



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA**



CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE IMPLANTACIÓN DEL EMBALSE LIVILCAR, VALLE DE AZAPA, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, CHILE.

Memoria para optar al Título de Geólogo

Diego Ignacio Hermosilla Verdugo

Profesor Patrocinante:

Msc. Abraham Elías González Martínez

Profesional Guía:

Sr. Matías Felipe Oyarzo Agurto

Profesores Comisión:

Dr. Jorge Andrés Quezada Flory

Msc. Liubow N. González Martínez

CONCEPCIÓN, 2021

ÍNDICE

Pág.

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS.....	2
1.4. METODOLOGÍA.....	4
1.4.1. ETAPA DE GABINETE.....	4
1.4.2. ETAPA DE TERRENO.....	5
1.4.3. ETAPA DE GABINETE 2.....	5
1.5. CLIMA.....	6
1.5.1. FLORA Y FAUNA.....	6
1.6. TRABAJOS ANTERIORES.....	7
1.7. AGRADECIMIENTOS.....	9
2. GEOMORFOLOGÍA.....	10
2.1. GENERALIDADES.....	10
2.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	11
2.2.1. ANÁLISIS DE ELEVACIÓN.....	11
2.2.2. ANÁLISIS DE PENDIENTE.....	13
2.2.3. ANÁLISIS DE LA RED DE DRENAJE.....	13
2.2.4. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	17
2.2.4.1. Precordillera.....	18
2.3. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	19
3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	21
3.1. GENERALIDADES.....	21
3.2. ROCAS ESTRATIFICADAS.....	22
3.2.1. FORMACIÓN LIVILCAR.....	22
3.2.1.1. Miembro Inferior.....	23
3.2.1.2. Miembro Superior.....	24
3.2.2. DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS DE SOBRECARGA.....	24
3.2.2.1. Depósitos de Remoción en masa.....	24
3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	25
3.3.1. EVOLUCIÓN TECTÓNICA.....	25
3.3.2. ESTRUCTURAS REGIONALES.....	27

4. GEOLOGÍA LOCAL.....	30
4.1. GENERALIDADES.....	30
4.2. GEOLOGÍA DEL SITIO DE PRESA.....	32
4.2.1. BASAMENTO (FM. LIVILCAR).....	33
4.2.1.1. Miembro Inferior.....	33
4.2.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS.....	35
4.2.2.1. Depósitos Aluviales.....	35
4.2.2.2. Depósitos Aluviales Aterrazados.....	36
4.2.2.3. Depósitos de Cono de Deyección.....	36
4.2.2.4. Depósitos de Remoción en masa.....	36
4.3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE INUNDACIÓN.....	36
4.3.1. FORMACIÓN LIVILCAR.....	37
4.3.1.1. Miembro Inferior.....	37
4.3.1.2. Miembro Superior.....	38
4.3.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS.....	38
4.3.2.1. Depósitos de Remoción en Masa.....	38
4.3.2.2. Depósitos Aluviales Aterrazados y Conos detríticos.....	39
4.3.2.3. Cubierta Aluvial Reciente.....	39
4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	39
4.4.1. GENERALIDADES.....	39
4.4.2. LINEAMIENTOS.....	42
4.4.2.1. Lineamientos NE-SW.....	42
4.4.2.2. Lineamientos NNW-SSE.....	43
4.4.2.3. Lineamientos NW-SE.....	44
4.4.3. FALLAS.....	44
4.4.4. PLIEGUES.....	48
5. ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	49
5.1. GENERALIDADES.....	49
5.2. PROSPECCIONES Y RECONOCIMIENTO DE TERRENO....	49
5.2.1. RECONOMIENTO MEDIANTE SONDAJES.....	51
5.2.1.01. Sondaje EL-01.....	51
5.2.1.02. Sondaje EL-02.....	53
5.2.1.03. Sondaje EL-03.....	53
5.2.1.04. Sondaje EL-04.....	54
5.2.1.05. Sondaje EL-05.....	56
5.2.1.06. Sondaje EL-06.....	57
5.2.1.07. Sondaje EL-07.....	58
5.2.1.08. Sondaje EL-08.....	59
5.2.1.09. Sondaje EL-09.....	60
5.2.1.10. Sondaje EL-10.....	61
5.2.1.11. Sondaje EL-11.....	62
5.2.1.12. Sondaje EL-12.....	63
5.2.1.13. Sondaje EL-13.....	64

5.2.1.14. Sondaje EL-14.....	65
5.2.1.15. Sondaje EL-15.....	66
5.2.1.16. Sondaje EL-16.....	67
5.2.1.17. Sondaje EL-17.....	68
5.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA.....	69
5.3.1. ANÁLISIS DE SONDAJES EN EL PLINTO.....	69
5.3.1.1. Sondajes en el valle.....	69
5.3.1.2. Sondajes en plinto derecho.....	71
5.3.1.3. Sondajes en plinto izquierdo.....	76
5.3.2. RESULTADOS.....	79
5.3.3. EVALUACIÓN PARA EL TÚNEL DE DESVÍO.....	79
5.3.3.1. Clasificación geomecánica “Q”.....	80
5.3.3.2. Categoría de soporte.....	85
5.4. SUGERENCIAS GENERALES.....	85
6. GEOLOGÍA AMBIENTAL.....	87
6.1. GENERALIDADES.....	87
6.2. ÁREAS URBANAS.....	88
6.3. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	89
6.3.1. GENERALIDADES.....	89
6.3.2. DESLIZAMIENTOS Y REMOCIONES EN MASA.....	89
6.3.3. INUNDACIONES.....	92
6.3.4. PELIGRO SÍSMICO Y TERREMOTOS.....	94
6.3.5. PELIGRO VOLCÁNICO.....	102
6.3.6. RECOMENDACIONES GENERALES.....	106
7. CONCLUSIONES.....	106
8. REFERENCIAS.....	108
ANEXO I: CÁLCULO DE ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD) Y ROCK MASS RATING (RMR)	
ANEXO II: COLUMNAS GEOTÉCNICAS POR SONDAJE	

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.		Pág.
1.01.	Clima de la Región de Arica y Parinacota.....	7
2.01.	Mapa de elevación digital.....	12
2.02.	Mapa de pendientes.....	13
2.03.	Caudales medios diarios y máximos medios diarios, y su varianza estacional.....	15
2.04.	Mapa zonificación de drenajes hídricos.....	15
2.05.	Perfil geomorfológico de la zona de estudio.....	17
2.06.	Zonificación geomorfológica.....	18
3.01.	Geología del valle de Azapa a la altura de Livilcar y sus alrededores.....	23
3.02.	Fisiografía, geología de los Andes Centrales y los sistemas de fallas que definen los límites de las provincias morfoestructurales.....	28
3.03.	Tectónica y estructuras relacionadas al Anticlinal Oxaya.....	30
3.04.	Características estructurales de los alrededores del sitio de presa.....	31
4.01.	Mapa geológico del sitio de presa.....	32
4.02.	Mapa geológico del área de inundación.....	37
4.03.	Segmentación andina.....	41
4.04.	Principales lineamientos locales.....	43
4.05.	Diagrama de roseta de las principales direcciones de los lineamientos.....	43
4.06.	Diagrama de roseta para cada grupo de lineamientos.....	44
4.07.	Estructuras observadas en el sitio de presa.....	47
5.01.	Ubicación de los sondajes del Proyecto Embalse Livilcar.....	52
5.02.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-01.....	53
5.03.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-02.....	54
5.04.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-03.....	55
5.05.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-04.....	56
5.06.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-05.....	57
5.07.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-06.....	58
5.08.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-07.....	59
5.09.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-08.....	60
5.10.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-09.....	61
5.11.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-10.....	62
5.12.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-11.....	63
5.13.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-12.....	64
5.14.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-13.....	65
5.15.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-14.....	66
5.16.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-15.....	67
5.17.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-16.....	68
5.18.	<i>RQD</i> v/s <i>RMR</i> Sondaje EL-17.....	69
5.19.	Ensayo Lugeon del sondaje EL-01 y EL-04.....	71
5.20.	Ensayo Lugeon de EL-07 en el segmento 40,00 - 45,00 m.....	72
5.21.	Gráfico permeabilidad v/s <i>RQD</i> para EL-07.....	72
5.22.	Gráfico permeabilidad v/s <i>RQD</i> para EL-06.....	74
5.23.	Gráfico permeabilidad v/s <i>RQD</i> para EL-12.....	75
5.24.	Ensayo Lugeon de EL-09 en el segmento 42,00 - 47,00 m.....	77

5.25.	Gráfico permeabilidad v/s RQD para EL-10.....	78
5.26.	Ecuación del índice Q	78
5.27.	Perfil esquemático de zonas geotécnicas para la zona del túnel de desvío.....	81
5.28.	Zonificación geotécnica de la cimentación del túnel de desvío.....	84
5.29.	Sostenimiento según el índice Q	86
6.01.	Áreas de ruptura de 1868 y 1877 y últimos sismos.....	99
6.02.	Conos mayores y menores de la XV Región de Arica y Parinacota.....	103
6.03.	Dirección promedio de los vientos sobre la Región de Arica y Parinacota, año 2018.....	104

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto	Pág.
1.01. Río San José.....	2
1.02. Ruta Santiago-Ausipar	4
4.01. Silicificación pervasiva en masa fundamental de una toba andesítica.....	33
4.02. Muestra de toba andesítica porfídica ubicada en el sector de aguas abajo del estribo derecho.....	34
4.03. Alteración de epidota acompañando de una silicificación pervasiva de la roca volcánica andesítica.....	34
4.04. Bandeamiento metamórfico en el Miembro Inferior de la Formación Livilcar.....	35
4.05. Afloramientos de lutitas y calizas del Miembro Superior de la Formación Livilcar.....	38
4.06. Depósitos de remoción en masa en la zona de inundación.....	39
4.07. Trazas de falla que pasan por el área del proyecto.....	45
4.08. Vista norte del área de presa.....	46
4.09. Falla acompañada de brecha y salbanda, que afecta a la ladera izquierda del sitio de presa	47
6.01. Depósito de remoción en masa acompañado de procesos aluviales, 300 m aguas arriba del estribo izquierdo.....	91
6.02. Crecida del Río San José en periodo estival (Febrero 2011).....	94
6.03. Morro de Arica luego del terremoto y tsunami de 1868.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
5.01. Sondajes realizados en el Proyecto Livilcar.....	50
5.02. Propiedades de la roca bajo la cota 1772.83 m para los sondajes del fondo del valle.....	70
5.03. Propiedades de la roca obtenidas por los sondajes EL-07 y EL-08.....	73
5.04. Propiedades de la roca entregadas por EL-06 a la cota 1.786,5 m.....	74
5.05. Propiedades de la roca obtenidas por EL-12.....	75
5.06. Propiedades de la roca obtenidas por EL-09.....	76
5.07. Propiedades de la roca obtenidas por EL-10.....	77
5.08. Propiedades de la roca obtenidas por sondaje EL-11.....	78
5.09. Zonificación del macizo para la construcción del túnel de desvío.....	81
5.10. Clasificación del macizo para la Zona I.....	82
5.11. Clasificación del macizo para la Zona II.....	83
5.12. Clasificación del macizo para la Zona III (Cercano a zona de falla).....	83
5.13. Clasificación del macizo para la Zona IV.....	84
6.01. Catastro de principales sismos que han afectado la XV Región.....	97



RESUMEN

La presente memoria reúne los antecedentes geológicos y geotécnicos del diseño del Embalse Livilcar, ubicado en las cercanías del poblado del mismo nombre, en la parte alta del valle de Azapa, a unos 80 kilómetros al este de la ciudad de Arica, XV Región. El embalse tiene por objetivo regular las crecidas estivales del río San José, que se generan debido al Invierno Altiplánico en las zonas de la alta Precordillera y cordillera. La obra compromete rocas pertenecientes al basamento Mesozoico (Fm. Livilcar) y diversos depósitos cuaternarios. Para estudiar la calidad de las rocas se realizaron 17 sondajes exploratorios (más dos adicionales para la zona de cantera), completando un total de 770 metros perforados, en los cuales se realizaron ensayos de permeabilidad Lugeon y Lefranc. Las rocas expuestas por los sondajes en profundidad, corresponden en general, a andesitas y dacitas, bajo espesores variables (~0-12 m) de sustratos tipo grava. Según los análisis realizados a través de los índices geotécnicos *RQD* (Deere, 1988, en Bieniawski, 1989), *RMR* (Bieniawski, 1989) y *Q* (Barton y otros, 1974), las rocas poseen una mala calidad geotécnica, con permeabilidades variables (0,1-10 U.L) y un mediano grado de meteorización. Esto hace que el macizo presente grandes contrastes, con zonas con una calidad excepcionalmente mala ($RQD=0\%$), hasta sectores duros ($RMR\sim 70$) de diaclasas con material sobreconsolidado. A pesar de la gran variabilidad, la tendencia general sigue un aumento de los valores de calidad (hasta $\sim 90\%$ *RQD*) y bajas permeabilidad (~ 0.1 U.L) a medida que se profundiza en la roca. En el área de presa se encuentran encontrar fallas geológicas tanto en la ladera norte y en la ladera sur, con presencia de abundante salbanda y material arcilloso. Sin embargo, estas no presentan actividad reciente y no comprometen de manera significativa la obra, sin embargo su comportamiento a medida que avanza la obra debe ser observado. El inicio de las obras es favorable según las consideraciones expuestas en este estudio, tanto para la presa, zona de inundación, túnel de desvío, así como sus obras anexas. El estudio considera la construcción de una presa de tipo CFRD (Grava con loza de hormigón) en un valle estrecho de 100 metros de profundidad y una cortina de inyecciones que prevendrá el sifonamiento del agua embalsada. En la zona actualmente no se identifican peligros geológicos inminentes, pero esta situación podría cambiar por la intervención antrópica.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La tarea de predecir con exactitud el comportamiento del subsuelo suele ser compleja, y en general, constituye (o debería) un área de estudio indispensable, previo a cualquier fundación. Los estudios geotécnicos tienen la finalidad de predecir factores geológicos condicionantes y mitigar.

El análisis de las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos son de suma importancia en la infraestructura hídrica, ya sea en presas para control de inundaciones, sistemas de riego y embalses. Estas variables y cálculos deben ser considerados para garantizar la factibilidad y viabilidad del Proyecto Embalse Livilcar.

La presente memoria constituye un antecedente para el diseño del embalse Livilcar sobre el río San José en la Región de Arica y Parinacota, que consiste en las obras de Presa, Vertedero y Obras de Desvío, junto con sus obras anexas. Las edificaciones aún no han sido planeadas en forma definitiva en cuanto a ubicación, dimensiones y características, situación que quedará definida en etapas posteriores del estudio. El análisis geotécnico contenido en este informe, busca establecer las condiciones geotécnicas del suelo y de la roca a través de diferentes métodos, cada uno de estos debidamente justificados y sustentados con una base teórica firme.

Este estudio surge por la necesidad de mitigar los daños de las crecidas del Río San José en el periodo estival (Enero – Febrero; Fotografía 1.01), lo que provoca estragos en los suelos agrícolas del valle de Azapa y en la infraestructura de la ciudad y el sector costero (puerto de Arica y playas del litoral). Además, este embalse permitirá la recarga del acuífero del valle de Azapa, lo que se traducirá en un aumento en la cantidad de agua disponible para el consumo y riego.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las condiciones geológicas y los parámetros geotécnicos para la construcción del embalse Livilcar.



Fotografía 1.01. Río San José (Tomada en febrero del 2011).

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Elaborar un mapa geológico de escala 1:1000 del sitio de presa, plinto y área de inundación. Y un mapa geológico 1:2500 de la zona de inundación.
- ❖ Determinar las propiedades geotécnicas del macizo rocoso en la zona de emplazamiento del proyecto, en base a sondajes.
- ❖ Evaluación de posibles peligros geológicos presentes en el área de posicionamiento del embalse.
- ❖ Proponer las medidas correctivas adecuadas para la estabilización y auscultación de los taludes y cimentación del proyecto Embalse Livilcar.

1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS

La localidad de Livilcar se ubica a los pies de la pre cordillera de Arica y Parinacota, al interior del Valle de Azapa, a una altitud de 1.917 m s.n.m. y a unos 80 km al E de Arica, en las coordenadas 18°30'06'' Latitud S y 69°42'33'' Longitud W. Actualmente, la población del lugar cuenta con muy pocos habitantes, y parte de ella se restringe solo a la actividad agrícola y a la crianza de animales.

La zona de estudio se encuentra aproximadamente a 2.100 km al N de la ciudad de Santiago, Región Metropolitana. El camino puede recorrerse gran parte a través de la Ruta 5/Panamericana norte (Fotografía 1.02.a) que sale de Santiago. Siguiendo esta, se debe manejar sin desvíos por unos 465 km aproximadamente, continuando recto por esta misma ruta la cual pasa por Coquimbo y La Serena (Fotografía 1.02.b). El camino se hace sin interrupciones hasta las cercanías de Copiapó, donde se toma la C-386 a la izquierda por 31 km hasta volver a incorporarse a la Panamericana Norte y así evitar la entrada a Copiapó. Esta ruta pasa por Antofagasta y Pozo Almonte, y puede continuarse sin desvíos hasta llegar a las inmediaciones de Arica, el cual constituye un recorrido de unos 1.250 km aproximadamente.

Acercándose a la ciudad se debe tomar el camino hacia la derecha en dirección Santiago Flores (Fotografía 1.02.c), siguiendo la A-33 por unos 10 km, hasta la intersección con la A-27. En este lugar se debe doblar hacia la derecha (Fotografía 1.02.d), camino el cual nos conducirá a través del valle de Azapa por unos 46 km hasta llegar a la localidad de Ausipar. En este sector la carretera se encuentra en buen estado solo hasta llegar a la zona de control de Carabineros, donde el camino se angosta y solo es posible la circulación en una sola dirección, razón por la cual, el tráfico está restringido según horario. Desde la zona de control el camino se hace angosto y accidentado, con gran cantidad de curvas que se elevan sobre el valle, al menos hasta el paradero de Chamarcusiña. Desde esta ubicación el recorrido debe hacerse a pie a través del valle, pasando por las localidades de Pampa Oxaya, Arcune, Pampa Coyote, Sinahualla Apacheta, Humagata, Achullo y Molino.

Livilcar se encuentra 10 km aguas arriba del Santuario de la Virgen de las Peñas y sólo tiene tres accesos: continuando el ascenso desde el santuario a través del valle, seguir la ruta ancestral de Copaquilla, que se extiende por unos 12 km, para luego descender a la parte más baja del valle o cabalgar 17 km desde Belén y luego descender al valle. El primer camino es la opción más accesible, sin embargo, a través de Copaquilla se puede conectar con Zapahuira a través de una antigua ruta caravanera de tiempos prehispánicos, que es utilizada hasta hoy por jornaleros bolivianos que descienden a la parte baja del valle de Azapa durante la época de la recolección de aceitunas.



Fotografía 1.02. Ruta Santiago-Ausipar; (a) Ruta 5/Panamericana Norte, (b) intersección C-386, (c) cruce en dirección Santiago Flores, (e) intersección A-27, Azapa. (Tomado de Google Earth).

1.4. METODOLOGÍA

La presente memoria puede dividirse en tres etapas diferentes de trabajo, lo que permite desarrollar de manera eficaz los plazos y requerimientos para el “PROYECTO EMBALSE LIVILCAR” adjudicado por MN INGENIEROS Ltda.

1.4.1. ETAPA DE GABINETE

a. Investigación y recopilación de información y antecedentes geológicos del área de estudio, tanto a escala regional como local. Compendio de estudios anteriores realizados en el área, ya sea publicaciones científicas y bibliografía referente.

- b. Descripción de características geomorfológicas mediante análisis fotogeológico e interpretación de imágenes satelitales.
- c. Identificación de zonas de acceso, tanto para la toma de datos como para el ingreso de maquinaria de perforación.
- d. Diseño de la malla de sondajes según puntos de interés para realizar el mapeo geológico y análisis geotécnico.

1.4.2. ETAPA DE TERRENO

Los aspectos y objetivos específicos de esta etapa pueden resumirse en:

- a. Reconocimiento del sitio de presa y área de inundación para el acceso de maquinaria de perforación.
- b. Observación y toma de datos geológico-estructurales del área de estudio.
- c. Supervisión de campaña sondajes, calicatas y ensayos de permeabilidad de roca (Lugeon). Respaldo fotográfico de testigos.
- d. Descripción de parámetros geotécnicos y evaluación de calidad del macizo mediante criterios *RQD* (Deere, 1988, en Bieniawski, 1989), *RMR* (Bieniawski, 1989) y *Q* (Barton y otros, 1974).
- e. Evaluación de posibles peligros geológicos en el sitio de fundación y riesgos asociados al asentamiento de la obra.

1.4.3. ETAPA DE GABINETE 2

- a. Análisis, tratamiento y desarrollo de los datos obtenidos en terreno. Descripción y evaluación geológica-geotécnica y presentación de tablas estadísticas y gráficas de los resultados obtenidos.
- b. Digitalización de sondajes mediante software AutoCAD.
- c. Confección de un mapa geológico regional, así como de la zona de presa y área de inundación, a través de los softwares ArcGIS y AutoCAD.
- d. Construcción de perfiles del eje de presa, plinto, túnel de desvío y vertedero, mediante el uso de software AutoCAD y Adobe Illustrator.

El resultado final de este estudio constituye un antecedente para el diseño final de las obras, a nivel de factibilidad y valorización, del proyecto “DISEÑO EMBALSE LIVILCAR” a cargo de MN INGENIEROS Ltda.

1.5. CLIMA

Debido a su ubicación, la Región de Arica y Parinacota posee características desérticas con ciertas variaciones climáticas, condicionadas principalmente por la altura y su situación geográfica. Según Köppen (1984 en Iturra, 2016), la zona de estudio se enmarca en un *Clima árido muy frío* (Figura 1.01.). Este clima aparece entre los 2.000 y 3.000 m s.n.m. aproximadamente, con una baja humedad relativa, y presencia de precipitaciones estivales y de origen ciclónico, aunque escasas en ambos casos. Las precipitaciones de origen ciclónico pueden presentarse con intervalos de varios años, y están asociadas a inviernos pluviométricamente rigurosos en la zona central del país. En estos casos, suelen ser mayores a las del verano. La temperatura promedio no supera los 10° C, donde la altura atenúa las oscilaciones térmicas anuales, pero aumenta las diarias.

1.5.1 FLORA Y FAUNA

Como se ha mencionado, la escasez de agua, la elevada radiación solar y las grandes oscilaciones térmicas, controlan la flora y fauna en la zona, a menudo adaptadas a las condiciones hiperáridas. Es por esto que las especies se caracterizan por ser endémicas y con abundancia de fauna tipo camélida.

La flora y fauna, al igual que el clima, puede diferenciarse bien según la zona en la que nos encontremos. En el sector de ubicación del embalse, la presencia de vegetación es casi nula debido a las condiciones climáticas. Sin embargo, se observan algunas cactáceas, hierbas y arbustos como el Sandillón de los Ratonos (*Eriosyse redentiophila*), la Congonilla (*Peperonia doellii*), el cactus Candelabro (*Browningia candelaris*) y la Pata de Guanaco (*Calandrinia longiscapa*). El árbol más común es el Tamarugo (*Prosopis tamarugo*). La fauna también es escasa, limitándose a algunas aves como el Saca-tu-real (*Pyrocephalus rubinus*) y la paloma de Alas Blancas (*Zenaida asiatica*).

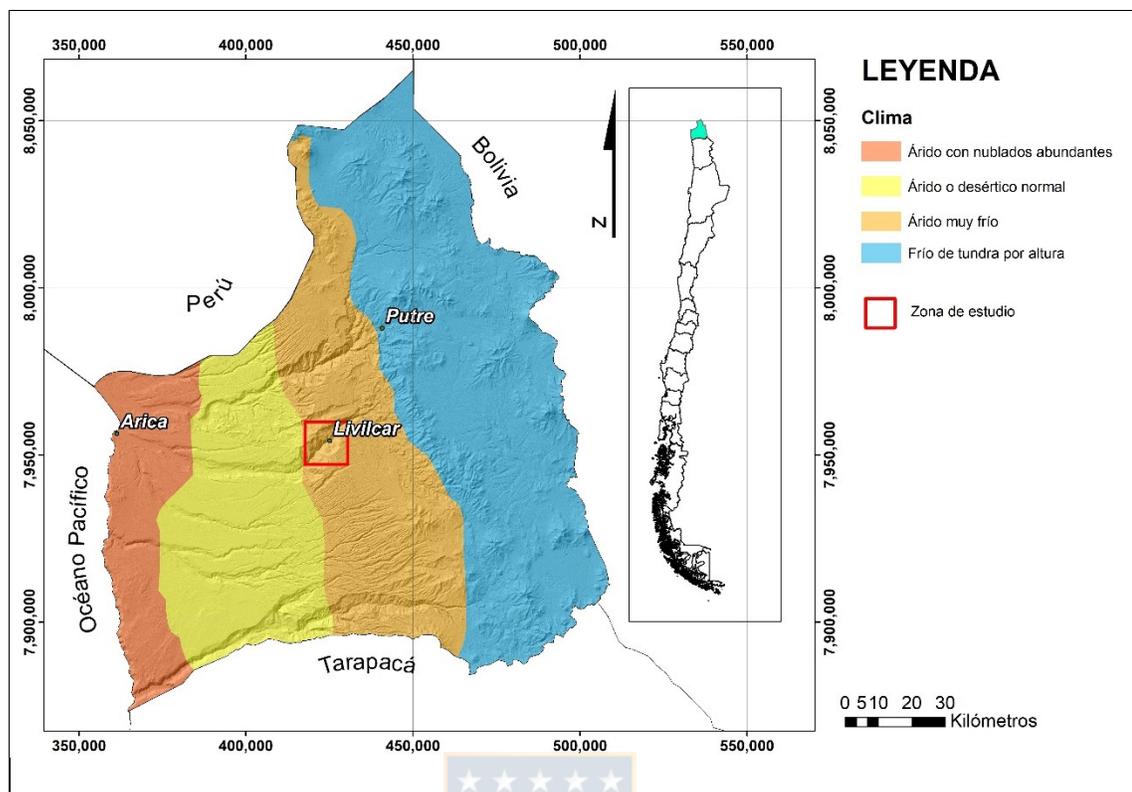


Figura 1.01. Clima de la Región de Arica y Parinacota (Tomado de Köppen (1984) y modificado por el autor de esta memoria).

1.6. TRABAJOS ANTERIORES

El sustrato rocoso o basamento de esta zona ha suscitado parcial interés entre los autores y autoridades competentes. Esta comenzó siendo descrita vagamente por Galli en 1957, pasando por Cecioni y García (1960), Salas y otros (1966), García (1966), hasta Camus y Fam (1971). Sin embargo no fue hasta 1988 que fue definida oficialmente por Muñoz y otros, como la Fm. Livilcar. Esto para denominar a los depósitos sedimentarios mesozoicos marinos y continentales cercanos a la localidad precordillerana de Livilcar y separándola de la antiguamente denominada Fm. Porfirítica (Brüggen, 1936).

ENAP en 1989, realizó un estudio de las rocas de la Fm. Livilcar como potencial fuente de hidrocarburos, sin embargo, esta no cumplió los estándares, siendo clasificada como sobremadura, e incluso moderadamente inmadura en algunos sectores.

El relleno Cuaternario dentro de la cuenca es extenso, e incluye depósitos no consolidados de origen continental, sedimentario y volcánico (García y otros, 2017). Estos han sido agrupados en

depósitos aluviales (Pleistoceno; Taylor, 1949; Baeza, 2010, Cuadra, 2017), depósitos fluviales, fluviomarinos y aterrizados (Niemeyer, 1980; Vögel y Vila, 1980; AC-DGA, 1989 en Arrau, 1997; Baeza, 2010, Cuadra, 2017), depósitos de remoción en masa (García y otros, 2004 en Cuadra 2017), depósitos coluviales (Vögel y Vila, 1980, AC-DGA, 1989 en Arrau, 1997, García y otros, 2004 en Cuadra, 2017), lacustres, corrientes de barro, evaporitas y depósitos de playas (García y otros, 2017).

En la zona de estudio, las principales estructuras están asociadas al Sistema de cabalgamiento con vergencia oeste (SCVO; Farías y otros, 2005), así como la Falla Ausipar (Muñoz y Sepúlveda, 1992; Muñoz y Charrier, 1996; García, 1996; García y otros, 1996; Pinto, 1999 en Charrier y otros, 2005), cercana al área de estudio. Esta estructura limita la Depresión Central y Precordillera, expuesta en los valles de Lluta y Azapa (García, 2002; García y otros, 2004; García y Hérail, 2005; Farías y otros, 2005), afectando tanto a rocas de las formaciones Livilcar y Azapa (García y otros, 2017).

Por varios años el Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP), ha advertido las malas condiciones en que se encuentra el acuífero de Azapa. Su situación actual no permite la sostener la demanda media existente, debido a su explotación no sustentable y de alto riesgo (MOP, 2010, 2011). Diversos estudios incentivados por la Dirección General de Aguas se han llevado a cabo para optimizar la utilización del recurso (Taylor, 1949; CONIC-BF, 1996; MOP, 2008, 2010, 2011; IPLA, 1996 en Arrau, 1997), así como buscar nuevas fuentes naturales (Niemeyer, 1964; MOP, 2008) o artificiales (MOP, 2014) que puedan abastecer la creciente demanda del acuífero (MOP, 2010).

Sequias (Taylor, 1949; Arrau, 1997; DGA, 1992 en Iturra, 2016), el creciente uso (Taylor, 1949), transporte de material sedimentable (Campos y otros, 2007), pérdidas de recursos por sustracción, conducción, infiltración, evaporación, administración deficiente del agua de riego, mal control de caudales, organización precaria y existencia de conflictos entre usuarios (MOP, 2010) son algunos de los problemas señalados por los autores.

Se concluye por los autores que se debe investigar la factibilidad técnica y económica de reducir las pérdidas (Arrau, 1997), además de no realizar nuevas perforaciones en el mismo acuífero (Taylor, 1949; Arrau, 1997; DGA-PCI-JICA, 1995 en MOP, 2010), manteniendo el área de

prohibición para nuevas explotaciones (Arrau, 1997), con la necesidad urgente de incorporar recursos adicionales al sistema (MOP, 2011). El embalsamiento y almacenamiento del recurso en los periodos húmedos para ser utilizado en los periodos secos, también ha sido propuesto (MOP, 2011).

Diversas acciones de competencia de la DOH (MOP) y organismos regionales en materia de obras fluviales, riego, control de crecidas y de sedimentos se han llevado a cabo en las cuencas de los ríos Lluta y San José (MOP, 2006 en MOP, 2010) para tratar de solucionar los inconvenientes a mediano y largo plazo, como lo son los canales Lauca (Niemeyer, 1980; Arrau, 1997; Iturra, 2016) y Azapa (MOP, 2010).

Otro problema importante es el aumento del caudal del río San José debido al Invierno Altiplánico. Estos fenómenos provocan graves daños sobre la infraestructura pública, viviendas y zonas agrícolas (Campos y otros, 2007; MOP, 2010). Debido a esto, se han discutido, analizado y gestionado diversos proyectos para evitar los daños a las viviendas y las personas; la construcción de embalses con estudios en las cuencas (Campos y otros, 2007). Aquí se enmarcan los estudios de factibilidad para la construcción de embalses para los Valles de Lluta y Azapa, de acuerdo a la licitación del futuro Embalse de Livilcar.

1.7. AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por acompañarme siempre en cada etapa de mi vida y especialmente en esta, que finaliza con la entrega de este trabajo. En segundo lugar a mi familia, que me ha ayudado y apoyado en los altos y bajos de esta carrera, aconsejándome y guiándome con paciencia en cada paso que he dado. Y a mí polola por su apoyo y amor incondicional.

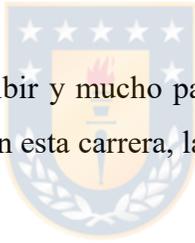
Dar gracias a mi profesor Abraham González, por su amabilidad y disposición a darme de su ayuda cada vez que la necesité, depositando su confianza en mí para poder acceder a este trabajo, con lo cual me siento muy honrado. Agradezco profundamente a Matías Oyarzo, por confiar en mí este estudio accediendo de muy buena voluntad cada vez que necesité información y dirección para completar este trabajo, lo que me ha permitido aprender mucho de él y de esta hermosa área que es la geotécnica.

Quiero extender esta gratitud a quienes han estado directa o indirectamente detrás de mi crecimiento, tanto profesional como personal. A Don Luis Vásquez, quien con paciencia y dedicación dispuso de cada minuto de su tiempo para enseñarnos el manejo de los softwares que requiere la industria. Agradecer a mi profesor Quinzio, la diligencia y prolijidad para solucionar cada problema que se me presentó, junto a sus consejos, que muchas veces, por muy duros que sonaran, estaban atiborrados de cariño y ánimos para nuestro crecimiento.

Y sin dejar de lado la vocación de cada uno de mis profesores, el cariño de mis amigos, la camaradería de mis compañeros y el ánimo servicial de los tíos, gracias a los cuales muchos de nuestros viajes y vivencias fueron mucho más cómodas e inolvidables.

Por supuesto no puedo olvidarme, de Doña Verónica Stern, quien me alojó y soportó por casi 7 años en su hogar, regalándome su cariño, consejos y compañía en este duro viaje, de lo cual nunca dejaré de agradecer. A Don Patricio Gajardo, a quien con desinterés y cariño me apoyo en esta carrera.

Sin duda hay poco espacio para escribir y mucho para agradecer, sin embargo, cada una de las personas y experiencias que aprendí en esta carrera, las atesoraré por siempre en mi corazón.



2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. GENERALIDADES

El cinturón andino se caracteriza por una conspicua geografía, con diferencias de altura de hasta 16.000 metros entre la fosa oceánica de Chile-Perú y el Altiplano, y una separación horizontal de tan solo 300 kilómetros. Esta es resultado de una intensa deformación del estilo faja corrida y plegada ocurrida entre el Cretácico y Paleoceno, que afectó preferentemente a las secuencias mesozoicas.

Un evento de deformación con fallamiento de alto ángulo y desplazamientos en el rumbo evoluciona a partir del Oligoceno, dando origen al alzamiento y actual diseño del plateau altiplánico durante el Mioceno medio a superior. Este se presenta con terrenos relativamente planos, cubiertos por volcanitas y sedimentos terciario-cuaternarios, así como zonas abruptas con afloramientos de rocas más antiguas.

El piedemonte occidental de los Andes en el Norte de Chile está formado por productos de erosión cordillerana, que se generaron a medida que esta se levantaba. Estos materiales conforman un extenso glacis de ablación (pediplano) que resulta de la acumulación de depósitos volcánico-detriticos al pie de la alta cordillera.

En relación al arco magmático, este presenta centros de efusión distribuidos a través de la faja Putre-Tignamar. A menudo, es acompañado por dominios lacustres que se ubican inmediatamente al este de los volcanes, asociados a sistemas de cuencas intramontanas o a un evento deformativo de retroarco.

Las grandes quebradas, constituyen profundas incisiones en sentido EW que cortan transversalmente las unidades del relieve, desde el límite occidental de la Cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa. En la Pampa del Tamarugal (Depresión Intermedia) estas quebradas alcanzan los 1,5 km, dejando numerosos segmentos entre las quebradas (10 km aprox.), denominados Pampitas (Quezada y Cerda, 2003).

En general, la topografía del sector propuesto presenta un buen estado de conservación, resultado de la convergencia de una serie de factores climáticos, que han permitido el predominio de un estado de aridez desde fines del Mioceno, conservando prácticamente intactas las formas del relieve en el tiempo.

2.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

2.2.1. ANÁLISIS DE ELEVACIÓN

El relieve regional de la zona altiplánica presenta grandes contrastes entre un sector y otro, observándose cumbres que emergen hasta unos 2.000 metros por encima de los remanentes aterrizados del plateau riolítico terciario, depresiones netas de cuencas lacustres y coladas lávicas, a veces entremezcladas con dichas cuencas lacustres como es el caso del conjunto Cotacotani, las cuales tienden a formar serranías ondulosas extraordinariamente quebradas o irregulares (Kartzulovic, 1981).

Los grandes valles de Azapa y Lluta, comprenden toda la zona de arco en el altiplano y han sido producto de intensos procesos erosivos, atribuibles a lluvias altiplánicas, que moldearon un gran colapso gravitacional que modificó los drenajes (Schlunegger y otros, 2002 en Quezada y Cerda,

2003). Este fenómeno se manifiesta con mayor intensidad en territorio peruano, el cual provoca una gran erosión en el relieve y constituyen algunas evidencias sobre el origen de las quebradas. En territorio chileno, las lluvias altiplánicas estivales son de menor intensidad, y la menor erosión permite reconocer rasgos tectónicos originales como la curvatura del AO (Anticlinal Oxaya) que separa la Depresión Intermedia de la Cordillera de los Andes (Quezada y Cerda, 2003).

De acuerdo al análisis de elevación realizado a través del programa ArcGIS 10.5 (Figura 2.01.), el área de estudio, presenta un gran contraste de alturas, alcanzando los 1.500 m s.n.m. en el fondo del valle, hasta los 3.600 m s.n.m. en las zonas más altas del sector prealtiplánico y sus planicies.

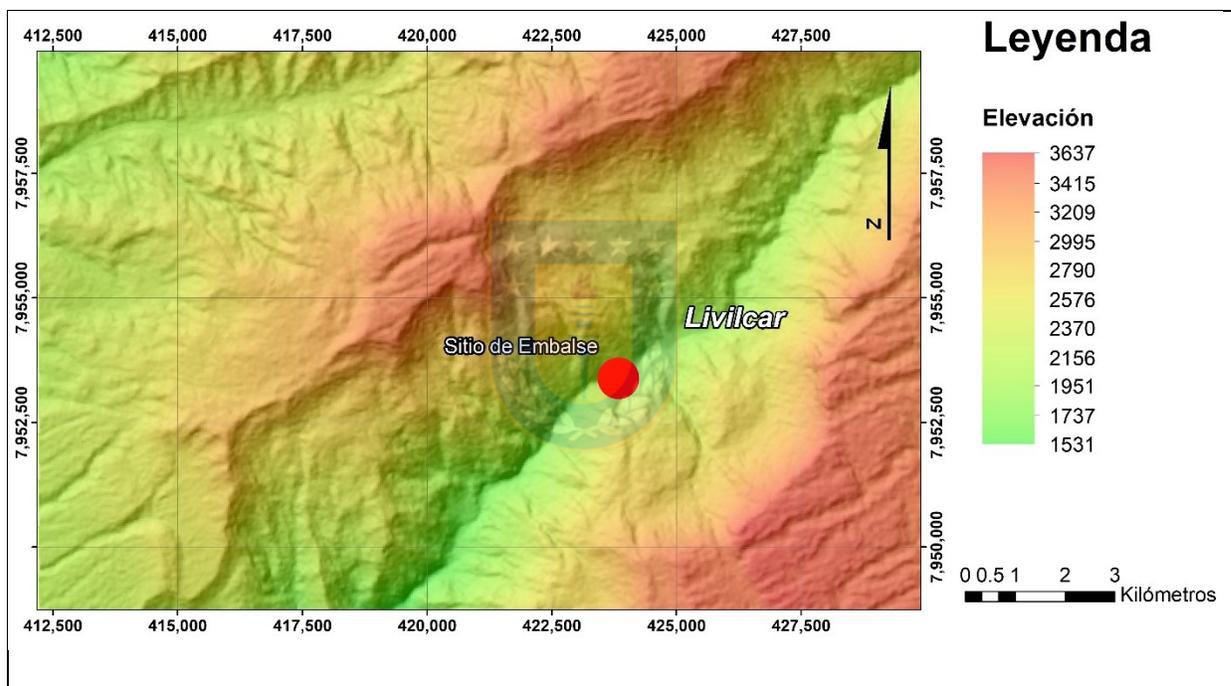


Figura 2.01. Mapa de elevación digital (*Elaboración propia*).

El valle donde se emplazará el embalse tiene un ancho de 35 m en su base y está formado por un espolón rocoso que contiene el río por el lado derecho de su cauce. En general, el valle se mantiene estrecho y sinuoso al menos hasta la altura de Ausipar. De ahí en adelante el río San José sigue su camino hacia San Miguel de Azapa serpenteando a través de un amplio valle que se abre en dirección W, formando diferentes niveles aterrazados. Aguas arriba del sitio de presa, el valle presenta un moderado ensanchamiento lo cual significa un aumento para la extensión del vaso.

2.2.2. ANÁLISIS DE PENDIENTE

Las laderas en el área de estudio poseen pendientes abruptas y escarpadas, que en su mayoría oscilan entre los 30° a 45° de inclinación (Figura 2.02.). Estas a menudo se encuentran cubiertas por depósitos de remoción en masa de potencias variables. Las mayores pendientes se alcanzan cerca del río, donde los flujos esporádicos y crecidas han socavado el valle, originando taludes de casi 100 metros de altura y 60° de inclinación.

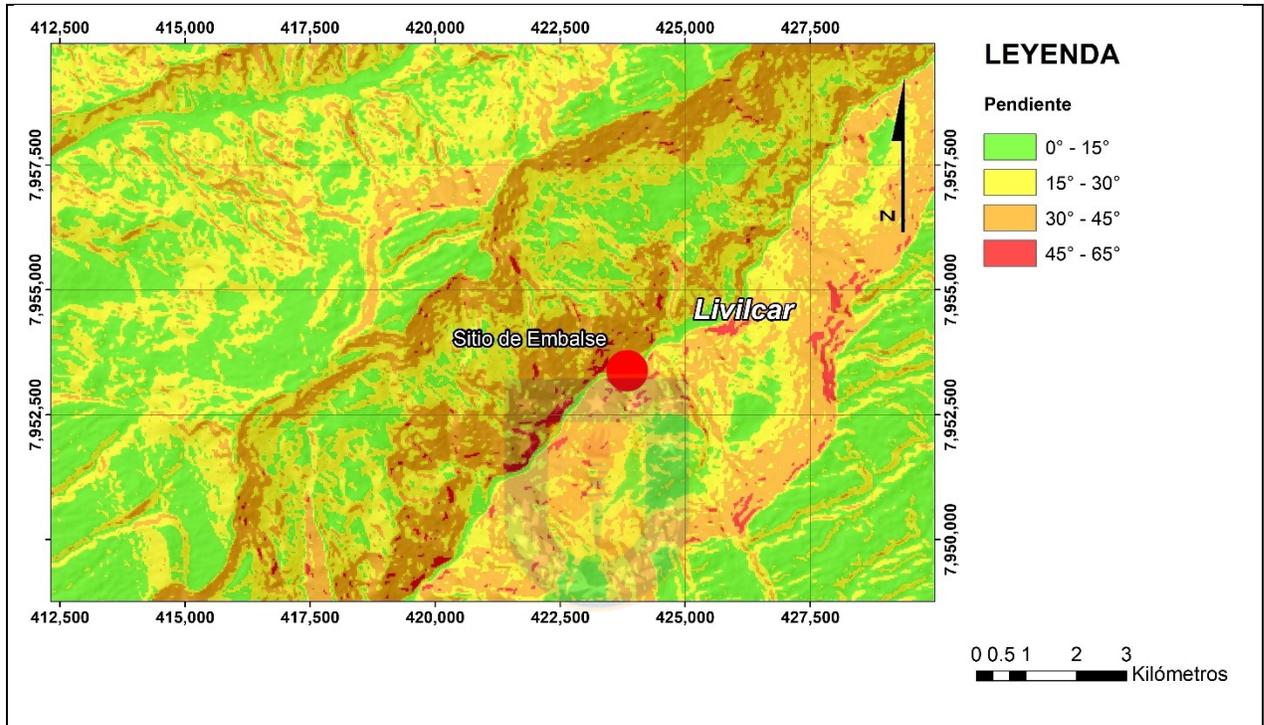


Figura 2.02. Mapa de pendientes (*Elaboración propia*).

2.2.3. ANÁLISIS DE LA RED DE DRENAJE

Los principales valles de la Precordillera y Depresión Central en el norte de Chile, que escurren perpendiculares a la costa, se formaron entre los 8 y 9 Ma (Farías y otros, 2005). Muchos autores han argumentado que el inicio de la incisión podría ser resultado de la erosión de cabecera, resultado de la transición de un sistema de drenaje endorreico a exorreico (Mortimer y Saric, 1972; Naranjo y Paskoff, 1985; Uhlig y otros, 1996 en Farías y otros, 2005).

El solevamiento de la Cordillera de la Costa (Paleógeno-Neógeno), obstruyó la conexión del drenaje con el mar, permitiendo el inicio de la incisión hace 10,6 Ma al occidente de la Cordillera

de los Andes (Wörner y otros, 2002 en Quezada y Cerda, 2003), y hace 3 Ma más hacia el este (Schlunegger y otros, 2002 en Quezada y Cerda, 2003).

La Región de Arica y Parinacota posee un déficit hídrico estructural característico de la zona norte del país, con una disponibilidad de agua inferior a 1.000 m³/hab/año, umbral considerado internacionalmente como altamente restrictivo para el desarrollo económico (MOP, 2012 en MOP, 2014).

El descenso de los niveles de agua ocurre principalmente en los meses de verano, debido a un aumento de la demanda de agua para uso personal y regadío. Durante el invierno altiplánico, las lluvias permiten que el caudal sobrepase el valle, por lo tanto la disponibilidad de agua está directamente relacionada con las crecidas en la época estival.

La única estación pluviométrica vigente y que posee mayor cantidad de datos, es la estación "Río San José en Ausipar", ubicada en la parte alta del valle de Azapa y donde a partir de ahí, aguas abajo, no existen afluentes importantes (MOP, 2014). De acuerdo a los datos obtenidos, se observa que entre los meses de Enero y Marzo existe un aumento de los caudales medios mensuales y máximos históricos (Figura 2.03.). Durante la mayor parte del año, todos los recursos de agua superficial disponible son captados por el Canal Azapa para regar el Valle de Azapa. Una pequeña parte de los recursos es captada aguas arriba de la bocatoma del Canal Azapa, y se usa en sectores de riego de menor tamaño tales como Laco, Cosapilla y Livilcar (CONIC-BEF, 1996).

La red de drenaje corresponde al conjunto de ríos, vaguadas, barrancos y huellas impresas en el terreno que deja el paso agua, ya sea de forma constante o intermitente. El tipo de red de drenaje está controlado por las características litológicas, tectónicas y topográficas del terreno. Esto dará lugar a una serie de modificaciones en la forma del drenaje y sus arroyos, densidad de la red y uniformidad de la misma.

El estudio de las redes hidrográficas fue realizado en base a los análisis y resultados generados por ArcGIS 10.5 a partir de las redes de flujo. En el área se distinguen 4 zonas de drenajes hídricos, agrupados en base a características tales como forma de los arroyos, densidad de la red, uniformidad, angularidad de los afluentes y grado de integración (Figura 2.04.).

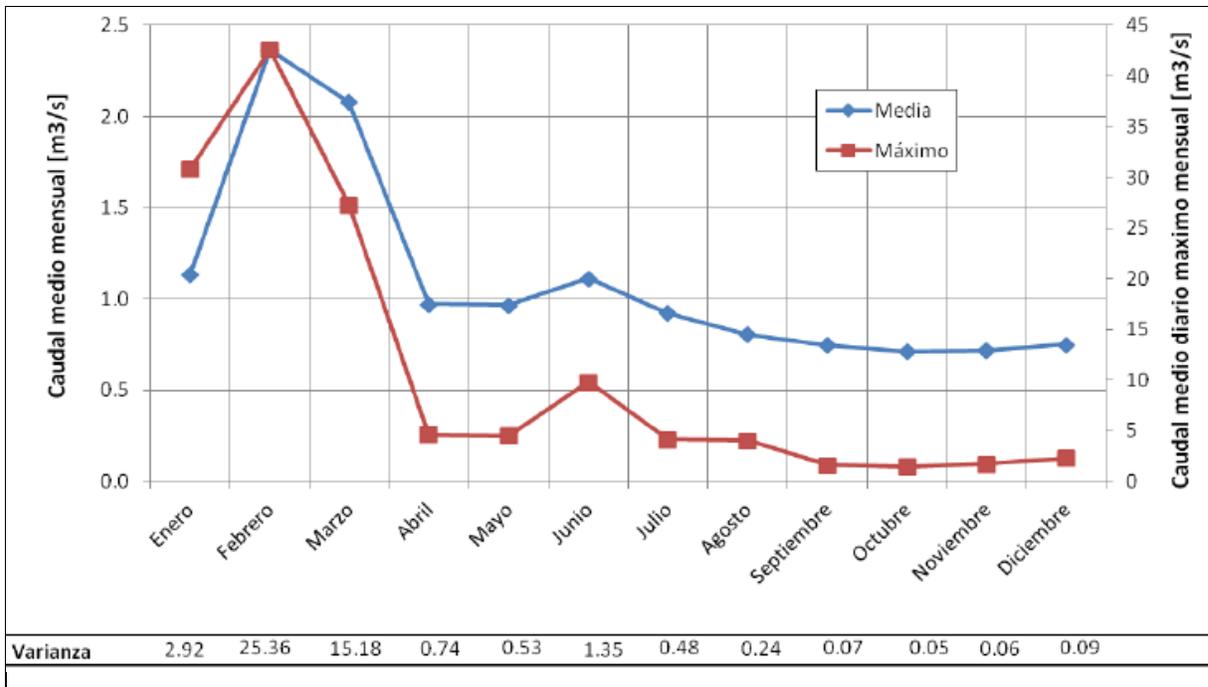


Figura 2.03. Caudales medios diarios y máximos medios mensuales, y su varianza estacional (Tomado de MOP, 2014).

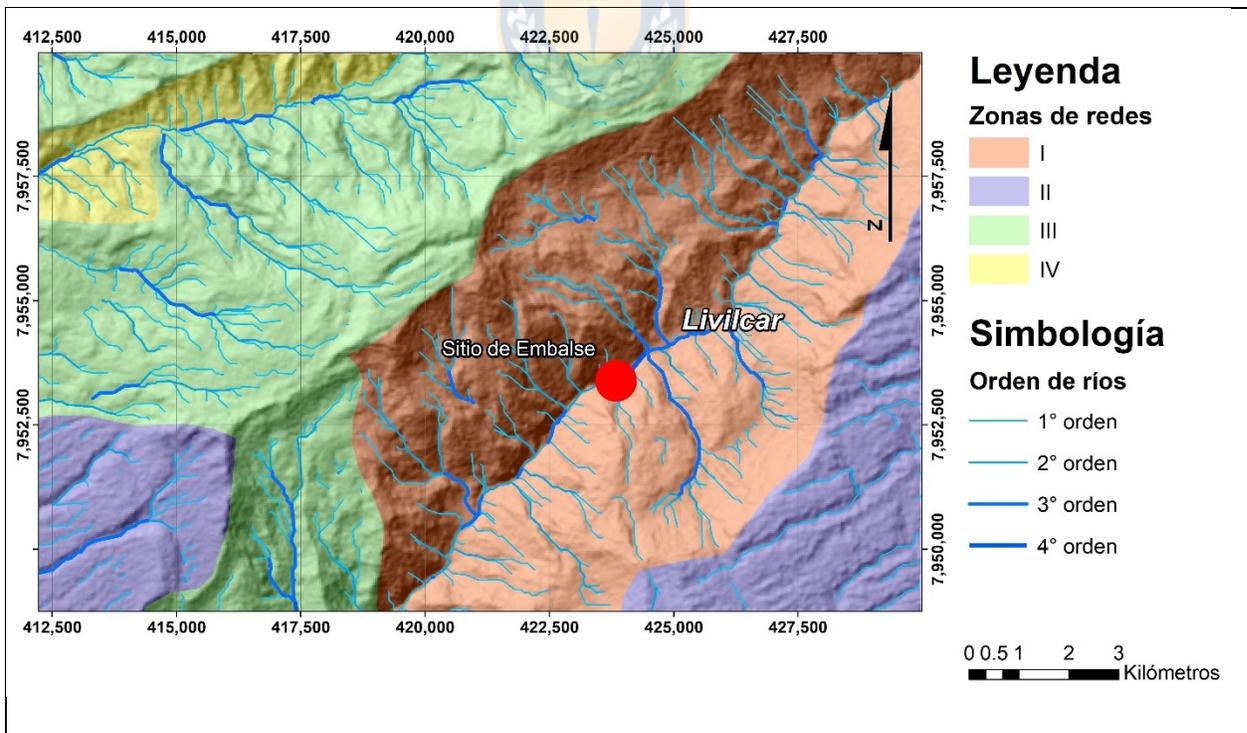


Figura 2.04. Mapa de zonificación de drenajes hídricos (Elaboración propia).

- **Zona I:** red paralela a subparalela compuesta por un drenaje de hasta 4° orden. Los afluentes secundarios corren paralelos entre sí, formando ángulos de confluencia entre 60° a 90° con el cauce principal. Presenta un control topográfico-litológico que ha permitido el desarrollo de un drenaje resecente en dirección de la máxima pendiente en las laderas del cerro. En esta zona se desarrolla un sistema destructivo denso y uniforme, con una baja angularidad del flujo y tributarios bien integrados.
- **Zona II:** red enrejada a subparalela, constituyen en su mayoría arroyos de 1° orden poco ramificados. El control es estructural, asociado a deformaciones compresivas que originaron diversos conjuntos de pliegues anticlinales-sinclinales y estructuras en dirección NE-SW. Estas redes tienen a veces un desarrollo subsecuente poco uniforme, condicionada por la presencia de materiales más débiles. Presenta una angularidad y ángulos de confluencia elevada, pero una baja integración.
- **Zona III:** red dendrítica poco densa, con afluentes de hasta 3° orden que generan ángulos de confluencia agudos. Posee un control topográfico-litológico, con redes resecentes con terminación en “V” que se encuentran formando parte de un sistema destructivo del relieve. Esta zona presenta un drenaje uniforme de baja angularidad y buena integración.
- **Zona IV:** red subparalela de baja densidad, con desarrollo de flujos resecentes controlados por topografía. Presenta ángulos de confluencia elevados, con una uniformidad poco clara, pero en general, de buena integración.

Las redes de drenaje no siempre encajan perfectamente en una clasificación. Muchas veces son transicionales, sin embargo, a menudo evidencian rasgos preferenciales que indican características particulares del terreno.

Drenajes sin conexión con las grandes quebradas, no presentan incisiones significativas. Las incisiones de todos los drenajes en el límite entre la Pampa del Tamarugal y Cordillera de los Andes, se deben al solevantamiento andino en relación a la Pampa del Tamarugal (Quezada y Cerda, 2003).

Quezada y Cerda (2003) también postulan que la mayor erosión al norte se evidencia también, por un ensanchamiento de las incisiones y una menor altura en la profundidad de los cañones

debido a un menor desarrollo de la Cordillera de la Costa y por lo tanto, es posible que la atravesaran la primero que las quebradas más al sur.

2.2.4. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el Norte Grande, el relieve está compuesto por cuatro geoformas principales, que corresponden de oeste a este a: Farellón Costero (generalmente escasa o con poco desarrollo), Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera (flanco oeste del Altiplano) y Cordillera de los Andes (Altiplano; Figura 2.05.).

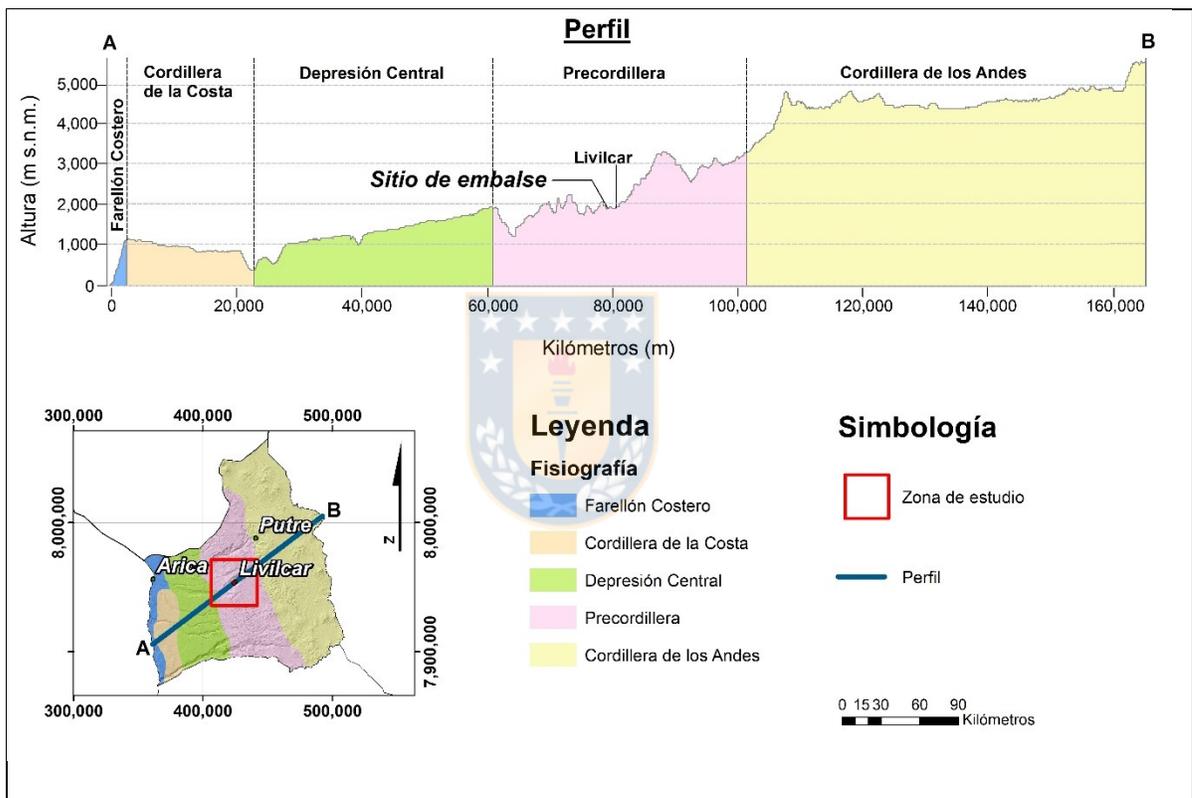


Figura 2.05. Perfil geomorfológico de la zona de estudio.

El área donde estará ubicado el embalse, se encuentra en la Precordillera, cercano al área de quiebre tectónico entre la planicie precordillerana y la Cordillera Andina, con alturas que fluctúan entre los 1.000 m s.n.m. y los 3.000 m.s.n.m. Según Börgel (1983), el lugar de estudio se ubica en la zona de pediplanos, glacia y piedemonte, con presencia de relieves precordilleranos y pampitas (Figura 2.06.).

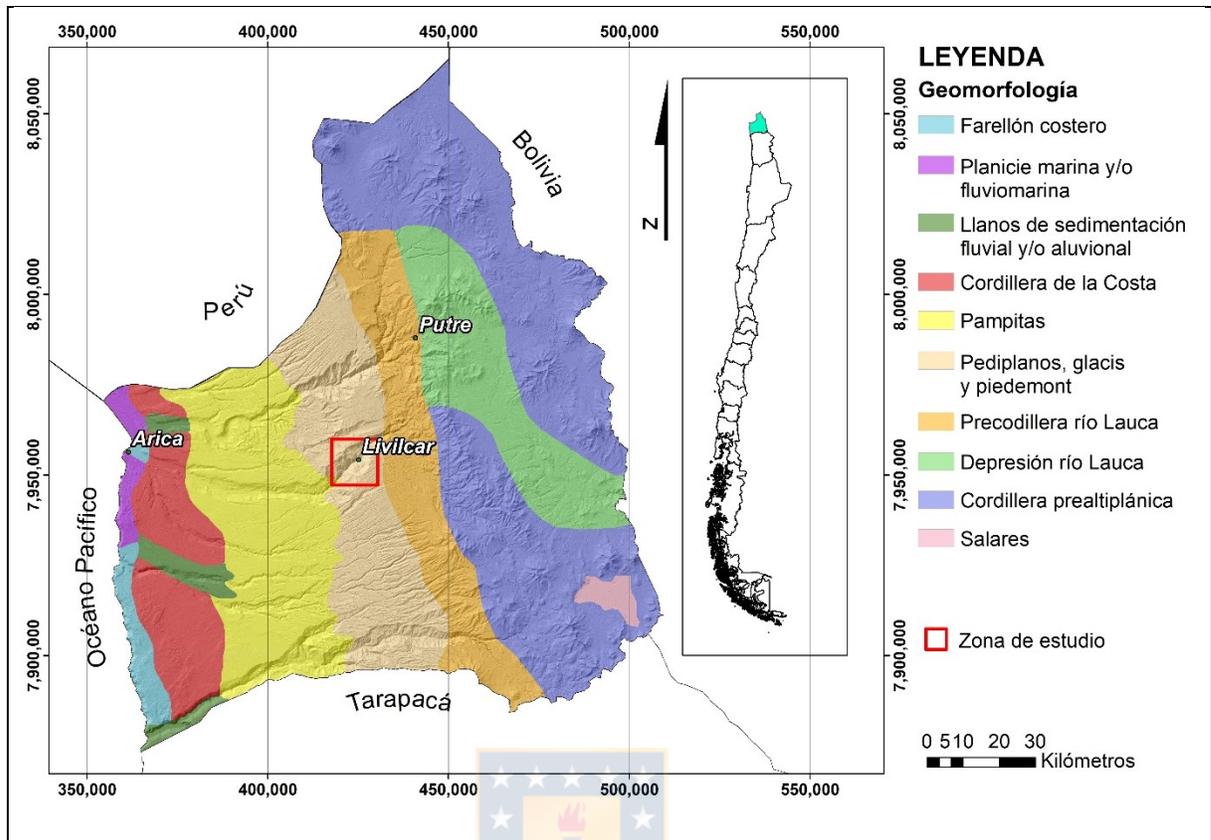


Figura 2.06. Zonificación geomorfológica (según Börgel, 1983).

2.2.4.1. Precordillera

La Precordillera se encuentra en el flanco oeste de la Cordillera de los Andes y corresponde a una serie de bloques cabalgados en dirección W que forman una suave pendiente con de hasta 3° entre la cima de la Cordillera Occidental y la costa de Arica. Esta superficie está diseccionada por un sistema de drenaje paralelo (en su mayoría fósil) y varios valles activos profundos (Wörner y otros, 2002).

El embalse estará enclavado en la quebrada de Azapa, que se extiende a través de la Depresión Central y Precordillera. Es en esta última donde alcanza su mayor expresión, produciéndose valles estrechos y muy acentuados, llegando casi a los 100 m de profundidad a la altura de Livilcar. El valle se angosta aguas arriba, para desaparecer totalmente en el límite occidental del plateau riolítico de la cordillera.

El desarrollo paleogeográfico, sedimentación y alzamiento de la zona está relacionado a dos sistemas de fallas inversas, pero es particularmente el Sistema Inverso Oeste (WTS; Farías y

otros, 2005 en MOP, 2008), conformado por la Falla de Ausipar que define el borde entre la Precordillera y la Depresión Central, y el sistema de Falla de Belén que se desarrolla en el flanco este de la Precordillera.

Inmediatamente al este de las Falla de Ausipar, sobreyacen la Formación Livilcar (Jurásico) y restos de la Fm. Oxaya. La deformación de ésta última (Anticlinal de Oxaya) en la Precordillera, causó modificaciones de la red de drenaje paralela preexistente, la cual comenzó a concentrarse en valles profundamente incisivos. La tasa de incisión de estos valles fue de 56 a 58 m/Ma (García y Hérail, 2005 en MOP, 2008), con una incisión total de 1.600 m. Con posterioridad (Plioceno), los cursos de agua que bajaban de la alta cordillera modificaron su comportamiento, excavando el glacis, dando origen a profundos valles con grandes laderas (Mortimer, 1980 en Naranjo y Paskoff, 1985). Depósitos escalonados de terraza indicarían interrupciones en la excavación de los valles, desarrollando sistemas de conos de deyección encajonados uno dentro de otro, en el caso de los que terminan en la Depresión Central.

2.3. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

Los Andes que conocemos actualmente se han formado como respuesta a este proceso de subducción que se mantiene continuo desde el Jurásico. En este periodo, el margen continental activo estaba dominado por un sistema de arco magmático-cuenca de trasarco. La cuenca se extendía al oriente como un mar epicontinental, cubriendo gran parte del Altiplano Chileno-Boliviano (Sempere y otros, 1986 en Muñoz y otros, 1988). En la región de Arica, aflora la Fm. Livilcar (Sinemuriano - Cretácico Inferior), que en parte representa el relleno de esta cuenca de trasarco, desarrollado bajo un mecanismo de depositación mixto carbonatado-terrágeno, asociado a condiciones subtropicales a tropicales (Muñoz y otros, 1988). La parte inferior de esta unidad corresponde a un ciclo marino de transgresión – regresión que representa la primera etapa del Ciclo Andino (MOP, 2008).

Las geoquímica y estratigrafía de los sedimentos de la cuenca de trasarco, indican que durante la primera etapa del Ciclo Tectónico Andino prevalecieron condiciones extensionales, junto a un volcanismo riodacítico previo y sincrónico asociado con los procesos sedimentarios (MOP, 2008). Durante el Cretácico Inferior tardío, ocurre un cambio en la interacción de las placas como respuesta a una fase de producción cortical oceánica rápida del proto-océano Pacífico, la que produjo una disminución del ángulo de subducción (MOP, 2008). Esto permitió que, durante el

Cretácico Superior, las condiciones extensionales se vieran interrumpidas por un régimen compresivo, que produjo la inversión y cierre de la cuenca de trasarco (Charrier y otros, 2007 en MOP, 2008). Como consecuencia de estas modificaciones, la segunda regresión del primer Ciclo Andino culmina con el margen continental emergido durante un episodio de intensa deformación compresional y con el alzamiento y erosión de los depósitos preexistentes del trasarco del Jurásico Inferior – Cretácico Inferior (MOP, 2008).

Posterior a la Fase Peruana (Albiano – Coniaciano), el arco magmático migra hacia el este permitiendo el desarrollo de una amplia región en el ante arco y la generación de una cuenca de antepaís al este. Durante este periodo, ocurrió una deformación del estilo de una faja corrida y plegada que afectó preferentemente a las secuencias del Mesozoico, y que se extendió hasta el Paleoceno (MOP, 2008).

A partir del Oligoceno, evoluciona otro evento de deformación con fallamiento de alto ángulo y desplazamientos en el rumbo, dando origen al alzamiento y actual diseño del Altiplano, durante el Mioceno medio a superior (ENAP, 1989).

En el Mioceno Inferior se desarrolló un periodo de distensión que permitió el inicio de la actividad volcánica. Además, el movimiento diferencial de bloques facultó el solevantamiento de la Cordillera de la Costa y del bloque altiplánico, respecto de la Depresión Central (Parraguez y otros, 1997).

A finales del Mioceno, se producen un barrido de los depósitos volcánico-detríticos acumulados al pie de la alta cordillera, como consecuencia del solevantamiento. Esto generó un extenso glacis de ablación (pediplano) producto de la erosión de la cordillera, que terminó por configurarse como el mayor rasgo geomorfológico del piedemonte andino del Norte Grande (Naranjo y Paskoff, 1985).

Durante el Terciario Medio, la cuenca altiplánica fue rellenada con potentes flujos riolítico emitidos a través de erupciones fisúales, configurando una especie de plateau de pendiente suave. Procesos agradacionales y erosivos ocurridos entre el Terciario Superior al Cuaternario Reciente, y que afectaron al plateau riolítico, permitieron que el volcanismo quedara radicado en conductos más o menos centralizados. Es por esa razón que el relieve regional presenta notables contrastes entre un sector y otro (Karzulovic, 1981).

En el Plioceno, se produjo un cambio de régimen endorreico a exorreico, luego de que el relleno de la Depresión Central hubo sobrepasado las partes más bajas de la Cordillera de la Costa, abriéndose paso al océano. Debido a esto, los cursos de agua que bajaban de la alta cordillera modificaron su comportamiento, excavando el glacis y dando origen a profundos valles (Mortimer, 1980 en Naranjo y Paskoff, 1985). La existencia de diferentes niveles aterrizados indicarían interrupciones en la excavación de estos valles. Una razón podría ser debido a cambios climáticos ocurridos durante el Cuaternario, al menos para depósitos de terraza más recientes (MOP, 2008). Se sabe que fases glaciares modestas, junto con el aumento de precipitaciones, ocurrieron varias veces en la alta cordillera durante el Pleistoceno (Paskoff, 1977 en Naranjo y Paskoff, 1985).

Los depósitos holocénicos están compuestos por deslizamientos y avalanchas gravitacionales de variadas dimensiones. Estas se encuentran formando parte de laderas, escarpes y quebradas profundas. Los depósitos de remoción en masa se caracterizan por presentar una morfología superficial en forma de cerrillos o pequeñas lomas, de pendiente suave y sistemas de drenaje acotados. También es posible observar depósitos caóticos, compuestos principalmente por bloques, bolones, rodados, arenas y limos. Estos a menudo forman conos o abanicos, en partes aluviales, en quebradas cortas de gran pendiente (Conos de deyección), o mantos alargados en taludes abruptos (Escombros de falda).

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

3.1 GENERALIDADES

Por la costa, la ciudad de Arica se encuentra fundada sobre sedimentos cuaternarios aportados por las crecidas del río San José y depósitos marinos de arenas intercaladas en la franja costera (Parraguez y otros, 1997). Avanzando hacia la Depresión Central, la sucesión estratigráfica queda compuesta por la Fm. Azapa (Oligoceno Inferior – Medio), Fm. Oxaya (Oligoceno Superior - Mioceno Medio) y Fm. El Diablo (Mioceno Inferior – Medio; MOP, 2008). En la Precordillera sobreyacen, inmediatamente al este de la Falla Ausipar, la Fm. Livilcar (Jurásico) y restos de la Fm. Oxaya (MOP, 2008). Al este del sistema Inverso de Belén aflora la Fm. Lupica, la cual sobreyace al Complejo Metamórfico de Belén y los Estratos de Quichoco (Pérmico; MOP, 2008). En el flanco oriental de la Precordillera, los depósitos de la Fm. Oxaya son concordantemente

cubiertos por la Fm. Zapahuira (Mioceno medio), la cual representa los depósitos descargados por los estratovolcanes más antiguos de la región (MOP, 2008). Depósitos de gravas sintectónicas asociadas a la actividad del sistema Inverso de Belén, contienen huesos de mamíferos asignados al post-Friasiano (Mioceno superior) / pre-Huayqueriano (Mioceno tardío), y descansan en onlap sobre la Fm. Oxaya y la Fm. Zapahuira (Flynn y otros, 2005 en MOP, 2008). Las rocas de la Cordillera Occidental están constituidas por rocas metamórficas del pre-Cámbrico-Paleozoico, rocas intrusivas del Jurásico al Paleoceno, y secuencias volcanoclásticas y sedimentarias del Jurásico al Mioceno (Pacci y otros, 1980; Wörner y otros, 2000; García, 2001; García y otros, 2004 en Clavero y otros, 2012). De estas unidades, afloran como basamento del Volcán Parinacota, al este de la Cordillera Occidental, secuencias volcanoclásticas del Oligoceno superior-Mioceno inferior (Fm. Lupica). Las demás unidades que forman el basamento corresponden a la Fm. Lauca (depósitos lacustres del Mioceno-Plioceno), la Ignimbrita Lauca (Plioceno superior) y depósitos lacustres y fluvioglaciares del Pleistoceno superior-Holoceno (Clavero y otros, 2012). En cuanto a los sectores de la Laguna Chungará, Laguna Cotacotani, incluyendo las Ciénagas de Parinacota y Río Lauca superior, la hidrografía aparece controlada por un relieve volcánico juvenil, en el que los arroyos profundizaron los valles desde el terciario superior al Cuaternario reciente (Karzulovic, 1981).

Las rocas y unidades en que se ve enmarcado el sitio de presa a nivel regional, pueden observarse en la Figura 3.01., y son descritas a continuación.

3.2 ROCAS ESTRATIFICADAS

3.2.1. FORMACIÓN LIVILCAR (*JURÁSICO SUPERIOR-CRETÁCICO INFERIOR*)

Secuencias sedimentarias marinas clástico-terrágenas y carbonatadas pertenecientes al Jurásico Superior-Cretácico Inferior, de ambiente marino-continental, que afloran en el curso superior de la quebrada de Azapa (Santuario de las Peñas), 8 km aguas arriba de localidad de Livilcar. Se estima una potencia para estos depósitos de 1.700 m, compuestos principalmente por conglomerados, areniscas, limonitas, calizas, coquinas y tobas subordinadas (Muñoz y otros, 1988).

Según Muñoz y otros (1988), esta formación se dispone concordantemente sobre tobas riolíticas en el sector del Santuario, e infrayace en discordancia a piroclástitas cenozoicas. Además, estos

autores dividen la Fm. Livilcar en dos miembros; (1) Miembro Inferior clástico-terrágeno y (2) Miembro Superior calcáreo y evaporítico.

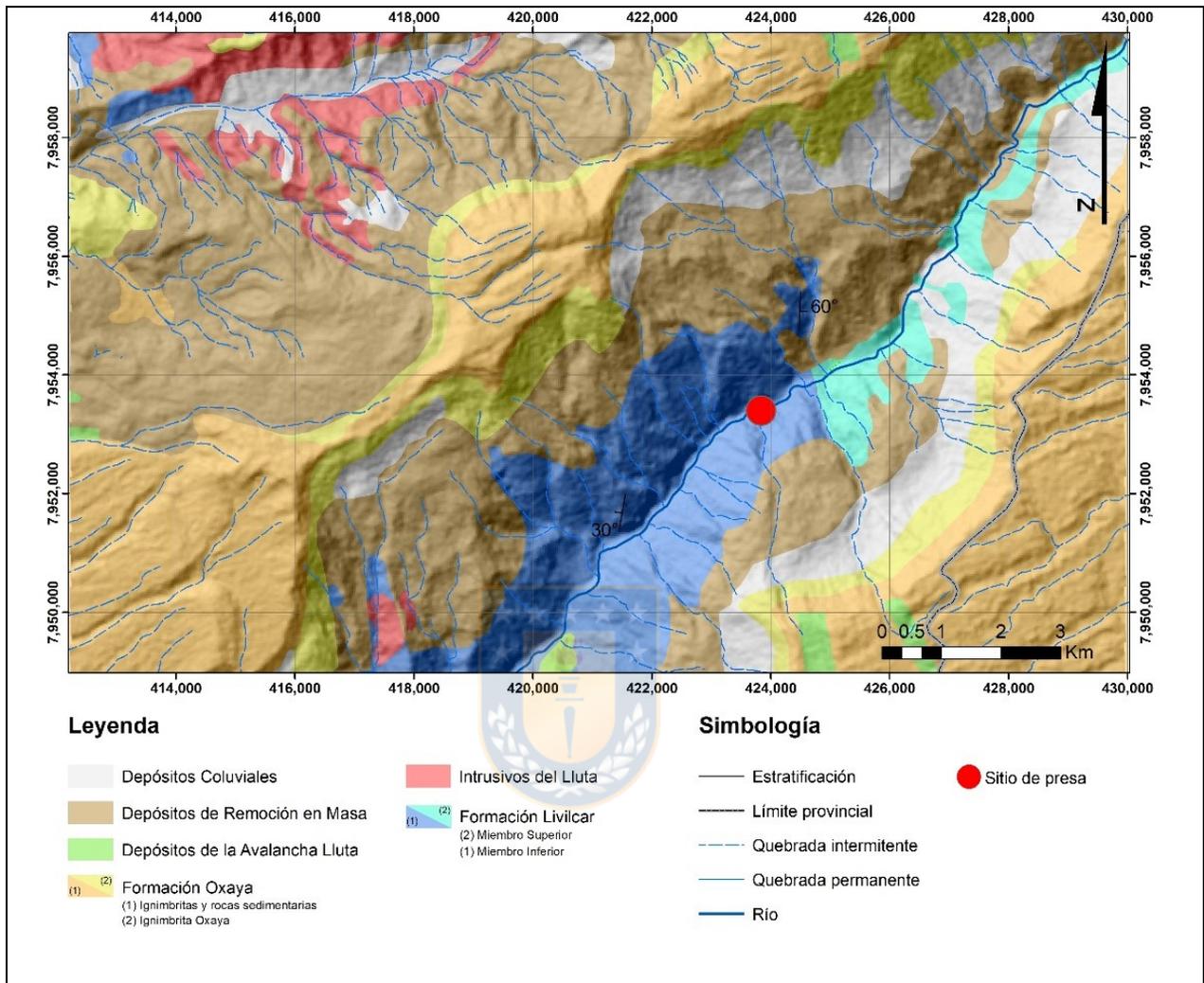


Figura 3.01. Geología del valle de Azapa a la altura de Livilcar y sus alrededores (*Modificado de García y otros, 2004*).

3.2.1.1. Miembro Inferior (*Jurásico Inferior*)

Secuencia clástico-terrágena compuesta por paraconglomerados polimícticos, sublitarenitas, tobas en la parte basal e intercalaciones de caliza en la mitad superior. Se expone en la localidad de Umagata y Potrero Grande, con afloramientos que alcanzan los 750 metros de potencia en forma de múltiples pares de pliegues anticlinales y sinclinales, de ángulos cerrados a moderados. Presenta fósiles de bivalvos, gastrópodos y braquiópodos. La fauna de *Weylas* sp., indica una edad Sinemuriano-Toarciario (Jurásico Inferior). Los depósitos se asocian con un ambiente

parálisis con interdigitación marina y actividad volcánica explosiva. En la parte basal predominan sedimentos continentales sobre marinos, lo que se invierte hacia la parte superior. Los depósitos piroclásticos intercalados registran la primera transgresión marina (Jurásico Inferior) ocurrida en el área, y dan paso a las facies esencialmente marinas del Miembro Superior (Muñoz y otros, 1988).

3.2.1.2. Miembro Superior (*Jurásico Superior - Cretácico Inferior*)

Sucesión compuesta por calizas fisibles, lutitas calcáreas, cuarzoarenitas y limolitas, que afloran en las cercanías de Livilcar, a lo largo de unos 950 metros de espesor y manto de 10-18° al NE (Muñoz y otros, 1988). Es posible observar dos episodios evaporíticos lenticulares en la parte intermedia, junto con la aparición de coquinas hacia la parte superior. Covacevich (1987) describe fósiles de *Perisphinctes* sp. en los niveles inferiores, asignándole una edad Oxfordiano inferior para los afloramientos del área de Livilcar. Describe además, restos de *Linotrigonia* sp. (sp. nov.?) y conchas de trigonia en la parte superior, que permiten acotar la edad a Oxfordiano-Berriasiano. Según Muñoz y otros (1988), en este segmento la formación puede correlacionarse cronoestratigráficamente con las formaciones Millune (Montecinos, 1963), Caleta Ligate, Huantajaya, Oficina Viz (Thomas, 1970), Camaraca (Salas y otros, 1968), Fm. La Negra (García, 1967), y formaciones al sur del Perú; Pelado (Wilson y García, 1962) y San Francisco (Salinas, 1983).

Estos sedimentos indican una rápida profundización de la cuenca, dando origen a un ambiente de plataforma marina progradacional, con características de 'upward shallowing'. El registro fosilífero sugiere la presencia de una plataforma intermedia a moderada-profunda (Jurásico Medio-Oxfordiano), de circulación no restringida y energía variable, la que progresa a un ambiente de plataforma interior, con periodos de regresión y colmatación de la cuenca (Cretácico Inferior). Niveles de yeso evidencian el desarrollo de ambientes hipersalinos en llanuras intermareales con circulación restringida (Muñoz, 1988).

3.2.2. DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS DE SOBRECARGA

3.2.2.1. Depósitos de Remoción en Masa (*Plioceno – Holoceno*)

Corresponden a depósitos de deslizamientos y avalanchas gravitacionales, de variadas dimensiones, expuestos en bordes de laderas, escarpes abruptos y en quebradas profundas.

Poseen una morfología de cerrillos o lomas relativamente suaves, con un promedio de 30 km² de superficie. Los depósitos presentan una selección heterogénea y un elevado grado de consolidación, a menudo acompañados por sistemas de drenajes muy pequeños y cerrados.

En el valle de Azapa, es común observar la presencia de un paleovalle junto al valle actual, encajonado uno dentro de otro. El valle antiguo está relleno con una antigua masa caótica de derrumbamiento de más de 1 km de espesor, sin embargo, su perfil transversal aún puede reconstruirse siguiendo las divisoras más altas en dirección a la cordillera. El valle actual, horada los conglomerados de la Fm. Oxaya y parte de los depósitos caóticos del antiguo derrumbe, donde el río, en algunos casos, volvió a formar una incisión más profunda del valle dando origen a quebradas abruptas de paredes lisas, y en otros, tomando un camino totalmente diferente.

En una primera instancia, la obstrucción causada por el deslizamiento permitió la formación de un lago. Al mismo tiempo se produjeron violentas tormentas que movilizaron enormes flujos de escombros, que rellenan los valles afluentes. Estos valles habrían sido nuevamente erosionados, pudiéndose reconocer hasta siete eventos de relleno y erosión sucesivos (Harmut y otros, 2008).

A la altura del Santuario de las Peñas, el colapso y movimiento de los bloques se hace más evidente. El valle era mucho más ancho en su fondo y empinado en sus flancos (Harmut y otros, 2008). Según Pinto y otros (2004), los movimientos tectónicos relacionados a la flexura, provocaron la inestabilidad de los flancos, desencadenando deslizamientos que sepultaron marginalmente el propio fondo del valle. Estos deslizamientos afectan principalmente a las unidades ingimbríticas del Mioceno inferior-superior (Farías, 2012).

Por otra parte, se observan deslizamientos producidos por la inestabilidad de los bloques de unidades semiconsolidadas en las partes altas de las laderas, debido a la profunda incisión de los taludes (Pinto, 1999).

3.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

3.3.1. EVOLUCIÓN TECTÓNICA

La evolución del borde occidental de Sudamérica ha sido resultado de la evolución de las condiciones tectónicas de subducción en los últimos periodos geológicos. En la primera etapa del Ciclo Andino prevaleció un régimen de subducción oblicua, con un vector de movimiento de la

placa de Farallón en dirección SE, que produjo desplazamientos dextrales a lo largo de fallas NS (Charrier y otros, 2007 en MOP, 2008).

Durante el transcurso del Eoceno medio-superior (~45 Ma), se produce la “Fase Incaica” la cual está relacionada con una subducción menos oblicua y un aumento de las tasas de convergencia entre las placas Farallón y Sudamericana, lo que habría provocado importantes deformaciones, así como la generación de la Cordillera Incaica (Pilger, 1984; Charrier y Vicente, 1972; Jordan y otros, 1983; Gregory-Wodzicki, 2000 en Letelier, 2013).

Entre el Eoceno superior y el Oligoceno medio, se produce una disminución en las tasas de convergencia y las placas comienzan a moverse paralelo a la línea de costa, dando origen a un régimen transtensional (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Yáñez, 2002 en Letelier, 2013), esto permitió la erosión de la Cordillera Incaica (García y otros, 2002 en Letelier, 2013).

A Finales del Oligoceno ocurre una fase compresiva (asociada la Fase Pehuenche) que, junto con el movimiento vertical de bloques, permitió el solevantamiento de la Cordillera de la Costa y del bloque altiplánico, lo que potenciaría el inicio de la actividad volcánica en el Mioceno inferior (Lahsen, 1982). A los 26 Ma, la Placa Farallón se separa en las placas de Cocos y de Nazca, adquiriendo esta última un vector casi ortogonal al continente (N80°E) y aumentando fuertemente su tasa de convergencia (Pilger, 1984; Casas y Molnar, 1987; Yáñez, 2002 en Letelier, 2013) entre las placas Nazca y Sudamérica. La compresión duró al menos hasta los 16 Ma. Gran parte del plegamiento, fallamiento y acomodación de deformación a lo largo de estructuras o inversión preexistentes fueron en respuesta inmediata al cambio e incremento en el régimen tectónico compresivo (Charrier y otros, 2005).

Además, este régimen tectónico compresivo (Fase Quechua I), permitió la reactivación de estructuras en la Cordillera Incaica y posterior alzamiento del Cordón Chapiquiña-Belén. Simultáneo a este alzamiento (que se prolongó durante el resto del Mioceno), ocurrió un proceso de depositación sintectónica de ignimbritas y conglomerados, agrupados en las formaciones Oxaya, Altos de Pica y El Diablo (Farías, 2003 en Letelier, 2013).

Durante el Mioceno medio ocurre otra fase compresiva que afecto a los Andes del centro y sur de Perú, produciendo plegamiento, solevantamiento y erosión (Noble y otros, 1974; Farrar y Noble, 1976; Sebrier y otros, 1979 en Lahsen, 1982) entre los 14-10 Ma. Una nueva fase compresiva

afecta a las secuencias del Mioceno superior, mediante pliegues y fallas inversas (Farrar y Noble, 1976; Sebrier y otros, 1979 en Lahsen, 1982) como las que se observan en la Fm. Ignimbrita al suroeste de Bolivia (Lahsen, 1982).

Post \sim 10 Ma, producto de un flujo E-W de material dúctil de la corteza inferior, se habría activado el Sistema de Falla Inverso Este, generando un basculamiento del antearco hacia el oeste en 1° , lo que habría constituido el último evento de alzamiento del plateau (alzándolo entre 500 a 1.400 metros).

A partir del Plioceno en adelante, los grandes sistemas de fallas paralelos al margen continental (al menos al sur de los $19^\circ 30'S$), muestran movimientos de tipo transcurrente dextral, lo que sugiere un leve incremento en la oblicuidad del vector de convergencia entre las placas (Somoza, 1998; Farías y otros, 2005 en Letelier, 2013).

Durante el Plioceno al Pleistoceno las secuencias solo se ven afectadas por algunos eventos distensivos E-W. En la zona de El Tatio – San Bartolo, esta fase alcanza su máxima intensidad durante el Plioceno superior (Lahsen, 1976 en Lahsen, 1982). Estas estructuras han sido originadas por movimiento diferencial de bloques a lo largo de fallas normales N-S. Es probable que la tectónica de estos bloques haya correspondido a una reactivación de estructuras del Mioceno inferior. Subordinado a estas fallas ocurren otras en dirección NW-SE y NE-SW que las diseccionan, las cuales controlan la distribución de centros volcánicos durante este periodo (Lahsen, 1982).

Desde la depositación de la Ignimbrita Lauca (6,2 Ma), no hay evidencias de ninguna otra deformación relacionada con el alzamiento del Altiplano. Sin embargo, no hay duda alguna que en el futuro podrían ocurrir otros eventos de levantamiento y deformación, puesto que la orogénesis andina se encuentra lejos de terminar (García y otros, 2005).

3.3.2. ESTRUCTURAS REGIONALES

El alzamiento y desarrollo del Altiplano en esta zona está relacionado a dos sistemas de fallas inversas (MOP, 2008): (1) El Sistema Inverso Oeste (WTS), de dirección N-S a NNW-SSE, alto ángulo, vergencia al oeste y que se desarrolla en la Precordillera (Farías y otros, 2005) y (2) El Sistema Inverso Este (ETS), de vergencia al este y que se desarrolla principalmente en la Cordillera Oriental (Charrier y otros, 2005; Figura 3.02.).

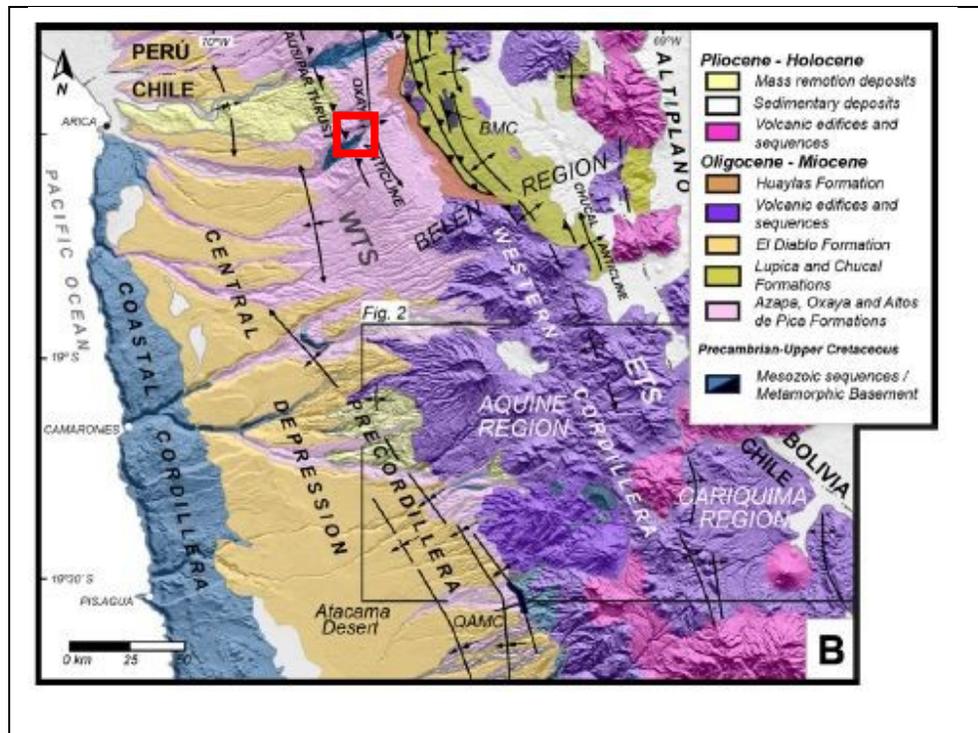


Figura 3.02. Fisiografía y geología de los Andes Centrales, junto con los sistemas de fallas que definen los límites de las provincias morfoestructurales. *En rojo:* ubicación de la zona de embalse (Modificado de Herrera y otros, 2017).

El área se enmarca dentro del Sistema Inverso Oeste (WTS) que comprende las fallas Chapiquiña-Belén, Cerro Lagunas-Belén-Tignamar y Copaquilla-Tignamar, así como la falla Ausipar más al oeste (Muñoz y Charrier, 1996; García, 1996; García y otros, 1996) y la más cercana al área de estudio. Esta última separa la Precordillera de la Depresión Central y estuvo activa entre los 15 y 5 Ma (Quezada y Cerda, 2003).

El Anticlinal Oxaya (AO) está limitado al oeste por un suave sinclinal de dirección N20°-30°W, paralelo al eje del anticlinal. El plano axial de este sinclinal corresponde a la proyección de la Falla de Ausipar, que se interpreta como responsable del desarrollo del AO (García y Hérail, 2005). La falla no corta la parte superior de la Fm. Oxaya, pero su rastro puede observarse en la parte inferior de los valles Lluta y Azapa. A lo largo de estas laderas, la falla está localmente cubierta por derrumbes plio-cuaternarios y depósitos aluviales, pero aun así puede observarse la yuxtaposición de la Fm. Livilcar plegada al este, con la Fm. Azapa plegada hacia el oeste. La falla posee un manteo de 40°-50°E en profundidad, haciéndose horizontal hacia la parte superior.

La edad inicial es simultánea o inmediatamente posterior a la Fm. Azapa (Oligoceno) al norte del AO, y es coetánea o inmediatamente posterior a las formaciones Azapa y Oxaya inferior (Oligoceno-Mioceno inferior) al sur del anticlinal (García y Hérail, 2005). La reactivación de la falla en el Mioceno superior y/o Plioceno inferior (Parraguez, 1997; García y otros, 1999 en Charrier y otros, 2005), habría coincidido con el episodio de mayor deformación del AO (Naranjo, 1997; Parraguez, 1997; García y otros, 1999 en Charrier y otros, 2005). El frente andino tiene un rumbo N15°W y coincide con el eje del pliegue del AO y la Falla Ausipar. Además, los drenajes evidencian el cambio de orientación del frente andino al norte y sur del río Caplina (Perú), lo que indicaría que el AO se extiende al norte de este río (Quezada y Cerda, 2003).

La compresión que comenzó en el Mioceno inferior (18 Ma) se mantuvo activa hasta el Plioceno. Las estructuras compresivas desarrolladas en el Cenozoico tardío controlan el relieve, orientando en dirección N-S los máximos estructurales y la topografía (Charrier y otros, 2005).

El valle de Azapa permite la exposición de estructuras tectónicas que afectan a la Fm. Livilcar e Intrusivos del Lluta y que están cubiertas por depósitos subhorizontales a suavemente plegados de la Fm. Oxaya.

La Fm. Livilcar se encuentra plegada en pliegues anticlinales y sinclinales, de rumbo NW-SE a NNE-SSW y de longitud de onda media de 1 a 6 kilómetros. Esto puede observarse en los alrededores de la localidad de Livilcar, donde aflora de manera clara un par anticlinal-sinclinal de vergencia este. Los pliegues que afectan a la Fm. Livilcar están cubiertos en discordancia angular por las rocas de la Fm. Oxaya, lo que indica que la deformación contraccional que afectó a las secuencias jurásico-cretácicas se desarrolló entre el Cretácico Superior y el Oligoceno inferior.

Localmente, se observan lineamientos de rumbo NNW (20°-30°) que atraviesan el área, pudiéndose distinguir sus trazas en ambos lados de la quebrada. En la ribera norte, estas trazas cortan la Fm. Oxaya, por lo tanto, es posible asignarles una edad post Mioceno inferior. Estas estructuras corresponden en su mayoría a fallas normales y sistemas de graben paralelos al eje del AO, que se ubican precisamente en la cresta del pliegue (Figura 3.03.), sin embargo, poseen un desplazamiento insignificante (hasta 150 m) en comparación con su longitud (1–10 km; García y Hérail, 2005). Otras teorías apuntan que estas fallas normales limitan grandes bloques del cenozoico tardío o son responsables de un gran colapso rotacional gravitacional en el Mioceno,

responsable de la generación de los depósitos de la Avalancha Lluta (Uhlig y otros, 1996; Wörner y otros, 2000; Wörner y Seyfried, 2001 en García, 2005). Flores y otros (2005), relacionan algunos de estos lineamientos con flexiones y fallas inversas pertenecientes al SFCD (Sistema de fallas de Cerro Desconocido) en el sur de Perú. Según estos autores, este sistema podría estar directamente relacionado con la Falla de Ausipar.

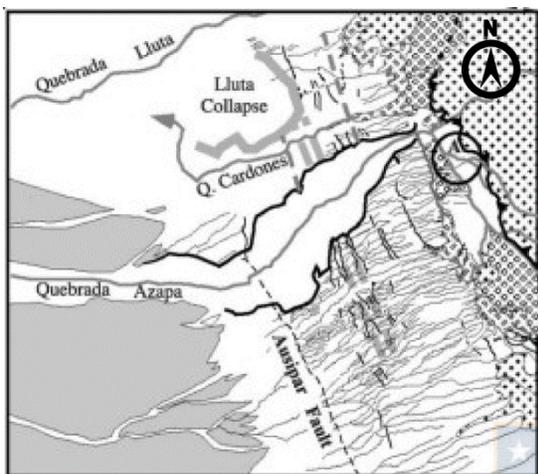


Figura 3.03. Tectónica y estructuras relacionadas al Anticlinal Oxaya. En líneas negras continuas detalle de las fallas normales y grabenes crestales (Tomado de García y Hérail, 2005).

Mediante la observación satelital se observa que estas fallas podrían estar algo desplazadas aguas arriba, lo que podría indicar la presencia de otra estructura en el lecho del río en la misma dirección del valle, que habría desplazado el bloque norte hacia el noreste.

Además, cercano a la zona de presa, ambos miembros de la Fm. Livilcar se encuentran en contacto por falla a la altura del poblado de Livilcar (Muñoz, 1988). Esta, así como las otras características estructurales del área, pueden observarse en la Figura 3.04.

4. GEOLOGÍA LOCAL

4.1. GENERALIDADES

El embalse Livilcar estará ubicado en la hoya del río San José, en las cercanías de la localidad de Livilcar, Provincia de Arica. A partir de los antecedentes aportados por otras investigaciones realizadas en el área, así como las prospecciones realizadas por este estudio de la subsuperficie del sitio (sondajes geotécnicos con recuperación de testigos, zanjas y caminos), es posible elaborar la geología del área circundante al embalse y el área de inundación del mismo. De acuerdo a esto, es posible distinguir cinco unidades geológicas que se ubican en la zona de

embalse y sitio del muro, además de otras tres unidades (correlacionables) en el área de inundación.

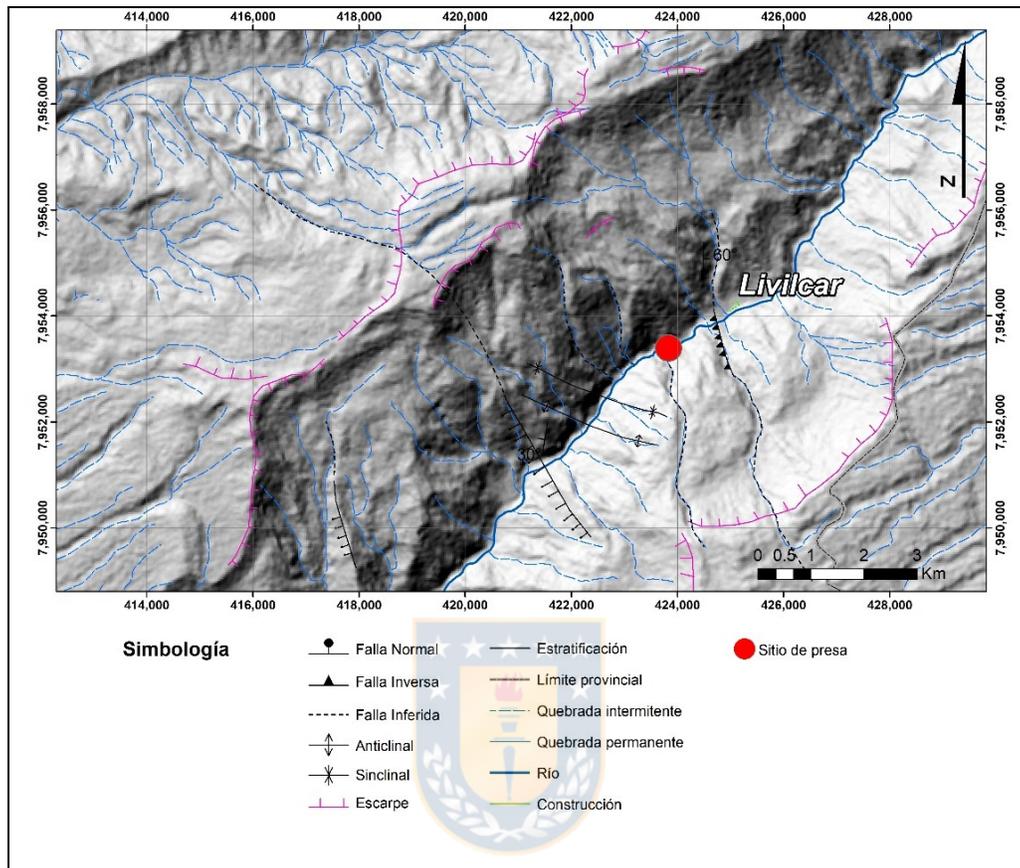


Figura 3.04. Características estructurales de los alrededores del sitio de presa (Modificado de Muñoz, 1988).

El basamento rocoso está compuesto por parte de la Fm. Livilcar, definida como una secuencia sedimentaria marina clástico-terrágena y carbonatada, de ambiente marino-continental. Esta aflora hasta 8 kilómetros aguas arriba de la localidad de Livilcar, con una potencia estimada de 1.700 metros, compuesta principalmente por conglomerados, areniscas, limonitas, calizas, coquinas y tobas subordinadas. Estas rocas infrayacen en discordancia a los depósitos cuaternarios, los cuales se componen de diversos depósitos aluviales, conos de deyección y remociones en masa. Estos poseen una gran superficie pero escasos metros de potencia, ubicándose mayoritariamente en laderas y parte interna de quebradas.

El solevantamiento de los Andes, en el Mioceno superior, produjo el basculamiento al oeste de las unidades litológicas que forman el sustrato de la zona, compuestas en general, por ignimbritas

con intercalaciones clásticas de origen fluvial. Según Wörner y otros (2002), esta sería la razón del basculamiento, en lugar de la actividad de las fallas inversas pertenecientes al WTS (Quezada y Cerda, 2003).

4.2. GEOLOGÍA DEL SITIO DE PRESA

En general, el sitio de presa se encuentra sobre rocas volcano-sedimentarias, y sedimentos aluviales que se ubican en lecho del río. Las unidades geológicas conformadas por estos depósitos y su disposición en el área de presa se observan en la Figura 4.01.

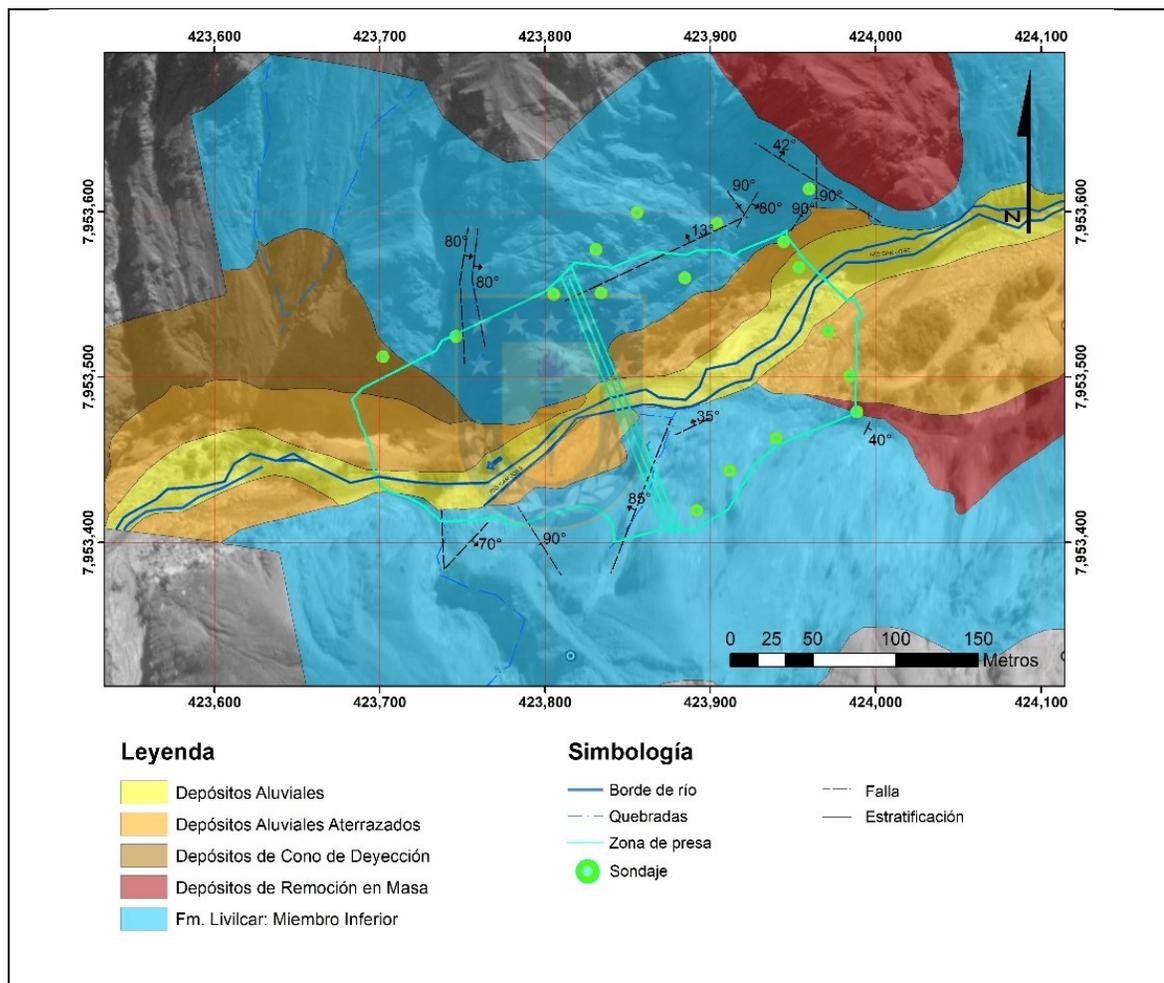


Figura 4.01. Mapa geológico del sitio de presa (Realizado por MN Ingenieros Ltda. (2012) y modificado por el autor de esta memoria).

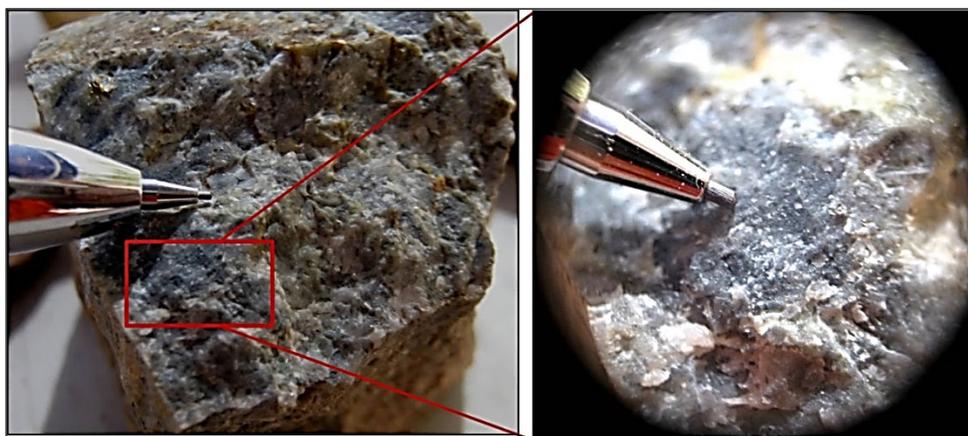
4.2.1. BASAMENTO (FM. LIVILCAR)

Se considera como el basamento geológico las siguientes unidades litológicas que se encuentra en el sitio de fundación del muro. Este corresponde al Miembro Inferior de la Fm. Livilcar, el cual se expresa como una sucesión continental de plegamiento moderado que varía entre 40°WNW y 70°ENE aproximadamente para sus limbos, asociados en general, a un rumbo NNE.

4.2.1.1. Miembro Inferior

Compuesto por depósitos clástico-terrígenos pertenecientes a una sucesión volcánica-continental. En el sector de la presa, se presentan como rocas tobáceas de composición andesítica y textura estará emplazada la mayor parte de la obra de construcción. Los afloramientos a menudo se presentan expuestos, salvo en el lecho del río y en los conos de deyección, donde se encuentran cubiertos por depósitos sedimentarios.

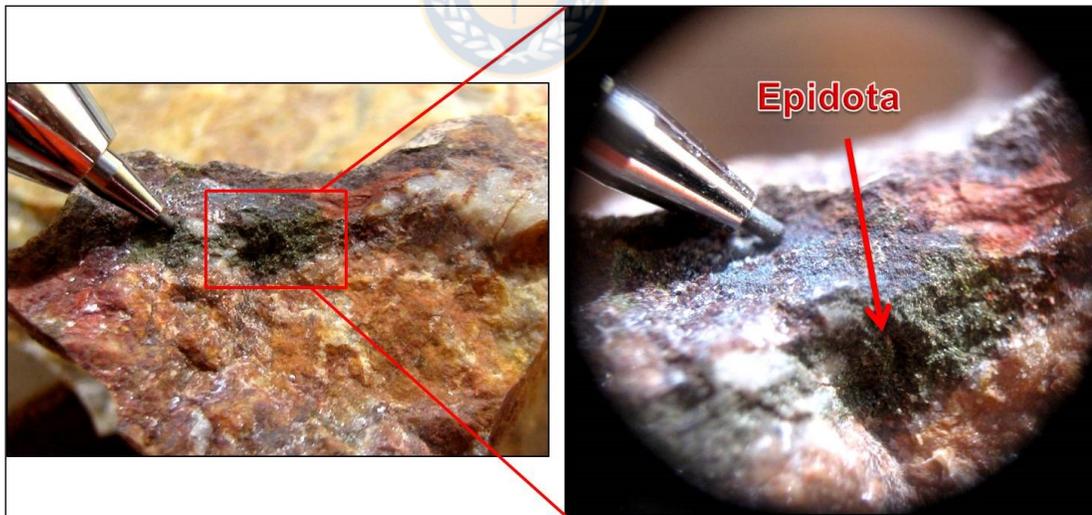
Las rocas presentan una silicificación fuerte y pervasiva de la masa fundamental, que oblitera totalmente su textura original y dificulta la clasificación composicional de la roca (Fotografía 4.01. y 4.02). Además, es posible observar una cloritización moderada a fuerte de los minerales máficos, con una leve alteración a epidota en algunos sectores (Fotografía 4.03.). La presencia de cristales de plagioclasa de gran tamaño y alteración a arcillas, dentro de una masa fundamental afanítica, permiten asignar presumiblemente una composición andesítica a estas rocas.



Fotografía 4.01. Silicificación pervasiva en masa fundamental de una toba andesítica.



Fotografía 4.02. Muestra de toba andesítica porfídica ubicada en el sector de aguas abajo del estribo derecho.



Fotografía 4.03. Alteración de epidota acompañando de una silicificación pervasiva de la roca volcánica andesítica.

El Miembro Inferior de la Fm. Livilcar posee evidencias de recristalización y diversos grados de metamorfismo. Es común, además, la presencia de cúmulos y crecimientos de

sílice circular, así como la generación de bandeamientos metamórficos a lo largo de esta unidad (Fotografía 4.04.). El metamorfismo y las alteraciones bien podrían haber sido efecto de la intrusión y emplazamiento de la unidad Intrusivos del Lluta.



Fotografía 4.04. Bandeamiento metamórfico en el Miembro Inferior de la Fm. Livilcar.

Desde el punto de vista geotécnico, la roca es dura, fracturada y con escasa meteorización. Los valores de resistencia a la compresión simple estimada para la roca levemente meteorizada son de alrededor de 80 MPa, y 120 MPa o más para la roca fresca.

4.2.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

4.2.2.1. Depósitos Aluviales

Se extienden a lo largo de la caja del río, cubriendo el fondo del valle con una pendiente semiplana. La potencia estimada varía de 4 a 12 metros según lo indicado por los sondajes EL-01, EL-02, EL-03, EL-04 y EL-05 (ANEXO II), efectuados en la intersección del plinto basal con el lecho del río.

La cubierta aluvial está compuesta por bloques, bolones y gravas, de carácter redondeado a subredondeado, dentro de una matriz arenosa con escaso sedimento fino (limo), el cual no fue posible recuperar por los sondajes. Los depósitos aparecen mal seleccionados, con presencia de

algunos estratos de materiales finos no plásticos en los sectores superficiales. Los sedimentos se presentan duros, frescos y muy competentes, con una baja compacidad, alta permeabilidad y de carácter polimíctico.

4.2.2.2. Depósitos Aluviales Aterrazados

Corresponden a bloques y gravas subredondeadas dentro de una matriz polimíctica compuesta principalmente por arena-limo y arcilla. Su génesis es atribuible a antiguos procesos aluviales torrenciales, que se ubican tanto aguas abajo del eje del muro como aguas arriba de este, llegando a una altura de hasta 7 m sobre el lecho del río.

4.2.2.3. Depósitos de Cono de Deyección

En general, los materiales están conformados por clastos angulosos dispuestos en una matriz limo-arenosa en la cabecera gradando a clastos redondeados a subredondeados hacia el pie del cono. Se disponen en zonas de altas pendientes, susceptibles a ser movilizadas por gravedad y, en menor medida, por efecto del agua. Su ubicación se limita a la ladera norte, aguas abajo del eje del muro, llegando hasta el lecho del río, donde se mezclan con depósitos aluviales.

4.2.2.4. Depósito de Remoción en Masa

Son depósitos de origen gravitacional compuestos principalmente por deslizamientos, avalanchas y derrumbes, expuestos en los bordes de ambas laderas del sitio de presa. Son depósitos muy bien consolidados y cementados.

El área del embalse presenta algunas fallas con dirección NW-SE y en menor medida NE-SW y N-S, las cuales se encuentran enmascaradas bajo estos depósitos. Las fallas no han sufrido reactivación durante el cuaternario puesto que los depósitos de remoción se encuentran en continuidad depositacional, y sus trazas sólo son reconocibles en sectores puntuales del terreno.

4.3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE INUNDACIÓN

La zona de inundación está representada por un valle ancho, rectilíneo y de paredes abruptas, labrado en rocas sedimentarias y volcánicas de los dos miembros de la Fm. Livilcar y en los depósitos de remoción en masa del Plioceno – Cuaternario (Figura 4.02.).

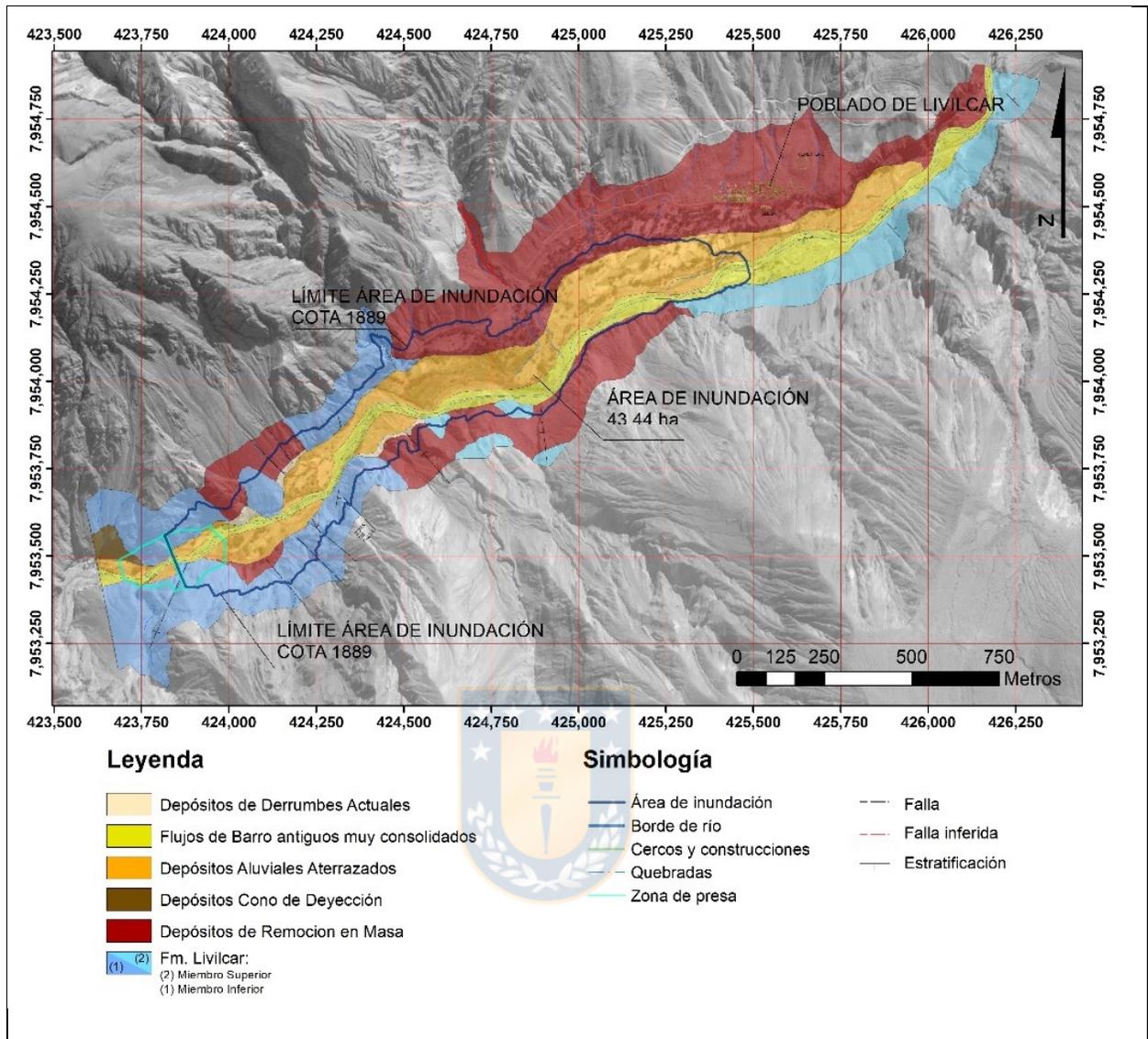


Figura 4.02. Mapa geológico del área de inundación (Realizado por MN Ingenieros Ltda. (2012) y modificado por el autor de esta memoria).

4.3.1. FORMACIÓN LIVILCAR

El basamento rocoso del área de inundación está compuesto por los dos miembros pertenecientes a la Fm. Livilcar.

4.3.1.1. Miembro Inferior

Corresponde a una sucesión volcánica-continental compuestas principalmente por lavas andesíticas con capas menores de brechas, aglomerados, lapilli, tobas, calizas y lutitas. Su distribución está limitada al sector oeste del área de inundación.

4.3.1.2. Miembro Superior

Se exhibe como una secuencia de lutitas, calizas, areniscas con yeso y coquinas de color gris a pardo, bien estratificadas y en capas continuas de espesor métrico (Fotografía 4.05.), las cuales afloran principalmente en el sector sureste del área de inundación. Posee una potencia estimada de 400 m y una estratificación medida de N25°W/15°NE. Muñoz y otros (1988) correlaciona cronoestratigráficamente este miembro con la parte superior de la Fm. Camaraca (Salas y otros, 1968 en Muñoz y otros, 1988) ubicada en el morro de Arica (Arrau, 1997 en García y otros, 1999b). Ambos miembros de la formación se encuentran en contacto por falla. Además el manto medido coincide con lo propuesto por Vila (1976) para las rocas volcánicas mesozoicas en la región del morro de Arica.



Fotografía 4.05. Afloramientos de lutitas y calizas del Miembro Superior de la Fm. Livilcar.

4.3.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

4.3.2.1. Depósitos de Remoción en Masa

Corresponden a depósitos gravitacionales de edad Plioceno-Holoceno expuestos en los bordes de ambas laderas, entre el sector medio del vaso hasta la cola del embalse (Fotografía 4.06). Están compuestos por deslizamientos y avalanchas con superficies de hasta 30 km², mala selección, muy bien consolidadas y cementadas. Los depósitos son caóticos, observándose mega-bloques, bloques y rodados de tamaño métrico a decamétrico. Estos bloques son ocasionalmente coherentes, pero a menudo se encuentran muy fracturados y deformados. Los depósitos no representan riesgos actuales de movimientos gravitacionales, ya que no se observan evidencias de remociones recientes.



Fotografía 4.06. Depósitos de remoción en masa en la zona de inundación (*en negro*).

4.3.2.2. Depósitos Aluviales Aterrazados y Conos Detríticos

Corresponden a bloques y gravas polimícticas subredondeados en una matriz limo-arenosa y de arcilla. Los depósitos se relacionan con procesos aluviales torrenciales antiguos y flujos de barro. Es posible encontrarlos tanto aguas abajo del eje del muro como aguas arriba de este, llegando a una altura de hasta 7 metros sobre el lecho del río.

4.3.2.3. Cubierta Aluvial Reciente

Se define como una cubierta aluvial de pendiente semiplana que cubre el fondo del valle a lo largo de la caja del río y cuya potencia varia de 4 a 12 metros. Está compuesta por bloques, bolones y gravas redondeados a subredondeados en una matriz arenosa.

4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.4.1 GENERALIDADES

El área de estudio está enmarcada en un régimen de subducción tipo chilena; un margen convergente en el cual la placa oceánica (Placa de Nazca) subducta bajo la placa continental

(Placa Sudamericana). Sin embargo, la evolución geotectónica del margen no ha sido uniforme durante todo este tiempo.

Según algunos autores, este desarrollo puede dividirse en dos macrociclos: el Ciclo Preandino (previo a los 200 Ma), caracterizado por la formación del paleomargen andino vía acreción de “terrenos”, y el Andino (posterior a los 200 Ma), con un modelo de subducción más definido, el cual sufrió una serie de cambios en la dirección e intensidad de la convergencia que provocó variaciones en el ángulo de subducción, aporte de sedimentos a la fosa, grado de acople sísmico y geometría de la placa. Todos estos cambios se traducen en la distribución morfoestructural actual del margen andino.

La configuración tectónica actual se caracteriza por una subducción oblicua con una inclinación aproximada de 30° del plano de Wadati-Benioff (Lange y otros, 2007), y a una velocidad y dirección de subducción de 67 mm/año y $N78^\circ E$, respectivamente (Ruegg y otros, 2009).

La fricción entre las placas involucradas genera una zona de acople intersísmico, conocida como “Zona Sismogénica”, donde la energía que se acumulada es liberada al romperse este equilibrio, generalmente en forma de un sismo de subducción. La deformación acumulada en la placa continental producto de la convergencia es recuperada parcialmente, acumulando un residuo que genera engrosamiento y acortamiento tectónico en el largo plazo.

Otro proceso controlado por la subducción es el magmatismo; la placa oceánica subductada se deshidrata en profundidad aportando agua a la cuña del manto, lo que genera el descenso de la temperatura de fusión y el posterior ascenso de fundidos por densidad. Estos cristalizan en niveles someros de la corteza en forma de cuerpos intrusivos, o bien alcanzar la superficie generando volcanismo. El emplazamiento y hospedaje de estos cuerpos y/o fundidos ocurre a menudo en función de la asistencia tectónico-estructural que el contexto geológico provea.

Según Mpodozis y Ramos (1989), y su división propuesta partir de las Cuencas Jurásico – Cretácico Inferior, el área de estudio se encuentra ubicada en el segmento A; la zona de la Cuenca de Tarapacá (Figura 4.03.a.). Además, el área pertenece al dominio morfoestructural de la Cordillera Occidental (Figura 4.03.b.), en base a la configuración de las estructuras profundas propuesto por Tassara y Yáñez (2003).

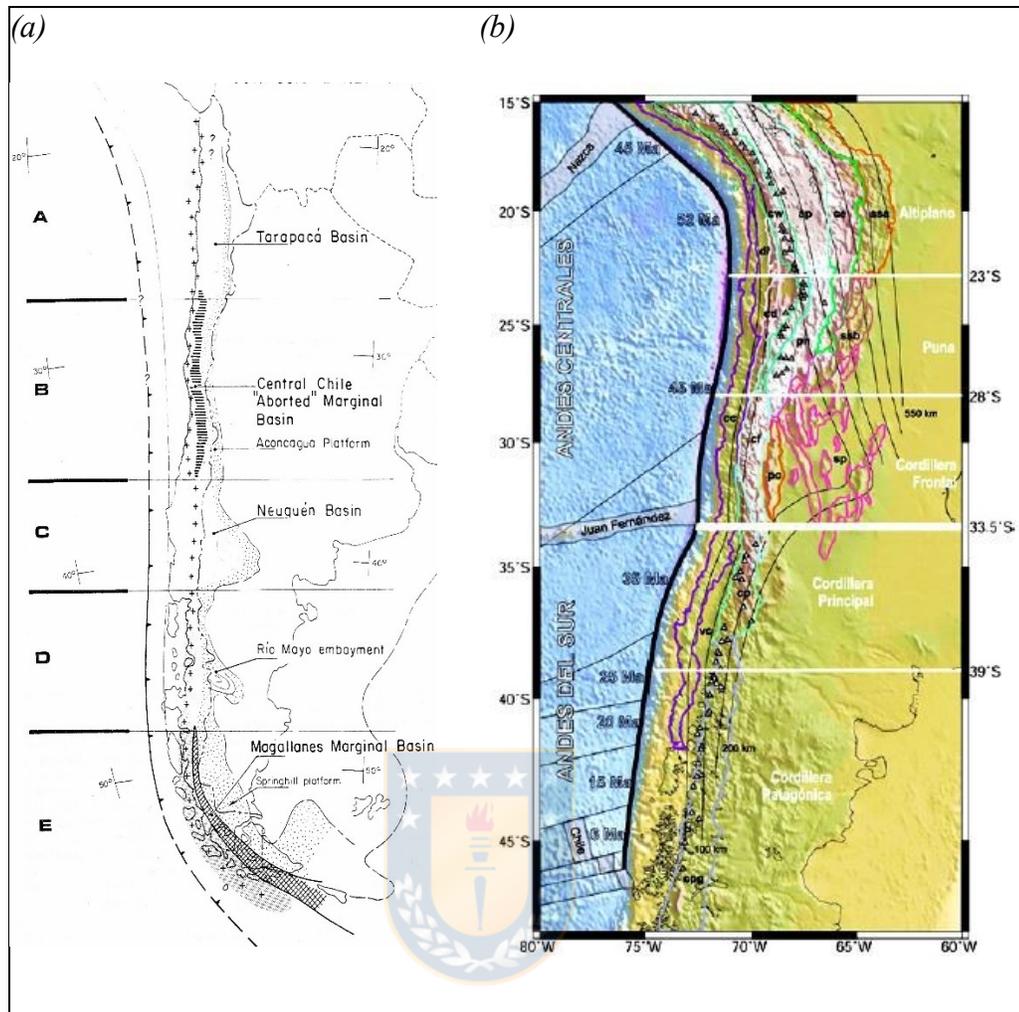


Figura 4.03. Segmentación andina; *a.* Segmentación en base a las características de la cuenca de trasarco del Jurásico-Cretácico (Tomado de Mpodozis y Ramos, 1989), *b.* Dominio morfoestructural del margen andino (Tomado de Tassara y Yáñez, 2003).

El predominio de un régimen compresivo sería la causa de las estructuras y lineamientos observados en la zona. Los procesos tectónicos se remontan desde el Paleozoico superior al Cenozoico, propiciando condiciones de régimen frágil y dúctil, que se expresan en estructuras secundarias como lineamientos, fallas, diaclasas, diques y pliegues. Muchas de estas estructuras presentan un alto grado de meteorización por efecto del tiempo y clima.

El valle de Azapa permite la exposición de estructuras tectónicas que afectan a la Fm. Livilcar e Intrusivos del Lluta, y que se encuentran cubiertas por depósitos subhorizontales a suavemente plegados de la Formación Oxaya.

El siguiente estudio consta de la descripción y análisis estadístico de las estructuras medidas en terreno, con el propósito de obtener las direcciones de los esfuerzos principales a los cuales deben su origen, y determinar las relaciones temporales con las unidades y litodemas definidos en el área.

4.4.2. LINEAMIENTOS

A partir del análisis de datos de escaneo remoto y modelos de elevación digital de la superficie obtenidos mediante el método "Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer, ASTER", es posible elaborar una representación tridimensional detallada de la zona; como mapas topográficos, simulación matemática de sombras con fuentes de iluminación a distintas alturas, cálculo de azimut, y mapas de elevaciones. Todos estos cálculos y simulaciones fueron realizados con el software *ArcGIS 10.5*, a partir del cual se pueden reconocer al menos 44 lineamientos como se muestra en la Figura 4.04.

A partir de los datos obtenidos mediante *ArcGIS 10.5* se realizó un análisis estadístico de la dirección de los lineamientos, utilizando para ello el software *Dips 5.0* con la finalidad de obtener sus direcciones principales.

Se identifican tres direcciones principales para agrupar los lineamientos locales (Figura 4.05.): (1) una dirección predominante NE-SW, coincidente con la orientación del valle del río, (2) NNW- SSE, probablemente relacionado a los esfuerzos que dieron origen al Anticlinal Oxaya, y (3) en menor medida lineamientos NW-SE, que observan particularmente al oeste de la zona de estudio.

4.4.2.1. Lineamientos NE-SW

Constituye el grupo con mayor número de lineamientos en el área. Exhiben una orientación preferencial NE-SW, con un rumbo promedio de N52°E y una moda cercana a los 62° (Figura 4.06.a.). Se reconocen primordialmente en las rocas de la Fm. Oxaya, y en menor medida, la Fm. Livilcar, y depósitos de remoción en masa y coluviales. Estos lineamientos siguen la dirección

del valle y aparecen detalladamente en zonas altas, donde han quedado a salvo de la erosión producida por el río.

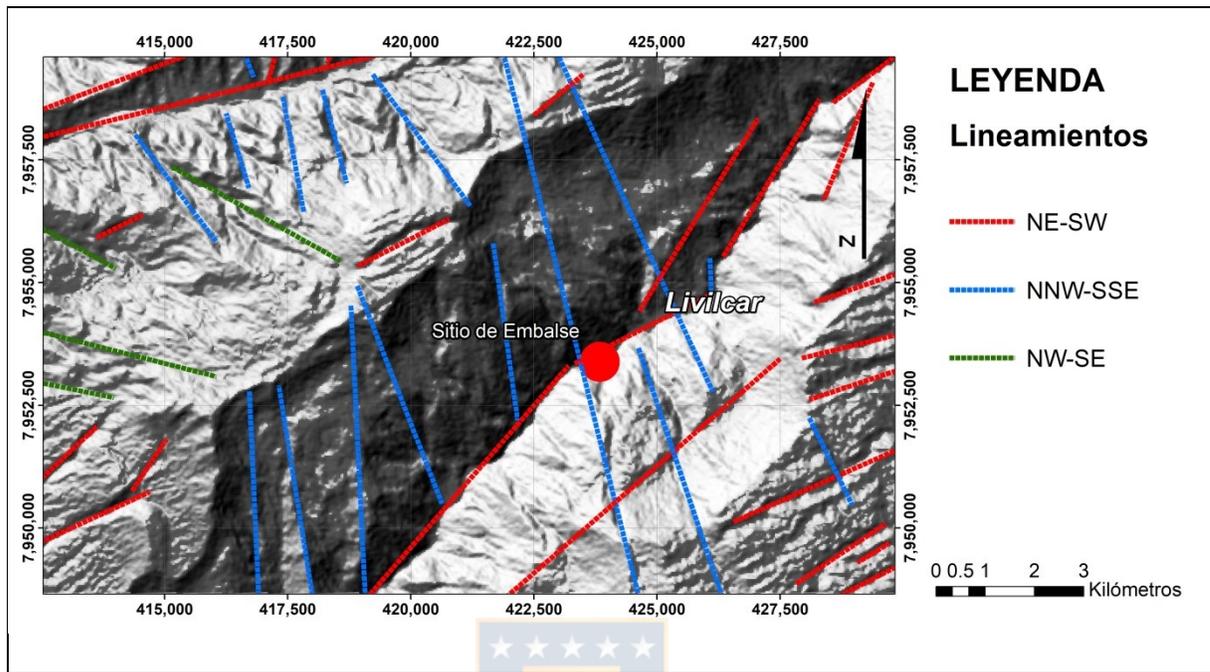


Figura 4.04. Principales lineamientos locales (*Elaboración propia*).

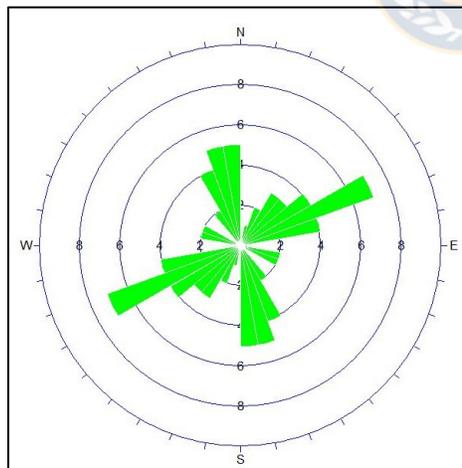


Figura 4.05. Diagrama de roseta de las principales direcciones de los lineamientos; NE-SW, NNW-SSE y NW-SE.

4.4.2.2. Lineamientos NNW-SSE

Corresponde al segundo grupo con mayor distribución en la zona, compuesto por un total de 16 lineamientos observados. En él se observan dos lineamientos importantes de dirección NNW-SSE (20° - 30°) que atraviesan el área del proyecto, advirtiéndose su traza en ambos lados de la quebrada, así como en la ribera norte, donde se distinguen sobre la Fm. Oxaya. El resto de los

lineamientos posee un rumbo promedio de 18° (Figura 4.06.b.) y se encuentran distribuidos homogéneamente perpendicular a las quebradas. Debido a su longitud y transversalidad, estos lineamientos cortan la mayoría de los depósitos del área.

4.4.2.3. Lineamientos NW-SE

Constituye un pequeño número de lineamientos ubicados al oeste, en dirección a la Quebrada Cardones. Poseen una orientación media de $N70^\circ W$ (Figura 4.06.c.), de poca extensión y cortando los depósitos de remoción en masa recientes, así como parte de la Fm. Oxaya e Intrusivo de Lluta.

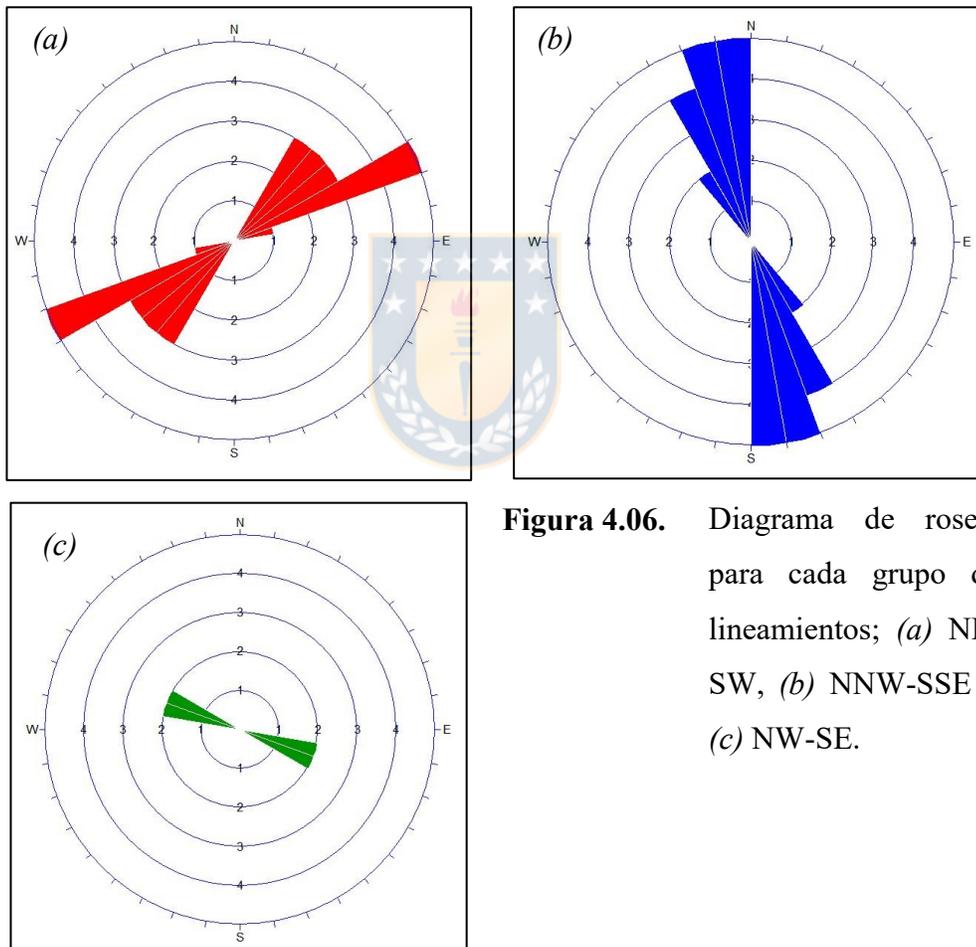
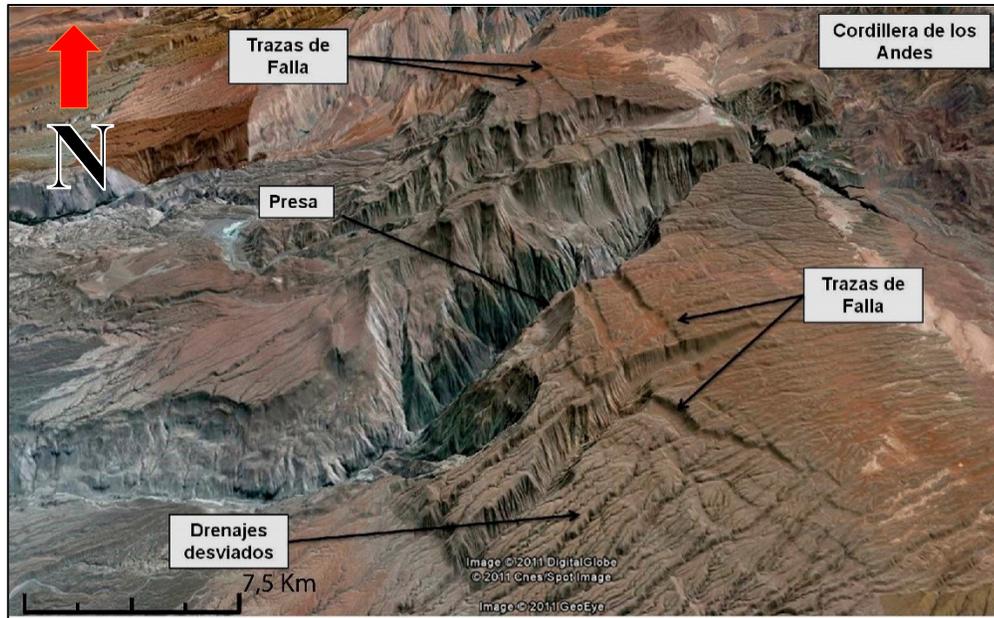


Figura 4.06. Diagrama de roseta para cada grupo de lineamientos; (a) NE-SW, (b) NNW-SSE y (c) NW-SE.

4.4.3. FALLAS

Se presume que los dos grandes lineamientos NNW-SSE observados, corresponden a dos trazas de falla que pasan por el área del proyecto (Fotografía 4.07.).

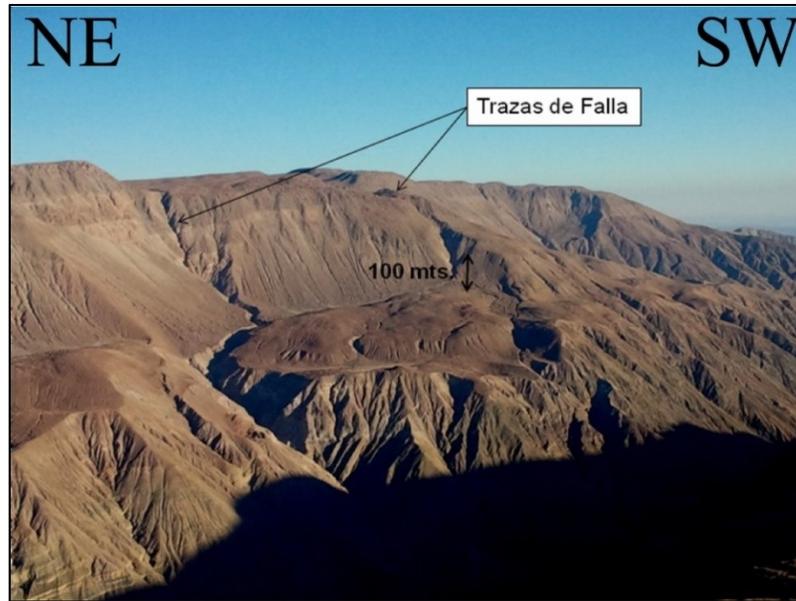


Fotografía 4.07. Trazas de fallas que pasan por el área del proyecto.

Además en la imagen: ubicación regional del sitio del embalse, entre la Cordillera de los Andes y la planicie precordillerana. *Tomado de Google Earth Pro.*

Por lo analizado en la sección 3.4.2, estas fallas podrían corresponder a fallas normales y sistemas de graben paralelos al eje del Anticlinal Oxaya producto de la deformación superficial que afectó la cresta del pliegue (García y Hérial, 2005). Estas fallas habrían sido reactivadas posteriormente a la depositación de la Fm. Oxaya, de edad Oligoceno superior a Mioceno inferior, por lo que se infiere una edad posterior a esta última, es decir, más de 16 millones de años.

Se presume además, que estas trazas de falla estarían desplazadas sutilmente aguas arriba, lo que podría indicar la presencia de otra estructura en el lecho del río, paralela al valle Livilcar (N45°E), que habría desplazado el bloque norte hacia el noreste, pero aún no hay evidencias certeras de esto. Además, el bloque oeste se observa hundido unos 100 metros con respecto al bloque del lado este (Fotografía 4.08.). Se estima que este posible desplazamiento sería previo a la Fm. Oxaya, ya que no se observan evidencias de traslado en ese sentido. Esto último explicaría la diferencia en la calidad geotécnica del macizo rocoso en ambos lados del lecho del río, aun cuando estos pertenecen a una misma unidad geológica (Miembro Inferior de la Fm. Livilcar).



Fotografía 4.08. Vista norte del área de presa. *En la fotografía: trazas de fallas y bloques con diferencia de cotas.*

Según lo visto en terreno, la reactivación de las fallas de ese sector habría estado relacionada a las grandes remociones en masa y flujos de barro, ocurridos entre el Mioceno (García y Hérail, 2005) y el Pleistoceno.

Las estructuras regionales (lineamientos y/o fallas) pueden correlacionarse bien con las estructuras menores presentes en este sector de presa, ya sea con el eje del río, como también las trazas principales (Figura 4.07.). La tendencia de las estructuras es a presentarse con ángulos elevados, llegando a ser semiverticales en la mayoría de las estructuras, salvo en algunas que afectan la ladera norte.

Es posible observar una falla de orientación N25°E/85°NW (Fotografía 4.09.), en el que el plano de falla se encuentra acompañado por roca triturada junto a una baja fracción de arcilla (<10%). La brecha presenta una potencia de 2 a 3 m, sin evidencias de actividad, sin embargo, por la ladera sur la falla se encuentra cortando al eje del muro sin afectar al plinto.

En el lado derecho, unos cien metros aguas abajo del eje del muro, existen dos fallas de orientación N-S con vergencia de 80° al este y que poseen una leve tendencia hacia el oeste.

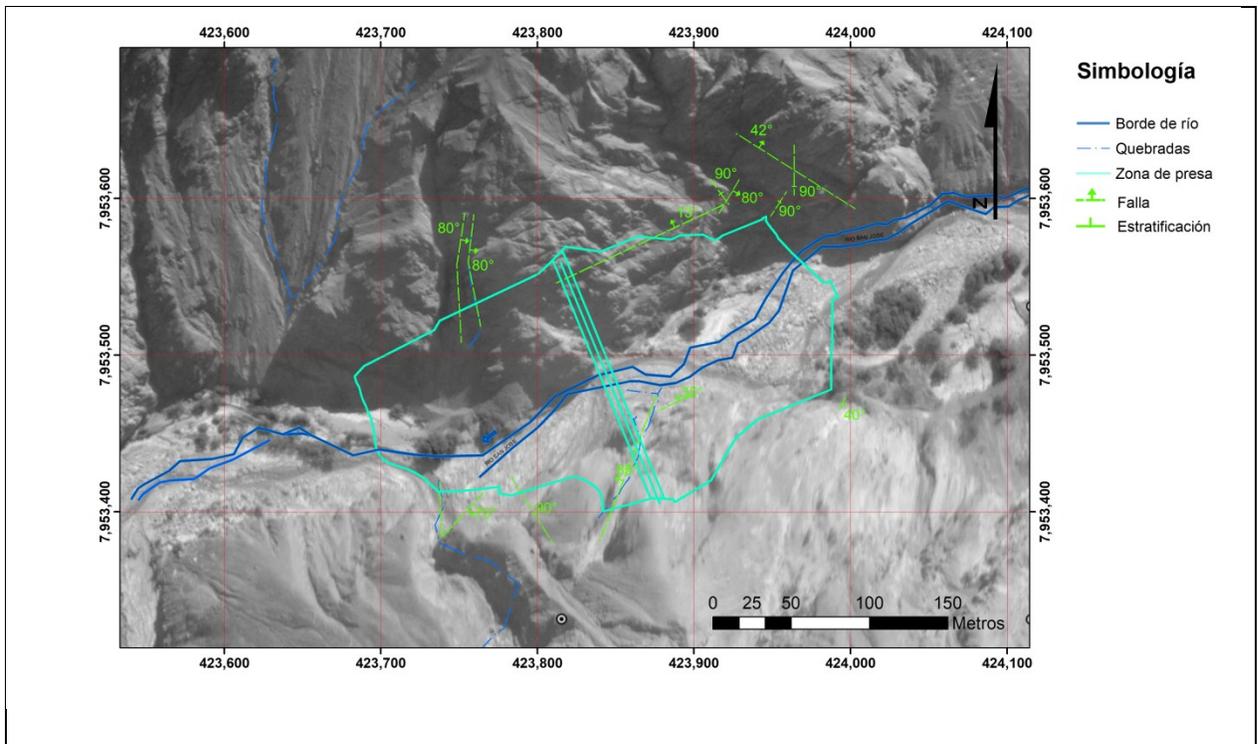
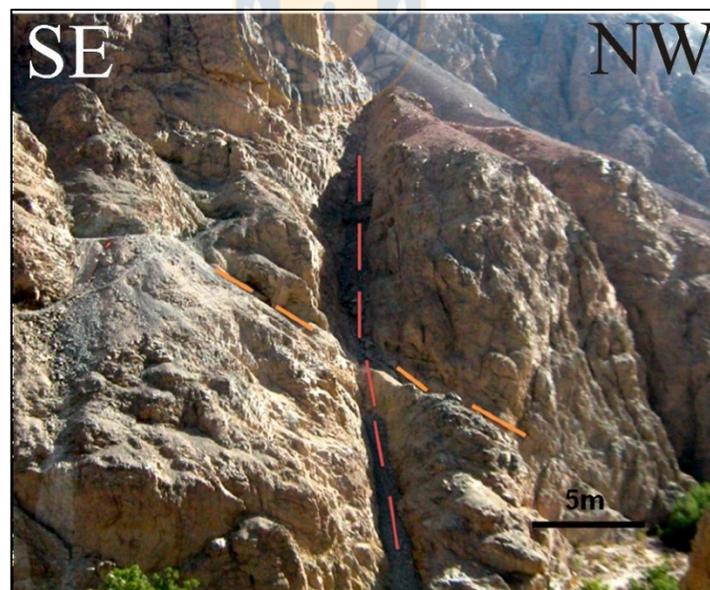


Figura 4.07. Estructuras observadas en el sitio de presa.



Fotografía 4.09. Falla acompañada de brecha y salbanda, que afecta a la ladera sur del sitio de presa.

Estas no presentan ningún peligro ya que se encuentran aguas abajo de la presa, al igual que otras tres fallas de alto ángulo ubicadas aguas abajo pero por la ladera sur.

En el apoyo derecho, existe una falla perpendicular al eje del muro que afecta tanto a éste, como a la parte alta del plinto. Posee una dirección N65°E, vergencia hacia el NW y un bajo ángulo de manteo (13°). La falla se encuentra sellada con roca triturada y arcilla (20%), sin evidencias de estar activa. Además, se observan tres fallas 100 metros aguas arriba de la ladera norte de la presa, de orientación NE-SE y actitudes semiverticales.

En cuanto a las estructuras menores, tales como diaclasas, estas tienen direcciones preferenciales NW-SE y en menor medida N-S y NE-SW. Para mayor detalle sobre la importancia geotécnica véase el Capítulo 5.

4.4.4. PLIEGUES

En general, la Fm. Livilcar (Jurásico-Cretácico Inferior) se expone de manera continua, plegada y fallada con intensidad moderada. Esta formación exhibe un conjunto de anticlinales y sinclinales de rumbo NW-SE a NNE-SSW y longitud de onda promedio de 1 a 6 kilómetros. En la localidad de Livilcar, es posible observar un par anticlinal-sinclinal de vergencia al este, que provocó el alzamiento del Miembro Inferior al oeste de esta localidad. El anticlinal oeste presenta un rumbo NNW-SSE, con un flanco oriental de 70°E y el occidental de hasta 30°W, y una longitud de onda de 3 a 4 kilómetros. El sinclinal del este corresponde a un pliegue apretado cuyo flanco oriental posee un manteo de 40°W, con una longitud de onda de 1 kilómetro y un plano axial en dirección NNE-SSW y manteo 40°W, compatible con la vergencia al este de la estructura. La geometría de estos pliegues es predominantemente cilíndrica, lo que se traduce en un acortamiento en dirección este-oeste, sin embargo, podría existir una componente menor de la deformación transpresiva. Los pliegues que afectan a la Fm. Livilcar están cubiertos en discordancia angular por las rocas de la Fm. Oxaya, lo que implica que la deformación compresiva se desarrolló entre el Cretácico Superior y el Oligoceno inferior.

5. ESTUDIO GEOTÉCNICO

5.1. GENERALIDADES

El estudio geotécnico contempla la caracterización y evaluación del macizo rocoso para el diseño definitivo del embalse Livilcar sobre el río San José en la Región de Arica y Parinacota. Para ello se utilizan diferentes técnicas propuestas y complementadas por diversos autores, como lo son el *RQD* (Deere, 1988, en Bieniawski, 1989), *RMR* (Bieniawski, 1989) y *Q* (Barton y otros, 1974), que sirven para definir los parámetros de diseño que tendrán las obras; Presa, Vertedero y Obras de desvío, con sus obras anexas. Se debe tener presente que en esta etapa del proyecto, las obras aún no han sido definidas completamente en cuanto a ubicación, dimensiones y características, situación que debería quedar resuelta en etapas posteriores del estudio. De este modo, se considera el presente estudio como un antecedente más para el diseño de las obras a nivel de factibilidad y valorización.

5.2. PROSPECCIONES Y RECONOCIMIENTO DE TERRENO

Para efectuar la evaluación geotécnica del sitio de presa y sus obras anexas, se efectuaron observaciones de terreno, fotografías aéreas y prospecciones.

En cuanto a las prospecciones, estas se realizaron por medio de sondajes a diamantina con recuperación continua de testigos y calicatas, contabilizándose un total de 17 sondajes geotécnicos (Tabla 4.01.), todos orientados a reconocer la calidad y características de la roca de fundación de la presa y sus obras anexas, ya sea, plintos, área del vertedero y túnel de desviación.

Además de los sondajes anteriormente mencionados, se programaron dos sondajes adicionales con el fin de caracterizar la zona de cantera.

Además, durante la perforación se ejecutaron ensayos Lugeon cada 5 metros de profundidad para determinar la permeabilidad del macizo rocoso. Adicionalmente se programaron 2 sondajes adicionales con el fin de caracterizar la zona de cantera, donde se extraerá el material para la fundación.

Para llevar a cabo la evaluación geotécnica, se definen ciertos parámetros en base a las características geológicas y estructurales del macizo, esto permite realizar un análisis cuantitativo para obtener la clasificación geotécnica de la roca. La valorización de estos parámetros considera

la composición mineralógica y la fábrica, así como las propiedades y el comportamiento mecánico de la matriz rocosa.

Tabla 4.01. Sondajes realizados en el Proyecto Livilcar.

Sondaje	Coord. N	Coord. E	Cota (m)	Prof. (m)
EL-01	7.953.479,05	423.988,56	1809,33	40,00
EL-02	7.953.500,71	423.984,09	1808,54	43,70
EL-03	7.953.527,91	423.971,15	1806,08	47,80
EL-04	7.953.566,37	423.953,51	1809,88	40,00
EL-05	7.953.581,83	423.944,24	1809,57	50,00
EL-06	7.953.559,51	423.883,65	1831,00	60,00
EL-07	7.953.550,51	423.713,65	1863,00	70,00
EL-08	7.953.549,51	423.804,65	1877,00	80,00
EL-09	7.953.462,51	423.939,65	1841,00	60,00
EL-10	7.953.443,51	423.911,65	1856,00	50,00
EL-11	7.953.418,51	423.891,65	1870,00	50,00
EL-12	7953.592,51	423.903,65	1860,00	50,00
EL-13	7.953.523,51	423.745,65	1837,00	40,00
EL-14	7.953.512,13	423.701,94	1816,50	20,00
EL-15	7.953.576,51	423.830,65	1894,00	20,00
EL-16	7.953.598,51	423.854,65	1899,00	20,00
EL-17	7.953.613,51	423.958,65	1837,00	30,00
Metros perforados (m)				771,50

El objetivo de esta sección es la obtención del índice *RMR (Rock Mass Rating)*, desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, que permite la clasificación del macizo rocoso. Este corresponde a un sistema de puntos que asocia el puntaje obtenido por los parámetros geomecánicos de la roca con un índice de calidad del macizo. Estos parámetros se resumen a continuación (Bieniawski 1989, en González y otros, 2002):

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del *RQD (Rock Quality Design)*.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.

La sumatoria de los valores que adopta cada una de estas variables corresponde al índice de calidad RMR, el cual varía de 0 a 100, siendo 0 para una clasificación *Muy mala*, y 100 para una *Muy Buena*.

Para aplicar la clasificación *RMR*, se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que representen características geológicas más o menos uniformes. Esta división se realiza en base a las observaciones hechas en terreno, sobre la cual se toman datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades (González y otros, 2002). En el caso de este estudio, se dividieron los sondajes siguiendo este mismo criterio para así obtener los parámetros geotécnicos del segmento y calcular el índice de calidad de la roca (*RMR*) descrito para cada tramo.

5.2.1. RECONOCIMIENTO MEDIANTE SONDAJES

A continuación se describen los 17 sondajes realizados en el área de presa, plintos, área del vertedero y túnel de desviación (Figura 5.01.). El detalle de los valores obtenidos para cada parámetro por segmento, así como el registro de las características geológicas y geotécnicas de cada sondaje pueden consultarse en los Anexo 1 y 2. Estos además, tuvieron por finalidad determinar la profundidad de la roca bajo el depósito fluvial y ayudar a definir el perfil basal de las rocas del valle.

5.2.1.1. Sondaje EL-01

Tiene 40,00 m de profundidad, y se ubica aguas arriba del muro de presa, a la izquierda del pie y a un par de metros del farellón rocoso sur. Este sondaje permitió determinar la profundidad de la roca bajo el depósito fluvial, y así, definir el perfil basal de la roca. En promedio, la roca se encuentra a 1 metro bajo un estrato de gravas, compuesto por bloques redondeados en una matriz arenosa. La roca se presenta muy fracturada y permeable hasta los 13,00 m, donde la admisión

fue franca sin levantar presión. Bajo esta profundidad las permeabilidades varían de valores inferiores a 1 U.L. hasta los 14 U.L.

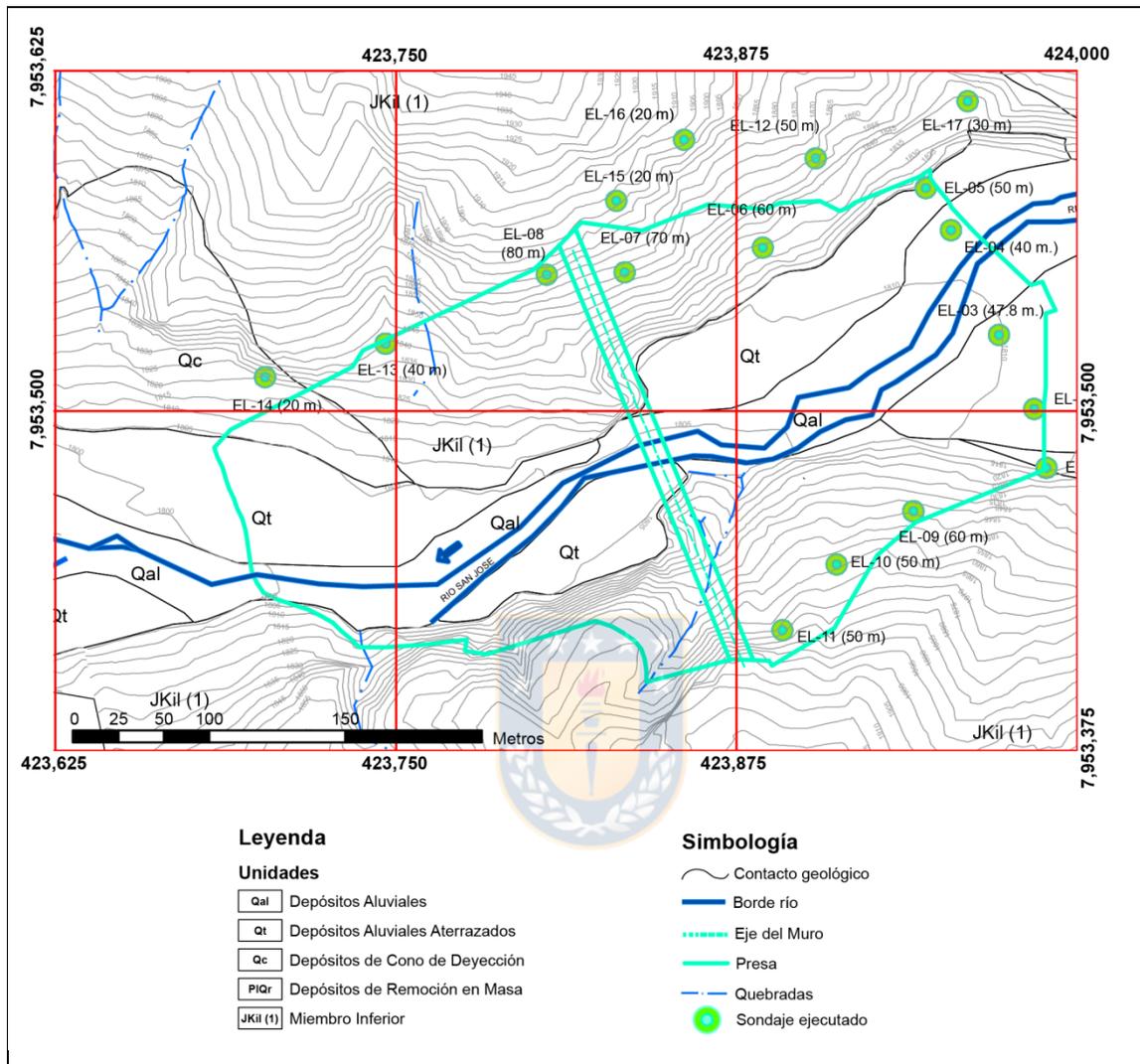


Figura 5.01. Ubicación de los sondeos del Proyecto Embalse Livilcar.

Se reconocen dos familias de fracturas en este sondaje, una de orientación subvertical y la otra de orientación subhorizontal. Las estructuras subverticales presentan en ocasiones rellenos arcillosos de hasta 1 centímetro de ancho, en cambio, la familia subhorizontal exhibe una mayor rugosidad y rellenos más delgados. La frecuencia de las fracturas varía de 10 a 20 fracturas por metro.

Los tramos con roca triturada son frecuentes, dando como resultado valores nulos de RQD y, que en general, no sobrepasan el 30%, salvo entre los 37,85 m a 38,55 m. Se hace evidente la existencia de una zona de falla subvertical que afecta el contacto entre la ribera sur del plinto y el

lecho del río. Debido a la recurrencia y mala condición de las estructuras, se obtuvieron valores de *RMR* bastantes bajos, que varían entre 32 y 55 (Figura 5.02.). Aun así, los valores de resistencia a la compresión simple estimada ayudaron a obtener una mejor puntuación *RMR*.

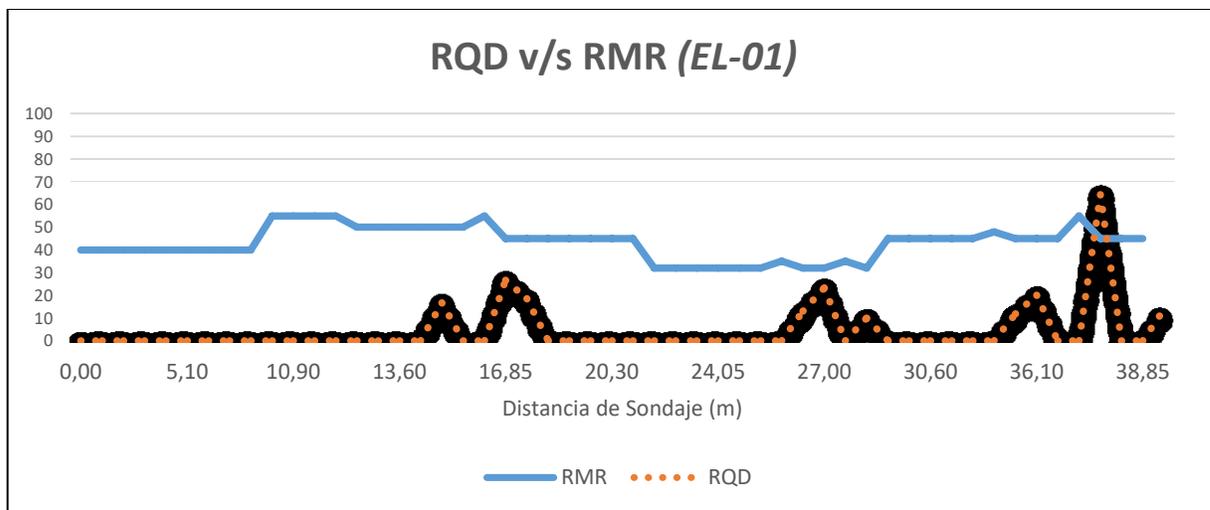


Figura 5.02. *RQD v/s RMR Sondaje EL-01*; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.2. Sondaje EL-02

Se ubica en el valle, al norte de EL-01 y a unos 20 metros aproximadamente de la ladera sur. Se desarrolló con el mismo objetivo que el sondaje anterior, llegando a una profundidad de 43,70 m. Las estructuras son continuas, abiertas y variando de lisas a poco rugosas. Estas pueden agruparse en tres a cuatro familias, con ángulos que van entre 0° y 90°. La frecuencia es superior a las 12 fracturas por metro y su espaciamiento no alcanza los 10 cm en promedio, excepto en el tramo de 34,00-40,20 m donde la roca presenta un mayor espaciamiento y una frecuencia inferior a las 10 f/m, permitiendo el aumento del *RQD* hasta un 86%. En general, el *RQD* se mantiene inferior al 40% en la mayoría de los tramos.

El puntaje de *RMR* varía de 43 a 63 los primeros 34 m, aumentando hasta 65 como mínimo entre los 34,00-40,20 m, para nuevamente bajar 53 a medida que se profundiza (Figura 5.03.).

5.2.1.3. Sondaje EL-03

Se ubica en el sector central del pie, aguas arriba del muro de presa. Alcanza una profundidad de 47,80 m y tuvo la finalidad de complementar las observaciones de los sondajes anteriores.

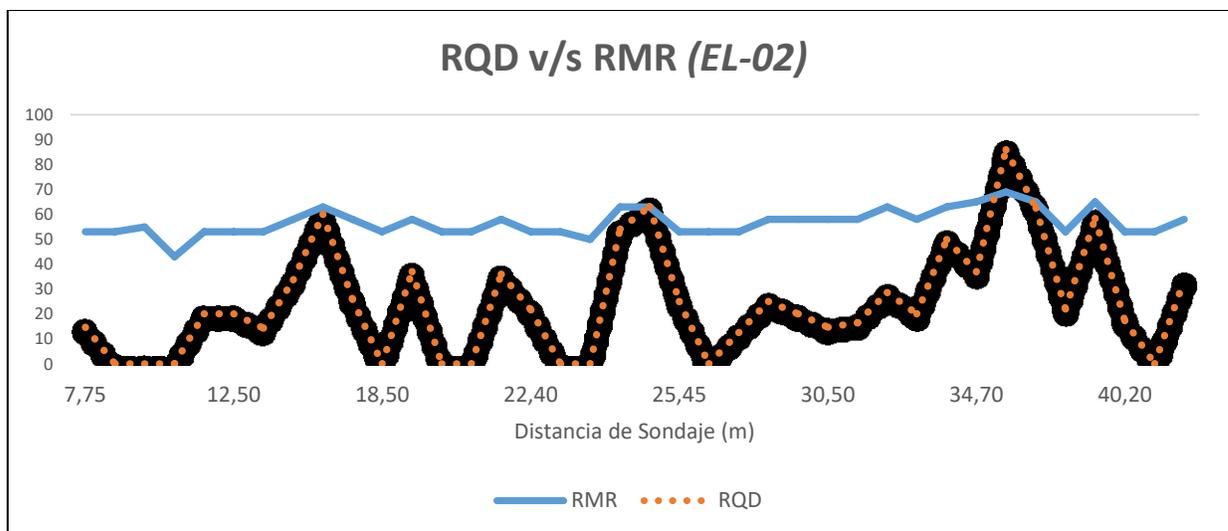


Figura 5.03. *RQD v/s RMR Sondaje EL-02*; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

La roca se encuentra a los 11,85 m de profundidad bajo un estrato de gravas, la que presenta un elevado grado de fracturamiento y permeabilidad hasta los 33,00 m. Desde este punto, la permeabilidad baja progresivamente hasta los 8 U.L., para disminuir rápidamente hasta 1 U.L. bajo los 38,00 m.

Los primeros 30,00 m se caracterizan por una baja calidad de la roca, con valores de *RQD* cercanos a 0% e intercalación de delgadas capas (1,5 m) más competentes. Las estructuras observadas hasta este punto, presentan rellenos arcillosos superiores a los 5 mm de espesor.

Además, se observa en el tramo 15,35-26,60 m una zona de falla caracterizada por la presencia de roca triturada con relleno arcilloso y alteraciones de epidota-clorita, que denotan un carácter hidrotermal de los fluidos inyectados. De ahí en adelante la calidad de la roca mejora paulatinamente hasta llegar a valores cercanos al 82% de *RQD*.

Los puntajes de *RMR* varían de 32 a 58 entre los 12,00 m y 41,80 m, llegando a los 63 puntos al final del sondaje (Figura 5.04.).

5.2.1.4. Sondaje EL-04

Se ubica dentro del valle, aguas arriba del muro de presa, en el sector derecho del pie a unos 25 metros aproximadamente del farellón rocoso norte. Cuenta una profundidad de 40,00 m, y su finalidad fue determinar la profundidad de la roca bajo el depósito fluvial y ayudar a definir el

perfil basal de la roca en el valle. La roca se encuentra a los 4,20 m de profundidad bajo el estrato de gravas reconocido previamente por los otros sondajes. La permeabilidad y el grado de fracturamiento se mantienen especialmente alto hasta los 15,00 m, donde la admisión fue franca sin levantar presión. De ahí en adelante la permeabilidades desciende hasta valores entre 3-6 U.L., excepto entre los 25,00 m a 30,00 m, donde las presiones no superaron los 3 Kg/cm².

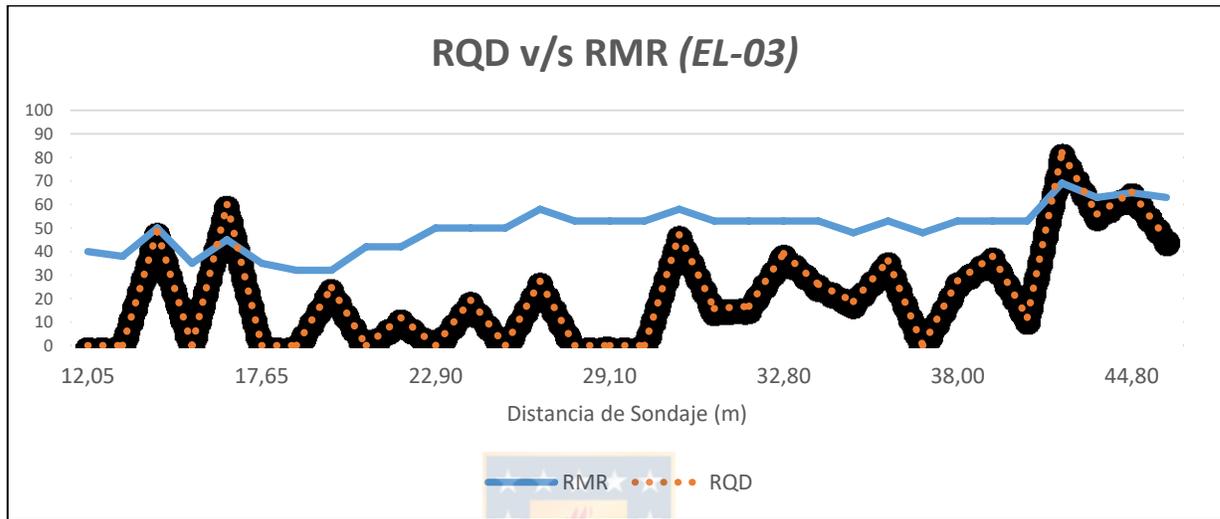


Figura 5.04. *RQD* v/s *RMR* Sondaje EL-03; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

La roca presenta un alto grado de fracturamiento hasta los 27,60 m, con presencia de algunas superficies de falla entre los 8,00 m y 15,00 m, lo que proporciona una frecuencia de fracturas inferior a 15 f/m. Se identifican alrededor de 4 familias de fracturas con ángulos van desde 0° a 90° respecto al eje, con meteorización leve a moderada. Sobre los 27,60 m, el espaciamiento de estructuras aumenta sobre los 20 cm (promedio ponderado de *RQD*~55%), para volver a bajar en el tramo 35,60-40,00 m a un *RQD* entre 0-24%, con espaciamientos que no superan los 60 mm.

En general, los puntajes de *RMR* son bajos los primeros 27,60 m, variando de 35 a 58 puntos. Este índice aumenta hasta 77 a los 35,60 m, bajando a 53 puntos a los 40,00 m de profundidad (Figura 5.05.).

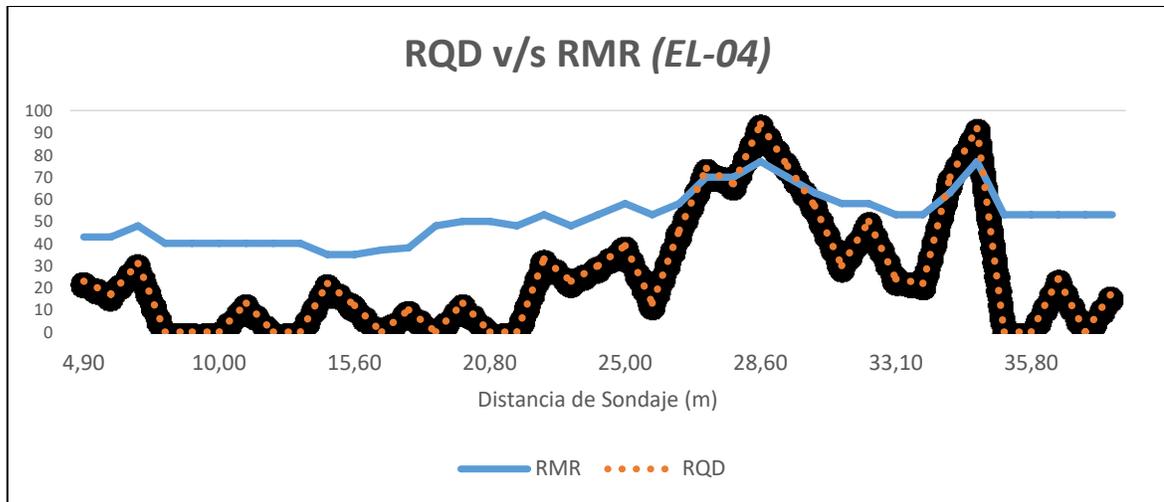


Figura 5.05. RQD v/s RMR Sondaje EL-04; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.5. Sondaje EL-05

El sondaje se ubica en el lecho del río, aguas arriba del muro, en el sector del pie junto a la ladera norte. Cuenta con una profundidad de 50,00 m y su objetivo fue recabar información sobre la calidad y permeabilidad de la roca para la fundación del plinto.

La roca se encuentra a 4,10 m de profundidad bajo un estrato de gravas con bloques redondeados a sub-redondeados y matriz arenosa. Esta aparece muy permeable hasta los 32 metros, donde la admisión fue franca sin levantar presión. Bajo esta profundidad la roca es, por lo general, disminuye su permeabilidad.

La calidad geotécnica es baja los primeros 32,80 m, con valores de *RQD* entre 0-40% y una frecuencia de fracturas de 10-15 f/m, excepto el trecho entre los 4,00 m y 21,00 m, donde se desarrolla una zona de falla con presencia de material triturado y relleno de salbanda arcillosa (> 5 mm). Las estructuras se pueden agrupar en tres a cuatro familias de superficies lisas y con ángulos que varían de 0° a 90° con respecto a la horizontal.

La resistencia a la compresión simple de la roca intacta tiende a bajar con la presencia de estructuras, situación que ocurre los primeros metros de perforación, sin embargo, en el resto del sondaje la roca es dura y silicificada, con un valor superior a 100 MPa. entre los 32,80 m y 50,00

m, aumentando el valor de RQD . Sin embargo, entre los 40,00 m y 42,60 m, se exhibe una falla que disminuye considerablemente el valor de RQD a un 0-20%.

El valor de RMR se mantiene uniforme (~ 50) hasta los 32,80 m, debido a la influencia de la zona de falla. Después, el puntaje sube a 60 hasta el metro 40,00, donde disminuye a 50 puntos, para volver a aumentar a un promedio ponderado de 58 entre los 42,60 m y el final del sondaje (Figura 5.06.).

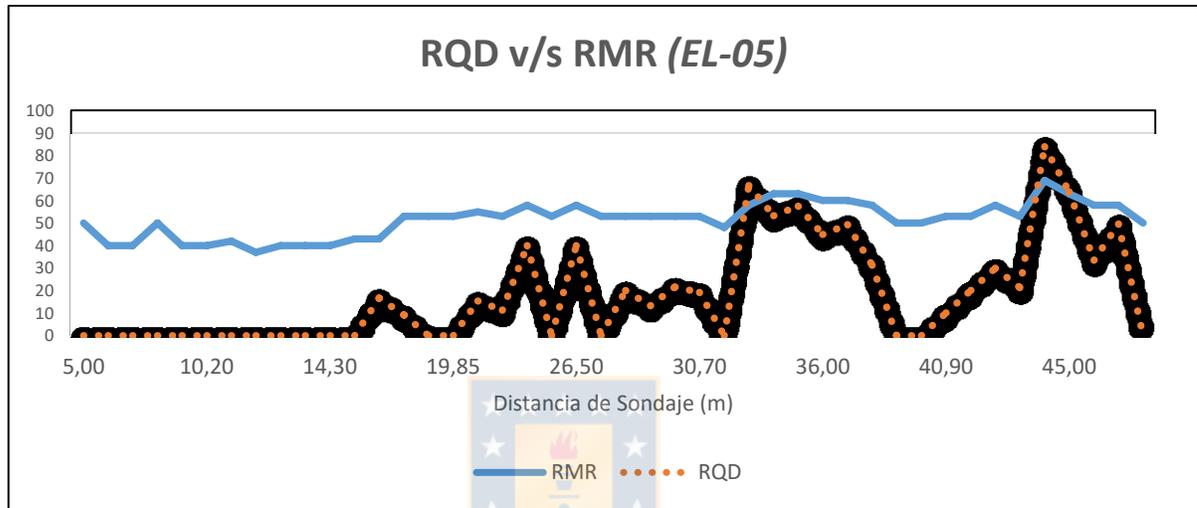


Figura 5.06. RQD v/s RMR Sondaje EL-05; Valores de RQD y RMR por segmento de sondaje.

5.2.1.6. Sondaje EL-06

Presenta una profundidad de 60,00 m y está ubicado en la zona baja del plinto derecho. El propósito de este sondaje fue recabar información sobre la calidad de la roca en dicho sector. Aquí, la roca se encuentra expuesta a la intemperie, con una baja calidad geotécnica hasta los 3,40 m. Desde este punto, el RQD aumenta a un promedio ponderado de 52% hasta el metro 19,20, donde disminuye drásticamente la calidad geotécnica. Esto se debe a la presencia de una estructura a los 27,00 m, que se encuentra acompañada de roca triturada y muy poca arcilla. La frecuencia de fracturas se mantiene entre 3-27 f/m los primeros 41,70 m, luego de esto, la frecuencia disminuye a valores que rara vez superan las 8 f/m. La resistencia a la compresión simple se mantiene elevada (>100 MPa) en casi todo el sondaje, debido a la silicificación pervasiva de la roca. Entre los 37,00 m y 41,30 m, la calidad de la roca aumenta a un RQD del

34-48%, respaldado por la disminución del grado de meteorización de moderada a leve. Desde los 41,70 m hasta el final del sondaje, el *RQD* no baja de los 50%.

Se observa una disminución de la permeabilidad en conjunto con la profundidad; los primeros 20,00 m existen admisiones francas, entre los 20,00 m y 44,50 m el valor aumenta a 15-21 U.L., para finalizar con valores entre 5 U.L y 9 U.L entre los 44,50 m y 60,00 m

Los valores de *RMR* son variables a lo largo de todo el sondaje, con puntajes entre los 35 y 74 (Figura 5.07.).

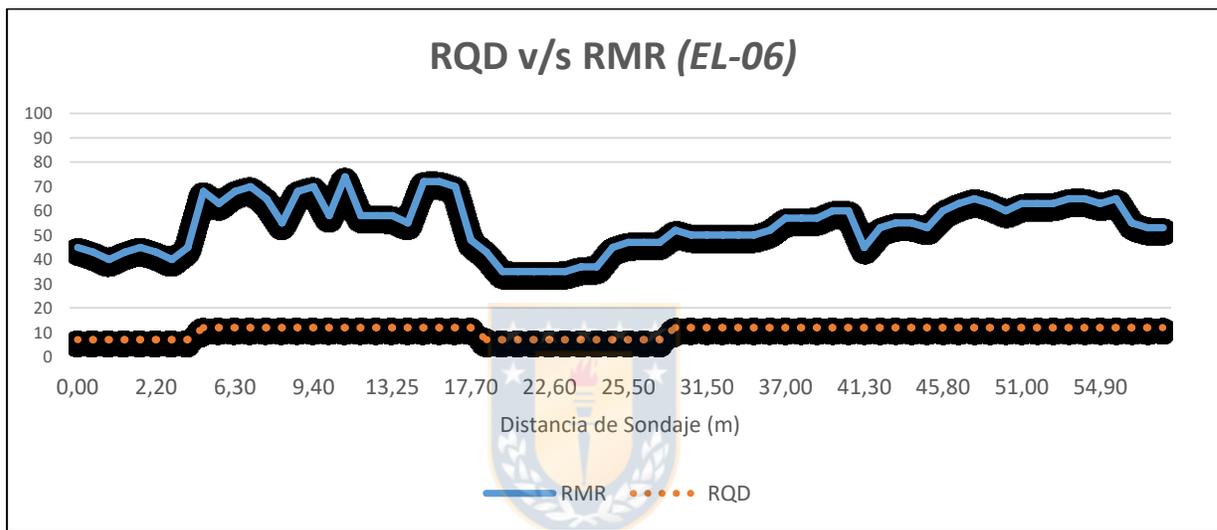


Figura 5.07. *RQD v/s RMR* Sondaje EL-06; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.7. Sondaje EL-07

Se ubica en el sector del plinto derecho a unos 60 metros aproximadamente sobre el lecho del río, y cuenta con una profundidad de 70,00 m. Su objetivo es estudiar la calidad y permeabilidad de la roca para la fundación del plinto, además que por su cercanía y profundidad, su información es extrapolable para el túnel de desvío. La calidad de la roca es baja (*RQD* en ocasiones nulo) los primeros 29,80 m, con una frecuencia de fracturas de hasta 85 f/m en zonas acotadas, así como sitios donde la roca está prácticamente triturada. Las fracturas observadas pueden agruparse en tres familias, con orientaciones de van desde 0° a 90°. A mayor profundidad aparecen tramos (~5 m) intercalados con diferentes calidades geotécnicas, lo que generan drásticas oscilaciones del *RQD*, con valores cercanos a 80% en algunos sectores, y en otros, de un 0%.

A pesar de la mala calidad geotécnica, el macizo presenta una mediana permeabilidad, con admisiones francas entre los 5,00-10,00 m y los 25,00-30,00 m. Hasta el metro 50,00, las permeabilidades rondan las 10 U.L., valor que disminuye hasta 3 U.L. en los últimos metros de sondaje.

Los valores de *RMR* se mantienen generalmente bajos, los primeros metros de sondaje (Figura 5.08.). Este valor aumenta levemente entre los 52,30 m y 62,40 m, para volver a decrecer hasta los 50 puntos promedio hasta el metro 70,00.

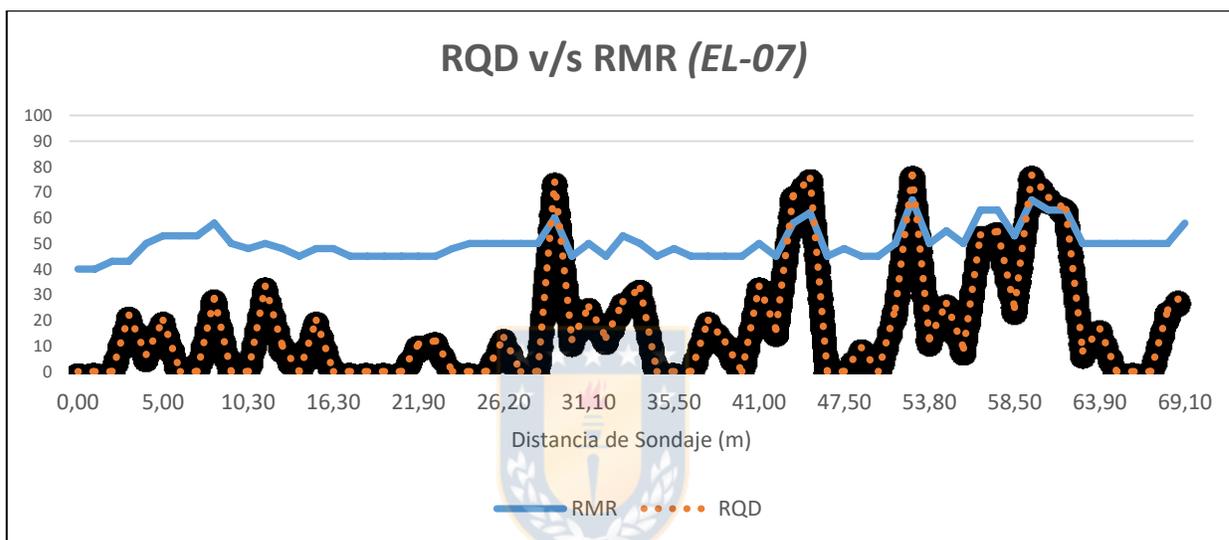


Figura 5.08. *RQD* v/s *RMR* Sondaje EL-07; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.8. Sondaje EL-08

Cuenta con una profundidad de 78,70 m y se ubica en la zona alta del plinto derecho. El objetivo de este sondaje es determinar la calidad de la roca de dicha zona, aplicable tanto para el diseño de la presa, como para el túnel de desvío.

En general, la roca presenta una muy mala competencia, a menudo con valores de *RQD* cercanos al 0%. Se observan cuatro familias de fracturas que varían de 10° a 90° con respecto al eje del sondaje. Es común la aparición de sectores con roca triturada, pero sin presencia significativa de arcilla. La resistencia a la compresión simple estimada es relativamente alta para el intenso fracturamiento del macizo.

Debido a esto las permeabilidades resultan altas en todos los ensayos realizados, sin levantar presión incluso los últimos 30,00 m de sondaje.

Los puntajes de *RMR* se mantienen uniformes durante gran parte del sondaje, salvo algunos sectores, donde alcanzan los 60 puntos (Figura 5.09.).

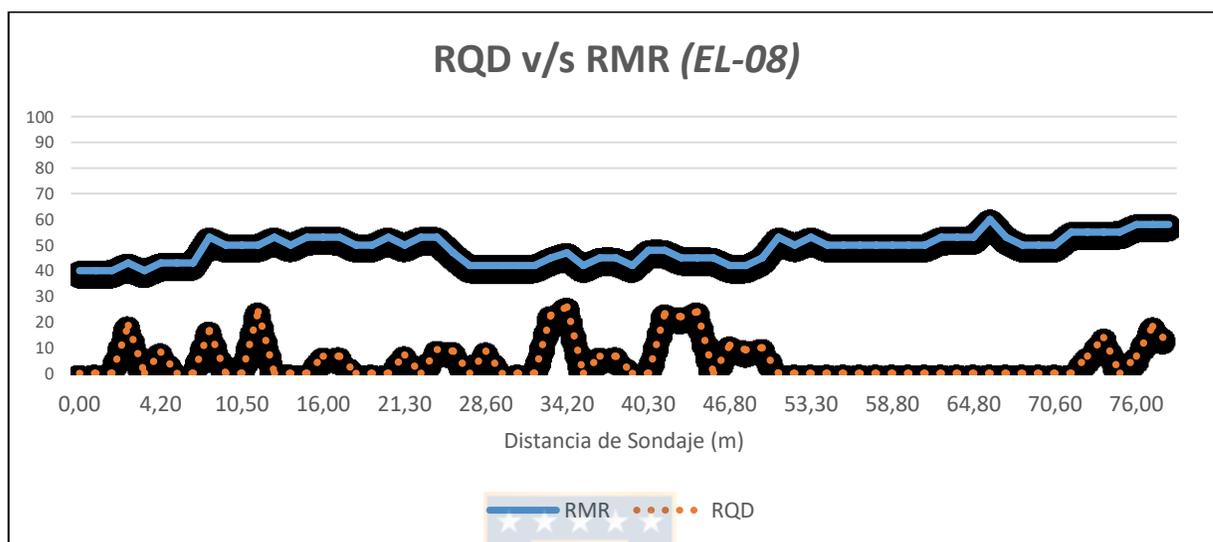


Figura 5.09. *RQD v/s RMR Sondaje EL-08*; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.9. Sondaje EL-09

Tiene un total de 60,00 m de largo, y está ubicado en la zona baja del apoyo izquierdo, aguas arriba del muro, en la zona del plinto. Su objetivo es evaluar tanto la calidad, como la permeabilidad de la roca. Los primeros 5,00 m, la roca posee muy malas condiciones, sin embargo, el resto del sondaje es posible observar una roca químicamente sana, fracturada y de mediana permeabilidad. La calidad de la roca varía entre 25% a 89% de *RQD* para el tramo entre los 5,50 y 39,50 m, con una frecuencia de fracturas inferior a las 20 f/m, y una resistencia a la compresión simple superior a los 100 MPa, debido a la alta silicificación de la roca.

Entre los 39,50 m a los 60,00 m la calidad de la roca disminuye, observándose la alternancia de tramos de buena y mala calidad (*RQD*=0%).

Hasta los 32,00 m las permeabilidades se mantienen altas y con admisiones francas, sin embargo, estas disminuyen en profundidad con valores de 0-9 U.L.

Los puntajes de *RMR* comienzan a aumentar entre los 5,50-36,30 m, de ahí en adelante, solo existe los valores se mantienen estables entre los 50 y 69 puntos, como se observa en la Figura 5.10.

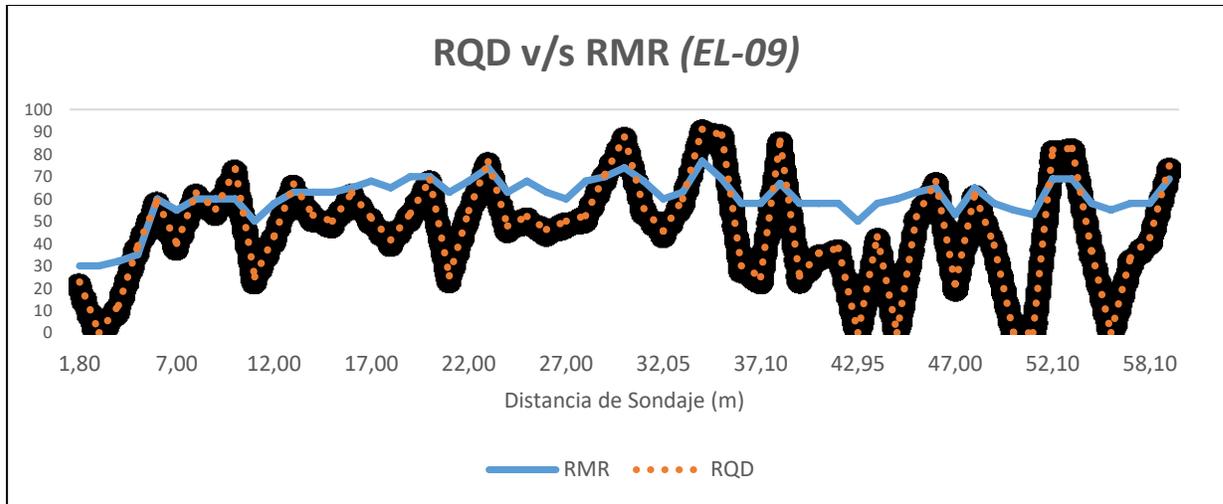


Figura 5.10. *RQD v/s RMR Sondaje EL-09*; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.10. Sondaje EL-10

Está ubicado a unos 55 metros aproximadamente sobre el lecho del río, en el sector medio del plinto izquierdo. Cuenta con una profundidad de 50,00 m, y su objetivo fue estudiar la calidad y permeabilidad de la roca para la fundación del plinto. Según lo observado, esta se encuentra fracturada, permeable y con una muy baja calidad. Con valores de *RQD* cercanos a 0% en la mayoría de los tramos, salvo parte del inicio y el final del sondaje, donde los valores aumentan considerablemente.

Las estructuras pueden agruparse en cuatro familias principales, de orientaciones de 0° a 90° respecto al eje. El sistema de estructuras verticales presenta evidencias de fallamiento, tales como superficies pulidas y rellenos blandos de salbanda arcillosa superiores a los 5 mm de espesor. La resistencia a la compresión simple estimada del macizo queda definida por su alta dureza debido a la alteración pervasiva de sílice.

Las permeabilidades son altas los primeros 12,00 m, con presiones que no superan los 3 Kg/cm² en los ensayos de Lugeon. De ahí hasta el metro 42,60, las permeabilidades rondan las 15-18 U.L., disminuyendo a 8 U.L. en el fondo del sondaje.

En general, el *RMR* se presenta bajo en todos los tramos del sondaje (Figura 5.11.), que rara vez superan los 40 puntos debido a la pobre condición de las estructuras.

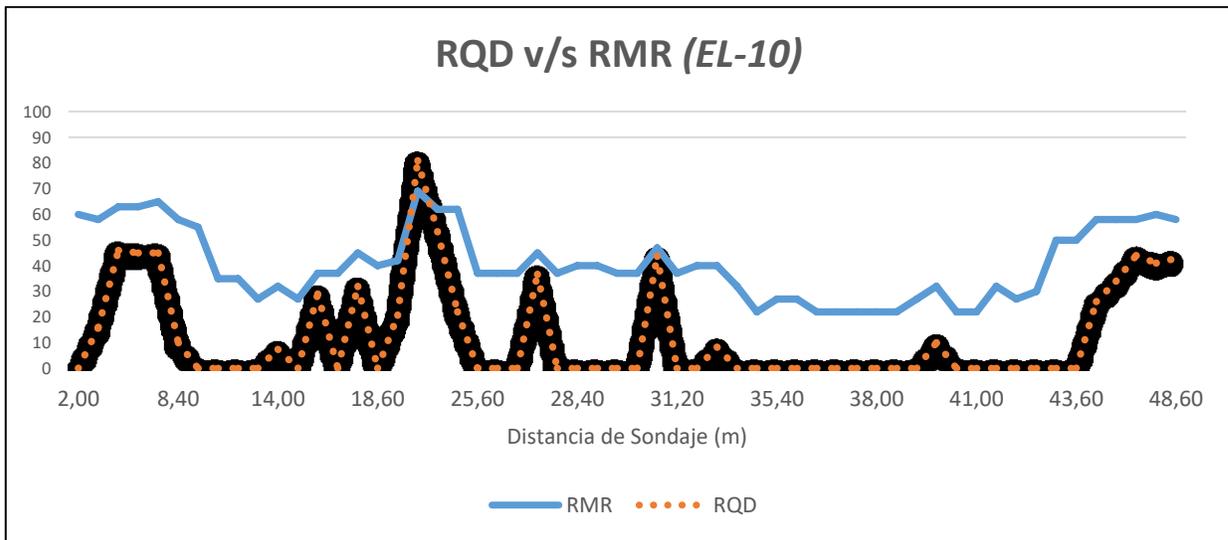


Figura 5.11. *RQD* v/s *RMR* Sondaje EL-10; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.11. Sondaje EL-11

Tiene 50,00 m de profundidad y está ubicado en la zona alta del plinto izquierdo. Fue desarrollado para investigar la calidad de la roca en dicha zona, información que puede ser extrapolada para el diseño de la presa.

La roca es de baja calidad, fracturada y muy permeable, con meteorización leve a moderada a lo largo todo del sondaje. El índice *RQD* se mantiene malo a regular, con valores que en general oscilan entre 0% y 50.

La frecuencia de fracturas es de 3-36 f/m, con resistencia a la compresión simple estimada superior a lo normal para este tipo de fracturamiento, debido a la alta silicificación derivada de la alteración hidrotermal. Las estructuras se dividen en cuatro familias de orientaciones que van desde los 0° a 90° respecto al eje del sondaje.

Las unidades de Lugeon se mantienen altas los primeros 18,00 m de sondaje, con admisiones totales. Entre los 18,00 m y 27,70 m, las permeabilidades varían de 2-5 U.L., aumentando drásticamente hasta 31 U.L entre los 27,70 m y el fondo del pozo.

El parámetro *RMR* comienza con un valor de 40 puntos, para terminar con valores bajos (19 puntos) hacia el fondo del sondaje (Figura 5.12.).

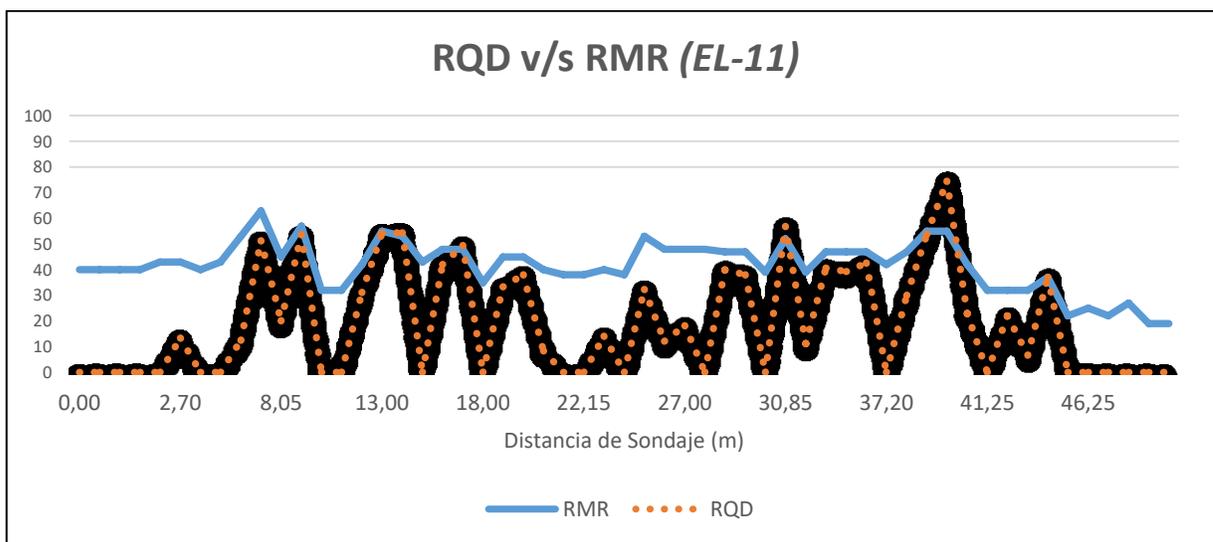


Figura 5.12. *RQD* v/s *RMR* Sondaje EL-11; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.12. Sondaje EL-12

Se ubica en la ladera norte, a 55 metros aproximadamente sobre el lecho del río. Su objetivo fue recabar información para el diseño del túnel de desvío, así como del pique para el vertedero intermedio. Alcanzó una profundidad de 50,00 m, y exhibe calidades geotécnicas variables y permeabilidades generalmente bajas. Las estructuras varían de lisas a algo rugosas, con algunas zonas con rellenos de arcilla y salbanda. Las principales familias de estructuras son tres, que van de 10° a 90° con respecto al eje del sondaje. La familia principal, de orientación subhorizontal, presenta espaciamientos de 60 a 200 mm. Hasta los 17,35 m el *RQD* se mantiene bajo, salvo el tramo 2,00-7,00 m que presenta valores de hasta un 90%. Existe una tendencia a mejorar la calidad de la roca a medida que el sondaje se profundiza, variando de 20% a 80% en general. Bajo los 41,05 m el *RQD* cae y es acompañado a menudo de roca triturada hasta el final del sondaje.

Las permeabilidades son altas y con admisiones francas hasta los 7,00 m de profundidad. Entre los 7,00 m y 17,05 m la permeabilidad se mantiene en las 5 U.L., para posteriormente bajar hasta 0,5 U.L hacia el final del sondaje.

El puntaje del *RMR* es variable, empezando en los 50 puntos entre los 2,00 m y 12,90 m, para bajar hasta casi 20 puntos en el tramo 12,80-20,65 m (Figura 5.13.). En profundidad se observa una alternancia de trechos con valores de 30-40 puntos y otros cercanos a los 50 puntos.

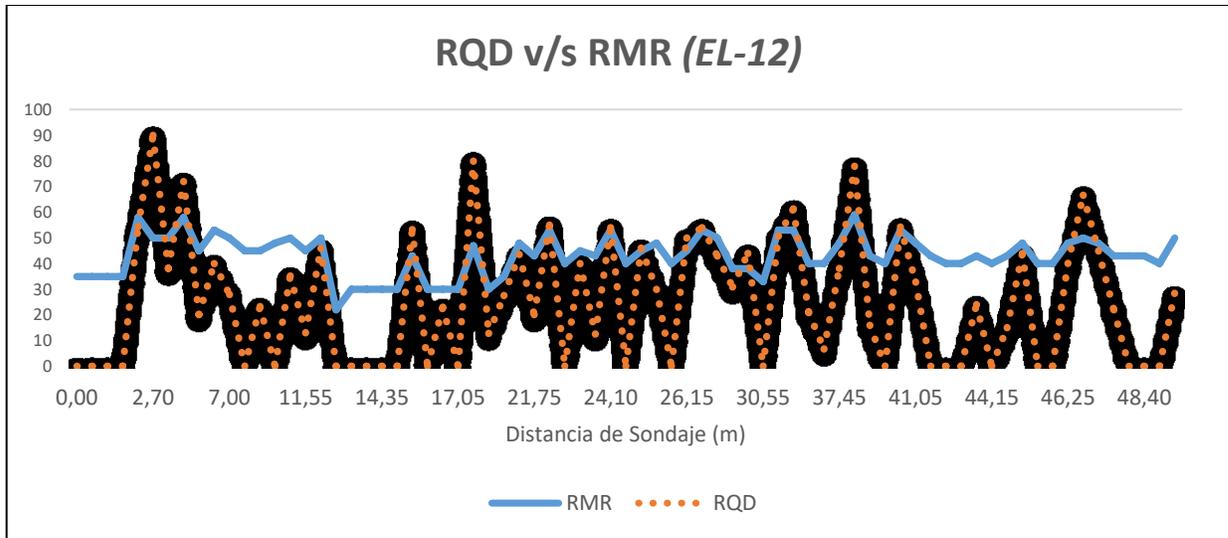


Figura 5.13. *RQD v/s RMR Sondaje EL-12*; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.13. Sondaje EL-13

Se ubica en la ladera norte aguas abajo del eje de la presa, a unos 40 metros aproximadamente sobre el nivel del valle. Su objetivo es obtener información sobre la roca involucrada en el diseño del túnel debido a la presencia de una falla vertical. Esta información es extrapolable para el diseño de las fundaciones del rápido de descarga del vertedero.

La profundidad total alcanzada es de 40,00 m, de los cuales los primeros 4,30 m cortan la zona de falla, que consta de clastos angulosos en una matriz limo-arenosa y arcilla. Bajo esta zona, la roca tiene una moderada a buena calidad, prácticamente impermeable hasta los 20,00 m de profundidad.

En el tramo 20,10-40,00 m la roca es mala y de alta permeabilidad, probablemente influenciada por la zona de falla. En este sector, la roca puede comprometer el túnel de desvío, por tanto el diseño de éste deberá considerar los refuerzos correspondientes.

Las permeabilidades se mantienen bajas hasta los 22,00 m, con valores cercanos a 0 U.L. Bajo este punto, las permeabilidades son especialmente altas, con admisiones francas hasta el fondo del pozo.

Hasta los 20,10 m los valores de *RMR* y *RQD* son bastante buenos (53 puntos), sin embargo, estos decaen de aquí al final del pozo (Figura 5.14.).

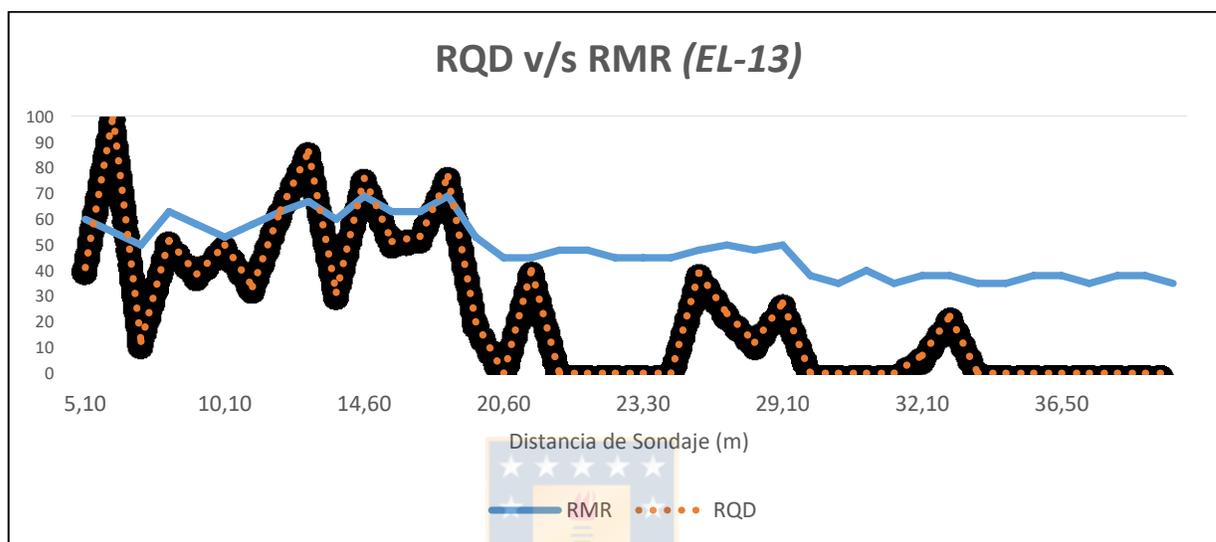


Figura 5.14. *RQD v/s RMR Sondaje EL-13*; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.14. Sondaje EL-14

Se ubica 40 metros al suroeste del sondaje anterior, en el sector de escombros de falda y a unos 20 aproximadamente metros sobre el nivel del valle. Su finalidad es obtener información sobre la roca involucrada en el diseño del túnel, sector cercano a su portal de salida. La información también será extrapolada para el diseño de las fundaciones del rápido de descarga del vertedero.

La profundidad alcanzada por este sondaje fue de 20,00 m, donde en los primeros 2,50 m se pudo identificar una zona de falla con presencia de roca triturada y clastos angulosos en una matriz limo-arcillosa. Bajo la zona de suelo, la roca posee una calidad moderada y una alta permeabilidad.

En general, los valores de *RQD* se mantienen inferiores al 30% a lo largo de todo el sondaje. Las estructuras se expresan con una frecuencia de fractura de entre 8 y 20 f/m, y la resistencia a la

compresión simple estimada oscila con valores cercanos a los 100 MPa. A lo largo del sondaje es común la presencia de roca triturada y fallas con rellenos arcillosos de salbanda (> 5mm).

Las permeabilidades son muy altas, con admisiones francas en su totalidad. La clasificación del *RMR* arroja valores entre 40 y 50 puntos aproximadamente (Figura 5.15.), por lo que se considera una roca de calidad regular.

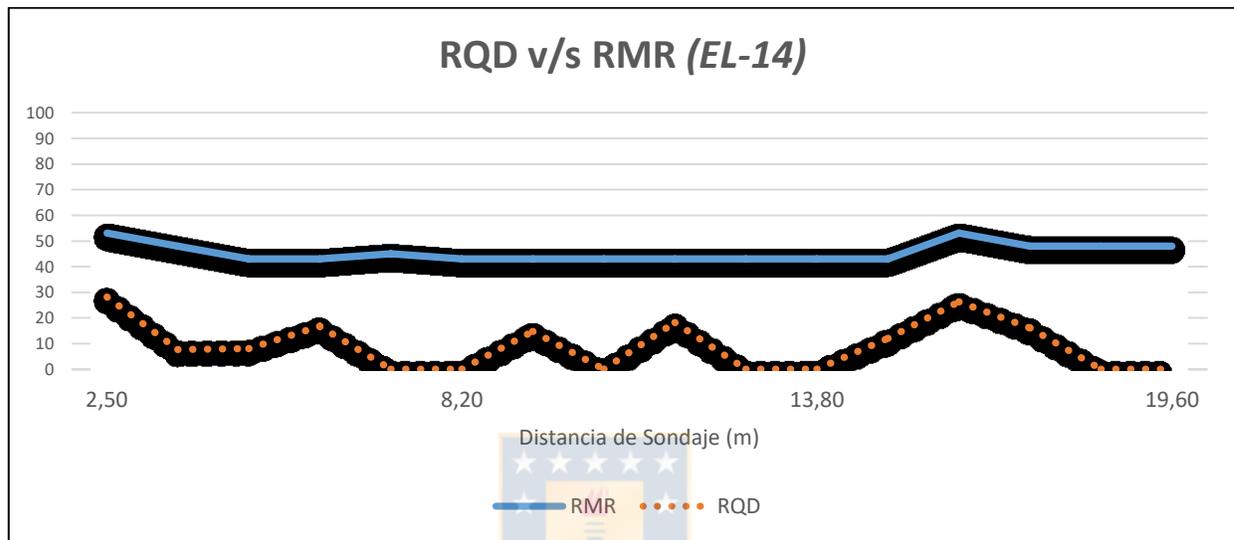


Figura 5.15. *RQD* v/s *RMR* Sondaje EL-14; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.15. Sondaje EL-15

Posee una profundidad de 40,00 m, y está ubicado en la ladera norte, a unos 100 metros aproximadamente sobre el lecho del río. Tuvo como objetivo estudiar la calidad de la roca para la fundación del canal colector del vertedero.

Los primeros 14,80 m se obtiene un porcentaje promedio de recuperación de 75%, salvo dos tramos donde este baja al 40%. A mayor profundidad, se genera una caída abrupta en la recuperación, obteniendo 0% hasta los 21,00 m, sector donde el porcentaje aumenta hasta el 64%. Esta condición se mantiene, excepto en los trechos 27,00-27,50 m, 31,70-32,70 m y 34,20-37,20 m, posterior a esto, el promedio vuelve a bordear el 50%.

A lo largo de todo el sondaje, los porcentajes de *RQD* adoptan valores cercanos al 0%. La frecuencia de fracturas se mantiene alta, hasta alcanzar las 60 f/m en algunas zonas. Se identifican tres a cuatro familias de estructuras, acompañadas de roca triturada, y con

orientaciones preferenciales de 0-90° con respecto al eje del sondaje. La resistencia a la compresión simple estimada se mantiene en 60 MPa y la meteorización es moderada variando a alta.

En general, el *RMR* toma valores bastante bajos, con 30 puntos los primeros 30,20 m, y un promedio de 25 puntos entre los 30,20 m y 40,00 m (Figura 5.16.).

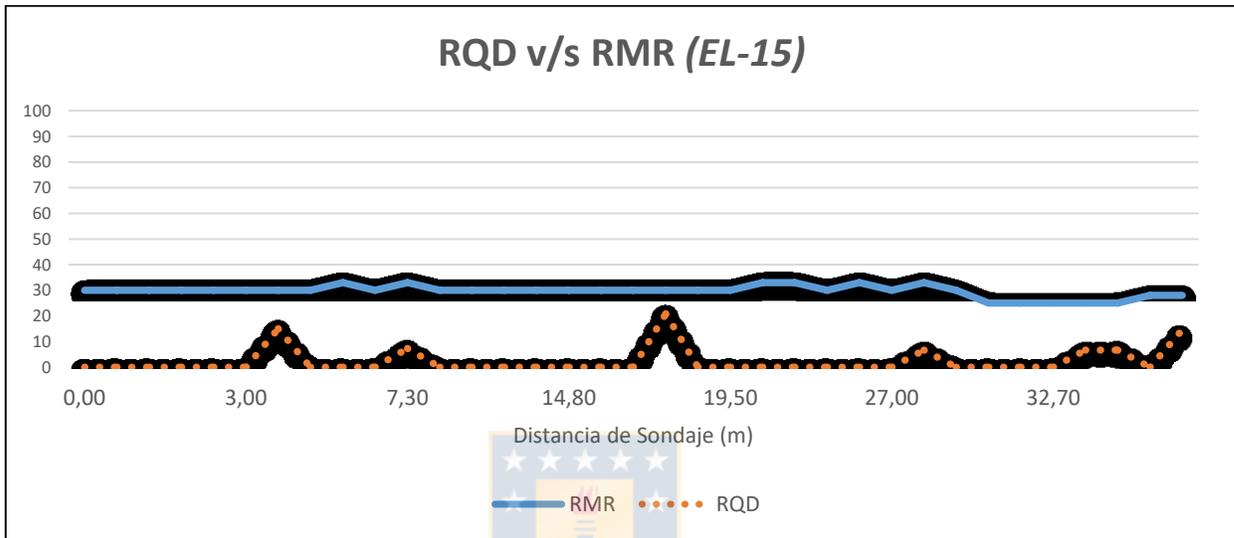


Figura 5.16. *RQD* v/s *RMR* Sondaje EL-15; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.16. Sondaje EL-16

Se ubica en la ladera norte a unos 95 metros aproximadamente sobre el lecho del río, y cuenta con una profundidad de 40,00 m. Al igual que EL-15, su objetivo es estudiar la roca para la fundación del canal colector del vertedero. La calidad geotécnica entregada por el testigo es extremadamente mala, lo que puede estar influenciado por la presencia de una gran zona de falla que coincide con las estructuras plasmadas en los planos geológicos. Los valores de *RQD* son casi todos cercanos a 0%, con una frecuencia de fracturas mayor a las 20 f/m y resistencia a la compresión simple estimada de 60 MPa.

La permeabilidad de este sondaje es muy alta, debido a la mala calidad geotécnica del macizo rocoso. Los primeros 8,00 m el *RMR* alcanza los 33 puntos, pero se mantiene cercano a 28 puntos desde ahí hasta el final del sondaje (Figura 5.17.).

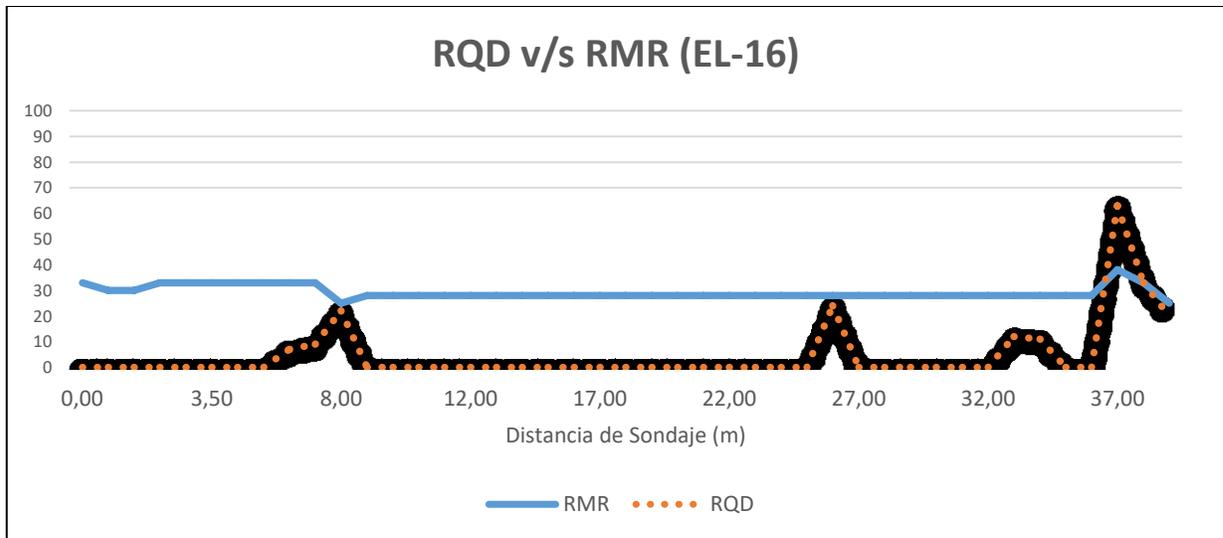


Figura 5.17. *RQD* v/s *RMR* Sondaje EL-16; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.2.1.17. Sondaje EL-17

Cuenta con una profundidad de 31,00 m y se ubica en la ladera norte, aguas arriba del pie de la presa, unos 25 metros aproximadamente sobre el nivel del valle. La finalidad es recabar información sobre la calidad de la roca en dicho sector, el cual compromete el diseño del túnel y coincidiría con un sector de falla o fracturamiento semivertical.

La calidad de la roca es mala los primeros 24,80 m, debido a la presencia de una falla importante entre los 10,30 m y 20,80 m, a la cual se le asocia la aparición de material triturado y una matriz de salbanda limo-arcillosa.

Las discontinuidades son abiertas, de superficies lisas variando a rugosas y con rellenos centimétricos. Las recuperaciones son bajas, de 50% en promedio hasta los 20,80 m, sin embargo, estas aumentan a casi un 100% entre los 20,80 m y los 31,00 m. Los valores de *RQD* son cercanos a 0% gran parte del sondaje, excepto en ciertos sectores, tales como el trecho 24,80-29,00 m, donde alcanza un promedio ponderado de casi 50%.

Los ensayos de Lugeon muestran altas permeabilidades en la totalidad del sondaje, sin levantar presión en ninguno de los ensayos realizados.

El *RMR* indica rocas de muy baja calidad prácticamente en todo el sondaje, que no superan los 30 puntos, salvo los tramos 2,00-7,75 m y 20,80-31,00 m, que consiguen elevar el *RMR* hasta en 13 puntos (Figura 5.18.).

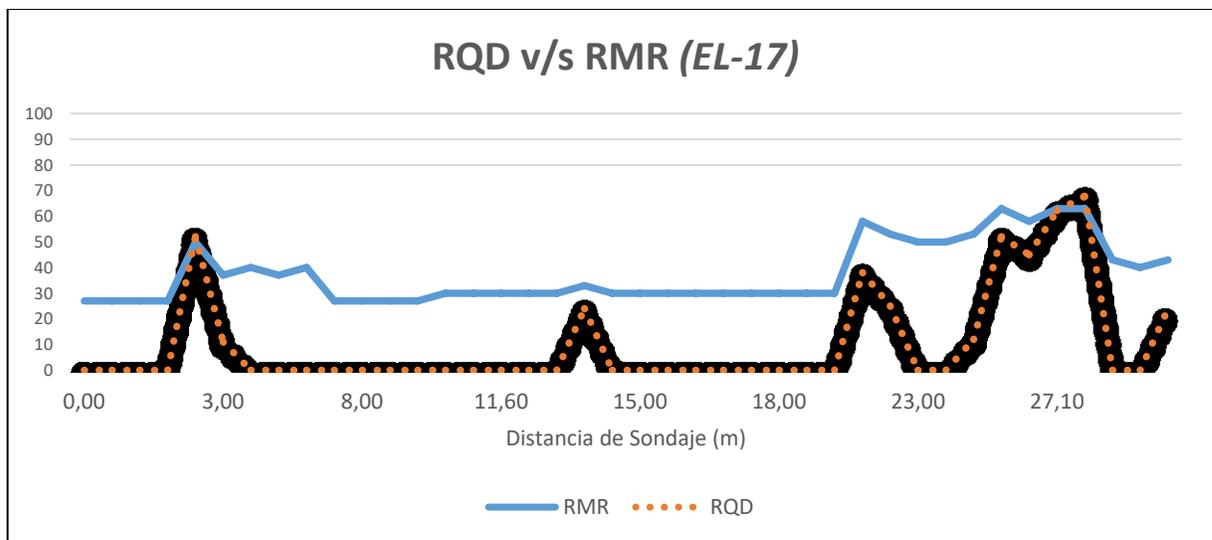


Figura 5.18. *RQD v/s RMR Sondaje EL-17*; Valores de *RQD* y *RMR* por segmento de sondaje.

5.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

5.3.1. ANÁLISIS DE SONDAJES EN EL PLINTO

Con el propósito de revisar la coherencia de la información geotécnica obtenida en los sondajes, en relación a la calidad de la roca y a los valores de permeabilidad medidos, se han analizado los cinco sondajes ubicados en el fondo valle, así como los ocho sondajes ejecutados en la zona de los estribos de la presa. Los segmentos de sondajes examinados con mayor detalle corresponden a aquellos tramos situados bajo los 30 metros de profundidad aproximadamente, en donde la roca se encontró menos fracturada.

5.3.1.1. Sondajes en el valle (perforados en diámetro HQ)

El perfil estratigráfico del valle muestra un estrato de suelo compuesto por gravas y bolones redondeados a subredondeados, con espesores variables de 1 a 12 metros. Bajo este estrato yacen rocas andesíticas de textura porfídica que presentan un alto grado de alteración y fracturamiento los primeros 30 metros en promedio. En esta zona se detectan con frecuencia tramos de ensayos

Lugeon con altas admisiones de caudal, sin embargo, bajo los 33,25 m de profundidad (1.772,83 m s.n.m.) aparecen bajas permeabilidades, lo que permite interpretar una unidad geotécnica de mejor calidad.

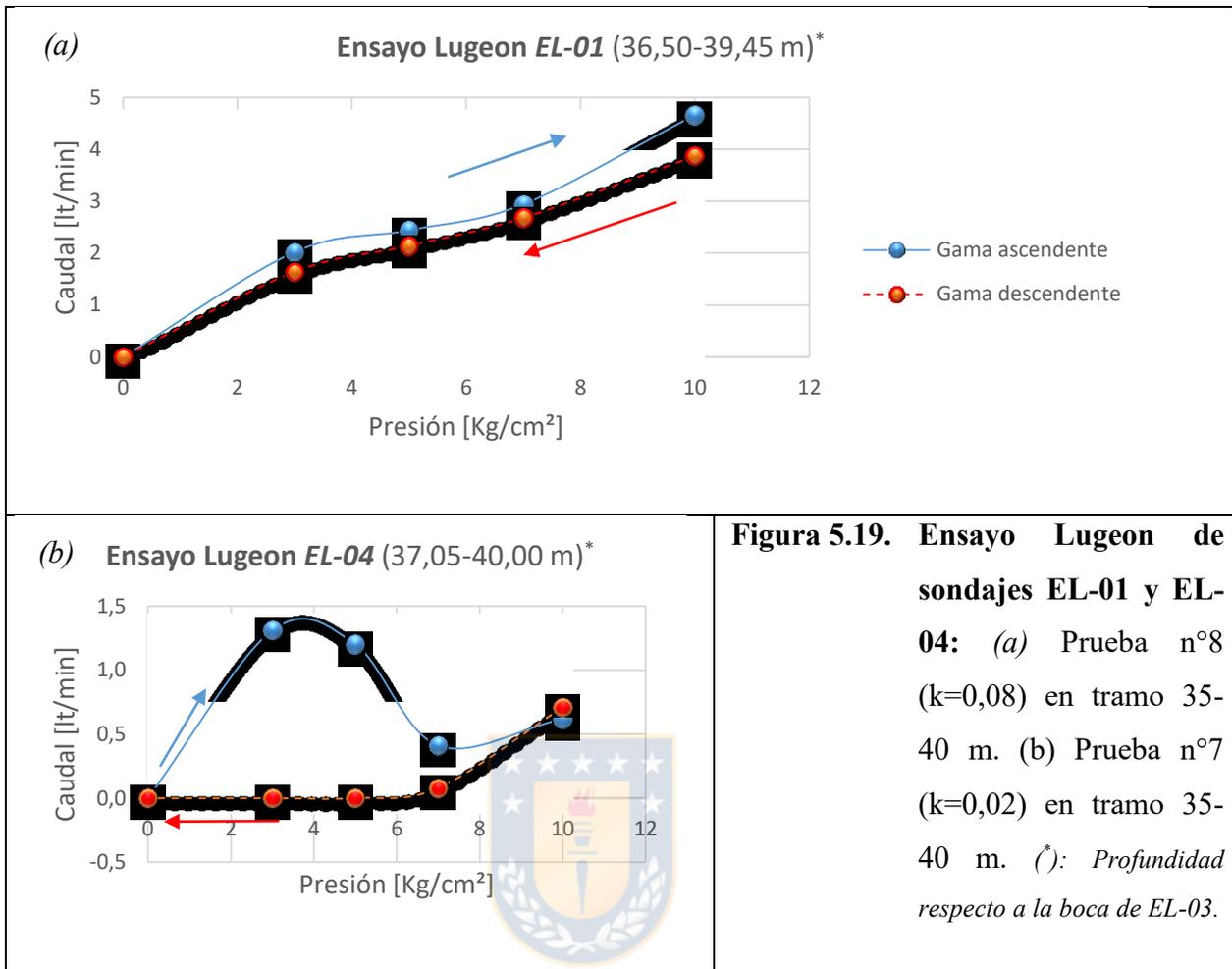
La Tabla 5.02. detalla los porcentajes de recuperación, valores medios de *RQD* y las fracturas por metro (*f/m*) observadas de los testigos extraídos a esta profundidad. Es posible observar la mala calidad de EL-01 y EL-04 para este segmento, en comparación a los valores de *RQD* y *f/m* obtenidos por los otros sondajes a profundidades similares, sin embargo, no se manifiesta una admisión o permeabilidad Lugeon especialmente alta como podría esperarse. Esto es atribuible a la presencia de material fino (suelo residual suelto y de baja consistencia) en el interior de las fracturas. Se comprueba en las curvas caudal-presión aplicada (Figuras 5.19.a. y 5.19.b.) que existe un movimiento significativo de suelo fino, acompañado por la apertura y cierre de fisuras durante el proceso de carga y descarga.

Tabla 5.02. Propiedades de la roca bajo la cota 1.772,83 m para los sondajes del fondo del valle.

Sondaje	EL-01	EL-02	EL-03	EL-04	EL-05
Profundidad roca (m)	36,50-39,45	35,71-38,66	33,25-36,20	37,05-40,00	35,74-38,69
Rec. ponderada testigos (%)	96,37	100,00	96,73	87,70	97,26
Rec. mín. testigos (%)	80,00	100,00	94,00	79,00	85,00
Permeabilidad promedio (Lugeon)	0,08	0,31	0,77	0,02	0,00 ^(*)
<i>RQD</i> ponderado (%)	17,30	48,14	31,68	16,11	44,14
<i>F/m</i> ponderado	11,10	5,12	8,28	8,63	6,26

^(*): Datos irregulares, debido a caída del caudalímetro

El resto de sondajes, en términos de permeabilidad y calidad de la roca (*RQD* y *f/m*), son muy consistentes entre sí, con rangos normales de variación en cada uno de ellos.



5.3.1.2. Sondajes en plinto derecho (perforados en diámetro NQ)

Los sondajes EL-07 y EL-08 son las prospecciones más profundas ejecutadas en esta área, con 70,00 m y 78,90 m respectivamente.

El perfil estratigráfico realizado a lo largo de EL-07 muestra una capa superficial constituida por escombros de falda de cerro de unos 1,80 m de espesor que cubre la roca. Bajo los 8 metros de profundidad, los porcentajes de recuperación de testigos son aceptables, con valores que superan el 75% en la mayoría de los segmentos, acompañados ocasionalmente por sectores de baja recuperación (40-60%). Entre los 13 y 30 metros de profundidad la calidad de la roca disminuye, alcanzando valores de *RQD* incluso del 0% y una frecuencia de fracturas de 30 f/m. Debido a estas características, entre los 25 m y 30 m, se registra una alta admisión de caudal que impidió la

ejecución del ensayo Lugeon. A pesar de lo mencionado anteriormente, el sondaje posee buena consistencia entre la permeabilidad medida y la calidad de la roca, excepto entre los 40 m y 45 m, donde la permeabilidad es significativamente mayor que el resto del sondaje. Esto podría estar asociado a grietas artificiales que se generaron durante el manejo y/o traslado de las cajas de testigos (lo cual es de fácil detección visual si el reconocimiento de los testigos se hace pronto), puesto que prácticamente se observa un flujo laminar durante el ensayo de permeabilidad en este sector (Figura 5.20.). Si se elimina este tramo, se obtiene una regresión lineal con un coeficiente de correlación $R^2 = 0.8$ entre el *RQD* y el caudal infiltrado, como se muestra en la Figura 5.21.

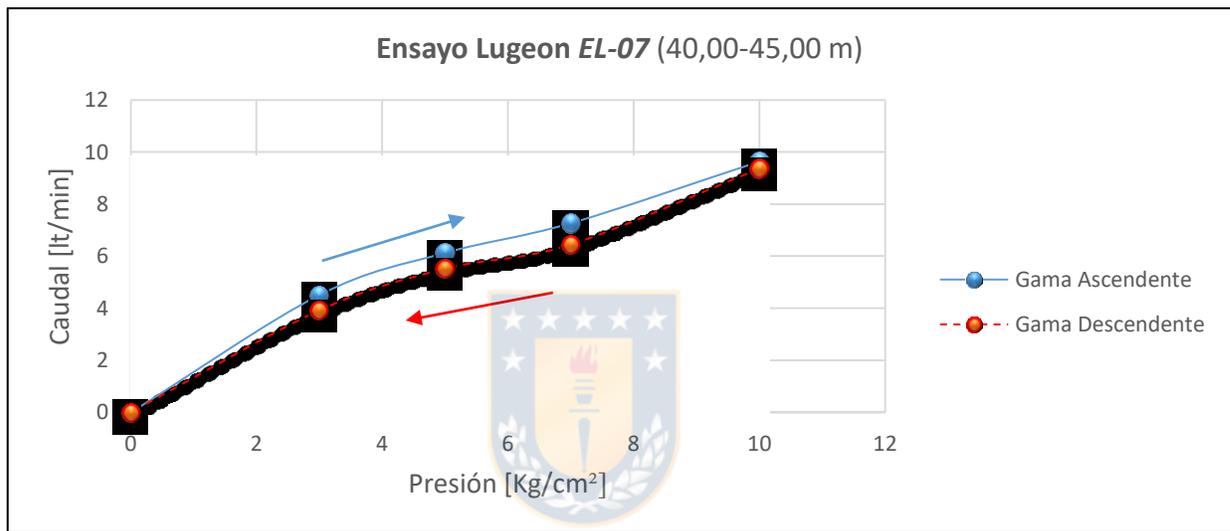


Figura 5.20. Ensayo Lugeon de EL-07 en el segmento 40,00 - 45,00 m.

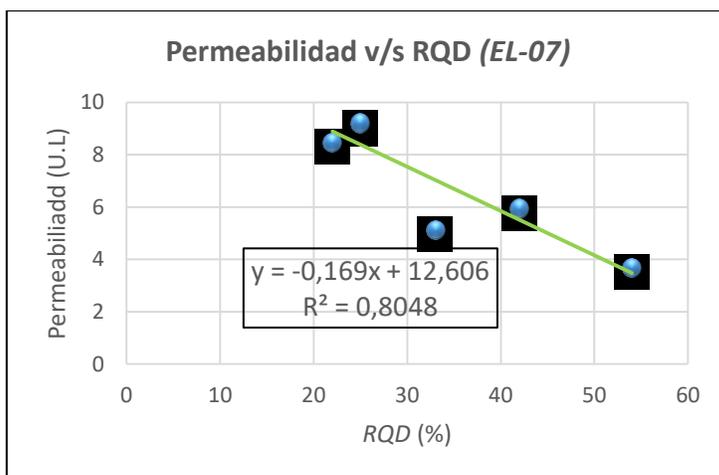


Figura 5.21. Gráfico permeabilidad v/s *RQD* para EL-07. En verde: línea tendencia de los datos.

La ficha del sondaje EL-08 muestra resultados que indican una ejecución aparentemente deficiente del sondaje. En efecto, se observan valores de recuperación bajos en los segmentos 12,70-16,00 m, 57.80-63.80 m y 68.10-73.00 m, con porcentajes menores al 50%. En general, las admisiones de caudal son elevadas a lo largo de todo el sondaje, excepto entre los 35 m y 50 m de profundidad, lugar donde fue posible realizar ensayos Lugeon completos, obteniendo permeabilidades muy altas (Tabla 5.03.). En el segmento 60,00-65,00 m, no fue posible realizar la prueba debido a un by-pass, es decir, la cámara de ensayo no quedó bien sellada en su extremo superior. Hacia el final del sondaje tampoco fue posible la ejecución de ensayos de permeabilidad debido a altas admisiones de caudal, causados por un by-pass probablemente no detectado por el sondeador, sin embargo como se verá más adelante, se encontraron altas permeabilidades en cotas aún más bajas en el sondaje EL-06. Los bajos valores de *RQD* (~0%) hacia la última parte del sondaje, podrían estar relacionados con el bajo porcentaje de recuperación en ese sector.

Tabla 5.03. Propiedades de la roca obtenidas por los sondajes EL-07 y EL-08.

Sondaje	EL-07			EL-08		
	21,00-26,00	26,00-31,00	31,00-36,00	35,00-40,00	40,00-45,00	45,00-50,00
Profundidad (*) (m)						
Rec. ponderada (%)	85,48	81,15	84,62	82,00	80,98	84,23
Rec. mínima (%)	67,00	63,00	28,00	42,00	62,00	45,00
Permeabilidad (Lugeon)	1,02	0,97(*)	1,05	2,77	0,19	1,91
<i>RQD</i> ponderado (%)	4,59	13,43	18,29	8,40	18,12	11,28
F/m ponderado	24,44	4,83	26,48	37,09	22,17	25,50

(*): Datos irregulares por admisión franca.

Para el caso de EL-06, los porcentajes de recuperación se mantienen bajos entre los 19,20 m y 37,00 m, con una baja tasa de f/m y valores prácticamente nulos de *RQD*. La permeabilidad es alta en este segmento, variando de 15,84 U.L a 17,78 U.L. A pesar de los malos índices del tramo anterior, existen zonas de mejor calidad, como lo son los tramos 3,40-17,70 m y 45,80-59,50 m, este último con valores *RQD* superiores al 50% en promedio (Tabla 5.04).

Tabla 5.04. Propiedades de la roca entregadas por EL-06 a la cota 1.786,5 m.

Profundidad (*) (m)	45,80-49,50	49,50-54,50	54,50-59,50
Rec. ponderada (%)	100,00	100,00	100,00
Rec. mínima (%)	100,00	100,00	40,00
Permeabilidad (U.L.)	0,78	0,50	0,69
RQD ponderado (%)	63,83	58,75	59,17
RQD mínimo (%)	50,00	54,00	54,00
F/m promedio	5,51	6,06	4,66

(*): Profundidades en relación a la cota de boca del sondaje EL-06 (1831 m s.n.m.).

En la Figura 5.22. puede observarse la regresión lineal ajustada ($R^2 \sim 0,1$) de los valores de permeabilidad medidos versus los valores de RQD observados.

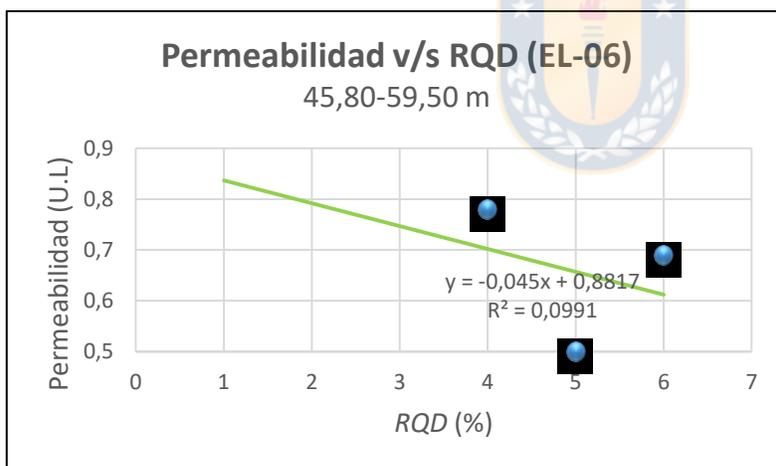


Figura 5.22. Gráfico permeabilidad v/s RQD para EL-06. En verde: línea tendencia de los datos.

En cuanto al sondaje EL-12, registra parámetros geotécnicos bastante consistentes gran parte del recorrido (Tabla 5.05.). Esto no ocurre en algunos tramos, donde existe una mala correlación entre el RQD y la permeabilidad, posiblemente debido a la presencia de contenidos variables de material fino entre las fracturas (Figura 5.23.).

El sondaje EL-15 presenta porcentajes de recuperación inusualmente bajos, aparentemente por una ejecución deficiente. En efecto, recuperaciones elevadas se alcanzan los primeros 14,80 m de

sondaje y en algunos sectores a mayor profundidad. Casi en la totalidad del sondaje el *RQD* fue cero y debido a la mala calidad de la roca, no fue posible hacer mediciones de permeabilidad.

Tabla 5.05. Propiedades de la roca obtenidas por EL-12.

Profundidad (*) (m)	17,00-22,00	22,00-27,00	27,00-32,00	32,00-37,00	37,00-42,00
Rec. ponderada (%)	93,88	89,13	91,39	100,00	96,00
Rec. mínima (%)	50,00	50,00	70,00	100,00	60,00
Permeabilidad (U.L)	0,75	0,31	0,26	0,19	0,22
<i>RQD</i> ponderado (%)	37,41	35,60	35,22	35,89	29,26
<i>RQD</i> mínimo (%)	0,00	0,00	0,00	7,00	0,00
F/m ponderado	16,05	8,75	13,61	15,91	14,09

(*): Profundidades en relación a la cota de boca del sondaje EL-12 (1.860 m s.n.m.).

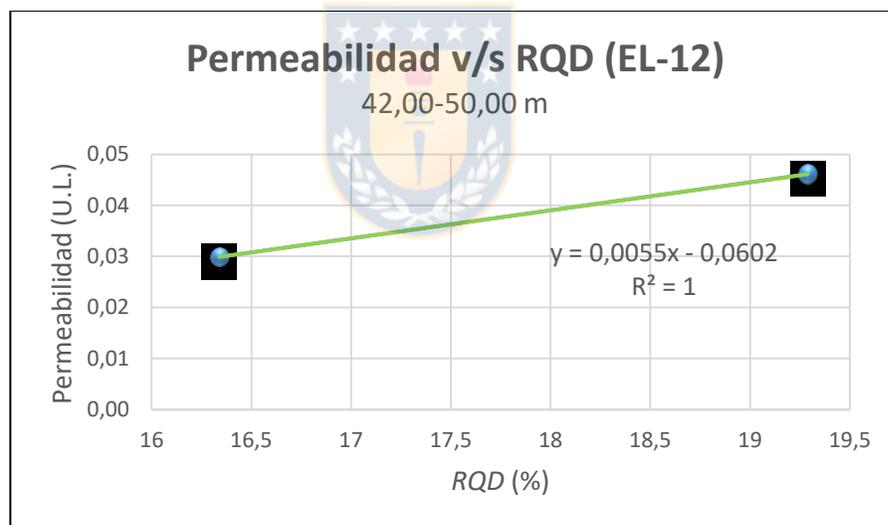


Figura 5.23. Gráfico permeabilidad v/s *RQD* para EL-12. En verde: línea tendencia de los datos.

Una situación similar ocurre en EL-16, el cual tuvo una de recuperación ponderada de testigo de un ~65% los primeros 15,00 m, y una recuperación de 58% los 25 metros restantes. Hasta los 37,00 m el valor de *RQD* prácticamente nulo y por esta razón, al igual que el sondaje anterior, tampoco fue posible realizar ensayos de permeabilidad.

5.3.1.3. Sondajes en plinto izquierdo (perforados en diámetro NQ)

Para el caso de EL-09, este fue el sondaje más profundo ejecutado en la ribera sur, alcanzando los 60,00 m de profundidad. En general, los porcentajes de recuperación fueron muy buenos, con valores de *RQD* bastante uniformes, sin embargo, entre los 17,00 m y 32,05 m se producen admisiones francas, que obligan a cancelar el ensayo. Bajo la cota 1.809 la relación entre los valores observados de *RQD* y permeabilidad, se vuelven consistentes (Tabla 5.06.).

Tabla 5.06. Propiedades de la roca obtenidas por EL-09.

Profundidad (*) (m)	32,05-37,10	37,10-42,00	42,00-47,00	47,00-52,05	52,00-57,00	57,00-60,00
Rec. ponderada (%)	100,00	100,00	100,00	93,14	100,00	100,00
Rec. mínima (%)	100,00	100,00	100,00	40,00	57,00	100,00
Permeabilidad (U.L)	0,65	0,02	0,03	0,60	0,42	0,04
<i>RQD</i> ponderado (%)	65,15	45,31	37,43	32,65	60,40	43,67
<i>RQD</i> mínimo (%)	30,00	25,00	0,00	0,00	0,00	34,00
F/m ponderado	4,75	8,57	6,57	6,22	4,81	5,00

(*): Profundidades en relación a la cota de boca del sondaje EL-09 (1841 m s.n.m.).

En general, los valores medios de recuperación de testigos fueron muy buenos, excepto los primeros metros del sondaje, donde la recuperación alcanza un valor mínimo de 50%.

En los tramos 32,05-37,10 m y 47,00-52,00 m, la permeabilidad alcanza valores muy elevados. Esta anomalía podría deberse a los bajos valores obtenidos por el *RQD*, lo que permitió concentrar un mayor flujo del caudal. Desde los 37,10 m y hasta los 47,00 m, las permeabilidades descienden junto con los valores de *RQD*. Esto se debe a la presencia de material fino entre las fracturas, que se desplazó de un sitio a otro durante los ensayos, como se observa en la Figura 5.24. (Tramo 42,00-47,00 m).

En el sondaje EL-10, la roca fue alcanzada a los 2,00 m de profundidad bajo una cubierta de escombros de falda de cerro. Según los datos obtenidos, se obtienen mejores índices a partir de

los 44,10 m (Tabla 5.07.), con una buena relación entre las permeabilidades medidas y los valores de RQD (Figura 5.25.). Sin embargo, existen extensos tramos de muy mala calidad geotécnica y alta permeabilidad. A pesar de lo anterior, las recuperaciones de testigos se mantienen cerca del 100%, excepto en algunos tramos.

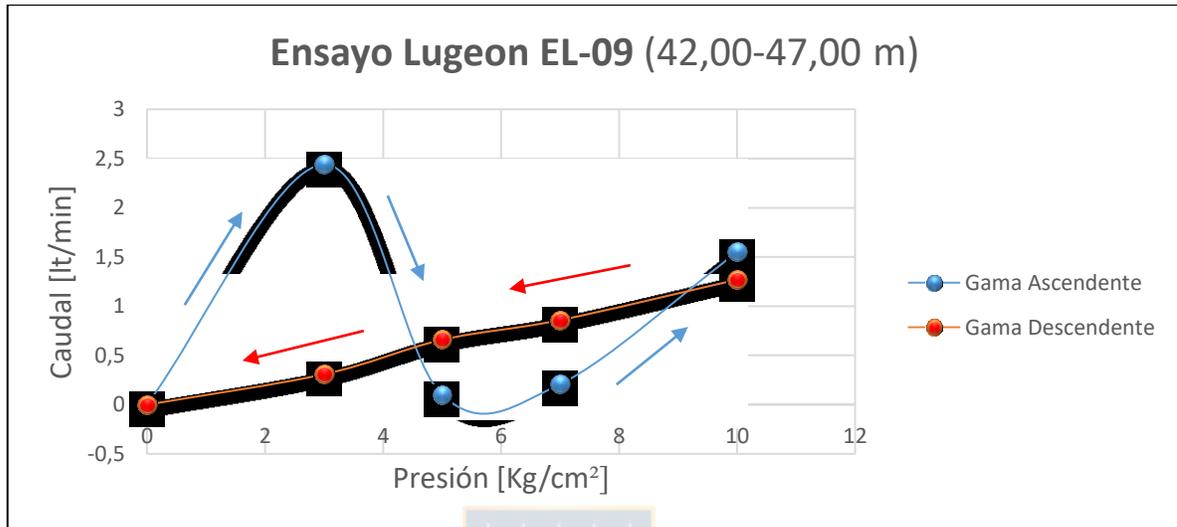


Figura 5.24. Ensayo Lugeon de EL-09 en el segmento 42,00 - 47,00 m.

Tabla 5.07. Propiedades de la roca obtenidas por EL-10.

Profundidad ^(*) (m)	44,10-47,60	47,60-50,00
Rec. ponderada (%)	100,00	98,58
Rec. mínima (%)	100,00	95,00
Permeabilidad (U.L)	0,41	0,30
RQD ponderado (%)	41,86	49,84
RQD mínimo (%)	26,00	41,00
F/m ponderado	6,27	5,97

^(*): Profundidad desde la cota 1.823,40 m s.n.m. en relación a la cota de boca del sondaje S-10 (1.856,00 m s.n.m.).

En el caso del sondaje EL-11, las permeabilidades obtenidas son mayores que las medidas en otros sondajes con RQD similares, con valores de 3,26 U.L. entre los 47,70 m y 50,00 m de profundidad (1.822,30-1.820,00 m s.n.m.), esto debido a la presencia de fracturas más limpias.

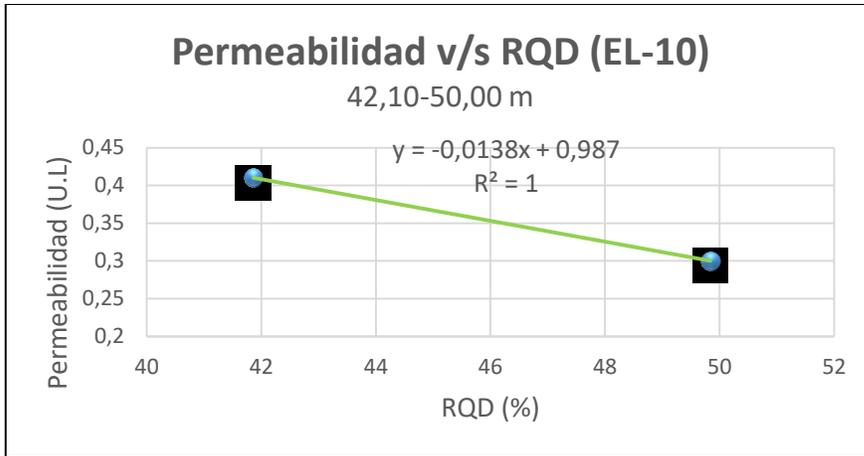


Figura 5.25. Gráfico permeabilidad v/s RQD para EL-10. En verde: línea tendencia de los datos.

Además en este sector, la baja recuperación de testigos pudo haber afectado el índice *RQD*, el cual registra valores nulos. En el resto de tramos, el porcentaje de recuperación alcanzado se considera apropiado, con mejores valores de *RQD*, que sin embargo, presentan grandes oscilaciones.

La mala correlación entre las permeabilidades medidas y los valores de *RQD* se deben a una sobreestimación de la permeabilidad obtenida entre los 27,70 m y 32,70 m, posiblemente por un by-pass no detectado (Tabla 5.08.).

Tabla 5.08. Propiedades de la roca obtenidas por sondaje EL-11.

Profundidad^(*) (m)	27,70-32,70	32,70-37,70	37,70-42,75
Rec. ponderada (%)	99,04	99,02	96,40
Rec. mínima (%)	95,00	97,00	85,00
Permeabilidad (U.L)	2,30	2,08	1,11
RQD ponderado (%)	34,78	36,77	31,61
RQD mínimo (%)	0,00	0,00	0,00
F/m ponderado	11,91	23,02	20,42

(*): Profundidades en relación a la cota de boca del sondaje EL-11 (1.870,00 m s.n.m.).

5.3.2. RESULTADOS

En general, los sondajes examinados muestran una buena correlación entre la calidad de la roca y las permeabilidades medidas.

En el valle se observaron valores promedios de *RQD* inferiores al 25% hasta los 1.771,48 m s.n.m. (sondaje EL-01), con altas permeabilidades (alta admisión: no se pudo hacer el ensayo) hasta los 1773,54 m s.n.m. (sondaje EL-02).

Para la parte alta de la ribera norte, los valores de *RQD* fueron poco homogéneos, con cifras rescatables desde los 1.833,2 m s.n.m., excepto para EL-08 y EL-15 que presentan valores más acotados. EL-16 muestra valores máximos de un 63%, sin embargo, con altas permeabilidades. Los valores de EL-12 y EL-07 (cercano al eje del muro) se elevan al 77-90%, a pesar de estar cerca de una zona de falla de orientación N65°E/13°NW. Las permeabilidades descienden en general desde los 1.833 m s.n.m., posicionándose en valores a menores a 1,5 U.L. Para la parte baja de la ladera, la calidad mejora, con valores *RQD* que oscilan entre los 68% y 100%. Los bajos valores obtenidos por EL-14, son atribuibles a que este se encuentra efectuado sobre depósitos de conos de deyección de peor calidad. Bajas permeabilidad son posible encontrarlas bajo la cota 1.785,5 m, según lo indicado por el sondaje EL-06.

Finalmente, en la ribera sur se registran buenos valores de *RQD* bajo los 1.837,1 m s.n.m. con valores que alcanzan el 81% y 91%, para EL-10 y EL-09 respectivamente. Las permeabilidades disminuyen desde la cota 1.813,14 m con valores que rara vez superan las 0.5 U.L, sin embargo, los ensayos presentan admisiones francas en algunos sectores. La mala calidad demostrada por EL-11 puede ser debido a la cercanía de una zona de fallamiento de orientación N69°E/85°NW o un posible bypass no detectado. Esto habría incidido en los valores de *RQD* y generado anomalías en las permeabilidades, las cuales son bastante bajas para los índices obtenidos.

5.3.3. EVALUACIÓN PARA EL TÚNEL DE DESVÍO

El túnel de desvío no ha sido dimensionado aún, cuya posible ubicación sería bajo el apoyo derecho del muro.

Para la sectorización geotécnica del túnel se ha recurrido a la observación directa de la roca, complementado con el análisis geológico y geotécnico entregado por los sondajes efectuados en

el área. Los sondeos utilizados para este motivo de la obra corresponden a EL-07, EL-08, EL-12, EL-13, EL-14 Y EL-17.

5.3.3.1. Clasificación geomecánica “*Q*”

Para determinar la calidad de la roca comprometida en las excavaciones del túnel se utiliza la clasificación geomecánica “*Q*” propuesta por Barton y otros, en 1974. Este corresponde a uno de los criterios de caracterización más utilizados actualmente, ya que permite determinar el grado de calidad del macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades, proporcionando valores estimativos de sus propiedades resistentes globales. Es especialmente útil para el diseño y sostenimiento de túneles y cavernas subterráneas.

Este índice considera parámetros como el *RQD*, familias y estado de las diaclasas, presencia de agua y estado de las discontinuidades, para entregar un resultado cuantitativo que nos permitirá estimar la calidad del macizo rocoso (véase la Figura 5.26.). Los valores, que van de 0,001 y 1,000, se dividían originalmente en nueve categorías de calidad, las cuales se han modificado a cinco con el paso del tiempo, llegando a utilizar solo cuatro algunos profesionales del área.


$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde,

RQD: Calidad del testigo evaluado mediante el criterio *RQD*.

J_n: Índice de diaclasado que indica el grado de facturación del macizo rocoso.

J_r: Índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

J_a: Índice que indica la alteración de las discontinuidades.

J_w: Coeficiente reductor por la presencia de agua.

SRF: Coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso (*Stress Reduction Factor*).

Figura 5.26. Ecuación del índice *Q* (Barton y otros, 1974).

Esta clasificación permite realizar una zonificación de las rocas que presentan características similares, asignando una clase o categoría según el índice *Q* obtenido. Así, una vez definidas las

características de la zona y geometrías de la obra, se determina el tipo de refuerzo a emplear y la cantidad estimada de cada uno de ellos.

En el caso concreto del túnel de desvío, se han considerado las condiciones de la roca expuesta en ambos apoyos y la información entregada por los sondajes, para asignar un valor de Q en función de sus características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas. De esta forma se obtienen 4 zonas (Figura 5.27.), en función del grado de alteración de la matriz (meteorización), calidad del macizo (RMR) y permeabilidad de la roca, como se muestra en la Tabla 5.09.

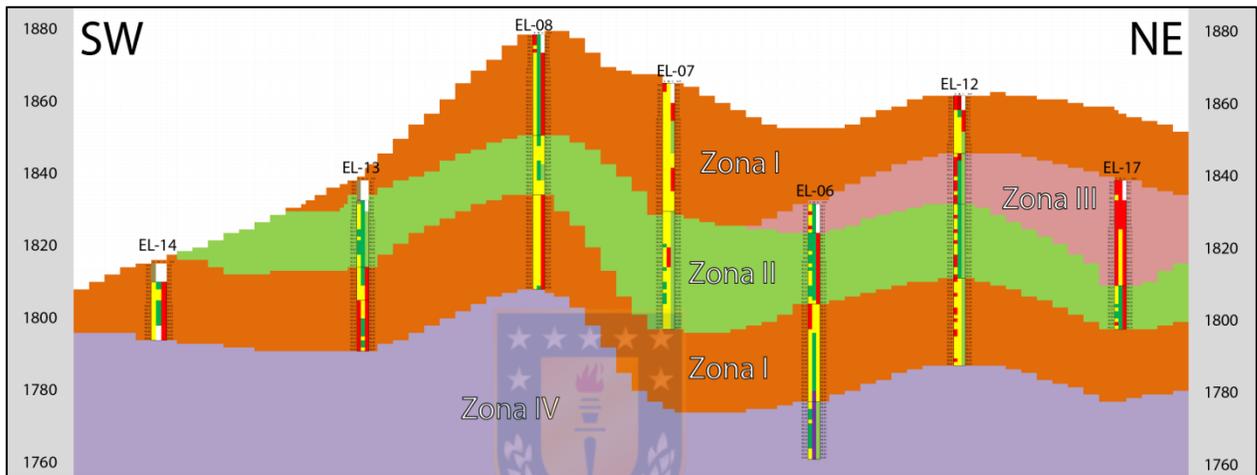


Figura 5.27. Perfil esquemático de zonas geotécnicas para la zona del túnel de desvío.

Tabla 5.09. Zonificación del macizo para la construcción del túnel de desvío.

Zona	Meteorización	Calidad	Permeabilidad
I	Media	Regular	Media
II	Baja	Regular	Baja
III	Media	Mala	Baja*
IV	Mínima	Regular	Baja

(*): Zona de by-pass y/o admisión franca.

Un caso especial, pero esperable, lo constituyen dos sectores de falla que intersectan el trazado, la primera en el tramo inicial, en el sector de EL-17 y la segunda cercana al portal de salida junto a

EL-13. La primera afecta de manera negativa las rocas, al menos hasta los 20 metros de profundidad según lo evidencia EL-17. Para las fracturas en el portal de salida, estas no parecen tener mucha incidencia en la calidad de la roca, de acuerdo a lo mostrado por EL-13, sondaje más cercano a la falla, sin embargo, no se descarta realizar algún tipo de tratamiento a medida que avanza la obra, si esto lo requiere.

En las tablas 5.09., 5.10., 5.11. y 5.12., se muestran los cálculos y resumen de los valores del índice Q obtenido para cada una de las zonas. Cabe destacar que los valores que adopta cada parámetro según las características de la roca son valores tabulados y predeterminados según Barton (2000).

Tabla 5.09. Clasificación del macizo para la Zona I.

Parámetro	Descripción	Valor
RQD	Calidad muy mala.	12,04
J_n	3 a 4 familias de fracturas, algunas zonas con diaclasas aleatorias y roca muy fracturada.	12,75
J_r	Diaclasas onduladas a planas, rugosas o irregulares.	2,38
J_a	Sobreconsolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de bajo espesor), con zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas.	6,75
J_w	Seco, localmente mojado.	0,83
SRF	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación < 50 m). Tensiones medias a pequeñas cerca de la superficie.	4,81
Q	Roca Muy Mala	0,10

En cuanto al túnel de desvío, este cruza el 40% Zona II ($RMR = 52$), un 50% de la Zona I ($RMR = 47.4$) y un 10% de la zona afectada por la falla (Zona III; Figura 5.28.). Esta última presenta bajos valores geotécnicos ($RMR = 31$) por lo que, a pesar de ser acotada, deben realizarse los refuerzos correspondientes a la parte superior del túnel. Como la Zona IV no intercepta de

manera significativa el túnel, este no se considerará en los cálculos. Sin embargo, estos pueden ser extrapolados de la Zona II en caso de ser necesario.

Tabla 5.10. Clasificación del macizo para la Zona II.

Parámetro	Descripción	Valor
<i>RQD</i>	Calidad mala.	29,35
<i>J_n</i>	3 familias de diaclasas.	11,00
<i>J_r</i>	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares.	2,50
<i>J_a</i>	Sobreconsolidación, con rellenos de minerales arcillosos no blandos y zonas con reblandecimiento (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm).	6,83
<i>J_w</i>	Seco a húmedo.	0,80
<i>SRF</i>	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables.	1,00
<i>Q</i>	Roca Mala	1,06

Tabla 5.11. Clasificación del macizo para la Zona III (Cercano a zona de falla).

Parámetro	Descripción	Valor
<i>RQD</i>	Calidad media.	2,00
<i>J_n</i>	4 o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15,00
<i>J_r</i>	Diaclasas planas, rugosas o irregulares.	1,50
<i>J_a</i>	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas.	12,00
<i>J_w</i>	Seco.	1,00
<i>SRF</i>	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad). Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	10,00
<i>Q</i>	Roca excepcionalmente mala.	0,002

Las zonas de fallas presentan una dirección de entre 40° a 90° de buzamiento en contra de la orientación propuesta para la construcción del túnel de desvío. Esta dirección disminuye el valor de *RMR* en 5 puntos como máximo, de acuerdo a la corrección sugerida por Bieniawski (1989).

Tabla 5.12. Clasificación del macizo para la Zona IV.

Parámetro	Descripción	Valor
RQD	Calidad mala.	58,09
J_n	Tres familias de diaclasas.	9,00
J_r	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares.	3,00
J_a	Fuertemente sobreconsolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm).	6,00
J_w	Húmedo.	0,66
SRF	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables.	1,00
Q	Roca mala.	2,13

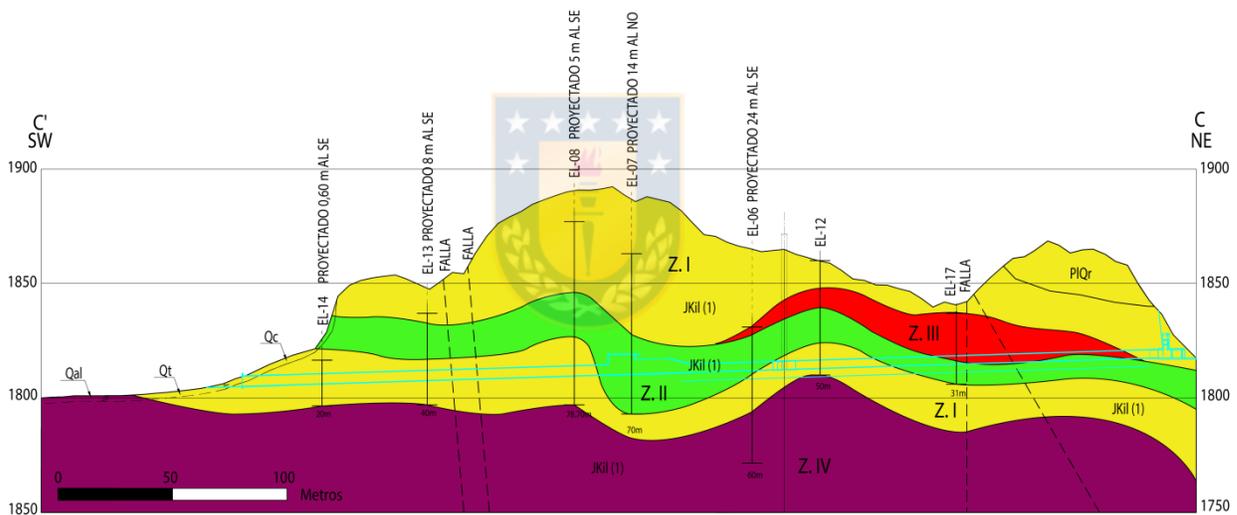


Figura 5.28. Zonificación geotécnica de la cimentación del túnel de desvío.

Este mismo autor propone un tiempo de mantenimiento y longitud, de 10 horas con 2,5 m de vano respectivamente, para las Zonas I y II, y de 30 minutos con 1 m de vano, en el caso de la Zona III.

A pesar de que las zonas cercanas a las fallas no se encuentren en sectores topográficos muy acusados, estas deben tratarse con precaución, en caso de la existencia de tensiones anisótropas que podrían generar riesgo de explosión de roca.

5.3.3.2. Categoría de soporte

Para la estimación de los sostenimientos a partir de Q se definen los siguientes parámetros:

$$\text{Diámetro equivalente del túnel} = \frac{\text{anchura, diámetro o altura (m)}}{ESR}$$

Donde ESR (Excavation Support Ratio) es un factor que depende del tipo de excavación a realizar, el cual adopta diferentes valores que pueden ser comparados con el índice Q para evaluar el sostenimiento.

Aunque no se ha definido la sección del túnel de desvío, mediante los antecedentes recopilados a la fecha se puede concluir que este podría ser del tipo medio punto o del tipo herradura, con un ancho y alto de no más de 6,4 m. Por su parte, a ESR se le ha asignado un valor conservador de 1,0, equivalente a un túnel carretero de gran sección. Con esto, el diámetro equivalente del túnel corresponde a 6,4 m.

De acuerdo a lo anterior y según la Figura 5.29., para una sección de túnel de este tamaño ubicado en las zonas mencionadas anteriormente se obtiene las siguientes categorías de sostenimiento:

- Zona I: hormigón proyectado con fibras, 120-150 mm y bulonado.
- Zona II: hormigón proyectado con fibras, 90-120 mm y bulonado.
- Zona III: Revestimiento de hormigón.

Por lo tanto, para las zonas del túnel ubicadas en roca de mejor calidad se requerirá en algunos casos un apernado. Mientras que para una roca muy mala o fallada, el refuerzo debe ser mucho mayor. Es conveniente considerar para la zona de entrada un apernado sistemático cada 2,0 m y hormigón proyectado de 2 a 3 cm de espesor. En tanto, para el apernado puntual de la zona intermedia, se recomienda una longitud de los pernos de 2,4 m.

5.4. SUGERENCIAS GENERALES

En general, no existen depósitos de suelos en los apoyos del muro, excepto aquellos pertenecientes a los escombros de falda que se ubican en la ladera norte y que comprometen la fundación del espaldón aguas abajo del muro. La remoción de este material no es necesaria en su

totalidad, pero se recomienda que durante el avance de los rellenos del muro, se retire el material suelto a nivel de capa.

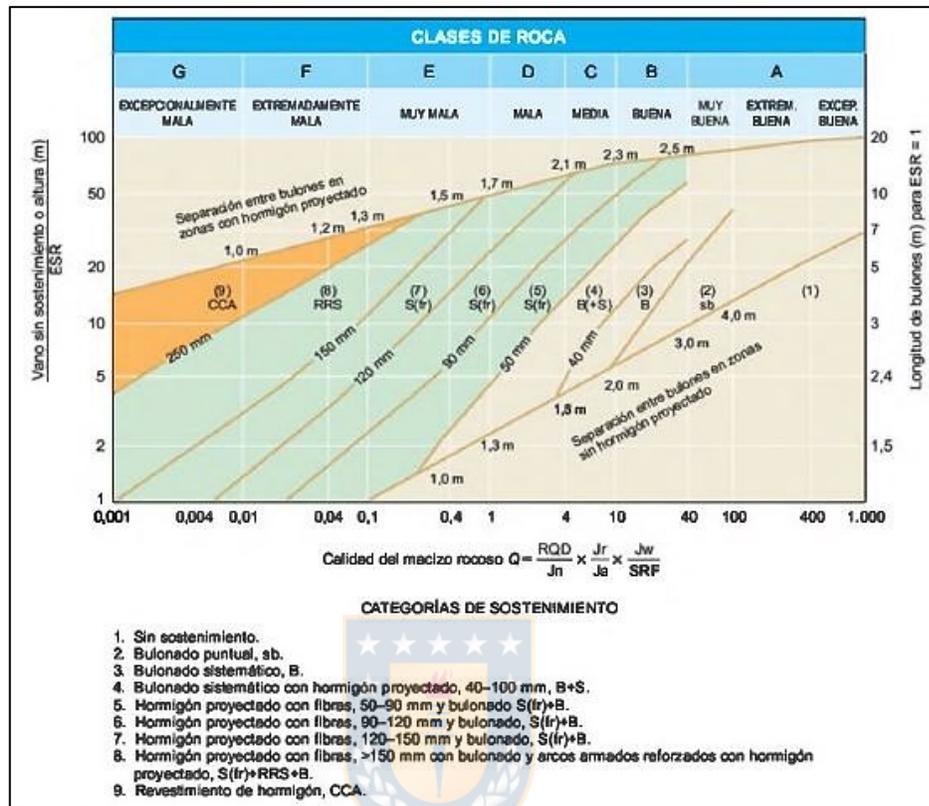


Figura 5.29. Sostenimiento según el índice Q (Barton, 2000). Tomado de González y otros, 2002.

En el caso del depósito aluvial presente en el fondo del valle, este posee materiales aptos para fundación del muro, sin embargo, deberán retirarse completamente en el sector de aguas arriba, con el fin de fundar el plinto directamente en la roca.

En las zonas de plinto se requerirán excavaciones dirigidas a la regularización de las superficies de fundación, más que a la extracción de roca de mala calidad. Si ocurriese fallamiento que comprometa la fundación del plinto, se deberá emplear hormigón de reposición para regularizar la fundación, en lugar de profundizar las excavaciones.

Existen zonas de fallamiento en ambos apoyos de la presa, por lo que, es de esperar que al despejar la roca basal se presente ocasionalmente este tipo de eventos.

Según lo observado en terreno, el fallamiento no posee actividad geológica reciente, ni compromete el eje del muro, relleno o plintos. Aun así, el material consecuencia del fallamiento tiene que ser removido antes de fundar los rellenos, aunque pueden ser posteriormente integrados a estos. Por otra parte, las estructuras no poseen la potencia y desarrollo que puedan facilitar o favorecer el escape de agua desde la zona de inundación hacia aguas abajo de la presa, o incluso hacia cuencas vecinas. Además, las prospecciones efectuadas al pie de la presa, no confirman la existencia de una potencial falla en la dirección del valle, sin embargo, de detectarse una falla al efectuar las excavaciones de la fundación, deberá reevaluarse el diseño de la cortina de impermeabilización en esta zona, y estudiar también un tratamiento especial para la falla según sus características. Es recomendable tratar adecuadamente las fallas que comprometan de alguna manera la obra, y en caso de que estas presenten actividad, se debe aislar la zona y monitorear eventuales desplazamientos.

Para el caso de la fundación del muro de presa, se tiene considerado la edificación de un muro de tipo CFRD, apto para edificarse sobre sedimentos fluviales y que considera gran parte de los coluvios de laderas, y una cortina de inyecciones para la impermeabilización del sustrato base. Estas desiciones serán determinadas en etapas posteriores del proyecto, no obstante, debe esperarse un mal comportamiento geotécnico de la roca, así como la presencia de altas permeabilidades en ciertos sectores (100-120 l/m).

El material de relleno para la presa podría obtenerse, con previo estudio, de una posible cantera ubicada en la ladera norte, unos 800 metros aproximadamente aguas arriba del muro, compuesta por riolitas de tamaños centimétricos a decimetricos. El programa de prospecciones para evaluar dicha cantera, considera 2 sondajes de 40 metros cada uno, con una recuperación continua de testigos. Además, se ha considerado un tiro de prueba para evaluar las granulometrías resultantes.

6. GEOLOGÍA AMBIENTAL

6.1. GENERALIDADES

La geología ambiental es la disciplina que estudia la influencia de los factores y procesos geológicos sobre el hábitat humano y su actividad; considerando la interacción de este con la biósfera, litósfera, hidrósfera, y hasta cierto punto, la atmósfera terrestre. Su objetivo es resolver y corregir los aspectos geológicos de los problemas ambientales causados por la civilización,

minimizando la posibilidad de degradación ambiental o maximizando la posibilidad del uso adecuado del ambiente natural o modificado (Mardones y Vidal, 2001). Utiliza herramientas básicas, tales como, la investigación bibliográfica, análisis del medio geológico, caracterización de los factores geológicos y cartografía geoambiental.

6.2. ÁREAS URBANAS

El área de estudio comprende diversas localidades y urbes que se ven afectadas directamente por la crecida del río San José. Por esta razón, surge la necesidad de controlar el caudal y evitar los efectos nocivos del mismo. Los potenciales efectos negativos que una construcción de esta envergadura pudiese producir son prácticamente despreciables, siendo mucho mayores los beneficios que puede traer a la comunidad, tales como el control de crecidas y provisión constante de agua para los agricultores y sociedad durante periodos de escasez.

Los centros urbanos más importantes, en relación a la población que podría verse afectada, son: Arica, Livilcar, Ausipar y localidades del Valle de Azapa.

Arica se ubica en la frontera septentrional de Chile, a sólo 18 km al sur de la frontera con Perú. Debido a la ausencia de la Cordillera de la Costa en este sector, la ciudad se extiende sobre una extensa planicie litoral que se conecta directamente con los valles interiores. La comuna posee una superficie de 4.799,4 km² y una población de 226.068 habitantes, acogiendo casi al 97,7 % de la población total de la región. De esta cifra, un 8,3 % corresponde a población rural y un 91,7 % a población urbana (INE, 2017). La ciudad es atravesada por el río San José, que sólo llega al mar en verano. En periodos muy lluviosos en el altiplano, se producen grandes bajadas de agua que colorean el mar de café debido al gran arrastre de sedimentos (Campos y otros, 2007). Estos aluviones destruyen caminos, vías férreas y redes de agua potable, impactando la ciudad y otros asentamientos humanos rurales. Además, contribuyen al embancamiento del puerto comercial, deteriorando las playas del litoral marino por el transporte de material particulado suspendido y sedimentable hacia ese sector costero (Campos y otros, 2007).

La población distribuida en los diferentes valles y quebradas de la comuna de Arica, la constituyen 4.820 habitantes, donde el 68,9% está compuesto por habitantes de las localidades del Valle de Azapa (INE, 2002). Los aluviones mencionados produce la erosión del cauce,

terrenos y suelos agrícolas aledaños, provocando la pérdida de suelos productivos y sus cultivos, además de daños en bocatomas y sistemas de riego (Campos y otros, 2007).

6.3. PELIGROS GEOLÓGICOS

6.3.1. Generalidades

El peligro geológico constituye un factor del denominado riesgo geológico, este último hace referencia a la posibilidad de ocurrencia de un determinado evento en un tiempo y lugar dado, y a sus posibles efectos sobre las personas. Suele aplicarse como sinónimo de peligrosidad, pero estos son conceptos diferentes. El peligro es “algo” que tiene el potencial de causar daño, en este caso los procesos geológicos, mientras que riesgo es la probabilidad que ocurra un daño. Se consideran entonces los procesos geológicos generadores potenciales de situaciones de riesgo.

Existen diversos tipos de peligros con los que los habitantes de la región deben convivir. Este estudio se remite a observaciones realizadas en terreno y recopilación bibliográfica. Además, solo se han considerado las situaciones que definen “peligrosidad”, ya que pueden evaluarse mediante una base de conocimientos geológicos y recopilación de datos de terreno.

El análisis realizado en terreno solo permite una caracterización de los peligros geológicos, ya que no se tuvo acceso a la cuantificación de la vulnerabilidad de las edificaciones antrópicas expuestas a estos peligros. Esta consideración requiere un análisis aún más específico, así como la integración de otras disciplinas que no tuvieron alcance en este estudio.

El objetivo de la predicción es tomar las precauciones adecuadas y atenuar los efectos en caso de un suceso geológico catastrófico, sin embargo, solo procesos de pequeña escala son controlables mediante acción humana, como los deslizamientos e inundaciones, en cambio, terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas quedan fuera de alcance y control.

6.3.2. Deslizamientos y remociones en masa

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno con diversas características. Así es como la acción de la gravedad, el debilitamiento progresivo de los materiales debido a la meteorización y otros fenómenos naturales y ambientales, hacen que los movimientos del terreno sean relativamente habituales en el medio geológico, siendo los más frecuentes y extendidos los movimientos de ladera.

Los deslizamientos en laderas naturales pueden ser profundos y movilizar millones de metros cúbicos de material. Sus mecanismos de ruptura suelen ser complejos y están condicionados por factores o procesos a escala geológica (fallas, procesos tectónicos, procesos geomorfológicos, litorales, flujos de agua subterránea, etc.). Además de los factores naturales, la intervención humana puede modificar los esfuerzos, lo que favorecería la ruptura y desestabilización de los taludes.

Los factores más comunes corresponden a precipitaciones y condiciones climáticas, procesos erosivos, terremotos, volcanismo y acciones antrópicas (González y otros, 2002).

En el área de inundación, se observan depósitos de suelos capaces de originar deslizamientos. Están ubicados en el sector medio del vaso y hasta la cola del embalse, lugar donde afloran depósitos de remoción en masa de edad Plioceno-Holoceno. Los materiales que los componen se encuentran altamente consolidados, con pobre selección, caóticos, y están conformados por megabloques, bloques y rodados de tamaño métrico a decamétrico. El nivel de consolidación y cementación de esta unidad es suficiente para que las laderas se mantengan estables, con excepción de dos sectores ubicados uno a cada ladera, que deben ser analizados. Los cuales podrían perder estabilidad en caso de un descenso brusco del nivel agua del embalse o simplemente por saturación del material.

Uno de estos sectores se ubica en la ribera norte y consiste en una sobrecarga de suelo cementado cuyo espesor no supera los 5 metros. La ladera posee una pendiente del orden de $1,5:1,0$ ($H:V$), por lo que, debido a sus características y geometría no debería presentar riesgos, sin embargo, desprendimientos menores no deben descartarse.

El otro sector está ubicado 300 metros aproximadamente aguas arriba del eje del muro en la ladera sur (Fotografía 6.01.), donde es posible observar un flujo detrítico acompañado de diversos procesos aluviales que componen el cono de deyección (asociado a una estructura geológica). El material es granular y de matriz fina con un bajo grado de cementación, lo que permite la formación de taludes abruptos. Este material se disgrega rápidamente al ser sumergido en agua, por lo tanto, debe considerarse un tendido de taludes que asegure la estabilidad de dicho material, no solo ante descensos bruscos del nivel de aguas, sino que también, ante la saturación producida por el embalse.



Fotografía 6.01. Depósito de remoción en masa acompañado de procesos aluviales, 300 m aguas arriba del estribo izquierdo.

Para estos dos sectores, si se realizan los tratamientos necesarios de impermeabilización, no deberían comprometer la seguridad ni la estabilidad de la presa, como tampoco el vaciado del agua embalsada.

Por último, las rocas aflorantes entre el sector medio del vaso al eje del muro, son estables y tienen una baja probabilidad de generar deslizamientos al saturarse la roca con el agua embalsada.

Se sugieren diversas medidas y recomendaciones que pueden ayudar a prevenir que este tipo de desastres ocurra:

- ✓ Identificación de zonas propensas a deslizamientos, con prohibición de construcciones de cualquier tipo y libre tránsito por el sector afectado, al menos hasta que se normalice y tomen las medidas del caso.
- ✓ Realizar estudios de estabilidad de taludes que permitan proyectar obras o medidas de mitigación para disminuir la energía de la remoción en masa, y creación de zonas de seguridad fuera del perímetro de influencia probable.
- ✓ Las zonas agrietadas deben ser observadas y efectuar el manejo necesario para disminuir la probabilidad a que ocurran remociones en masa en estos sectores.

- ✓ Realizar una evaluación técnica profesional geológica-geotécnica, con el fin de establecer futuras obras de mitigación o posteriores restricciones de construcción.
- ✓ Comprensión y orientación en el uso del suelo con el fin de evitar la generación de nuevos factores condicionantes, como movimientos y acopios de material sin estabilizar, intervención de cauces y quebradas, generación de taludes inestables por modificación del relieve original, entre otros.

La implementación de estas medidas debe considerar su factibilidad económica en relación a los costos asociados a medidas alternativas, siendo la más recomendable la erradicación y prohibición de planes de asentamiento o construcciones en los sectores de mayor peligro.

6.3.3. Inundaciones

Las inundaciones corresponden a la invasión de un territorio por el escurrimiento descontrolado de un flujo fluvial debido a una crecida. Las aguas llegan a desbordarse de su cauce habitual e invaden el lecho mayor del río o las llanuras de inundación y terrazas inferiores.

En la época del invierno altiplánico, los procesos aluviales se concentran con mayor intensidad, puesto que las lluvias provenientes de la alta cordillera aportan una mayor cantidad de agua a la zona. Esto a menudo causa aluviones de consideración, que producen la erosión del cauce, terrenos adyacentes y suelos agrícolas aledaños, provocando la pérdida de suelos productivos y sus cultivos, además de daños en bocatomas y sistemas de riego (Campos y otros, 2007). Estas pérdidas afectan también a la infraestructura pública tales como caminos, vías férreas y redes de agua potable, produciendo daños en la ciudad y en otros asentamientos humanos rurales. Producen además, el embancamiento del puerto comercial, el deterioro de playas y su entorno litoral, consecuencia del arrastre de material particulado sedimentable hacia el ambiente acuático marino (Campos y otros, 2007). Este material suspendido repercute fuertemente en la empresa del turismo de Arica, al alejar a residentes y turistas de playas o sectores costeros de recreación estival. El efecto de estos aportes se duplica en la rada del puerto comercial.

Durante el invierno altiplánico del año 2001 las crecidas de los ríos Lluta y San José ocasionaron daños valorizados preliminarmente en varios millones de dólares. Esto produjo el traslado recurrente o erosión de suelos agrícolas, transformándolos en sedimentos marinos costeros y la generación de embancamientos en sitios de operaciones portuarias, lo que obligó al dragado en

los sitios de atraque de la dársena portuaria. También se han observado la aparición de nuevas estructuras litorales, como la península generada por aluviones en la ribera norte de la desembocadura del río San José desde aproximadamente el verano de 1973 (Campos y otros, 2007).

Estos procesos erosivos son de tipo natural, sin origen ni intervención antrópica, que responden a eventos climáticos de ocurrencia casi regular, por lo que pueden esperarse importantes aportes de sólidos sedimentables durante los eventos estivales. Debido al tipo de roca (alto contenido arcilla) y la baja absorción de agua de los materiales del sector, significan un potencial riesgo para las comunidades, debido al eventual aumento del caudal.

Durante el invierno altiplánico, el río San José transporta una gran cantidad de agua, con flujos caóticos y un aumento en su capacidad de carga, lo que permite transportar material más pesado y mal clasificado (Fotografía 6.02.). El rápido flujo y aumento de agua le confiere un gran poder erosivo que socava el fondo del valle, produciendo encajonamiento del río con paredes de rocas altas y abruptas. Sin embargo, debido a la gran consolidación del material, sumado a la baja probabilidad que el agua alcance el nivel donde se encuentran los depósitos inestables, no se considera como un riesgo geológico importante. Este lamentable escenario suele repetirse cada año, con mayor o menor intensidad, en los meses de Enero-Febrero no solo en la zona de Arica, sino en muchos sectores del norte grande que son afectados directa o indirectamente por el invierno altiplánico. Uno de estos eventos ocurrió el pasado 2019, donde las lluvias alcanzaron los 10,8 mm de agua, el equivalente a 15 años de precipitaciones en la región. Los medios locales cifraron daños en más de 500 casas y una intensa evacuación de la población, sobre todo en la ubicada en el valle de Azapa.

La situación agropecuaria y los daños causados, han conducido a los sectores regionales a solicitar una solución de carácter urgente. Se han discutido, analizado y gestionado diversos proyectos relativos a la construcción de embalses con estudios en las diferentes cuencas de Arica. Estas buscan controlar y regular la bajada de los ríos, y así mitigar el impacto económico y social que producen de los desbordes.

El objetivo del futuro embalse Livilcar propone mitigar los daños de las potenciales crecidas del Río San José en el periodo del invierno altiplánico en el sector alto del valle de Azapa. Esto a menudo provoca estragos en los suelos agrícolas y en la infraestructura de la ciudad y el sector

costero, incluyendo al puerto de Arica y playas del litoral. Además, como objetivo secundario, este embalse permitiría la recarga de la napa subterránea del valle de Azapa, lo que aumentaría la cantidad de agua potable en la región para consumo y riego.



Fotografía 6.02. Crecida del Rio San José en periodo estival (Febrero 2011).

6.3.4. Peligro sísmico y terremotos

El peligro sísmico es una magnitud geofísica que da la probabilidad de ocurrencia de sismos en un área geográfica específica durante un intervalo de tiempo determinado. Las medidas inherentes al movimiento, el desplazamiento, la velocidad y la aceleración del suelo, son los factores que determinan la peligrosidad de los sismos (Giardini y Basham, 1993). Estas vibraciones se producen principalmente en las zonas de contacto entre las placas tectónicas. En el área de estudio, los terremotos son producidos mayoritariamente por el desplazamiento de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Esta tasa de subducción es de aproximadamente 68 mm/año y un azimut $N78^{\circ}E$ (Norambuena y otros, 1998, en Tassara y Yáñez, 2003). Entre los $15^{\circ} S$ y los $24^{\circ} S$, el ángulo de esta subducción es de 25° a 30° aproximadamente (Madariaga, 1998, en Alfaro, 2011).

Los sismos interplaca son los que ocurren más frecuentemente en Chile, estimándose para cada segmento sísmico una recurrencia de aproximadamente 100 años. El área de estudio se encuentra

aledaña al margen continental, lo que la hace especialmente vulnerable ante este tipo de sismos. Estos terremotos son los que alcanzan mayores magnitudes y afectan áreas más extendidas, como es el caso de Valdivia de 1960 (MW = 9,5) y Maule 2010 (MW =8,8).

6.3.2.4.a. Caracterización de la fuente sismogénica.

En Chile es posible identificar cuatro mecanismos que originan sismos:

- *Contacto entre placas (Interplaca)*: Predomina a lo largo de todo el margen chileno. Este mecanismo está ligado directamente con la subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana en la fosa, con epicentros en su mayoría bajo el Océano Pacífico. Los sismos provocados por este tipo de mecanismo, al ser costeros y de offshore, pueden formar tsunamis, en donde la altura de la ola depende de la forma y geometría de las bahías. Ejemplos de estos terremotos son los últimos 3 grandes eventos en el margen chileno: Maule 2010 (Mw=8,8), Iquique-Pisagua 2014 (Mw=8,1) e Illapel 2015 (Mw=8,3).
- *Flexión de la Placa de Nazca*: constituyen eventos sísmicos de tipo *Outer rise* asociados un mecanismo focal normal. Ocurre debido al plegamiento de la Placa de Nazca antes de iniciar el proceso de subducción bajo la Sudamericana. Los sismos producidos se presentan en la zona exterior de la fosa, son superficiales y de baja magnitud, con epicentros que se sitúan a más de 150 km de la costa, representando un bajo riesgo para la población.
- *Intraplaca en Placa de Nazca*: originados por fallas normales en el interior de la Placa de Nazca por la subducción bajo la Placa Sudamericana, en un proceso denominado *Slab Pull*. Estos sismos tienen su origen en fallas bajo el continente y se presentan con alta frecuencia dentro del territorio nacional. El terremoto de Chillán 1939 (Mw=7,8) es un ejemplo de este tipo. Al ser de carácter continental no producen tsunamis.
- *Intraplaca en Placa Sudamericana*: se produce por la presión generada sobre la Placa Sudamericana en el proceso de subducción. A este se asocian los eventos tipo *Sliver* producto de la partición de la subducción oblicua transcurrente dextral en el margen andino. Este tipo es uno de los menos frecuentes y se localiza exclusivamente en la zona precordillerana y cordillerana de Chile Central. La profundidad de estos terremotos es muy baja, por lo que de producirse eventos de altas magnitudes, constituirían un

importante riesgo para la población. Además, eventos compresivos de este tipo podrían originar la reactivación de fallas y otras estructuras del área, como la Falla Ausipar.

Los sismos interplaca son los más frecuentes y de mayor envergadura en Chile, con una estimación para cada segmento sísmico, una recurrencia de aproximadamente 100 años. El área de estudio se encuentra al interior de la placa continental, por lo que no es especialmente vulnerable ante este tipo de sismos. Sin embargo, esta opción nunca debe desecharse por completo, ya sea por la ocurrencia de sismo intraplaca o la generación de centros de ruptura que puedan afectar indirectamente la zona. Este el caso del terremoto superficial de Aroma en 2001 y sus réplicas, los cuales ocurrieron a lo largo de una falla ciega que controla el desarrollo de la flexión de Aroma (Farías, 2005).

El deslizamiento del terremoto de Aroma ocurrió en una falla empinada de vergencia este que desciende hasta los 25 km de profundidad. Esta geometría de alto ángulo es característica de las fallas de la Precordillera del norte de Chile (Farías, 2005). En la Precordillera de Arica, García (2002) concluyó que la falla de Ausipar es muy empinada (60° E; Farías, 2005). En la región de Altos de Pica, Victor y otros (2004) sugirió que la continuación profunda del sistema de empuje de la Precordillera está mejor representada por una rampa que desciende más de 45° hacia el este (Farías 2005). Este terremoto sugiere que el sistema de fallas que emergen dentro de la Precordillera y la Cordillera Occidental acomodan los desplazamientos de deslizamiento dextrales, y que habría ocurrido a lo largo de la misma falla que se propaga hacia arriba de la flexión de aroma (Farías, 2005). Según David y otros (2002) el antearco profundo de la región de Arica (18° - 19° S) sufre un acortamiento ENE-WSW asociado con la actividad de los empujes vergentes estes (Farías, 2005).

6.3.2.4.b. Registro histórico de los eventos sísmicos a lo largo de Chile

El margen chileno históricamente ha sido fuente de grandes terremotos y consiguientes tsunamis. En el último tiempo se destacan los terremotos de Maule 2010 ($M_w=8,8$), Iquique-Pisagua 2014 ($M_w=8,1$) e Illapel 2015 ($M_w=8,3$).

Con respecto al área de estudio, la Tabla 6.01. destaca los principales terremotos que han ocurrido cercano o directamente en la zona.

Tabla 6.01. Catastro de principales sismos que han afectado la XV Región.

Año	Locación	Magnitud (Richter)
1604	Arequipa	8,5 - 9,0
1615	Arica	8,8
1681	Arica	7,3
1715	Ilo	7,5
1831	Arica	7,0
1833	Arica	7,7
1868	Arica	8,5-9,0
1877	Iquique	8,5
1987	Arica	7,2
2001	Arequipa	7,9 – 8,2
2001	Aroma	6,3
2001	Chusmiza	6,4
2005	Tarapacá	7,9
2014	Iquique	8,2
2015	Illapel	8,4

De acuerdo al consenso general, los terremotos de Arica 1868 e Iquique 1877 corresponde a los más grandes y catastróficos que han azotado el norte de Chile, marcando además el final-inicio del último ciclo sísmico de la zona sur del Perú y norte de Chile. Según Tavera y Bernal (2002), el terremoto de 1877 continuó con la ruptura del área iniciada por el terremoto de 1868 hasta alcanzar una longitud final (entre ambos) de 1000 km aproximadamente. Dorbath y otros (1990) y Comte y Pardo (1991) sugieren que estos periodos de recurrencia para estos grandes sismos de unos 100 a 111 años (Tavera, 2002a). De esta forma, el silencio sísmico del norte de Chile es el más grande a lo largo de la Placa Sudamericana (León, 2018). Un silencio sísmico se caracteriza por la ausencia de un gran terremoto entre las placas durante un largo periodo de tiempo (Comte y Pardo, 1991 en Pinto y otros, 2008) y, por lo tanto, es esperable que la zona sur de Perú y norte de Chile pudiesen ser la fuente de origen de un próximo gran terremoto de magnitud proporcional a las áreas de ruptura de los terremotos de 1868 y 1877 (Tavera, 2002a), aunque no necesariamente equivalente a estos (Portugal y otros, 2002).

Las zonas de silencio sísmico presentes en estas regiones fueron interrumpidas con la ocurrencia, en primer lugar, de dos terremotos con magnitudes Mw de 8.0 y 7.7 y epicentros ubicados exactamente en los extremos Sur y Norte de las áreas de ruptura de los terremotos de 1868 y 1877 (Tavera y Bernal, 2002).

Terremoto de Arequipa 2001 fue un sismo de carácter superficial con propagación de la ruptura en dirección SE que ocurrió luego de un periodo de 133 años de silencio sísmico en la región sur de Perú (Tavera y Bernal, 2002). Este terremoto no es equivalente al ocurrido en 1868. El área total de ruptura asociado al terremoto de Arequipa fue de 370x150 km² con el eje mayor paralelo a la línea de costa (Antayhua y otros, 2002), área que cubre solamente el 75% del área fracturada (500 km) por el terremoto del 1868. Según Tavera y Bernal (2002), es posible que este terremoto sea el inicio de un nuevo periodo de ocurrencia de grandes sismos en la región sur de Perú y norte de Chile, incrementado considerablemente el potencial sísmico de la zona. Portugal y otros (2002) concluyen que el terremoto de 2001 es equivalente al de 1784 y no al de 1868. La existencia de una aspereza en la región sur de Perú es sugerida por Heras y Tavera (2002), pues el epicentro del terremoto de Arequipa se ubicaría en el extremo norte de la aspereza. Esta aspereza presenta un periodo de retorno de 75 años, lo cual indicaría que la región estaba propensa a ser afectada por un terremoto de magnitud considerable desde el año 1943 (Heras y Tavera, 2002).

El terremoto de Aroma en 2011 tuvo un área de ruptura de 500 km² en dirección N-S (Comte y otros, 2003), cuya actividad tectónica estaría relacionada con la deformación a lo largo del SCVO (Farías, 2005). El terremoto pudo haber reactivado una antigua falla de base la cual pudo haber controlado la posición y geometría de la flexión de Aroma en el Oligoceno-Neógeno tardío (Farías, 2005). Según Muñoz M. (2006) la sismicidad es sólo local y de tipo superficial, por lo que el aumento de la sismicidad anormal pudo estar gatillado por el terremoto de Arequipa, de acuerdo a la dirección de las réplicas.

El terremoto de Chusmiza en 2001 también fue un sismo superficial (menos de 10 km de profundidad) cuya distribución de ruptura fue de dirección E (Legrand, 2005). Este sismo es considerado como una réplica del terremoto de Aroma de 2001 (Farías, 2005). Además, Farías (2005) establece una relación casi coincidente entre el eje p del mecanismo focal de desplazamiento con la dirección de convergencia de la placa de los datos más importantes para los terremotos de Arequipa, Aroma y Chusmiza.

En el terremoto de Iquique 2014 la ruptura tuvo una orientación SE y posterior NE asociado a las réplicas (Schurr y otros, 2014). El deslizamiento se extendió tan solo 50 km aprox. a lo largo de la interfaz desde el hipocentro, un área de ruptura muy compacta para un terremoto de este tamaño (Hayes y otros, 2014). El sismo se produjo en una zona de laguna sísmica, asignada al

terremoto del 1877. Los expertos han coincidido en señalar que tampoco se trataría del gran terremoto del norte de Chile, puesto que no se ha liberado toda la energía esperada, pues la ruptura abarco solo 200 km de longitud en lugar de los 600 km esperados. Esto hace probable la ocurrencia de nuevos sismos de gran magnitud en la zona.

El terremoto de Illapel 2015 tuvo una zona ruptura de 200-250 km de longitud, entre Punta Lengua de Vaca por el norte y Los Vilos por el sur. Los registros telesísmicos, indican una dirección de ruptura hacia el N (Okuwaki y otros, 2016). Este terremoto se considera una nueva ruptura del terremoto de Ovalle de 1943 (9,0Mw; Beck y otros, 1998 en Satake y Heidarzadeh, 2017). Este sismo se adelantó a los típicos 100 años de maduración de la brecha sísmica, ya que ocurrió 72 años después del terremoto de Ovalle. El terremoto de Illapel también se asemeja los ocurridos en 1730 y 1889 (Satake y Heidarzadeh, 2017).

Es importante destacar que los grandes terremotos ocurridos en los últimos 30 años presentan profundidades superficiales a intermedias y se distribuyen entorno a las dos grandes áreas de ruptura de los terremotos de 1868 y 1877 (Figura 6.01.), sugieren que pronto debe ocurrir dos o al menos un terremoto de gran magnitud (Tavera, 2002a), ya que según los autores ninguno ha liberado completamente la tensión acumulada a lo largo de las superficies de ruptura (Hayes y otros, 2014) para volver a reiniciar los ciclos marcados por los terremotos de 1868 y 1877.

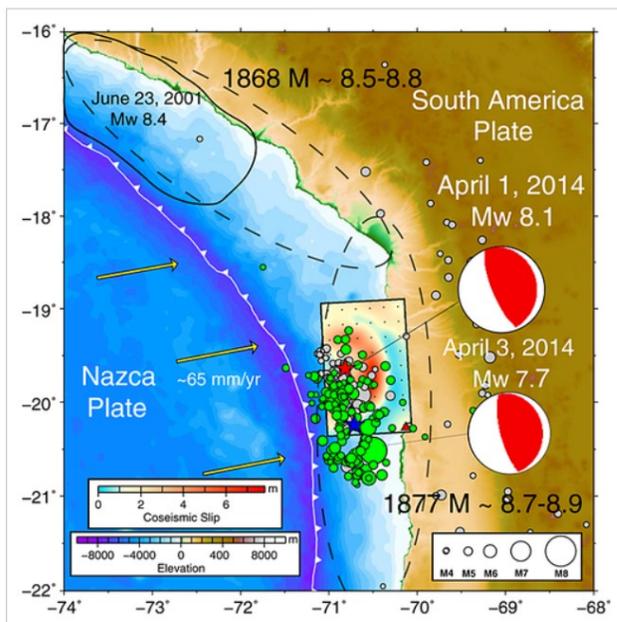


Figura 6.01. Áreas de ruptura de 1868 y 1877 y últimos sismos (Tomado de Lay y otros, 2014).

La zona en que se originó la ruptura ha mostrado una alta actividad en los últimos años y podría representar un riesgo para la infraestructuras urbana y de las redes de conectividad en la región ubicada entre las ciudades de Iquique y Arica, incluyendo varios pueblos entremedio (Glass y otros, 2013).

6.3.2.4.c. Principales efectos causados por los terremotos

Los grandes sismos ocurridos en el norte de Chile han dejado un sinnúmero de siniestros a lo largo de las regiones de Arica e Iquique, dependiendo de la magnitud y ubicación de estos, asociado directamente a su intensidad y capacidad para generar tsunamis.

Hasta el siglo XIX, los terremotos suscitados en el norte de Chile resultaban catastróficos para las ciudades, destruyéndolas prácticamente en su totalidad, como fue el caso del terremoto de 1681 con la ciudad de Arica, o el terremoto de 1833 con la ciudad de Tacna.

Desde el terremoto de 1604 es posible recopilar las consecuencias “geológicas” observadas dejadas por estos sismos, tales como; derrumbes en cerros y minas, hundimientos, grietas en el terreno, nubes de polvo, oscilación de los cerros (Fernández, 2007), diversos fenómenos de remoción en masa, licuefacción de suelos (Portugal y otros, 2002) y desprendimiento de rocas (Rondinel-Oviedo, 2005). Algunos de estos han sido generadores de tsunamis en las costas chilenas y peruanas, así como el aumento de las mareas en el borde Pacífico. En general, cuando estos ocurren son considerablemente perjudiciales para las localidades ubicadas en el borde costero. El terremoto de 1868 registro olas de 7 a 18 m en la ciudad de Arica (Fotografía 6.03.) y en el terremoto de 1877 olas de hasta 23 m que afectaron las costas de Iquique, incluyendo desde Arica hasta Caldera, así como zonas del sur de Perú y el margen circumpacífico. En el caso de Arica, los registros de estos tsunamis coinciden en que el mar es capaz de ingresar por la ciudad y subir por la ribera del río San José (Fernández, 2007).

En cuanto a los daños materiales, estos han sido cuantiosos, perjudicando principalmente infraestructura pública y privada, causando el desplome de edificios y monumentos locales, numerosos incendios, varamiento de barcos sobre la costa, destrucción de líneas férreas (Hernández, 2007), obstrucción de carreteras y caminos, y más actualmente cortes de energía y roturas de cañerías de agua potable.



Fotografía 6.03. Morro de Arica luego del terremoto y tsunami de 1868.

Y sin dejar de lado lo más importante, que constituye la gran cantidad de pérdidas humanas y los miles de damnificados producto de estos terremotos y sus consecuencias.

El estudio de Boroschek y otros en 2002, estipula que dichos eventos en la zona norte de Chile presenta importantes aceleraciones y velocidades máximas, así como espectros de respuesta muy cercanos a la demanda elástica establecida en la norma chilena de diseño NCh 433 of 96, poniendo en serio peligro las edificaciones. Estos mismos autores señalan que la norma fue superada en el rango de periodos mayores a 0,8 segundos, en suelo equivalente tipo II y en zona sísmica 3. Para los otros casos, de los cuales se poseen antecedentes instrumentales, la norma no se vio superada, pero si igualada.

6.3.2.4.d. Conclusiones

Las zonas en que se originan las rupturas del sur del Perú y norte de Chile han mostrado una alta actividad durante los últimos años, representando un grave peligro para el proyecto. Esto podría representar un riesgo para la infraestructura urbana y de las redes de conectividad, tanto para la región Arica e Iquique, incluido los sectores aledaños (Glass y otros, 2013).

El terremoto de Aroma sugiere que el sistema de fallas que emergen dentro de la Precordillera y la Cordillera Occidental, dentro de las cuales esta presenta la falla Ausipar, acomodan los desplazamientos de deslizamiento dextral (Farías, 2005). Por lo tanto, tal como el deslizamiento del terremoto de Aroma ocurrió en una falla empinada de vergencia este ciega que controla la flexión de Aroma, una situación similar podría ocurrir con la Falla Ausipar el cual controló el desarrollo del Anticlinal de Oxaya (García y Herail, 2005). La opción de un deslizamiento a lo

largo de la falla no puede descartarse aun cuando otros autores sostenga que no existe relación entre esta falla y el pliegue (Wörner y otros, 2002).

Según Pinto y otros (2004) el solevantamiento andino habría sido el responsable del desarrollo de un sistema de fallas y pliegues de vergencia hacia el suroeste que conforman el borde occidental de la Precordillera; En la zona de Arica ($18^{\circ}20'-19^{\circ}S$) el sistema está representado por la Falla Ausipar (Salas y otros 1966) y el Anticlinal de Oxaya, pliegue por propagación asociado a la falla (Parraguez, 1998, García, 2001). Más al sur ($19^{\circ}20'S$) se encuentra la Flexura Moquella (Pinto, 1999) y las flexuras de Aroma, Soga y Calacala ($19^{\circ}33'S$; Farías, 2003; Farías y otros, 2003) y al este de Iquique, la Flexura Altos de Pica ($20^{\circ}30'S$).

La actividad sísmica registrada entre los años 2001 (Martinod y otros, 2001 en Pinto y otros, 2004) y 2002 (Farías y otros, 2002 en Pinto y otros, 2004) en la zona de las quebradas Soga y Aroma sugiere que las flexuras Aroma y Soga son estructuras activas dejando abierta la posibilidad que una buena parte de las flexuras también lo sea.

Según lo expuesto por Boroschek y otros en 2002, los sismos en la zona norte de Chile presentan importantes aceleraciones y velocidades máximas, que podrían capaces de superar la demanda elástica establecida en la norma chilena de diseño NCh 433 of 96, poniendo en serio peligro las edificaciones que se construyen bajo esta norma.

6.3.5. Peligro volcánico

Los principales centros eruptivos de la Región de Arica y Parinacota se observan al este del área, ubicados principalmente en el sector altiplánico (Figura 6.02.).

De estos, cinco volcanes han mostrado actividad a lo largo de los últimos años; Tacora (5.980 m s.n.m.), Tarapacá (5.860 m s.n.m.), Parinacota (6.348 m s.n.m.), Guallatiri (6.071 m s.n.m.) y Arintica (5.597 m s.n.m.). El resto de conos se encuentran actualmente inactivos.

Dado que estos volcanes se encuentran al este de la Cordillera Oriental, a una distancia de más de 20 km del área de estudio, es posible descartar el flujo de lavas o piroclásticos que pudiesen afectar la obra de manera directa. Además, al considerar el promedio de dirección de los vientos (Figura 6.02.), la caída y acumulación de piroclastos ocurriría en dirección noreste, esto corresponde al sur de Perú y suroeste de Bolivia, por lo tanto no significaría en general, un problema para las obras del embalse. Sin embargo, existen ciertas horas de la madrugada (03:00-

06.00 a.m.) en los cuales puede evidenciarse un viento dirección NW, que podría desviar en este caso, la ceniza.

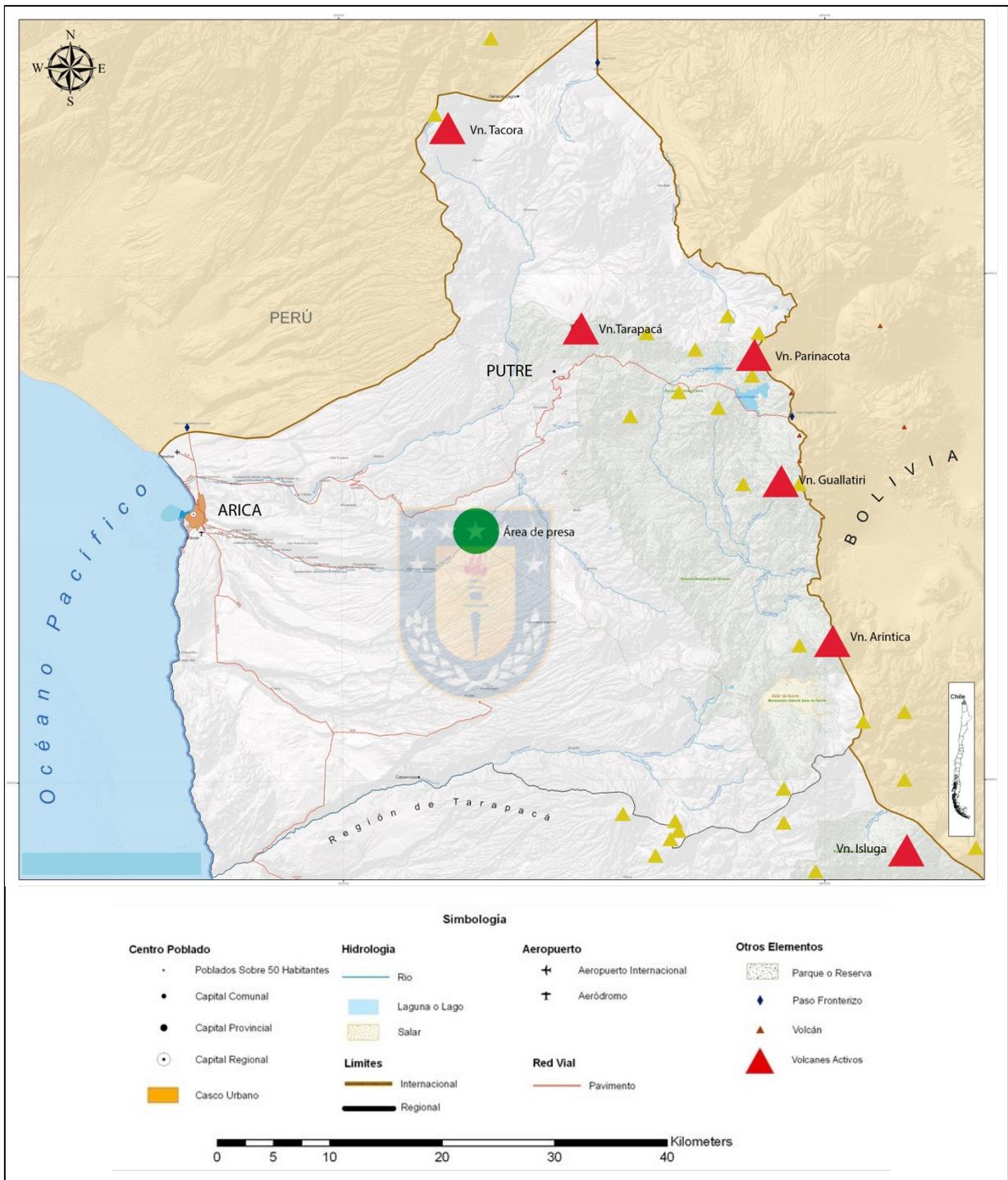


Figura 6.02. Conos mayores y menores de la XV Región de Arica y Parinacota (Modificado de ONEMI).

Mes del año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Año
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Dirección del viento dominante	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↗	↖	↖	↖	↖	↖
Probabilidad de viento >= 4 Beaufort (%)	35	30	25	18	10	7	7	10	18	25	32	36	21
Velocidad media del viento (kts)	9	8	8	7	7	6	6	6	7	8	8	8	7
Temperatura media del aire (°C)	24	24	23	21	20	18	17	17	17	19	20	22	20

Figura 6.03. Dirección promedio de los vientos sobre la Región de Arica y Parinacota, año 2018 (Tomado de *es.windfinder.com*).

Si así ocurriese, las consecuencias han sido bien descritas por Morris y Fan (1998; en Montañez, 2017), dando origen a: (1) pérdidas en la capacidad de almacenamiento; (2) incremento en los costos de operación debido a la abrasión de la maquinaria hidráulica y una disminución de la eficiencia; (3) bloqueo de las estructuras de toma y de salida del fondo o daño a las compuertas que no están diseñadas para el paso de sedimentos; (4) perturbaciones referentes al régimen hidrológico, el transporte de sedimentos y la morfología del cauce, los cuales generan cambios aguas arriba y abajo del embalse, (5) impactos sobre la biodiversidad y (6) impactos sobre la calidad de agua en el embalse y aguas debajo de la presa.

En la práctica, pueden tomarse como ejemplo embalses que han sufrido casos de caída de ceniza. El primer caso corresponde al embalse Alicura y las consecuencias que dejó la erupción del complejo volcánico Puyehue en 2011. El informe realizado por la autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro en 2011, contempló el monitoreo luego de 6 semanas transcurridas la erupción. En ello destaca, la acumulación de una capa gruesa de ceniza en el cuerpo de agua al día siguiente de la erupción. A la semana 2, observaron una pérdida de transparencia del agua y registros normales de pH, conductividad y oxígeno disuelto. Así como acumulación de piedra volcánica en la cola del embalse y elevada turbiedad a la zona de aducción. Los muestreos de la semana 6, indican una disminución del material particulado en suspensión, disminuyendo los tamaños en el área de presa y la cola del embalse. Según detalla el informe, el evento no significó mayores problemas para la presa, ya que las fracciones entre los 6 y 20 μm aportadas por la erupción no tienen efectos negativos sobre las instalaciones. Además, las barreras de contención y derivación instaladas en la dársena de aducción de la central fueron

efectivas para derivar las piedras volcánicas de mayor tamaño suspendidas (las cuales si podrían generar daño) en la superficie del embalse hacia el vertedero y consecuentemente aguas abajo

El segundo caso, corresponde al ocurrido en el complejo hidroeléctrico Futaleufú durante y post erupción del volcán Chaitén en 2008. En el informe confeccionado por Mastronardi (2011) evidencia problemas de turbidez similares a los ocurridos en el embalse Alicura. Este observa cambios en la escorrentía por impermeabilización del suelo producto de la acumulación y compactación de las cenizas, dando origen a algo con características de “cemento pobre”. Esto podría cambiar sustancialmente la escorrentía en la cuenca, o bien, disminuir la percolación e intercepción de las lluvias, generando condiciones propicias para una eventual e inusual crecida. Expresa además, la preocupación por la abundante acumulación de partículas sobre los aisladores y el techo de la casa de máquinas, lo cual podría hacer colapsar algunas estructuras. Al igual que el embalse de Alicura, este informe no describe mayores inconvenientes con el funcionamiento de la presa, salvo las grandes cantidades de ceniza que debían ser removidas desde y fuera de las instalaciones.

Por otro lado, el volcán Tarapacá es el centro eruptivo más cercano que podría afectar el área. Este no exhibe registro de actividad eruptiva histórica reciente. Sin embargo, tuvo un nutrido registro de actividad durante el Holoceno que originaron depósitos derivados de flujos de bloques y ceniza, avalanchas de detritos volcánicos, explosiones dirigidas, caída de piroclastos y lahares. Aun así, se descarta el peligro, ya sea alto, moderado o bajo, de dispersión y caída de material piroclástico. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, estos centros eruptivos podrían generar sismos de escasa a mediana intensidad que podrían afectar el embalse o contribuir con la generación de otros peligros geológicos.

Una potencial reactivación estaría ligada al emplazamiento de domos dacíticos y a la subsecuente generación de corrientes piroclásticas que afectarían con alta probabilidad el flanco suroeste del volcán, sector donde se localiza Putre.

El origen del río San José está en las aguas que recibe del; (1) el río Seco, que nace solo de las proximidades de Zapahuira, a 3.500 m, en el faldeo norte del Cerro Vilasamani (4428 m s.n.m.), y (2) el río Tignamar, que nace a los pies del cerro Orcutunco (5000 m s.n.m.) (DGA, 1978), el que recibe aportes de las quebradas Tumaya, Oxa, Vichuta, Huancare y Putagua (Aguilera, 2007 en Yáñez y Molina, 2011). Ninguno de estos valles y afluentes tiene conexión directa con los

principales conos activos de la región, por lo tanto no es de esperar la generación de fuertes flujos laharicos que puedan alcanzar la zona del embalse.

6.3.6. RECOMENDACIONES GENERALES

Como ha sido descrito anteriormente, se considera a los movimientos sísmicos como factores desencadenantes de deslizamientos y otros fenómenos de remoción, por lo tanto deben tomarse las precauciones del caso. Sin embargo, esto aplica a sectores particulares que presenten inestabilidad ante un potencial sismo.

Se recomienda tratar adecuadamente las fallas y estructuras geológicas que comprometan de alguna manera la obra, y en caso, de que estas presenten actividad relacionada con algún movimiento telúrico, se debe aislar la zona y monitorear eventuales desplazamientos.

También se debe prestar especial atención al coluvio suelto presente en las laderas de los cerros, para que estos no ocasionen desprendimientos de roca, los cuales se consideran eventos acotados, pero que pueden ser muy dañinos para la obra. Se aconseja además, limpiar las laderas de altas pendientes, en las que estos fragmentos representen un peligro potencial.

7. CONCLUSIONES

La angostura seleccionada para la ubicación del Embalse Livilcar está labrada en rocas volcánicas sedimentarias correspondientes al Miembro Inferior de la Fm. Livilcar que afloran en ambas laderas del valle. Esta se compone principalmente por lavas de composición andesítica, con una escasa meteorización superficial en ambos apoyos y ausencia de cubierta o sobrecarga de suelo. En general, la roca es competente, con características que la hacen muy dura (intensa alteración a sílice) y permeable, acompañada de fracturamiento superficial.

A pesar de lo anterior, la roca obtuvo una mala clasificación geotécnica, con mejores resultados en los ensayos de permeabilidad. Los valores mejoran con la profundidad y en dirección a la ladera izquierda. En el valle pueden observarse valores de *RQD* superiores al 25% bajo los 1.771,48 m s.n.m., con bajas permeabilidades desde los 1773,54 m s.n.m. Para la parte alta de la ribera norte, los valores de *RQD* no siguen una tendencia definida, excepto para EL-08 y EL-15 que presentan valores más acotados, con cifras rescatables desde los 1.833,2 m s.n.m., donde las permeabilidades también descienden a valores inferiores a 1,5 U.L. Para la parte baja de esta

ribera, la calidad mejora, con valores RQD que oscilan entre los 68% y 100%. Bajas permeabilidades se encuentran bajo la cota 1.785,5 m, según lo indicado por el sondaje EL-06. Finalmente, en la ribera sur se registran buenos valores de RQD bajo los 1.837,1 m s.n.m. con valores que alcanzan el 81% y 91%, para EL-10 y EL-09 respectivamente. Las permeabilidades disminuyen desde la cota 1.813,14 m con valores que rara vez superan las 0.5 U.L, sin embargo, los ensayos presentan admisiones francas en algunos sectores.

La calidad de la roca comprometida en las excavaciones del túnel varía de un 0,001 a 2 de Q , obteniendo así una clasificación excepcionalmente mala a mala según este criterio. Esto puede limitar las consideraciones para la fortificación del túnel, el cual requerirá hormigón proyectado con fibras, y bulonado, incluso, revestimiento de hormigón en zonas de peor calidad.

La mala calidad geotécnica y alta permeabilidad en ciertos sectores, como el área cercana al plinto en el entorno del cauce, puede ser responsabilidad de sectores de fallamiento que afectan negativamente la roca, sin embargo, este no es siempre el caso (EL-12 y EL-07). Por lo tanto, no es posible concluir una relación directa a las fallas. Esto se debe probablemente a la poca actividad tectónica que han tenido estas estructuras en los últimos millones de años.

Según lo observado en terreno, el sector es atravesado por un sistema de fallas de dirección NE-SW, que a su vez es afectado por otro sistema de dirección NW-SE, lo cual ha generado una mayor cantidad de fracturas en superficie, sobre todo hacia el norte. A pesar de esto y según lo observado, ninguna falla (o lineamiento) posee actividad geológica reciente, ni compromete el eje del muro, relleno o plintos.

En cuanto a los peligros geológicos, uno de ellos constituye potenciales deslizamientos y desprendimientos de roca en sedimentos poco estables y de baja consolidación, que se restringen a algunas laderas en la zona del vaso. Así como la presencia de coluvio suelto en pendientes abruptas, estas pueden presentar un peligro al saturarse el material con el agua embalsada. Si se realizan los tratamientos necesarios de impermeabilización o remoción, estos no deberían comprometer la seguridad ni la estabilidad de la presa, como tampoco el vaciado del agua embalsada. Sin embargo, es de tener en consideración el potencial generador de terremotos del sistema de empuje precordillerano, el cual ha generado grandes daños al interior de la región de Arica e Iquique. Esto puede evidenciarse por la reciente actividad de este sistema en la zona de Aroma en el terremoto del 2001. Cabe señalar que la falla Ausipar (cercana al área de estudio)

pertenece a este sistema, por tanto no se puede descartar una reactivación de esta estructura como lo sucedido en Aroma. Por otro lado, si ocurriese una erupción volcánica al oriente, existe la posibilidad que la nube piroclástica fuera atrapada por el viento NW que ocurre algunas horas de la madrugada. Dada esta condición, y según lo observado en otros embalses, esto no significaría problemas para el embalse (si se toman las medidas adecuadas), salvo los sismos que podría producir la erupción.

Respecto a la construcción de la presa, el lugar seleccionado permite que el empotramiento en ambas laderas, así como su apoyo basal, se efectúe sobre la roca. Esto sumado a la angostura del valle, hace que el sitio sea apto para emplazar un muro gravitacional ya sea de material suelto o de hormigón convencional (CFRD) o rodillado, junto a una cortina de inyecciones que ayude a la impermeabilización del embalse.

Es importante destacar que este estudio debe considerarse como un antecedente más a los aportes bibliográficos realizados por otros autores en el área, así como un análisis muy preliminar de la factibilidad del Embalse Livilcar. Es de suma responsabilidad no declarar este documento como un estudio definitivo de la zona, ya que las condiciones expuestas en este informe pueden variar producto de posterior intervención humana.

8. REFERENCIAS

ALFARO, A. 2011. Peligro sísmico en el segmento norte de la Región del Maule, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 136 pp. Santiago.

ANTAYHUA, J.; SALAS, H.; BERNAL, I.; RODRIGUEZ, S.; MILLONES, J.; JIMENEZ, C.; PEREZ, Y.; PORTUGAL, D.; INZA, A. Y ZAMUDIO Y. 2002. Análisis espacial de las réplicas del terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001 a partir de datos de una red sísmica local. Centro Nacional de Datos Geofísicos, Jefatura de Redes Geofísicas. Terremoto de la Región Sur de Perú del 23 de Junio de 2001: 47-58. Perú.

ARRAU, L. 1998. Modelo de simulación hidrológico operacional cuenca del rio San José. Dirección General de Aguas. AC Ingenieros Consultores LTDA, 406 pp. Santiago.

- BAEZA, L. 2010. Estudio Ambiental y Económico: Análisis mineralógico y geoquímico del sistema fluvial del río Lluta, XV Región de Arica y Parinacota, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 148 pp. Santiago.
- BAHLBURG, H. Y HERVÉ, F. 1997. (En prensa). Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and northern Chile. Geological Society of America Bulletin. United States.
- BARTON, N., LIEN, R. Y LUNDE J. 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics Vol. 6: 189-236.
- BIENIAWSKI, Z. 1989. Engineering Rock Mass Classification: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Wiley-Interscience: 249 pp., New York.
- BÖRGEL, R. 1983. Geomorfología de Chile, Tomo II. Colección Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar. Tomo 2: 23-26. Santiago.
- BOROSCHEK, R.; COMTE, D. Y MORALES, A. 2002. Características Ingenieriles del Terremoto de Ocoña del 23 de Junio de 2001. Centro Nacional de Datos Geofísicos, Jefatura de Redes Geofísicas. Terremoto de la Región Sur de Perú del 23 de Junio de 2001: 379 – 388. Perú.
- CAMPOS, H.; DÍAZ, G. Y CAMPOS, C. 2007. Aportes sedimentarios de los ríos Lluta y San José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. *IDESIA*, Vol. 25 (2): 37-48. Chile.
- CHARRIER, R.; CHÁVEZ, A.; ELGUETA, S.; HÉRAIL, G.; FLYNN, J.; CROFT, D.; WYSS, A.; RIQUELME, R. Y GARCÍA, M. 2005. Rapid tectonic and paleogeographic evolution associated with the development of the Chucal anticline and the Chucal-Lauca Basin in the Altiplano of Arica, northern Chile. *Journal South American Earth Sciences*, Vol. 19: 35-54. Amsterdam.
- CLAVERO, J.; SPARKS, R. Y POLANCO, E. 2012. Geología del volcán Parinacota, Región de Arica y Parinacota (Versión corregida). Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica 132: 31 pp., Santiago.
- COLOMA, F.; VALIN, X.; OLIVEROS, V.; VÁSQUEZ, P.; CREIXELL, C.; SALAZAR, E.; DUCEA, M. Y VALLEJOS, D. 2017. Geochemistry of Permian to Triassic igneous rocks from

northern Chile (28°-30°15'S): Implications on the dynamics of the proto-Andean margin. *Andean Geology*. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. Chile.

CONIC-BF. 1996. Análisis operacional del sistema Lauca-Azapa, I región. Departamento de Explotación, Ministerio de Obras Públicas. 178 pp. Chile.

CUADRA, M. 2017. Caracterización de la susceptibilidad a la ocurrencia de remociones en masa en el valle del río Lluta, entre Chapisca y Socoroma, Región de Arica y Parinacota, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 98 pp. Santiago.

DEFINIS, A. 2008. Geología Distrito quebrada Vitor, Arica, Chile. ENAMI. Geostad Consultores Chile: 45 pp., Antofagasta.

DEL AGUA, D. Y HUAPI, N. 2011. Erupción del complejo volcánico Puyehue - Cordón Caulle, Monitoreo Ambiental en la Cuenca (Junio – Julio 2011). Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro, Secretaría de Gestión Ambiental: 40 pp. Argentina.

DGA. 1978. Hoyas Hidrográficas de Chile: Primera región. Centro de Información Recursos Hídricos, Área de Documentación: 122 pp. Chile.

ENAP. 1989. Geología Altiplano de Arica. Chile Hunt Oil Company. 62 pp. Santiago. Chile

FARÍAS, V. 2012. Análisis geomorfológico de megadeslizamientos entre las quebradas Camarones y Tiliviche, región de Tarapacá. Memoria para optar al título de Geóloga. Universidad de Chile (Inédito): 107 pp., Santiago.

FARÍAS, M.; CHARRIER, R.; COMTE, D. MARTINOD, J. Y HÉRAIL, G. 2005. Late Cenozoic deformation and uplift of the western flank of the Altiplano: Evidence from the depositional, tectonic, and geomorphologic evolution and shallow seismic activity (northern Chile at 19°30'S). *Tectonics* Vol. 24 (4): 28 pp. United States.

FERNÁNDEZ, M. 2007. Arica 1868, un tsunami y un terremoto. Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos. Santiago, Chile.

FLORES, A; ACOSTA, J.; BEDOYA, C. Y SEMPERE, T. 2005. Oligocene-Neogene tectonics and sedimentation in the forearc of southern Peru, Tacna area (17.5°-18.5°S). 6th International Symposium on Andean Geodynamics, Extended Abstracts: 269-272. Barcelona

GALLI, C. Y DINGMAN, R. 1962. Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla, Provincia de Tarapacá. Instituto Investigación Geológica. Carta Geológica Chile, Vol. 3 (N° 2-5): 125 pp.

GARCÍA, M. Y HÉRAIL, G. 2005. Fault-related folding, drainage network evolution and valley incision during the Neogene in the Andean Precordillera of Northern Chile. *Geomorphology*. Vol. 65 (3-4): 279-300. Amsterdam.

GARCÍA, M.; HÉRAIL, G. Y CHARRIER, R. 1996. The Cenozoic forearc evolution in northern Chile: The western border of the Altiplano of Belén (Chile). International Symposium on Andean Geodynamics N° 3. ORSTOM Editions, Collection Colloques et Seminaires: 359-362. St. Malo, France.

GARCÍA, M.; HERAIL, G. Y CHARRIER, R. 1997. Evolución estratigráfica y tectónica del borde oeste de la Cordillera Occidental, en el área de Belén. Congreso Geológico Chileno N° 8. Vol. 1 (1): 60 – 64. Antofagasta, Chile.

GARCÍA, M.; HERAIL, G. Y CHARRIER, R. 1999. Age and structure of the Oxaya Anticline: A major feature of the Miocene compressive structures of northernmost, Chile. Fourth International Symposium on Andean Geodynamics. Universität Göttingen: 249 – 251. Germany.

GARCÍA, M.; HERAIL, G. Y GARDEWEG, M. 1999. Oligo-Miocene ignimbritic volcanism of northern Chile (Arica region): stratigraphic and geochronology. Fourth International Symposium on Andean Geodynamics. Universität Göttingen: 253 – 256. Germany.

GARCÍA, M.; GARDEWEG, M.; CLAVERO, J. Y HÉRAIL, G. 2004. Hoja Arica, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 84: 150 p., 1 mapa escala 1:250.000.

GARCÍA, M.; GARDEWEG, M.; HÉRAIL, G. Y ARCE, C. p. d. 2000. La Ignimbrita Oxaya y la Caldera Lauca: Un evento explosivo de gran volumen del Mioceno inferior en la Region de Arica (Andes Centrales; 18-19°S). Congreso Geológico Chileno N° 9. Vol 2: 286-290. Puerto Varas.

GARCÍA, M.; MAKSAEV, V.; TOWNLEY, B. Y DILLES, J. 2017. Metallogeny, structural evolution, post-mineral cover distribution and exploration in concealed areas of the northern Chilean Andes: *Ore Geology Reviews*. Vol. 86: 652–672. Amsterdam.

GIARDINI, D. Y BASHAM, P. 1993. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP). *Annals of Geophysics*, Vol. 36 (3–4): 3–13. Italy.

GLASS, B.; LEIVA, C. Y MENESES, C. 2013. Estudio de la organización de la sismicidad en torno al terremoto del 24 de julio del 2001 en el norte de Chile. *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, 21(3): 448-456. Chile.

GONZÁLEZ, L.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. Y OTEO, C. 2002. *Ingeniería geológica*. Pearson Educación, Prentice Hall: 715 pp., Madrid.

HAYES, G.; HERMAN, M.; BARNHART, W.; FURLONG, K.; RIQUELME, S.; BENZ, H.; BERGMAN, E.; BARRIENTOS, S.; EARLE, P. Y SAMSONOV, S. 2014. Continuing megathrust earthquake potential in Chile after the 2014 Iquique earthquake. *Nature* Vol. 512: 295–298. United Kingdom.

HERRERA, S.; PINTO, L.; DECKART, K.; CORTÉS, J. Y VALENZUELA, J. 2017. Cenozoic tectonostratigraphic evolution and architecture of the Central Andes in northern Chile based on the Aquine region, Western Cordillera (19°-19°30' S). *Andean Geology*, Vol. 44 (2): 87-122, Chile.

HOULSBY, A. 1990. *Construction and Design of Cement Grouting: A Guide to Grouting in Rock Foundations*. Wiley-Interscience: 466 pp., United States.

ITURRA, N. 2016. Hidrogeología del sistema hídrico Parinacota-Cotacotani, Altiplano de la XV Región de Arica y Parinacota. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 174 pp. Santiago.

KARZULOVIC, J. 1981. Estudio geotécnico e hidrogeológico cuencas altiplánicas Laguna Chungara - Laguna Cotacotani - Rio Lauca superior. Dirección de riego. Ministerio de Obras Públicas. Tomo 1: 19. Santiago.

LAHSEN, A. 1982. Evolución tectónica, sollevamiento y actividad volcánica de los Andes del norte de Chile, durante el Cenozoico superior. Congreso Geológico Chileno N° 3. (B): 1-24. Concepción.

LAHSEN, A. 1983. Geología de los cuadrángulos Aiquina, Putana, Licancabur y Cerros de Gauyaques. Departamento Geología, SERNAGEOMIN. 95 pp. Santiago.

LANGE, D.; RIETBROCK, A.; HABERLAND, C.; BATAILLE, K.; DAHM, T.; TILMANN, F. Y FLÜH, E. 2007. Seismicity and geometry of the south Chilean subduction zone (41.5°S–43.5°S): Implications for controlling parameters. *Geophysical Research Letters*. Vol. 34 (6). United States.

LAVENU, A. 1986. Étude tectonique et néotectonique de l'Altipiano et de la Cordillère orientale des Andes Boliviennes. *Géo-dynamique*. Vol. 1: 147-152.

LAY, T.; YUE, H.; BRODSKY, E. Y AN, C. 2014. The 1 April 2014 Iquique, Chile, Mw 8.1 earthquake rupture sequence. *Geophysical Research Letters* Vol. 41(11): 3818-3825. United States.

LEGRAND, D. 2005. Coseismic deformation of the crustal Mw=6.3, 2001, Chusmiza, Chile event triggered by the subduction Mw=8.4, 2001, Arequipa, Peru earthquake studied using seismological data. AGU Fall Meeting Abstracts Vol. 2005: S43A-1051. United States.

LEÓN, T. 2018. Registro de tsunamis y paleotsunamis en la costa de Taltal, Región de Antofagasta, Chile. Tesis para optar al grado de magister en ciencias mención Geología. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 108 pp. Santiago.

LETELIER, V. 2013. Estudio Geomorfológico de Mega-Remociones en Masa, Quebrada Aroma, Región de Tarapacá. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 106 pp. Santiago.

LOEWY, S.; CONNELLY J. Y DALZIEL I. 2004. (En prensa). An orphaned basement block: The Arequipa-Antofalla Basement of the central Andean margin of South America. *Geological Society of America Bulletin*. United States.

MARDONES, M. y VIDAL, C. 2001. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción, EURE. Vol. 27, (81): 97-122. Santiago.

MARQUEZ, P. Y MACHADO, B . 2000. J. Barry Cooke Volume: Concrete Face Rockfill Dams, Chinese Committee on Large Dams: 315 pp., Beijing.

MASTRONARDI, J. 2011. La operación hidroeléctrica ante la erupción del volcán Chaitén. Hidroeléctrica Futaleufú S.A. Seminario Internacional N°3: Hidrología Operativa y Seguridad de Presas 21 al 24 de abril de 2010 Concordia – Entre Ríos. Revista Cier Vol. 59, Operación y mantenimiento de centrales ante desastres naturales: 68-80. Argentina.

MISKOVIC, A.; SPIKINGS, R.; CHEW, D.; KOSLER, J.; ULIANOV, A. Y SCHALTEGGER, U. 2009. (En prensa). Tectonomagmatic evolution of Western Amazonia: Geochemical Peruvian Eastern Cordilleran granitoids characterization and zircon U-Pb geochronologic constraints from the Peruvian Eastern Cordilleran granitoids. Geological Society of America Bulletin. United States

MONTAÑEZ, J. 2017. Estrategias para el manejo de sedimentos en embalses. Tesis de Bachillerato. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Departamento de ingeniería civil y ambiental Bogotá D.C. 28 pp. Colombia.

MONTECINOS, F. 1963. Observaciones de Geología en el Cuadrángulo Campanani. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 109 pp., Santiago.

MOP. 2008. Levantamiento Hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la zona norte de Chile, Regiones XV, I, II y III. Pontificia Universidad Católica de Chile: 10, 51, 52, 41, 43. 122 pp. Chile.

MOP. 2010. Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota. Dirección General de Aguas, División de estudios y planificación: 73 pp. Santiago.

MOP. 2014. Caracterización de la cuenca del Rio San José para la implementación de un programa de recarga artificial de acuíferos. Instituto Nacional de Hidráulica: 1, 32, 33. 61 pp. Chile.

MPODOZIS, C. Y RAMOS, V. 1989. The Andes of Chile and Argentina. Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources: Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series, Vol. 11 (5): 59-90.

MUÑOZ, N. Y SEPÚLVEDA, P. 1992. Estructuras compresivas con vergencia al oeste en el borde oriental de la Depresión Central, Norte de Chile (19° 15'S). ENAP, Compañía 1085. Revista Geológica Chile, Vol. 19. N° 2: 241 – 247, Chile.

MUÑOZ, N.; ELGUETA, S. Y HARAMBOUR, S. 1988. El sistema Jurásico (Fm. Livilcar) en el curso superior de la quebrada de Azapa, I-Región: Implicancias paleogeográficas. Congreso Geológico Chileno N° 5. Tomo 1: 403-415. Santiago.

MUÑOZ, M. 2006. Estudio de la auto-organización de la sismicidad en la zona 17° a 21° s/68° a 71° w, después del terremoto de Arequipa en Perú de 2001, Mw= 8, 4. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil. Chile.

NARANJO, J. 1997. Hallazgo de una gigantesca avalancha de detritos del Cenozoico Superior en Oxaya, Región de Tarapacá. El Altiplano: Ciencia y conciencia en Los Andes. Universidad de Chile: 69–74. Santiago.

NARANJO, J. Y PASKOFF, R. 1985. Evolución Cenozoica del Piedemonte Andino en la Pampa del Tamarugal, Norte de Chile (18°-21°S). Congreso Geológico Chileno N° 4. Tomo 5-9: 149-165. Antofagasta. Chile.

NIEMEYER, H. 1964. Ampliación de los recursos del río Lauca. *Revista Chilena Ingeniería*. Vol. 303: 2 - 11. Santiago, Chile.

NIEMEYER, H. 1980. Hoyas Hidrográficas de Chile: Primera Región. Dirección General de Aguas. Chile.

OKUWAKI, R.; YAGI, Y.; ARÁNGUIZ, R.; GONZÁLEZ, J. Y GONZÁLEZ, G. 2016. Rupture process during the 2015 Illapel, Chile earthquake: Zigzag-along-dip rupture episodes. *Pure and Applied Geophysics* Vol. 173(4): 1011-1020. United Kingdom.

PANKHURST, R.; RAPELA, C.; FANNING, C. Y MÁRQUEZ, M. 2006. (En prensa). Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth – Science Reviews*. Elsevier. Netherlands.

PARRAGUEZ, G.; HERAIL, G. Y ELGUETA, S. 1997. Antecedentes cronológicos de la Formación Azapa en la Provincia de Arica, Región de Tarapacá (Chile). Congreso Geológico Chileno N° 8. Vol. 1 (3): 559-562. Antofagasta. Chile.

PINTO, L. 1999. Evolución tectónica y geomorfológica de la deformación cenozoica del borde occidental del Altiplano y su registro sedimentario entre los 19°08'-19°27'S, Región de Tarapacá, Chile. Tesis para optar al Título de Geólogo y al Grado de Magíster en Ciencias, Mención Geología. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 125 pp. Santiago.

PINTO, L.; HERAIL, G. Y CHARRIER, R. 2004. Sedimentación sintectónica asociada a las estructuras neógenas en la Precordillera de la zona de Moquella, Tarapacá (19°15' S, norte de Chile). Revista Geológica de Chile, Vol. 31. N°1: 19-44, Chile.

PINTO, L.; HÉRAIL, G.; SEPÚLVEDA S. Y KROP, P. 2008. A Neogene giant landslide in Tarapaca, northern Chile: A signal of instability of the westernmost Altiplano and palaeoseismicity effects. *Geomorphology*, Vol. 102 (3-4): 532–541. Amsterdam.

PORTUGAL, D.; HAESSTER, M.; MONTES, H.; ANTAYHUD, I.; BALMACEDA, I. Y CRUZ, A. 2002. Análisis del Terremoto del Sur del Perú, 23 de Junio 2001, Mw= 8.4. Centro Nacional de Datos Geofísicos, Jefatura de Redes Geofísicas. Terremoto de la Región Sur de Perú del 23 de Junio de 2001: 47-58. Perú.

QUEZADA, J., Y CERDA, J. 2003. Incisiones transversales profundas en la Cordillera de la Costa del Norte grande de Chile: ¿erosión de un alto topográfico al oeste del gran acantilado costero. Congreso Geológico Chileno N° 10. Concepción, Chile.

RAMOS, V. 2008. (En prensa). The Basement of the Central Andes: The Arequipa and Related Terranes. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. United States.

RAMOS, V. 2010. (En prensa). The Grenville-age basement of the Andes. Journal of South American Earth Science. United States.

RAULD, M.; LEYTON, F. & VARGAS, C. 2011. Estudio fundado de riesgos, diagnóstico de Peligro Naturales en la Comuna de Coronel. Plan regulador comunal de Coronel: 83 pp. Concepción.

- REY, A. d.; DECKART, K.; ARRIAGADA, C. Y MARTÍNEZ, F. 2016. (En prensa). Resolving the paradigm of the late Paleozoic – Triassic Chilean magmatism: Isotopic approach. Gondwana Research. Elsevier. Netherlands.
- RESÉNDIZ, D. Y MARSAL, R. 1979. Presas de tierra y enrocamiento. Limusa. 546 pp. Mexico.
- ROCHAT, P. 2000. Structure et cinématique de l'Altiplano Nord bolivien. Univ. Joseph Fourier-Grenoble 1 (Thesis): 268 pp, France.
- RONDINEL-OVIEDO, E. 2005. The June 13th, 2005 Mw 7.8 Tarapacá (Chile) earthquake. Technical report, Earthquake Engineering Research Institute. Perú.
- RUEGGA, J.; RUDLOFF, A.; VIGNY, C.; MADARIAGA, R.; CHABALIER J. D.; CAMPOS, J.; KAUSEL, E.; BARRIENTOS, S. Y DIMITROV, D. 2009. Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile. *Physics Earth and Planetary Interiors*. Vol. 175 (1-2): 78-85. Amsterdam.
- SALAS, R.; KAST, R.; MONTECINOS, F.; SALAS, I. 1966. Geología y recursos minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. *Instituto de Investigaciones Geológicas*. Vol. **21**: 130 pp., Santiago.
- SATAKE, K. Y HEIDARZADEH, M. 2017. A review of source models of the 2015 Illapel, Chile earthquake and insights from tsunami data. *Pure and Applied Geophysics*, 174(1): 1-9. United Kingdom.
- SCHURR, B.; ASCH, G.; HAINZL, S.; BEDFORD, J.; HOECHNER, A.; PALO, M.; WANG, R.; MORENO, M.; BARTSCH, M.; ZHANG, Y.; ONCKEN, O.; TILMANN, F.; DAHM, T.; VICTOR, P.; BARRIENTOS, S. Y VILOTTE, J. 2004. Gradual unlocking of plate boundary controlled initiation of the 2014 Iquique earthquake. *Nature* Vol. 512: 299–302. United Kingdom.
- SELLÉS, D.; GARDEWEG, M. Y GARIBALDI, N. 2016. Geología del Área Pampa Lirima-Cancosa, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 182: 114 p. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- SEYFRED, H.; WÖRNER, G.; UHLIG, D.; KOHLER, I. Y CALVO, C. 1998. Introducción a la geología y morfología de los Andes en el norte de Chile. *Chungara*. Universidad de Tarapacá. Vol. **30**: 7-39. Arica.

SHROFF, A. Y SHAH D. 1999. Grouting Technology in tunneling and dam construction, second edition. A.A. Balkema Publishers: 590 pp, Rotterdam.

SIRVAS, F. Y TORRES, E. 1966. Consideraciones geológicas de la zona noroeste de la provincia Pacajes, Departamento de La Paz. *Boletín Instituto Boliviano del Petróleo*. Vol. 6 (1): 54-64. Bolivia.

STRASSER, M. Y SCHLUNEGGER, F. 2005. Erosional processes, topographic length-scales and geomorphic evolution in arid climatic environments: the ‘Lluta collapse’ northern Chile. *International Journal Earth Sciences (Geologische Rundschau)*. Vol. 94: 433–446. Germany.

TASSARA, A. Y YÁÑEZ, G. 2003. Relación entre el espesor elástico de la litosfera y la segmentación tectónica del margen andino (15 – 47°S). *Revista Geológica Chile*, Vol. 30: 159 – 186. Santiago.

TAVERA, H. 2002a: Historia de un terremoto anunciado para la Región sur del Perú. Centro Nacional de Datos Geofísicos, Instituto Geofísico del Perú. El terremoto de la región sur de Perú del 23 de junio de 2001: 11-18. Perú.

TAVERA, H., Y BERNAL, I. 2002. Grandes terremotos y áreas de ruptura en la región sur de Perú: Terremoto de Arequipa del 23/06/2001. El terremoto de la región sur de Perú del 23 de junio de 2001: 129-138. Perú.

TAYLOR, G. Jr. 1949. Geology and ground water of the Azapa valley, Province of Tarapacá, Chile. *Economic Geology*. Vol. 44: 40 – 62. United States.

TOSDAL, R., FARRAR, E. Y CLARK, A. 1980. K–Ar Geochronology of the Late Cenozoic volcanic rocks of the Cordillera Occidental, southernmost Peru. *Journal Volcanology Geothermal Research*. Vol. 10: 157– 173. Amsterdam.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. 1995. Planning and design of navigation dams, Engineering and Design. Engineering Manual: 122 pp. Washington, DC.

VICENTE, J. 2006. Dynamic paleogeography of the Jurassic Andean Basin: Pattern of regression and general considerations on main features. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 61, (3): 408-437. Argentina.

VICTOR, P. 2000. Die Entwicklung der Altiplano Westflanke und ihre Bedeutung für die Plateaubildung und Krustenverdickung in N-Chile (20–21°S). PhD thesis, Freie Universität, Berlin (Inédito): 100 pp. Berlin, Germany.

VILA, T. 1976. Secuencia estratigráfica del morro de Arica, Provincia de Tarapacá, Chile. Congreso Geológico Chileno N° 1: A1-A10. Chile.

VÖGEL, S.; VILA, T. 1980. Cuadrángulos Arica y Poconchile. Región de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica **35**: 24 pp., Santiago

WEAVER, K. 1991. Dam Foundation Grouting. American Society of Civil Engineers: 178 pp., New York.

WILSON, J. Y GARCÍA, W. 1962. Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca, Perú. Comisión Carta Geológica Nacional. Vol. 2, Boletín N° 4: 81 pp. Perú.

WÖRNER, G.; UHLIG, D.; KOHLER, I. Y SEYFRIED, H. 2002. Evolution of the West Andean Escarpment at 18 S (N. Chile) during the last 25 Ma: uplift, erosion and collapse through time. *Tectonophysics*, 345(1-4), 183-198. Amsterdam.

YAÑEZ, N. Y MOLINA, R. 2011. Las aguas indígenas en Chile. LOM Ediciones: 276 pp. Santiago.



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA**



ANEXO I



CÁLCULO DE ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD) Y ROCK MASS RATING (RMR)

ÍNDICE ANEXO I

	Pág.
1. SONDAJES	1
1.1. INFORMACIÓN DE SONDAJES	1
1.2. CÁLCULO DE RQD Y RMR POR SONDAJE	2
EL-01	2
EL-02	3
EL-03	4
EL-04	5
EL-05	6
EL-06	7
EL-07	8
EL-08	9
EL-09	10
EL-10	11
EL-11	12
EL-12	13
EL-13	14
EL-14	15
EL-15	16
EL-16	17
EL-17	18
CANTERA-01	19
CANTERA-02	20
2. GLOSARIO	21

1. SONDAJES

1.1. INFORMACIÓN DE SONDAJES

Nombre Sonda	Profundidad	Coordenadas U.T.M. (m)		Orientación		Cota (m)
		Norte	Este	Incl.(°)	Azimut (°)	
El - 01	40.00 m	7,953,847.54	424,172.91	Vertical	N/A	1,809.33
El - 02	43.70 m	7,953,869.20	424,168.44	Vertical	N/A	1,808.54
El - 03	47.80 m	7,953,896.40	424,155.50	Vertical	N/A	1,806.08
El - 04	40.00 m	7,953,934.83	424,137.86	Vertical	N/A	1,809,88
El - 05	50.00 m	7,753,950.32	424,128.59	Vertical	N/A	1.808,57
El - 06	60.00 m	7,953,928.00	424,068.00	Vertical	N/A	1.831,00
El - 07	70.00 m	7,953,919.00	424,898.00	Vertical	N/A	1.863.00
El - 08	80.00 m	7,953,918.00	424,989.00	Vertical	N/A	1,877.00
El - 09	60.00 m	7,953,831.00	424,124.00	Vertical	N/A	1,841.00
El - 10	50.00 m	7,953,812.00	424,096.00	Vertical	N/A	1,856.00
El - 11	50.00 m	7,953,787.00	424,076.00	Vertical	N/A	1,870.00
El - 12	50.00 m	7,953,953.00	424,088.00	Vertical	N/A	1,860.00
El - 13	40.00 m	7,953,892.00	423,930.00	Vertical	N/A	1,837.00
El - 14	20.00 m	7,953,880.62	423,886.29	Vertical	N/A	1,816.50
El - 15	40.00 m	7,953,945.00	424,015.00	Vertical	N/A	1.894,00
El - 16	40.00 m	7,953,967.00	424,039.00	Vertical	N/A	1,899.00
El - 17	31.00 m	7,953,982.00	424,143.00	Vertical	N/A	1,837.00
CANTERA-01	40.00 m	7,954,727.00	425,794.00	Vertical	N/A	1,996.50
CANTERA-02	50.00 m	7,955,090.00	425,965.00	Vertical	N/A	2,072.00

1.2. CÁLCULO DE RQD Y RMR POR SONDAJE

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.		Pje.	Descripción	Pje.				
EL-01	0.00	1.00	1.00	0.25	25	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	Sobrecarga de gravas y arena fina			
	1.00	1.80	0.80	0.80	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Mala	Extremadamente mala	Rock fracturada, semi descompuesta
	1.80	2.60	0.80	0.80	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	2.60	3.60	1.00	1.00	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	3.60	5.10	1.50	1.40	93	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	5.10	6.60	1.50	0.80	53	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	6.60	8.00	1.40	1.10	79	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	8.00	8.60	0.60	0.60	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Regular	Extremadamente mala	Roca fracturada o triturada
	8.60	9.60	1.00	0.95	95	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	9.60	10.90	1.30	1.30	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	10.90	11.70	0.80	0.75	94	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	55			
	11.70	12.40	0.70	0.70	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	55			
	12.40	12.60	0.20	0.20	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	55			
	12.60	13.00	0.40	0.35	87	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	55	Muy mala	Extremadamente mala	
	13.00	13.60	0.60	0.55	92	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50			
	13.60	14.20	0.60	0.55	92	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50			
	14.20	15.00	0.80	0.60	75	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50			
	15.00	15.60	0.60	0.60	100	10	17	100	12	17	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50			
	15.60	16.00	0.40	0.40	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50			
	16.00	16.85	0.85	0.85	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50	Mala	Extremadamente mala	Roca dura fracturada, material fracturado con rellenos blandos arcillosos
	16.85	17.30	0.45	0.45	100	12	27	100	12	27	8	<60	5	-	20	Húmedo	10	55			
	17.30	18.00	0.70	0.70	100	13	19	80	7	19	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	18.00	18.60	0.60	0.60	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	18.60	19.40	0.80	0.60	75	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	19.40	20.30	0.90	0.90	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	20.30	20.65	0.35	0.20	57	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45	Mala	Extremadamente mala	
	20.65	21.60	0.95	0.80	84	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	21.60	22.00	0.40	0.25	63	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	22.00	23.20	1.20	0.40	33	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	23.20	24.05	0.85	0.80	94	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	24.05	24.50	0.45	0.45	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	24.50	24.95	0.45	0.30	67	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32	Regular	Extremadamente mala	
	24.95	25.55	0.60	0.60	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	25.55	26.00	0.45	0.45	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	26.00	27.00	1.00	1.00	100	13	13	80	7	13	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	35			
	27.00	27.60	0.60	0.60	100	14	23	80	7	23	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	27.60	28.35	0.75	0.75	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	28.35	29.75	1.40	1.30	93	14	10	80	7	10	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	35	Mala	Extremadamente mala	
	29.75	30.00	0.25	0.25	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
30.00	30.60	0.60	0.60	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				
30.60	32.10	1.50	1.50	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				
32.10	33.60	1.50	1.50	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				
33.60	34.35	0.75	0.60	80	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				
34.35	35.00	0.65	0.65	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45	Regular	Extremadamente mala		
35.00	36.10	1.10	1.10	100	13	12	80	7	12	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48				
36.10	36.60	0.50	0.40	80	10	20	80	7	20	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				
36.60	37.40	0.80	0.75	94	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				
37.40	37.85	0.45	0.40	89	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				
37.85	38.55	0.70	0.70	100	45	64	80	7	64	13	<60	5	-	20	Húmedo	10	55				
38.55	38.85	0.30	0.30	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45	Muy mala	Extremadamente mala		
38.85	39.20	0.35	0.35	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				
39.20	40.00	0.80	0.80	100	11	14	80	7	14	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45				

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.		Pje.	Descripción	Pje.				
EL-02	0.00	0.80	0.80	0.15	19	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	Sobrecarga compuesto de gravas y bolones redondeados polimícticos, andesita-riolíticos y arena fina			
	0.80	2.00	1.20	0.50	42	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	2.00	3.00	1.00	0.75	75	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	3.00	4.00	1.00	0.65	65	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	4.00	5.00	1.00	0.50	50	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	5.00	6.00	1.00	0.40	40	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	6.00	6.30	0.30	0.30	100	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	6.30	7.00	0.70	0.65	93	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	7.00	7.75	0.75	0.35	47	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	7.75	8.50	0.75	0.75	100	11.00	15	70	7	15	3	60-200	8	-	20	Seco	15		53	Regular	Muy mala
	8.50	9.50	1.00	0.75	75	0.00	0	70	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	9.50	11.00	1.50	0.75	50	0.00	0	70	7	0	3	200-600	10	-	20	Seco	15	55	Regular	Muy mala	
	11.00	11.45	0.45	0.40	89	0.00	0	70	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Regular	Mala	
	11.45	12.50	1.05	0.95	90	21.00	20	70	7	20	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Muy mala	
	12.50	14.00	1.50	1.50	100	30.00	20	70	7	20	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Muy mala	
	14.00	14.70	0.70	0.70	100	10.00	14	70	7	14	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Mala	
	14.70	15.50	0.80	0.80	100	27.00	34	70	7	34	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Buena	Regular	
	15.50	17.00	1.50	1.40	93	90.00	60	70	7	60	13	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Buena	Regular	
	17.00	18.50	1.50	1.10	73	39.00	26	70	7	26	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Mala	
	18.50	19.00	0.50	0.35	70	0.00	0	70	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	19.00	20.00	1.00	1.00	100	37.00	37	70	7	37	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Mala	
	20.00	20.45	0.45	0.40	89	0.00	0	70	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	20.45	21.40	0.95	0.95	100	0.00	0	70	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	21.40	22.40	1.00	1.00	100	36.00	36	70	7	36	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Mala	
	22.40	23.00	0.60	0.60	100	13.00	22	70	7	22	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Muy mala	
	23.00	23.50	0.50	0.50	100	0.00	0	70	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	23.50	24.00	0.50	0.50	100	0.00	0	70	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala	
	24.00	24.50	0.50	0.50	100	27.00	54	70	7	54	13	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Buena	Regular	Roca dura fracturada
	24.50	25.45	0.95	0.95	100	60.00	63	70	7	63	13	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Buena	Mala	
	25.45	26.65	1.20	1.20	100	30.00	25	70	7	25	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	26.65	27.20	0.55	0.50	91	0.00	0	70	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Muy mala	
	27.20	28.00	0.80	0.80	100	10.00	13	70	7	13	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Mala	
	28.00	29.00	1.00	1.00	100	25.00	25	100	12	25	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Muy mala	
	29.00	30.50	1.50	1.50	100	30.00	20	100	12	20	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Mala	
	30.50	31.25	0.75	0.75	100	11.00	15	100	12	15	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Muy mala	
	31.25	32.10	0.85	0.85	100	14.00	16	100	12	16	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Buena	Mala	
	32.10	33.50	1.40	1.15	82	40.00	29	100	12	29	8	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Regular	Muy mala	
	33.50	34.00	0.50	0.50	100	10.00	20	100	12	20	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Mala	
	34.00	34.70	0.70	0.60	86	35.00	50	140	12	50	8	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Buena	Muy mala	
	34.70	36.00	1.30	1.30	100	48.00	37	140	12	37	8	200-600	10	-	20	Seco	15	65	Buena	Mala	
	36.00	36.50	0.50	0.50	100	43.00	86	140	12	86	17	200-600	10	-	20	Húmedo	10	69	Buena	Buena	
	36.50	38.00	1.50	1.50	100	94.00	63	140	12	63	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65	Regular	Regular	
38.00	39.00	1.00	1.00	100	22.00	22	140	12	22	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53	Regular	Muy mala		
39.00	40.20	1.20	1.20	100	70.00	58	140	12	58	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65	Buena	Regular		
40.20	41.70	1.50	1.50	100	26.00	17	140	12	17	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53	Regular	Muy mala		
41.70	42.90	1.20	1.10	92	0.00	0	140	12	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53	Regular	Extremadamente mala		
42.90	43.70	0.80	0.80	100	27.00	34	140	12	34	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Regular	Mala		

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hidrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.	
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.		Pje.	Descripción	Pje.					
EL-03	0.00	1.00	1.00	0.50	50	0	0	0	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-	Sobrecarga compuesto de gravas gruesas-medias, bolones y bloques sub redondeados de composición principalmente riolítica y sin matriz, en algunos casos arena fina.				
	1.00	1.50	0.50	0.40	80	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	1.50	2.80	1.30	1.25	96	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	2.80	3.70	0.90	0.40	44	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	3.70	4.20	0.50	0.50	100	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	4.20	5.00	0.80	0.80	100	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	5.00	6.00	1.00	0.90	90	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	6.00	7.00	1.00	1.00	100	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	7.00	7.30	0.30	0.30	100	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	7.30	8.00	0.70	0.60	86	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	8.00	9.20	1.20	0.40	33	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	9.20	10.00	0.80	0.35	44	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	10.00	10.50	0.50	0.25	50	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	10.50	11.30	0.80	0.70	87	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	11.30	12.05	0.75	0.75	100	0	0	0.05	0	0	3	<60	5.00	-	-	-	-					
	12.05	13.05	1.00	1.00	100	0	0	60	7	0	3	<60	5.00	-	10	Seco	15		40			
	13.05	14.05	1.00	0.70	70	0	0	60	7	0	3	60-200	8.00	-	10	Húmedo	10	38				
	14.05	15.35	1.30	1.30	100	63	48	100	12	48	8	200-600	10.00	-	10	Húmedo	10	50				
	15.35	16.15	0.80	0.80	100	0	0	40	4	0	3	60-200	8.00	-	10	Húmedo	10	35				
	16.15	17.65	1.50	1.50	100	90	60	40	4	60	13	60-200	8.00	-	10	Húmedo	10	45				
	17.65	18.00	0.35	0.20	57	0	0	40	4	0	3	60-200	8.00	-	10	Húmedo	10	35				
	18.00	19.50	1.50	0.85	57	0	0	40	4	0	3	60-200	8.00	-	10	Mojado	7	32				
	19.50	21.00	1.50	1.20	80	37	25	40	4	25	3	60-200	8.00	-	10	Mojado	7	32				
	21.00	21.80	0.80	0.70	87	0	0	40	4	0	3	60-200	8.00	-	20	Mojado	7	42				
	21.80	22.90	1.10	1.05	95	13	12	40	4	12	3	60-200	8.00	-	20	Mojado	7	42				
	22.90	23.80	0.90	0.80	89	0	0	40	4	0	3	60-200	8.00	-	20	Seco	15	50				
	23.80	25.10	1.30	1.20	92	25	19	40	4	19	3	60-200	8.00	-	20	Seco	15	50				
	25.10	26.60	1.50	0.50	33	0	0	40	4	0	3	60-200	8.00	-	20	Seco	15	50				
	26.60	28.10	1.50	1.25	83	41	27	90	7	27	8	60-200	8.00	-	20	Seco	15	58				
	28.10	29.10	1.00	1.00	100	0	0	90	7	0	3	60-200	8.00	-	20	Seco	15	53				
	29.10	29.60	0.50	0.35	70	0	0	90	7	0	3	60-200	8.00	-	20	Seco	15	53				
	29.60	30.20	0.60	0.60	100	0	0	90	7	0	3	60-200	8.00	-	20	Seco	15	53				
	30.20	30.90	0.70	0.70	100	33	47	90	7	47	8	60-200	8.00	-	20	Seco	15	58				
	30.90	31.60	0.70	0.70	100	11	16	90	7	16	3	60-200	8.00	-	20	Seco	15	53				
	31.60	32.80	1.20	1.20	100	20	17	90	7	17	3	60-200	8.00	-	20	Seco	15	53				
	32.80	34.00	1.20	1.15	96	47	39	90	7	39	8	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	53				
	34.00	35.00	1.00	0.95	95	26	26	90	7	26	8	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	53				
	35.00	35.80	0.80	0.75	94	15	19	90	7	19	3	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	48				
	35.80	37.30	1.50	1.50	100	54	36	90	7	36	8	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	53				
	37.30	38.00	0.70	0.65	93	0	0	90	7	0	3	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	48				
	38.00	38.80	0.80	0.80	100	22	28	90	7	28	8	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	53				
	38.80	40.30	1.50	1.50	100	57	38	90	7	38	8	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	53				
	40.30	41.80	1.50	1.50	100	18	12	120	12	12	3	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	53				
	41.80	43.30	1.50	1.50	100	123	82	120	12	82	17	200-600	10.00	-	20	Húmedo	10	69				
	43.30	44.80	1.50	1.50	100	84	56	120	12	56	13	60-200	8.00	-	20	Húmedo	10	63				
	44.80	46.30	1.50	1.50	100	98	65	120	12	65	13	200-600	10.00	-	20	Húmedo	10	65				
46.30	47.80	1.50	1.50	100	68	45	120	12	45	8	60-200	8.00	-	20	Húmedo	15	63					

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	$\Sigma > 10$ cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.		
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.		Pje.	Descripción	Pje.						
EL-04	0.00	1.20	1.20	0.60	50	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	Sobrecarga. Gravas , bolones y bloques de rocas polimícticas de composición riolítica-andesítica.					
	1.20	1.70	0.50	0.40	80	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	-	-	-						
	1.70	2.60	0.90	0.25	28	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	-	-	-						
	2.60	4.00	1.40	1.00	71	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	-	-	-						
	4.00	4.90	0.90	0.70	78	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	-	Seco	15						
	4.90	6.00	1.10	1.10	100	25	23	60	7	23	3	60-200	8	-	10	Seco	15		43	Regular	Muy mala	Roca muy fracturada	
	6.00	6.60	0.60	0.60	100	10	17	60	7	17	3	60-200	8	-	10	Seco	15		43		Mala		
	6.60	8.10	1.50	1.50	100	47	31	60	7	31	8	60-200	8	-	10	Seco	15		48				
	8.10	9.60	1.50	1.45	97	0	0	40	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15		40				
	9.60	10.00	0.40	0.30	75	0	0	40	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15		40				
	10.00	11.10	1.10	0.95	86	0	0	40	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40					
	11.10	12.60	1.50	1.30	87	20	13	40	4	13	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40					
	12.60	14.10	1.50	0.60	40	0	0	40	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40					
	14.10	15.00	0.90	0.80	89	0	0	40	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40					
	15.00	15.60	0.60	0.60	100	13	22	40	4	22	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	35					
	15.60	16.60	1.00	0.55	55	12	12	40	4	12	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	35					
	16.60	17.60	1.00	0.40	40	0	0	40	4	0	3	200-600	10	-	10	Húmedo	10	37					
	17.60	18.60	1.00	0.90	90	10	10	80	7	10	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	38					
	18.60	20.00	1.40	0.90	64	0	0	80	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48					
	20.00	20.80	0.80	0.20	25	10	13	80	7	13	3	200-600	10	-	20	Húmedo	10	50					
	20.80	21.60	0.80	0.20	25	0	0	80	7	0	3	200-600	10	-	20	Húmedo	10	50					
	21.60	22.00	0.40	0.20	50	0	0	80	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48					
	22.00	23.50	1.50	1.50	100	50	33	80	7	33	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53					
	23.50	24.60	1.10	1.10	100	25	23	80	7	23	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48					
	24.60	25.00	0.40	0.40	100	12	30	80	7	30	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53					
	25.00	25.70	0.70	0.70	100	27	39	80	7	39	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58					
	25.70	26.90	1.20	1.20	100	15	13	80	7	13	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53					
	26.90	27.60	0.70	0.70	100	32	46	80	7	46	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58					
	27.60	28.30	0.70	0.70	100	52	74	120	12	74	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70					
	28.30	28.60	0.30	0.30	100	20	67	120	12	67	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70					
	28.60	29.40	0.80	0.80	100	75	94	120	12	94	20	200-600	10	-	20	Seco	15	77					
	29.40	30.00	0.60	0.60	100	45	75	120	12	75	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70					
	30.00	31.00	1.00	1.00	100	57	57	120	12	57	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63					
	31.00	32.40	1.40	1.40	100	42	30	120	12	30	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58					
	32.40	33.10	0.70	0.70	100	35	50	120	12	50	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58					
	33.10	33.60	0.50	0.50	100	12	24	120	12	24	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53					
	33.60	34.60	1.00	1.00	100	22	22	120	12	22	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53					
	34.60	35.00	0.40	0.40	100	28	70	120	12	70	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63					
35.00	35.60	0.60	0.60	100	55	92	120	12	92	20	600-2000	15	-	20	Húmedo	10	77						
35.60	35.80	0.20	0.20	100	0	0	120	12	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53						
35.80	36.50	0.70	0.70	100	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53						
36.50	37.90	1.40	1.10	79	33	24	100	12	24	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53						
37.90	38.60	0.70	0.65	93	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53						
38.60	40.00	1.40	1.30	93	25	18	100	12	18	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53						

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC(m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.		Pje.	Descripción	Pje.				
EL-05	0.00	0.60	0.60	0.25	42	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	Sobrecarga compuesto de gravas medias-gruesas, bolones y bloques de roca subredondeados, de composición riolítica, sin matriz.			
	0.60	1.20	0.60	0.30	50	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	1.20	1.80	0.60	0.50	83	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	1.80	2.40	0.60	0.30	50	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	2.40	3.90	1.50	1.10	73	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	3.90	5.00	1.10	0.95	86	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-				
	5.00	6.30	1.30	1.05	81	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15		50	Regular	Roca muy fracturada, en zonas no sale muestra (Catting)
	6.30	7.80	1.50	0.35	23	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15		40	Mala	
	7.80	8.10	0.30	0.15	50	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15		40	Regular	
	8.10	9.60	1.50	0.55	37	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15		50	Mala	
	9.60	10.20	0.60	0.15	25	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40	Regular	Extremadamente mala	
	10.20	11.30	1.10	0.60	55	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40	Mala		
	11.30	12.80	1.50	0.60	40	0.00	0	30	4	0	3	200-600	10	-	10	Seco	15	42	Regular	Pasada arena y roca disgregada	
	12.80	13.40	0.60	0.30	50	0.00	0	30	4	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	37	Mala		
	13.40	14.00	0.60	0.25	42	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40	Regular	Roca dura fracturada	
	14.00	14.30	0.30	0.30	100	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40			
	14.30	15.00	0.70	0.40	57	0.00	0	30	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40	Regular	Roca dura muy fracturada	
	15.00	15.75	0.75	0.75	100	0.00	0	50	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			
	15.75	17.25	1.50	1.50	100	25.00	17	50	7	17	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Regular	Roca dura fracturada	
	17.25	18.55	1.30	1.30	100	12.00	9	50	7	9	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	18.55	19.85	1.30	1.00	77	0.00	0	50	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Roca dura muy fracturada	
	19.85	21.35	1.50	0.90	60	0.00	0	50	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	21.35	22.00	0.65	0.45	69	10.00	15	80	7	15	3	200-600	10	-	20	Seco	15	55	Regular	Roca dura fracturada	
	22.00	23.50	1.50	1.15	77	17.00	11	80	7	11	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	23.50	25.00	1.50	1.50	100	60.00	40	80	7	40	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Roca dura fracturada	
	25.00	26.50	1.50	0.85	57	0.00	0	80	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	26.50	27.00	0.50	0.50	100	20.00	40	80	7	40	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Roca dura fracturada	
	27.00	27.40	0.40	0.40	100	0.00	0	80	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	27.40	28.90	1.50	1.50	100	30.00	20	80	7	20	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Roca dura fracturada	
	28.90	30.10	1.20	1.20	100	16.00	13	80	7	13	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	30.10	30.70	0.60	0.60	100	13.00	22	80	7	22	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Roca dura fracturada	
	30.70	32.00	1.30	1.30	100	25.00	19	80	7	19	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	32.00	32.80	0.80	0.80	100	0.00	0	80	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48	Regular	Roca dura fracturada	
	32.80	33.70	0.90	0.90	100	60.00	67	80	7	67	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58			
	33.70	35.20	1.50	1.50	100	80.00	53	120	12	53	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63	Buena	Regular	
	35.20	36.00	0.80	0.80	100	46.00	58	120	12	58	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63			
	36.00	37.00	1.00	0.85	1	45.00	45	120	12	45	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60	Regular	Roca muy dura fracturada	
	37.00	38.50	1.50	1.50	100	74.00	49	120	12	49	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60			
	38.50	40.00	1.50	1.50	100	47.00	31	120	12	31	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Regular	Roca muy dura fracturada	
	40.00	40.05	0.05	0.05	100	0.00	0	120	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50			
40.05	40.90	0.85	0.85	100	0.00	0	120	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50	Regular	Roca muy dura fracturada		
40.90	41.90	1.00	1.00	100	10.00	10	120	12	10	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53				
41.90	42.60	0.70	0.70	100	14.00	20	120	12	20	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53	Regular	Roca muy dura fracturada		
42.60	43.00	0.40	0.40	100	12.00	30	120	12	30	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
43.00	44.50	1.50	1.50	100	32.00	21	120	12	21	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53	Buena	Regular		
44.50	45.00	0.50	0.50	100	42.00	84	120	12	84	17	200-600	10	-	20	Húmedo	10	69				
45.00	46.30	1.30	1.35	104	83.00	64	120	12	64	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63	Regular	Mala		
46.30	47.85	1.55	1.50	97	52.00	34	120	12	34	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
47.85	49.30	1.45	1.45	100	72.00	50	120	12	50	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Regular	Extremadamente mala		
49.30	50.00	0.70	0.70	100	0.00	0	120	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50				

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.	
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.					
EL-06	0.00	0.50	0.50	0.40	80	10	20	60	7	20	3	200-600	10	-	10	Seco	15	45	Regular	Muy mala	Roca muy fracturada, en algunos sectores cutting	
	0.50	0.90	0.40	0.20	50	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Mala	Extremadamente mala		
	0.90	1.30	0.40	0.30	75	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Regular	Extremadamente mala		
	1.30	1.80	0.50	0.30	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Mala	Extremadamente mala		
	1.80	2.20	0.40	0.20	50	0	0	60	7	0	3	200-600	10	-	10	Seco	15	45	Regular	Extremadamente mala		
	2.20	2.55	0.35	0.30	86	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Mala	Extremadamente mala		
	2.55	2.80	0.25	0.25	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Regular	Extremadamente mala		
	2.80	3.40	0.60	0.40	67	0	0	60	7	0	3	200-600	10	-	10	Seco	15	45	Regular	Extremadamente mala		
	3.40	4.90	1.50	1.50	100	89	59	100	12	59	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68	Buena	Regular		Roca dura fracturada a muy fracturada
	4.90	6.30	1.40	1.35	96	59	42	100	12	42	8	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Mala	Regular		
	6.30	7.80	1.50	1.50	100	99	66	100	12	66	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68	Buena	Regular		
	7.80	8.40	0.60	0.55	92	44	73	100	12	73	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70	Mala	Regular		
	8.40	8.70	0.30	0.20	67	10	33	100	12	33	8	200-600	10	-	20	Seco	15	65	Regular	Extremadamente mala		
	8.70	8.90	0.20	0.15	75	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	55	Buena	Regular		
	8.90	9.40	0.50	0.50	100	32	64	100	12	64	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68	Regular	Extremadamente mala		
	9.40	10.00	0.60	0.60	100	40	67	100	12	67	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70	Buena	Regular		
	10.00	10.70	0.70	0.50	71	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Extremadamente mala		
	10.70	12.20	1.50	1.35	90	118	79	100	12	79	17	200-600	10	-	20	Seco	15	74	Buena	Regular		
	12.20	13.00	0.80	0.80	100	20	25	100	12	25	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Extremadamente mala		
	13.00	13.25	0.25	0.20	80	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Mala	Regular		
	13.25	13.50	0.25	0.25	100	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Extremadamente mala		
	13.50	14.20	0.70	0.70	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	65	Buena	Regular		
	14.20	15.70	1.50	1.50	100	113	75	100	12	75	17	60-200	8	-	20	Seco	15	72	Buena	Regular		
	15.70	16.20	0.50	0.50	100	40	80	100	12	80	17	60-200	8	-	20	Seco	15	72	Regular	Muy mala		
	16.20	17.70	1.50	1.45	97	110	73	100	12	73	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70	Regular	Muy mala		
	17.70	19.20	1.50	1.30	87	31	21	100	12	21	3	60-200	8	-	10	Seco	15	48	Mala	Extremadamente mala		
	19.20	20.60	1.40	0.75	54	0	0	80	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Regular	Muy mala		
	20.60	21.10	0.50	0.50	100	0	0	80	7	0	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	35	Roca blanda muy fracturada			
	21.10	21.60	0.50	0.30	60	0	0	80	7	0	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	35		Muy mala		
	21.60	22.60	1.00	0.70	70	0	0	80	7	0	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	35			Mala	
	22.60	23.50	0.90	0.90	100	0	0	80	7	0	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	35		Mala		
	23.50	24.00	0.50	0.30	60	10	20	80	7	20	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	35			Mala	
	24.00	24.30	0.30	0.30	100	10	33	80	7	33	8	<60	5	-	10	Mojado	7	37		Mala		
	24.30	25.00	0.70	0.70	100	0	0	80	7	0	3	200-600	10	-	10	Mojado	7	37			Mala	
	25.00	25.50	0.50	0.50	100	0	0	80	7	0	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	45		Extremadamente mala		
	25.50	26.50	1.00	0.50	50	0	0	80	7	0	3	200-600	10	-	20	Mojado	7	47			Extremadamente mala	
	26.50	28.00	1.50	1.45	97	0	0	80	7	0	3	200-600	10	-	20	Mojado	7	47		Muy mala		
	28.00	29.00	1.00	0.80	80	0	0	80	7	0	3	200-600	10	-	20	Mojado	7	47	Muy mala			
	29.00	30.50	1.50	0.70	47	10	7	100	12	7	3	200-600	10	-	20	Mojado	7	52		Extremadamente mala		
	30.50	31.50	1.00	0.80	80	10	10	100	12	10	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	50	Extremadamente mala			
	31.50	32.40	0.90	0.45	50	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	50		Extremadamente mala		
	32.40	33.00	0.60	0.60	100	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	50	Extremadamente mala			
	33.00	34.50	1.50	1.25	83	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	50		Regular		
	34.50	35.50	1.00	1.00	100	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	50	Regular			
	35.50	37.00	1.50	1.00	67	0	0	100	12	0	3	200-600	10	-	20	Mojado	7	52		Regular		
	37.00	37.70	0.70	0.60	86	30	43	100	12	43	8	200-600	10	-	20	Mojado	7	57	Regular			
	37.70	38.70	1.00	1.00	100	44	44	100	12	44	8	200-600	10	-	20	Mojado	7	57		Regular		
	38.70	39.70	1.00	1.00	100	40	40	100	12	40	8	200-600	10	-	20	Mojado	7	57	Regular			
	39.70	40.50	0.80	0.80	100	27	34	100	12	34	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60		Regular		
	40.50	41.30	0.80	0.80	100	38	48	100	12	48	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60	Regular			
	41.30	42.50	1.20	0.70	58	0	0	100	12	0	3	200-600	10	-	10	Húmedo	10	45		Regular		
	42.50	43.20	0.70	0.50	71	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53	Regular			
	43.20	43.80	0.60	0.45	75	0	0	100	12	0	3	200-600	10	-	20	Húmedo	10	55		Regular		
	43.80	45.30	1.50	0.60	40	0	0	100	12	0	3	200-600	10	-	20	Húmedo	10	55	Regular			
	45.30	45.80	0.50	0.45	90	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53		Regular		
	45.80	46.90	1.10	1.10	100	55	50	100	12	50	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60	Regular			
	46.90	48.20	1.30	1.30	100	95	73	100	12	73	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63		Regular		
	48.20	49.30	1.10	1.10	100	80	73	100	12	73	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65	Regular			
49.30	50.50	1.20	1.20	100	70	58	100	12	58	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63	Regular				
50.50	51.00	0.50	0.50	100	30	60	100	12	60	13	<60	5	-	20	Húmedo	10	60		Regular			
51.00	51.80	0.80	0.80	100	47	59	100	12	59	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63	Regular				
51.80	52.30	0.50	0.50	100	32	64	100	12	64	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63		Regular			
52.30	52.80	0.50	0.50	100	35	70	100	12	70	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63	Regular				
52.80	53.50	0.70	0.70	100	40	57	100	12	57	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65		Regular			
53.50	54.90	1.40	1.40	100	75	54	100	12	54	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65	Regular				
54.90	55.80	0.90	0.90	100	65	72	100	12	72	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63		Regular			
55.80	56.80	1.00	1.00	100	60	60	100	12	60	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65	Regular				
56.80	57.90	1.10	1.10	100	60	55	100	12	55	13	200-600	10	-	10	Húmedo	10	55		Regular			
57.90	58.60	0.70	0.70	100	40	57	100	12	57	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53	Regular				
58.60	59.50	0.90	0.90	100	55	61	100	12	61	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53		Regular			

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.		Pje.	Descripción	Pje.				
EL-07	0.00	0.50	0.50	0.20	40	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Mala	Extremadamente mala	La roca presenta diversos estados de fracturación. Posibles fallas en intervalos 1.00-2.00 m y 67.50-68.10 m.
	0.50	1.00	0.50	0.20	40	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	1.00	2.00	1.00	0.20	20	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			
	2.00	3.50	1.50	1.20	80	33	22	60	7	22	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Muy mala	
	3.50	5.00	1.50	1.20	80	10	7	60	7	7	3	<60	5	-	20	Seco	15	50		Extremadamente mala	
	5.00	5.50	0.50	0.25	50	10	20	60	7	20	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53		Muy mala	
	5.50	6.50	1.00	0.45	45	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	6.50	7.80	1.30	0.40	31	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53		Extremadamente mala	
	7.80	9.30	1.50	1.40	93	43	29	60	7	29	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58		Mala	
	9.30	10.30	1.00	0.70	70	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50		Extremadamente mala	
	10.30	11.80	1.50	0.85	57	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48			
	11.80	13.30	1.50	1.50	100	50	33	60	7	33	8	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Mala	
	13.30	14.30	1.00	0.60	60	10	10	60	7	10	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48		Muy mala	
	14.30	15.80	1.50	1.20	80	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Extremadamente mala	
	15.80	16.30	0.50	0.35	70	10	20	60	7	20	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48		Muy mala	
	16.30	17.80	1.50	0.90	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48			
	17.80	18.30	0.50	0.50	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	18.30	19.60	1.30	1.00	77	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Extremadamente mala	
	19.60	21.10	1.50	1.30	87	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	21.10	21.90	0.80	0.70	88	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	21.90	23.20	1.30	1.30	100	14	11	60	7	11	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Muy mala	
	23.20	24.20	1.00	0.90	90	12	12	60	7	12	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	24.20	25.40	1.20	0.60	50	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48		Extremadamente mala	
	25.40	25.60	0.20	0.20	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50			
	25.60	26.20	0.60	0.40	67	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50		Muy mala	
	26.20	27.70	1.50	0.95	63	20	13	60	7	13	3	<60	5	-	20	Seco	15	50			
	27.70	28.70	1.00	0.80	80	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50		Extremadamente mala	
	28.70	29.80	1.10	1.00	91	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50			
	29.80	30.30	0.50	0.50	100	37	74	60	7	74	13	<60	5	-	20	Seco	15	60		Regular	
	30.30	31.10	0.80	0.70	87	10	13	60	7	13	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Muy mala	
	31.10	32.60	1.50	1.50	100	38	25	60	7	25	8	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Mala	
	32.60	33.80	1.20	1.15	96	16	13	60	7	13	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Muy mala	
	33.80	34.90	1.10	0.65	59	30	27	60	7	27	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53			
	34.90	35.30	0.40	0.33	83	13	33	60	7	33	8	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Mala	
	35.30	35.50	0.20	0.20	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	35.50	37.00	1.50	0.42	28	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48		Extremadamente mala	
	37.00	37.80	0.80	0.60	75	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	37.80	39.30	1.50	1.45	97	30	20	60	7	20	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Muy mala	
	39.30	40.50	1.20	0.90	75	14	12	60	7	12	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	40.50	41.00	0.50	0.32	64	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Extremadamente mala	
	41.00	42.50	1.50	1.50	100	50	33	60	7	33	8	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Mala	
	42.50	43.90	1.40	1.36	97	23	16	60	7	16	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Muy mala	
	43.90	45.40	1.50	1.50	100	103	69	60	7	69	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58		Regular	
	45.40	46.50	1.10	1.10	100	83	75	60	7	75	17	60-200	8	-	20	Húmedo	10	62		Buena	
	46.50	47.50	1.00	0.85	85	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	47.50	48.50	1.00	0.28	28	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48		Extremadamente mala	
	48.50	50.00	1.50	1.40	93	14	9	60	7	9	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	50.00	50.80	0.80	0.60	75	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45		Mala	
	50.80	52.30	1.50	1.50	100	37	25	100	12	25	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Buena	
	52.30	53.80	1.50	1.40	93	115	77	100	12	77	17	60-200	8	-	20	Húmedo	10	67		Buena	
	53.80	54.90	1.10	0.90	82	14	13	100	12	13	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Muy mala	
	54.90	55.80	0.90	0.90	100	24	27	100	12	27	8	<60	5	-	20	Húmedo	10	55		Mala	
	55.80	57.00	1.20	1.20	100	11	9	100	12	9	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Extremadamente mala	
	57.00	57.75	0.75	0.65	87	40	53	100	12	53	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63		Buena	
	57.75	58.50	0.75	0.75	100	41	55	100	12	55	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63		Regular	
	58.50	59.10	0.60	0.42	70	15	25	100	12	25	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53		Mala	
	59.10	59.40	0.30	0.28	93	23	77	100	12	77	17	60-200	8	-	20	Húmedo	10	67		Buena	
	59.40	60.90	1.50	1.50	100	102	68	100	12	68	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63		Buena	
	60.90	62.40	1.50	1.50	100	95	63	100	12	63	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63		Regular	
	62.40	63.90	1.50	0.90	60	12	8	100	12	8	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Extremadamente mala	
63.90	65.40	1.50	1.35	90	25	17	100	12	17	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Muy mala		
65.40	66.40	1.00	0.68	68	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50				
66.40	67.50	1.10	0.70	64	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Extremadamente mala		
67.50	68.10	0.60	0.25	42	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50				
68.10	69.10	1.00	0.62	62	24	24	100	12	24	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50		Muy mala		
69.10	70.00	0.90	0.45	50	28	31	100	12	31	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58		Mala		

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.					
EL-08	0.00	0.50	0.50	0.30	60	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Mala	Extremadamente mala	Roca muy fracturada
	0.50	1.00	0.50	0.30	60	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	1.00	1.50	0.50	0.28	56	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40			
	1.50	3.00	1.50	1.00	67	28	19	60	7	19	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			
	3.00	4.20	1.20	0.80	67	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Regular	Muy mala	
	4.20	5.40	1.20	1.00	83	10	8	60	7	8	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			
	5.40	6.80	1.40	0.90	64	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Mala	Extremadamente mala	
	6.80	8.00	1.20	1.10	92	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			
	8.00	9.50	1.50	1.20	80	25	17	60	7	17	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Muy mala	
	9.50	10.50	1.00	0.50	50	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50			
	10.50	11.20	0.70	0.45	64	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Mala	Extremadamente mala	Roca dura fracturada
	11.20	12.70	1.50	1.50	100	36	24	60	7	24	3	<60	5	-	20	Seco	15	50			
	12.70	14.00	1.30	0.30	23	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Muy mala	
	14.00	14.50	0.50	0.20	40	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50			
	14.50	16.00	1.50	0.70	47	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	16.00	17.50	1.50	0.80	53	10	7	60	7	7	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	17.50	19.00	1.50	1.30	87	10	7	60	7	7	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	19.00	19.50	0.50	0.30	60	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50			
	19.50	20.30	0.80	0.40	50	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala	
	20.30	21.30	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	21.30	22.70	1.40	1.10	79	10	7	60	7	7	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala	
	22.70	24.20	1.50	0.10	7	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	24.20	25.70	1.50	1.45	97	14	9	60	7	9	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	25.70	27.20	1.50	1.50	100	13	9	60	7	9	3	200-600	10	-	20	Mojado	7	47			
	27.20	28.60	1.40	0.30	21	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42	Regular	Extremadamente mala	
	28.60	30.10	1.50	1.30	87	13	9	60	7	9	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42			
	30.10	30.90	0.80	0.15	19	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42	Regular	Extremadamente mala	
	30.90	31.90	1.00	0.50	50	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42			
	31.90	32.70	0.80	0.50	62	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42	Regular	Extremadamente mala	
	32.70	34.20	1.50	1.40	93	34	23	60	7	23	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	45			
	34.20	35.40	1.20	0.75	63	31	26	60	7	26	8	<60	5	-	20	Mojado	7	47	Regular	Muy mala	
	35.40	36.50	1.10	0.46	42	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42			
	36.50	38.00	1.50	1.50	100	10	7	60	7	7	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	45	Regular	Extremadamente mala	
	38.00	39.50	1.50	1.40	93	10	7	60	7	7	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	45			
	39.50	40.30	0.80	0.50	63	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42	Regular	Extremadamente mala	
	40.30	41.10	0.80	0.50	62	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48			
	41.10	42.30	1.20	1.00	83	28	23	60	7	23	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48	Regular	Muy mala	
	42.30	43.80	1.50	1.20	80	33	22	60	7	22	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45			
	43.80	45.30	1.50	1.40	93	36	24	60	7	24	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	45	Regular	Extremadamente mala	
	45.30	46.80	1.50	1.30	87	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	45			
	46.80	47.80	1.00	0.60	60	11	11	60	7	11	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42	Regular	Muy mala	
	47.80	48.90	1.10	0.50	45	10	9	60	7	9	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42			
	48.90	50.40	1.50	1.45	97	15	10	60	7	10	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	45	Regular	Extremadamente mala	
	50.40	51.90	1.50	0.70	47	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	51.90	53.30	1.40	0.90	64	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala	
	53.30	54.40	1.10	0.80	73	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53			
	54.40	55.40	1.40	0.80	57	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala	
	55.40	56.80	1.00	0.30	30	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50			
56.80	57.80	1.00	0.80	80	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala		
57.80	58.80	1.00	0.45	45	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50				
58.80	60.30	1.50	0.35	23	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala		
60.30	61.30	1.00	0.30	30	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50				
61.30	62.80	1.50	0.50	33	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala		
62.80	63.80	1.00	0.40	40	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53				
63.80	64.80	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala		
64.80	65.30	0.50	0.20	40	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53				
65.30	66.80	1.50	1.20	80	0	0	60	7	0	3	600-2000	15	-	20	Seco	15	60	Regular	Extremadamente mala		
66.80	68.10	1.30	0.70	54	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53				
68.10	69.10	1.00	0.30	30	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala		
69.10	70.60	1.50	0.60	40	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50				
70.60	71.60	1.00	0.50	50	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Regular	Extremadamente mala		
71.60	73.00	1.40	0.70	50	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	55				
73.00	74.50	1.50	1.10	73	10	7	100	12	7	3	<60	5	-	20	Seco	15	55	Regular	Extremadamente mala		
74.50	75.50	1.00	0.70	70	14	14	100	12	14	3	<60	5	-	20	Seco	15	55				
75.50	76.00	0.50	0.10	20	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	55	Regular	Muy mala		
76.00	77.50	1.50	0.90	60	10	7	100	12	7	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58				
77.50	78.70	1.20	0.7	58	22	18	100	12	18	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Extremadamente mala		
78.70	80.00	1.30	0.8	62	15	12	100	12	12	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58				

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.	
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.					
EL-09	0.00	0.30	0.30	0.15	50	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	Suelo de clastos y bloques angulosos en una matriz limo-arenosa y arcilla. Roca se encuentra muy fracturada y semi descompuesta.				
	0.30	0.80	0.50	0.30	60	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	0.80	1.30	0.50	0.30	60	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	1.30	1.80	0.50	0.30	60	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	1.80	2.90	1.10	1.10	100	25	23	110	12	23	3	60-200	8	-	0	Mojado	7		30	Mala	Muy mala	Roca fracturada con pequeñas fallas, mala calidad geotécnica
	2.90	3.90	1.00	1.00	100	0	0	110	12	0	3	60-200	8	-	0	Mojado	7	30	Extremadamente mala			
	3.90	4.80	0.90	0.90	100	11	12	110	12	12	3	200-600	10	-	0	Mojado	7	32	Muy mala			
	4.80	5.90	1.10	1.10	100	43	39	110	12	39	8	60-200	8	-	0	Mojado	7	35	Mala			
	5.90	7.00	1.10	1.10	100	65	59	140	12	59	13	60-200	8	-	20	Mojado	7	60	Regular			
	7.00	7.30	0.30	0.30	100	12	40	140	12	40	8	60-200	8	-	20	Mojado	7	55	Mala			
	7.30	8.80	1.50	1.50	100	94	63	140	12	63	13	60-200	8	-	20	Mojado	7	60	Regular	Regular	Roca medianamente fracturada	
	8.80	9.90	1.10	1.10	100	61	55	140	12	55	13	60-200	8	-	20	Mojado	7	60				
	9.90	11.40	1.50	1.50	100	110	73	140	12	73	13	60-200	8	-	20	Mojado	7	60				
	11.40	12.00	0.60	0.60	100	15	25	140	12	25	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	50	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	12.00	12.30	0.30	0.30	100	13	43	140	12	43	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
	12.30	13.80	1.50	1.50	100	100	67	140	12	67	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63				
	13.80	15.30	1.50	1.50	100	79	53	140	12	53	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	15.30	15.50	0.20	0.20	100	10	50	140	12	50	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63				
	15.50	17.00	1.50	1.50	100	94	63	140	12	63	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65				
	17.00	18.40	1.40	1.40	100	72	51	140	12	51	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68	Buena	Regular	Falla de 17.80-18.40 m	
	18.40	19.00	0.60	0.60	100	25	42	140	12	42	8	200-600	10	-	20	Seco	15	65			Mala	Roca medianamente fracturada
	19.00	20.40	1.40	1.40	100	75	54	140	12	54	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70			Regular	Falla de 20.30-20.40 m
	20.40	21.10	0.70	0.70	100	48	69	140	12	69	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	21.10	22.00	0.90	0.90	100	23	26	140	12	26	8	60-200	8	-	20	Seco	15	63				
	22.00	22.75	0.75	0.75	100	41	55	140	12	55	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68				
	22.75	23.65	0.90	0.90	100	69	77	140	12	77	17	200-600	10	-	20	Seco	15	74	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	23.65	25.05	1.40	1.40	100	67	48	140	12	48	8	60-200	8	-	20	Seco	15	63				
	25.05	26.20	1.15	1.15	100	60	52	140	12	52	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68				
	26.20	27.00	0.80	0.80	100	37	46	140	12	46	8	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Regular	Regular	Roca medianamente fracturada	
	27.00	27.70	0.70	0.70	100	35	50	140	12	50	3	200-600	10	-	20	Seco	15	60				
	27.70	28.50	0.80	0.80	100	42	53	140	12	53	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68				
	28.50	29.50	1.00	1.00	100	71	71	140	12	71	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	29.50	30.90	1.40	1.40	100	123	88	140	12	88	17	200-600	10	-	20	Seco	15	74				
	30.90	32.05	1.15	1.15	100	64	56	140	12	56	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68				
	32.05	33.30	1.25	1.25	100	57	46	140	12	46	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60	Regular	Regular	Roca medianamente fracturada	
	33.30	34.00	0.70	0.70	100	42	60	140	12	60	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63				
	34.00	34.80	0.80	0.80	100	73	91	140	12	91	20	600-2000	15	-	20	Húmedo	10	77				
	34.80	36.30	1.50	1.50	100	133	89	140	12	89	17	200-600	10	-	20	Húmedo	10	69	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	36.30	37.10	0.80	0.80	100	24	30	140	12	30	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
	37.10	38.30	1.20	1.20	100	30	25	140	12	25	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
	38.30	39.80	1.50	1.50	100	129	86	140	12	86	17	60-200	8	-	20	Húmedo	10	67	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	39.80	41.30	1.50	1.50	100	38	25	140	12	25	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
	41.30	42.00	0.70	0.70	100	25	36	140	12	36	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
	42.00	42.95	0.95	0.95	100	36	38	140	12	38	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Regular	Regular	Falla de 40.80-41.50 m	
	42.95	43.10	0.15	0.15	100	0	0	140	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50				
	43.10	44.10	1.00	1.00	100	43	43	140	12	43	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
	44.10	45.10	1.00	0.40	40	0	0	140	12	0	3	600-2000	15	-	20	Húmedo	10	60	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	45.10	46.10	1.00	1.00	100	52	52	140	12	52	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10	63				
	46.10	47.00	0.90	0.90	100	61	68	140	12	68	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65				
	47.00	48.10	1.10	1.10	100	24	22	140	12	22	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53	Regular	Regular	Falla de 50.50-51.80 m	
	48.10	49.10	1.00	1.00	100	62	62	140	12	62	13	200-600	10	-	20	Húmedo	10	65				
	49.10	50.60	1.50	1.30	87	59	39	140	12	39	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
	50.60	52.00	1.40	0.80	57	0	0	140	12	0	3	200-600	10	-	20	Húmedo	10	55	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
	52.00	52.10	0.10	0.10	100	0	0	140	12	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53				
	52.10	53.60	1.50	1.50	100	123	82	140	12	82	17	200-600	10	-	20	Húmedo	10	69				
	53.60	55.10	1.50	1.50	100	124	83	140	12	83	17	200-600	10	-	20	Húmedo	10	69	Regular	Regular	Roca medianamente fracturada	
	55.10	56.60	1.50	1.50	100	55	37	140	12	37	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58				
	56.60	57.00	0.40	0.40	100	0	0	140	12	0	3	200-600	10	-	20	Húmedo	10	55				
	57.00	58.10	1.10	1.10	100	37	34	140	12	34	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada	
58.10	59.60	1.50	1.50	100	64	43	140	12	43	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58					
59.60	60.00	0.40	0.40	100	30	75	140	12	75	17	200-600	10	-	20	Húmedo	10	69					

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.	
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.						
EL-10	0.00	0.50	0.50	0.20	40	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	-	Suelo de clastos y bloques angulosos en una matriz limo-arenosa y arcilla. Roca se encuentra muy fracturada y de baja dureza.			
	0.50	1.00	0.50	0.30	60	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	-	60	Regular	Extremadamente mala	Roca medianamente fracturada
	1.00	2.00	1.00	0.30	30	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	-	58	Muy mala	Muy mala	
	2.00	3.00	1.00	0.80	80	0	0	120	12	0	3	200-600	10	-	20	Seco	15	63	Buena	Mala		
	3.00	4.50	1.50	1.50	100	24	16	120	12	16	3	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Regular	Muy mala		
	4.50	6.00	1.50	1.50	100	69	46	120	12	46	8	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Buena	Mala		
	6.00	7.00	1.00	0.70	70	45	45	120	12	45	8	60-200	8	-	20	Seco	15	63	Regular	Muy mala		
	7.00	8.40	1.40	1.40	100	63	45	120	12	45	8	200-600	10	-	20	Seco	15	65	Buena	Mala		
	8.40	9.60	1.20	1.00	83	12	10	120	12	10	3	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Regular	Muy mala		
	9.60	11.10	1.50	0.40	27	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	55	Buena	Mala		
	11.10	12.00	0.90	0.00	0	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35	Mala	Extremadamente mala	Roca medianamente fracturada. Falla banco de arena desde 10.00 m. Se requiere cementación a los 12.60 m. Banco de arena hasta 13.60 m.	
	12.00	12.60	0.60	0.10	17	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35	Mala	Extremadamente mala	Roca muy fracturada, baja dureza, alto contenido de arcilla. Mojado.	
	12.60	14.00	1.40	0.40	29	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	27	Mala	Extremadamente mala		
	14.00	15.35	1.35	1.35	100	10	7	120	12	7	3	200-600	10	-	0	Mojado	7	32	Regular	Mala	Roca medianamente fracturada	
	15.35	15.95	0.60	0.30	50	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	27	Mala	Extremadamente mala		
	15.95	17.40	1.45	1.45	100	42	29	120	12	29	8	200-600	10	-	0	Mojado	7	37	Regular	Mala		
	17.40	17.60	0.20	0.20	100	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Mala	Extremadamente mala		
	17.60	18.60	1.00	1.00	100	32	32	120	12	32	8	60-200	8	-	10	Mojado	7	45	Regular	Mala	Roca medianamente fracturada	
	18.60	20.10	1.50	1.50	100	0	0	120	12	0	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	40	Mala	Extremadamente mala		
	20.10	21.50	1.40	1.40	100	29	21	120	12	21	3	200-600	10	-	10	Mojado	7	42	Regular	Muy mala		
	21.50	22.60	1.10	1.10	100	89	81	120	12	81	17	60-200	8	-	25	Mojado	7	69	Buena	Muy mala		
	22.60	24.10	1.50	1.10	73	80	53	120	12	53	13	<60	5	-	25	Mojado	7	62	Buena	Regular	Roca medianamente fracturada. Falla a 24.45 m. Arena fina. Falla banco de arena fina hasta los 26.90 m.	
	24.10	25.60	1.50	0.35	23	33	22	120	12	22	3	600-2000	15	-	25	Mojado	7	62	Buena	Muy mala		
	25.60	26.10	0.50	0.00	0	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Mala	Extremadamente mala		
	26.10	26.60	0.50	0.00	0	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Mala	Extremadamente mala		
	26.60	27.10	0.50	0.20	40	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Regular	Mala	Roca muy fracturada, gran contenido de arcilla. Condición hídrica mojado. Estructuras continuas abiertas 1 a 5 mm. Falla pasada de arena entre 31.20-32.00 m	
	27.10	27.70	0.60	0.60	100	22	37	120	12	37	8	60-200	8	-	10	Mojado	7	45	Mala	Extremadamente mala		
	27.70	28.40	0.70	0.70	100	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Regular	Mala		
	28.40	28.80	0.40	0.40	100	0	0	120	12	0	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	40	Mala	Extremadamente mala		
	28.80	29.30	0.50	0.45	90	0	0	120	12	0	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	40	Mala	Extremadamente mala	Zona de Muy mala calidad, Roca muy fracturada, de baja dureza, alto contenido de arcilla. Se presenta con flujo de agua del tipo mojado a húmedo. Estructuras abiertas > 5mm.	
	29.30	29.80	0.50	0.50	100	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Mala	Extremadamente mala		
	29.80	30.40	0.60	0.60	100	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Regular	Mala		
	30.40	31.20	0.80	0.80	100	35	44	120	12	44	8	200-600	10	-	10	Mojado	7	47	Mala	Extremadamente mala		
	31.20	32.00	0.80	0.30	38	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Mala	Extremadamente mala		
	32.00	32.60	0.60	0.50	83	0	0	120	12	0	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	40	Mala	Extremadamente mala		
	32.60	33.80	1.20	0.55	46	10	8	120	12	8	3	60-200	8	-	10	Mojado	7	40	Mala	Extremadamente mala		
	33.80	34.80	1.00	0.30	30	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32	Mala	Extremadamente mala		
	34.80	35.40	0.60	0.60	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22	Mala	Extremadamente mala		
	35.40	35.95	0.55	0.55	100	0	0	80	7	0	3	200-600	10	-	0	Mojado	7	27	Mala	Extremadamente mala		
	35.95	36.35	0.40	0.35	88	0	0	80	7	0	3	200-600	10	-	0	Mojado	7	27	Mala	Extremadamente mala		
	36.35	37.00	0.65	0.65	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22	Mala	Extremadamente mala		
	37.00	37.60	0.60	0.55	92	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22	Mala	Extremadamente mala		
	37.60	38.00	0.40	0.40	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22	Mala	Extremadamente mala		
	38.00	38.50	0.50	0.40	80	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22	Mala	Extremadamente mala		
	38.50	39.00	0.50	0.25	50	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22	Mala	Extremadamente mala		
	39.00	39.50	0.50	0.50	100	0	0	80	7	0	3	200-600	10	-	0	Mojado	7	27	Mala	Extremadamente mala		
	39.50	40.50	1.00	1.00	100	10	10	80	7	10	3	600-2000	15	-	0	Mojado	7	32	Mala	Extremadamente mala		
	40.50	41.00	0.50	0.50	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22	Mala	Extremadamente mala		
	41.00	41.70	0.70	0.70	100	0	0	80	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22	Mala	Extremadamente mala		
	41.70	42.20	0.50	0.50	100	0	0	120	12	0	3	200-600	10	-	0	Mojado	7	32	Mala	Extremadamente mala		
42.20	42.60	0.40	0.40	100	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	27	Mala	Extremadamente mala			
42.60	43.20	0.60	0.55	92	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30	Mala	Extremadamente mala			
43.20	43.60	0.40	0.40	100	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50	Regular	Mala	Roca medianamente fracturada		
43.60	44.10	0.50	0.20	40	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	20	Húmedo	10	50	Mala	Extremadamente mala			
44.10	45.10	1.00	1.00	100	26	26	120	12	26	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Regular	Mala			
45.10	46.60	1.50	1.50	100	51	34	120	12	34	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Mala	Extremadamente mala			
46.60	47.60	1.00	1.00	100	44	44	120	12	44	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Mala	Extremadamente mala			
47.60	48.60	1.00	0.95	95	41	41	120	12	41	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60	Mala	Extremadamente mala			
48.60	50.00	1.40	1.40	100	60	43	120	12	43	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Mala	Extremadamente mala			

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.	
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.					
EL-11	0.00	0.50	0.50	0.20	40	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Mala	Extremadamente mala	Roca muy fracturada. Bajo contenido de arcilla	
	0.50	1.00	1.00	0.15	30	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40				
	1.00	1.50	1.50	0.10	20	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40				
	1.50	2.00	2.00	0.20	40	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40				
	2.00	2.70	2.70	0.70	70	100	0	0	90	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Regular	Muy mala	Roca medianamente fracturada. Falla de 2.60-2.80 m.
	2.70	3.45	3.45	0.75	75	100	10	13	90	7	13	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			
	3.45	4.65	4.65	1.20	100	83	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40	Mala	Extremadamente mala	Roca muy fracturada. Falla de 3.35-3.5 m
	4.65	5.75	5.75	1.10	100	91	0	0	90	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			
	5.75	6.55	6.55	0.80	80	100	10	13	90	7	13	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53	Buena	Regular	
	6.55	8.05	8.05	1.50	150	100	77	51	90	7	51	13	60-200	8	-	20	Seco	15	63			
	8.05	9.45	9.45	1.40	140	100	28	20	90	7	20	3	60-200	8	-	20	Mojado	7	45	Regular	Muy mala	
	9.45	10.40	10.40	0.95	75	79	51	54	90	7	54	13	200-600	10	-	20	Mojado	7	57			
	10.40	11.40	11.40	1.00	65	65	0	0	70	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32	Mala	Extremadamente mala	Roca medianamente fracturada. Alta cantidad de arcilla. Fracturas paralelas al sondaje.
	11.40	12.55	12.55	1.15	115	100	0	0	70	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	12.55	13.00	13.00	0.45	45	100	14	31	70	7	31	8	200-600	10	-	10	Mojado	7	42	Regular	Mala	
	13.00	14.05	14.05	1.05	105	100	57	54	70	7	54	13	200-600	10	-	10	Seco	15	55			
	14.05	14.95	14.95	0.90	90	100	49	54	70	7	54	13	60-200	8	-	10	Seco	15	53	Regular	Extremadamente mala	
	14.95	15.55	15.55	0.60	60	100	0	0	70	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			
	15.55	17.05	17.05	1.50	125	100	63	42	70	7	42	8	60-200	8	-	10	Seco	15	48	Mala	Extremadamente mala	Roca medianamente fracturada.
	17.05	18.00	18.00	0.95	95	100	47	49	70	7	49	8	60-200	8	-	10	Seco	15	48			
	18.00	18.25	18.25	0.25	25	100	0	0	70	7	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	35	Regular	Mala	Roca medianamente fracturada.
	18.25	18.55	18.55	0.30	30	100	10	33	70	7	33	8	200-600	10	-	10	Húmedo	10	45			
	18.55	20.05	20.05	1.50	140	93	57	38	70	7	38	8	200-600	10	-	10	Húmedo	10	45	Regular	Mala	Roca muy fracturada. Falla de 18.90-19.15 m
	20.05	21.35	21.35	1.30	95	73	11	8	70	7	8	3	200-600	10	-	10	Húmedo	10	40			
	21.35	22.15	22.15	0.80	80	100	0	0	70	7	0	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	38	Mala	Extremadamente mala	
	22.15	22.70	22.70	0.55	40	73	0	0	70	7	0	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	38			
	22.70	23.55	23.55	0.85	85	100	12	14	70	7	14	3	200-600	10	-	10	Húmedo	10	40	Regular	Muy mala	Roca medianamente fracturada. Falla de 28.90-29.05 m
	23.55	24.55	24.55	1.00	100	100	0	0	70	7	0	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	38			
	24.55	25.60	25.60	1.05	105	100	34	32	90	7	32	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	53	Regular	Mala	
	25.60	27.00	27.00	1.40	140	100	17	12	90	7	12	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48			
	27.00	27.55	27.55	0.55	55	100	10	18	90	7	18	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48	Regular	Extremadamente mala	Roca medianamente fracturada.
	27.55	27.70	27.70	0.15	15	100	0	0	90	7	0	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10	48			
	27.70	29.05	29.05	1.35	135	100	54	40	90	7	40	8	60-200	8	-	20	Goteos	4	47	Mala	Extremadamente mala	Falla de 28.90-29.05 m
	29.05	30.55	30.55	1.50	150	100	57	38	90	7	38	8	60-200	8	-	20	Goteos	4	47			
	30.55	30.85	30.85	0.30	30	100	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	20	Goteos	4	39	Regular	Regular	
	30.85	31.80	31.80	0.95	90	95	54	57	90	7	57	13	60-200	8	-	20	Goteos	4	52			
	31.80	32.70	32.70	0.90	90	100	10	11	90	7	11	3	<60	5	-	20	Goteos	4	39	Mala	Muy mala	
	32.70	34.20	34.20	1.50	150	100	61	41	90	7	41	8	<60	5	-	20	Goteos	7	47			
	34.20	35.70	35.70	1.50	145	97	59	39	90	7	39	8	<60	5	-	20	Mojado	7	47	Regular	Mala	Roca fracturada. Calidad regular, menor presencia de arcilla. Falla entre 42.75-44.25 m.
	35.70	37.20	37.20	1.50	150	100	64	43	90	7	43	8	<60	5	-	20	Mojado	7	47			
	37.20	37.70	37.70	0.50	50	100	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42	Regular	Extremadamente mala	
	37.70	39.20	39.20	1.50	150	100	45	30	90	7	30	8	<60	5	-	20	Mojado	7	47			
	39.20	40.00	40.00	0.80	75	94	43	54	90	7	54	13	60-200	8	-	20	Mojado	7	55	Regular	Regular	
	40.00	40.55	40.55	0.55	55	100	41	75	90	7	75	13	60-200	8	-	20	Mojado	7	55			
	40.55	41.25	41.25	0.70	70	100	16	23	90	7	23	3	<60	5	-	20	Mojado	7	42	Buena	Muy mala	
	41.25	42.25	42.25	1.00	85	85	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	42.25	42.75	42.75	0.50	50	100	11	22	60	7	22	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32	Regular	Extremadamente mala	
	42.75	44.25	44.25	1.50	85	57	10	7	60	7	7	3	<60	5	-	10	Mojado	7	32			
	44.25	45.25	45.25	1.00	95	95	37	37	60	7	37	8	<60	5	-	10	Mojado	7	37	Mala	Mala	Roca altamente fracturada. Mala a muy mala calidad geotécnica. Gran presencia de arcilla y fracturamiento progresivo.
45.25	46.25	46.25	1.00	100	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22				
46.25	47.35	47.35	1.10	100	91	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Mojado	7	25	Regular	Extremadamente mala		
47.35	47.70	47.70	0.35	30	0	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Mojado	7	22				
47.70	48.70	48.70	1.00	60	60	0	0	60	7	0	3	200-600	10	-	0	Mojado	7	27	Muy mala			
48.70	49.30	49.30	0.60	40	67	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Goteos	4	19				
49.30	50.00	50.00	0.70	70	100	0.00	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Goteos	4	19				

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.			R.Q.D.			Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.							
EL-12	0.00	0.50	0.50	0.20	40	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35	Mala	Extremadamente mala	Roca descompuesta		
	0.50	1.00	0.50	0.20	40	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35					
	1.00	1.50	0.50	0.35	70	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35					
	1.50	2.00	0.50	0.00	0	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35					
	2.00	2.70	0.70	0.55	79	38	54	100	12	54	13	60-200	8	-	10	Seco	15	58					
	2.70	3.70	1.00	0.90	90	90	90	140	12	90	3	200-600	10	-	10	Seco	15	50	Regular	Muy buena	Roca fracturada		
	3.70	5.20	1.50	1.50	100	57	38	100	12	38	8	<60	5	-	10	Seco	15	50			Mala	Extremadamente mala	Falla con salvanda
	5.20	5.70	0.50	0.50	100	36	72	140	12	72	13	60-200	8	-	10	Seco	15	58					
	5.70	6.20	0.50	0.50	100	10	20	140	12	20	3	<60	5	-	10	Seco	15	45					
	6.20	7.00	0.80	0.65	81	32	40	100	12	40	8	60-200	8	-	10	Seco	15	53					
	7.00	7.50	0.50	0.50	100	14	28	100	12	28	8	<60	5	-	10	Seco	15	50					
	7.50	8.00	0.50	0.40	80	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	45					
	8.00	9.50	1.50	1.40	93	35	23	100	12	23	3	<60	5	-	10	Seco	15	45					
	9.50	10.30	0.80	0.70	87	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	48					
	10.30	11.55	1.25	1.25	100	44	35	100	12	35	8	<60	5	-	10	Seco	15	50					
	11.55	12.40	0.85	0.85	100	11	13	100	12	13	3	<60	5	-	10	Seco	15	45					
	12.40	12.90	0.50	0.50	100	23	46	100	12	46	8	<60	5	-	10	Seco	15	50					
	12.90	13.90	1.00	0.20	20	0	0	25	4	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	22					
	13.90	14.10	0.20	0.15	75	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30					
	14.10	14.35	0.25	0.25	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30					
	14.35	14.95	0.60	0.60	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30					
	14.95	15.10	0.15	0.15	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30					
	15.10	15.55	0.45	0.45	100	24	53	100	12	53	13	60-200	8	-	0	Húmedo	10	43					
	15.55	16.05	0.50	0.35	70	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30					
	16.05	17.05	1.00	0.80	80	23	23	100	12	23	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30					
	17.05	17.35	0.30	0.15	50	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30					
	17.35	18.35	1.00	1.00	100	80	80	100	12	80	17	60-200	8	-	0	Húmedo	10	47					
	18.35	19.45	1.10	1.00	91	14	13	100	12	13	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	30					
	19.45	20.65	1.20	1.20	100	33	28	100	12	28	8	<60	5	-	0	Húmedo	10	35					
	20.65	21.75	1.10	1.05	95	48	44	140	12	44	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48					
	21.75	22.25	0.50	0.40	80	10	20	140	12	20	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43					
	22.25	22.85	0.60	0.60	100	33	55	140	12	55	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53					
	22.85	23.05	0.20	0.20	100	0	0	140	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40					
	23.05	23.30	0.25	0.25	100	10	40	140	12	40	8	<60	5	-	10	Húmedo	10	45					
	23.30	24.10	0.80	0.40	50	10	13	140	12	13	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43					
	24.10	24.60	0.50	0.50	100	27	54	140	12	54	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53					
	24.60	24.85	0.25	0.25	100	0	0	140	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40					
	24.85	25.35	0.50	0.50	100	23	46	140	12	46	8	<60	5	-	10	Húmedo	10	45					
	25.35	25.75	0.40	0.40	100	12	30	140	12	30	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48					
	25.75	26.15	0.40	0.30	75	0	0	140	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40					
	26.15	26.35	0.20	0.20	100	10	50	140	12	50	8	<60	5	-	10	Húmedo	10	45					
	26.35	26.85	0.50	0.50	100	27	54	140	12	54	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53					
	26.85	27.85	1.00	0.70	70	43	43	140	12	43	8	200-600	10	-	10	Húmedo	10	50					
	27.85	29.05	1.20	1.10	92	37	31	140	12	31	8	60-200	8	-	0	Húmedo	10	38					
	29.05	30.55	1.50	1.50	100	66	44	100	12	44	8	60-200	8	-	0	Húmedo	10	38					
	30.55	31.85	1.30	1.05	81	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	33					
	31.85	33.35	1.50	1.50	100	76	51	140	12	51	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53					
	33.35	34.85	1.50	1.50	100	92	61	140	12	61	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53					
	34.85	35.95	1.10	1.10	100	23	21	140	12	21	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40					
	35.95	37.45	1.50	1.50	100	10	7	100	12	7	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40					
37.45	38.95	1.50	1.50	100	57	38	140	12	38	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48						
38.95	39.45	0.50	0.50	100	39	78	140	12	78	17	200-600	10	-	10	Húmedo	10	59						
39.45	40.20	0.75	0.75	100	12	16	140	12	16	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43						
40.20	40.35	0.15	0.15	100	0	0	140	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40						
40.35	41.05	0.70	0.70	100	38	54	140	12	54	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53						
41.05	41.75	0.70	0.55	79	23	33	140	12	33	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48						
41.75	42.25	0.50	0.30	60	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43						
42.25	42.75	0.50	0.50	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40						
42.75	43.65	0.90	0.80	89	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40						
43.65	44.15	0.50	0.50	100	12	24	100	12	24	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43						
44.15	44.75	0.60	0.50	83	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40						
44.75	45.55	0.80	0.70	88	12	15	100	12	15	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43						
45.55	45.80	0.25	0.25	100	11	44	100	12	44	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48						
45.80	46.00	0.20	0.20	100	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40						
46.00	46.25	0.25	0.25	100	0	0	140	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40						
46.25	46.55	0.30	0.30	100	12	40	140	12	40	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48						
46.55	46.70	0.15	0.15	100	10	67	140	12	67	13	<60	5	-	10	Húmedo	10	50						
46.70	47.30	0.60	0.60	100	27	45	140	12	45	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48						
47.30	47.80	0.50	0.40	80	11	22	140	12	22	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43						
47.80	48.40	0.60	0.40	67	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43						
48.40	48.80	0.40	0.25	63	0	0	100	12	0	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43						
48.80	49.30	0.50	0.35	70	0	0	100	12	0	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40						
49.30	50.00	0.70	0.30	43	20	29	100	12	29	8	200-600	10	-	10	Húmedo	10	50						

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.			R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.					
EL-13	0.00	1.00	1.00	0.10	10	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	Clastos y bloques angulosos en una matriz limo-arenosa y arcilla. Rocas de dureza media, muy a extremadamente fracturada. Lecho rocoso desde los 4.60 m				
	1.00	2.00	1.00	0.30	30	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	2.00	2.80	0.80	0.25	31	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	2.80	3.30	0.50	0.35	70	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	3.30	4.30	1.00	0.10	10	0.00	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	4.30	5.10	0.80	0.70	88	14.00	20	0.05	0	20	3	<60	5	-	-	-	-					
	5.10	6.00	0.90	0.90	100	37.00	41	120	12	41	8	<60	5	-	20	Seco	15					
	6.00	6.60	0.60	0.60	100	60.00	100	120	12	100	3	200-600	10	-	20	Húmedo	10					
	6.60	8.00	1.40	1.05	75	13.00	12	120	12	12	3	<60	5	-	20	Húmedo	10					
	8.00	8.60	0.60	0.60	100	31.00	52	120	12	52	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	8.60	10.10	1.50	1.50	100	58.00	39	120	12	39	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	10.10	11.20	1.10	1.10	100	55.00	50	120	12	50	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	11.20	12.00	0.80	0.80	100	27.00	34	120	12	34	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	12.00	13.10	1.10	1.10	100	70.00	64	120	12	64	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	13.10	13.90	0.80	0.80	100	69.00	86	120	12	86	17	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	13.90	14.60	0.70	0.70	100	22.00	31	120	12	31	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10					
	14.60	15.60	1.00	1.00	100	76.00	76	120	12	76	17	200-600	10	-	20	Húmedo	10					
	15.60	17.10	1.50	1.50	100	77.00	51	120	12	51	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	17.10	18.60	1.50	1.50	100	80.00	53	120	12	53	13	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	18.60	20.10	1.50	1.50	100	115.00	77	120	12	77	17	200-600	10	-	20	Húmedo	10					
	20.10	20.60	0.50	0.50	100	10.00	20	120	12	20	3	60-200	8	-	20	Húmedo	10					
	20.60	21.70	1.10	0.40	36	0.00	0	120	12	0	3	200-600	10	-	10	Húmedo	10					
	21.70	22.10	0.40	0.30	75	12.00	40	120	12	40	8	<60	5	-	10	Húmedo	10					
	22.10	22.50	0.40	0.25	63	0.00	0	120	12	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15					
	22.50	22.90	0.40	0.25	63	0.00	0	120	12	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15					
	22.90	23.30	0.40	0.55	137	0.00	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Seco	15					
	23.30	24.80	1.50	1.43	95	0.00	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Seco	15					
	24.80	25.80	1.00	1.00	100	0.00	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Seco	15					
	25.80	27.10	1.30	1.05	81	41.00	39	70	7	39	8	60-200	8	-	10	Seco	15					
	27.10	28.10	1.00	0.90	90	21.00	23	100	12	23	3	200-600	10	-	10	Seco	15					
	28.10	29.10	1.00	1.00	100	12.00	12	100	12	12	3	60-200	8	-	10	Seco	15					
	29.10	30.60	1.50	1.50	100	41.00	27	70	7	27	8	200-600	10	-	10	Seco	15					
	30.60	31.20	0.60	0.60	100	0.00	0	100	12	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15					
	31.20	31.40	0.20	0.20	100	0.00	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15					
	31.40	31.80	0.40	0.40	100	0.00	0	100	12	0	3	200-600	10	-	0	Seco	15					
	31.80	32.10	0.30	0.30	100	0.00	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15					
	32.10	33.60	1.50	1.45	97	10.00	7	100	12	7	3	60-200	8	-	0	Seco	15					
	33.60	34.60	1.00	0.90	90	20.00	22	100	12	22	3	60-200	8	-	0	Seco	15					
	34.60	35.10	0.50	0.50	100	0.00	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15					
	35.10	36.00	0.90	0.40	44	0.00	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15					
36.00	36.50	0.50	0.40	80	0.00	0	120	12	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15						
36.50	36.90	0.40	0.40	100	0.00	0	120	12	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15						
36.90	37.60	0.70	0.70	100	0.00	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15						
37.60	38.00	0.40	0.40	100	0.00	0	120	12	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15						
38.00	39.10	1.10	1.10	100	0.00	0	120	12	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15						
39.10	40.00	0.90	0.90	100	0.00	0	100	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15						

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint	Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.	
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.					
EL-14	0.00	0.50	0.50	0.50	100	0	0	0.05	0	0	3	60-200	8	-	-	-	Sobrecarga compuesto de clastos angulosos andesíticos, inmersos en una matriz limosa.				
	0.50	1.00	0.50	0.25	50	0	0	0.05	0	0	3	60-200	8	-	-	-					
	1.00	1.50	0.50	0.30	60	0	0	0.05	0	0	3	60-200	8	-	-	-					
	1.50	2.00	0.50	0.45	90	0	0	0.05	0	0	3	60-200	8	-	-	-					
	2.00	2.50	0.50	0.50	100	0	0	0.05	0	0	3	60-200	8	-	-	-					
	2.50	3.60	1.10	1.10	100	31	28	100	12	28	8	60-200	8	-	10	Seco					15
	3.60	4.90	1.30	1.25	96	10	8	100	12	8	3	60-200	8	-	10	Seco	15	48	Regular	Mala	Roca dura fracturada, medianamente silicificada. Falla entre los 4.90-8.20 m, caracterizada por roca triturada sin relleno. Falla entre 15.00-16.00 m, con presencia de salvanda y roca triturada.
	4.90	6.40	1.50	1.50	100	12	8	70	7	8	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Extremadamente mala	
	6.40	7.00	0.60	0.60	100	10	17	70	7	17	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Muy mala	
	7.00	8.20	1.20	0.40	33	0	0	70	7	0	3	200-600	10	-	10	Seco	15	45		Extremadamente mala	
	8.20	9.40	1.20	1.20	100	0	0	90	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Muy mala	
	9.40	10.90	1.50	1.40	93	22	15	90	7	15	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Extremadamente mala	
	10.90	11.90	1.00	0.50	50	0	0	90	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Muy mala	
	11.90	13.00	1.10	0.80	73	20	18	90	7	18	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Muy mala	
	13.00	13.80	0.80	0.65	81	0	0	90	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Extremadamente mala	
	13.80	15.00	1.20	1.00	83	0	0	90	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43		Muy mala	
	15.00	16.00	1.00	0.95	100	12	12	90	7	12	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Mala		
	16.00	16.80	0.80	0.80	100	21	26	110	12	26	8	60-200	8	-	10	Seco	15	53	Muy mala		
	16.80	18.10	1.30	1.20	92	21	16	110	12	16	3	60-200	8	-	10	Seco	15	48	Muy mala		
	18.10	19.60	1.50	1.20	80	0	0	110	12	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	48	Extremadamente mala		
19.60	20.00	0.40	0.30	75	0	0	110	12	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	48				

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.				
EL-15	0.00	0.50	0.50	0.40	80	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30	Extremadamente mala	Roca muy fracturada	
	0.50	1.00	0.50	0.20	40	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	1.00	1.50	0.50	0.40	80	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	1.50	2.00	0.50	0.50	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	2.00	3.00	1.00	0.65	65	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	3.00	3.60	0.60	0.50	83	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	3.60	4.60	1.00	0.80	80	15	15	60	7	15	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	4.60	5.50	0.90	0.90	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	5.50	6.80	1.30	0.45	35	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	6.80	7.30	0.50	0.35	70	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	7.30	8.80	1.50	0.90	60	11	7	60	7	7	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	8.80	10.30	1.50	1.40	93	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	10.30	11.80	1.50	1.10	73	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	11.80	13.30	1.50	1.10	73	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	13.30	14.80	1.50	1.50	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	14.80	15.30	0.50	0.00	0	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	15.30	15.80	0.50	0.00	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	15.80	16.80	1.00	0.00	0	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	16.80	18.00	1.20	0.00	0	25	21	60	7	21	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	18.00	19.50	1.50	0.00	0	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	19.50	21.00	1.50	0.00	0	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	21.00	22.50	1.50	0.25	17	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	22.50	24.80	2.30	0.40	17	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	24.80	25.50	0.70	0.45	64	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	25.50	27.00	1.50	0.40	100	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	27.00	27.50	0.50	0.00	0	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	27.50	29.00	1.50	0.55	37	10	7	60	7	7	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	29.00	30.20	1.20	0.55	46	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	30.20	31.70	1.50	0.45	30	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	25			
	31.70	32.70	1.00	0.00	0	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	25			
	32.70	34.20	1.50	0.50	33	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	25			
	34.20	35.70	1.50	0.00	0	10	7	60	7	7	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	25			
	35.70	37.20	1.50	0.00	0	10	7	60	7	7	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	25			
	37.20	38.70	1.50	0.75	50	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	38.70	40.00	1.30	0.50	38	19	15	60	7	15	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.		Pje.	Descripción	Pje.				
EL-16	0.00	1.00	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33	Extremadamente mala	Roca de tipo andecita de grano muy fino, muy fracturada. Por sectores fallas entre 30-40 cms de espesor. Color gris amarillenta, de manto variado	
	1.00	1.50	0.50	0.50	100	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	1.50	2.00	0.50	0.48	96	0	0	60	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30			
	2.00	3.00	1.00	0.65	65	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	3.00	3.50	0.50	0.37	74	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	3.50	4.00	0.50	0.34	68	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	4.00	5.00	1.00	0.41	41	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	5.00	5.40	0.40	0.23	58	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	5.40	6.90	1.50	0.53	35	11	7	60	7	7	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	6.90	8.00	1.10	0.65	59	10	9	60	7	9	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33			
	8.00	8.50	0.50	0.43	86	11	22	60	7	22	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	25			
	8.50	9.50	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	9.50	10.50	1.00	0.55	55	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	10.50	11.00	0.50	0.35	70	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	11.00	12.00	1.00	0.53	53	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	12.00	13.00	1.00	0.50	50	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	13.00	14.00	1.00	0.50	50	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	14.00	15.00	1.00	0.52	100	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	15.00	16.00	1.00	0.53	53	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	16.00	17.00	1.00	0.53	53	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	17.00	18.00	1.00	0.53	53	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	18.00	19.00	1.00	0.50	50	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	19.00	20.00	1.00	0.45	45	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	20.00	21.00	1.00	0.45	45	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	21.00	22.00	1.00	0.35	35	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	22.00	23.00	1.00	0.55	55	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	23.00	24.00	1.00	0.35	35	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	24.00	25.00	1.00	0.45	45	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	25.00	26.00	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	26.00	27.00	1.00	0.55	55	24	24	60	7	24	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	27.00	28.00	1.00	0.55	55	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	28.00	29.00	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	29.00	30.00	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	30.00	31.00	1.00	0.50	50	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	31.00	32.00	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	32.00	33.00	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	33.00	34.00	1.00	0.55	55	12	12	60	7	12	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	34.00	35.00	1.00	0.55	55	11	11	60	7	11	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
	35.00	36.00	1.00	0.60	60	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28			
36.00	37.00	1.00	0.70	70	0	0	60	7	0	3	60-200	8	-	0	Húmedo	10	28				
37.00	38.00	1.00	0.60	60	63	63	60	7	63	13	60-200	8	-	0	Húmedo	10	38				
38.00	39.00	1.00	0.80	80	33	33	60	7	33	8	60-200	8	-	0	Húmedo	10	33				
39.00	40.00	1.00	0.90	90	20	20	60	7	20	3	<60	5	-	0	Húmedo	10	25				

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.				Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hidrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.		
								Mpa		Pje.		Pje.		(mm)	Pje.	Pje.	Pje.					Descripción	Pje.
										(%)													
EL-17	0.00	0.50	0.50	0.20	40	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	27	Mala	Extremadamente mala	Roca descompuesta y triturada		
	0.50	1.00	0.50	0.20	40	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	27					
	1.00	1.50	0.50	0.13	26	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	27					
	1.50	2.00	0.50	0.09	18	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	27	Regular	Regular			
	2.00	3.00	1.00	0.81	81	52	52	40	4	52	13	60-200	8	-	10	Seco	15	50	Mala	Muy mala	Roca extremadamente mala. Zona de Falla, con presencia de limos, arcillas y en sectores salvanda.		
	3.00	4.00	1.00	0.80	80	11	11	40	4	11	3	<60	5	-	10	Seco	15	37					
	4.00	5.25	1.25	0.30	24	0	0	40	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40					
	5.25	6.35	1.10	1.02	93	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	37	Mala	Extremadamente mala			
	6.35	7.75	1.40	0.92	66	0	0	40	4	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	40					
	7.75	8.00	0.25	0.00	0	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	27					
	8.00	8.60	0.60	0.18	30	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	27	Mala	Extremadamente mala			
	8.60	9.60	1.00	0.40	40	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	27					
	9.60	10.35	0.75	0.55	73	0	0	40	4	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	27					
	10.35	11.00	0.65	0.53	82	0	0	70	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30	Mala	Extremadamente mala			
	11.00	11.60	0.60	0.42	70	0	0	70	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	11.60	13.00	1.40	0.20	14	0	0	70	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	13.00	13.50	0.50	0.22	44	0	0	70	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30	Mala	Muy mala			
	13.50	14.00	0.50	0.30	60	0	0	70	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	14.00	14.50	0.50	0.50	100	12	24	70	7	24	3	60-200	8	-	0	Seco	15	33					
	14.50	15.00	0.50	0.09	18	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30	Mala	Extremadamente mala			
	15.00	15.50	0.50	0.05	10	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	15.50	16.50	1.00	0.19	19	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	16.50	17.00	0.50	0.00	0	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30	Mala	Extremadamente mala			
	17.00	17.50	0.50	0.00	0	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	17.50	18.00	0.50	0.15	30	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	18.00	19.00	1.00	0.08	8	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30	Regular	Muy mala			
	19.00	20.00	1.00	0.06	6	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	20.00	20.80	0.80	0.20	25	0	0	50	7	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	30					
	20.80	21.80	1.00	0.90	90	38	38	90	7	38	8	60-200	8	-	20	Seco	15	56	Regular	Muy mala			
	21.80	23.00	1.20	1.10	92	30	25	90	7	25	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53					
23.00	23.40	0.40	0.00	0	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50						
23.40	23.80	0.40	0.00	0	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	20	Seco	15	50	Buena	Regular				
23.80	24.80	1.00	0.90	90	12	12	90	7	12	3	60-200	8	-	20	Seco	15	53						
24.80	26.30	1.50	1.50	100	78	52	90	7	52	13	60-200	8	-	20	Seco	15	63						
26.30	27.10	0.80	0.80	100	36	45	90	7	45	8	60-200	8	-	20	Seco	15	58	Buena	Regular				
27.10	28.00	0.90	0.85	94	56	62	90	7	62	13	60-200	8	-	20	Seco	15	63						
28.00	28.90	0.90	0.88	98	61	68	90	7	68	13	60-200	8	-	20	Seco	15	63						
28.90	29.95	1.05	0.35	33	0	0	90	7	0	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43	Regular	Extremadamente mala				
29.95	30.00	0.05	0.45	900	0	0	90	7	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	40						
30.00	31.00	1.00	0.80	80	24	24	90	7	24	3	60-200	8	-	10	Seco	15	43			Regular	Muy mala		

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hídrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.	
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.	Pje.	Descripción	Pje.						
CANTERA-01	0.00	0.50	0.50	0.25	50	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-	Sedimentos correspondientes a gravas en matriz limo-arenosa y arcilla. Las rocas se encuentran meteorizadas, desintegradas y muy fracturadas.				
	0.50	1.00	0.50	0.16	32	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	1.00	1.50	0.50	0.40	80	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	1.50	2.00	0.50	0.20	40	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	2.00	2.50	0.50	0.50	100	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	2.50	3.50	1.00	1.00	100	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	3.50	4.00	0.50	0.50	100	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	4.00	5.50	1.50	0.85	57	0	0	0.05	0	0	3	<60	5	-	-	-	-					
	5.50	7.00	1.50	1.40	93	40	27	80	7	27	8	60-200	8	-	20	Seco	15		58	Regular	Mala	Roca fracturada
	7.00	8.50	1.50	1.50	100	20	13	80	7	13	3	600-2000	15	-	20	Seco	15		60	Muy mala		
	8.50	10.00	1.50	1.50	100	60	40	120	12	40	8	200-600	10	-	20	Seco	15	65	Mala	Roca sana fracturada		
	10.00	11.50	1.50	1.50	100	110	73	120	12	73	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68	Regular			
	11.50	13.00	1.50	1.50	100	10	7	120	12	7	3	600-2000	15	-	20	Seco	15	65	Extremadamente mala			
	13.00	14.50	1.50	1.50	100	100	67	120	12	67	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68	Regular			
	14.50	16.00	1.50	1.50	100	80	53	120	12	53	13	60-200	8	-	20	Seco	15	68	Muy mala			
	16.00	17.00	1.00	0.60	60	20	20	120	12	20	3	200-600	10	-	20	Seco	15	60	Mala			
	17.00	18.50	1.50	1.15	100	70	47	120	12	47	8	60-200	8	-	10	Seco	15	53	Mala			
	18.50	19.00	0.50	0.16	32	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	10	Seco	15	45	Extremadamente mala			
	19.00	20.50	1.50	1.40	93	80	53	120	12	53	13	60-200	8	-	10	Seco	15	58	Regular			
	20.50	21.00	0.50	0.25	50	10	20	120	12	20	3	200-600	10	-	20	Seco	15	60	Muy mala			
	21.00	22.50	1.50	1.40	93	40	27	120	12	27	8	200-600	10	-	20	Seco	15	65	Mala			
	22.50	24.00	1.50	1.50	100	80	53	120	12	53	13	200-600	10	-	20	Seco	15	70	Regular			
	24.00	25.50	1.50	1.50	100	70	47	120	12	47	8	200-600	10	-	20	Seco	15	65	Mala			
	25.50	26.80	1.30	0.80	62	40	31	120	12	31	8	200-600	10	-	10	Seco	15	55	Regular			
	26.80	27.80	1.00	0.30	100	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35	Extremadamente mala			
	27.80	28.30	0.50	0.26	52	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35				
	28.30	29.80	1.50	0.50	33	10	7	120	12	7	3	<60	5	-	0	Seco	15	35	Roca meteorizada fracturada a muy fracturada, con sectores pasados de arcilla			
	29.80	31.30	1.50	1.10	73	60	40	120	12	40	8	200-600	10	-	10	Seco	15	55				
	31.30	32.80	1.50	1.30	87	70	47	120	12	47	8	60-200	8	-	10	Seco	15	53	Mala			
	32.80	33.80	1.00	0.35	35	20	20	120	12	20	3	200-600	10	-	10	Seco	15	50				
	33.80	35.30	1.50	1.00	67	50	33	120	12	33	8	200-600	10	-	10	Seco	15	55	Muy mala			
	35.30	35.80	0.50	0.50	100	10	20	120	12	20	3	<60	5	-	10	Seco	15	45	Mala			
	35.80	36.30	0.50	0.50	100	10	20	120	12	20	3	<60	5	-	10	Seco	15	45	Muy mala			
	36.30	37.80	1.50	0.90	60	40	27	120	12	27	8	200-600	10	-	10	Seco	15	55	Roca sana fracturada			
	37.80	39.30	1.50	1.40	93	70	47	120	12	47	8	60-200	8	-	10	Seco	15	53				
	39.30	40.00	0.70	0.70	100	30	43	120	12	43	8	60-200	8	-	10	Seco	15	53	Mala			

POZO	DESDE (m)	HASTA (m)	PERF (m)	REC (m)	REC (%)	Σ > 10 cm	RQD (%)	R.C.S.E.		R.Q.D.		Espaciamiento (S)		Condición Joint		Condición Hidrica		RMR	Clasificación RMR	Clasificación RQD	Obs.
								Mpa	Pje.	(%)	Pje.	(mm)	Pje.		Pje.	Descripción	Pje.				
CANTERA-02	0.00	0.50	0.50	0.20	40	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	Clastos subangulosos a subredondeados de composición andesítica en matriz limo-arenosa y arcilla. La roca se encuentran meteorizada, desintegrada y muy fracturada.			
	0.50	1.00	0.50	0.20	40	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	0	Seco	15				
	1.00	1.50	0.50	0.20	40	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	0	Seco	15				
	1.50	2.00	0.50	0.20	40	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	0	Seco	15				
	2.00	2.50	0.50	0.10	20	0	0	0	0	0	3	<60	5	-	0	Seco	15				
	2.50	3.00	0.50	0.25	50	10	20	100	12	20	3	60-200	8	-	0	Seco	15				
	3.00	4.50	1.50	1.10	73	20	13	100	12	13	3	60-200	8	-	0	Seco	15	38			
	4.50	6.00	1.50	1.10	73	60	40	100	12	40	8	60-200	8	-	0	Seco	15	43	Mala	Muy mala	
	6.00	7.20	1.20	0.50	42	20	17	100	12	17	3	60-200	8	-	10	Seco	15	48			
	7.20	8.70	1.50	1.40	93	100	67	100	12	67	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53	Regular	Muy mala	
	8.70	10.20	1.50	1.20	80	60	40	120	12	40	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48			
	10.20	11.20	1.00	0.70	70	40	40	120	12	40	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48	Regular	Muy mala	
	11.20	12.70	1.50	0.80	53	50	33	120	12	33	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48			
	12.70	14.20	1.50	1.50	100	30	20	120	12	20	3	200-600	10	-	10	Húmedo	10	45	Regular	Muy mala	
	14.20	15.70	1.50	0.60	40	20	13	120	12	13	3	200-600	10	-	10	Húmedo	10	45			
	15.70	17.20	1.50	1.35	90	50	33	120	12	33	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48	Regular	Muy mala	
	17.20	18.40	1.20	0.60	100	30	25	120	12	25	3	60-200	8	-	10	Húmedo	10	43			
	18.40	19.90	1.50	0.75	50	20	13	120	12	13	3	<60	5	-	10	Húmedo	10	40	Mala	Muy mala	
	19.90	21.40	1.50	1.20	80	10	7	120	12	7	3	600-2000	15	-	10	Húmedo	10	50			
	21.40	22.60	1.20	0.95	79	60	50	120	12	50	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60	Regular	Extremadamente mala	
	22.60	23.60	1.00	0.95	95	40	40	120	12	40	8	200-600	10	-	20	Húmedo	10	60			
	23.60	25.10	1.50	1.50	100	60	40	120	12	40	8	60-200	8	-	20	Húmedo	10	58	Regular	Muy mala	
	25.10	26.60	1.50	1.10	73	60	40	120	12	40	8	200-600	10	-	20	Seco	15	65			
	26.60	28.10	1.50	1.00	67	20	13	120	12	13	3	60-200	8	-	0	Seco	15	38	Buena	Muy mala	
	28.10	29.60	1.50	0.70	100	20	13	120	12	13	3	200-600	10	-	0	Seco	15	40			
	29.60	30.60	1.00	0.50	50	0	0	120	12	0	3	<60	5	-	0	Seco	15	35	Regular	Extremadamente mala	
	30.60	32.10	1.50	1.00	67	20	13	120	12	13	3	200-600	10	-	10	Seco	15	50			
	32.10	33.60	1.50	0.50	33	40	27	120	12	27	8	200-600	10	-	10	Seco	15	55	Regular	Muy mala	
	33.60	35.10	1.50	1.40	93	40	27	120	12	27	8	60-200	8	-	10	Seco	15	53			
	35.10	36.60	1.50	1.05	70	40	27	120	12	27	8	200-600	10	-	10	Seco	15	55	Regular	Muy mala	
	36.60	38.10	1.50	1.10	73	40	27	120	12	27	8	60-200	8	-	10	Húmedo	10	48			
	38.10	39.60	1.50	1.30	87	40	27	120	12	27	8	<60	5	-	10	Húmedo	10	45	Regular	Muy mala	
	39.60	40.00	0.40	0.40	100	20	50	120	12	50	13	60-200	8	-	10	Húmedo	10	53			

2. GLOSARIO

REC :	Recuperación.
$\Sigma > 10 \text{ cm} :$	Sumatoria de fragmentos mayor a diez centímetros.
R.C.S.E. :	Resistencia de la matriz rocosa a la compresión simple (Mpa).
Pje (R.C.S.E) :	Puntuación asignada para la resistencia a la compresión simple (definido por Bieniawski, 1989).
R.Q.D :	Índice de calidad Rock Quality Design (Deere, 1964).
Pje (R.Q.D.) :	Puntuación asignada para el R.Q.D. (definido por Bieniawski, 1989).
S :	Separación entre diaclasas en mm.
Pje (S) :	Puntuación asignada para la separación entre diaclasas (definido por Bieniawski, 1989).
Condición Joint (JC):	Estado de las discontinuidades.
Pje (JC) :	Puntuación asignada para el estado de las discontinuidades (definido por Bieniawski, 1989).
Condición Hídrica (WC):	Condiciones de agua freática
Pje (WC) :	Puntuación asignada para las condiciones del agua freática (definido por Bieniawski, 1989).
RMR :	Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989).





**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA**



ANEXO II



COLUMNAS GEOTÉCNICAS POR SONDAJE

ÍNDICE ANEXO I

	Pág.
1. SONDAJES	1
1.01. EL-01	1
1.02. EL-02	2
1.03. EL-03	3
1.04. EL-04	4
1.05. EL-05	5
1.06. EL-06	6
1.07. EL-07	7
1.08. EL-08	9
1.09. EL-09	11
1.10. EL-10	12
1.11. EL-11	13
1.12. EL-12	14
1.13. EL-13	15
1.14. EL-14	16
1.15. EL-15	17
1.16. EL-16	18
1.17. EL-17	19
1.18. CANTERA-01	20
1.19. CANTERA-02	21
2. GLOSARIO	22

1. SONDAJES

1.01. EL-01

Profundidad: 40,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

- **Norte:** 7.953.847,54
- **Este:** 424.172,91
- **Cota:** 1.809,33

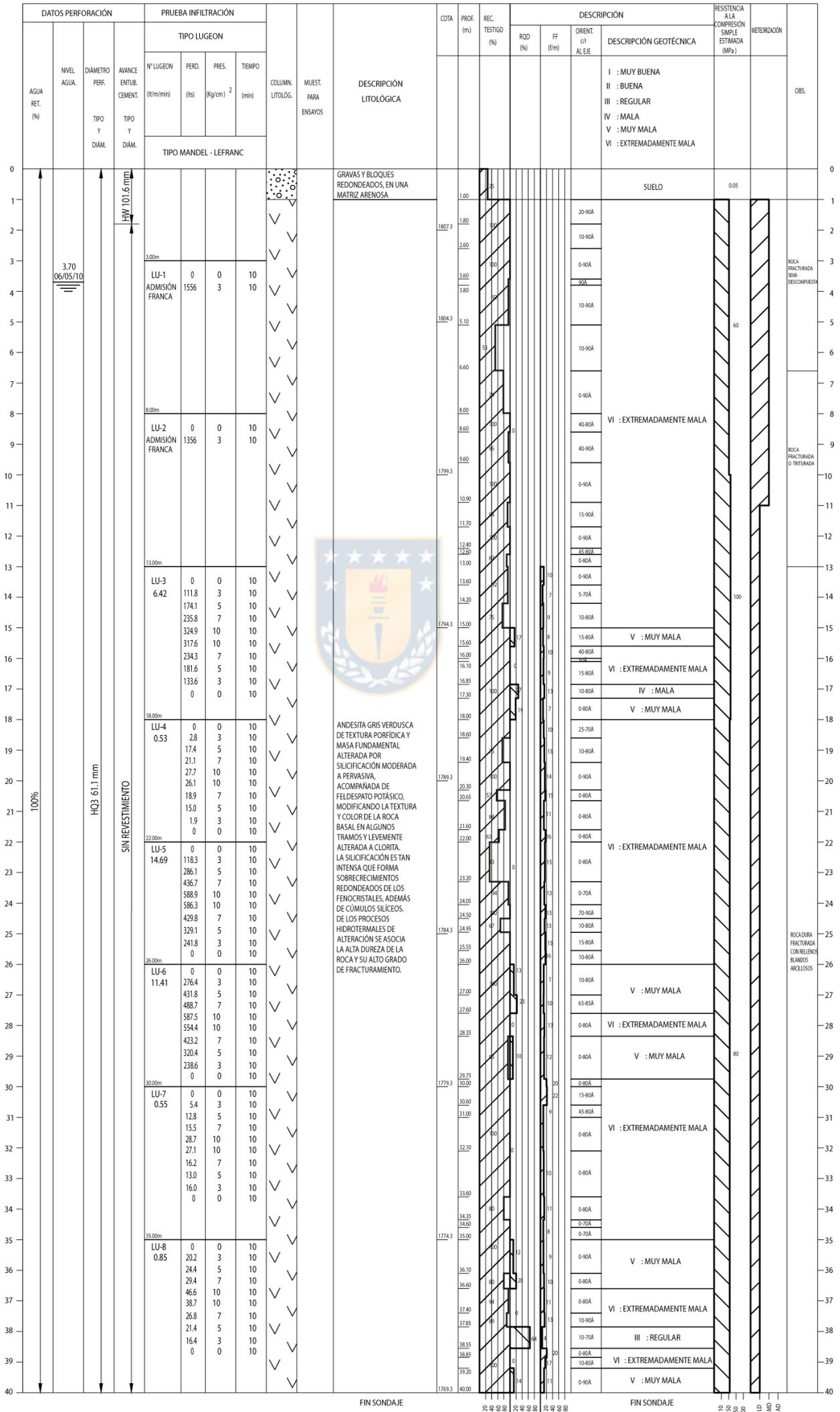
Incler al cenit: Vertical

Azimet: --

Sitio: Plinto izquierdo

Comenzado: 28/04/2010

Terminado: 08/05/2010



1.02. EL-02

Profundidad: 43.70 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.869,20

Este: 424.168,44

Cota: 1.808,54

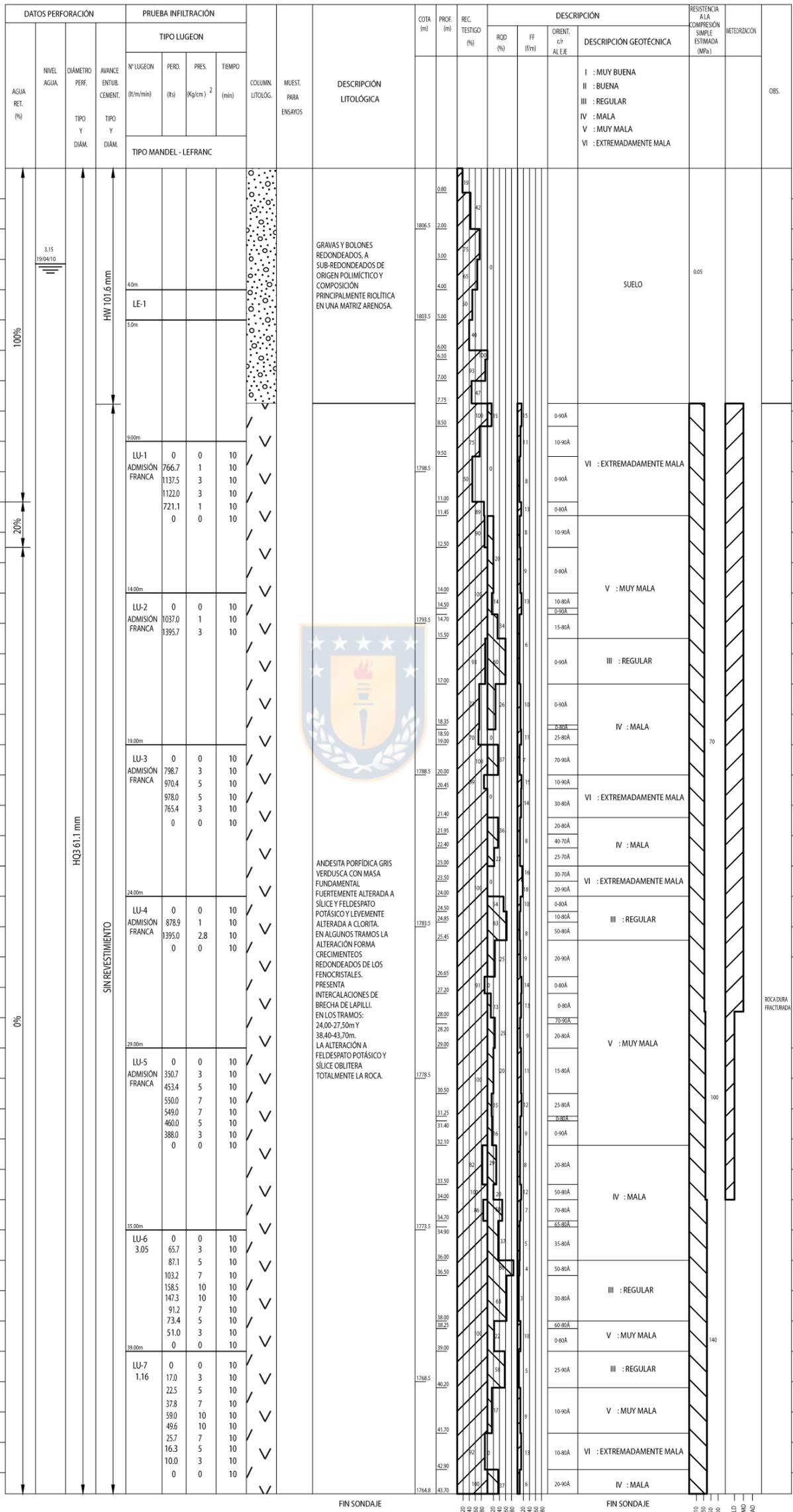
Incler al cenit: Vertical

Azimut: --

Sitio: Plinto izquierdo lecho

Comenzado: 07/04/2010

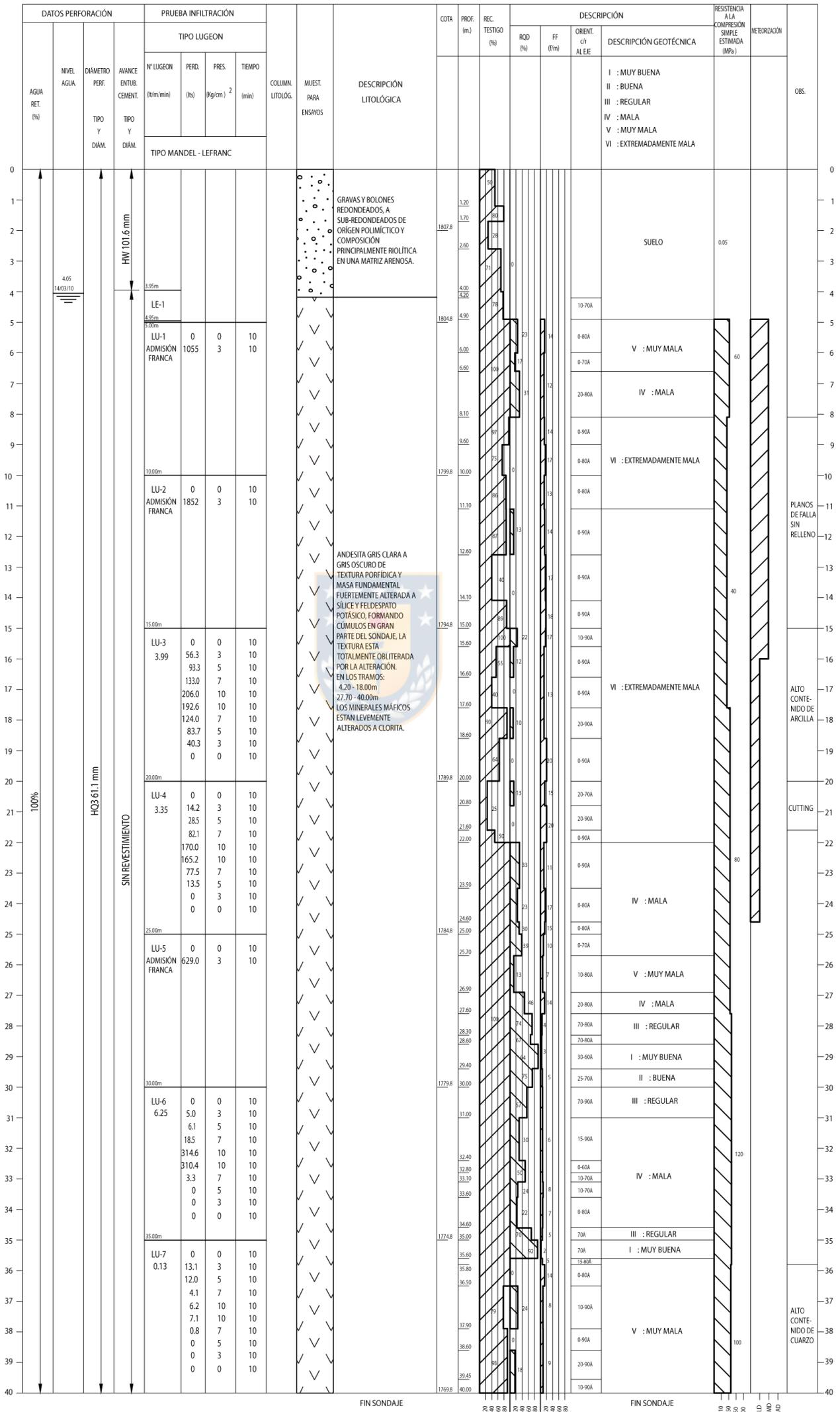
Terminado: 19/04/2010



1.04. EL-04

Profundidad: 40,00 m.
Coordenadas (U.T.M)
Norte: 7.953.934,83
Este: 424.137,86
Cota: 1.809,88

Incler al cenit: Vertical
Azimet: --
Sitio: Plinto derecho
Comenzado: 07/03/2010
Terminado: 14/03/2010



1.05. EL-05

Profundidad: 50,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.950,32

Este: 424.128,59

Cota: 1.808,57

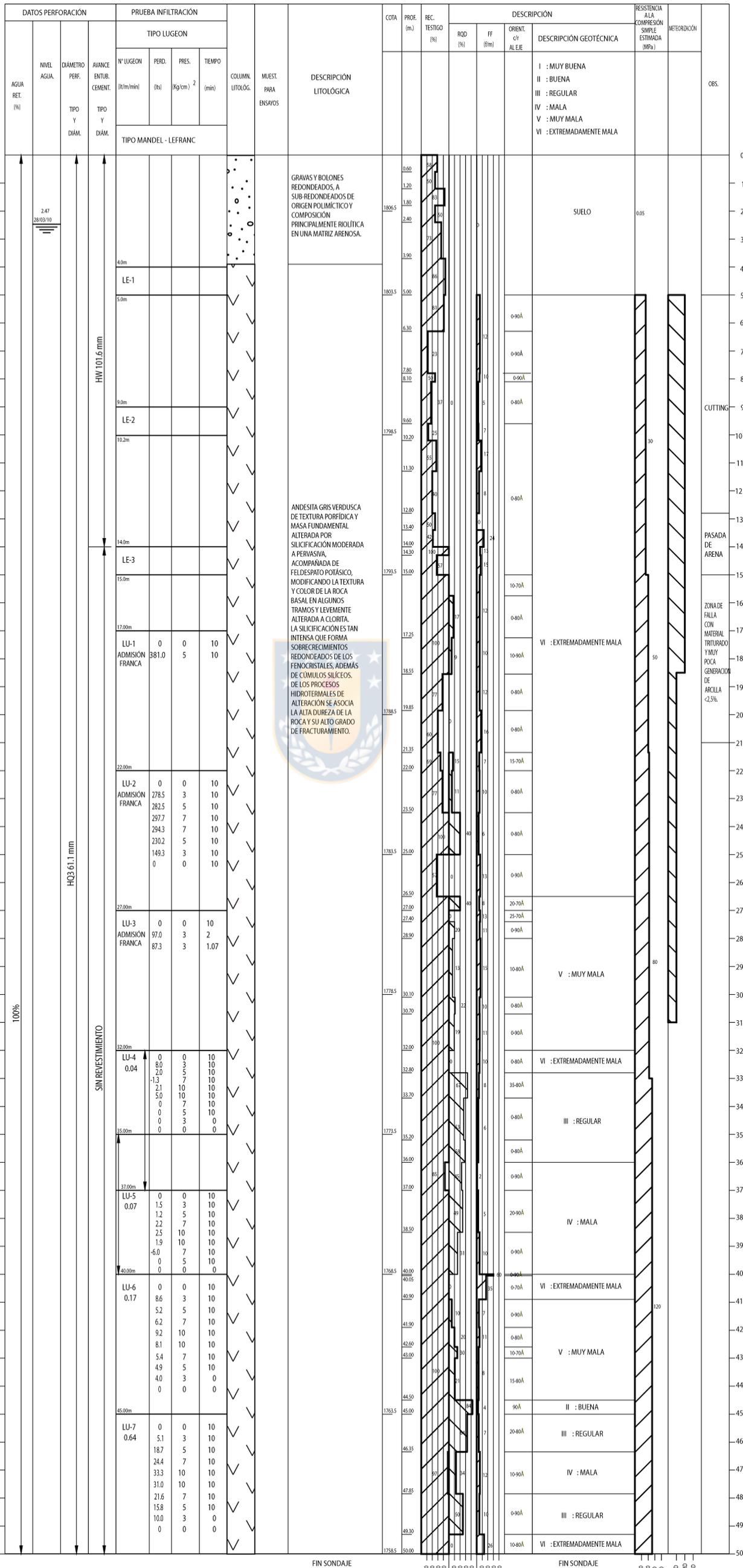
Inclver al cenit: Vertical

Azimet: --

Sitio: Plinto derecho

Comenzado: 15/03/2010

Terminado: 29/03/2010



DATOS PERFORACIÓN				PRUEBA INFILTRACIÓN				COLUMN. UTÍLOCS	INVEST. INFA ENSAYOS	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	COTA	PROF. (m)	REC. TESTIGO (m)	DESCRIPCIÓN				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE ESTADÍST. (MPa)	MISERICORDIA
AGUA REL. (%)	INCL. AGUA	DÍAMETRO PERFOR.	AVANCE (m/h)	TIPO LUGEON										DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA					
				Nº LUGEON	FREQ. (Hz)	PRES. (kg/cm ²)	TIMPO (min)								ORIENT. DE ALTE.				
				TIPO MANDEL - LEFRANC															
100%	INQ3	SIN REVESTIMIENTO		367.8	7	10	V	V			36				I : MUY BUENA II : BUENA III : REGULAR IV : MALA V : MUY MALA VI : EXTREMADAMENTE MALA		085		
				471.1	10	10												37	
				449.4	10	10												38	
				368.8	7	10												39	
				279.8	5	10												40	
				216.3	3	10												41	
				45.00m														42	
				LU-8	45.1	3												10	43
				1.901	61.3	5												10	44
					72.7	7												10	45
					96.4	10												10	46
					93.7	10												10	47
					64.5	7												10	48
					55.2	5												10	49
					39.2	3												10	50
				45.00m														51	
				LU-9	158.0	3												10	52
				8.466	237.4	5												10	53
					390.2	7												10	54
					431.4	10												10	55
					415.2	10												10	56
					343.6	7												10	57
					216.5	5												10	58
					147.0	3												10	59
				45.00m														60	
				LU-10	67.4	3												10	61
				5.139	114.1	5												10	62
					190.1	7												10	63
					365.1	10												10	64
					248.8	10												10	65
					147.3	7												10	66
					99.0	5												10	67
					62.3	3												10	68
				45.00m														69	
				LU-11	95.1	3												10	70
				5.966	182.7	5												10	
					240.4	7												10	
					299.9	10												10	
					296.7	10												10	
					241.5	7												10	
					187.2	5												10	
					103.3	3												10	
				45.00m														71	
				LU-12	86.2	3												10	
				3.694	181.6	5												10	
					135.3	7												10	
					190.4	10												10	
					179.0	10												10	
					131.5	7												10	
					112.5	5												10	
					103.6	3												10	
																		72	

ROCA DE COLOR VERDE CLARO A GRIS CLARO. CORRESPONDE A UNA ROCA DACÍTICA VITREA, CON ABUNDANTE CONTENIDO DE FELDSPATO POTÁSICO Y SILICIFICACIÓN. SE OBSERVA MICROBRECHICIZACIÓN.

1.08. EL-08

Profundidad: 80,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.918,00

Este: 423.989,00

Cota: 1.877,00

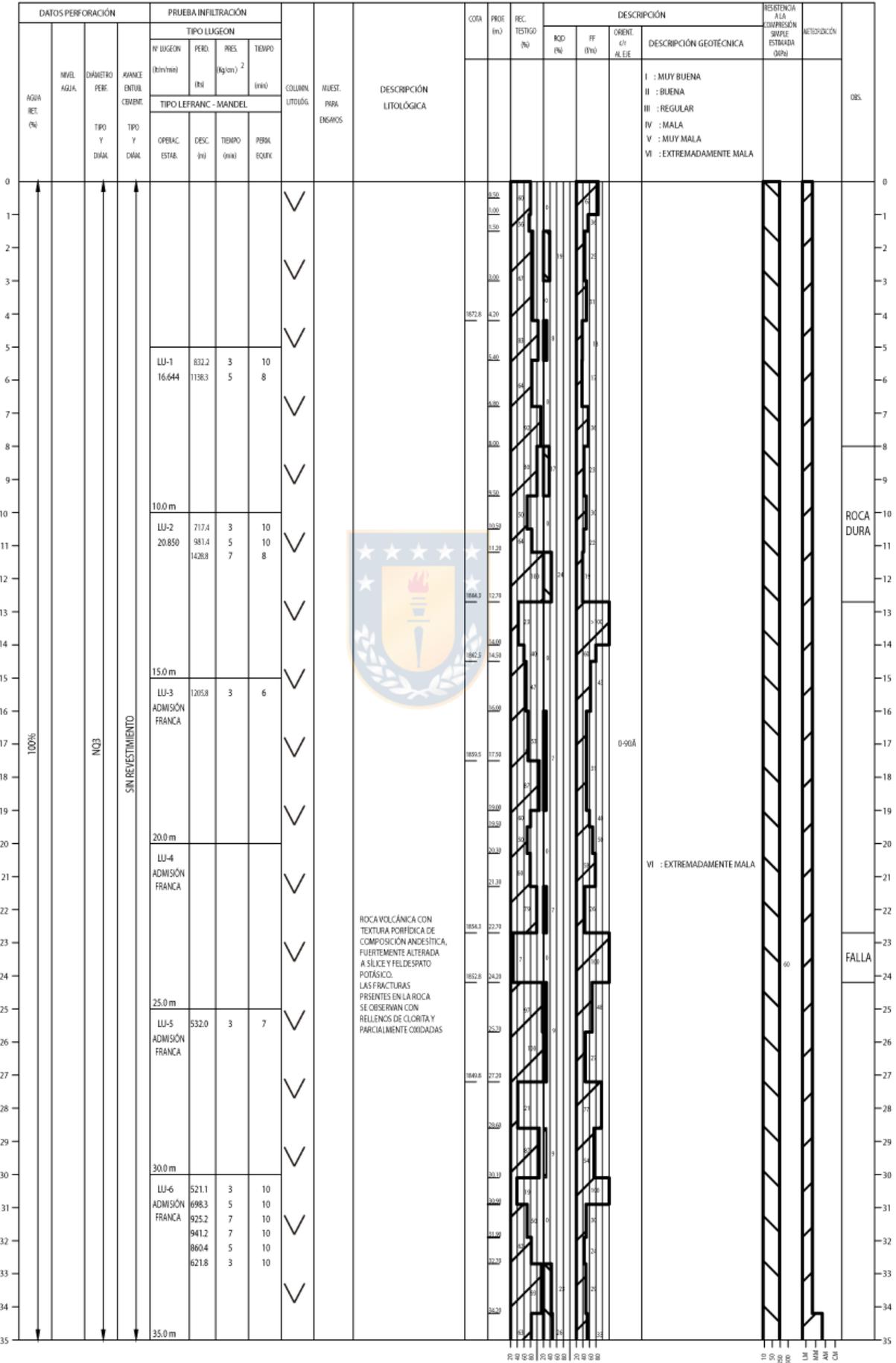
Incler al cenit: Vertical

Azimut: --

Sitio: Plinto derecho

Comenzado: 20/06/2011

Terminado: 09/08/2011



DATOS PERFORACIÓN				PRUEBA INFILTRACIÓN				COLUMNA LITOLÓGICA	MUEST. PARA ENSAYOS	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	COTA	PROF. (m)	REC. TESTIGO (m)	DESCRIPCIÓN			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE ESTIMADA (MPa)	METENCIÓN	DEL
AGUA RET. (%)	NIVEL AGUA	DIAMETRO REF. (mm)	AVANCE ENTUB. (cm)	TIPO LUJACION										DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA					
				N. LUJACION	PERD. (l/d)	PRES. (kg/cm ²)	TIEMPO (min)								VI	VELOCIDAD (cm/min)			
TIPO Y DIAM.	TIPO Y DIAM.	OPERAC. ESTAB.	DESC. (m)	TIEMPO (min)	PERD. (l/d)	VELOCIDAD (cm/min)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE ESTIMADA (MPa)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE ESTIMADA (MPa)											
				LUJ-7	597.6	3	10	✓											
				26.835	780.1	5	10	✓											
					1021.8	7	10	✓											
					1315.2	10	10	✓											
					1368.3	10	10	✓											
					1097.2	7	10	✓											
					810.7	5	10	✓											
					605.3	3	10	✓											
				40.0 m				✓											
				LUJ-8	451.7	3	10	✓											
				24.722	608.2	5	10	✓											
					806.5	7	10	✓											
					1231.4	10	10	✓											
					1240.8	10	10	✓											
					800.5	7	10	✓											
					587.2	5	10	✓											
					434.7	3	10	✓											
				45.0 m				✓											
				LUJ-9	385.2	3	10	✓											
				19.284	521.7	5	10	✓											
					790.0	7	10	✓											
					968.1	10	10	✓											
					960.3	10	10	✓											
					787.7	7	10	✓											
					352.5	5	10	✓											
					391.4	3	10	✓											
				50.0 m				✓											
				LUJ-10				✓											
					ADMISIÓN FRANCA			✓											
				55.0 m				✓											
				LUJ-11				✓											
					ADMISIÓN FRANCA			✓											
				60.0 m				✓											
				LUJ-12	367.2	3	10	✓											
					BY-PASS			✓											
				65.0 m				✓											
				LUJ-13				✓											
					ADMISIÓN FRANCA			✓											
				70.0 m				✓											
				LUJ-14	468.3	3	10	✓											
					ADMISIÓN FRANCA			✓											
				75.0 m				✓											
				LUJ-15				✓											
					ADMISIÓN FRANCA			✓											

ROCA VOLCÁNICA CON TEXTURA PORFÍDICA DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA, FUERTEMENTE ALTERADA A SILICE Y FELDSPATO POTÁSICO. LAS FRACTURAS PRESENTES EN LA ROCA SE OBSERVAN CON RELLENOS DE CLORITA Y PARCIALMENTE COCIDADAS

1.10. EL-10

Profundidad: 50,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.812,00

Este: 424.096,00

Cota: 1.856,00

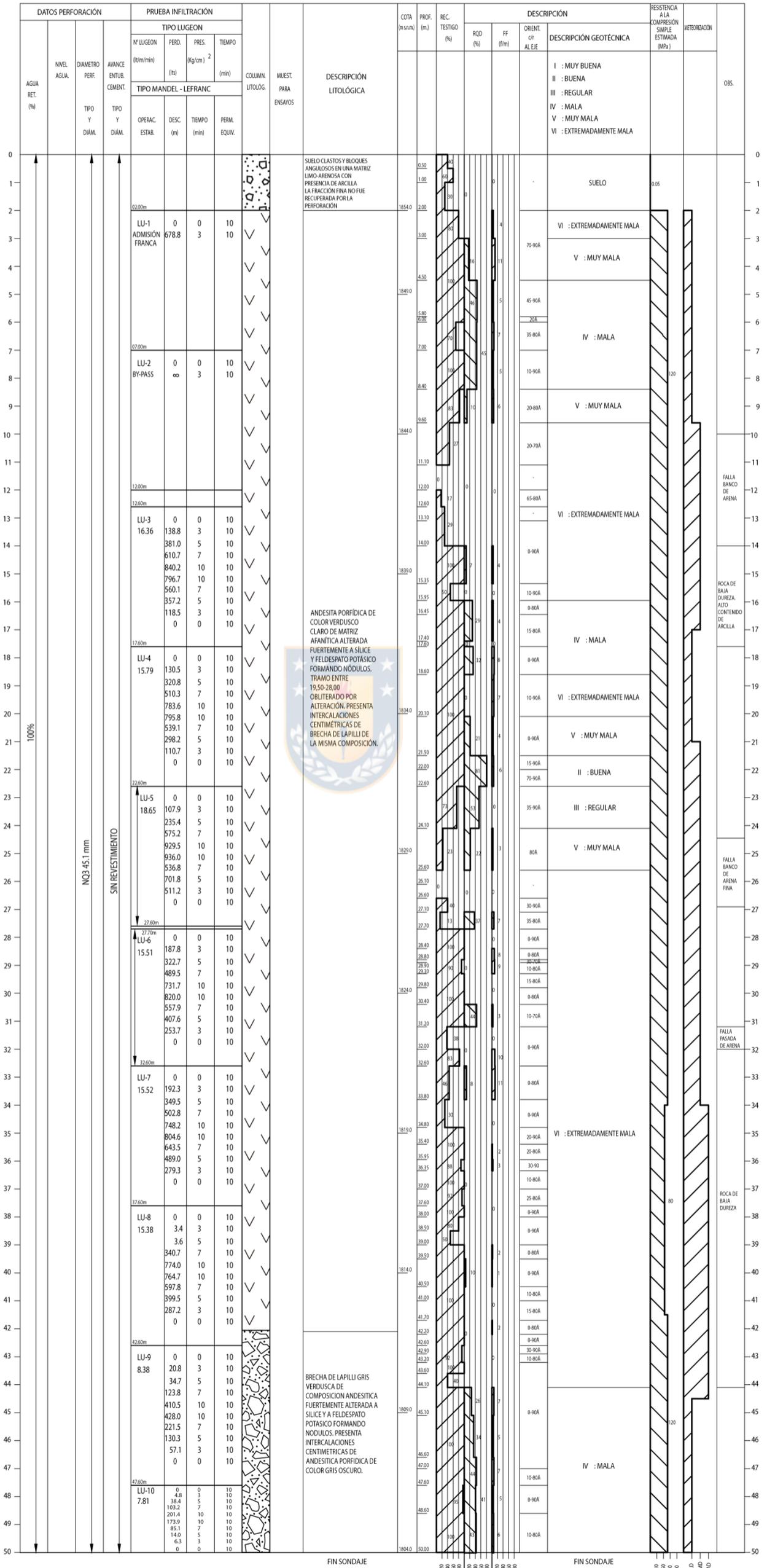
Incler al cenit: Vertical

Azimet: --

Sitio: Plinto izquierdo

Comenzado: 27/09/2010

Terminado: 07/10/2010



1.11. EL-11

Profundidad: 50,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.787,00

Este: 424.076,00

Cota: 1.870,00

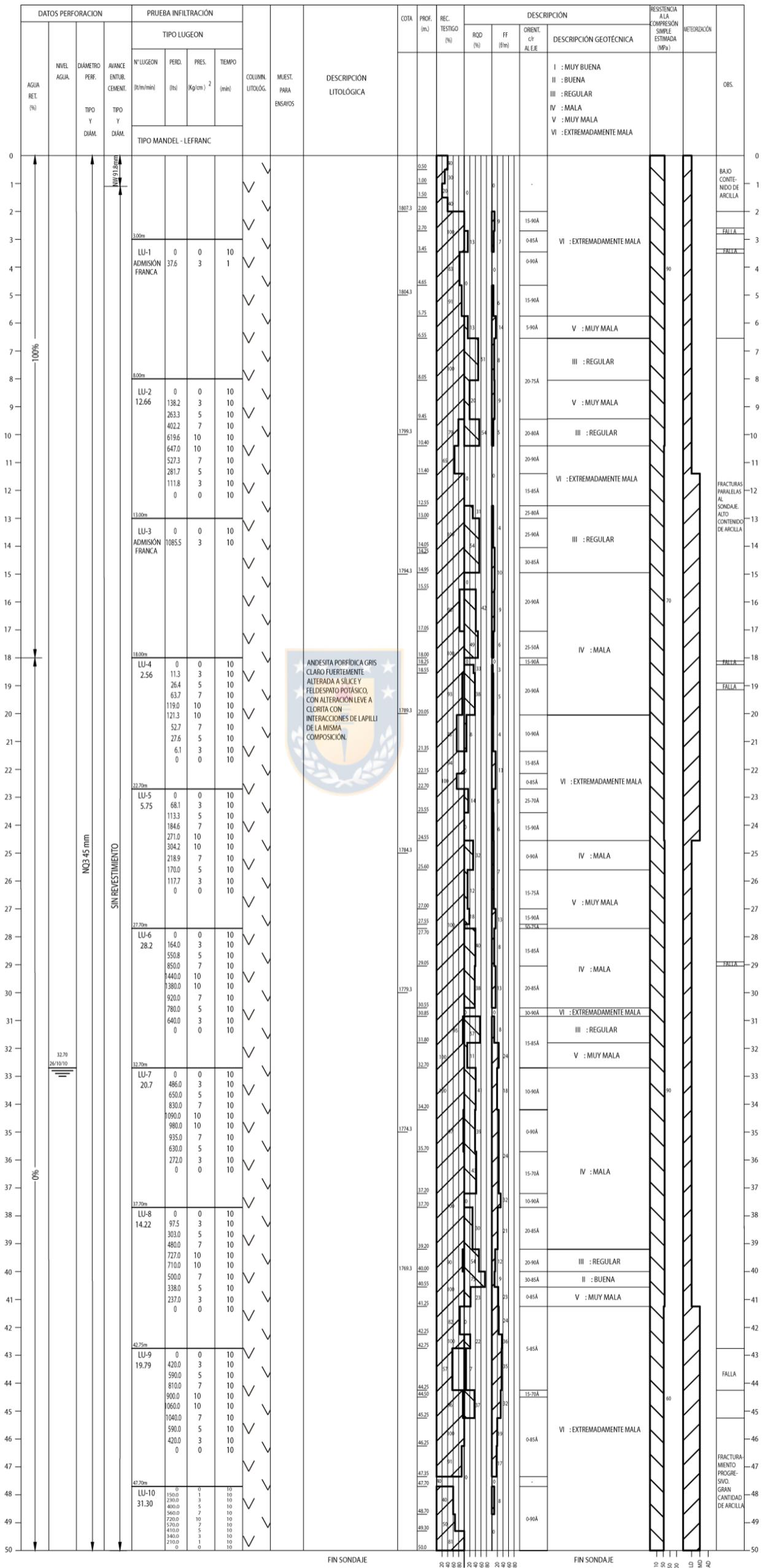
Incler al cenit: Vertical

Azimut: --

Sitio: Plinto izquierdo

Comenzado: 09/10/2010

Terminado: 02/11/2010



1.12. EL-12

Profundidad: 50,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.961,00

Este: 424.088,00

Cota: 1.860,00

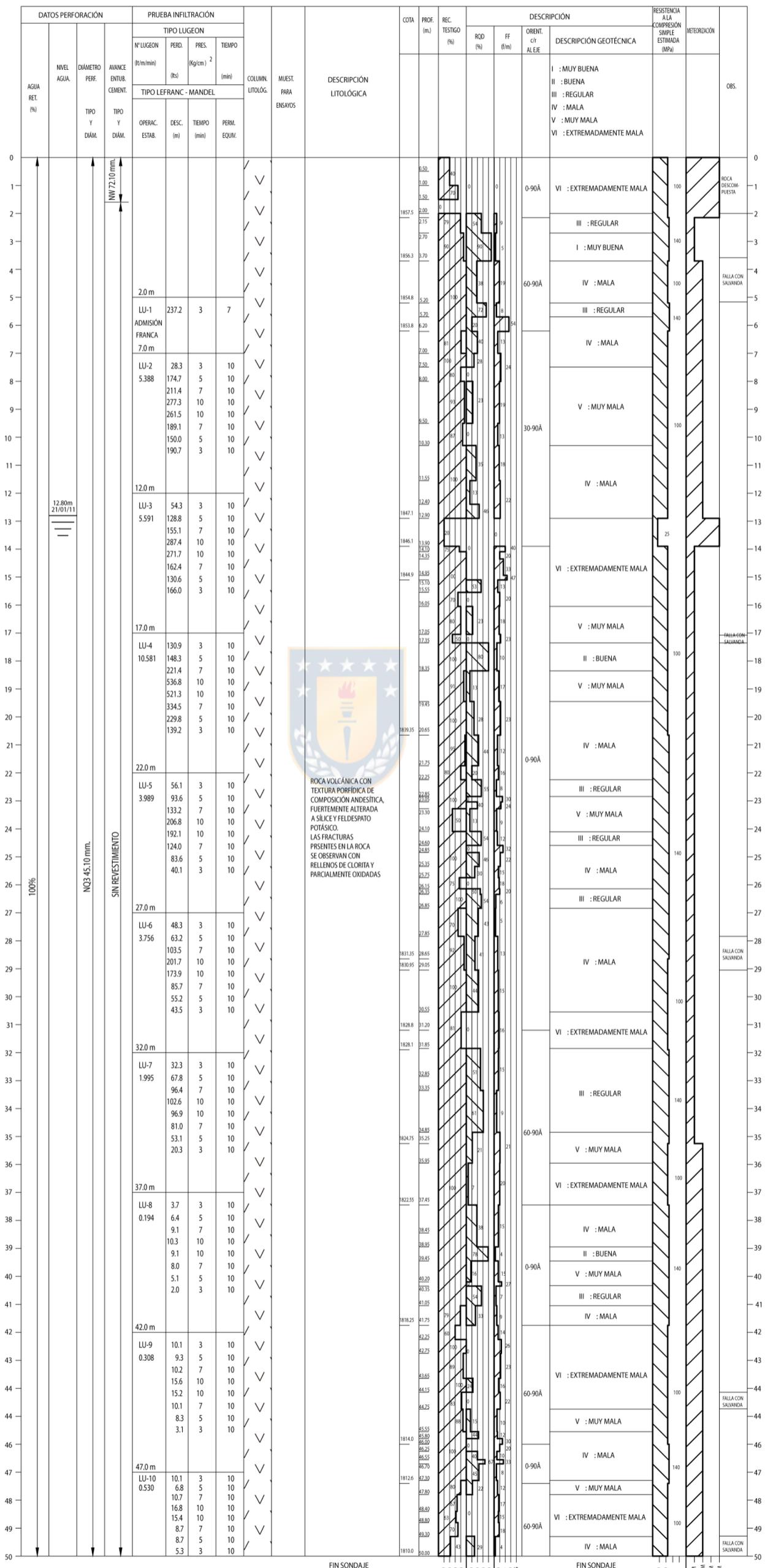
Incler al cenit: Vertical

Azimut: --

Sitio: Plinto derecho

Comenzado: 15/01/2011

Terminado: 21/01/2011



ROCA VOLCÁNICA CON TEXTURA PORFÍDICA DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA, FUERTEMENTE ALTERADA A SILICE Y FELDSPATO POTÁSICO. LAS FRACTURAS PRESENTES EN LA ROCA SE OBSERVAN CON RELLENOS DE CLORITA Y PARCIALMENTE OXIDADAS

1.14. EL-14

Profundidad: 20,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.880,62

Este: 423.886,29

Cota: 1.816,50

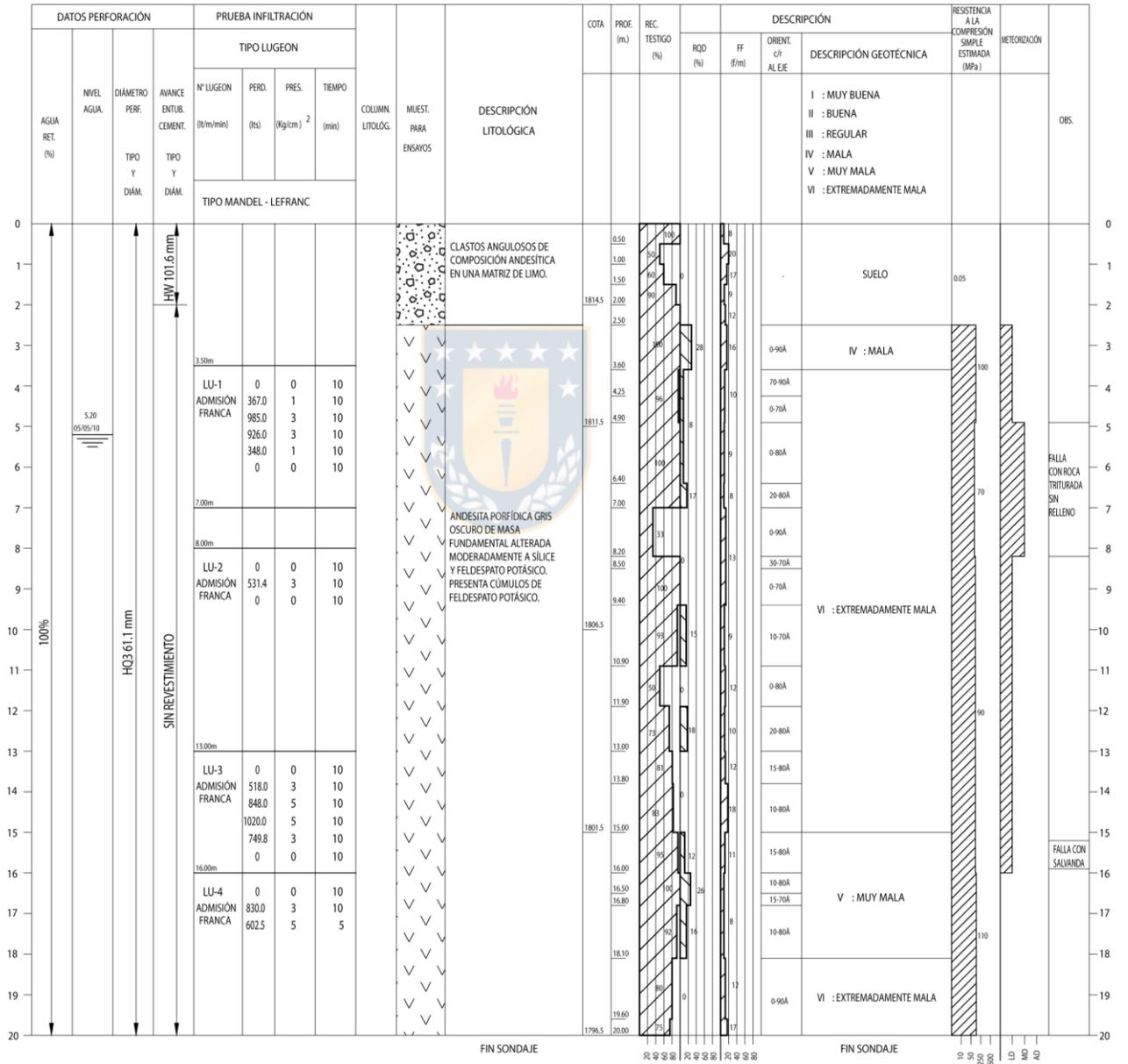
Inclver al cenit: Vertical

Azimut: --

Sitio: Eje del túnel

Comenzado: 28/04/2010

Terminado: 08/05/2010



1.16. EL-16

Profundidad: 40,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.967,00

Este: 424.039,00

Cota: 1.899,00

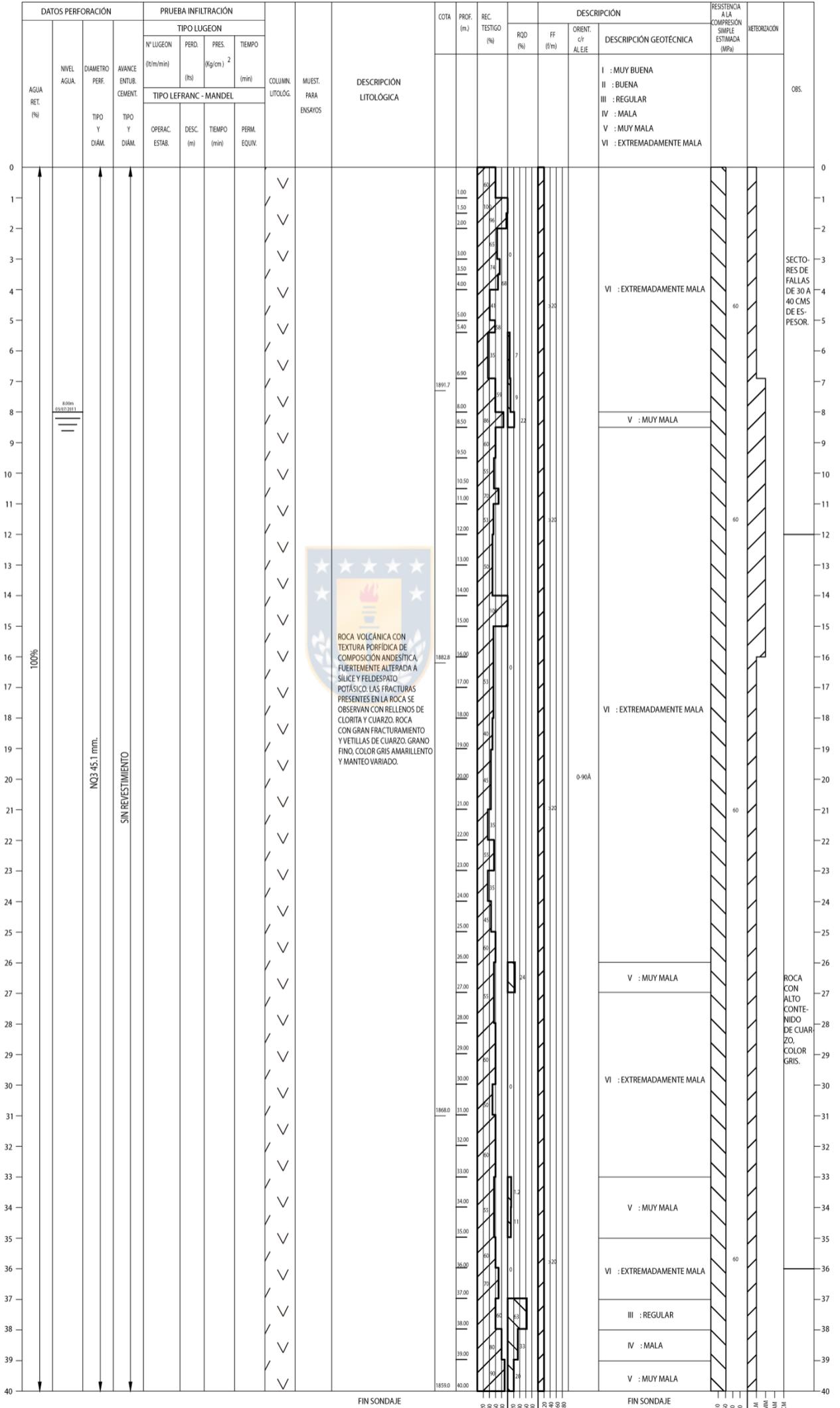
Incler al cenit: Vertical

Azimet: --

Sitio: Plinto derecho

Comenzado: 25/06/2011

Terminado: 15/08/2011



1.17. EL-17

Profundidad: 31,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.953.982,00

Este: 424.143,00

Cota: 1.837,00

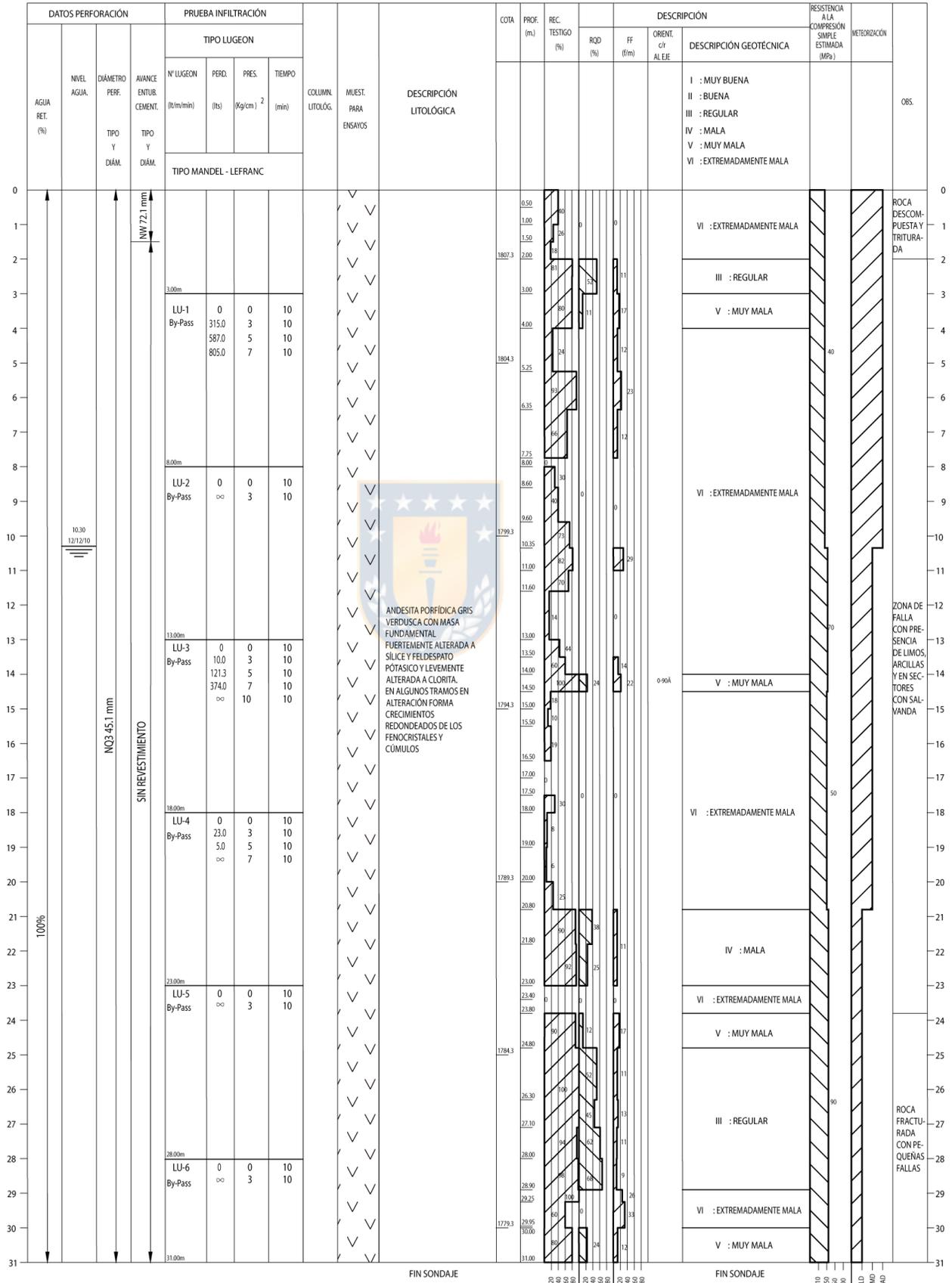
Incler al cenit: Vertical

Azimut: --

Sitio: Túnel de desvío

Comenzado: 07/12/2010

Terminado: 12/12/2010



1.19. CANTERA-01

Profundidad: 40,00 m.

Coordenadas (U.T.M)

Norte: 7.954.727,00

Este: 425.794,00

Cota: 1.996

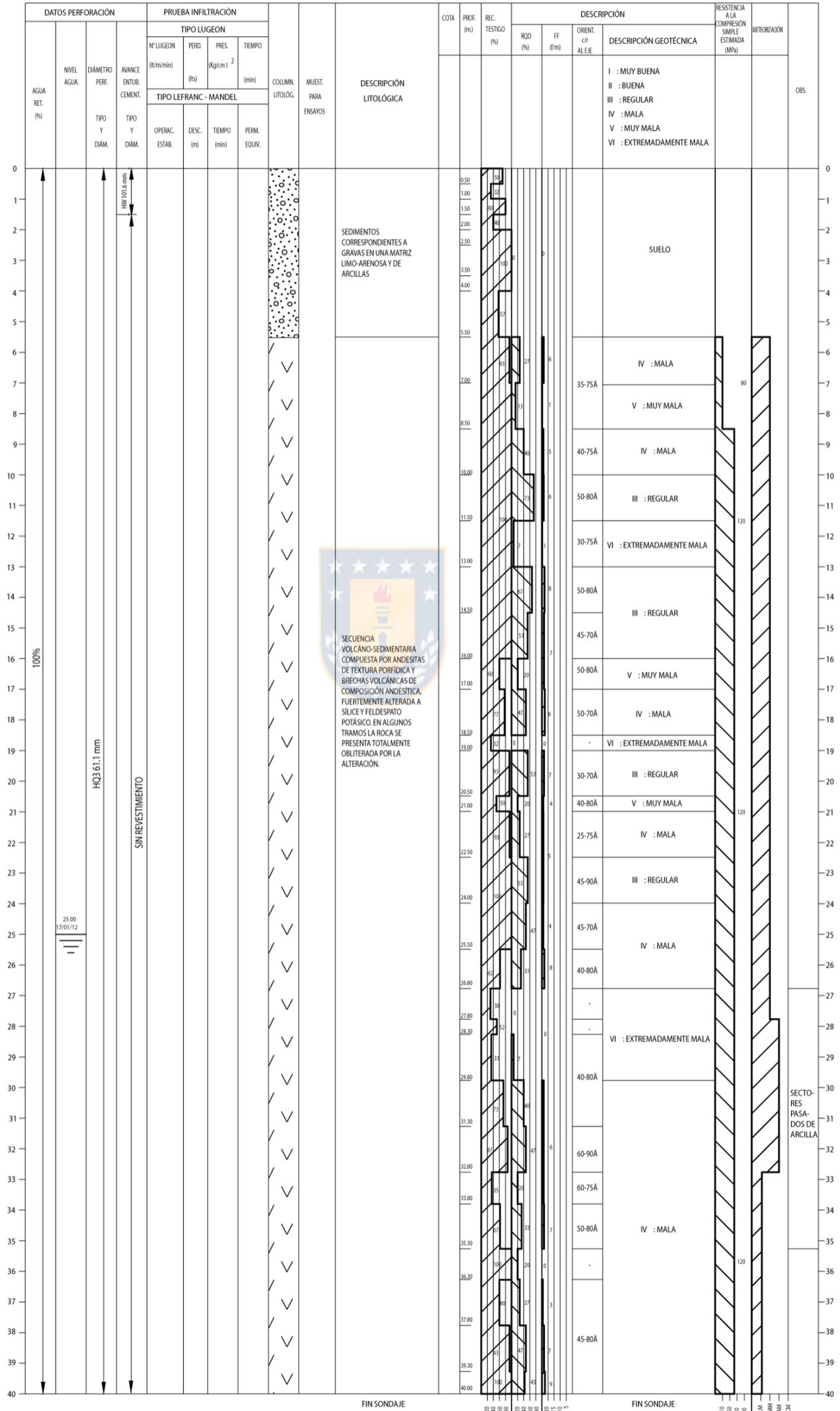
Incler al cenit: Vertical

Azimet: --

Sitio: Cantera

Comenzado: 12/01/2012

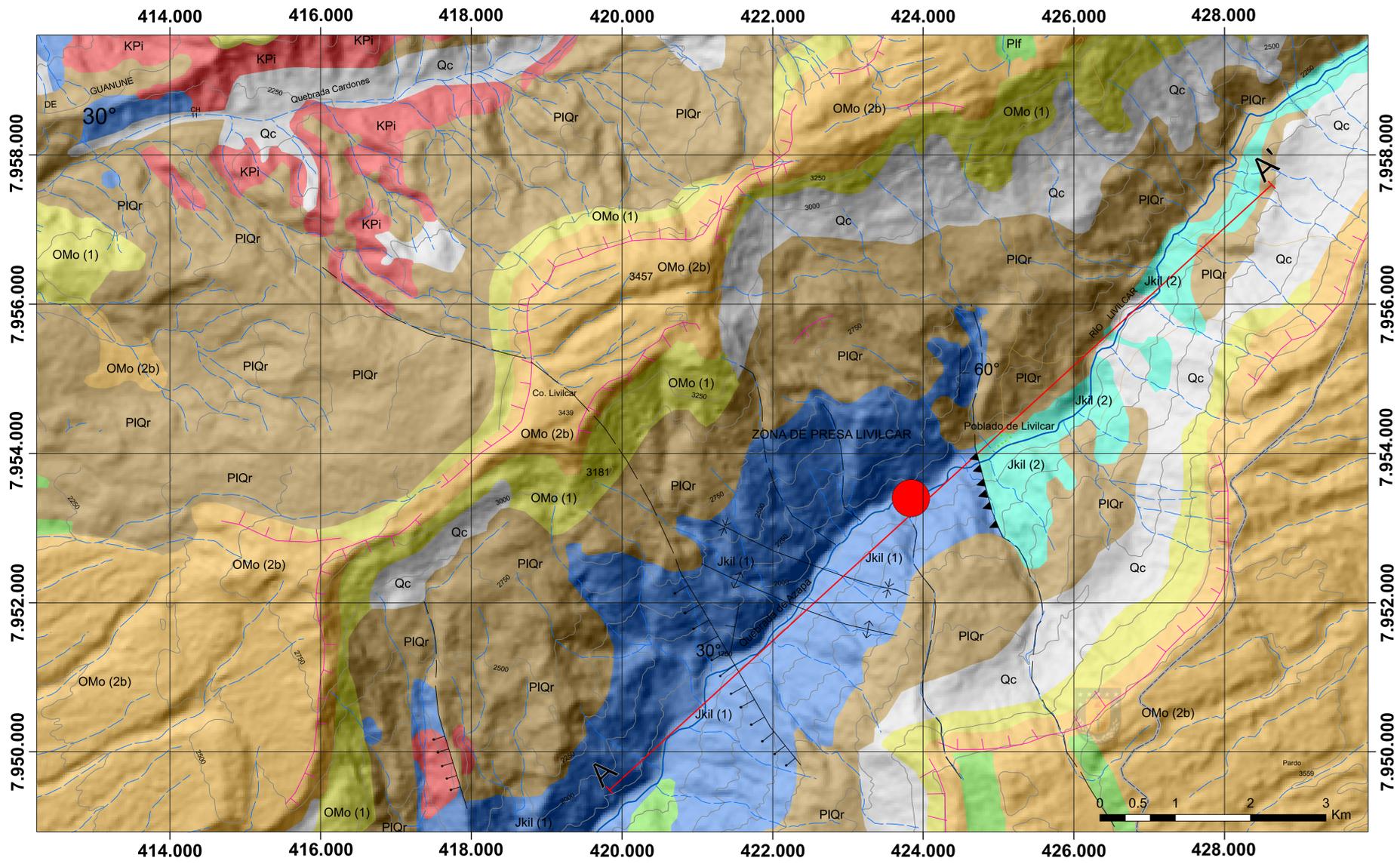
Terminado: 17/01/2012



2. GLOSARIO

LU :	Ensayo Lugeon.
R.Q.D :	Índice de calidad Rock Quality Design (Deere, 1964).
FF:	Índice de fracturas por metro.
LD :	Baja meteorización.
MD :	Mediana meteorización.
AD:	Alta meteorización.
Á:	Ángulo respecto al eje.





Legenda

Rocas estratificadas

- Qc** Depósitos Coluviales (Cuaternario): Depósitos de bloques, gravas y arenas.
- PIQr** Depósitos de Remoción en Masa (Plioceno-Holoceno): Gravas y bloques redondeados, duros y frescos en una matriz arenosa con limo. Baja compactad y alta permeabilidad.
- Msrl** Depósitos de la Avalancha Lluta (Mioceno superior): Depósitos de remoción en masa. Megabloques y bloques hectométricos a métricos de la Fm. Oxaya y subordinadamente la Fm. El Diablo.
- OMo(2b)** Formación Oxaya (Oligoceno superior-Mioceno inferior): Secuencia volcánica principalmente piroclástica constituida por: (1) = Ignimbritas y rocas sedimentarias. (2b) = Ignimbrita Oxaya.
- OMo(1)** Formación Oxaya (Oligoceno superior-Mioceno inferior): Secuencia volcánica principalmente piroclástica constituida por: (1) = Ignimbritas y rocas sedimentarias. (2) = Ignimbrita Oxaya.

Rocas intrusivas

- KPi** Intrusivos del Cretácico Superior- Paleógeno inferior: Intrusivos de Lluta. Granodioritas y Monzonitas Cuarcleras.

Mesozoico

- JKil(2)** Formación Livilcar (Jurásico Superior-Cretácico Inferior): Secuencia volcánica marina y transicional, fosilífera: (2) = Miembro Superior: Calizas, lutitas, areniscas con yeso y coquinas. (1) = Miembro Inferior: Areniscas y paraconglomerados.
- JKil(1)** Formación Livilcar (Jurásico Superior-Cretácico Inferior): Secuencia volcánica marina y transicional, fosilífera: (2) = Miembro Superior: Calizas, lutitas, areniscas con yeso y coquinas. (1) = Miembro Inferior: Areniscas y paraconglomerados.

Simbología

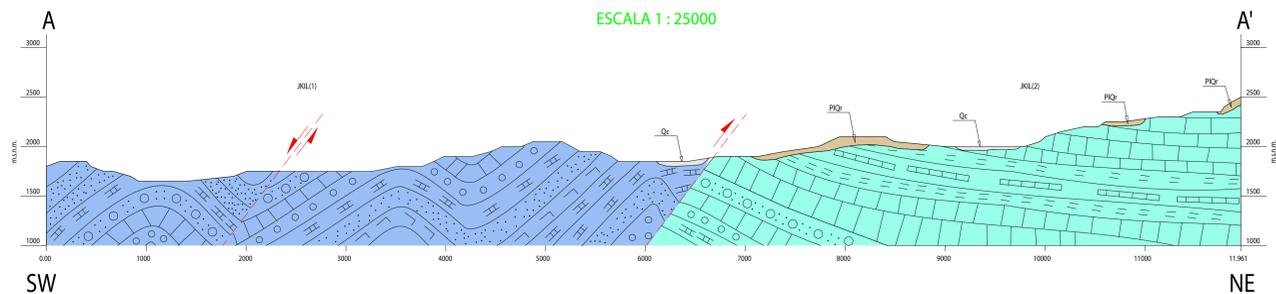
- Estratificación
- Límite provincial
- Quebrada intermitente
- Quebrada permanente
- Río
- Sitio de presa
- Falla normal
- Falla inversa
- Falla inferida
- Pliegue anticlinal
- Pliegue sinclinal
- Pliegue volcado
- Contacto geológico
- Escarpe

Referencias

- (1) García y otros (2004)
- (2) MN Ingenieros Ltda. (2012)

PERFIL ESQUEMATICO A-A'

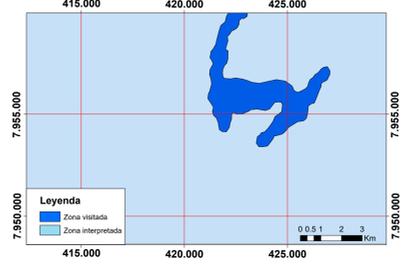
ESCALA 1 : 25000



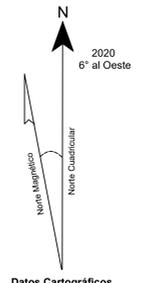
SIMBOLOGÍA

- CONGLOMERADO
- CALIZA
- ARENISCA CONGLOMERÁDICA
- ARENISCA CALCÁREA
- ARENISCA
- TOBA RIOLÍTICA
- CALCILUTITA
- YESO
- LUTITAS (CAPAS)

MAPA VALIDEZ DE LA INFORMACIÓN



Declinación Magnética

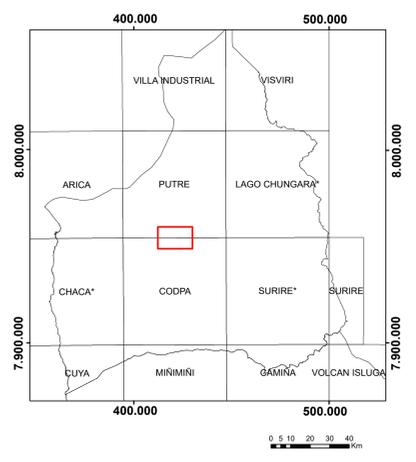


Datos Cartográficos
 Proyección Universal de Mercator (UTM)
 Origen de las abscisas (E) Meridiano 75° O = 500 km
 Origen de las ordenadas (N) 10.000 km al Sur del Ecuador

Dato Geodésicos
 Elipsoide de Referencia Internacional 1924
 Origen Datum World Geodesic System (1984), Zona 19 Sur

Equidistancia Curvas de Nivel: 5 m
 Dato Altimétrico: nivel del mar

SITUACIÓN DE CARTAS VECINAS



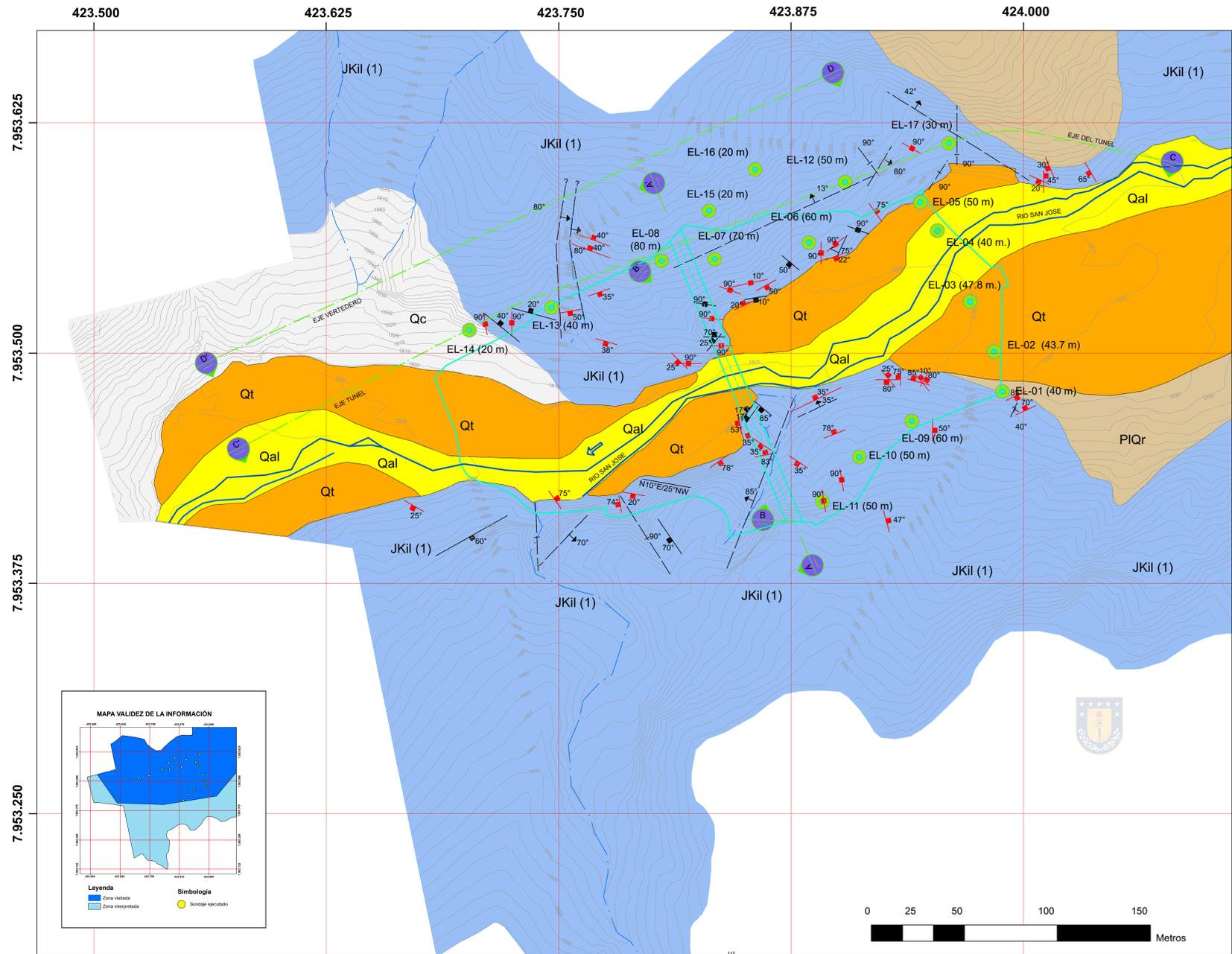
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA

**EMBALSE LIVILCAR
 GEOLOGÍA REGIONAL**

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE IMPLANTACIÓN DEL EMBALSE LIVILCAR, VALLE DE AZAPA, PROVINCIA DE ARICA, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, CHILE. MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

AUTOR: DIEGO IGNACIO HERMOSILLA VERDUGO

NOTA: EL ORIGEN DE LA INFORMACION SE BASA EN LA HOJA ARICA DEL SERNAGEOMIN, ESCALA 1:250.000 (GARCIA, GARDEWEG, CLAVERO Y HERAIL, 2004)



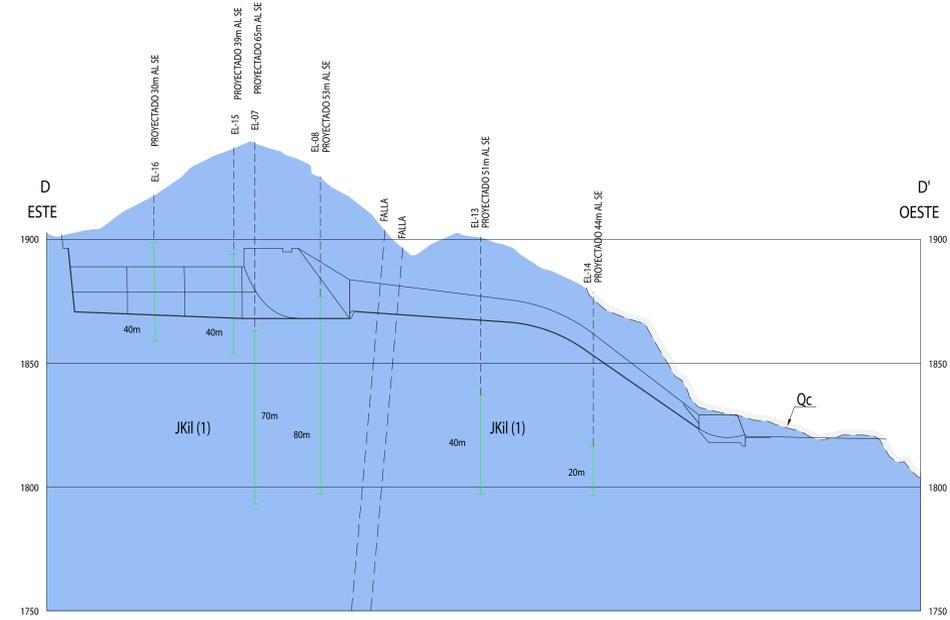
SIMBOLOGÍA

- Contacto Geológico
- ↖ Fractura indicando dirección e inclinación
- ↑ Fracturamiento vertical
- Fracturamiento horizontal
- ↖↗ Fracturas múltiples indicando dirección e inclinación
- ↖↗ Familia de fracturas
- ↖ Falla indicando inclinación
- ↖ Falla vertical
- ↖ Estratificación indicando rumbo y manteo
- Sondaje ejecutado

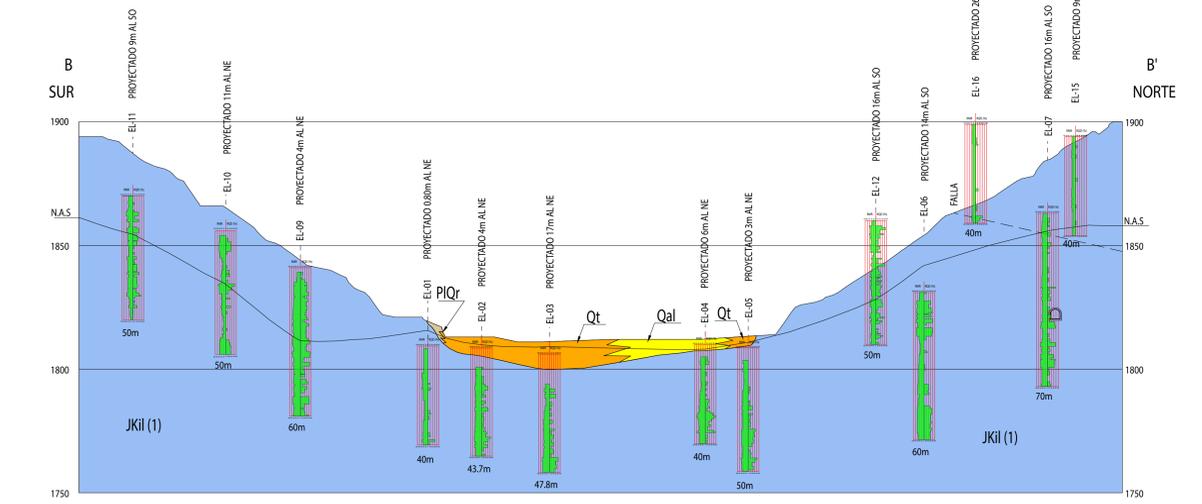
Declinación Magnética

Datos Cartográficos
 Proyección Universal de Mercator (UTM)
 Origen de las abscisas (E) Meridiano 75° O = 500 km
 Origen de las ordenadas (N) 10.000 km al Sur del Ecuador

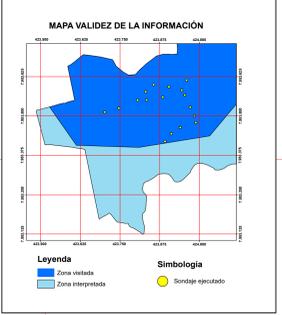
Dato Geodésicos
 Elipsoide de Referencia Internacional 1924
 Origen Datum World Geodesic System (1984), Zona 19 Sur
 Equidistancia Curvas de Nivel: 5 m
 Dato Altimétrico: nivel del mar



SECCIÓN D
 Perfil longitudinal Eje del Evacuador
 Escala: 1:1000

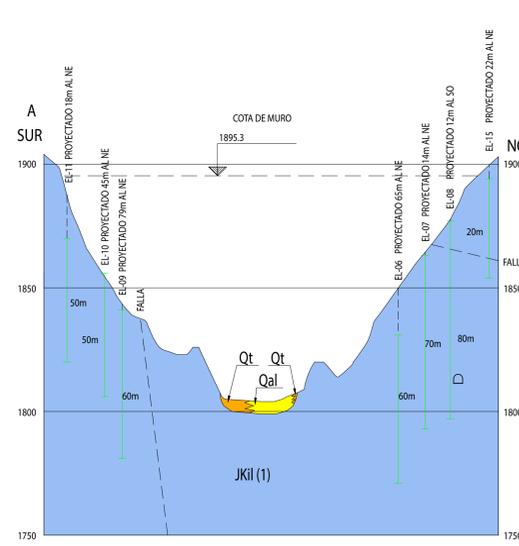


SECCIÓN B
 Perfil longitudinal Plinto
 Escala: 1:1000

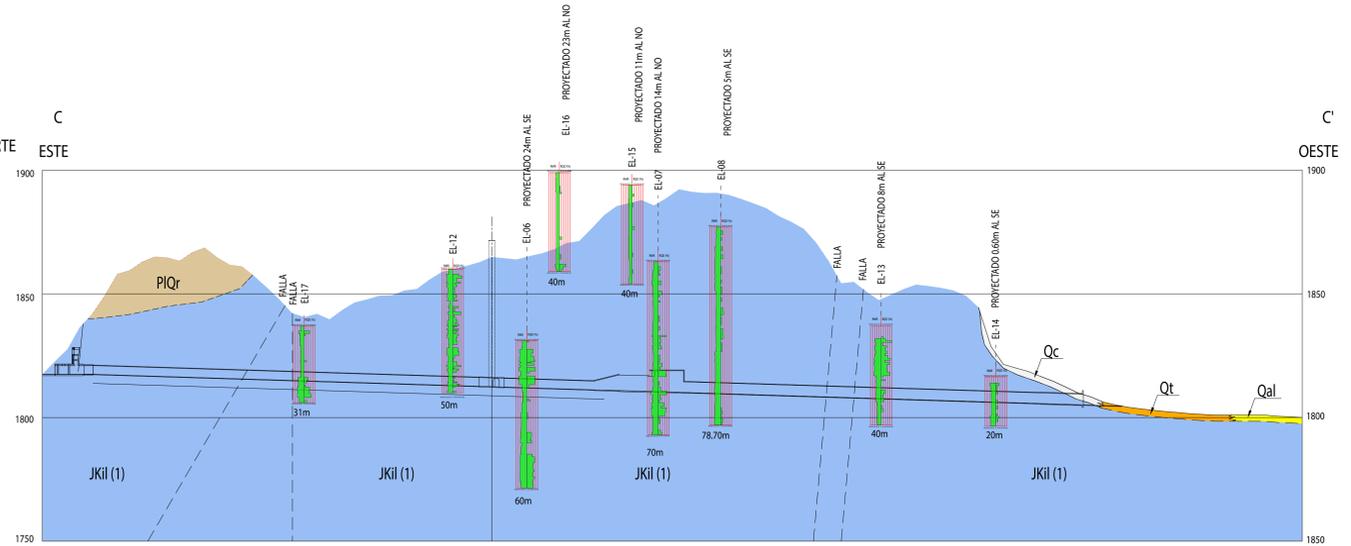


423.500 423.625 423.750 423.875 424.000

- LEYENDA**
- Qal** Depósitos Aluviales (Holoceno-Reciente):
Gravas y bloques redondeados, duros y frescos en una matriz arenosa con limo. Baja compactad y alta permeabilidad.
 - Qt** Depósitos Aluviales Aterrazados (Holoceno):
Gravas y bloques en una matriz de arena, limo y arcilla. De compactad baja a moderada y alta permeabilidad.
 - Qc** Depósitos de Cono de Deyección (Pleistoceno-Holoceno):
Gravas y bloques subangulosos sin matriz. Depositados por gravedad y/o efecto del agua.
 - PIQr** Depósitos de Remoción en masa (Plioceno-Holoceno):
Megabloques, bloques y rodados en una matriz de arena y limo.
 - JKil (1)** Formación Livilcar (Jurásico Superior-Cretácico Inferior):
Miembro Inferior: Areniscas y paraconglomerados.



SECCIÓN A
 Perfil longitudinal Eje Muro
 Escala: 1:1000



SECCIÓN C
 Perfil longitudinal Eje del Túnel
 Escala: 1:1000

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA

EMBALSE LIVILCAR
GEOLOGÍA ÁREA PRESA
 PERFILES EJE PRESA, PLINTO, TÚNEL Y VERTEDERO

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA
 DE LA ZONA DE IMPLANTACIÓN DEL EMBALSE
 LIVILCAR, VALLE DE AZAPA, PROVINCIA DE
 ARICA, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, CHILE.
 MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

AUTOR: DIEGO IGNACIO HERMOSILLA VERDUGO

MAPA GEOLÓGICO 1:1000

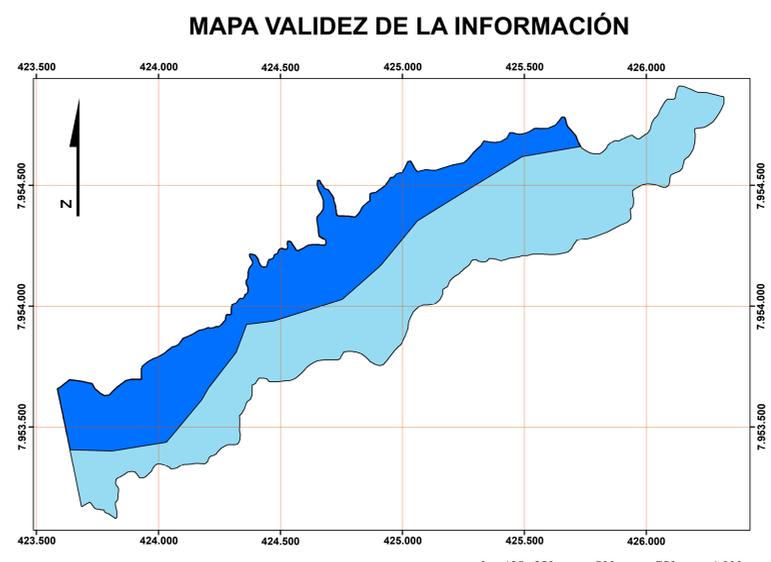
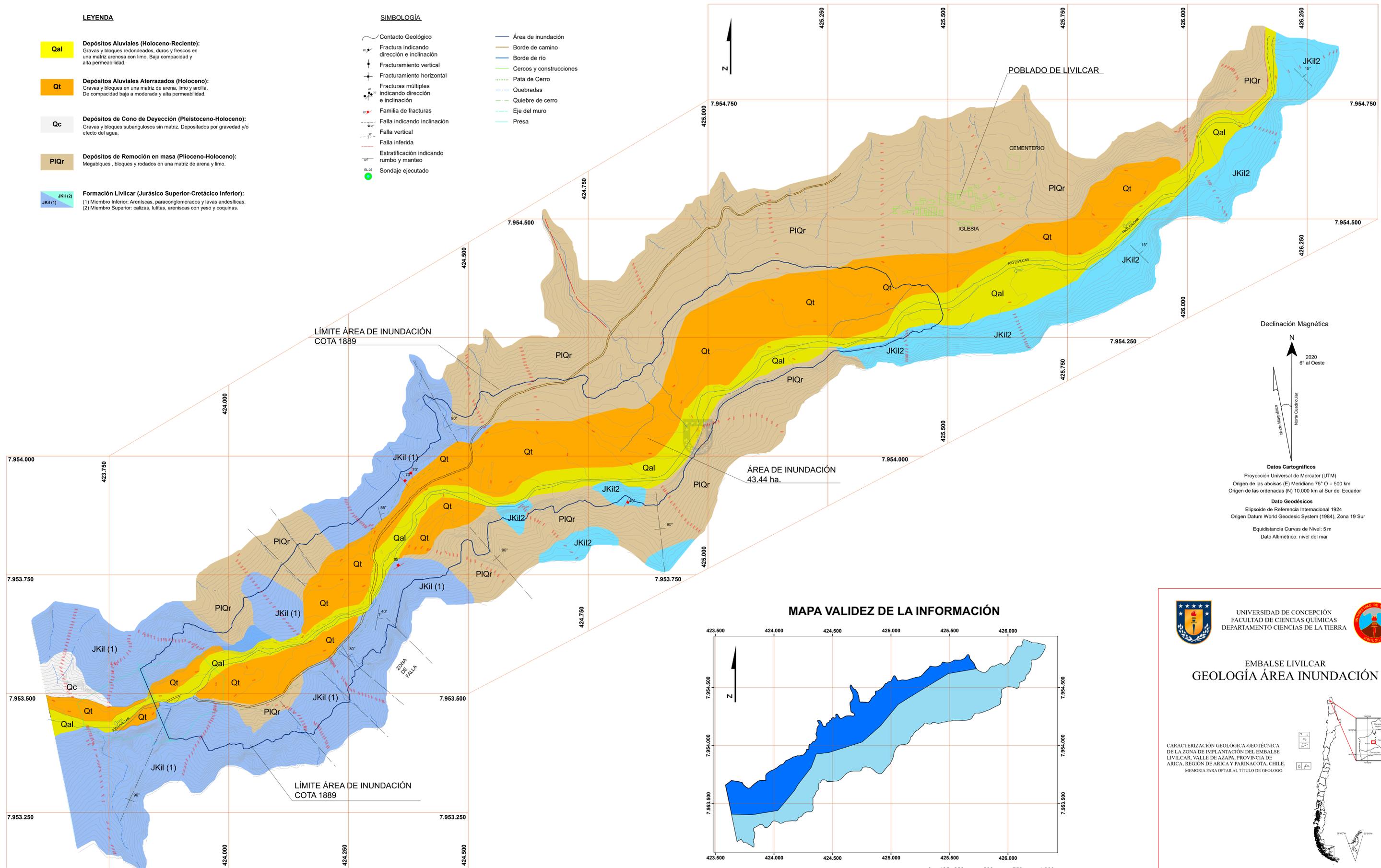
MEMORIA DE TÍTULO 2021

LEYENDA

- Qal** **Depósitos Aluviales (Holoceno-Reciente):**
Gravas y bloques redondeados, duros y frescos en una matriz arenosa con limo. Baja compacidad y alta permeabilidad.
- Qt** **Depósitos Aluviales Aterrazados (Holoceno):**
Gravas y bloques en una matriz de arena, limo y arcilla. De compacidad baja a moderada y alta permeabilidad.
- Qc** **Depósitos de Cono de Deyección (Pleistoceno-Holoceno):**
Gravas y bloques subangulosos sin matriz. Depositados por gravedad y/o efecto del agua.
- PIQr** **Depósitos de Remoción en masa (Plioceno-Holoceno):**
Megabiques, bloques y rodados en una matriz de arena y limo.
- JKil (1) (2)** **Formación Livilcar (Jurásico Superior-Cretácico Inferior):**
(1) Miembro Inferior: Areniscas, paraconglomerados y lavas andesíticas.
(2) Miembro Superior: calizas, lutitas, areniscas con yeso y coquinas.

SIMBOLOGÍA

- Contacto Geológico
- ↖ Fractura indicando dirección e inclinación
- ↓ Fracturamiento vertical
- Fracturamiento horizontal
- ↖↗ Fracturas múltiples indicando dirección e inclinación
- ↖↗ Familia de fracturas
- ↖↗ Falla indicando inclinación
- ↖↗ Falla vertical
- ↖↗ Falla inferida
- ↖↗ Estratificación indicando rumbo y manteo
- Sondaje ejecutado
- Área de inundación
- Borde de camino
- Borde de río
- Cercos y construcciones
- Pata de Cerro
- Quebradas
- Quiebre de cerro
- Eje del muro
- Presa



Declinación Magnética

N
2020
6° al Oeste

North Magnetic
North Geographical

Datos Cartográficos
Proyección Universal de Mercator (UTM)
Origen de las abscisas (E) Meridiano 75° O = 500 km
Origen de las ordenadas (N) 10.000 km al Sur del Ecuador

Dato Geodésicos
Elipsoide de Referencia Internacional 1924
Origen Datum World Geodesic System (1984), Zona 19 Sur

Equidistancia Curvas de Nivel: 5 m
Dato Altimétrico: nivel del mar



**EMBALSE LIVILCAR
GEOLOGÍA ÁREA INUNDACIÓN**

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE IMPLANTACIÓN DEL EMBALSE LIVILCAR, VALLE DE AZAPA, PROVINCIA DE ARICA, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, CHILE. MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO



AUTOR: DIEGO IGNACIO HERMOSILLA VERDUGO

0 125 250 500 Metros

0 125 250 500 750 1.000 Metros