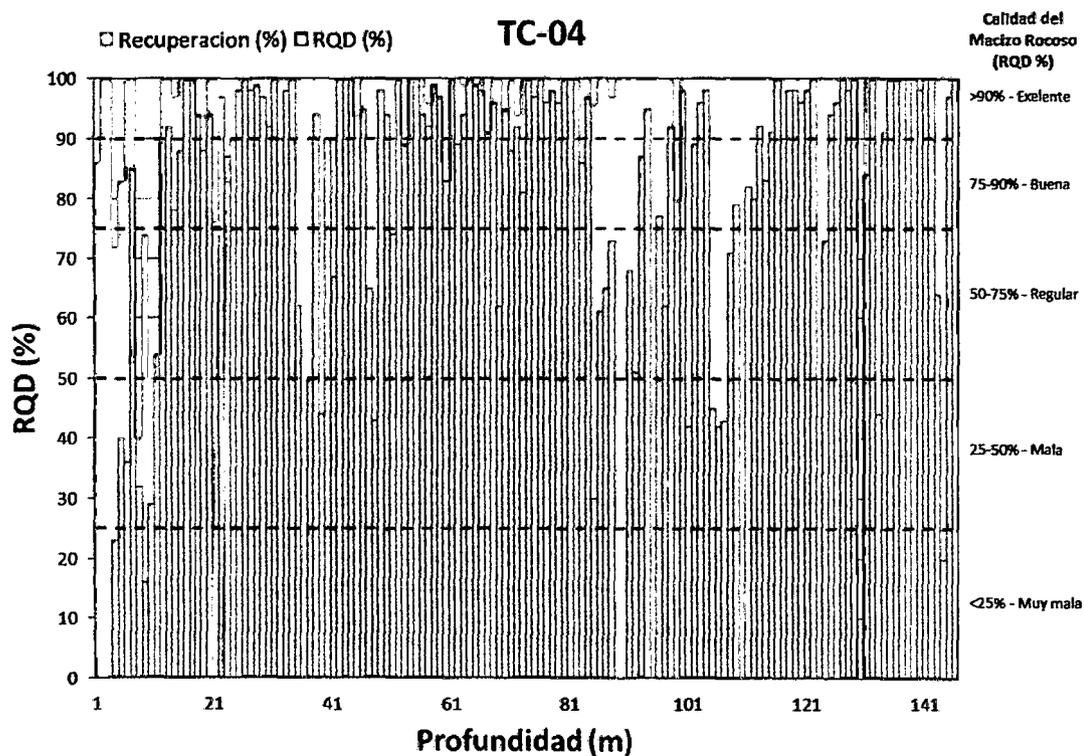


Figura 4-5: TC-01 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).

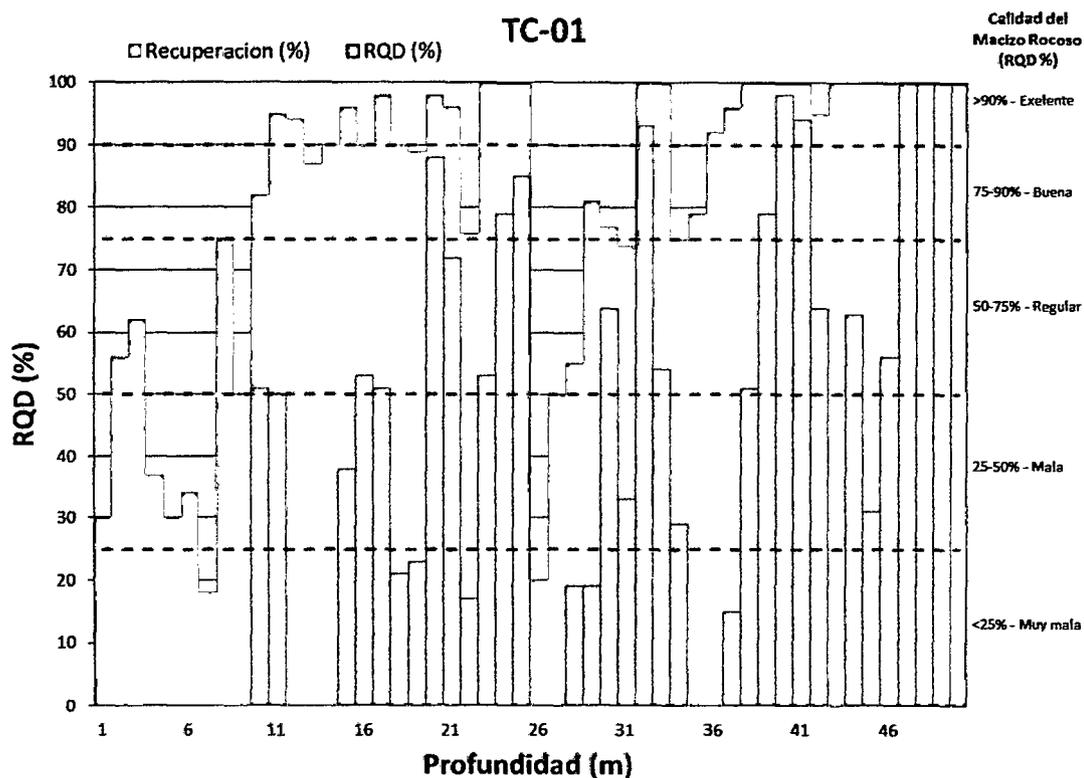


Figura 4-6: TC-02 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).

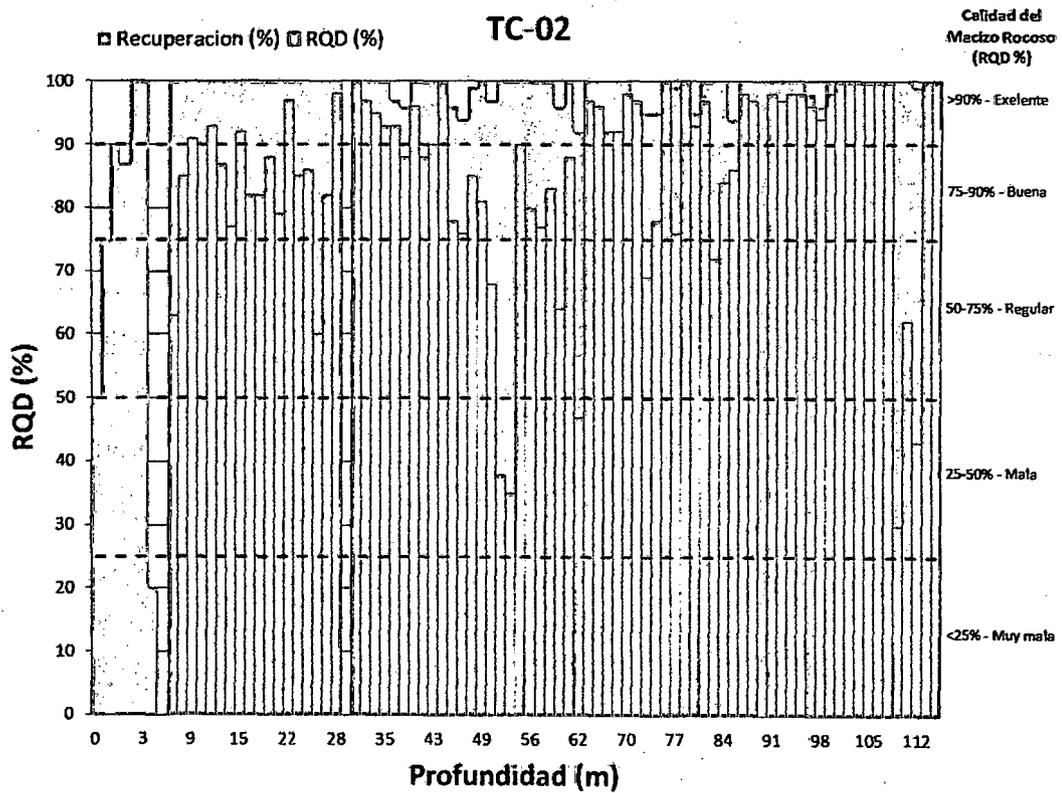


Figura 4-7: H-02 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).

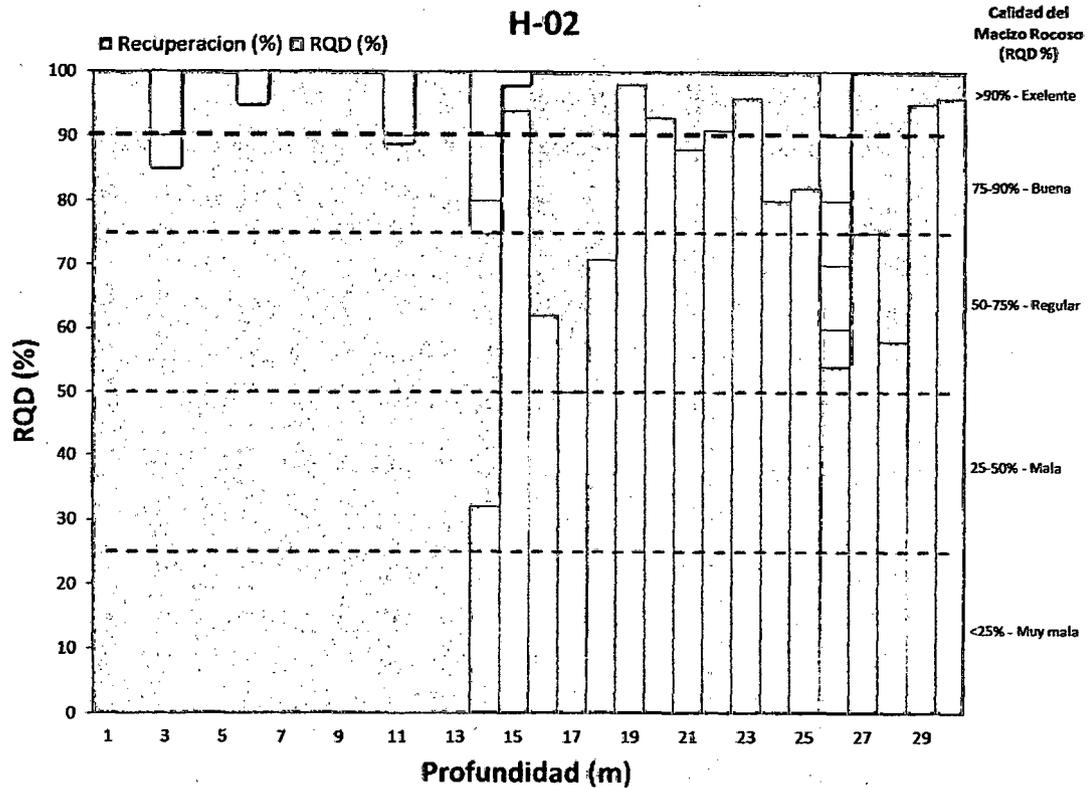


Figura 4-8: H-01 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).

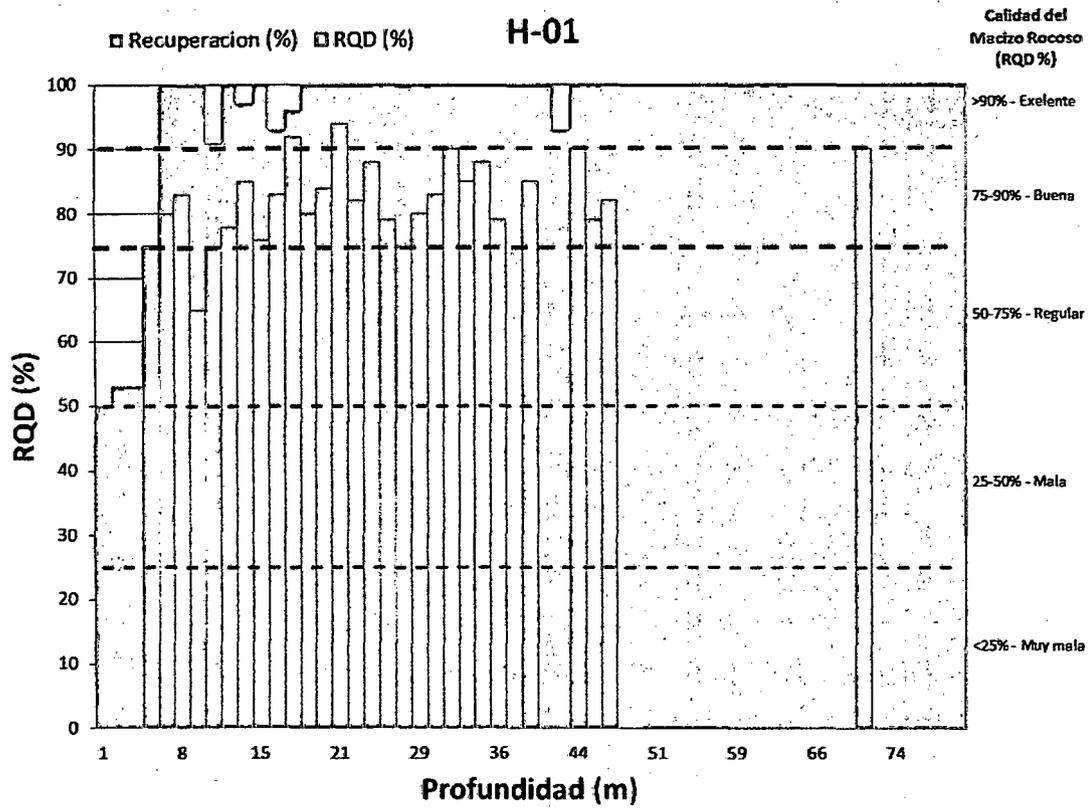


Figura 4-9: R-01 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).

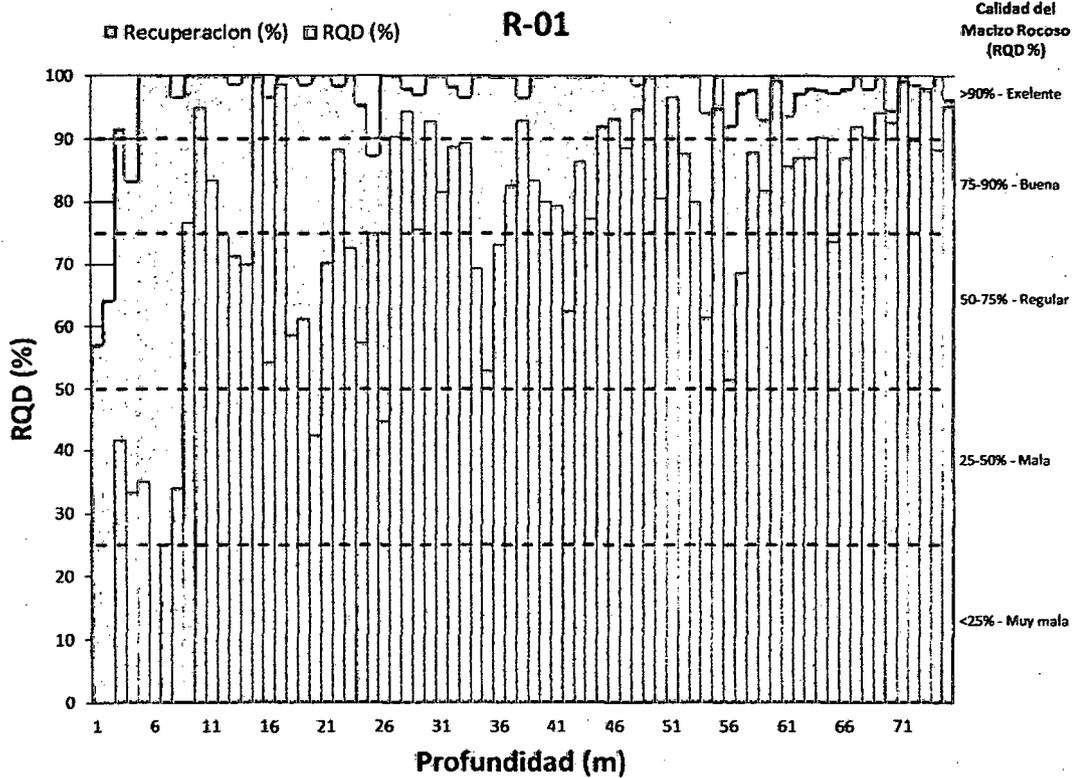


Figura 4-10: R-02 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).

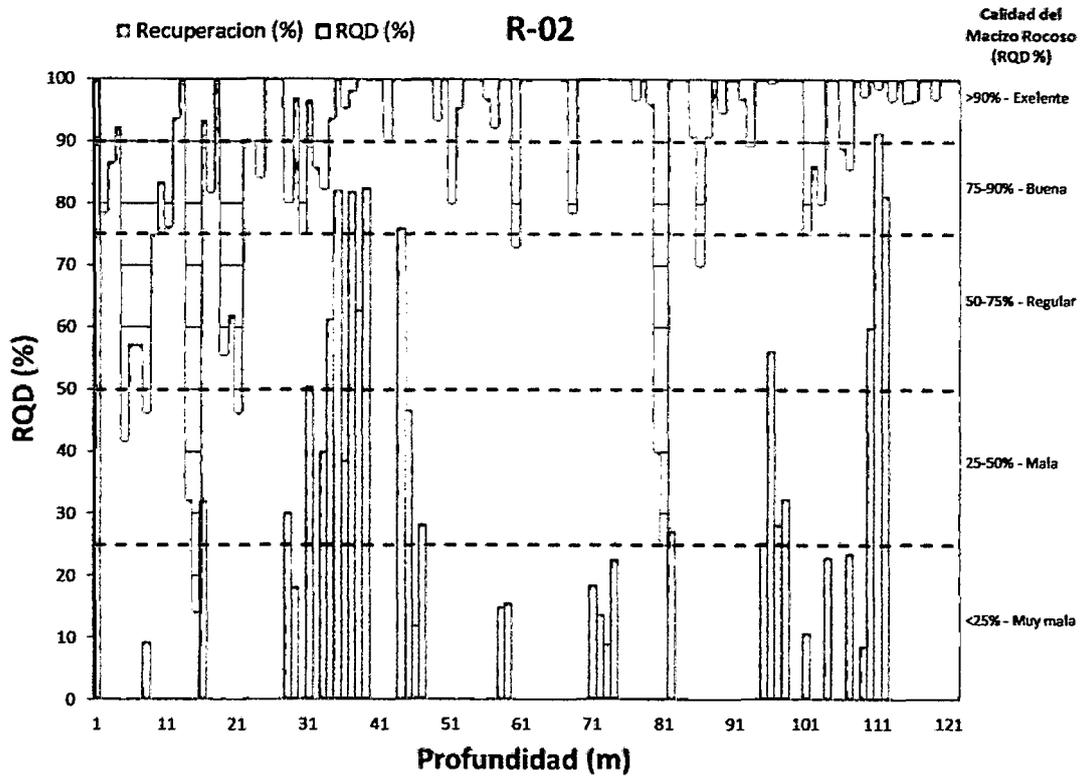
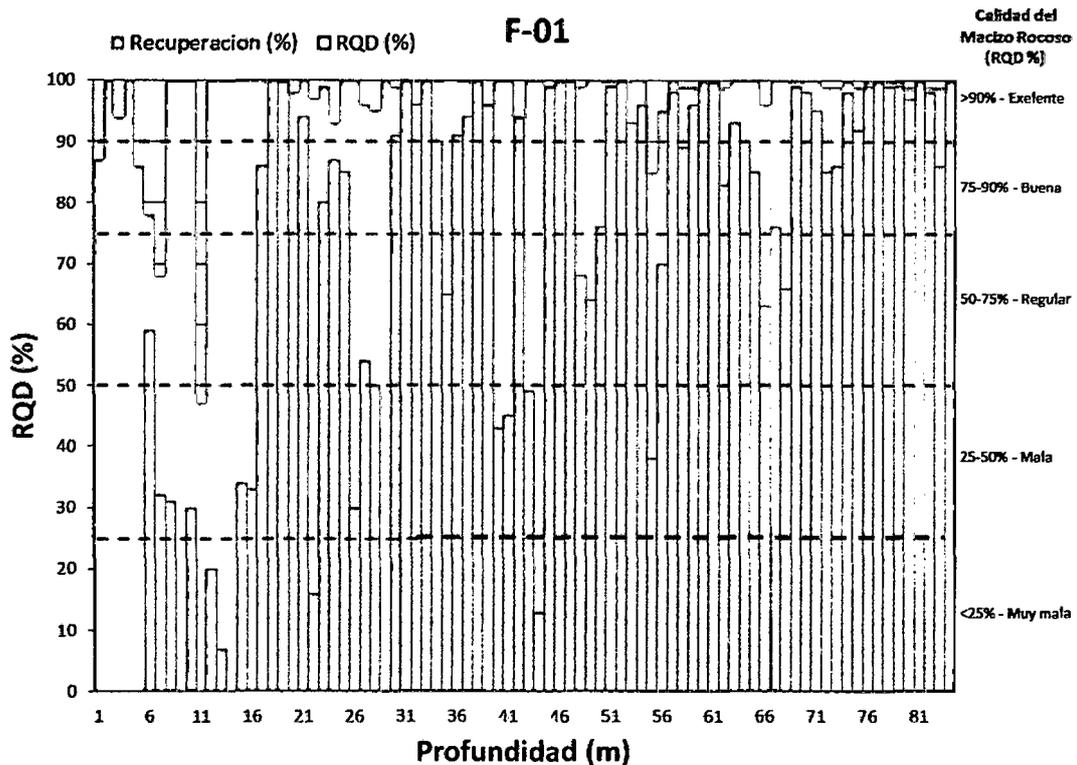


Figura 4-11: F-01 Recuperación y RQD (%) vs Profundidad (m).



4.1.2 Hidrogeología

4.1.2.1 Mapeo Hidrogeológico (Inventario de Fuentes de Agua Subterránea)

El mapeo hidrogeológico y el inventario de fuentes de agua en el Proyecto Cerro Corona se realizó los días 06 y 07 de marzo del 2011 (plano 4) con la del intención de comprender las condiciones hidrogeológicas de las fuentes de agua subterránea y su relación con las formaciones geológicas existentes en el área de estudio. Esta tarea fue realizada por un hidrogeólogo y un guía de campo (Anexo A).

El trabajo de campo consistió en una descripción geológica e hidrogeológica, y en cada punto de mapeo se realizó la medición del flujo (utilizando el método volumétrico con balde/cronómetro), toma de parámetros fisicoquímicos de campo (pH, conductividad eléctrica, temperatura), presencia de rasgos cársticos en las rocas calizas de la zona de estudio (Foto 4.10 y 4.11).

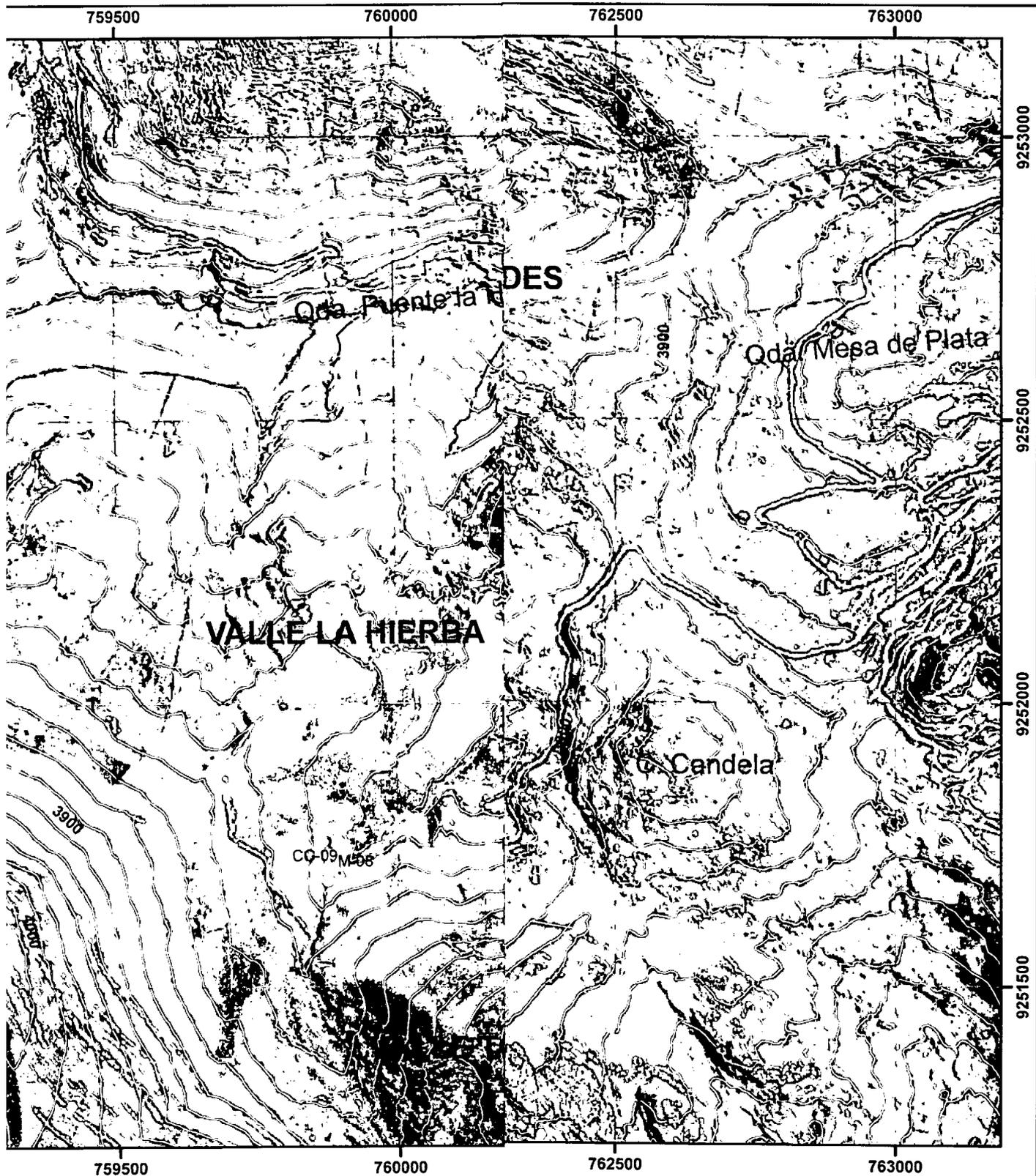
El inventario de fuentes fue restringido por ser inaccesibles y a lugares que se encontraban fuera de la propiedad.

Foto 4-10: Mapeo e inventario de fuentes de agua subterránea y superficial, toma de parámetros de campo Manantial M-01, carretera 501 (Cajamarca-poblado El Tingo).



Foto 4-11: Caverna kárstica y disolución de fracturas en la Formación Pariatambo (Valle Chorro Blanco).





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA**

CUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

*ción de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el
Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú*

UTM	MAPEO HIDROGEOLÓGICO
Diciembre 2013	PLANO N°:
Factor Elver Guevara Cervera	04

4.1.2.2 Pruebas de Conductividad Hidráulica (permeabilidad)

Se realizaron un total 38 pruebas de permeabilidad durante la perforación (consistieron en Lefranc, carga constante y carga variable) y pruebas con obturador tipo Lugeon, se instalaron piezómetros en todas las perforaciones luego de finalizarlas. El número de perforaciones y pruebas de permeabilidad por área se encuentra en la tabla 4-2. Los cálculos de permeabilidad se corrigieron para la profundidad real bajo la superficie del terreno al nivel freático del terreno de acuerdo a las mediciones obtenidas de los piezómetros instalados en la perforación. Los resultados de cada prueba de conductividad hidráulica se encuentran en el anexo C.

Tabla 4-2: Resumen pruebas de conductividad hidráulica

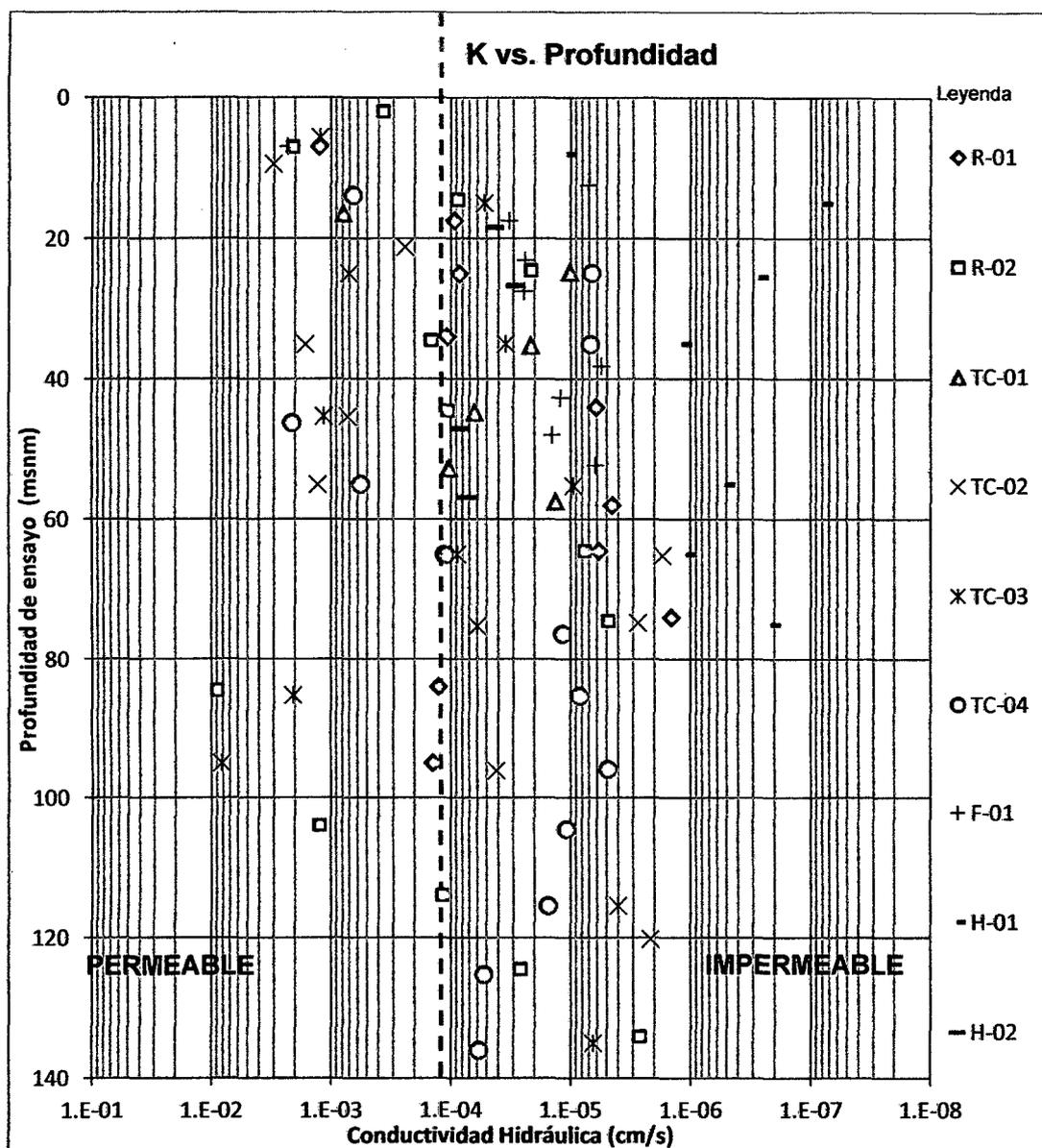
Area	Actividades de campo					Piezómetros
	N° de perforaciones	Metros perforados (m)	Número de Pruebas de Permeabilidad			
			Carga Variable	Carga constante	Prueba con Obturador	
Valle Tomas	1	150		2	3	2
Valle Chorro Blanco	3	398		3	12	6
Riolita	2	240		2	6	4
Facilidades	1	175		2	2	2
Hierba	2	143	4		2	3
Total	9	1106	4	9	25	17

Los valores de conductividad hidráulica que provinieron del programa de perforación, fluctuaron por encima de 7 órdenes de magnitud entre $< 10^{-7}$ cm/s y $> 10^{-2}$ cm/s (Figura 4.12).

Los valores de permeabilidad son generalmente mayores en la parte superior 30 m de la longitud perforada, indicando la presencia de un lecho fracturado, meteorizado y una capa de epikarst (Formación Yumagual). Se observó una ligera tendencia mostrando una reducción

en los valores de permeabilidad en los pozos con la profundidad perforada. Se observaron excepciones a esta tendencia en las perforaciones ubicadas cerca o adyacentes a las zonas de falla donde la roca es altamente fracturada, o intersectando sistemas de fracturas en áreas con alta frecuencia de fracturas y/o bajo RQD, zonas de roca altamente alterada o meteorizada y rasgos kársticos dentro de unidades de caliza pura.

Figura 4-12: Representación de la permeabilidad vs profundidad en cada perforación.

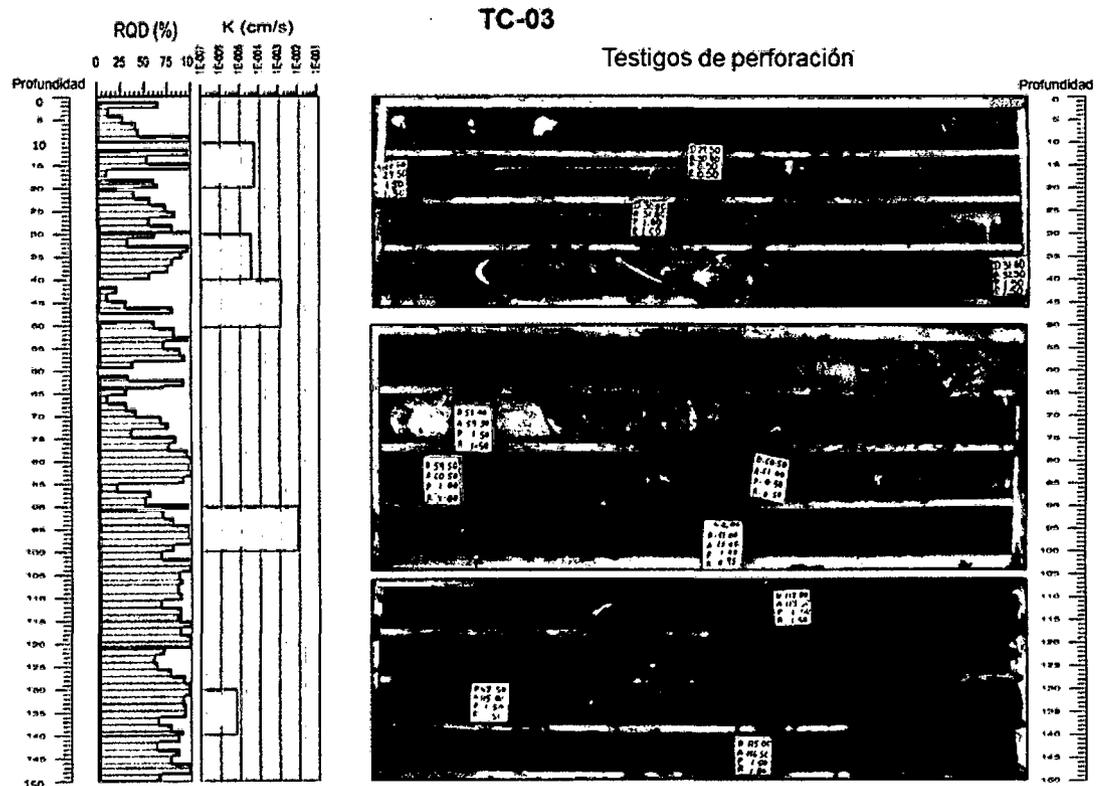


En general los resultados de la conductividad hidráulica para la Formación Pariatambo y Yumagual son bastantes similares ya que representan bloques de caliza competente entre las áreas permeables de la fractura/falla.

La figura 4-12 nos muestra la variación de la conductividad hidráulica en profundidad, se observa que los valores de conductividad hidráulica en la perforación R-02 y TC-03 es mayor a 10^{-3} cm/s en una profundidad que va de 80 a 100m, implicando esta una zona de moderada a alta permeabilidad.

La caliza Pariatambo, encontrada en el Valle Tomas, se caracteriza por tener permeabilidad moderada a alta desde la superficie a una profundidad de 100 m, tal como nos muestra la (Figura 4-13) representada por la perforación TC-03.

Figura 4-13: Correlacion de RQD para la determinación de K en la perforación TC-03.



La caliza Yumagual encontrada en el pozo TC-03 presenta permeabilidad moderada a alta a una profundidad de 40 m y permeabilidad moderada a 160 m. Las capas de caliza margosa dentro del Yumagual tienden a tener una conductividad hidráulica menor en comparación a las calizas más puras (Figura 4-14).

Figura 4-14: Correlación de RQD para la determinación de K en la perforación TC-04

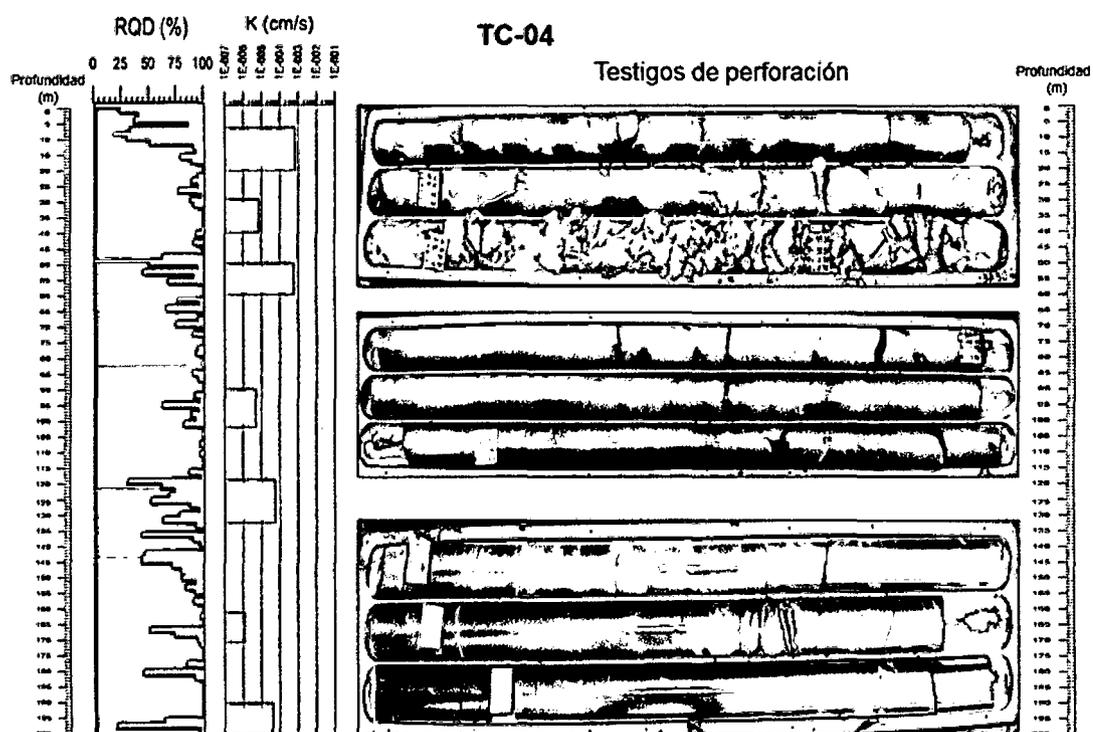
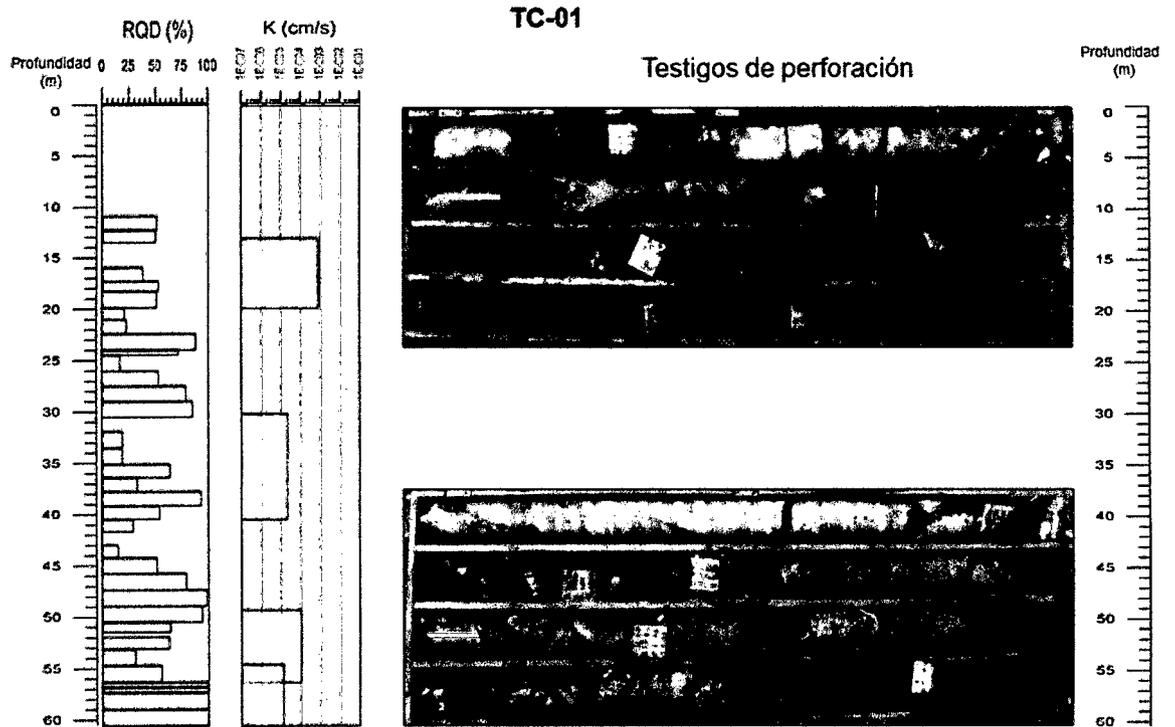
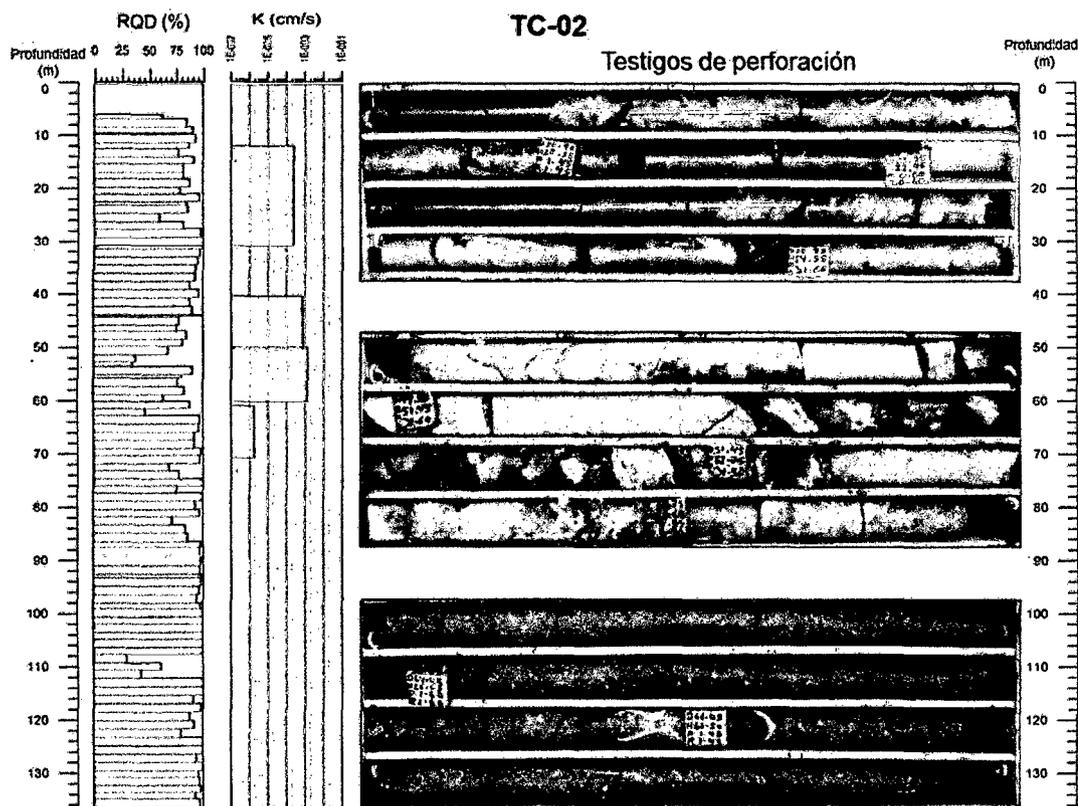


Figura 4-15: Correlación de RQD para la determinación de K en la perforación TC-01



TC-02, ubicado en la parte sur del Valle Chorro Blanco, con intersecciones de caliza permeable sobre el intrusivo de monzodiorita. El intrusivo era compacto con muy baja permeabilidad ($< 10^{-6}$ cm/s).

Figura 4-16: Correlación de RQD para la determinación de K en la perforación TC-02



Los valores de conductividad hidráulica en el área de la Hierba son considerados leves a moderados (entre 10^{-4} y 10^{-7} cm/s), el volcánico en este sector es de baja permeabilidad por la misma composición de la roca y el relleno de fracturas con arcilla (Figura 4-17 y 4.18).

Figura 4-17: Correlación de RQD para la determinación de K en la perforación H-02

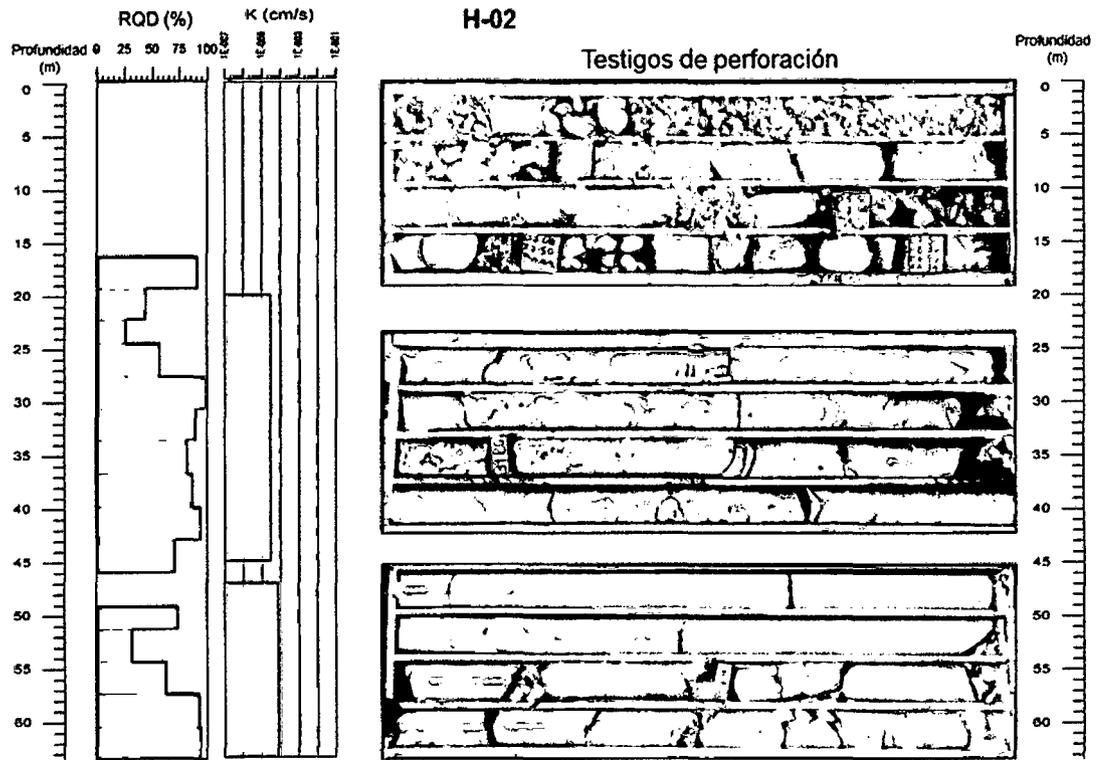
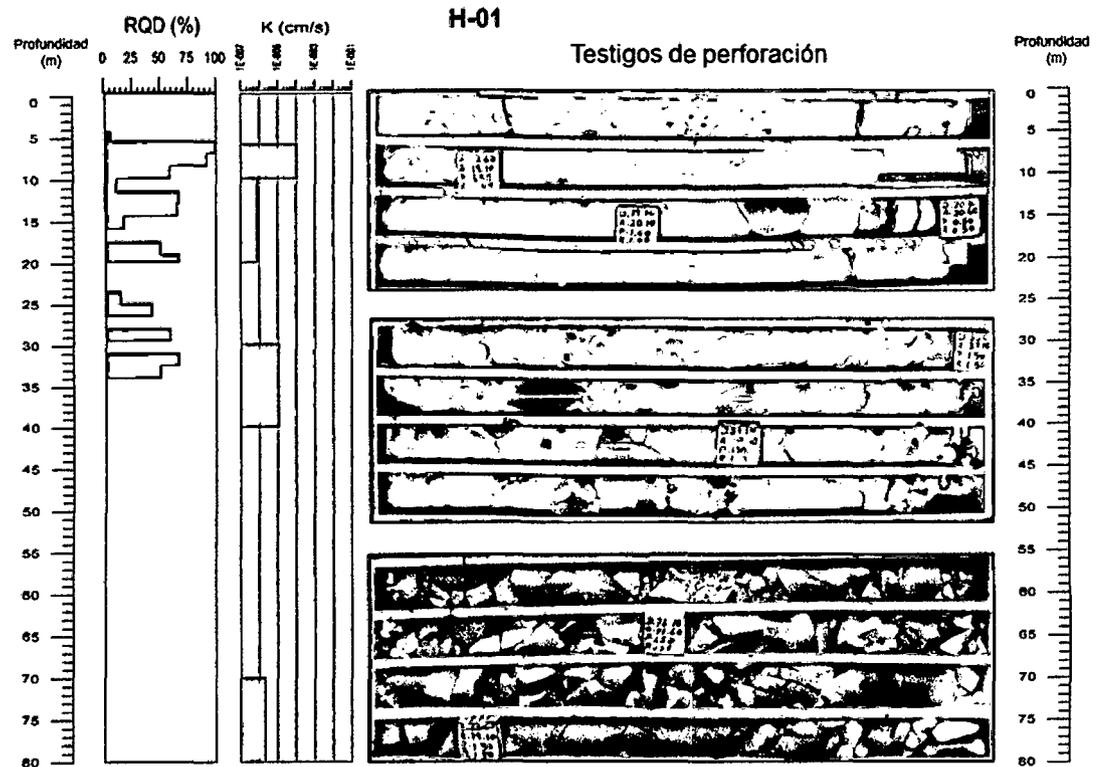


Figura 4-18: Correlación de RQD para la determinación de K en la perforación H-01



Los valores de conductividad hidráulica calculados a partir de las perforaciones R-01 y R-02 son generalmente de moderados a altos en los 20 m superiores en la riolita, lo cual se relaciona con el lecho poco profundo, meteorizado y altamente fracturado. No se observa una tendencia de reducción en la conductividad hidráulica en la riolita entre los 20 y 100 m de profundidad debido a las fracturas y fallas. La conductividad hidráulica tiende a disminuir bajo los 100 m a una profundidad final perforada de 140 m (Figura 4-19).

Figura 4-19: Correlación de RQD para la determinación de K en la perforación R-01.

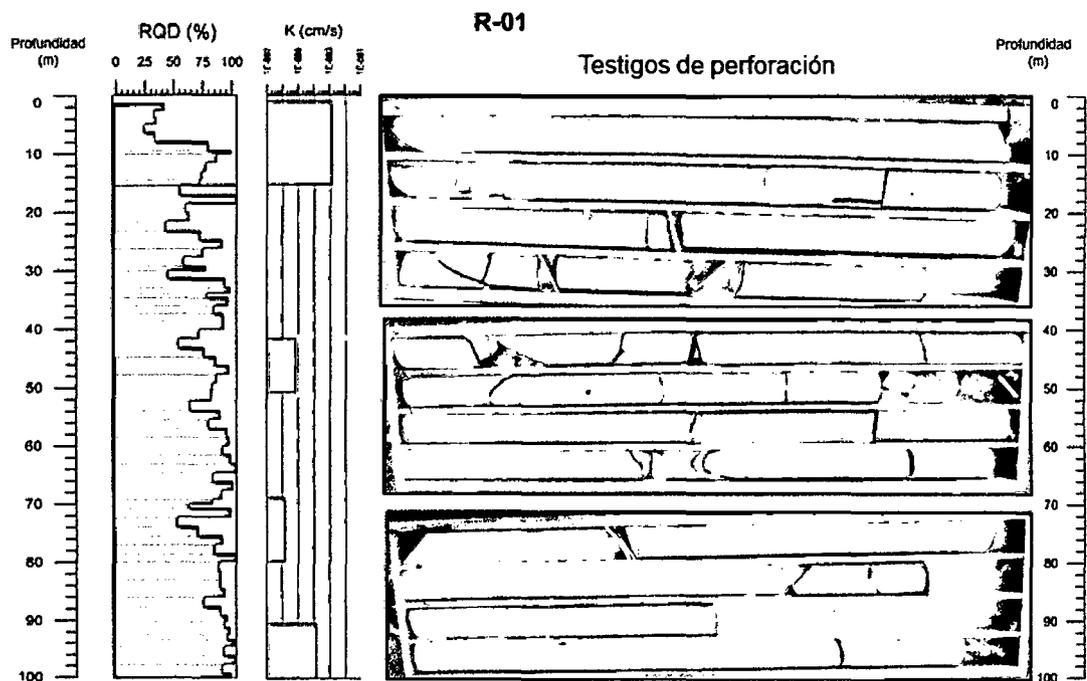
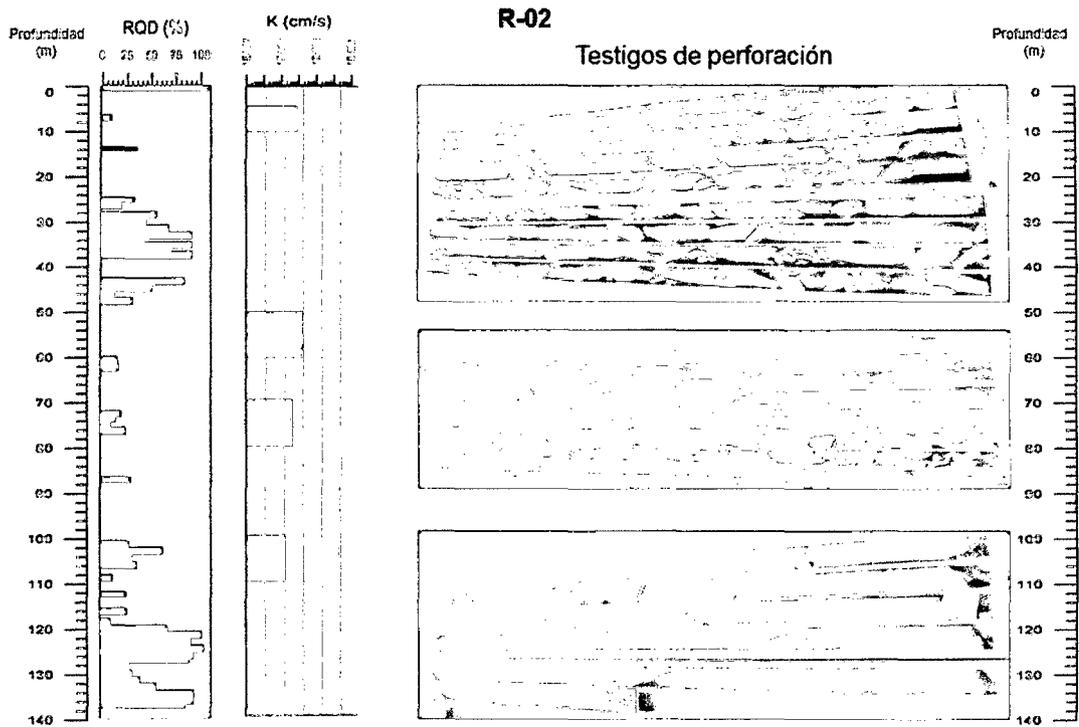
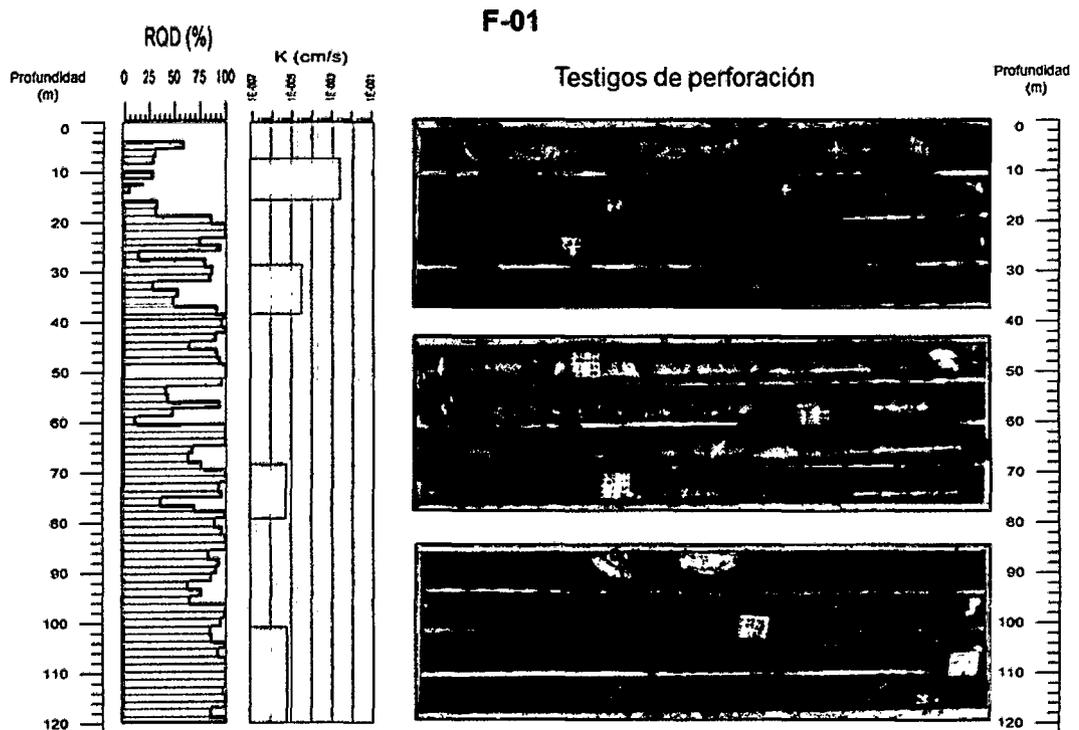


Figura 4-20: Correlación de RQD para la determinación de K en la perforación R-02.



La Figura 4-21 muestra todos los valores de conductividad hidráulica, valores moderados correspondiente a las calizas Yumagual, con fracturas permeables abiertas a profundidades > a 60 m, pero con contenido de arcilla y menor potencial de disolución.

Figura 4-21: Correlación de RQD para la determinación de K en la perforación F-01



4.1.2.3 Retornos y Niveles de Agua Durante la Perforación

Para determinar las potenciales zonas de ingreso y pérdidas de agua subterránea durante las perforaciones, con la finalidad de diseño e instalación de piezómetros. El aumento o reducción de caudal con varios saltos indican zonas de ingresos o pérdidas potenciales de agua subterránea respectivamente, a su vez, estos saltos corresponden por lo general a cambios en las características hidrogeológicas del macizo rocoso (contactos litológicos, fallas, fracturas de disolución cárstica, fracturas con intensa oxidación, etc).

Foto 4-12: Testigo de perforación, fractura con oxido (posible ingreso de agua a los 119 m), pozo TC-04.



4.1.2.4 Rasgos Kársticos (Epicarst y Endokarst)

Se identificó un total de 5 rasgos kársticos (Tabla 4-3), la mayor cantidad de estos se encontró en la perforación TC-03 a la profundidad de 65 y 70 m y el más representativo en la perforación TC-01 a una profundidad de 30.4 m y una longitud de este igual a 1.4 m (Foto 4-13) Todos los rasgos Kársticos fueron encontrados en la Formación Yumagual en los Valles tomas y Chorro Blanco.

Foto 4-13: Identificación de rasgo kárstico a los 30.4 m en el pozo TC-01



La interconectividad hidráulica pobre dará origen a superficies freáticas/piezométricas altamente variables, lo cual dificulta la interpretación de los niveles y direcciones del flujo.

Tabla 4-3: Identificación de rasgos kársticos de acuerdo a profundidades.

Pozos	Profundidad del Karst (m)	Elevación Base del Karst	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	> 120
TC-03	49.3-49.65	3840.2			1				
TC-04	7.65-11.5	3934.6	1						
TC-04	65-65.2	3881.7				1			
TC-04	70-70.25	3876.7				1			
TC-01	30.4-31.8	3815.1		1					

4.1.2.5 Diseño e Instalación de piezómetros

Se instalaron 17 piezómetros multinivel para monitoreo de agua subterránea. En general, los piezómetros multinivel se construyeron en 2 intervalos seleccionados, uno profundo cerca al fondo del pozo y otro somero en la parte superior del pozo. Estos piezómetros fueron contruidos para evaluar la variación piezométrica a través del tiempo, establecer una base para el modelo hidrogeológico conceptual.

Los piezómetros multinivel fueron contruidos con 3,18 cm (1,25 pulgadas) de diámetro con policloruro de vinilo (PVC). Las rejillas se localizaron normalmente dentro de las zonas más permeables encontradas durante la perforación (por ejemplo, fallas, fracturas, contactos, etc.). El intervalo de rejilla consiste en un intervalo de 5 m de PVC ranurado, sin embargo, en algunos casos donde se encuentra una zona alargada de interés hidrogeológico el intervalo con rejilla se aumentó a 10 m.

Un filtro de grava de 3 a 5 mm de diámetro se colocó alrededor de cada rejilla de los piezómetros extendiéndola aproximadamente 2 m por encima y por debajo de la misma. Se colocó un sello de bentonita de 3 a 4 m de espesor sobre el filtro de grava antes de rellenar el pozo. El relleno de grava se extendió hasta la base del siguiente piezómetro. También se colocaron capas de bentonita de 2 a 3 m de espesor

aproximadamente cada 15 o 20 m entre piezómetros, con la finalidad de prevenir la conexión hidráulica vertical entre rejillas.

Luego de finalizar, se colocó en superficie un sello de bentonita de 1 a 2 m de espesor y un sello de cemento a una profundidad de 1 m, esto con la finalidad de prevenir la entrada de aguas superficiales u otro tipo de sustancias al pozo. En los pozos se dejó 1.1 m de casing HWT bajo la superficie del terreno y 0.4 m sobre la superficie con una tapa metálica y candado como protección. El detalle de la instalación de los piezómetros se presenta en la Tabla 4-4.

Foto 4-14: Instalación de piezómetros, sondaje TC-04 (piezómetros multinivel)

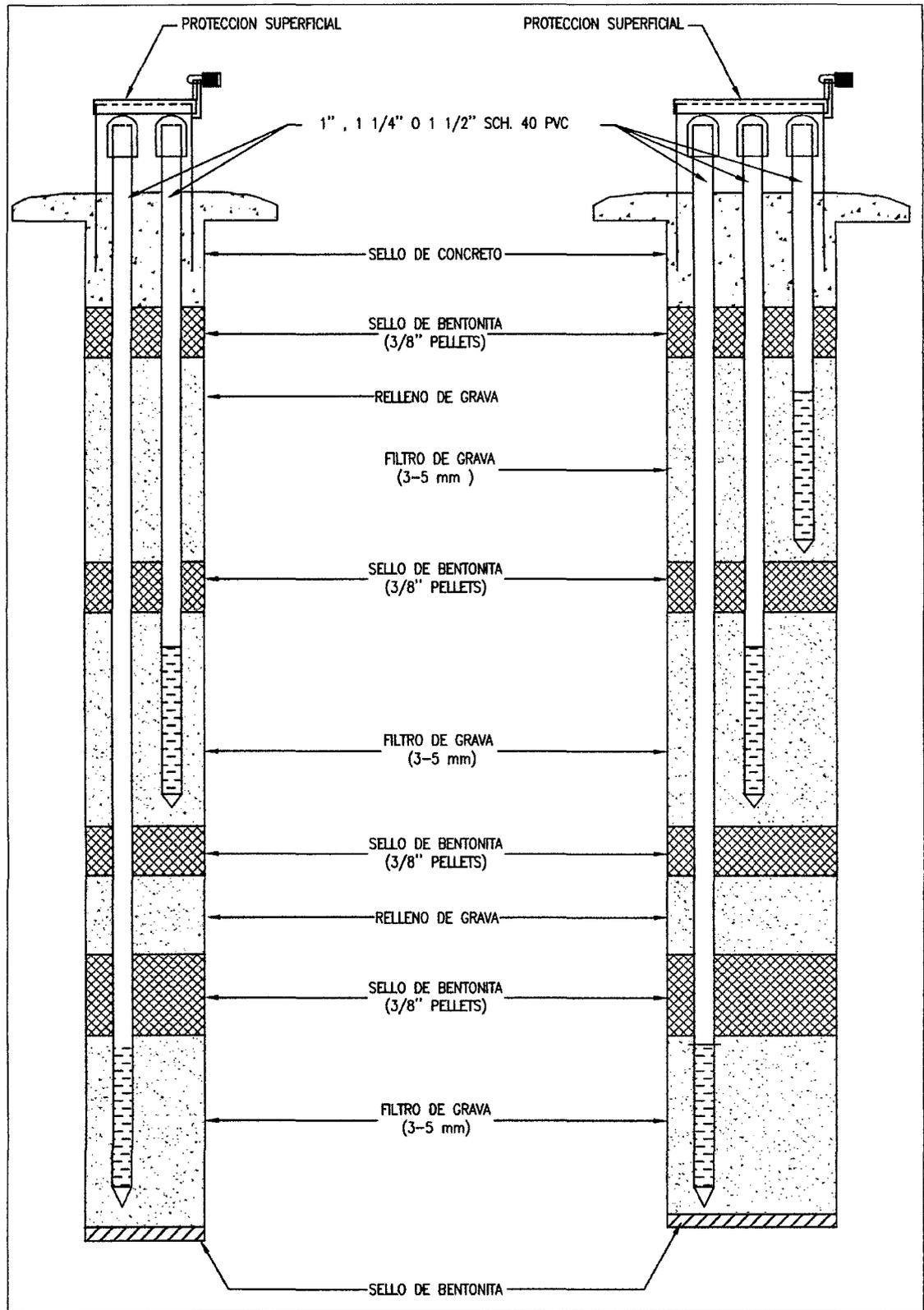


Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú.

Tabla 4-4: Detalle de instalación de piezómetros instalados

UBICACIÓN GENERAL	CÓDIGO POZO	Piezómetro	UTM PSAD 56		Profundidad (m)	Elevación (m.s.n.m)	Stick up(m)	Tipo de piezómetro	Tipo de relleno	Sello de - hasta(m)	Filtro de - hasta(m)	Intervalo de Ranurado (m)	Litología del Ranurado
			Este	Norte									
RIOLITA	R-01	I	761172	9252588	103.15	3812	0.5	Piezómetro Multinivel	Cemento & Bertorita	75.40-78.00	78.00-83.17	80.55-83.05	Riolita
		II								-	0.00-38.53	33.53-38.53	Riolita
	R-02	I	761530	9252580	140.2	3811	0.26	Piezómetro Multinivel	Cemento & Bertorita	79.96-81.37	81.37-96.95	90.30-95.30	Caliza
		II								52.65-56.40	56.40-67.30	61.10-66.10	Caliza
FACILIDADES	F-01	I	762116	9252839	120.5	3793	0.56	Piezómetro Multinivel	Cemento & Bertorita	87.00-85.85	85.85-120.50	91.09-96.09	Caliza
		II								19.0-25.00	26.00-37.00	31.00-36.00	Caliza/Falla
LA HIERBA	H-01	I	759674	9252252	83.1	3723	0.37	Piezómetro Multinivel	Cemento & Bertorita	53.00-72.40	72.40-80.10	74.70-79.70	Brecha Volcánica
		II								37.5-42.20	42.20-53.00	46.48-51.48	Brecha Volcánica
H-02	I	759623	9251823	63.40	3.829	0.65	Piezómetro	Cemento y Bentonita	10.35-21.05	21.05-63.40	41.82-51.82	Volcánico	
									II				
VALLE TONAS	TC-03	I	759952	9251317	150.00	3.839	0.57	Piezómetro Multinivel	Cemento & Bertorita	49.70- 83.20	33.20-150.00	90.10-130.10	Caliza
		II								22.95-37.72	37.72-49.70	40.70-45.70	Caliza
CHORRO BLANCO	TC-01	I	761042	9251201	60.40	3843	0.60	Piezómetro Multinivel	Cemento & Bertorita	38.00-50.90	50.90-60.40	52.50-57.50	Caliza
		II								26.00-30.00	30.00-38.00	31.00-36.00	Karst/Caliza
	TC-02	I	761234	9250913	137.20	3950	0.76	Piezómetro Multinivel	Cemento & Bertorita	56.00-104.30	104.30-113.20	107.10-112.10	Diorita
		II								43.00-47.60	47.60-56.00	50.05-55.05	Caliza/Diorita
	TC-04	I	760394	9251316	200.30	3945	0.76	Piezómetro Multinivel	Cemento & Bertorita	121.0-173.50	179.50-200.00	169.65-194.65	Caliza
		II								108.00-112.00	112.00-121.00	115.00-120.00	Caliza/falla

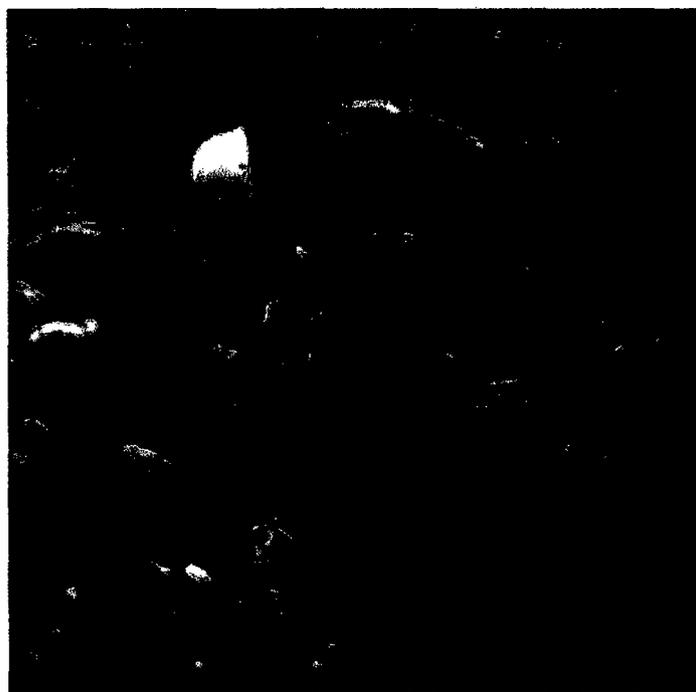
Figura 4-22: Detalle típico del diseño e instalación de piezómetros múltiples (MWH-2011).



4.1.2.6 Monitoreo de niveles de agua y elaboración de hidrogramas

Una vez finalizada la instalación de cada piezómetro se inició el monitoreo con la finalidad de obtener un registro continuo de los niveles piezométricos para evaluar la evolución de dichos niveles a lo largo del tiempo y comparar la sensibilidad de los resultados con respecto al régimen de precipitaciones pluviales. Las tendencias de elevación de agua fueron monitoreadas y graficadas para determinar el momento de equilibrio. Los niveles de agua (más bajos) de final de temporada seca en los piezómetros poco profundos y profundos se proporcionan en los hidrogramas (Figura 4-23). La variación de niveles de agua ocurre en los piezómetros TC-01 y TC-04 con 7 y 10 m respectivamente (Figura 4-23).

Foto 4-15: Monitoreo de piezómetros con sonda eléctrica (H-02).



4.1.2.7 Unidades Hidrogeológicas

La litología dominante en la zona de estudio, está representada por el Cretáceo (Formación Yumagual y la Formación Pariatambo). Se realizaron análisis para determinar la relación entre la conductividad hidráulica con la litología, alteración y fracturamiento de rocas.

Basados en los resultados de las pruebas de conductividad hidráulica realizadas en las perforaciones diamantinas (Ver anexo C), se tiene:

Valores Máximos de Conductividad Hidráulica

Estos valores asociados preferentemente a las calizas de las Formaciones Yumagual y Pariatambo, principalmente a la intensidad de fracturamiento y la presencia de rasgos cársticos. Estos valores se dan a profundidades de 60m en las perforaciones TC-04 y TC-02 y a 100m en la perforación TC-03, (plano 6-1 al 6-6).

Valores Mínimos de Conductividad Hidráulica

Valores que están asociados a rocas volcánicas e intrusivas de moderado a débil fracturamiento, la presencia de arcilla como relleno en fracturas. Estos valores identificados desde los 0m hasta los 80 m por la perforación H-01 y de 80m a 120m por la perforación TC-02.

Tabla 4-5: Permeabilidad en tipos de roca

Tipo de Roca	Min K (m/s)	Max K (m/s)	Media Geométrica (m/s)
Roca Caliza	8.030×10^{-7}	5.130×10^{-3}	6.580×10^{-5}
Roca Volcánica (Diatrema)	7.770×10^{-8}	8.480×10^{-5}	8.130×10^{-7}
Roca Volcánica (Riolita)	7.420×10^{-6}	1.260×10^{-3}	4.340×10^{-5}
Roca Intrusiva	1.710×10^{-7}	4.150×10^{-5}	2.930×10^{-6}

4.2 Contratación de la Hipótesis

Mediante la identificación y la descripción de las diferentes características geológicas e hidrogeológicas en superficie y profundidad, se ha comprobado e identificado al menos 4 unidades hidrogeológicas clasificadas y catalogadas como acuíferos y acuitardos (Plano 5) Estas a su vez clasificadas en:

Tabla 4-6: Unidades Hidrogeológicas clasificadas en el Proyecto Cerro Corona

Unidad Hidrogeológica		Rango Estimado de Conductividad Hidráulica (m/s)	Espesor (m)	Clasificación / Descripción	
HIDROGEOLOGÍA DEL MACIZO ROCOSO	UNIDAD 1	Epikarst (Yumagual, Pariatambo)	2 a 20	Acuífero colgado a seco.	
		Endokarst (Yumagual, Pariatambo)	~20 a 80	Acuífero (libre a confinado)	
		Caliza Fracturada (Yumagual, Pariatambo)	~100 a 150	Acuífero libre a confinado	
		Zonas de Falla	>10	Acuíferos libres a confinados	
		Capas de Marga (Yumagual, Pariatambo)	<10 ⁻⁷	5 a 20	Acuitardo a acuífero (intensidad de fracturamiento)
		Intrusivo (competente)			
		Diatrema	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁵	<80	Acuitardo
		Roca Competente	10 ⁻¹⁰ a 10 ⁻⁷	>200	Acuitardo
		UNIDAD 3	Riolita meteorizada y fracturada	10 ⁻⁶ a 10 ⁻³	0 a 40
	CUATERNARIO	UNIDAD 4	Fondo de Valle Tingo	10 ⁻⁶ a 10 ⁻³	desconocido

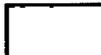
Se comprobó que la litología en profundidad y acorde con las perforaciones realizadas es variable debido a eventos geodinámicos posteriores.

4.3 Interpretación de la información

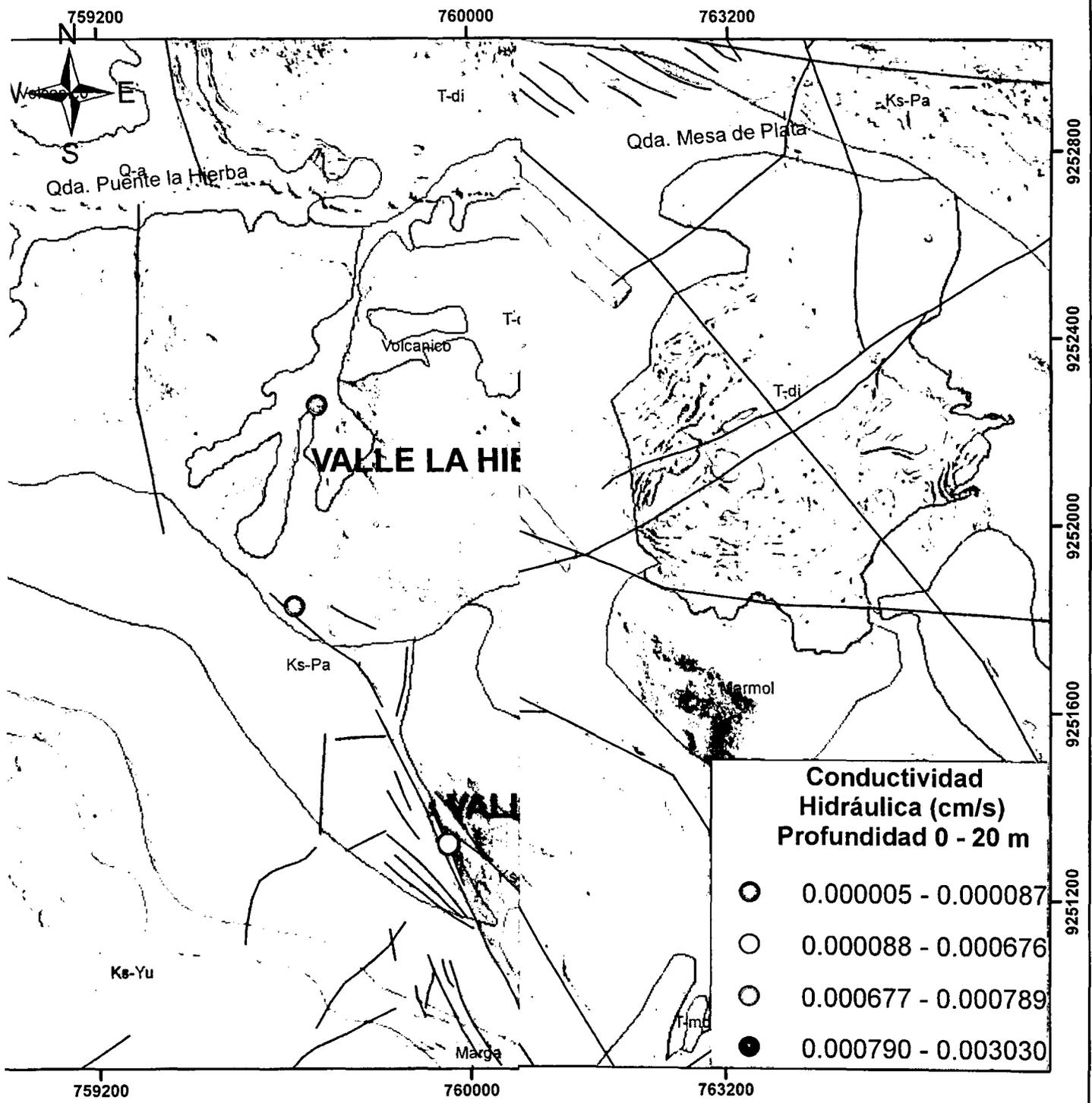
Se ha elaborado mapa de unidades hidrogeológicas basado en características litológicas en superficie, mapa de conductividad hidráulica según variación de la profundidad (plano 6-1 al 6-6) y secciones hidrogeológicas, determinando así que las calizas de las Formaciones Yumagual y Pariatambo constituyen fuentes de almacenamiento que conllevan a formar un buen acuífero, debido a que son permeables gracias a la red de fracturas y zonas meteorizadas ya que estas facilitan el almacenamiento de flujo.



Ley

-  Unidad Hidrogeológica
-  Unidad Hidrogeológica
-  Unidad Hidrogeológica
-  Unidad Hidrogeológica
-  Proyecto Cívico
-  Drenaje

UNIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
INGENIERO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
<i>Estudio de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Cerro Corona, Cajamarca, Perú</i>	
	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
2013	PLANO N°:
Cervera Cervera	05



Conductividad Hidráulica (cm/s) Profundidad 0 - 20 m

●	0.000005 - 0.000087
○	0.000088 - 0.000676
○	0.000677 - 0.000789
●	0.000790 - 0.003030

**INSTITUTO NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE INGENIERIA**

GEOL

PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ROCAS INTR

*Geológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el
Cajamarca, Perú*

- T - di Diorita
- T - gd Granodiorita
- T - md Granodiorita

RO

**VARIACIÓN CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA SEGUN PROFUNDIDAD
(0 - 20 m)**

PLANO N°:
6-1

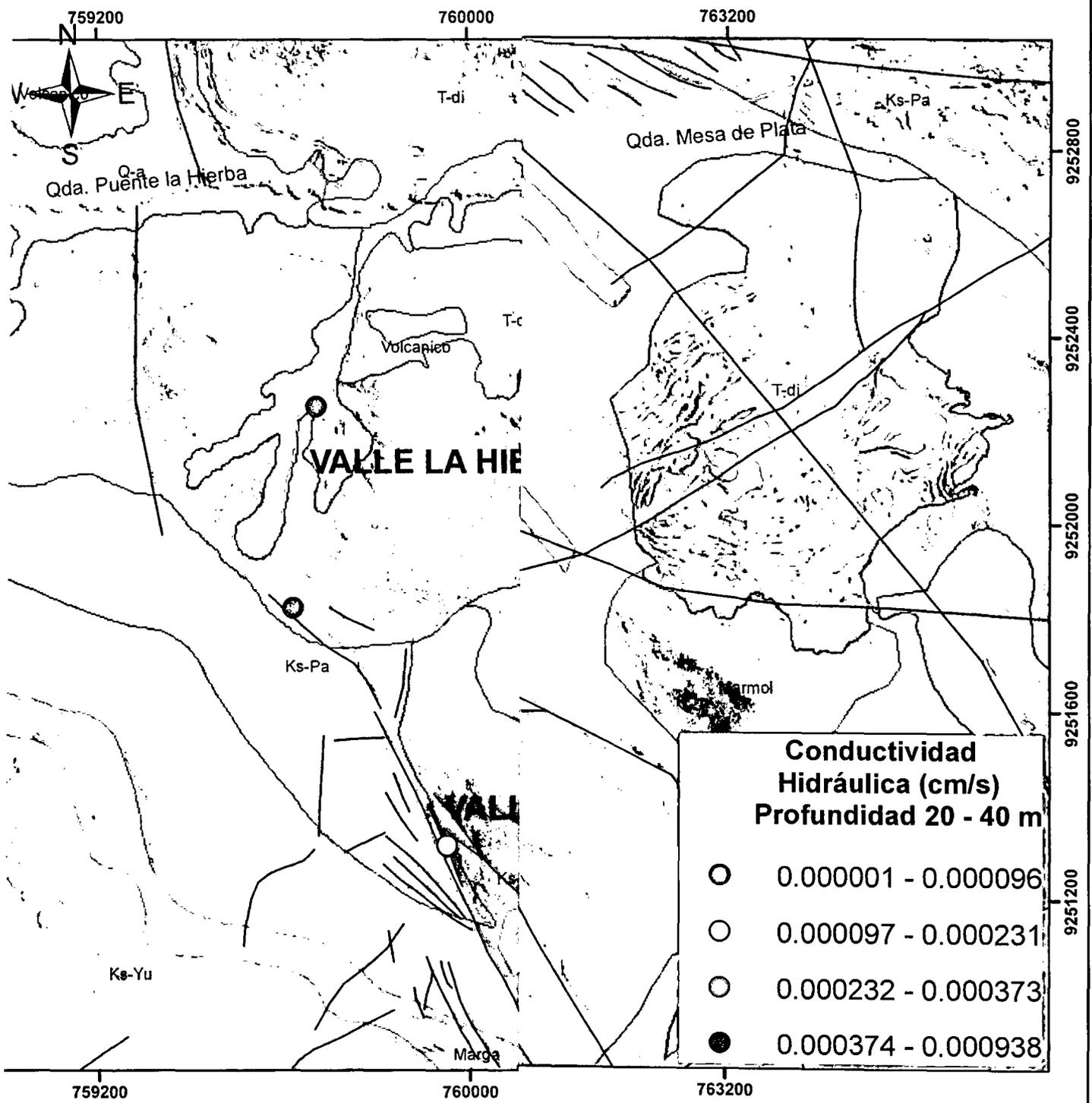
Cervera

ROCAS VOLCÁNICAS

- Volcánico Huambos
- T-vh Rocas Piroclásticas Andesitas/Dacitas
- Grupo Callipuy
- T-ri Volcánico Riolítico

DEPÓSITOS CUATERNARIOS

- Q-g/Q-a Cuaternario Glacial/ Cuaternario Aluvial



Conductividad Hidráulica (cm/s) Profundidad 20 - 40 m

○	0.000001 - 0.000096
○	0.000097 - 0.000231
○	0.000232 - 0.000373
●	0.000374 - 0.000938

**INSTITUTO NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE INGENIERIA**

GEOL

ROCAS INTRUSIVAS

- T-di Diorita
- T-gd Granodiorita
- T-md Granodiorita

ROCAS SEDIMENTARIAS

Corvera

PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Investigación Hidrogeológica Mediante Pruebas Hidráulicas en el Valle La Hija, Cajamarca, Perú

**VARIACIÓN CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA SEGUN PROFUNDIDAD
(20 - 40 m)**

PLANO N°:

6-2

ROCAS VOLCÁNICAS

Volcánico Huambos

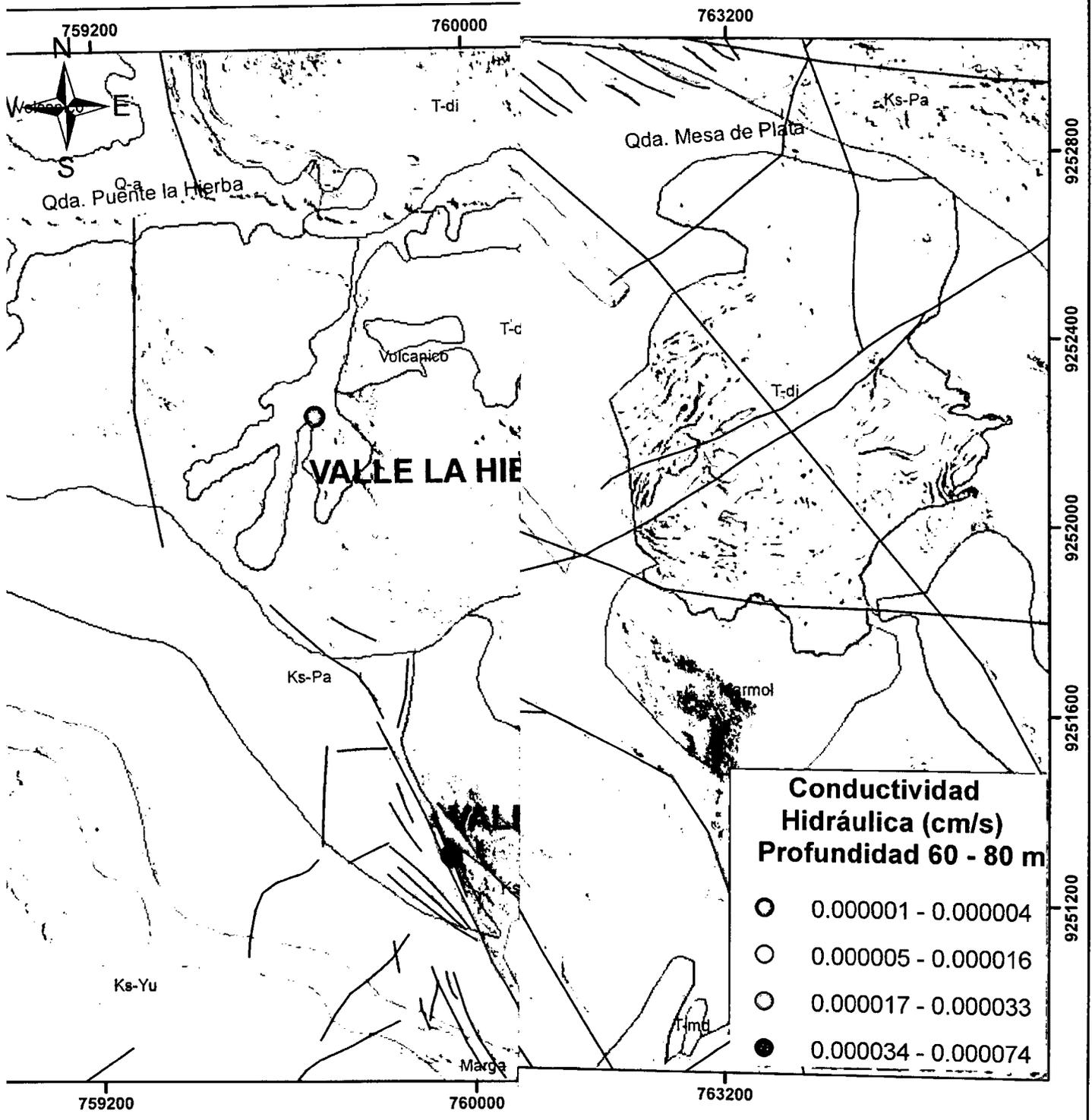
Ts-vh Rocas Piroclásticas Andesitas/Dacitas

Grupo Calipuy

T-ri Volcánico Riolítico

DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Q-g/Q-a Cuaternario Glacial/ Cuaternario Aluvial



**INSTITUTO NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE INGENIERIA**

GEOL PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ROCAS INT Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el
Corona, Cajamarca, Perú

**VARIACIÓN CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA SEGUN PROFUNDIDAD
(60 - 80 m)**

PLANO N°:
6-4

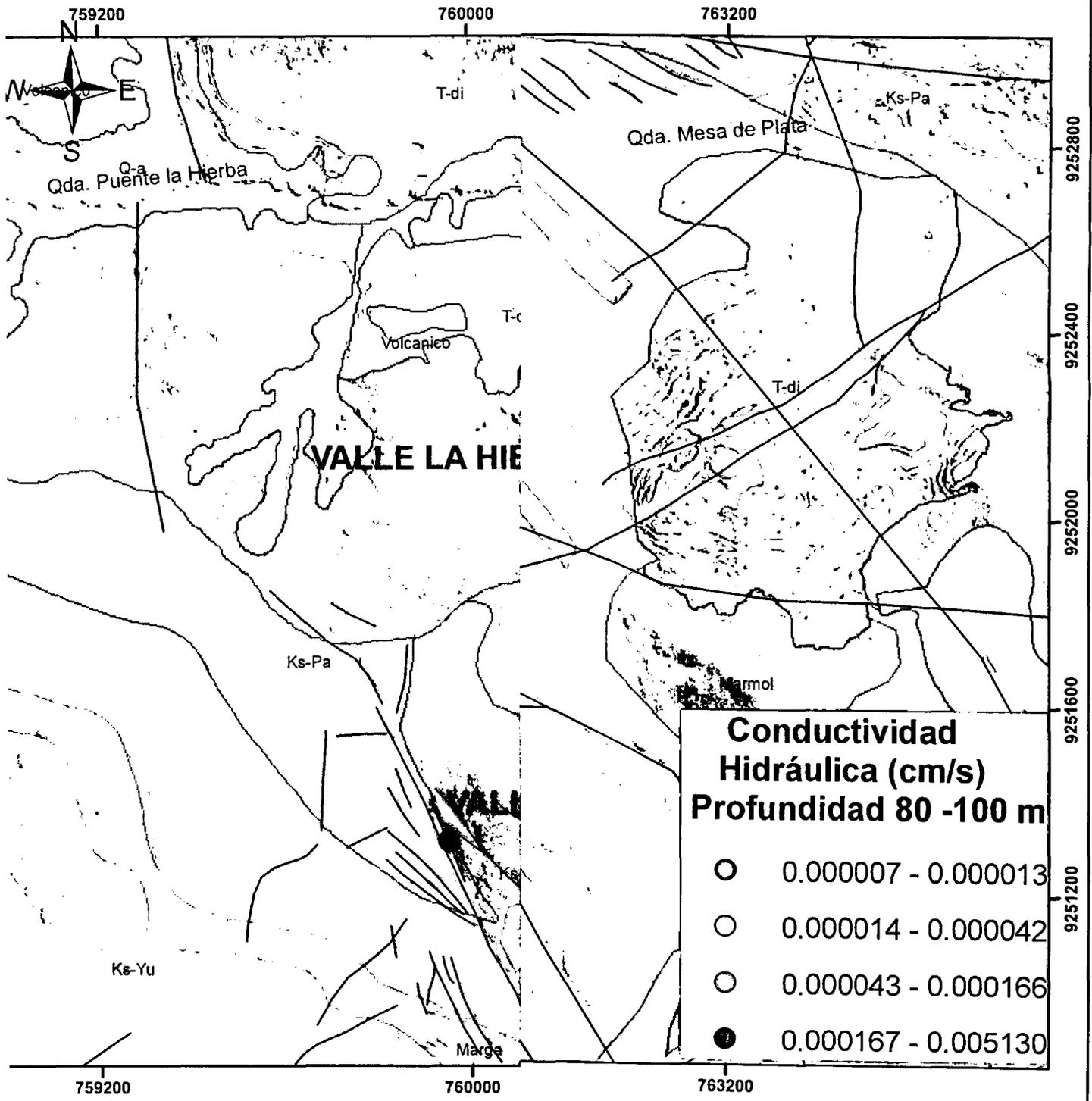
ROCAS VOLCÁNICAS

- Volcánico Huambos
- T_{ph}-vh Rocas Piroclásticas Andesitas/Dacitas
- Grupo Calipuy
- T_{ri}-ri Volcánico Riolitico

DEPÓSITOS CUATERNARIOS

- Q-g/Q-a Cuaternario Glacial/ Cuaternario Aluvial

Cervera



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE INGENIERIA**

GEOL

PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ROCAS INTRUSIVAS

*Estudios Hidrogeológicos Mediante Pruebas Hidráulicas en el
Cerro Corona, Cajamarca, Perú*

ROCAS VOLCÁNICAS

- Volcánico Huambos
- T-vh Rocas Piroclásticas Andesitas/Dacitas
- Grupo Calipuy
- T-r Volcánico Riolítico

- T-d Diorita
- T-gd Granodiorita
- T-md Granodiorita

DEPÓSITOS CUATERNARIOS

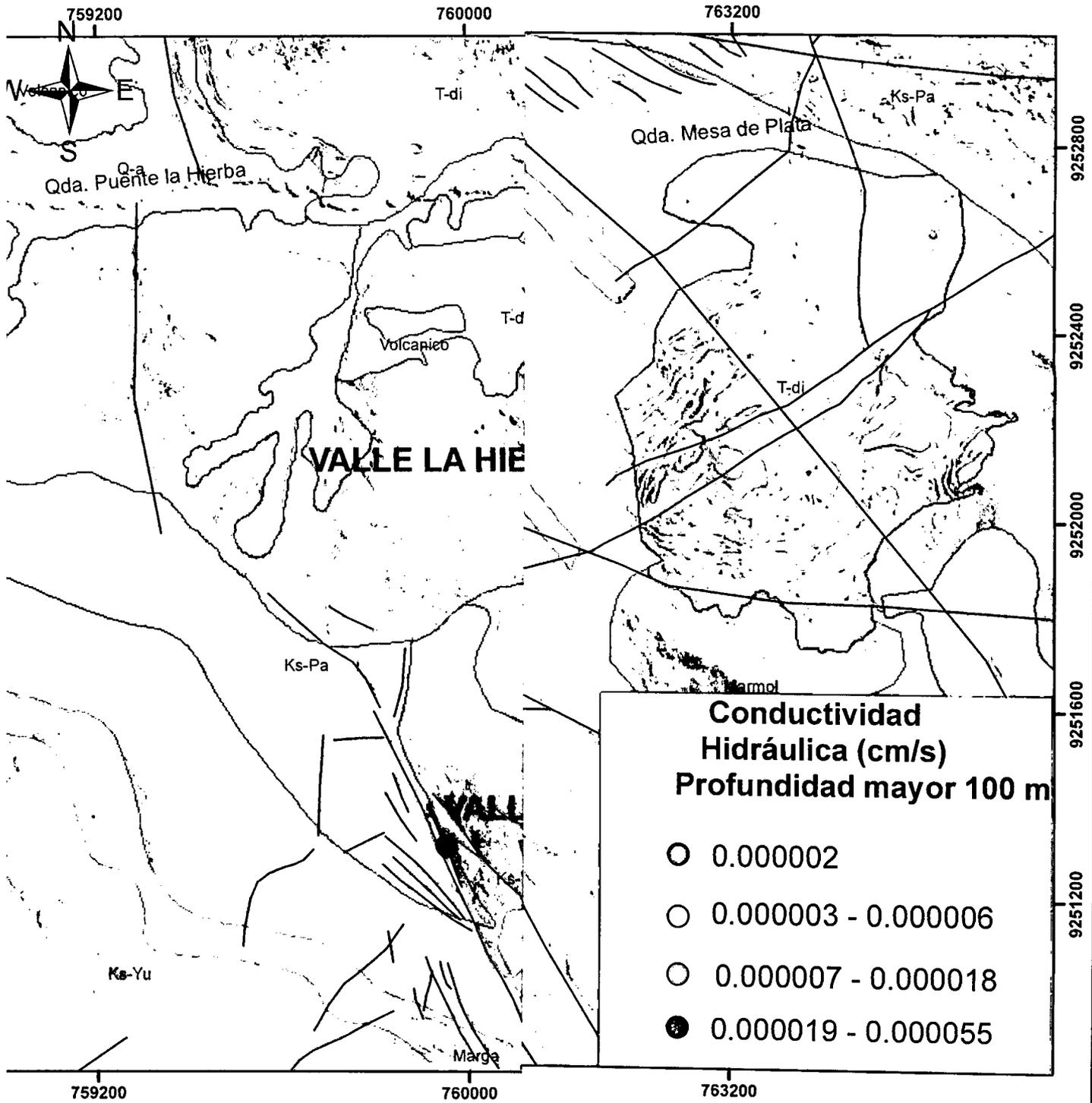
- Q-g/Q-a Cuaternario Glacial/ Cuaternario Aluvial

**VARIACIÓN CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA SEGUN PROFUNDIDAD
(80 -100 m)**

PLANO N°:

6-5

Servera



**INSTITUTO NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE INGENIERIA**

GEOL
ROCAS INTRUSIVAS
PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

*Investigación Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el
 Corona, Cajamarca, Perú*

ROCAS VOLCÁNICAS
 Volcánico Huambos
 T_{s-vh} Rocas Piroclásticas Andesitas/Dacitas
 Grupo Calipuy
 T_v Volcánico Riolítico

DEPÓSITOS CUATERNARIOS
 Q_g/Q_a Cuaternario Glacial/ Cuaternario Aluvial

T_{-d} Diorita
 T_{-gd} Granodiorita
 T_{-md} Granodiorita

**VARIACIÓN CONDUCTIVIDAD
 HIDRÁULICA SEGUN PROFUNDIDAD
 (mayor a 100m)**

ROCAS METAMÓRFICAS
PLANO N°:
6-6

Servera

Se ha identificado 4 unidades hidrogeológicas y estas a su vez con ayuda de las perforaciones diamantinas presentan diferentes características litológicas y valores de conductividad hidráulica a profundidad, estimados a partir de ensayos de permeabilidad. Las propiedades físicas y dinámicas de las unidades hidrogeológicas encontradas dentro del área de estudio se describen en las siguientes características:

Unidad 1.- Esta unidad comprende cuatro características resaltantes:

A.-Frecuencia de rasgos Kársticos en superficie del terreno, de moderada permeabilidad y espesores que varían entre 2 y 20 m. El rango de conductividad es mayor a 10^{-4} m/s, representando así un acuífero colgado a seco.

B.-Presencia de cavidades kársticas (Endokarst), principalmente identificado con la perforación TC-01 a una profundidad entre 30.4 a 31.8 m, estos con rangos de conductividad hidráulica mayor a 10^{-5} m/s y espesores que varían de 20 a 80 m. Por tanto clasificamos un acuífero libre a confinado.

C.-Frecuencia de caliza fracturada en la Fm. Pariatambo y Yumagual con espesores que van $\cong 100$ a 150m, el rango de conductividad hidráulica se encuentra entre 10^{-7} a 10^{-4} m/s. Con estas características clasificamos un acuífero libre a confinado.

D.-Caracterizado por la presencia de zonas de falla interceptada por las perforaciones realizadas a profundidades mayores a 10m. El rango de conductividad hidráulica que es de baja a moderada va desde 10^{-6} a 10^{-4} m/s. Las características mencionadas clasifican a un acuífero libre a confinado.

Unidad 2.- Esta unidad representa la zona impermeable del área de estudio y comprende cuatro características específicas:

A.-Capas de margas de la Fm. Pariatambo y Yumagual interceptadas a profundidades que van de 5 a 20 m de baja permeabilidad o prácticamente impermeables, la conductividad hidráulica menores a 10^{-7} m/s, dichas

características contribuyen a clasificar un acuitardo a acuífero (intensidad de fracturamiento).

B.-Característica dada por un intrusivo competente, tal es el caso de la monzodiorita interceptada con la perforación TC-02 a profundidades que van de 50 a 100 m, tales características ayudan a clasificar un acuitardo.

C.-Presencia de una diatrema con rango de conductividad hidráulica que va entre 10^{-8} a 10^{-5} m/s y a profundidades menores de 80 m. La clasificación dada de acuerdo a las características es de un acuitardo.

D.-Presencia de roca competente a profundidades mayores a 200 m. El rango de conductividad hidráulica varía de 10^{-10} a 10^{-7} m/s, estas condiciones clasifican un acuitardo.

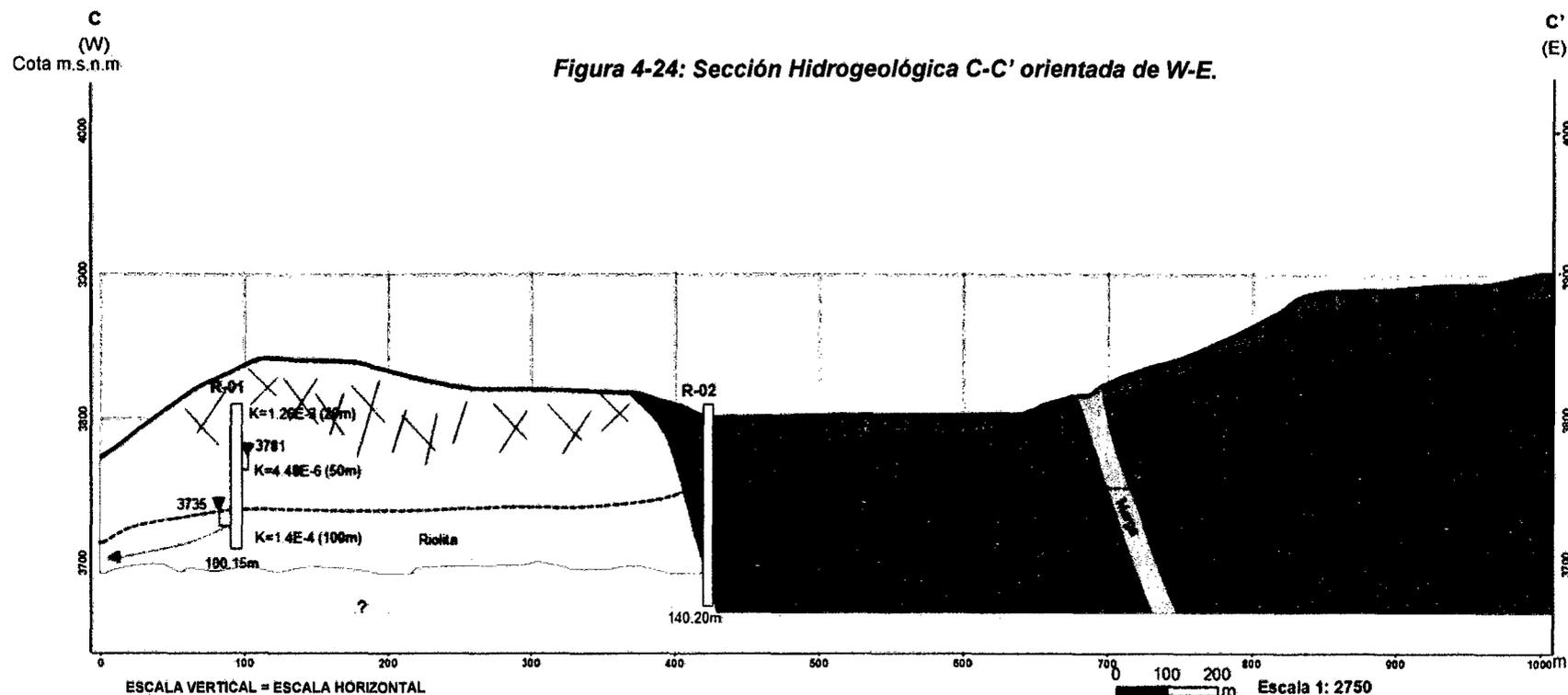
Unidad 3.-Esta unidad constituida por roca riolítica meteorizada y fracturada de baja a moderada permeabilidad. El rango de conductividad hidráulica de esta unidad es de 10^{-6} a 10^{-3} m/s a espesores de 0 a 40 m, clasificando un acuífero colgado a libre.

Unidad 4.-Esta unidad constituida por arenas y gravas de color café, esta unidad cuenta con espesores desconocidos. La geometría de este medio granular muestra un sistema compuesto por horizontes de sedimentos detríticos de espesores variables que constituyen acuíferos libres. Las características observadas en los cortes del Río Tingo cuentan con una permeabilidad aproximada que varía de 10^{-6} a 10^{-3} m/s.

Los valores de conductividad hidráulica son generalmente altos en los 20 m superiores en la Riolita, lo cual se relaciona con un techo rocoso poco profundo, meteorizado y altamente fracturado. No se observa una tendencia de reducción en la conductividad hidráulica en la Riolita entre los 20 y 100 m de profundidad debido a las fracturas y fallas. La conductividad hidráulica tiende a disminuir bajo los 100 m, tales condiciones se notan con la geología y ensayos realizados en la perforación R-01.

En la zona de estudio se realizaron 4 secciones hidrogeológicas, interpretadas en base la geología de superficie, litología de testigos de perforación y acorde con los niveles de agua monitoreados en los piezómetros instalados. Estas secciones a su vez han sido caracterizadas y clasificadas por unidad hidrogeológica (Unidad 1, Unidad 2, Unidad 3) según el comportamiento litológico en profundidad.

Figura 4-24: Sección Hidrogeológica C-C' orientada de W-E.



ESCALA VERTICAL = ESCALA HORIZONTAL

Escala 1: 2750

Simbología

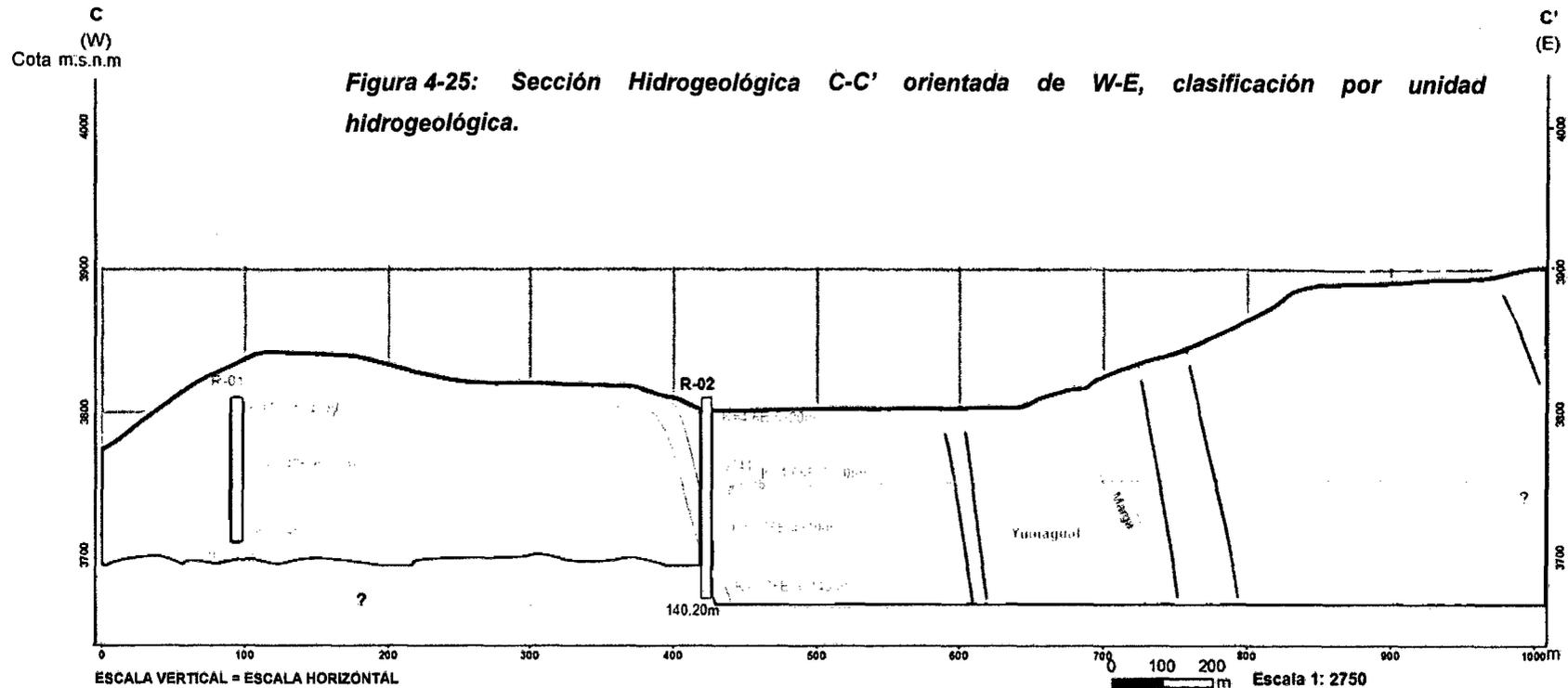
- Falla
- Perfil Topográfico
- RQ-01 Perforación
- Nivel Piezometrico
- 100.15 Profundidad de Perforación
- K Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)
- Dirección de flujo

Leyenda

- Riolita
- Intrusivo
- Fm. Yumagual
- Marga
- Fm. Pariatambo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Carro Corona, Cajamarca, Perú</i>	
PROYECCIÓN: UTM	SECCION HIDROGEOLÓGICA C-C'
FECHA: Diciembre 2013	SECCIÓN N°:
TESISTA: Victor Elver Guevara Cervera	01

Figura 4-25: Sección Hidrogeológica C-C' orientada de W-E, clasificación por unidad hidrogeológica.



Simbología

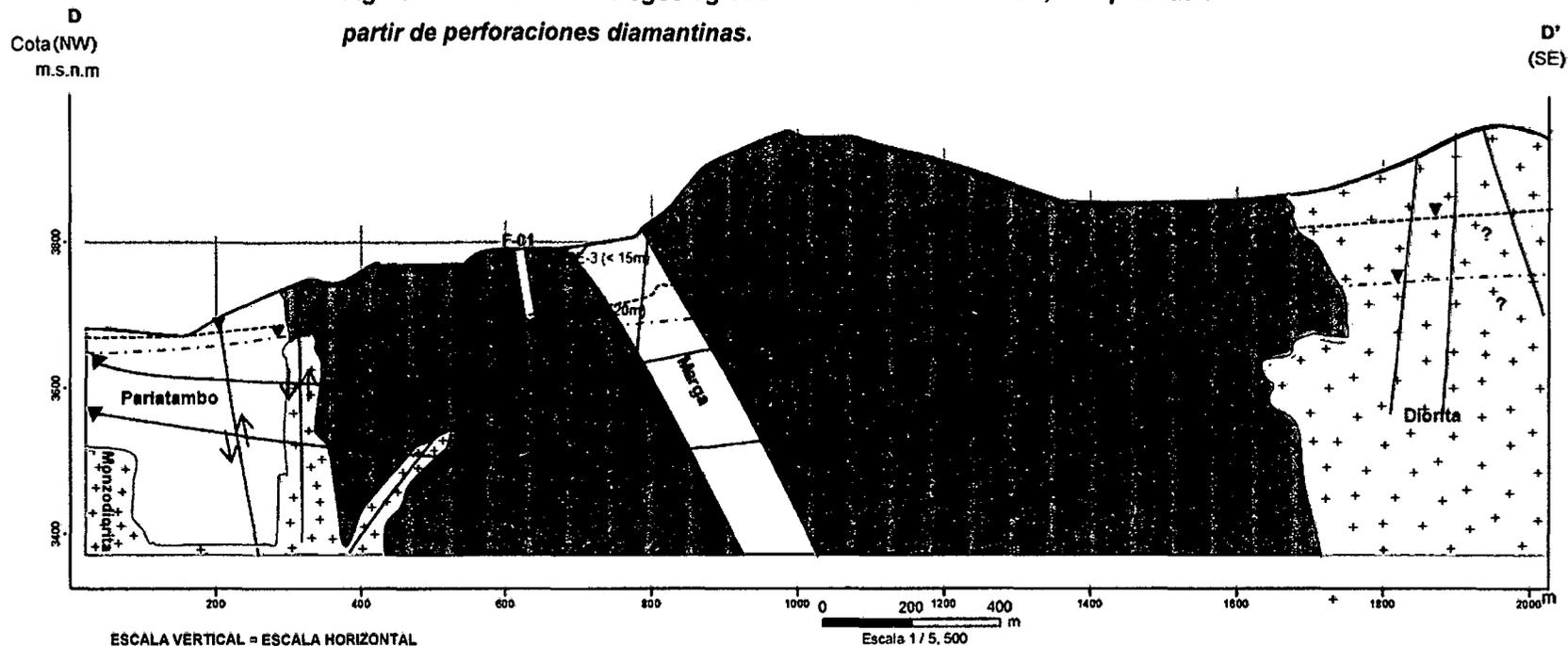
- Falla
- ~ Perfil Topográfico
- RQ-01 Perforación
- Nivel Piezométrico
- 100.15 Profundidad de Perforación
- K Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)
- Dirección de flujo

Leyenda

- Unidad Hidrogeológica 1 (Acuífero libre a confinado)
- Unidad Hidrogeológica 2 (Acuitardo)
- Unidad Hidrogeológica (Acuífero colgado a libre)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú</i>	
PROYECCIÓN: UTM	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
FECHA: Diciembre 2013	SECCIÓN N°:
TESISISTA: Victor Elver Guevara Cervantes	01

Figura 4-26: Sección Hidrogeológica D-D' orientada de NW-SE, interpretada a partir de perforaciones diamantinas.



Simbología

- Falla
- ~ Perfil Topográfico
- RQ-01 Perforación
- Nivel Piezometrico
- 100.15 Profundidad de Perforación
- K Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)
- Dirección de flujo

Leyenda

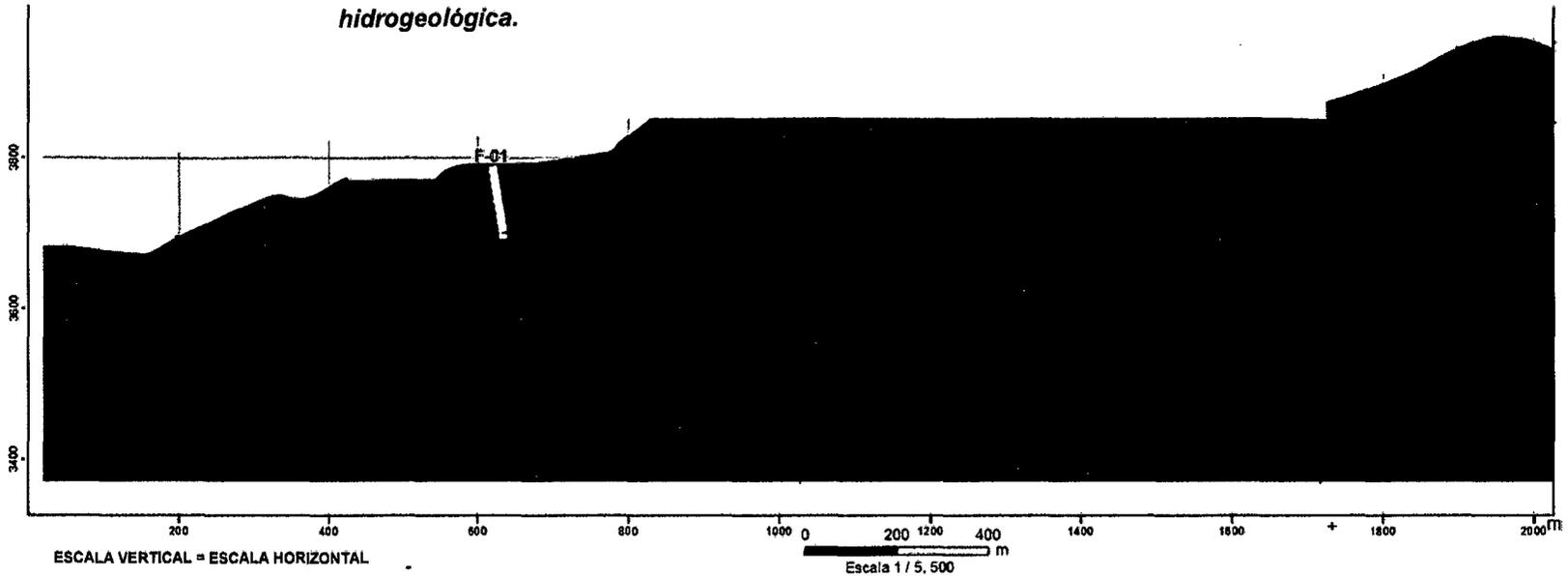
- Intrusivo
- Fm. Yumagual
- Marga
- Fm. Pariatambo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú</i>	
PROYECCIÓN: UTM	SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA D-D'
FECHA: Diciembre 2013	SECCIÓN N°: 02
TESISTA: Victor Ever Guevara Cervera	

D
(NW)
Cota m.s.n.m

D'
(SE)

Figura 4-27: Sección hidrogeológica orientada de NW-SE, clasificación por unidad hidrogeológica.



Simbología

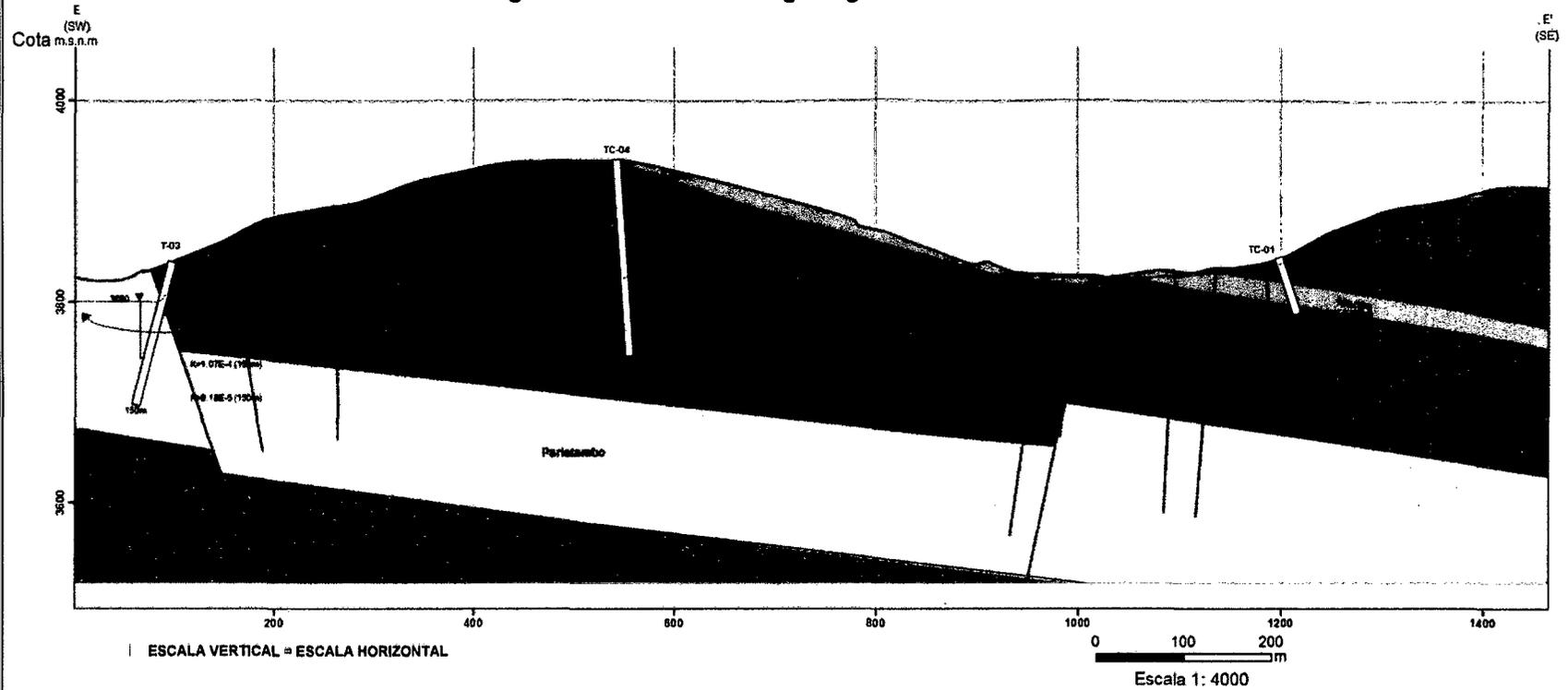
- Falla
- ~ Perfil Topográfico
- RQ-01 Perforación
- Nivel Piezométrico
- 100.15 Profundidad de Perforación
- K Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)
- Dirección de flujo

Leyenda

- Unidad Hidrogeológica 1 (Acuífero libre a confinado)
- Unidad Hidrogeológica 2 (Acuitardo)

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA</p>	
<p>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</p>	
<p>TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú</i></p>	
PROYECCIÓN:	UTM
FECHA:	Diciembre 2013
TESISTA:	Victor Elver Guevara Cervera
UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	
SECCIÓN N°: 02	

Figura 4-28: Sección Hidrogeológica E-E' orientada de SW-SE.



Simbología

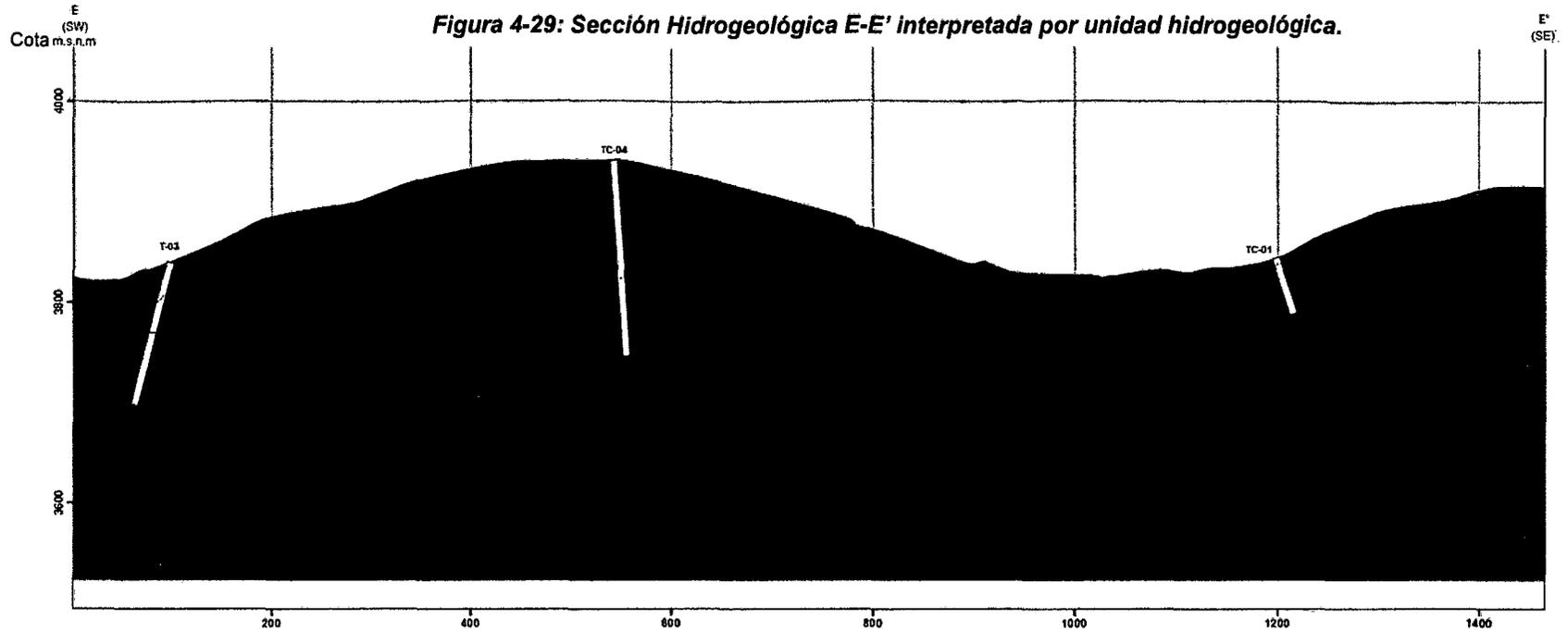
- Falla
- Perfil Topográfico
- RQ-01 Perforación
- Nivel Piezométrico
- 100.15 Profundidad de Perforación
- K Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)
- Dirección de flujo

Leyenda

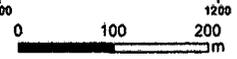
- Fm. Yumagual
- Marga
- Fm. Pariatambo
- Fm. Chulec

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú</i>			
PROYECCIÓN:	UTM	SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA E-E'	
FECHA:	Diciembre 2013	SECCIÓN N°:	
TESISTA:	Victor Elver Guevara Cervera	03	

Figura 4-29: Sección Hidrogeológica E-E' interpretada por unidad hidrogeológica.



ESCALA VERTICAL = ESCALA HORIZONTAL



Escala 1: 4000

Simbología

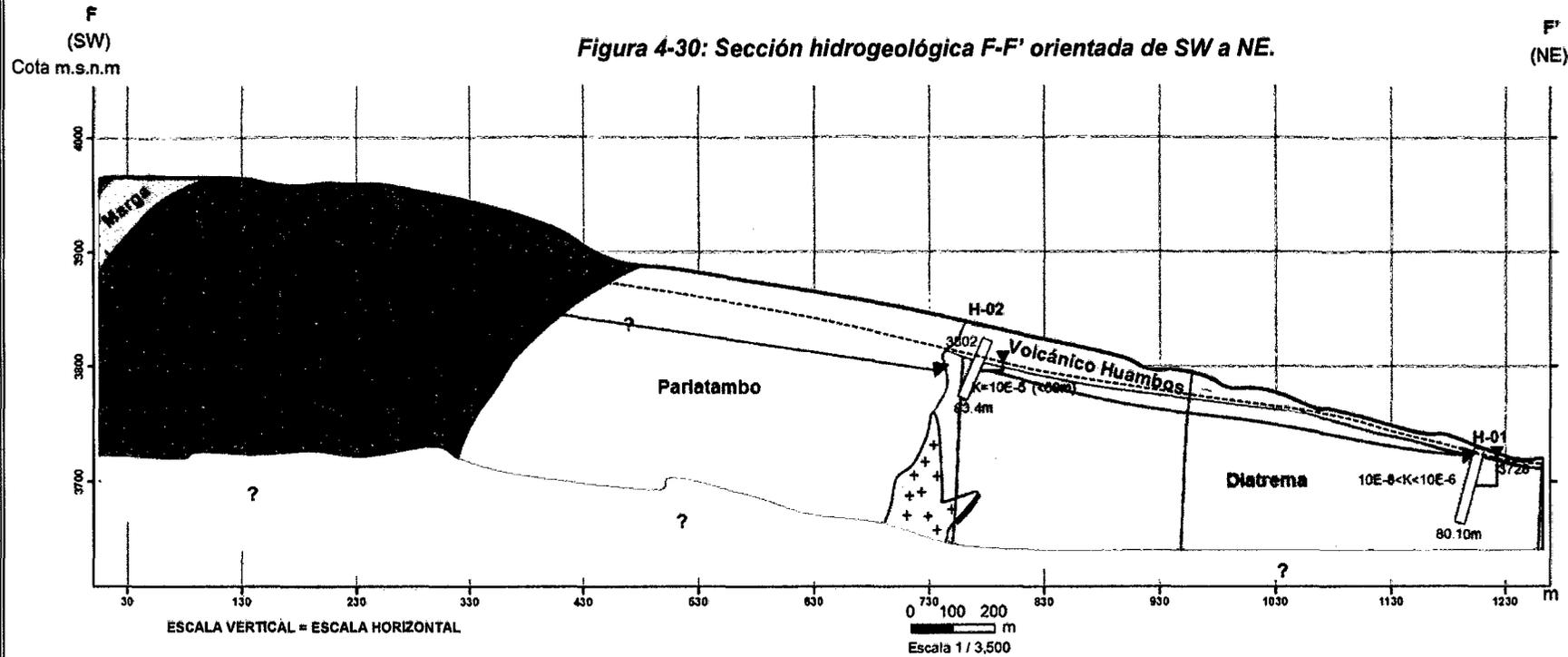
- Falla
- ~ Perfil Topográfico
- RQ-01 Perforación
- Nivel Piezométrico
- 100.15 Profundidad de Perforación
- K Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)
- Dirección de flujo

Leyenda

- Unidad Hidrogeológica 1 (Acuífero libre a confinado)
- Unidad Hidrogeológica 2 (Acuitardo)

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú</i>			
PROYECCIÓN:	UTM	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	
FECHA:	Diciembre 2013	SECCIÓN N°:	
TESISTA:	Victor Elver Guevara Cervera	03	

Figura 4-30: Sección hidrogeológica F-F' orientada de SW a NE.



Simbología

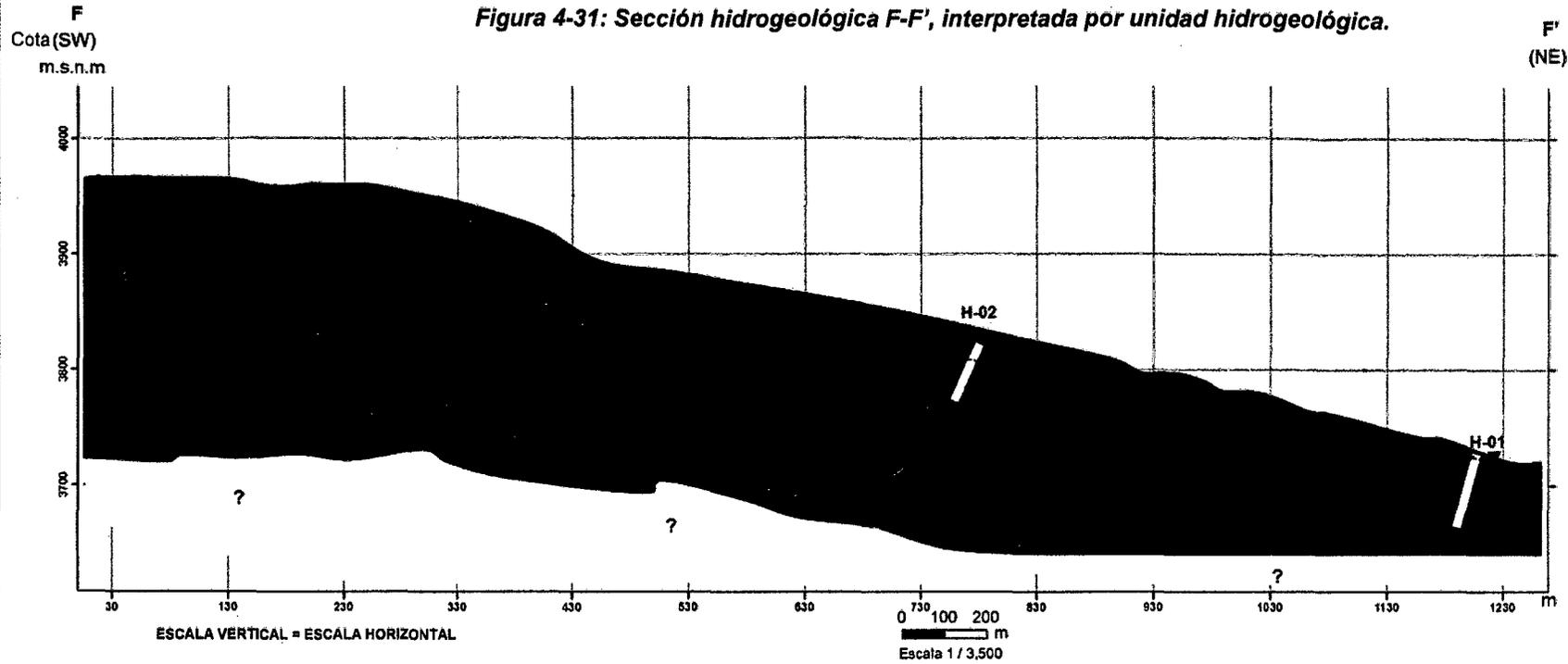
- Falla
- ~ Perfil Topográfico
- RQ-01 Perforación
- Nivel Piezometrico
- 100.15 Profundidad de Perforación
- K Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)
- Dirección de flujo

Leyenda

- Volcánico Huambos
- Diatrema
- +++ Intrusivo
- Fm. Yumagual
- Marga
- Fm. Pariatambo

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Carro Corona, Cajamarca, Perú</i>	
PROYECCIÓN: UTM	SECCION HIDROGEOLÓGICA F-F'
FECHA: Diciembre 2013	SECCIÓN N°:
TESISISTA: Victor Elver Guevara Cervera	04

Figura 4-31: Sección hidrogeológica F-F', interpretada por unidad hidrogeológica.



Simbología

- Falla
- ~ Perfil Topográfico
- RQ-01 Perforación
- Nivel Piezometrico
- 100.15 Profundidad de Perforación
- K Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)
- Dirección de flujo

Leyenda

- Unidad Hidrogeológica 1 (Acuífero libre a confinado)
- Unidad Hidrogeológica 2 (Acuitardo)



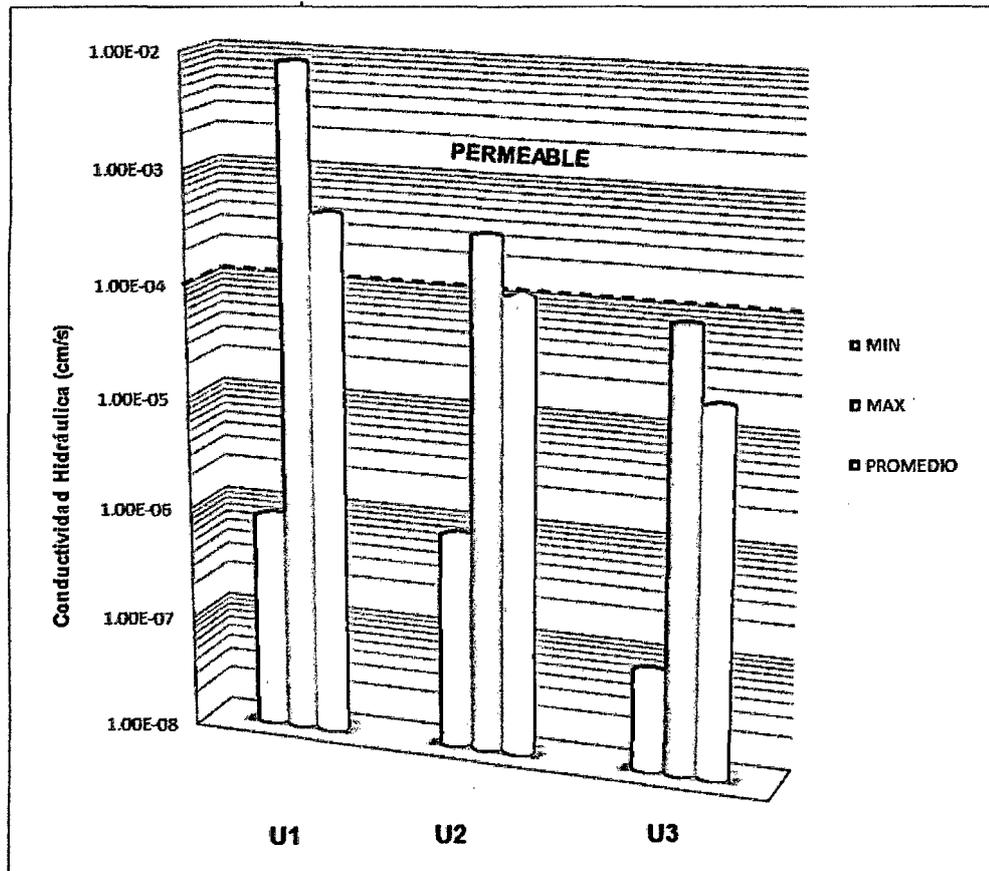
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA

TESIS: *Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú*

PROYECCIÓN: UTM	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
FECHA: Diciembre 2013	SECCIÓN N°: 04
TESISTA: Victor Elver Guevara Cervera	

Figura 4-32: Valores de conductividad hidráulica por unidad hidrogeológica.



De las 38 pruebas de conductividad hidráulica realizadas durante las perforaciones y según la figura 2-2 se tiene:

La Unidad 1; representa un mínimo valor de 10^{-6} m/s y un máximo mayor a 10^{-3} m/s. Esta unidad representa una zona de moderada a alta permeabilidad, considerando esto clasificamos como un posible acuífero potencial.

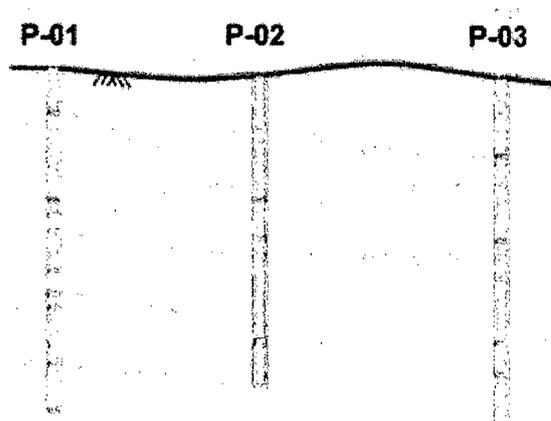
La Unidad 2; presenta en su valor máximo de conductividad hidráulica una zona con moderada permeabilidad, datos que clasifica a esta unidad como acuífero a acuitardo.

CONCLUSIONES

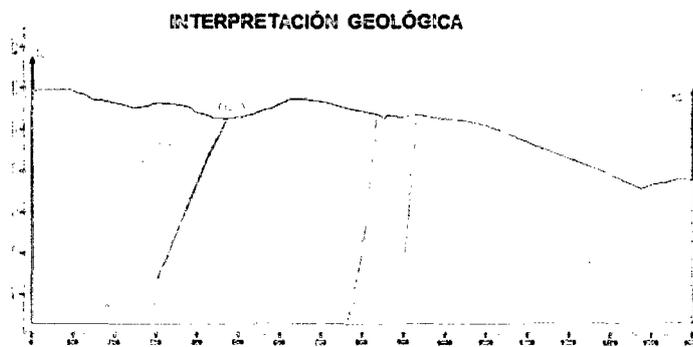
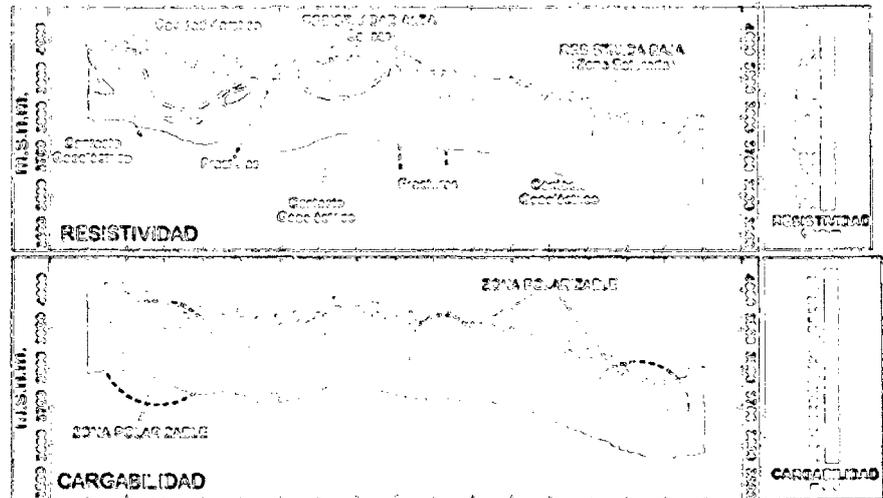
- ◆ Mediante la integración de toda la información analizada (geología e hidrogeología), se ha elaborado un Mapa Hidrogeológico de las **cuatro** principales unidades hidrogeológicas clasificadas en **acuíferos** y **acuitardos**.
- ◆ De acuerdo al análisis de la geología de los testigos de perforación y pruebas de permeabilidad (conductividad hidráulica), se concluye que la **Unidad Hidrogeológica 1** compuesta por calizas de la formación Yumagual constituyen fuentes de almacenamiento que conllevan a formar un buen acuífero, debido a que son permeables gracias a la red de fracturas y zonas meteorizadas ya que estas facilitan el almacenamiento de flujo.
- ◆ La dirección de flujo subterráneo en los Valle Tomas y Chorro Blanco son de S-N, debido a que en la parte superior de estos se presenta una contención provocada por intrusivos, margas y fallas.
- ◆ Según las secciones hidrogeológicas la conductividad hidráulica de las unidades de roca decrece con la profundidad.
- ◆ Se ha presentado una metodología para determinar unidades hidrogeológicas a través de características litológicas de testigos de perforación y valores de conductividad hidráulica.

RECOMENDACIONES

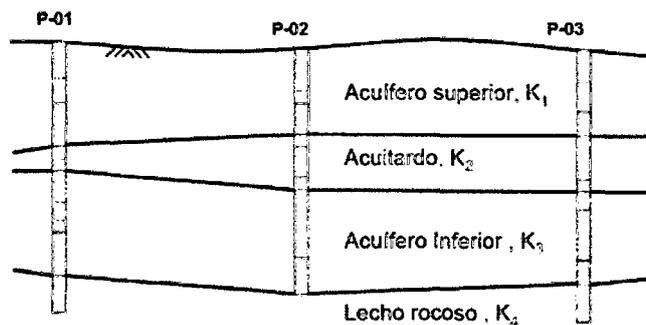
- ◆ Lo ideal para determinar unidades hidrogeológicas en el área de estudio sería una metodología basada en:
 - Desarrollo de una base de datos GIS; este consta de obtención de datos de campo, base de datos electrónica>integración GIS>desarrollo de modelo conceptual.
 - Registro de testigos de perforación; basado en la interpretación geológica (correlación de geologías similares interceptadas en cada perforación).



- Estudios de geofísica para complementar la geología existente y determinar la disposición litológica en profundidad.



- Pruebas hidráulicas (permeabilidad) en perforaciones diamantinas y/o pruebas de bombeo en perforaciones de mayor diámetro, con la finalidad de estimar la conductividad hidráulica.
- Relación de unidades mediante características litológicas y rango de conductividad hidráulica (K).



- Correlación de secciones geológicas e hidrogeológicas mediante; integración de parámetros hidráulicos, información geoelectrica y base de datos geológicos.

- ◆ Incrementar el número de perforaciones diamantinas para ejecutar un número mayor de pruebas de conductividad hidráulica y obtener así una mejor caracterización de las unidades hidrogeológicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. JÓZSEF TÓTH. "Gravitational systems of groundwater Flow". United States, 2009.
2. MONREAL, Rogelio; "Metodología para la definición de unidades hidroestratigraficas: Caso del acuífero del rio Yaqui". Sonora, México, 2011.
3. OCHOA PEÑA, Gerardo Jose. "Análisis y correlación entre el parámetro RQD y la permeabilidad"; Tesis para optar título de Ingeniero Geólogo. Caracas.U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísico; 156 pp. + anexos; 2009.
4. LUNA GONZALES, Laura; "Influencia de la estratigrafía y estructura geológica en el flujo de agua subterránea del Valle de Querétaro"; D.F. México, 2003.
5. MUÑOZ SANZ, Josefa; "Caracterización hidrogeológica del Acuífero de la aldea (Gran Canaria)"; Tesis doctoral. Las Palmas de Gran Canaria, 2005.
6. WATER MANAGEMENT CONSULTANTS; "Modelo de flujo de agua subterránea del área del Proyecto Cerro Corona". Lima-Perú; junio, 2006.
7. MACE , Robert; SMYTH, Rebeca; XU, Liying; LIANG, Jinhua; " Transmissivity of the Carrizo-Wilcox Acuifer in Texas"; Austin, Texas; January 199.
8. KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A; "Proyecto Cerro Corona- Investigación Geotécnica Deposito de Relaves"; Reporte Final; Diciembre del 2005.

9. WATER MANAGEMENT CONSULTANTS; “Caracterización hidrogeológica de línea base para proyecto de lixiviación de botadero ROM”; setiembre 200.
10. QUIÑONES ROSO, Camilo, P.E.¹; “Lugeon test interpretation, revisitd” ; 1993.
11. MIRANDA GOMEZ, Robinson Arturo; “Flujo a través del macizo rocoso de la margen izquierda de la fundación de la presa Porce II- Implicaciones de flujo en la seguridad de la presa”; maestría en Ingeniería- área Geotecnia; Universidad Nacional de Colombia, 2005.
12. ESPINOZA C.; “Tema 3C- Conductividad hidráulica mediante métodos geotécnicos”, semestre Otoño 2009, Chile.
13. CUSTODIO, E. “Hidrología Subterránea”. Omega 2da Edición. Vol. I, Barcelona, 1991.
14. ENGINEERING GEOLOGY FIELD MANUAL, U.S Department of the interior Bureau of Reclamation; second edition, Volume I, 1998.
15. PULIDO CARRILLO, J.L.; “Hidrogeología Practica”; primera edición en español, 1978.
16. FILI, Mari F, DIAZ L., Eduardo; “Modelo Hidrogeológico conceptual de la relación entre los acuíferos Pampeano y Puelche en un sector sur de la Provincia de Santa Fe. República Argentina”; Argentina, 1997.
17. ORTIZ RODRIGUEZ, Raul Esteban; “Estudio Hidrogeológico del Proyecto Minero Manantial Espejo- Provincia de Santa Cruz, Argentina”; Tesis para optar título de Ingeniero Geólogo; Lima, Perú 2005.
18. SANCHEZ SAN ROMAN, Francisco J. “Hidrología e Hidrogeología”; Ed. Dep. Geología. Uni. Salamanca. Salamanca, 2004.

ANEXOS

ANEXO A:

**MAPEO HIDROGEOLÓGICO E INVENTARIO
DE FUENTES DE AGUA**

Punto de Observación	Ubicación	Tipo	Coordenadas (PSAD 56)		Altitud msnm	Caudal (L/s)	pH	CE (μ S/cm)	Temp (°C)	COMENTARIOS
			Norte (m)	Este (m)						
CC-01	Riolita	Filtración	9252770	761490	3760	< 0.01	7.41	612	12.7	Filtración, en depósitos cuaternarios (Dep. Coluviales?), a la margen izquierda de carretera Cantera Riolita - Tingo, vegetación moderada, suelo orgánico 0.30m.
CC-02	Riolita	Filtración	9252785	761773	3775	0.20	7.12	221	16.8	Filtraciones, a 50m de la casa Sra. Angela Gallardo, vegetación (pastos), suelo 0.40m aprox. Agua clara.
CC-03	Riolita	Bofedal	9252780	761856	3785	-	7.80	250	18.3	Bofedal a 100m de casa Sra. Angela Gallardo, vegetación, suelo orgánico de 0.50 m, presencia de calizas, parte baja de cerro facilidades.
M-01	Riolita	Manantial	9252712	761643	3803	0.18	7.92	245	11.0	Manantial en roca caliza oxidada, junto a quinuales, vegetación de altura, agua clara.
M-02	Riolita	Manantial	9252710	761622	3802	0.28	6.83	230	10.9	Manantial en roca caliza, vegetación de altura, suelo orgánico 0.50m, agua clara.
CC-07	Riolita	Filtración	9252790	761600	3790	0.1	7.70	188	11.6	Filtraciones a 30m de ptos. M-01 y M-02. suelo orgánico 0.80m aprox.
CC-04	Riolita	Boca mina	9252770	761448	3760	-	1.43	2250	10.1	Filtraciones en socavón a la margen izquierda de carretera Cantera Riolita - comunidad El Tingo. Labor subterránea de 2 m x 1.50 m
CC-05	Riolita	Filtración	9252781	761418	3754	0.15	6.58	1186	12.4	Filtraciones en material de relleno, a la margen izquierda de carretera hacia la comunidad El Tingo.
M-03	Riolita	Manantial	9252800	761449	3751	< 0.01	7.47	1475	10.9	Manantial en roca caliza y material de relleno, a la margen derecha de carretera hacia comunidad El Tingo.
M-04	Riolita	Manantial	9252872	761368	3710	0.5	6.98	1241	12.1	Manantial, junto a carretera hacia la comunidad El Tingo, roca volcánica oxidada, vegetación moderada.
CC-06	Riolita	Filtración	9252800	761217	3725	-	4.29	1324	11.4	Filtraciones, parte baja cantera Riolita en flanco derecho, roca volcánica oxidada. Agua proveniente entre roca y material de relleno.
M-05	Riolita	Manantial	9252707	761086	3732	1.26	6.05	77	10.3	Manantial, parte baja cantera riolita en flanco derecho con vista hacia comunidad El Tingo, roca volcánica, abundante vegetación, suelo orgánico 0.30m. Agua clara.
M-06	Valle Tomas	Manantial	9251394	759664	3862	0.1	7.6	324	11.82	Manantial, flujo permanente agua clara, suelo orgánico 0.5m vegetación y pastos. Roca caliza gris oscura, fuertemente fracturada.
M-07	Valle Tomas	Manantial	9251603	759854	3794	0.02	8.0	381	10.725	Manantial, poco flujo, caliza, suelo orgánico 0.5m, fuerte vegetación, nacimiento de arroyo.
M-08	Valle Tomas	Manantial	9251694	759875	3780	2.7	7.6	300	12.7	Manantial ubicado en el Valle Tomas, flujo regular.
CC-08	Valle Tomas	Captación	9252110	760079	3774	37	7.7	159	12.275	Arroyo receptor de drenaje de flujos provenientes de Vira Vira.
M-09	Valle Chorro Blanco	Manantial	9251450	760983	3793	0.8	6.4	723	12.275	Ubicado en Valle Chorro Blanco, presenta fuerte oxidación, roca caliza.

Unidad: **Proyecto Cerro Corona**

Punto de Observación N°: **CC-02** Muestra: **-** Tipo: **Filtraciones**

Régimen de Flujo: Estacional Permanente

Fecha: **06/03/2011** Hora: **15:00**

Mapeado por: **V. Guevara** Coordenadas: Norte **9,252,785**
Este **761,773**

Ubicación: **Riolita** Cota (msnm): **3,775**

Distrito: **Hualgayoc**

Provincia: **Hualgayoc** Zona **17S**

Departamento: **Cajamarca** Proyección **PSAD 56**

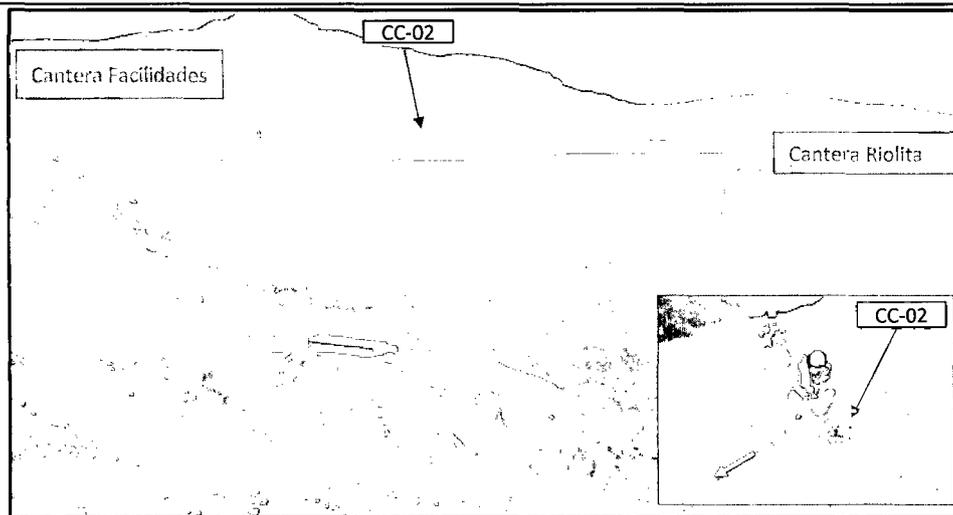
FLUJO Y CALIDAD DE AGUA					
Caudal (l/s)	pH	CE (µs/cm)	Temp (°C)	OD (mg/l)	HCO3 (mg/l)
0.2	7.12	221	16.8	-	-

Usos: Agrícola y animal

Ubicación: Flanco Norte de Cantera Facilidades, a 50m de casa de la Sra. Angela Gallardo.

Observaciones: Filtraciones, a 50m de la casa Sra. Angela Gallardo, vegetación (pastos), suelo 0.40m aprox. Agua clara.

Flujo al Norte, hacia el Río Tingo



Punto CC-02. Vista al SW

← Sentido de Flujo
 - - - - - Filtraciones

Unidad: **Proyecto Cerro Corona**

Punto de Observación N°: **M-01** Muestra: - Tipo: **Manantial**

Régimen de Flujo: Estacional Permanente

Fecha: **06/03/2011** Hora: **15:25**

Mapeado por: **V. Guevara** Coordenadas: Norte **9'252,712**
 Este **761,643**
 Cota (msnm): **3,803**

Ubicación: **Riolita**
 Distrito: **Hualgayoc**
 Provincia: **Hualgayoc** Zona **17S**
 Departamento: **Cajamarca** Proyección **PSAD 56**

FLUJO Y CALIDAD DE AGUA					
Caudal (l/s)	pH	CE (µs/cm)	Temp (°C)	OD (mg/l)	HCO3 (mg/l)
0.18	7.92	245	11.0	-	-

Usos: Humano, agrícola y animal

Ubicación: Al norte de Facilidades y Riolita

Observaciones: Manantial en roca caliza oxidada, junto a quinuales, vegetacion de altura, agua clara.
Flujo al Norte, hacia el Río Tingo



Punto M-01. Vista al SW

← Sentido de Flujo
 - - - - - Manantial

Unidad: **Proyecto Cerro Corona**

Punto de Observación N°: **CC-04** Muestra: - Tipo: **Filtración**

Régimen de Flujo: Estacional Permanente

Fecha: **06/03/2011** Hora: **16:10**

Mapeado por: **V. Guevara** Coordenadas: Norte **9'252,770**
 Este **761,448**
 Cota (msnm): **3,760**

Ubicación: **Riolita**
 Distrito: **Hualgayoc**
 Provincia: **Hualgayoc** Zona **17S**
 Departamento: **Cajamarca** Proyección **PSAD 56**

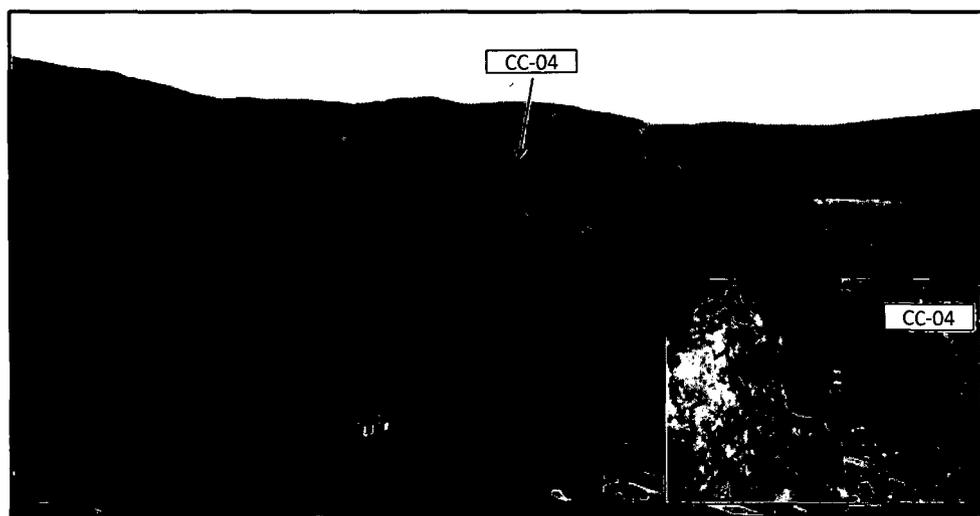
FLUJO Y CALIDAD DE AGUA					
Caudal (l/s)	pH	CE (µs/cm)	Temp (°C)	OD (mg/l)	HCO3 (mg/l)
-	1.43	2250	10.1	-	-

Usos: Ninguno

Ubicación: Norte de Cantera Riolita

Observaciones: Filtraciones en socavon a la margen izquierda de carretera Cantera Riolita - comunidad El Tingo. Labor subterránea de 2 m x 1.50 m.

Flujo hacia el Río Tingo



Punto CC-04. Vista al W

----- Filtraciones

Unidad: **Proyecto Cerro Corona**

Punto de Observación N°: **M-03** Muestra: - Tipo: **Manantial**

Régimen de Flujo: Estacional Permanente

Fecha: **06/03/2011** Hora: **16:30**

Mapeado por: **V. Guevara** Coordenadas: Norte **9°25,800**
Este **761,449**
Cota (msnm): **3,751**

Ubicación: **Riolita**
Distrito: **Hualgayoc**
Provincia: **Hualgayoc** Zona **17S**
Departamento: **Cajamarca** Proyección **PSAD 56**

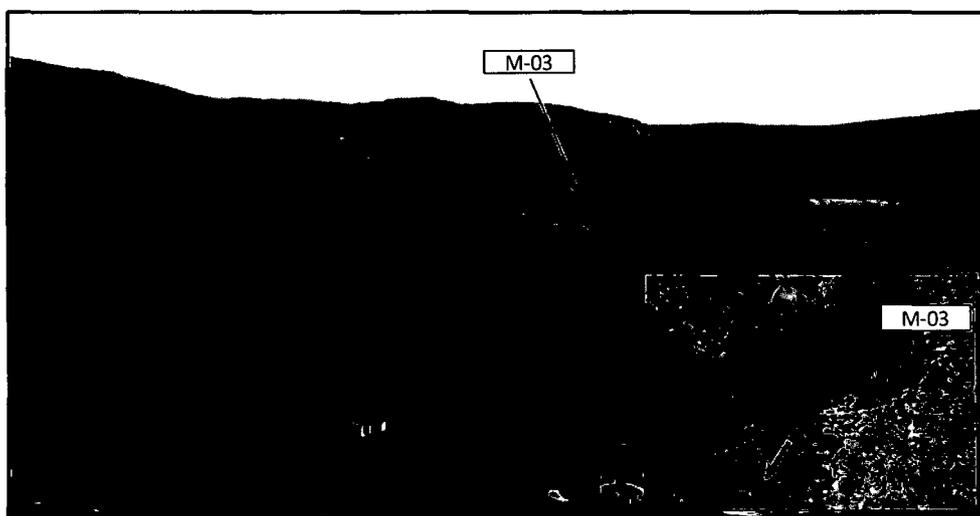
FLUJO Y CALIDAD DE AGUA					
Caudal (l/s)	pH	CE (µs/cm)	Temp (°C)	OD (mg/l)	HCO3 (mg/l)
< 0.01	7.47	1475	10.9	-	-

Usos: Ninguno

Ubicación: Parte norte de Cantera Riolita

Observaciones: Manantial en roca caliza y material de relleno, a la margen derecha de carretera hacia comunidad El Tingo.

Flujo hacia el Río Tingo



Punto M-03. Vista al W

← Sentido de Flujo
----- Manantial

Unidad: **Proyecto Cerro Corona**

Punto de Observación N°: **CC-06** Muestra: - Tipo: **Filtración**

Régimen de Flujo: Estacional Permanente

Fecha: **06/03/2011** Hora: **17:15**

Mapeado por: **V. Guevara** Coordenadas: Norte **9'252,800**
Este **761,217**
Cota (msnm): **3,725**

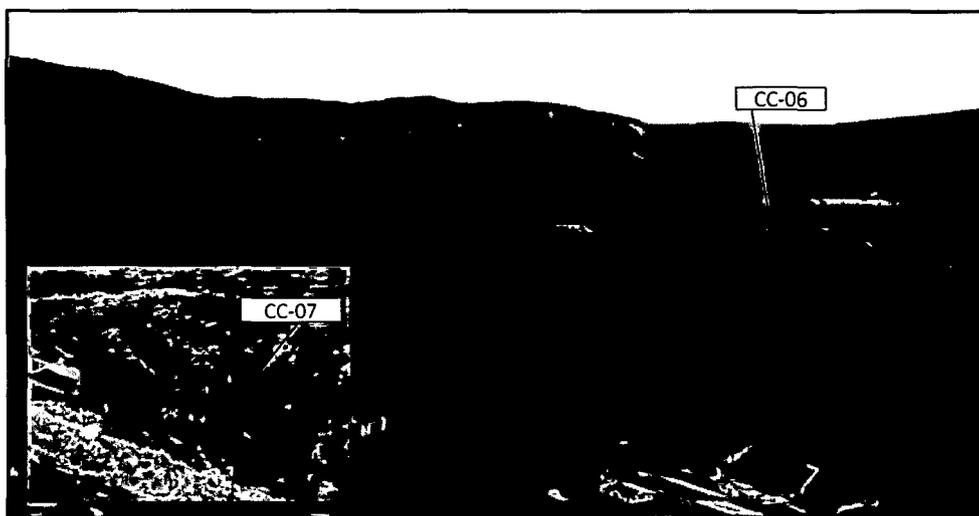
Ubicación: **Riolita**
Distrito: **Hualgayoc**
Provincia: **Hualgayoc** Zona **17S**
Departamento: **Cajamarca** Proyección **PSAD 56**

FLUJO Y CALIDAD DE AGUA					
Caudal (l/s)	pH	CE (µs/cm)	Temp (°C)	OD (mg/l)	HCO3 (mg/l)
-	4.29	1324	11.4	-	-

Usos: Ninguno

Ubicación: Parte Norte de Cantera Riolita

Observaciones: Filtraciones, parte baja cantera Riolita en flanco derecho, roca volcanica oxidada. Agua proveniente entre roca y material de relleno junto a carretera.



Punto CC-06. Vista al W

----- Filtración

Unidad: **Proyecto Cerro Corona**

Punto de Observación N°: **CC-07** Muestra: **-** Tipo: **Filtración**

Régimen de Flujo: Estacional Permanente

Fecha: **06/03/2011** Hora: **15:48**

Mapeado por: **V. Guevara** Coordenadas: Norte **9°252,790**
 Este **761,600**

Ubicación: **Riolita** Cota (msnm): **3,790**

Distrito: **Hualgayoc**

Provincia: **Hualgayoc** Zona **17S**

Departamento: **Cajamarca** Proyección **PSAD 56**

FLUJO Y CALIDAD DE AGUA					
Caudal (l/s)	pH	CE (µs/cm)	Temp (°C)	OD (mg/l)	HCO3 (mg/l)
0.1	7.7	188	11.6	-	-

Usos: Agrícola y animal

Ubicación: Norte de Cantera Riolita

Observaciones: Filtraciones a 30m de ptos. M-01 y M-02. suelo organico 0.80m aprox.



Punto CC-07. Vista al SW

← Sentido de Flujo
 ----- Filtraciones

ANEXO B:

LOGUEO DE TESTIGOS DE PERFORACIÓN



PROYECTO: Cerro Corona

ROCK CORE LOGGING FORM

BOREHOLE N°:

H-01

SHEET N°: 1 de 2

CONTRACTOR INFORMATION and BOREHOLE INFORMATION table with fields for Company, North, Inclination, Bit Type, etc.

Main data table with columns: From, To, Recovery (%), RQD (%), Weathering Index, Strength Index, Lithology Symbol, Geological Description, Discontinuity Data, K (cm/s), Comments, WELL DETAILS (Piezometer).

Legend table defining symbols and abbreviations for Discontinuity Width, Type of Infilling, Amount of Infilling, Surface Shape, Roughness of Surface, Discontinuity Spacing, Weathering Index, and Rock Strength Index.



PROYECTO: Cerro Corona

ROCK CORE LOGGING FORM

BOREHOLE N°:

H-01

SHEET N°: 2 de 2

CONTRACTOR INFORMATION

BOREHOLE INFORMATION

Table with contractor and borehole details including company name, location, dates, and personnel.

CORE RECOVERY DATA

DISCONTINUITY DATA

K (cm/s)

Main data table with columns for From/To, Recovery, RQD, Weathering, Strength, Lithology, Geological Description, Discontinuity, and Permeability (K).

WELL DETAILS (Piezometer)

Legend table defining abbreviations for geological features, lithology, discontinuities, and weathering indices.



PROYECTO: Cerro Corona

ROCK CORE LOGGING FORM

BOREHOLE Nº:

F-01

SHEET Nº: 1 de 3

CONTRACTOR INFORMATION and BOREHOLE INFORMATION table with fields for Company, North, Inclination, Bit Type, etc.

Main data table with columns for CORE RECOVERY DATA, DISCONTINUITY DATA, K (cm/s), and COMMENTS. Includes geological descriptions and recovery percentages.

Legend table defining symbols and abbreviations used in the main table, such as Fracture types, Discontinuity shapes, and Rock Strength Index.



PROYECTO: Cerro Corona

ROCK CORE LOGGING FORM

BOREHOLE Nº:

F-01

SHEET Nº: 2 de 3

CONTRACTOR INFORMATION and BOREHOLE INFORMATION table with fields for Company, North, East, Elevation, Azimuth, Inclinación, Location, Drilling Rig, Drilling Method, Bit Type, Casing Depth, Depth Total, Core Diameter, Pipe Diameter, Stick up, Start Date, Finish Date, Reviewed by, Approved by, and Logged by.

Main data table with columns: From, To, Recovery (%), ROD (%), Weathering Index, Strength Index, Lithology Symbol, Geology Formation, Geological Description, Fractures/m, Dip (Core axis), Type of Disc., Width, Type of Infilling, Amount of Infilling, Surface Shape, Roughness (1E-07 to 1E-01), K (cm/s), Comments, and WELL DETAILS (Piezometer).

Legend table defining symbols and abbreviations for Discontinuity Width, Type of Infilling, Amount of Infilling, Surface Shape, Roughness of Surface, Discontinuity Spacing, Weathering Index, and Rock Strength Index.



PROYECTO: Cerro Corona

ROCK CORE LOGGING FORM

BOREHOLE Nº:

F-01

SHEET Nº: 3 de 3

CONTRACTOR INFORMATION and BOREHOLE INFORMATION table with fields for Company, North, East, Elevation, Azimuth, Inclinación, Location, Drilling Rig, Drilling Method, Bit Type, Pipe Diameter, Casing Depth, Depth Total, Core Diameter, Start Date, Finish Date, Reviewed by, Approved by, and Logged by.

Main CORE RECOVERY DATA table with columns for From/To, Recovery (%), RQD (%), Weathering Index, Strength Index, Lithology Symbol, Geological Description, Discontinuity Data (Fractures/m, Dip, Type, Width, etc.), K (cm/s), Comments, and WELL DETAILS (Piezometer).

Legend table defining symbols and abbreviations for Discontinuity Width, Type of Infilling, Surface Shapes, Roughness of Surface, Discontinuity Spacing, Weathering Index, and Rock Strength Index.

Ubicación: Riolita		Plataforma de perforación: -			Perforación:	R-01
N: 9'252,588	E: 761,172	Empresa: RUEN DRILLING PERÚ			Pag. 1 de 4	
Elev. Terreno (msnm): 3,812	Perforista: Teófilo León / Josue Quispe		Geólogo: V. Guevara			
Elev. fondo (msnm): 3,711.85		Diametro del Pozo: HQ		Nivel del Agua (m): 77.80 m (I), 31.50 m (II)		
Prof. Total (m): 100.15		Diametro Tubería (mm): 57.2		Fecha Inicial: 18-Jan-11		
Inclinación: 90°		Dirección: 0°		Fecha final: 21-Jan-11		
Método de perforación: DDH		Prof. Casing (m): 1.00				

Profundidad (m)	DE	A	Perforado (m)	Recuperado (m)	Recuperación (%)	Frag. >10 cm	RQD (%)	Fracturas / m	Descripción de la Discontinuidad	Instalación Plezómetro		Registro Grafico	Prof (m)	Descripción Geológica	Comentarios	Permeabilidad (cm/s)	Tipo de Ensayo (LU / LE)
										Registro Gráfico	Prof (m)						
0	0.00	0.70	0.70	0.40	57.14	0.00	0.00	-	0.36 m, 80°, j, n (cl, sd), pa, pl, sr			✓	0.00	Roca volcánica (Riolita), color gris clara, grano fino a medio, textura porfirítica, ligero fracturamiento, con óxidos y arcilla en fracturas. Roca dura. compuesto de plagioclasas (sanidina) en grandes dimensiones (< 10 cm), cuarzo, cloritas. Roca fresca. 0.00 - 7.90 m, ligera oxidación, ligera meteorización	15.25 m, nivel del agua = 5.10 m		
1	0.70	1.40	0.70	0.45	64.29	0.00	0.00	10	0.69 m, 15°, jmw (cl), pa, wa, r, c			✓					
2	1.40	2.60	1.20	1.10	91.67	0.50	41.67	8	2.82 m, 30°, j, vn, (ch, qz, cl), su, lr.			✓					
3	2.60	3.80	1.20	1.00	83.33	0.40	33.33	10	4.10 m, 70°, j, vn, (Cl), pa, pl, s, c			✓					
4	3.80	5.00	1.20	1.20	100.00	0.42	35.00	10	4.90 m, 30°, j, vn, sp, lr, r, c			✓					
5	5.00	5.20	0.20	0.20	100.00	0.00	0.00	14				✓					
6	5.20	6.35	1.15	1.15	100.00	0.29	25.22	14				✓					
7	6.35	7.90	1.55	1.50	96.77	0.53	34.19	20	6.35 m, 35°, j, n, cl, su, wa, sr, vc			✓					
8	7.90	9.40	1.50	1.50	100.00	1.15	76.67	4	7.80 m, 25°, j, fe, fi, pl, r			✓					
9	9.40	10.00	0.60	0.60	100.00	0.57	95.00	5	8.5 m, 20°, j, vn, (fe, cl), pa, pl, sr			✓					
10	10.00	11.45	1.45	1.45	100.00	1.21	83.45	8	10.90 m, 50°, j, w, (fe, cl), pa, pl, sr			✓					
11	11.45	12.95	1.50	1.50	100.00	1.12	74.67	2				✓					
12	12.95	14.45	1.50	1.48	98.67	1.07	71.33	6				✓					
13								5				✓					
14	14.45	15.25	0.80	0.80	100.00	0.56	70.00	5				✓					
15	15.25	15.45	0.20	0.20	100.00	0.20	100.00	1	15.05 m, 35°, j, n, (fe), pa, pl, sr			✓					
16	15.45	17.00	1.55	1.50	96.77	0.84	54.19	8	16.45 m, 15°, j, n, (fe), sp, lr, sr			✓					
17	17.00	18.55	1.55	1.58	101.94	1.53	98.71	6				✓					
18	18.55	20.00	1.45	1.45	100.00	0.85	58.62	8	18.65 m, 20°, j, n, (fe), pa, pl, sr			✓					
19								6	19.30 m, 35°, j, n, (fe, cl), sp, wa, sr			✓					
20	20.00	21.55	1.55	1.53	98.71	0.95	61.29	7				✓					
21	21.55	23.15	1.60	1.60	100.00	0.68	42.50	6	21.30 m, 30°, j, n, (fe, ch, cl), sp, wa, sr			✓					
22								5				✓					
23	23.15	24.70	1.55	1.55	100.00	1.09	70.32	5				✓					
24	24.70	26.15	1.45	1.43	98.62	1.28	88.28	5				✓					
25								5				✓					
26	26.15	27.65	1.50	1.50	100.00	1.09	72.67	5				✓					
27	27.65	29.20	1.55	1.48	95.48	0.89	57.42	>20	27.20 m, 20°, j, vn, (fe), pa, pl, sr			✓					
28								5				✓					
29	29.20	30.00	0.80	0.70	87.50	0.60	75.00	2				✓					

Ubicación: Riolita	Plataforma de perforación: -		Perforación:	R-01
N: 9'252,588	E: 761,172		Empresa: RUEN DRILLING PERÚ	
Elev. Terreno (msnm): 3,812	Perforista: Teófilo León / Josue Quispe		Pag. 2 de 4	
Elev. fondo (msnm): 3,711.85	Diametro del Pozo: HQ	Geólogo: V. Guevara		
Prof. Total (m): 100.15	Diametro Tubería (mm): 57.2	Nivel del Agua (m): 77.80 m (I), 31.50 m (II)		
Inclinación: 90°	Dirección: 0°	Stick Up (m): 0.6	Fecha inicial: 18-Jan-11	
Método de perforación: DDH	Prof. Casing (m): 0	Fecha final: 21-Jan-11		

Profundidad (m)	DE	A	Perforado (m)	Recuperado (m)	Recuperación (%)	Frag. >10 cm	RQD (%)	Fracturas / m	Descripción de la Discontinuidad	Instalación Piezómetro		Registro Grafico	Prof (m)	Descripción Geológica	Comentarios	Permeabilidad (cm/s)	Tipo de Ensayo (LU / LE)
										Registro Gráfico	Prof (m)						
30	30.00	31.25	1.25	1.25	100.00	0.56	44.80	5						Riolita (Cont)			
31	31.25	32.80	1.55	1.55	100.00	1.40	90.32	2	32.45 m, 40°, j, vn, (fe), sp, pl, sr								
32	32.80	33.85	1.05	1.03	98.10	0.99	94.29	3	32.93 m, 5°, j, vn, (fe), pa, lr, sr			33.53	✓	30.76 - 31.21 m, roca moderadamente fracturada			
33	33.85	34.55	0.70	0.68	97.14	0.53	75.71	5					✓				
34	34.55	35.95	1.40	1.40	100.00	1.30	92.86	5					✓				
35	35.95	37.25	1.30	1.30	100.00	1.06	81.54	2					✓				
36								2					✓				
37	37.25	38.50	1.25	1.23	98.40	1.11	88.80	13					✓				
38	38.50	40.00	1.50	1.45	96.67	1.34	89.33	5	38.50 m, 40°, v, vn, cl, sp, pl, sr			38.53	✓		40.00 m, nivel del agua = 18.40 m		
39								2					✓				
40	40.00	41.60	1.60	1.60	100.00	1.11	69.37	3					✓				
41	41.60	43.15	1.55	1.55	100.00	0.82	52.90	1	42.20 m, 20°, j, n, (fe, qz), fl, pl, sr				✓				
42								5					✓				
43	43.15	44.65	1.50	1.50	100.00	1.10	73.33	3	44.35 m, 35°, j, n, (fe, cl), su, pl, s				✓				
44	44.65	46.15	1.50	1.50	100.00	1.24	82.67	2					✓				
45								3					✓				
46	46.15	47.70	1.55	1.50	96.77	1.44	92.90	4				46.60	✓				
47	47.70	49.20	1.50	1.50	100.00	1.25	83.33	5	47.83 m, 30°, j, n, (fe, cl), pa, pl, sr				✓				
48								2					✓				
49	49.20	50.75	1.55	1.55	100.00	1.24	80.00	1	49.45 m, 60°, j, n, (fe), sp, pl, sr				✓		50.75 m, nivel del agua = 15.60 m		
50	50.75	52.25	1.50	1.50	100.00	1.19	79.33	5	51.95 m, 25°, j, n, (fe), pa, wa, sr				✓	51.95 - 52.25 m, moderadamente fracturado, con relleno de oxidos (débil)			
51								2					✓				
52	52.25	53.85	1.60	1.60	100.00	1.00	62.50	1					✓				
53	53.85	55.40	1.55	1.55	100.00	1.34	86.45	9					✓				
54								7					✓				
55	55.40	56.95	1.55	1.55	100.00	1.20	77.42	1					✓				
56								3					✓				
57	56.95	58.45	1.50	1.50	100.00	1.38	92.00	4					✓				
58	58.45	59.95	1.50	1.50	100.00	1.40	93.33	1					✓		59.95 m, nivel del agua = 15.30 m		
59	59.95	61.45	1.50	1.50	100.00	1.33	88.67	5					✓				



PROYECTO: Cerro Corona

ROCK CORE LOGGING FORM

BOREHOLE N°:

TC-01

SHEET N°: 1 de 2

CONTRACTOR INFORMATION and BOREHOLE INFORMATION table with fields for Company, Ruen Drilling Perú, North (m): 9251201, Inclination: -65, Bit Type: diamond, Pipe Diameter: 1.31.75 - II: 31.75, Reviewed by: E. Marín, etc.

Main data table with columns: From, To, Recovery (%), RQD (%), Weathering Index, Strength Index, Lithology Symbol, Geological Description, Discontinuity Data (Fractures/m, Dip/Core axis, Type of Disc., Width, Type of Infilling, Amount of Infilling, Surface Shape, Roughness), K (cm/s), Comments, WELL DETAILS (Piezometer).

Legend table defining symbols and abbreviations for Fault, Joint, Fracture, Shear, Vein, Discontinuity Width, Types of Infilling, Amount of Infilling, Surface Shape, Roughness of Surface, Discontinuity Spacing, Weathering Index, and Rock Strength Index.



PROYECTO: Cerro Corona

ROCK CORE LOGGING FORM

BOREHOLE Nº: TC-01

SHEET Nº: 2 de 2

CONTRACTOR INFORMATION and BOREHOLE INFORMATION header section containing company name, location, and drilling details.

Main data table with columns for CORE RECOVERY DATA, DISCONTINUITY DATA, Geographical Description, and K (cm/s). Includes lithology symbols and detailed fracture logs.

Legend table defining symbols for Discontinuity, Lithology, Surface Shape, Roughness, and Rock Strength Index.

ANEXO C:

**PRUEBAS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA
(PERMEABILIDAD)**

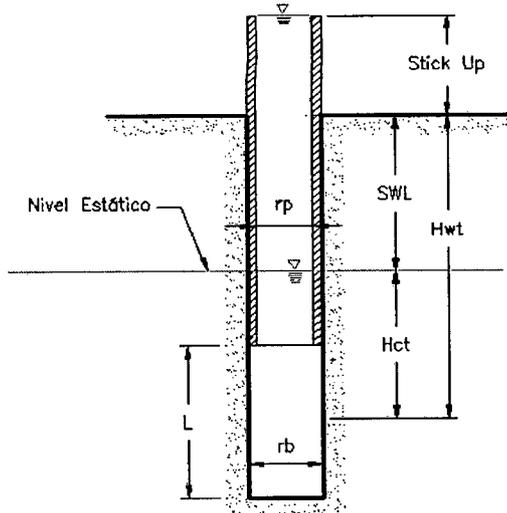


PRUEBA LEFRANC - CARGA CONSTANTE

Proyecto: <u>Cerro Corona</u>	Prof. de ensayo (m): <u>7.20</u>	a <u>15.50</u>	Sondeo N°: <u>F-01</u>
Area: <u>Facilidades</u>	Fecha: <u>22/5/2011</u>	Inicio: <u>2:30:00 AM</u>	Ensayo N°: <u>01</u>
Elevación (m): <u>3792</u>	Stick Up (m): <u>1.80</u>	Fin: <u>3:10:00</u>	Profundidad Total (m): <u>15.50</u>
Coordenadas: <u>E 762116 N 9252839</u>	Litología del tramo: <u>Caiza</u>		Supervisor: <u>VG</u>

DATOS DEL ENSAYO

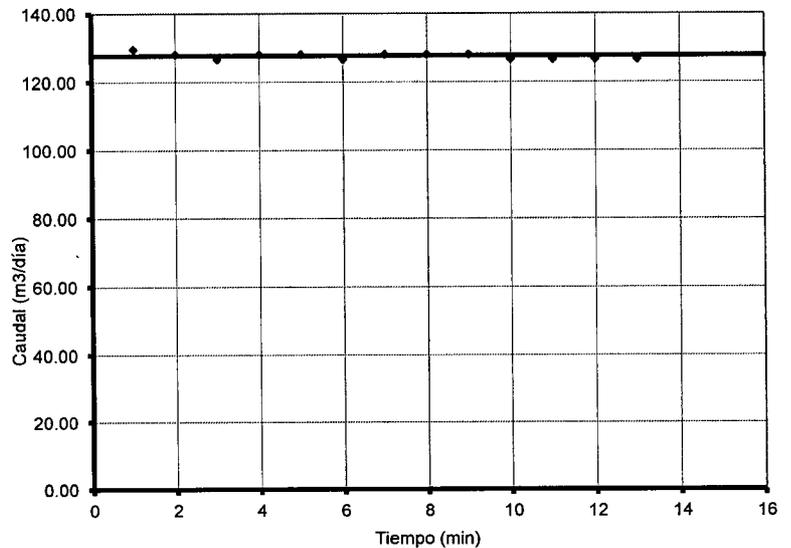
SWL : Profundidad del nivel estático	<u>6.94</u> m
rb : Radio del pozo	<u>0.048</u> m
rp : Radio de la tubería de descarga	<u>0.048</u> m
β : Inclinación respecto de la horizontal	<u>80 °</u>
Hwt : Columna de agua sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>4.63</u> m
Hct : Carga Hidrostática sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>0.00</u> m
SWL' : Profundidad del nivel estático (corregido)	<u>6.83</u> m
Hct' : Carga Hidrostática sobre punto medio de Intervalo (corregido)	<u>0.00</u> m
Hwt' : Columna de agua sobre el punto medio de Intervalo (corregido)	<u>4.56</u> m
L : Longitud del intervalo de prueba	<u>8.30</u> m
Lp : Longitud de la tubería de descarga	<u>9.00</u> m
R : Radio de Influencia	<u>8.30</u> m



MEDIDAS REALIZADAS

t (min)	Lecturas	Q(l/min)	Q(m³/día)
0	100.000	-	-
1	190.000	90.00	129.60
2	279.000	89.00	128.16
3	367.000	88.00	126.72
4	456.000	89.00	128.16
5	545.000	89.00	128.16
6	633.000	88.00	126.72
7	722.000	89.00	128.16
8	811.000	89.00	128.16
9	900.000	89.00	128.16
10	988.000	88.00	126.72
11	1076.000	88.00	126.72
12	1164.000	88.00	126.72
13	1252.000	88.00	126.72
14			
15			
16			
17			
18			
19			

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Fórmulas:

$$hf = 1.541e-8 * Lp(Q/140)^{1.85} / rp^{4.8655}$$

$$H_{nit} = (Hwt' - Hct' - Hf + Stick\ Up)$$

Qp : Caudal promedio	<u>88.73</u> L/min
Qp : Caudal promedio	<u>127.77</u> m³/día
Hf : Perdida de carga por fricción	<u>0.01</u> m
Hnit : Carga Neta sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>6.35</u> m
K : Conductividad Hidráulica	<u>1.99E+00</u> m/día
K : Conductividad Hidráulica	<u>2.30E-03</u> cm/s

Notas:

1. El nivel se debe mantener constante en el tope del stick up

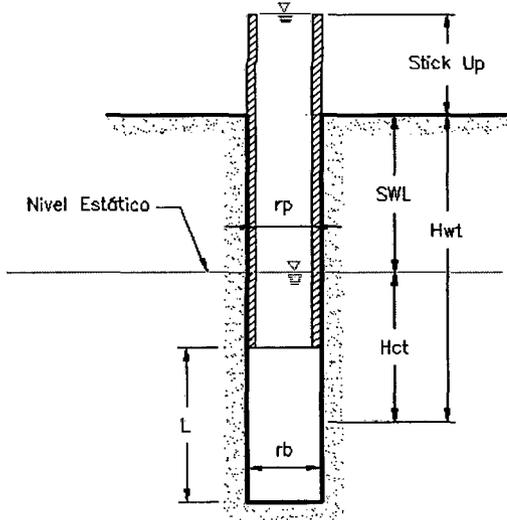
COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

PERMEABILIDAD MODERADA



PRUEBA LEFRANC - CARGA CONSTANTE

Proyecto: <u>Cerro Corona</u>	Prof. de ensayo (m): <u>28.60</u>	a: <u>38.50</u>	Sondeo N°: <u>F-01</u>
Area: <u>Facilidades</u>	Fecha: <u>23/5/2011</u>	Inicio: <u>5:25 PM</u>	Ensayo N°: <u>02</u>
Elevación (m): <u>3792</u>	Stick Up (m): <u>2.40</u>	Fin: <u>18:05:00</u>	Profundidad Total (m): <u>38.50</u>
Coordenadas: <u>762116 E 9252839 N</u>	Litología del tramo: <u>Caliza</u>		Supervisor: <u>VG</u>



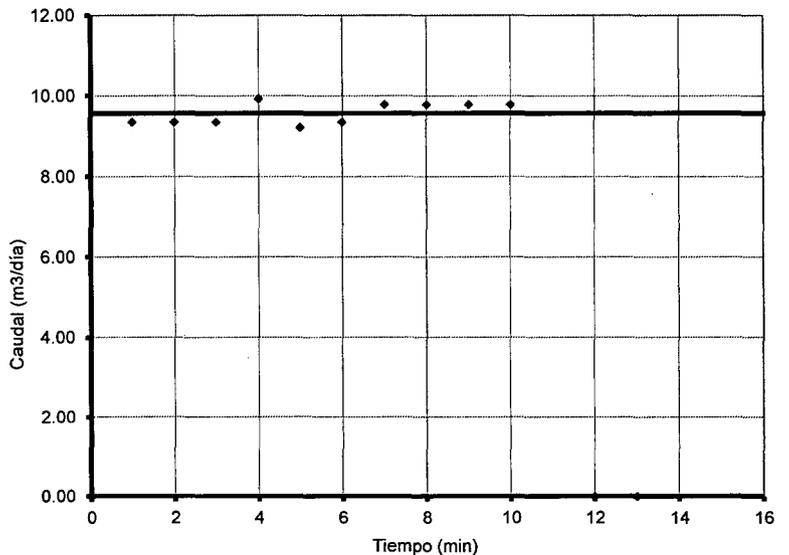
DATOS DEL ENSAYO

SWL : Profundidad del nivel estático	<u>27.49 m</u>
rb : Radio del pozo	<u>0.048 m</u>
rp : Radio de la tubería de descarga	<u>0.013 m</u>
β : Inclinación respecto de la horizontal	<u>80 °</u>
Hwt : Columna de agua sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>28.15 m</u>
Hct : Carga Hidrostática sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>0.66 m</u>
SWL' : Profundidad del nivel estático (corregido)	<u>27.07 m</u>
Hct' : Carga Hidrostática sobre punto medio de Intervalo (corregido)	<u>0.65 m</u>
Hwt' : Columna de agua sobre el punto medio de Intervalo (corregido)	<u>27.72 m</u>
L : Longitud del intervalo de prueba	<u>9.90 m</u>
Lp : Longitud de la tubería de descarga	<u>31.00 m</u>
R : Radio de Influencia	<u>9.90 m</u>

MEDIDAS REALIZADAS

t (min)	Lecturas	Q(l/min)	Q(m³/día)
0	47.200	-	-
1	53.700	6.50	9.36
2	60.200	6.50	9.36
3	66.700	6.50	9.36
4	73.600	6.90	9.94
5	80.000	6.40	9.22
6	86.500	6.50	9.36
7	93.300	6.80	9.79
8	100.100	6.80	9.79
9	106.900	6.80	9.79
10	113.700	6.80	9.79
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Fórmulas:

$$hf = 1.541e-8 * Lp(Q/140)^{1.85} / rp^{4.8655}$$

$$H_{nit} = (Hwt' - Hct' - hf + Stick Up)$$

Notas:

1. El nivel se debe mantener constante en el tope del stick up

Qp : Caudal promedio	<u>6.65 L/min</u>
Qp : Caudal promedio	<u>9.58 m³/día</u>
Hf : Perdida de carga por fricción	<u>0.11 m</u>
Hnit : Carga Neta sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>29.37 m</u>
K : Conductividad Hidraulica	<u>2.79E-02 m/día</u>
K : Conductividad Hidraulica	<u>3.23E-05 cm/s</u>

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

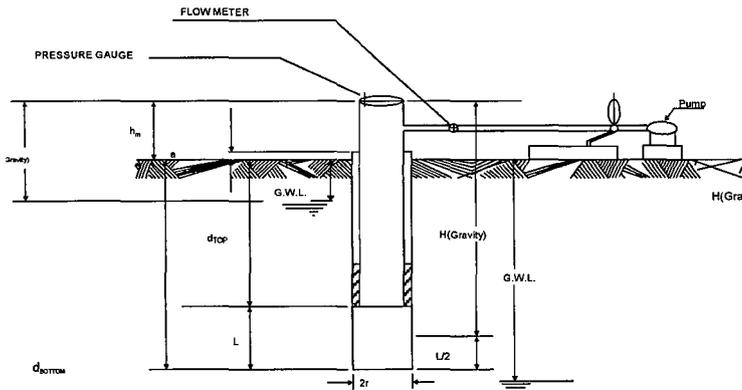
PERMEABILIDAD BAJA



PRUEBA CON OBTURADOR

F-01

OBJECT:	Cerro Corona	DEPTH OF THE TEST FROM:	68.60 to 79.50 m.	TEST NUMBER:	03
Address:	Facilidades	DATE:	May 25, 2011	1.Hour: 05:00	E. Hour: 06:00
Supervisor:	VG	AZIMUTH: -	Water Level: 33.97		



h_m	=	Height of the Gauge Pressure	2.30	m.
a	=	Height above of the surface	2.20	m.
G.W.L.	=	Ground Water Level	33.97	m.
$H_{(Gravity)}$	=	Distance from ground-water level to swivel	76.35	m.
d_{top}	=	Depth from ground surface to top of testing zone	68.60	m.
d_{bottom}	=	Depth from ground surface to bottom of testing zone	79.50	m.
α	=	Inclination with the horizontal	80	deg
$H(Gravity)$ corrected	=	$SIN \alpha \times H(Gravity)$	75.19	m.
L	=	Length of the portion of the hole tested	10.90	m.
$2r$	=	Two times the radius of hole tested	9.60	cm.
P_M	=	Gauge Pressure	220	psi
Δp	=	Head Loss		
q	=	Volume in liters during the test		

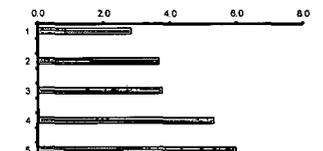
$$K = \frac{Q}{(2\pi LH)} \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

Time (min)	P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 7.50		P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 10.00		P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 15.00		P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 10.00		P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 7.50	
	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)
0	140.689		140.714		140.75500		140.811		140.885	
1	140.693	3.6	140.720	6.3	140.76560	10.6	140.821	9.7	140.874	9.2
2	140.697	4.0	140.727	6.7	140.77610	10.5	140.831	9.8	140.883	8.9
3	140.701	4.1	140.734	7.0	140.78660	10.5	140.841	10.0	140.891	8.0
4	140.705	4.3	140.742	7.5	140.79740	10.8	140.851	10.3	140.899	7.6
5		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0
6		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0
7		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0
8		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0
9		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0
10		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0
Sum of q (l) =		16.0	27.5		42.4		39.8		33.7	
Average q(l) from raw data=Q(l/min) =		1.60	2.75		4.24		3.98		3.37	
Average q(l) from raw data=Q (m ³ /sec) =		2.67E-05	4.58E-05		7.07E-05		6.63E-05		5.62E-05	
H (psi) =		114.27	116.77		121.77		116.77		114.27	
Differential Head of Water = H (m) =		80.47	82.23		85.75		82.23		80.47	
Permeability = K(cm/s) =		2.625E-06	4.415E-06		6.528E-06		6.390E-06		5.529E-06	
Lugeon =		2.8	3.7		3.8		5.3		6.0	

$$K \text{ (cm/s)}$$



Lugeons



$$K = 5.529E-06 \text{ cm/s}$$

Lugeon: 6.0

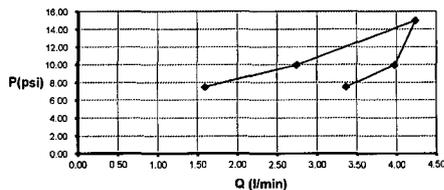
Type of flow: Ereslon

$$K_H = \frac{Q}{2\pi L H} \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

For $L \geq 10 r$

Lugeon = (liters / m / min) x (10 / pressure (bars))

Graphic P vs. Q



Notes & Observations:

References:

"Design of Small Dams," Bureau of Reclamation, Third edition, 1987, pg. 17;

"Construction and Design of Cement Grouting," A.C. Houlsby

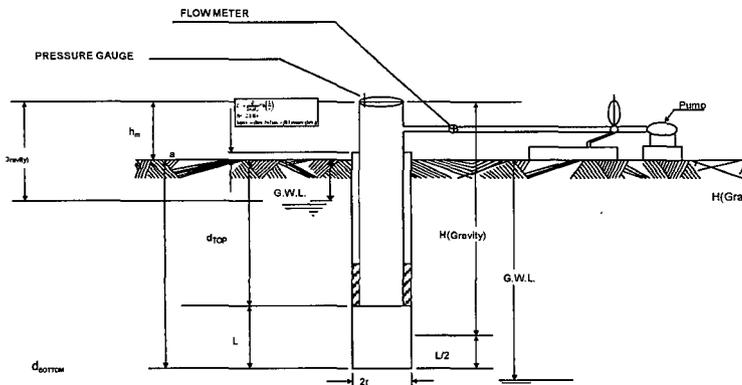
Permeability Interpretation:



PRUEBA DE OBTURADOR

F-01

SUBJECT: <u>Cerro Corona</u> a: <u>Facilidades</u> supervisor: <u>VG</u>	DEPTH OF THE TEST FROM: <u>101.30</u> to <u>120.50</u> m. DATE: <u>May 27, 2011</u> I.Hour: <u>09:30</u> E. Hour: <u>10:30</u> AZIMUTH: - <u>Water Level: 50.52</u>	TEST NUMBER: 04
--	---	------------------------



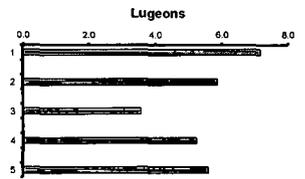
h_m	=	Height of the Gauge Pressure	<u>2.40</u>	m.
a	=	Height above of the surface	<u>2.30</u>	m.
G.W.L.	=	Ground Water Level	<u>50.52</u>	m.
$H_{(Gravim)}$	=	Distance from ground-water level to swivel	<u>113.30</u>	m.
d_{top}	=	Depth from ground surface to top of testing zone	<u>101.30</u>	m.
d_{bottom}	=	Depth from ground surface to bottom of testing zone	<u>120.50</u>	m.
α	=	Inclination with the horizontal	<u>80</u>	deg
$H(Gravim)$ corrected	=	$SIN \alpha \times H(Gravim)$	<u>111.58</u>	m.
L	=	Length of the portion of the hole tested	<u>19.20</u>	m.
$2r$	=	Two times the radius of hole tested	<u>9.60</u>	cm.
P_M	=	Gauge Pressure	<u>250</u>	psi
Δp	=	Head Loss		
q	=	Volume in liters during the test		

$$K = \frac{Q}{(2aLH)} \ln(L/r)$$

K (cm/s)



Lugeons



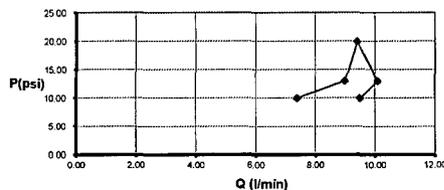
K : 6.198E-06 cm/s

Lugeon: 3.6

Type of flow: Turbulento

Time (min)	P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 10.00		P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 13.00		P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 20.00		P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 13.00		P_M = Surface Gauge Pressure (psi) = 10.00	
	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading q(l)
0	142.637		142.780		142.91700		143.041		143.134	
1	142.847	10.0	142.791	11.0	142.92750	10.5	143.051	10.0	143.144	10.0
2	142.657	10.0	142.802	11.0	142.93800	10.5	143.061	10.0	143.152	8.0
3	142.667	10.0	142.813	11.0	142.94850	10.5	143.071	10.0	143.160	8.0
4	142.677	10.0	142.825	12.0	142.95900	10.5	143.081	10.0	143.168	8.0
5	142.687	0.0	142.837	0.0	142.96950	0.0	143.089	0.0	143.176	0.0
6	142.698	11.0	142.849	12.0	142.98000	10.5	143.099	10.0	143.184	8.0
7	142.709	11.0	142.860	11.0	142.99050	10.5	143.109	10.0	143.192	8.0
8	142.720	11.0	142.871	11.0	143.00100	10.5	143.119	10.0	143.200	8.0
9	142.731	11.0	142.882	11.0	143.01150	10.5	143.129	10.0	143.208	8.0
10	142.742	11.0	142.893	11.0	143.02160	10.1	143.139	10.0	143.216	8.0
Sum of q (l) =	95.0		101.0		94.1		90.0		74.0	
Average q(l) from raw data=Q(l/min) =	9.50		10.10		9.41		9.00		7.40	
Average q(l) from raw data=Q (m ³ /sec) =	1.58E-04		1.68E-04		1.57E-04		1.50E-04		1.23E-04	
H (psi) =	168.44		171.44		178.44		171.44		168.44	
Differential Head of Water = H (m) =	118.62		120.73		125.66		120.73		118.62	
Permeability = K (cm/s) =	6.829E-06		6.925E-06		6.189E-06		6.170E-06		5.164E-06	
Lugeon =	7.2		5.9		3.6		5.2		5.6	

Graphic P vs. Q



Notes & Observations:

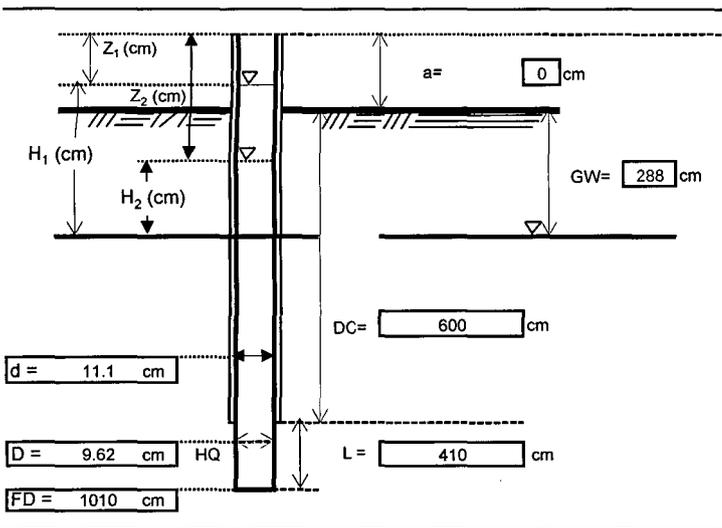
References:

- "Design of Small Dams," Bureau of Reclamation, Third edition, 1987, pg. 17;
- "Construction and Design of Cement Grouting," A.C. Hously

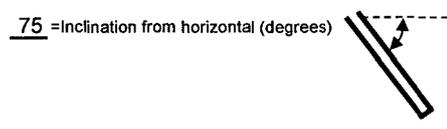
Permeability Interpretation:

PRUEBA LEFRANC- CARGA VARIABLE

PROJECT: Cerro Corona **LENGTH OF TEST:** From 6.00 to 10.10 m. **HOLE N°:** H-01
LOCATION: Valle La Hierba **DATE:** 25-jun-11 **TEST N°:** 01
ALTITUDE: 3727 **COORDINATES:** E. 759674 / N: 9252252 **LITHOLOGY:** Brecha Volcanica



- Z₁ = Initial depth of the water inside of casing
- Z₂ = Final depth of the water inside of casing
- a = Height of casing above the ground
- GW = Initial level of water before the test
- DC = Depth of casing
- L = Length of the test
- D = diameter of the testhole
- d = diameter of casing
- FD = Final depth of the test
- H₁ = Initial Gravity Head
- H₂ = Final Gravity Head
- m = $\sqrt{(kh/kv)}$ => A measure of anisotropic conditions



FALLING HEAD				
t (min)	Zn(cm)	H (cm)	m values	K(cm/s)
0	0.00	278.19		
1	1.20	277.03	1	1.16E-05
3	3.60	274.71	1	1.17E-05
5	5.70	272.68	1	1.03E-05
7	8.20	270.27	1	1.24E-05
10	10.80	267.75	1	8.66E-06
13	14.00	264.66	1	1.08E-05
15	16.00	262.73	1	1.02E-05
20	20.90	258.00	1	1.01E-05
25	25.90	253.17	1	1.05E-05
Average			1	1.07E-05

Important Note:
 The Gravity Head is based on the initial groundwater depth. There are 2 possible conditions:

First, the groundwater is above the center of the test zone, L.
 $H_1 = GW + a - Z_1$
 $H_2 = GW + a - Z_2$

Second, the groundwater hasn't been found or is below the center of the test zone, L
 $H_1 = L/2 + DC + a - Z_1$
 $H_2 = L/2 + DC + a - Z_2$

Additional Note:
 Choose Z₁ and Z₂ values and associated times appropriately from the t and Zn columns to the left, be sure to leave out erroneous data.

CALCULATION OF THE PERMEABILITY

H₁ = 278.187 cm t₁ = 0 min
 H₂ = 267.755 cm t₂ = 10 min

Calculation of Falling Head Permeability

$$K_H = \frac{d^2 \ln\left(\frac{2mL}{D}\right)}{8L(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

NOTES
 Supervisor: Victor Guevara
 El ensayo se realizo con casing HWT.
 Permeabilidad Baja

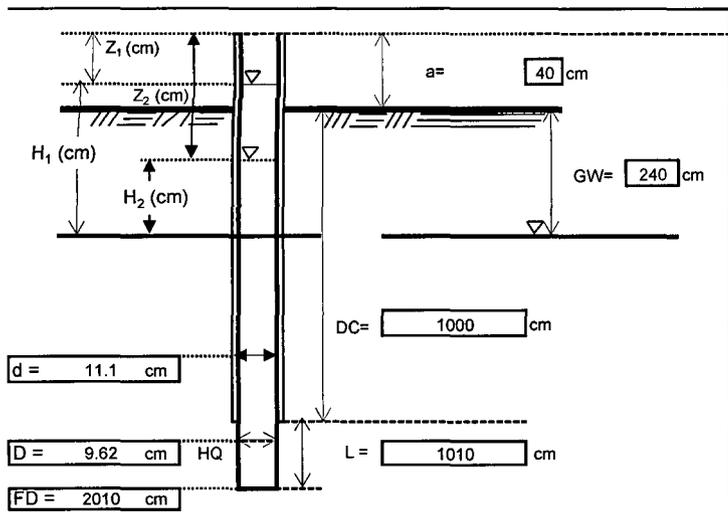
K = 1.07E-05 cm/sec

Calculations Reference:
 U.S. Army Corps of Engineers
 TM 5-818-5, page 3-7, Variable Head case B

For $\frac{mL}{D} > 4$

PRUEBA LEFRANC- CARGA VARIABLE

PROJECT: Cerro Corona LENGTH OF TEST: From 10.00 to 20.10 m. HOLE N°: H-01
 LOCATION: Valle La Hierba DATE: 25-jun-11 TEST N°: 02
 ALTITUDE: 3727 COORDINATES: E. 759674 / N: 9252252 LITHOLOGY: Brecha Volcanica



Z_1 = Initial depth of the water inside of casing
 Z_2 = Final depth of the water inside of casing
 a = Height of casing above the ground
 GW = Initial level of water before the test
 DC = Depth of casing
 L = Length of the test
 D = diameter of the testhole
 d = diameter of casing
 FD = Final depth of the test
 H_1 = Initial Gravity Head
 H_2 = Final Gravity Head
 $m = \sqrt{(kh / kv)}$ => A measure of anisotropic conditions

75 = Inclinacion from horizontal (degrees)

FALLING HEAD

(min)	Zn(cm)	H (cm)	m values	K(cm/s)
0	0.00	270.46		
10	0.20	270.27	1	9.71E-08
15	0.30	270.17	1	9.72E-08
20	0.40	270.07	1	9.72E-08
30	0.50	269.98	1	4.86E-08
40	0.60	269.88	1	4.86E-08
Average				7.77E-08

Important Note:

The Gravity Head is based on the initial groundwater depth. There are 2 possible conditions:

First, the groundwater is above the center of the test zone, L.

$$H_1 = GW + a - Z_1$$

$$H_2 = GW + a - Z_2$$

Second, the groundwater hasn't been found or is below the center of the test zone, L

$$H_1 = L/2 + DC + a - Z_1$$

$$H_2 = L/2 + DC + a - Z_2$$

Additional Note:

Choose Z_1 and Z_2 values and associated times appropriately from the t and Zn columns to the left, be sure to leave out erroneous data.

$$K_H = \frac{d^2 \ln\left(\frac{2mL}{D}\right)}{8L(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

CALCULATION OF THE PERMEABILITY

$H_1 = 270.459$ cm $t_1 = 0$ min
 $H_2 = 269.88$ cm $t_2 = 40$ min

$$\text{For } \frac{mL}{D} > 4$$

Calculation of Falling Head Permeability

$K = 7.77E-08$ cm/sec

NOTES

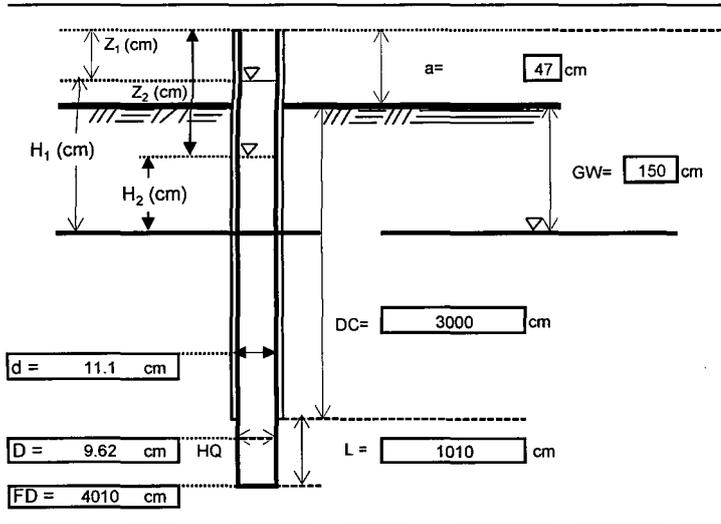
Supervisor: Victor Guevara
 Se pobtura con Packer: 180 psi
 Permeabilidad Muy Baja

Calculations Reference:

U.S. Army Corps of Engineers
 TM 5-818-5, page 3-7, Variable Head case B

PRUEBA LEFRANC- CARGA VARIABLE

PROJECT: Cerro Corona **LENGTH OF TEST :** From 30.00 to 40.10 m. **HOLE N° :** H-01
LOCATION: Valle La Hierba **DATE:** 27-jun-11 **TEST N° :** 03
ALTITUDE: 3727 **COORDINATES:** E. 759674 / N: 9252252 **LITHOLOGY:** Brecha Volcanica



Z_1 = Initial depth of the water inside of casing
 Z_2 = Final depth of the water inside of casing
 a = Height of casing above the ground
 GW = Initial level of water before the test
 DC = Depth of casing
 L = Length of the test
 D = diameter of the testhole
 d = diameter of casing
 FD = Final depth of the test
 H_1 = Initial Gravity Head
 H_2 = Final Gravity Head
 $m = \sqrt{(k_h / k_v)}$ => A measure of anisotropic conditions

75 = Inclination from horizontal (degrees)

FALLING HEAD

(min)	Zn(cm)	H (cm)	m values	K(cm/s)
0	0.00	190.29		
1	0.10	190.19	1	6.90E-07
3	0.40	189.90	1	1.04E-06
5	0.70	189.61	1	1.04E-06
7	1.20	189.13	1	1.73E-06
10	1.50	188.84	1	6.95E-07
13	2.20	188.16	1	1.62E-06
15	2.40	187.97	1	6.98E-07
17	2.90	187.49	1	1.75E-06
20	3.40	187.00	1	1.17E-06
25	4.20	186.23	1	1.13E-06
30	5.10	185.36	1	1.27E-06
40	6.90	183.62	1	1.28E-06
Average			1	1.16E-06

Important Note:

The Gravity Head is based on the initial groundwater depth. There are 2 possible conditions:

First, the groundwater is above the center of the test zone, L.

$$H_1 = GW + a - Z_1$$

$$H_2 = GW + a - Z_2$$

Second, the groundwater hasn't been found or is below the center of the test zone, L

$$H_1 = L/2 + DC + a - Z_1$$

$$H_2 = L/2 + DC + a - Z_2$$

Additional Note:

Choose Z_1 and Z_2 values and associated times appropriately from the t and Zn columns to the left, be sure to leave out erroneous data.

CALCULATION OF THE PERMEABILITY

$H_1 = 190.287$ cm $t_1 = 0$ min
 $H_2 = 188.838$ cm $t_2 = 10$ min

Calculation of Falling Head Permeability

$$K_H = \frac{d^2 \ln\left(\frac{2mL}{D}\right)}{8L(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

$K = 1.16E-06$ cm/sec

NOTES

Supervisor: Victor Guevara
 Se obtura el terreno con Packer: 210 psi
 Permeabilidad Baja

Calculations Reference:

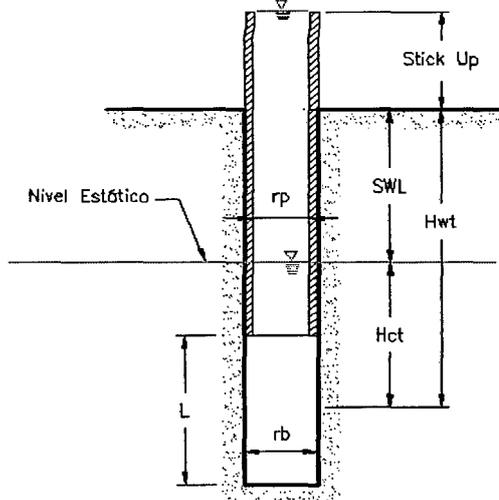
U.S. Army Corps of Engineers
 TM 5-818-5, page 3-7, Variable Head case B

For $\frac{mL}{D} > 4$



PRUEBA LEFRANC - CARGA CONSTANTE

Proyecto: <u>Cerro Corona</u>	Prof. de ensayo (m): <u>1.00</u>	a: <u>15.25</u>	Sondeo Nº: <u>R-01</u>
Area: <u>Riolita</u>	Fecha: <u>19-ene-11</u>	Inicio: <u>04:00</u>	Ensayo Nº: <u>01</u>
Elevación (m): <u>3,812</u>	Stick Up (m): <u>0.29</u>	Fin: <u>04:15</u>	Profundidad Total (m): <u>15.25</u>
Coordenadas: N: <u>9'252,588</u> E: <u>761,172</u>	Litología del tramo: <u>Riolita</u>		Supervisor: <u>VG</u>



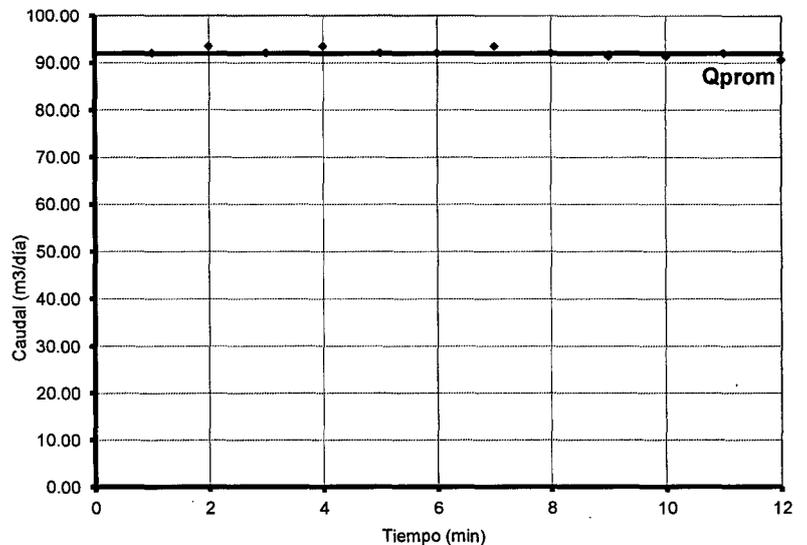
DATOS DEL ENSAYO

SWL : Profundidad del nivel estático	<u>5.10 m</u>
rb : Radio del pozo	<u>0.048 m</u>
rp : Radio de la tubería de descarga	<u>0.048 m</u>
β : Inclinación respecto de la horizontal	<u>90 °</u>
Hwt : Columna de agua sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>8.13 m</u>
Hct : Carga Hidrostática sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>3.03 m</u>
SWL' : Profundidad del nivel estático (corregido)	<u>5.10 m</u>
Hct' : Carga Hidrostatica sobre punto medio de Intervalo (corregido)	<u>3.03 m</u>
Hwt' : Columna de agua sobre el punto medio de Intervalo (corregido)	<u>8.13 m</u>
L : Longitud del intervalo de prueba	<u>14.25 m</u>
Lp : Longitud de la tubería de descarga	<u>1.29 m</u>
R : Radio de Influencia	<u>14.25 m</u>

MEDIDAS REALIZADAS

t (min)	Lecturas	Q(l/min)	Q(m³/día)
0	450.00	-	-
1	514.00	64.00	92.16
2	579.00	65.00	93.60
3	643.00	64.00	92.16
4	708.00	65.00	93.60
5	772.00	64.00	92.16
6	836.00	64.00	92.16
7	901.00	65.00	93.60
8	965.00	64.00	92.16
9	1028.50	63.50	91.44
10	1092.00	63.50	91.44
11	1156.00	64.00	92.16
12	1219.00	63.00	90.72
13	1283.00	64.00	92.16
14	1346.00	63.00	90.72
15	1409.00	63.00	90.72

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Fórmulas:

$$hf = 1.541e-8 * Lp(Q/140)^{1.85} / rp^{4.8655}$$

$$H_{nit} = (Hwt' - Hct' - hf + Stick Up)$$

Qp : Caudal promedio	<u>63.93 L/min</u>
Qp : Caudal promedio	<u>92.06 m³/día</u>
Hf : Perdida de carga por fricción	<u>0.00 m</u>
Hnit : Carga Neta sobre el punto medio del intervalo de prueba	<u>5.38 m</u>
K : Conductividad Hidraulica	<u>1.09E+00 m/día</u>
K : Conductividad Hidraulica	<u>1.26E-03 cm/s</u>

Notas:

- El nivel se debe mantener constante en el tope del stick up

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Se obtura el terreno con casing HWT. Terreno muy fracturado.

PERMEABILIDAD MEDIA



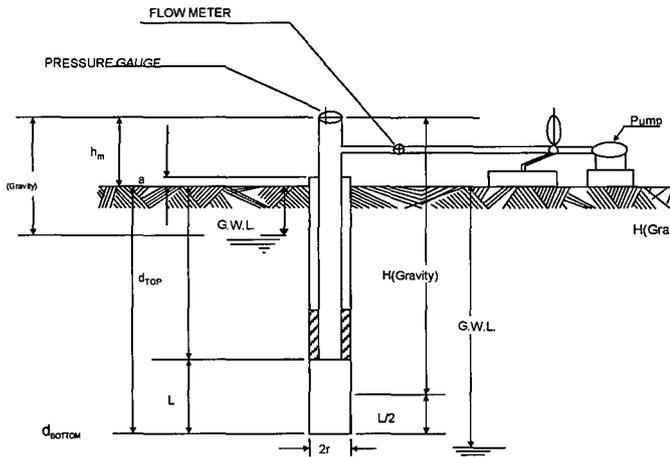
PRUEBA CON OBTURADOR

R-01

PROJECT: Cerro Corona
 Location: Riolita
 Supervisor: VG

DEPTH OF THE TEST FROM: 41.50 to 50.75 m.
 DATE: January 19, 2011 I.Hour: 11:30 E. Hour: 12:30
 AZIMUTH: - 0 Water Level: 15.6

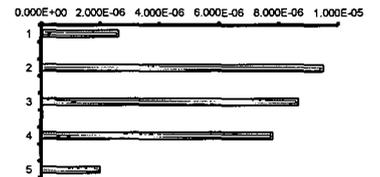
TEST NUMBER: **02**



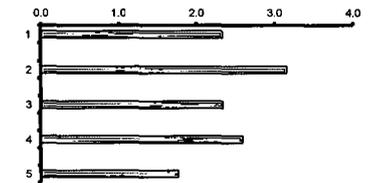
h_m	=	Height of pressure gauge	<u>1.20</u>	m.
a	=	Height above ground surface	<u>1.10</u>	m.
G.W.L.	=	Ground Water Level	<u>15.60</u>	m.
$H_{(Gravity)}$	=	Pressure gauge height above water table	<u>47.33</u>	m.
d_{TOP}	=	Depth from ground surface to top of testing zone	<u>41.50</u>	m.
d_{BOTTOM}	=	Depth from ground surface to bottom of testing zone	<u>50.75</u>	m.
α	=	Inclination from horizontal	<u>90</u>	deg
$H(Gravity) \text{ corrected}$	=	$SIN \alpha \times H(Gravity)$	<u>47.33</u>	m.
L	=	Length of the portion of the hole tested	<u>9.25</u>	m.
$2r$	=	Two times the radius of hole tested	<u>9.60</u>	cm.
P_M	=	Gauge Pressure	<u>350</u>	psi
Δp	=	Head Loss		
q	=	Volume in liters during the test		

$$K = \frac{Q}{(2\pi LH)} \ln(L/r)$$

K (cm/s)



Lugeons



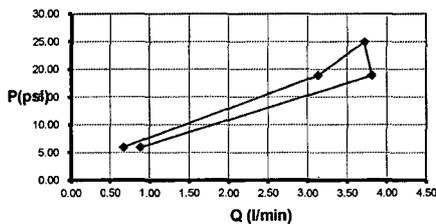
Type of flow: **Flujo Laminar**
 K (Permeability) : **6.108E-06** cm/s
 Lugeon unit selected: **2.4**

$$K_H = \frac{Q}{2\pi LH_G} * \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

For : $L \geq 10 r$
 Lugeon = (liters / m / min) × (10 / pressure (bars))

Time (min)	$P_M = 6.00$ Surface Gauge Pressure		$P_M = 19.00$ Surface Gauge Pressure		$P_M = 25.00$ Surface Gauge Pressure		$P_M = 19.00$ Surface Gauge Pressure		$P_M = 6.00$ Surface Gauge Pressure	
	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading (q(l))	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading (q(l))	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading (q(l))	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading (q(l))	Flow Meter Reading (m ³)	Change In Flow Meter Reading (q(l))
0										
1		1.0		3.0		3.5		5.1		0.7
2		0.8		3.6		3.8		2.9		0.7
3		1.1		4.3		3.1		3.8		0.7
4		1.1		3.8		4.3		3.6		0.6
5		0.7		3.9		3.8		2.9		0.7
6		1.2		4.0		4.5		2.8		0.7
7		0.8		4.0		3.3		2.6		0.7
8		1.0		3.9		3.5		2.6		0.7
9		0.5		3.9		4.2		2.5		0.7
10		0.7		3.8		3.4		2.5		0.7
$qt(t) =$	8.9		38.2		37.3		31.4		6.8	
Average = $Q(l/min) =$	0.89		3.82		3.73		3.14		0.68	
Average = $Q(m^3/sec) =$	1.49E-05		6.37E-05		6.21E-05		5.23E-05		1.13E-05	
Δp (psi) =										
H (psi) =	73.20		86.20		92.20		86.20		73.20	
H (m) =	51.55		60.71		64.93		60.71		51.55	
K(cm/s) =	2.611E-06		9.494E-06		8.655E-06		7.804E-06		1.978E-06	
Lugeon =	2.3		3.2		2.3		2.6		1.8	

Graphic P vs. Q



Notes & Observations:

References:
 "Design of Small Dams," Bureau of Reclamation, Third edition, 1987,
 "Construction and Design of Cement Grouting," A.C. Houtsby

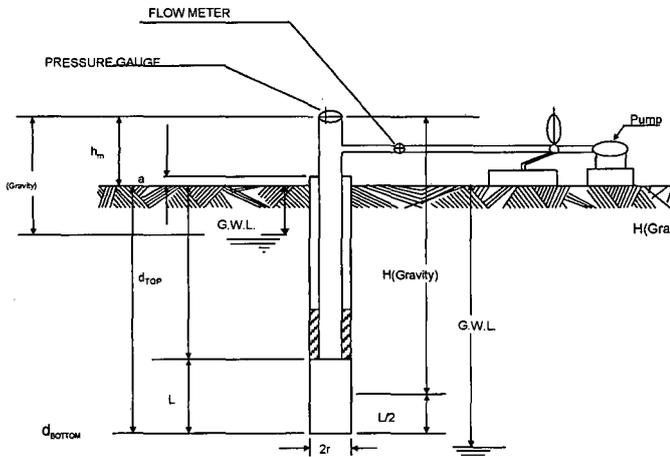
Permeability Interpretation:
 Permeabilidad muy baja



PRUEBA CON OBTURADOR

R-01

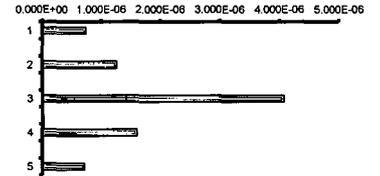
OBJECT: <u>Cerro Corona</u>	DEPTH OF THE TEST FROM: <u>68.85</u> to <u>79.85</u> m.	TEST NUMBER: 03
Location: <u>Riolita</u>	DATE: <u>January 20, 2011</u> I.Hour: <u>06:55</u> E. Hour: <u>07:30</u>	
Supervisor: <u>VG</u>	AZIMUTH: - <u>0</u> Water Level: <u>13.35</u>	



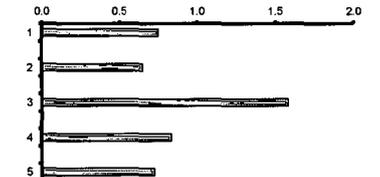
h_m	=	Height of pressure gauge	<u>1.20</u>	m.
a	=	Height above ground surface	<u>1.10</u>	m.
G.W.L.	=	Ground Water Level	<u>13.35</u>	m.
$H_{(Gravity)}$	=	Pressure gauge height above water table	<u>75.55</u>	m.
d_{TOP}	=	Depth from ground surface to top of testing zone	<u>68.85</u>	m.
d_{BOTTOM}	=	Depth from ground surface to bottom of testing zone	<u>79.85</u>	m.
α	=	Inclination from horizontal	<u>90</u>	deg
$H_{(Gravity) \text{ corrected}}$	=	$SIN \alpha \times H_{(Gravity)}$	<u>75.55</u>	m.
L	=	Length of the portion of the hole tested	<u>11.00</u>	m.
$2r$	=	Two times the radius of hole tested	<u>9.60</u>	cm.
P_H	=	Gauge Pressure	<u>300</u>	psi
Δp	=	Head Loss		
q	=	Volume in liters during the test		

$$K = \frac{Q}{(2\pi LH)} \ln(L/r)$$

K (cm/s)



Lugeons



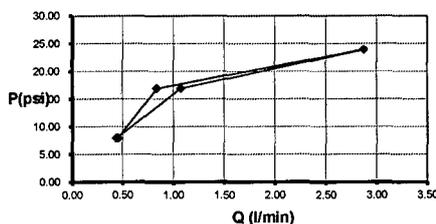
Type of flow: **Flujo Dilatación**
 K (Permeability) : **1.434E-06** cm/s
 Lugeon unit selected: **0.7**

$$K_H = \frac{Q}{2\pi LH_G} \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

For : $L \geq 10 r$
 Lugeon = (liters / m / min) \times (10 / pressure (bars))

Time (min)	P _H = Surface Gauge Pressure 8.00		P _H = Surface Gauge Pressure 17.00		P _H = Surface Gauge Pressure 24.00		P _H = Surface Gauge Pressure 17.00		P _H = Surface Gauge Pressure 8.00	
	Flow Meter Reading (m³)	Change in Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m³)	Change in Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m³)	Change in Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m³)	Change in Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m³)	Change in Flow Meter Reading q(l)
0										
1		1.5		0.8		2.6		1.0		0.4
2		0.3		0.8		2.6		1.1		0.4
3		0.3		0.8		2.7		1.1		0.4
4		0.4		0.8		2.8		1.1		0.4
5		0.3		0.8		2.8		1.1		0.4
6		0.3		0.9		2.8		1.1		0.4
7		0.3		0.8		3.1		1.1		0.4
8		0.3		0.9		3.0		1.1		0.4
9		0.3		1.0		3.2		1.1		0.5
10		0.3		0.6		3.3		1.1		0.5
$q t (l) =$	4.6		8.4		28.8		10.8		4.4	
Average = Q(l/min) =	0.46		0.84		2.88		1.08		0.44	
Average = Q (m³/sec) =	7.58E-06		1.40E-05		4.79E-05		1.79E-05		7.33E-06	
Δp (psi) =										
H (psi) =	115.28		124.28		131.28		124.28		115.28	
H (m) =	81.18		87.52		92.45		87.52		81.18	
K(cm/s) =	7.345E-07		1.258E-06		4.075E-06		1.610E-06		7.103E-07	
Lugeon =	0.7		0.7		1.6		0.8		0.7	

Graphic P vs. Q



References:
 "Design of Small Dams," Bureau of Reclamation, Third edition, 1987, p.
 "Construction and Design of Cement Grouting," A.C. Holsby

Permeability Interpretation:
 Permeabilidad muy baja

Notes & Observations:



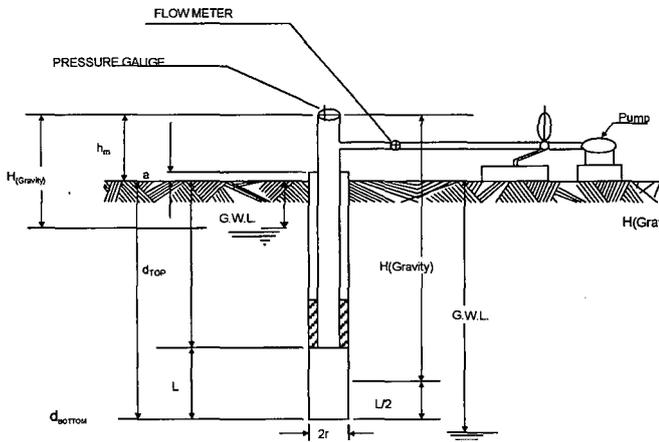
PRUEBA CON OBTURADOR

R-01

PROJECT: Cerro Corona
 Area: Riolita
 Supervisor: VG

DEPTH OF THE TEST FROM: 90.45 to 100.15 m.
 DATE: January 20, 2011 1.Hour: 00:00 E. Hour: 03:00
 AZIMUTH: - 0 Water Level: 61.65

TEST NUMBER: **04**



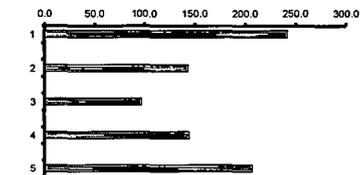
- h_m = Height of pressure gauge 1.20 m.
- a = Height above ground surface 1.10 m.
- G.W.L. = Ground Water Level 61.65 m.
- $H_{(Gravity)}$ = Pressure gauge height above water table 96.50 m.
- d_{TOP} = Depth from ground surface to top of testing zone 90.45 m.
- d_{BOTTOM} = Depth from ground surface to bottom of testing zone 100.15 m.
- α = Inclination from horizontal 90 deg
- $H(Gravity)$ corrected = $SIN \alpha \times H(Gravity)$ 96.50 m.
- L = Length of the portion of the hole tested 9.70 m.
- $2r$ = Two times the radius of hole tested 9.60 cm.
- P_M = Gauge Pressure 400 psi
- Δp = Head Loss
- q = Volume in liters during the test

$$K = (Q / (2\pi L H)) (\ln(L/r))$$

K (cm/s)



Lugeons



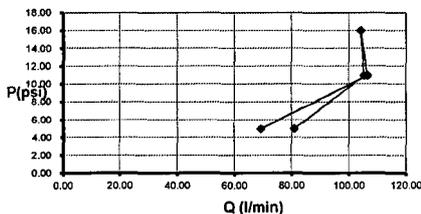
Type of flow: Flujo Dilatación
 K (Permeability) : 1.404E-04 cm/s
 Lugeon unit selected: 97.4

$$K_H = \frac{Q}{2\pi L H_G} * \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

For : $L \geq 10 r$
 Lugeon = (liters / m / min) \times (10 / pressure (bars))

Time (min)	$P_M = 5.00$ Surface Gauge Pressure		$P_M = 11.00$ Surface Gauge Pressure		$P_M = 16.00$ Surface Gauge Pressure		$P_M = 11.00$ Surface Gauge Pressure		$P_M = 5.00$ Surface Gauge Pressure	
	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading q(l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading q(l)
0										
1		76.1		97.1		103.9		107.1		65.8
2		79.8		101.2		106.1		108.1		64.9
3		83.0		101.7		101.0		110.3		69.9
4		80.9		105.6		104.8		105.1		69.2
5		81.9		106.6		103.4		107.8		69.8
6		83.2		107.5		106.9		107.3		69.8
7		82.9		109.2		102.7		106.8		71.4
8		82.9		107.8		103.8		106.4		70.7
9		79.1		108.7		103.7		102.8		70.7
10		78.9		109.4		105.8		104.6		70.1
q t (l) =		808.7	1054.8		1042.1		1066.3		692.3	
Average = Q(l/min) =		80.87	105.48		104.21		106.63		69.23	
Average = Q (m ³ /sec) =		1.35E-03	1.76E-03		1.74E-03		1.78E-03		1.15E-03	
Δp (psi) =										
H (psi) =		142.03	148.03		153.03		148.03		142.03	
H (m) =		100.02	104.25		107.77		104.25		100.02	
K(cm/s) =		1.174E-04	1.469E-04		1.404E-04		1.485E-04		1.005E-04	
Lugeon =		241.8	143.4		97.4		144.9		207.0	

Graphic P vs. Q



Notes & Observations:

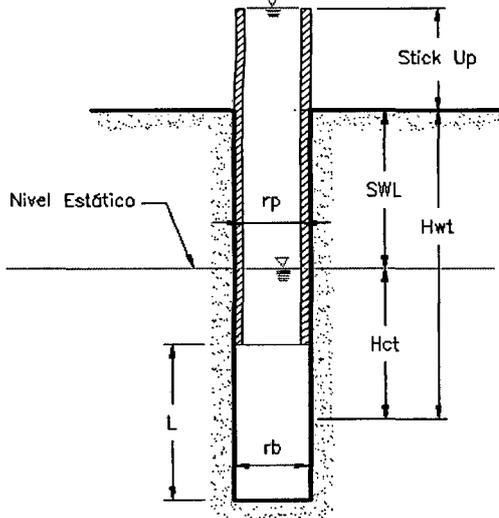
References:
 "Design of Small Dams," Bureau of Reclamation, Third edition, 1987, pg.
 "Construction and Design of Cement Grouting," A.C. Holsby

Permeability Interpretation:
 Permeabilidad baja



PRUEBA LEFRANC - CARGA CONSTANTE

Proyecto: <u>Cerro Corona</u> Localidad: <u>Valle Chorro Blanco</u> Elevación (m): <u>3.843</u> Coordenadas: <u>E: 761042</u> <u>N: 9251201</u>	Prof. de ensayo (m): <u>13.00</u> Fecha: <u>19-feb-11</u> Stick Up (m): <u>1.94</u> Litología del tramo: <u>CALIZA</u>	a: <u>19.80</u> Inicio: <u>4:41:00</u> Fin: <u>5:00:00</u>	Sondeo N°: <u>TC-01</u> Ensayo N°: <u>01</u> Profundidad Total (m): <u>19.80</u> Supervisor: <u>VG</u>
--	---	--	---



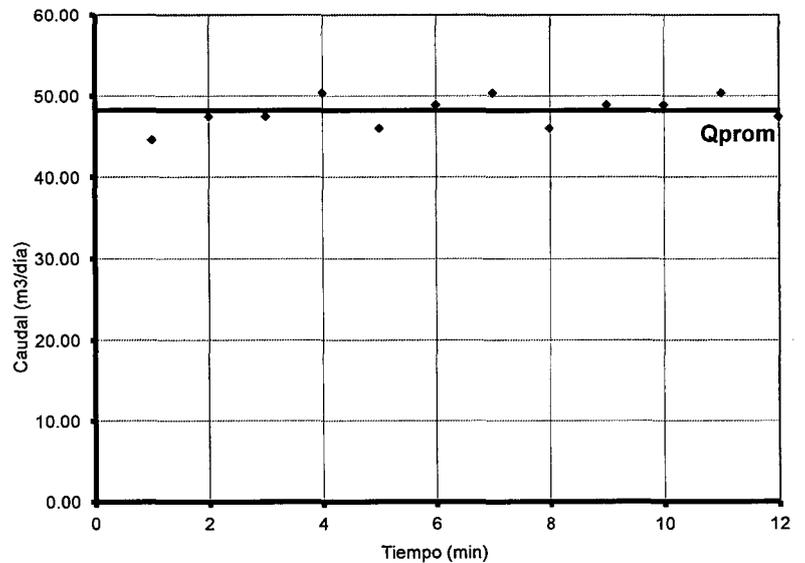
DATOS DEL ENSAYO

SWL : Profundidad del nivel estático	6.92 m
rb : Radio del pozo	0.048 m
rp : Radio de la tubería de descarga	0.048 m
β : Inclinación respecto de la horizontal	65 °
Hwt : Columna de agua sobre el punto medio del intervalo de prueba	16.40 m
Hct : Carga Hidrostática sobre el punto medio del intervalo de prueba	9.48 m
SWL' : Profundidad del nivel estático (corregido)	6.27 m
Hct' : Carga Hidrostática sobre punto medio de Intervalo (corregido)	8.59 m
Hwt' : Columna de agua sobre el punto medio de Intervalo (corregido)	14.86 m
L : Longitud del intervalo de prueba	6.80 m
Lp : Longitud de la tubería de descarga	14.94 m
R : Radio de Influencia	6.80 m

MEDIDAS REALIZADAS

t (min)	Lecturas	Q(l/min)	Q(m³/día)
0	701.00	-	-
1	732.00	31.00	44.64
2	765.00	33.00	47.52
3	798.00	33.00	47.52
4	833.00	35.00	50.40
5	865.00	32.00	46.08
6	899.00	34.00	48.96
7	934.00	35.00	50.40
8	966.00	32.00	46.08
9	1000.00	34.00	48.96
10	1034.00	34.00	48.96
11	1069.00	35.00	50.40
12	1102.00	33.00	47.52
13	1136.00	34.00	48.96
14	1170.00	34.00	48.96
15	1204.00	34.00	48.96
16			

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Fórmulas:

$$hf = 1.541e-8 * Lp(Q/140)^{1.85} / rp^{4.8655}$$

$$H_{nit} = (Hwt' - Hct' - hf + Stick Up)$$

Qp : Caudal promedio	33.53 L/min
Qp : Caudal promedio	48.29 m³/día
Hf : Perdida de carga por fricción	0.00 m
Hnit : Carga Neta sobre el punto medio del intervalo de prueba	8.21 m
K : Conductividad Hidraulica	6.82E-01 m/día
K : Conductividad Hidraulica	7.89E-04 cm/s

Notas:

- El nivel se debe mantener constante en el tope del stick up

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Se obtura el terreno con Casing HWT

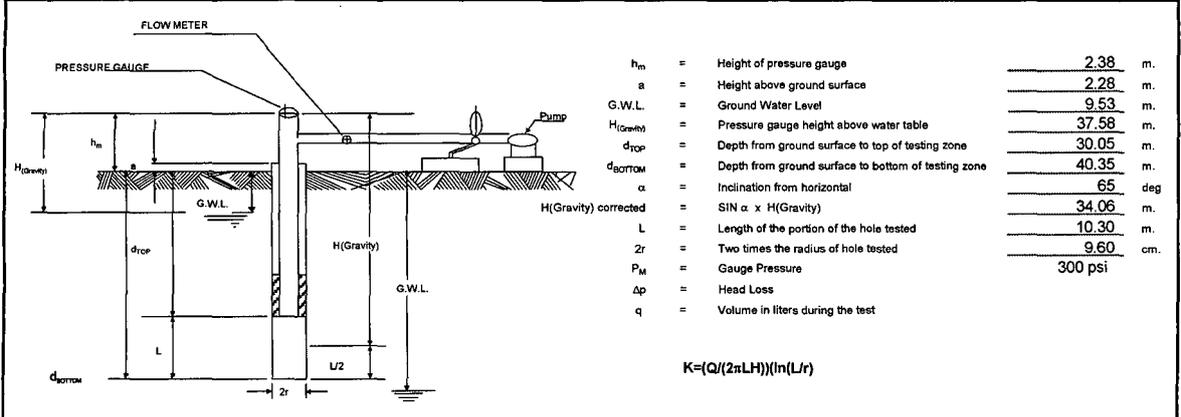
PERMEABILIDAD MODERADA



PRUEBA CON OBTURADOR

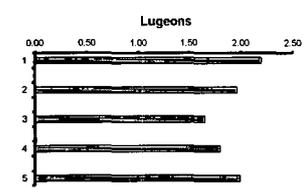
TC-01

PROJECT : Cerro Corona
 Area: Valle Chorro Blanco
 Supervisor: Victor Guevara
 DEPTH OF THE TEST FROM: 30.05 to 40.35 m.
 DATE: February 21, 2011 I. Hour: 01:36 E. Hour: 02:28
 TEST NUMBER: 02
 AZIMUTH: N145° Water Level: 9.53



$$K = \frac{Q}{(2\pi LH)} \left(\ln \frac{L}{r} \right)$$

Bar	P_M = Surface Gauge Pressure	P_M = Surface Gauge Pressure	P_M = Surface Gauge Pressure	P_M = Surface Gauge Pressure	P_M = Surface Gauge Pressure					
1.72	25.00	32.50	50.00	32.50	25.00					
Time (min)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)
0	421.000	475.000	531.000	597.000	645.000					
1	421.004	4.0	475.005	5.0	531.007	7.0	597.005	5.0	645.004	4.0
2	421.006	4.0	475.010	5.0	531.013	6.0	597.009	4.0	645.008	4.0
3	421.012	4.0	475.015	5.0	531.019	6.0	597.014	5.0	645.012	4.0
4	421.016	4.0	475.020	5.0	531.025	6.0	597.019	5.0	645.016	4.0
5	421.020	4.0	475.025	5.0	531.031	6.0	597.023	4.0	645.019	3.0
6	421.025	5.0	475.030	5.0	531.037	6.0	597.028	5.0	645.023	4.0
7	421.029	4.0	475.034	4.0	531.043	6.0	597.032	4.0	645.027	4.0
8	421.034	5.0	475.039	5.0	531.049	6.0	597.037	5.0	645.030	3.0
9	421.038	4.0	475.044	5.0	531.055	6.0	597.040	3.0	645.034	4.0
10	421.042	4.0	475.048	4.0	531.061	6.0	597.044	4.0	645.038	4.0
	$P(bar)$ =	1.72	2.24	3.45	2.24	1.72				
	L inicial =	421.00	475.00	531.00	597.00	645.00				
	L final =	421.04	475.05	531.06	597.04	645.04				
	Average Q (l/min) =	4.20	4.80	6.10	4.40	3.80				
	$P(bar)$ corregido =	1.85	2.37	3.58	2.37	1.85				
	UL =	2.20	1.97	1.68	1.80	1.99				

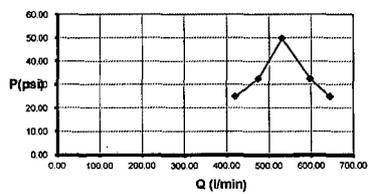


Type of flow: Flujo Turbulento
 K (Permeability) : 2.152E-05 cm/s
 Lugeon unit selected: 1.7

$$K_H = \frac{Q}{2\pi LH} \cdot \ln \left(\frac{L}{r} \right)$$

For : $L \geq 10 r$
 $Lugeon = (liters / m / min) \times (10 / pressure (bars))$

Graphic P vs. Q



Notes & Observations:
Roca Caliza

References:
 "Design of Small Dams," Bureau of Reclamation, Third edition, 1987, p.

"Construction and Design of Cement Grouting," A.C. Houlsby

Permeability Interpretation:
Permeabilidad baja
Valor Lugeon favorable



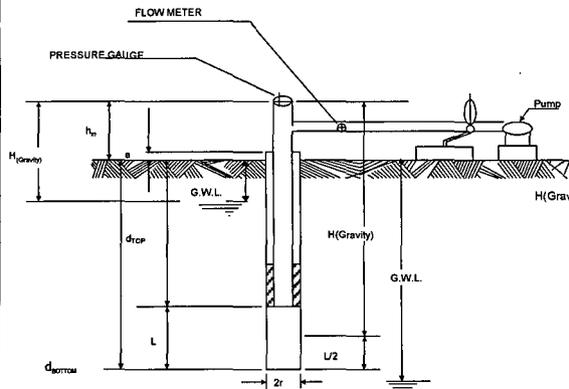
PRUEBA CON OBTURADOR

TC-01

PROJECT: Cerro Corona
 Area: Valle Chorro Blanco
 Supervisor: Victor Guevara

DEPTH OF THE TEST FROM: 49.15 to 56.15 m.
 DATE: February 21, 2011 I.Hour: 16:00 E. Hour: 17:09
 AZIMUTH: N145° Water Level: 2.46

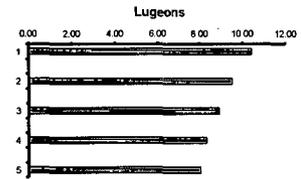
TEST NUMBER: **03**



- h_m = Height of pressure gauge 2.37 m.
- a = Height above ground surface 2.27 m.
- G.W.L. = Ground Water Level 2.46 m.
- $H(Gravim)$ = Pressure gauge height above water table 55.02 m.
- d_{top} = Depth from ground surface to top of testing zone 49.15 m.
- d_{bottom} = Depth from ground surface to bottom of testing zone 56.15 m.
- α = Inclination from horizontal 65 deg
- $H(Gravim) \text{ corrected}$ = $SIN \alpha \times H(Gravim)$ 49.87 m.
- L = Length of the portion of the hole tested 7.00 m.
- $2r$ = Two times the radius of hole tested 9.60 cm.
- P_M = Gauge Pressure 300 psi
- Δp = Head Loss
- q = Volume in liters during the test

$$K = \frac{Q}{(2\pi LH)} \left(\ln \frac{Lr}{r} \right)$$

Time (min)	$P_M = 2.76$ Surface Gauge Pressure 40.00		$P_M = 3.59$ Surface Gauge Pressure 52.00		$P_M = 5.52$ Surface Gauge Pressure 80.00		$P_M = 3.59$ Surface Gauge Pressure 52.00		$P_M = 2.76$ Surface Gauge Pressure 40.00	
	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (l)
0	957.000		225.000		550.000		970.000		210.000	
1	957.021	21.3	225.025	25.1	550.038	38.3	970.021	20.8	210.015	15.4
2	957.042	20.3	225.050	24.9	550.075	36.4	970.042	21.3	210.031	15.9
3	957.063	21.3	225.075	24.8	550.111	36.1	970.064	21.5	210.047	16.0
4	957.085	21.6	225.100	24.8	550.147	36.3	970.085	21.4	210.063	16.2
5	957.106	21.1	225.124	24.7	550.183	35.6	970.107	21.7	210.080	16.3
6	957.127	21.0	225.149	24.8	550.218	35.3	970.128	21.7	210.096	16.3
7	957.148	21.1	225.174	24.5	550.254	35.7	970.150	21.9	210.112	16.4
8	957.169	20.9	225.198	24.7	550.282	28.7	970.172	21.8	210.129	16.5
9	957.190	21.0	225.223	24.6	550.317	34.5	970.194	21.9	210.145	16.5
10	957.211	21.0	225.247	24.4	550.352	34.7	970.216	22.1	210.162	16.9
	$P(\text{bar}) =$	2.76	3.59	5.52	3.59	2.76				
	$L \text{ inicial} =$	957.00	225.00	550.00	970.00	210.00				
	$L \text{ final} =$	957.21	225.25	550.35	970.22	210.16				
	Average Q (l/min) =	21.06	24.72	35.16	21.61	16.23				
	$P(\text{bar}) \text{ corregido} =$	2.89	3.72	5.65	3.72	2.89				
	$UL =$	10.42	9.50	8.89	8.31	8.03				

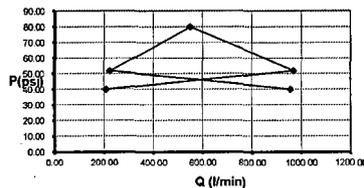


Type of flow: Flujo Relleno
 K (Permeability) : 1.043E-04 cm/s
 Lugeon unit selected: 8.0

$$K_H = \frac{Q}{2\pi L H \sigma} * \ln \left(\frac{L}{r} \right)$$

For : $L \geq 10 r$
 $Lugeon = (\text{liters} / \text{m} / \text{min}) \times (10 / \text{pressure} (\text{bars}))$

Notes & Observations:
Roca Caliza



References:
 "Design of Small Dams," Bureau of Reclamation, Third edition, 1987,
 "Construction and Design of Ceme Grouting," A.C. Houlby

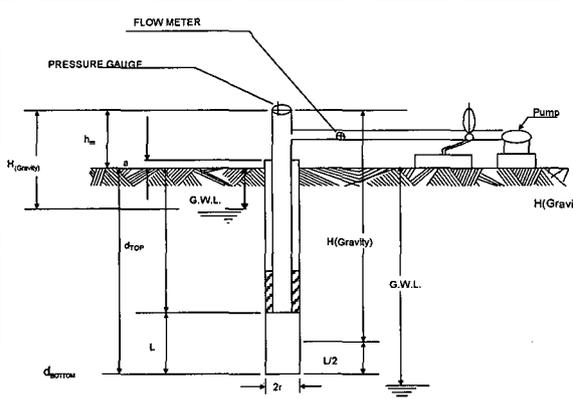
Permeability Interpretation:
Permeabilidad moderada
Valor Lugeon desfavorable



PRUEBA CON OBTURADOR

TC-01

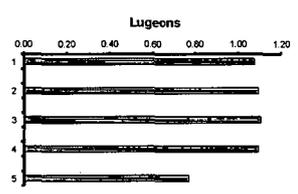
PROJECT : Cerro Corona DEPTH OF THE TEST FROM: 54.40 to 60.40 m.
 Area: Valle Chorro Blanco DATE: February 21, 2011 I.Hour: 23:35 E. Hour: 00:30 TEST NUMBER: 04
 Supervisor: Victor Guevara AZIMUTH: N145° Water Level: 4.84



- h_m = Height of pressure gauge 2.38 m.
- a = Height above ground surface 2.28 m.
- G.W.L. = Ground Water Level 4.84 m.
- $H_{(Gravity)}$ = Pressure gauge height above water table 59.78 m.
- d_{TOP} = Depth from ground surface to top of testing zone 54.40 m.
- d_{BOTTOM} = Depth from ground surface to bottom of testing zone 60.40 m.
- α = Inclination from horizontal 65 deg
- $H_{(Gravity) \text{ corrected}}$ = $SIN \alpha \times H_{(Gravity)}$ 54.18 m.
- L = Length of the portion of the hole tested 6.00 m.
- $2r$ = Two times the radius of hole tested 9.60 cm.
- P_M = Gauge Pressure 300 psi
- Δp = Head Loss
- q = Volume in liters during the test

$$K = \frac{Q}{(2\pi LH)} \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

Bar	P_s = Surface Gauge Pressure	P_s = Surface Gauge Pressure	P_s = Surface Gauge Pressure	P_s = Surface Gauge Pressure	P_s = Surface Gauge Pressure	P_s = Surface Gauge Pressure
	1.03	1.34	2.07	1.34	1.03	
	15.00	19.50	30.00	19.50	15.00	
Time (min)	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (q(l))	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (q(l))	Flow Meter Reading (m ³)	Change in Flow Meter Reading (q(l))
0	442.700		451.600		463.500	
1	442.701	0.8	451.601	1.0	463.502	1.5
2	442.702	0.8	451.602	1.0	463.503	1.6
3	442.702	0.8	451.603	1.0	463.505	1.6
4	442.703	0.8	451.604	1.0	463.506	1.4
5	442.704	0.7	451.605	0.9	463.507	1.4
6	442.705	0.8	451.606	0.9	463.509	1.4
7	442.705	0.7	451.607	0.9	463.510	1.4
8	442.706	0.8	451.608	0.9	463.512	1.4
9	442.707	0.7	451.609	1.1	463.513	1.6
10	442.708	0.6	451.610	0.9	463.515	1.3
	$P(\text{bar}) = 1.03$		$P(\text{bar}) = 1.34$		$P(\text{bar}) = 2.07$	
	$L \text{ Inicial} = 442.70$		$L \text{ Inicial} = 451.60$		$L \text{ Inicial} = 463.50$	
	$L \text{ final} = 442.71$		$L \text{ final} = 451.61$		$L \text{ final} = 463.51$	
	Average Q (l/min) = 0.75		Average Q (l/min) = 0.96		Average Q (l/min) = 1.45	
	$P(\text{bar}) \text{ corregido} = 1.16$		$P(\text{bar}) \text{ corregido} = 1.47$		$P(\text{bar}) \text{ corregido} = 2.20$	
	UL = 1.07		UL = 1.09		UL = 1.10	

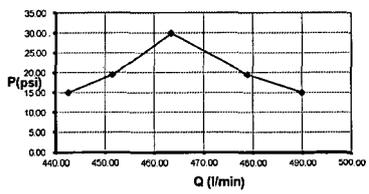


Type of flow: Flujo Laminar
 K (Permeability) : 1.331E-05 cm/s
 Lugeon unit selected: 1.0

$$K_H = \frac{Q}{2\pi LH} \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

For : $L \geq 10 r$
 Lugeon = (liters / m / min) x (10 / pressure (bars))

Graphic P vs. Q



Notes & Observations:
Roca Caliza

References:
 "Design of Small Dams," Bureau of Reclamation, Third edition, 1987,
 "Construction and Design of Cements Grouting," A.C. Housley

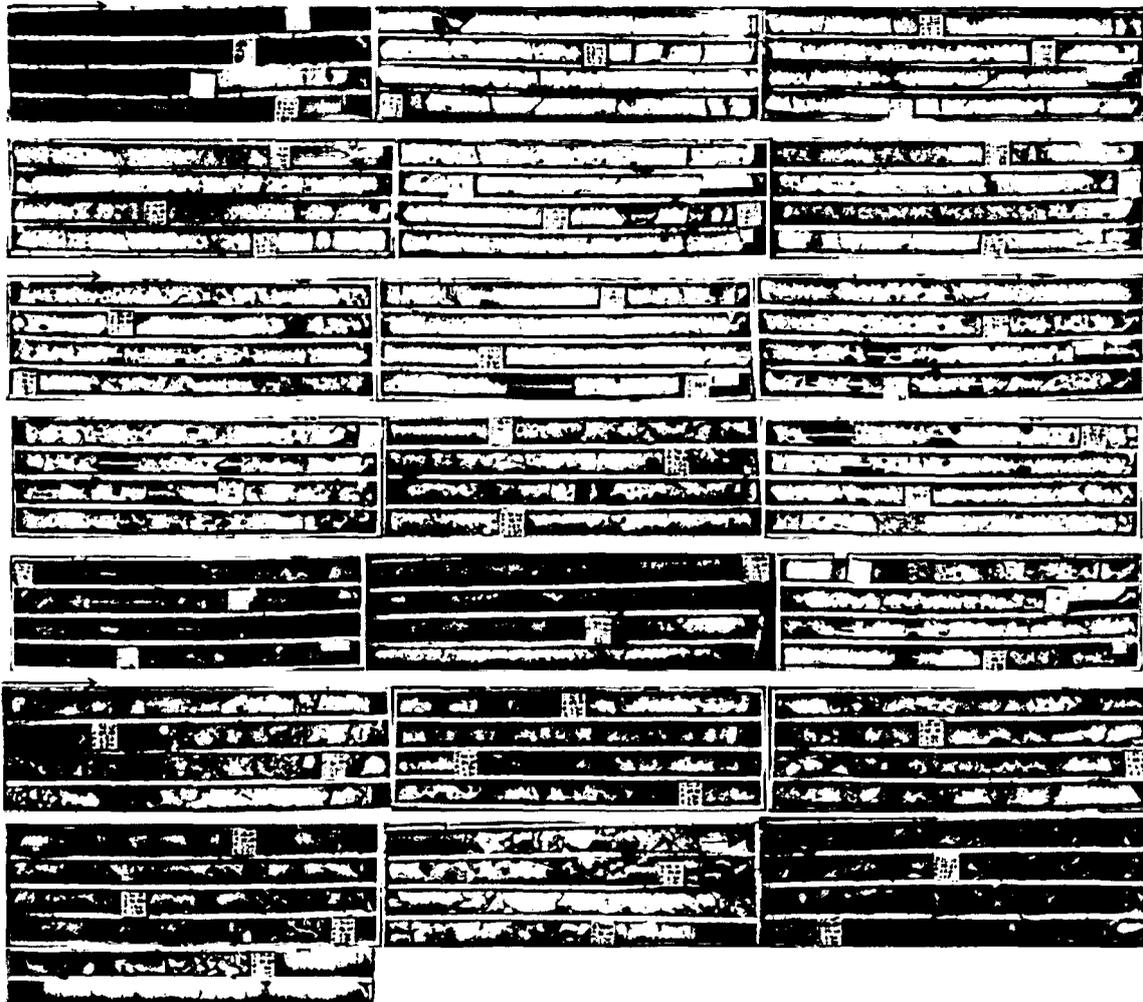
Permeability Interpretation:
 Permeabilidad baja
 Valor Lugeon muy favorable

ANEXO D:

**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE TESTIGOS DE
PERFORACIÓN**

Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú.

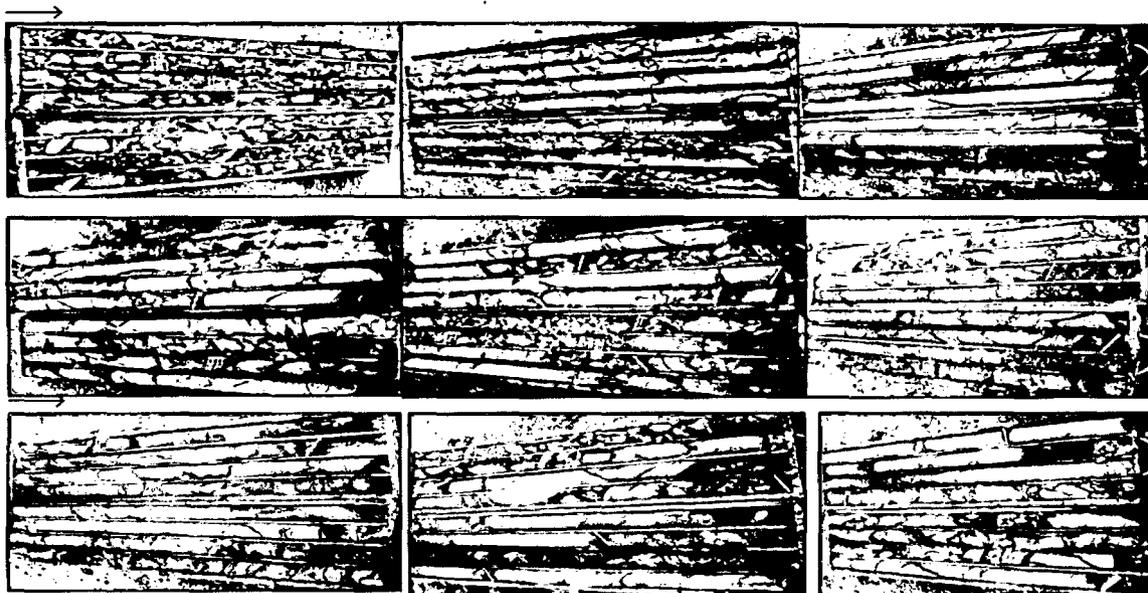
H-01



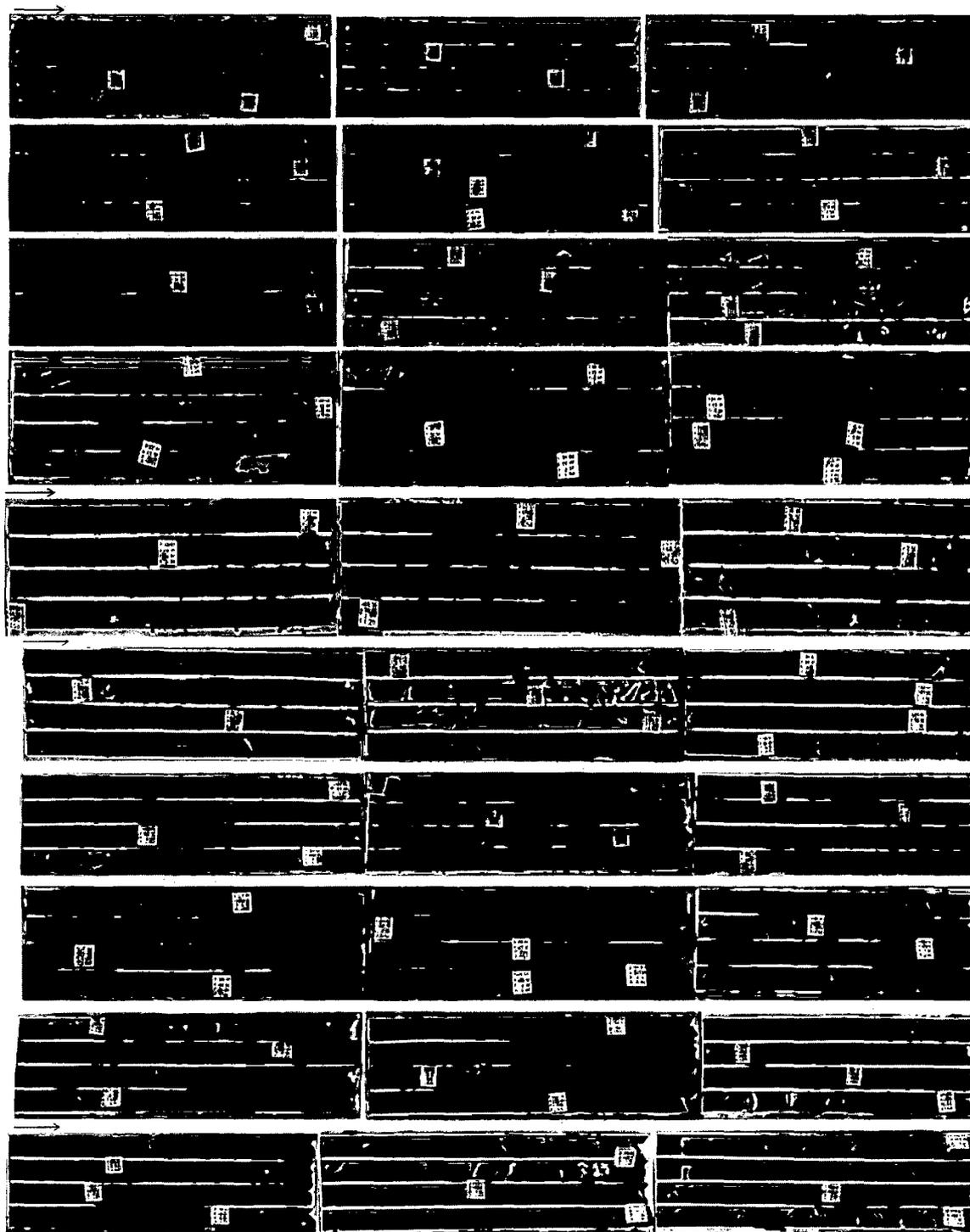
R-01



R-02

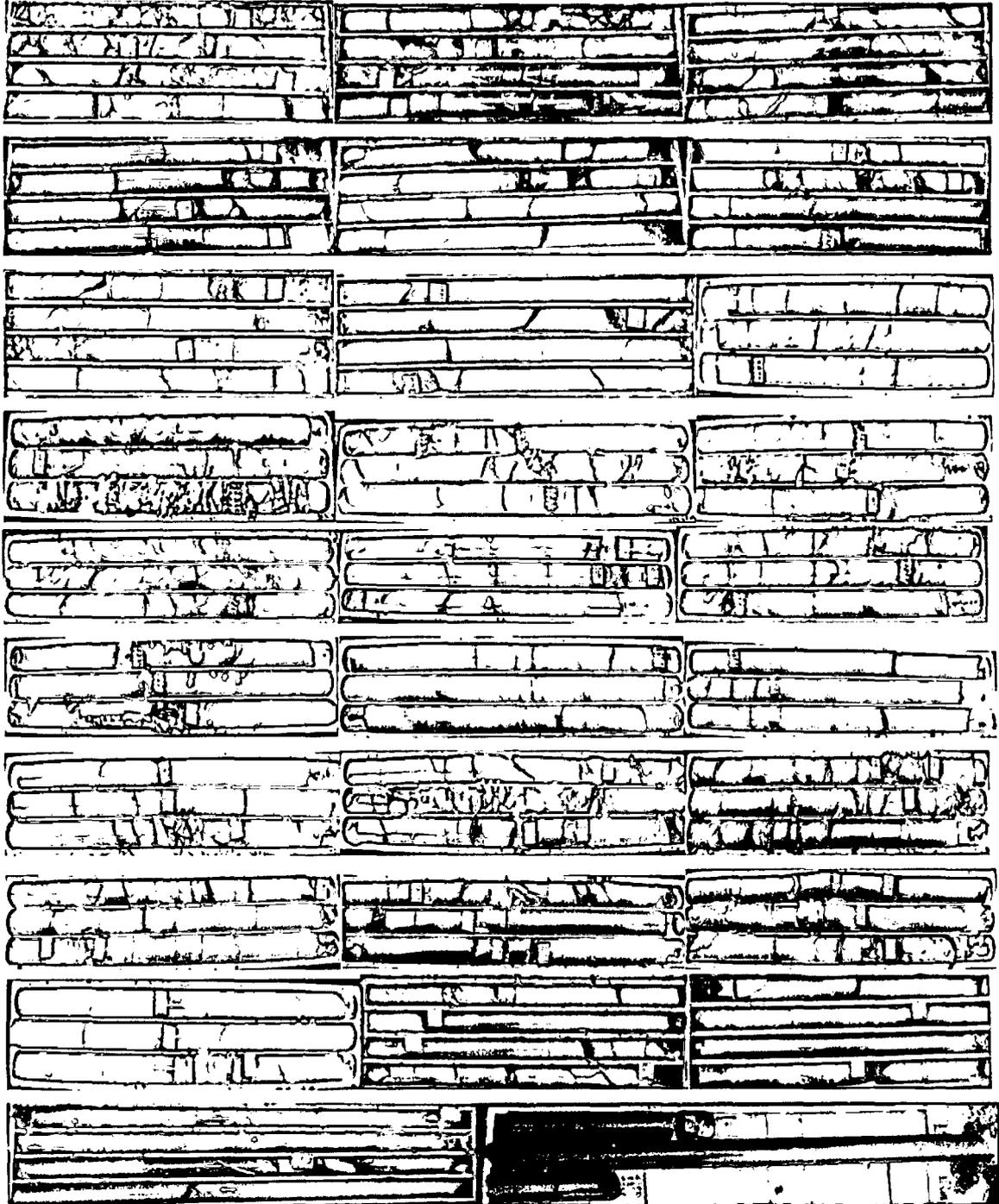


TC-03



Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú.

TC-04



Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú.

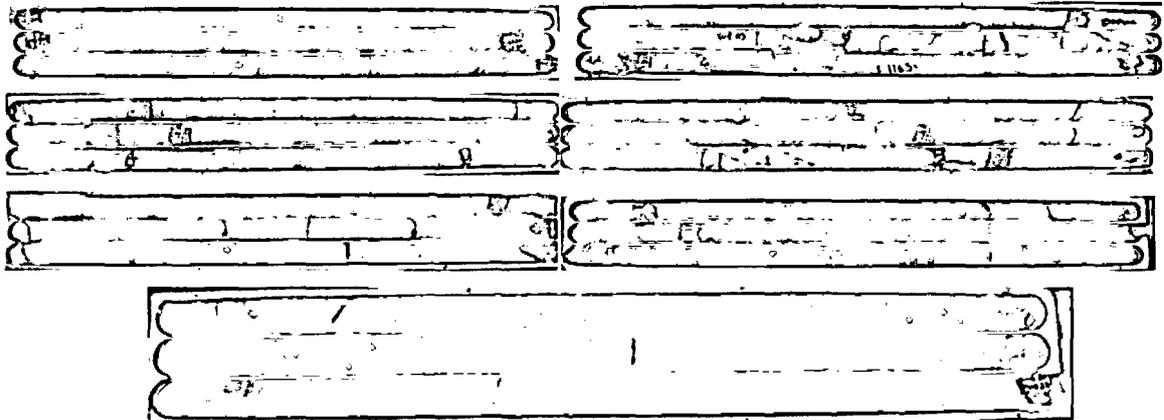
TC-01



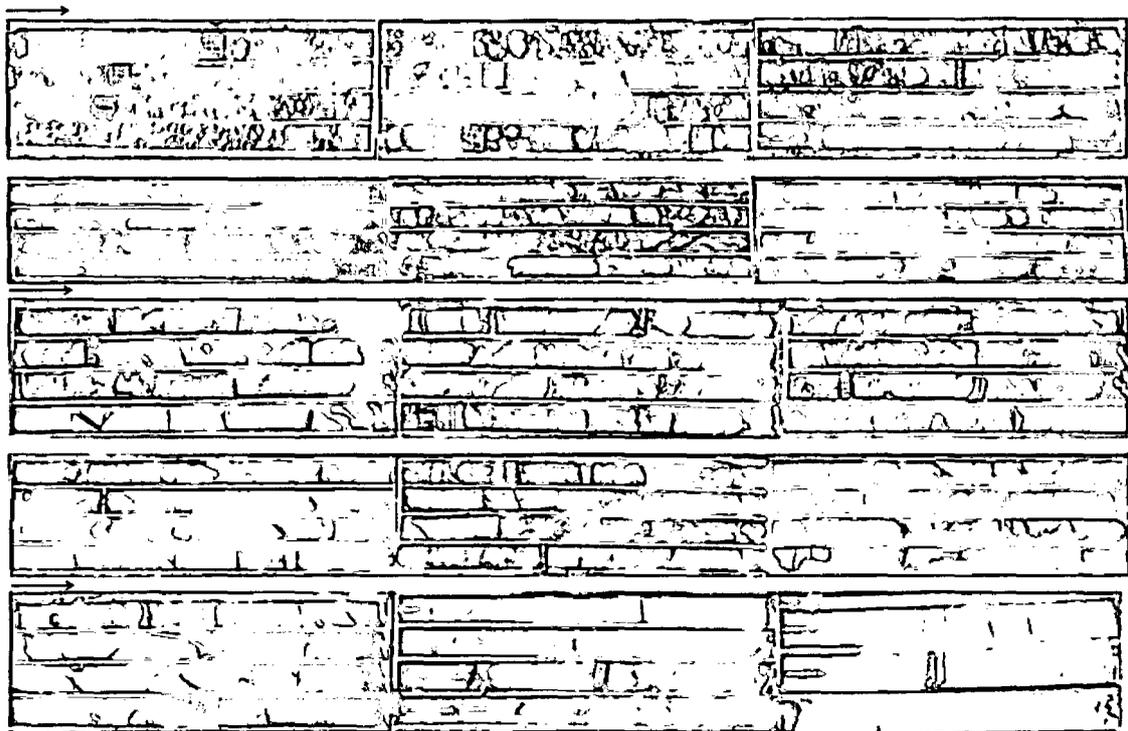
TC-02



Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú.



H-02



Identificación de Unidades Hidrogeológicas Mediante Pruebas Hidráulicas en el Proyecto Cerro Corona, Cajamarca, Perú.

F-01



ANEXO E:

REGISTRO DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS

Pozo		TC-03				Pozo		TC-04			
Norte		9251317.0				Norte		9251316.0			
Este		759952.0				Este		760394.0			
Elevación		3839.00				Elevación		3945.00			
Stick up (m)		0.57				Stick up (m)		0.76			
Inclinación		65°				Inclinación		80°			
Fecha	TC-03-I		TC-03-II		Fecha	TC-04-I		TC-04-II			
	Nivel de agua [m]	Elevación [msnm]	Nivel de agua [m]	Elevación [msnm]		Nivel de agua [m]	Elevación [msnm]	Nivel de agua [m]	Elevación [msnm]		
11/08/2011 16:30	40.16	3803.84	28.03	3814.84	20/04/2011 11:58	106.2	3841.33	107.45	3840.10		
16/08/2011 00:00	40.15	3803.85	26.52	3816.20	27/04/2011 15:40	106.35	3841.18	107.33	3840.22		
17/08/2011 13:23	41.175	3802.92	26.46	3816.26	02/05/2011 08:40	105.605	3841.92	107.45	3840.10		
18/08/2011 14:55	41.21	3802.89	26.35	3816.36	05/05/2011 10:30	105.98	3841.55	107.47	3840.08		
19/08/2011 12:25	41.24	3802.86	26.31	3816.39	07/05/2011 11:03	106.71	3840.83	107.55	3840.00		
20/08/2011 10:50	41.26	3802.85	26.27	3816.43	12/05/2011 13:35	108.6	3838.97	106.65	3840.89		
21/08/2011 15:10	41.28	3802.83	26.22	3816.48	15/05/2011 09:20	105.63	3841.89	107.89	3839.67		
22/08/2011 14:45	41.29	3802.82	26.18	3816.51	16/05/2011 11:37	105.18	3842.34	107.89	3839.67		
23/08/2011 17:15	41.31	3802.80	26.15	3816.54	21/05/2011 12:30	106.4	3841.13	108	3839.56		
24/08/2011 05:04	41.33	3802.78	26.13	3816.56	28/05/2011 18:30	108.92	3838.65	108.33	3839.23		
25/08/2011 11:38	41.33	3802.78	26.12	3816.57	31/05/2011 13:00	109.87	3837.72	108.28	3839.28		
26/08/2011 15:05	41.35	3802.76	26.10	3816.58	16/06/2011 15:00	107.31	3840.24	108.87	3838.70		
27/08/2011 15:30	41.39	3802.73	26.11	3816.58	24/06/2011 16:25	118.27	3829.44	109.78	3837.81		
28/08/2011 16:50	41.4	3802.72	26.10	3816.58	06/07/2011 11:00	119	3828.73	109.33	3838.25		
29/08/2011 14:50	41.41	3802.71	26.09	3816.59	12/07/2011 11:30	117.85	3829.86	109.39	3838.19		
30/08/2011 10:00	41.45	3802.67	26.10	3816.58	21/07/2011 14:45	118.26	3829.45	109.46	3838.12		
31/08/2011 18:05	41.45	3802.67	26.12	3816.57	27/07/2011 15:43	118.21	3829.50	109.6	3837.98		
01/09/2011 09:47	41.49	3802.64	26.12	3816.57	01/08/2011 17:32	118.12	3829.59	109.6	3837.98		
08/09/2011 13:43	41.52	3802.61	26.12	3816.57	11/08/2011 11:02	118.79	3828.93	109.8	3837.79		
Pozo	F-01				16/08/2011 00:00	118.81	3828.91	109.71	3837.87		
Norte	9252839.0				17/08/2011 14:20	118.43	3829.29	109.69	3837.89		
Este	762116.0				18/08/2011 15:47	118.6	3829.12	109.69	3837.89		
Elevación	3792.0				19/08/2011 10:43	118.78	3828.94	109.7	3837.88		
Stick up (m)	0.56				20/08/2011 09:39	118.82	3828.90	109.72	3837.86		
Inclinación	80				21/08/2011 10:57	118.91	3828.81	109.7	3837.88		
Fecha	F-01-I		F-01-II		Fecha	Nivel de agua [m]	Elevación [msnm]	Nivel de agua [m]	Elevación [msnm]		
	Nivel de agua [m]	Elevación [msnm]	Nivel de agua [m]	Elevación [msnm]							
22/08/2011 11:45					23/08/2011 15:40	119.01	3828.72	109.84	3837.75		
31/05/2011 09:56	95.79	3699.14	34.82	3759.19	24/08/2011 17:50	118.93	3828.79	109.85	3837.74		
11/06/2011 12:00					25/08/2011 10:38	118.86	3828.86	109.86	3837.73		
12/06/2011 15:45					26/08/2011 17:08	119.97	3827.77	109.8	3837.79		
24/06/2011 11:00	95.95	3698.99			27/08/2011 11:30	119.04	3828.69	109.81	3837.78		
07/07/2011 10:30	97.95	3697.02	35.30	3758.72	28/08/2011 17:20	119.08	3828.65	109.8	3837.79		
12/07/2011 17:00	96.45	3698.49			29/08/2011 12:00	119.09	3828.64	109.81	3837.78		
21/07/2011 15:20	96.40	3698.54	35.30	3758.72	30/08/2011 12:01	119.12	3828.61	109.81	3837.78		
28/07/2011 09:13	96.45	3698.49			31/08/2011 17:10	119.205	3828.52	109.84	3837.75		
02/08/2011 17:40	96.98	3697.97	35.30	3758.72	01/09/2011 08:40	119.24	3828.49	109.845	3837.74		
11/08/2011 13:20	96.50	3698.45			15/09/2011 15:20	119.38	3828.35	109.73	3837.85		
17/08/2011 16:13	96.47	3698.48	35.31	3758.71							
24/08/2011 18:20	96.49	3698.46	35.33	3758.69							
30/08/2011 18:03	95.80	3699.13	35.30	3758.72							
22/09/2011 13:30	97.20	3697.76	35.87	3758.15							
28/09/2011 10:50	96.35	3698.59	35.70	3758.32							
05/10/2011 11:00	96.62	3698.33									

Pozo		TC-01				Pozo		TC-02			
Norte		9251201.0				Norte		9250935.0			
Este		761042.0				Este		761235.0			
Elevacion		3843.0				Elevacion		3950.0			
Stick up (m)		0.6				Stick up (m)		0.76			
Inclinacion		65°				Inclinacion		-90			
Fecha	TC-01-I		TC-01-II		Fecha	TC-02-I		TC-02-II			
	Nivel de agua	Elevacion	Nivel de agua	Elevacion		Nivel de agua	Elevacion	Nivel de agua	Elevacion		
	[m]	[msnm]	[m]	[msnm]		[m]	[msnm]	[m]	[msnm]		
03/03/2011 10:23	1.32	3842.75	2.34	3841.82	10/04/2011 18:00	55.03	3895.95	47.02	3903.96		
10/03/2011 16:45	0.00	3843.94	0.00	3843.94	13/04/2011 13:30	54.05	3896.93	47.19	3903.79		
17/03/2011 16:30	0.66	3843.35	1.45	3842.63	20/04/2011 11:39	56.47	3894.51	47.43	3903.55		
25/03/2011 14:45	0.00	3843.94	0.00	3843.94	02/05/2011 09:40	56.37	3894.61	47.845	3903.13		
30/03/2011 11:17	0.00	3843.40	0.00	3843.94	03/05/2011 14:40	56.27	3894.71	47.85	3903.13		
13/04/2011 15:50	0.00	3843.40	0.00	3843.40	05/05/2011 10:02	56.28	3894.70	48.32	3902.66		
20/04/2011 11:20	0.00	3843.40	0.00	3843.40	07/05/2011 10:03	56.46	3894.52	48.58	3902.40		
28/04/2011 14:20	0.00	3843.40	0.00	3843.40	12/05/2011 14:51	56.72	3894.26	49.9	3901.08		
02/05/2011 09:20	0.00	3843.40	0.00	3843.40	15/05/2011 22:35	56.75	3894.23	50.09	3900.89		
03/05/2011 15:00	0.00	3843.94	0.00	3843.40	16/05/2011 10:54	57.05	3893.93	49.98	3901.00		
05/05/2011 09:10	0.00	3843.94	0.68	3843.94	21/05/2011 12:15	57.07	3893.91	50.3	3900.68		
07/05/2011 09:27	0.28	3843.69	0.93	3843.10	28/05/2011 11:45	57.31	3893.67	51.22	3899.76		
12/05/2011 08:57	0.90	3843.13	0.56	3843.44	31/05/2011 11:43	57.41	3893.57	51.28	3899.70		
15/05/2011 16:40	0.37	3843.61	1.06	3842.98	08/06/2011 11:56	58.1	3892.88	51.44	3899.54		
21/05/2011 09:54	0.84	3843.18	1.50	3842.59	16/06/2011 09:35	58.65	3892.33	51.56	3899.42		
28/05/2011 15:43	1.45	3842.63	2.10	3842.04	24/06/2011 15:40	59.48	3891.50	51.77	3899.21		
31/05/2011 10:54	1.69	3842.41	2.31	3841.85	06/07/2011 11:30	60.32	3890.66	51.945	3899.03		
08/06/2011 10:10	2.41	3841.76	2.31	3841.85	12/07/2011 11:48	60.34	3890.64	52.07	3898.91		
07/07/2011 12:25	4.03	3840.29	4.54	3839.83	21/07/2011 15:00	60.94	3890.04	52.18	3898.80		
12/07/2011 12:25	4.30	3840.05	4.80	3839.59	27/07/2011 15:13	61.1	3889.88	52.27	3898.71		
21/07/2011 15:30	4.10	3840.23	4.62	3839.76	01/08/2011 14:18	61.36	3889.62	52.32	3898.66		
28/07/2011 09:53	4.41	3839.95	4.97	3839.44	11/08/2011 11:18	61.38	3889.60	52.36	3898.62		
02/08/2011 05:10	4.68	3839.70	5.16	3839.27	17/08/2011 14:30	61.345	3889.63	52.39	3898.59		
11/08/2011 12:10	4.82	3839.58	4.99	3839.42	24/08/2011 14:30	61.47	3889.51	52.41	3898.57		
16/08/2011 11:36	5.43	3839.02	5.89	3838.61	29/08/2011 12:18	60.95	3890.03	52.42	3898.56		
24/08/2011 11:00	7.88	3836.80	7.30	3837.33	15/09/2011 15:32	60.96	3890.02	52.45	3898.53		
30/08/2011 11:00	5.97	3838.53	6.41	3838.14							
15/09/2011 16:46	5.19	3839.24	5.75	3838.73							
Pozo		H-02				Pozo		H-01			
Norte		9251823.0				Norte		9252252.0			
Este		759623.0				Este		759674.0			
Elevacion		3829.0				Elevacion		3727.0			
Stick up (m)		0.65				Stick up (m)		0.37			
Inclinacion		70°				Inclinacion		75°			
Fecha	H-02-I		H-02-II		Fecha	H-01-I		H-01-II			
	Nivel de agua	Elevacion	Nivel de agua	Elevacion		Nivel de agua	Elevacion	Nivel de agua	Elevacion		
	[m]	[msnm]	[m]	[msnm]		[m]	[msnm]	[m]	[msnm]		
16/08/2011 18:00	29.84	3802.2			24/06/2011 13:55	1.20	3726.90	1.18	3726.92		
19/08/2011 16:00	29.86	3802.2			06/07/2011 18:00	1.20	3726.90				
22/08/2011 14:00	29.86	3802.2			12/07/2011 13:45	-0.12	3728.17	0.55	3727.53		
23/08/2011 12:00	29.88	3802.2			20/07/2011 11:00			0.16	3727.90		
24/08/2011 16:53	29.89	3802.2			27/07/2011 18:10	0.14	3727.92				
29/08/2011 10:45	29.9	3802.2			01/08/2011 10:30	0.00	3728.06	0.19	3727.87		
03/09/2011 04:37	29.91	3802.2			11/08/2011 08:50	0.01	3728.05	0.15	3727.91		
07/09/2011 22:29	29.91	3802.2			16/08/2011 11:36	0.00	3728.06	0.16	3727.90		
08/09/2011 13:12	29.92	3802.1			24/08/2011 04:32	0.01	3728.05	0.14	3727.92		
15/09/2011 15:10	29.92	3802.1			30/08/2011 10:05	-0.29	3728.34	-0.11	3728.16		

Pozo		R-01				Pozo		R-02			
Norte		9252588.0				Norte		9252580.0			
Este		761172.0				Este		761500.0			
Elevación		3812.0				Elevación		3811.0			
Stick up (m)		0.6				Stick up (m)		0.26			
Inclinación		90				Inclinación		90			
Fecha	R-01-I		R-01-II		Fecha	R-02-I		R-02-II			
	Nivel de agua	Elevación	Nivel de agua	Elevación		Nivel de agua	Elevación	Nivel de agua	Elevación		
	[m]	[msnm]	[m]	[msnm]		[m]	[msnm]	[m]	[msnm]		
10/02/2011 16:00	76.2	3735.8	32.15	3779.85	10/02/2011 16:24	78.78	3732.22				
16/02/2011 09:06	74.81	3737.19	32.1	3779.9	16/02/2011 09:27	77.88	3733.12				
03/03/2011 09:35	75.77	3736.23	32.52	3779.48	03/03/2011 09:50	75.13	3735.87				
10/03/2011 14:00	76.12	3735.88	32.2	3779.8	10/03/2011 14:45	74.64	3736.36				
17/03/2011 15:15	76.22	3735.78	32.38	3779.62	17/03/2011 15:25	74.38	3736.62	65.88	3745.12		
25/03/2011 10:21	75.92	3736.08	31.67	3780.33	25/03/2011 10:21	74.265	3736.735				
30/03/2011 10:42	73.87	3738.13	31.4	3780.6	30/03/2011 11:20	73	3738				
12/04/2011 10:00	70.25	3741.75	32.15	3779.85	12/04/2011 10:23	72.24	3738.76				
20/04/2011 09:10	73.57	3738.43	32.29	3779.71	20/04/2011 09:22	70.45	3740.55	65.83	3745.17		
26/04/2011 10:10	73.96	3738.04	32.27	3779.73	26/04/2011 10:53	69.575	3741.425				
02/05/2011 10:42	74.26	3737.74	32.26	3779.74	02/05/2011 10:30	69.098	3741.902				
12/05/2011 10:06	74.51	3737.49			12/05/2011 10:25	68.71	3742.29	65.86	3745.14		
15/05/2011 15:30	74.7	3737.3	32.36	3779.64	15/05/2011 16:00	68.68	3742.32	65.85	3745.15		
28/05/2011 17:00	75	3737	32.48	3779.52	28/05/2011 17:27	68.92	3742.08	65.88	3745.12		
07/07/2011 17:00	76.24	3735.76	32.69	3779.31	06/07/2011 16:10	70.9	3740.1	65.89	3745.11		
12/07/2011 08:00	76.22	3735.78	32.7	3779.3	12/07/2011 08:12	70.92	3740.08	65.9	3745.1		
21/07/2011 16:10	75.39	3736.61	32.29	3779.71	21/07/2011 04:40	71.86	3739.14	65.89	3745.11		
24/07/2011 15:16	76.25	3735.75	35.26	3776.74	11/08/2011 14:40	65.96	3745.04	64.72	3746.28		
11/08/2011 14:59	76.5	3735.5	32.63	3779.37	17/08/2011 17:30	73.45	3737.55	65.93	3745.07		
17/08/2011 17:08	76.68	3735.32	32.7	3779.3	25/08/2011 15:41	73.94	3737.06	65.94	3745.06		
25/08/2011 15:15	76.99	3735.01	32.74	3779.26	30/08/2011 17:11	74.24	3736.76	65.95	3745.05		
30/08/2011 16:47	77.03	3734.97	32.84	3779.16	15/09/2011 15:31	74.61	3736.39				
15/09/2011 15:07	77.11	3734.89	32.97	3779.03							