

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA  
PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA  
DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE  
ESPINAR, CUSCO 2024**

**PRESENTADA POR:**

Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO  
Br. MICHAEL RAMIREZ POCCO

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEOLOGO**

**ASESOR:**

Dra. JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ

**CUSCO-PERÚ**

**2026**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Dña. JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO  
Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA  
DE ESPINAR, CUSCO 2024

Presentado por: MELIZA PARIGUANA CENTENO DNI N° 74207366;  
presentado por: MICHAEL RAMIREZ POCCO DNI N°: 76209955  
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por DOS veces, mediante el  
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso del Sistema Detección de  
Similitud en la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 09 %.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 14 de ENERO de 2026

Josefina Escalante Gutierrez

Firma

Post firma Josefina Escalante Gutierrez

Nro. de DNI 23809533

ORCID del Asesor 0000-0001-9359-0481

#### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:546332990

# Pariguana- Ramírez

## Evaluación Geológica y Geotecnica para proporcionar el Rediseño seguro y eficiente de la Presa de Quisco



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:546332990

Fecha de entrega

14 ene 2026, 10:24 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 ene 2026, 10:34 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Pariguana.-Ramirez(1).pdf

Tamaño del archivo

13.2 MB

249 páginas

61.807 palabras

332.885 caracteres

# 9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

## Exclusiones


- N.º de coincidencia excluida

## Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**  
1345 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.





## DEDICATORIA

Dedico este logro con inmensa gratitud a mis padres, Máximo y Lidia, quienes con su ejemplo de sacrificio y apoyo incondicional pavimentaron el camino hacia este sueño. Mi crecimiento personal y académico es un reflejo fiel de la integridad y los valores que me transmitieron con tanto esmero. Esta tesis no es solo un mérito propio, sino el resultado del esfuerzo conjunto y la confianza que siempre depositaron en mí.

También agradecer a cada uno de los ingenieros que conocí en mi camino preprofesional, que gracias a sus consejos y sus apoyos me dieron el valor de terminar este capítulo de mi vida.

Con todo mi amor y agradecimiento.

Michael Ramirez Pocco

Dedico este trabajo de investigación con todo mi corazón a mi madre, mi más grande inspiración, a quien la vida no le permitió estar físicamente conmigo hasta el final, sé que su amor, sus consejos, y la fe que tiene en mí han estado presentes en cada paso que eh dado, por tu apoyo incondicional mientras estuviste conmigo, por dejarme todas las herramientas necesarias para continuar, por todo tu sacrificio, este logro es tuyo.

A mi papá, por sus palabras de aliento cuando sentía no poder más, por nunca perder la fé en mí, y todo el sacrificio que hace por nosotras, por ayudarme a cumplir mis sueños. A mis hermanas Helida y Elianita, quienes siempre estuvieron ahí para mí, ustedes son mi fortaleza, el regalo más bonito que tengo, no me imagino una vida sin ustedes, las admiro y amo infinitamente.

Este equipo maravilloso ha sido una parte esencial en este camino para poder lograrlo, a todos ustedes gracias por ser parte de este logro que es tan suyo como mío, con todo mi amor y admiración.

Meliza Pariguana Centeno



## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi gratitud a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, mi casa de estudios, por brindarme las herramientas para mi crecimiento profesional. Asimismo, extendo un reconocimiento especial a mi asesora, la Dra. Josefina Escalante Gutiérrez, cuya mentoría y sólidos conocimientos fueron el pilar que orientó la culminación exitosa de esta investigación. A mi colega de tesis, Meliza Pariguana Centeno, le agradezco por su perseverancia y por el trabajo sinérgico que permitió superar cada desafío del proyecto; su apoyo fue vital para enriquecer nuestra labor conjunta.

Finalmente, a mis amigos, familiares e ingenieros, por su comprensión y aliento, especialmente durante los momentos más desafiantes. A todos ellos mis agradecimientos.

Michael Ramirez Pocco

Con infinita gratitud a Dios por darme la dicha de ver uno de mis más grandes sueños hechos realidad, a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, por los conocimientos y experiencias mientras pasamos por sus aulas, a la Dra. Josefina Escalante Gutiérrez, asesora nuestra, quien con cariño y amabilidad nos guió durante este proyecto.

A mi compañero de tesis Michael Ramirez Pocco, por tu apoyo incondicional, paciencia y comprensión, por estar siempre para mí, dándome fuerzas para continuar impulsándome a exigirme cada día más, por tus bromas y hacer que las tardes interminables de avance se hicieran más amenas, por todo tu esfuerzo en que todo salga bien, sin ti este sueño que compartimos ambos no sería posible, muchas gracias.

Agradecer a mi familia, Ingenieros y personas que conocí durante este proceso, quienes nos dieron la mano sin dudarle demostrando la calidad de increíbles seres humanos que son, muchas gracias a todos ustedes por hacer posible este presente trabajo.

Meliza Pariguana Centeno



## RESUMEN

La presente investigación, titulada “Evaluación Geológica y Geotécnica para proporcionar el rediseño seguro y eficiente de la presa de Quisco, distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar, Cusco 2024”, tiene como objetivo determinar las condiciones del subsuelo para subsanar deficiencias del expediente técnico original en la cimentación. La hipótesis plantea que una evaluación exhaustiva permite mitigar riesgos geomecánicos, transformando el diseño original en una estructura robusta que garantice la irrigación de 945 hectáreas.

El análisis geológico identificó secuencias litoestratigráficas de los grupos Tacaza, Calasaya y Maure, además de depósitos cuaternarios. En el aspecto hidrológico, se procesaron registros climáticos mediante el Método del Vector Regional y pruebas estadísticas (Mann-Kendall y CUSUM), consolidando un balance hídrico que certifica la disponibilidad del recurso.

La evaluación directa consistió en siete perforaciones diamantinas (19 m de profundidad), revelando areniscas tobáceas de baja competencia mecánica. El macizo rocoso se categorizó como de calidad Regular (Clase III), con valores de RQD entre 35% y 49%, y un RMR de 42 a 52. Los ensayos Lugeon y Lefranc determinaron coeficientes de permeabilidad entre  $10^{-7}$  y  $10^{-4}$  cm/s, evidenciando una conductividad hidráulica heterogénea influenciada por el fracturamiento y la litificación.

Finalmente, se integró prospección geofísica (refracción sísmica, MASW y tomografía eléctrica) para triangular los datos de los sondeos. Esta metodología permitió delimitar con precisión las propiedades físicas del subsuelo y la geometría de las coberturas, proporcionando el sustento técnico necesario para el rediseño de la cimentación y la estabilidad de la presa.

Palabras clave: Geotecnia, Rediseño, Factible, Seguro



## Abstract

This research, titled **“Geological and Geotechnical evaluation to provide the safe and efficient redesign of the Quisco dam, Alto Pichigua district, Espinar province, Cusco 2024”**, aims to determine subsurface conditions to rectify deficiencies in the original technical file regarding the foundation. The hypothesis states that a comprehensive evaluation allows for the mitigation of geomechanical risks, transforming the original design into a robust structure that guarantees the irrigation of 945 hectares.

The geological analysis identified lithostratigraphic sequences from the Tacaza, Calasaya, and Maure groups, as well as Quaternary deposits. Regarding the hydrological component, climate records were processed using the Regional Vector Method (RVM) and statistical tests (Mann-Kendall and CUSUM), consolidating a water balance that certifies resource availability.

Direct evaluation consisted of seven diamond core drillings (19 m deep), revealing tuffaceous sandstones with low mechanical competence. The rock mass was categorized as Fair Quality (Class III), with RQD values between 35% and 49%, and an RMR ranging from 42 to 52. Lugeon and Lefranc tests determined permeability coefficients between  $10^{-7}$  and  $10^{-4}$  cm/s, showing heterogeneous hydraulic conductivity influenced by fracturing and lithification.

Finally, geophysical prospecting (seismic refraction, MASW, and electrical tomography) was integrated to triangulate borehole data. This methodology allowed for the precise delimitation of subsurface physical properties and cover geometry, providing the necessary technical support for the redesign of the foundation and the overall stability of the dam.

Keywords: Geotechnics, Redesign, Feasible, Safe.





## INDICE

<b>CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. UBICACIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.2.1. Ubicación política .....	17
1.2.2. Ubicación geográfica.....	17
<b>1.3. ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>21</b>
1.4.1. Planteamiento del problema.....	21
1.4.2. Formulación del problema.....	21
<b>1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>22</b>
1.5.1. Objetivo general .....	22
1.5.2. Objetivos específicos .....	22
<b>1.6. HIPÓTESIS .....</b>	<b>23</b>
1.6.1. Hipótesis general .....	23
1.6.2. Hipótesis específicas .....	23
<b>1.7. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN MIXTO .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5. MÉTODO DE TRABAJO .....</b>	<b>26</b>
2.5.1. Variables .....	30
2.5.2. Equipos y materiales.....	30
<b>CAPITULO III: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>33</b>
3.2.1. Geología .....	33
3.2.2. Geomorfología .....	34
3.2.3. Geología estructural.....	35
3.2.4. Hidrología .....	35
3.2.5. Geofísica.....	37
3.2.6. Geotecnia .....	37



<b>CAPITULO IV: GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>46</b>
4.1.1. Altiplanicies (AP) .....	46
<b>4.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>51</b>
4.2.1. Pendientes.....	51
4.2.2. Unidades geomorfológicas locales.....	58
<b>CAPITULO V: GEOLOGÍA .....</b>	<b>63</b>
<b>5.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>65</b>
5.1.1. GRUPO MAURE (Nm-ma) Neógeno (Mioceno) .....	65
5.1.2. FORMACION CALASAYA (NQ-ca) Neógeno (Mioceno-Plioceno) .....	66
<b>5.1.3. FORMACION CCALLOCAHUA (Qp-cc-sh) (Pleistoceno superior).....</b>	<b>67</b>
5.1.4. GRUPO PUNO (P-pu) Paleogeno Oligoceno .....	68
5.1.5. GRUPO TACAHA (PN-T) Paleógeno Neógeno .....	68
5.1.6. DEPOSITOS COLUVIO ALUVIALES (Q-coal).....	70
5.1.7. DEPOSITOS CUATERNARIOS (Q).....	71
<b>5.2. GEOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>73</b>
5.2.1. GRUPO MAURE (Nm-ma) .....	73
5.2.2. FORMACION CCALLOCAHUA (Qp-cc-sh) .....	76
5.2.3. DEPOSITOS GLACIARES (Q-gl).....	78
5.2.4. DEPOSITOS FLUVIALES (Qh-fl).....	79
5.2.5. DEPOSITOS DE DESLIZAMIENTO (Q-dl).....	80
<b>CAPITULO VI: HIDROLOGÍA .....</b>	<b>83</b>
<b>6.1. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA .....</b>	<b>83</b>
<b>6.2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DE ESTUDIO ....</b>	<b>84</b>
<b>6.3. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA E</b>	
<b>HIDROMÉTRICA.....</b>	<b>87</b>
6.3.1. Análisis de datos de precipitación .....	88
6.3.2. Completado de datos de precipitación por el Método de Regresión Lineal .....	91
6.3.3. Análisis de saltos y tendencias.....	94
6.3.4. Precipitación total anual completada, homogénea y consistente.....	96
6.3.5. Precipitación media en el área de estudio .....	99
6.3.6. Temperatura .....	101
6.3.7. Humedad relativa .....	106
6.3.8. Evapotranspiración potencial .....	108
<b>6.4. OFERTA HÍDRICA.....</b>	<b>110</b>
<b>6.5. DEMANDA HÍDRICA.....</b>	<b>112</b>



6.5.1.	Demanda poblacional .....	112
6.5.2.	Demanda pecuaria .....	113
6.5.3.	Demanda agrícola .....	114
<b>6.6.</b>	<b>BALANCE HÍDRICO .....</b>	<b>116</b>
6.6.1.	Procedimientos para calcular el balance hídrico de la Presa de Quisco .....	117
6.6.2.	Sostenibilidad del déficit (análisis de la viabilidad) .....	119
<b>CAPITULO VII: GEOFÍSICA .....</b>		<b>120</b>
<b>7.1.</b>	<b>ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA.....</b>	<b>120</b>
7.1.1.	Trabajo de campo.....	120
7.1.2.	Procesamiento e interpretación del ensayo de refracción sísmica .....	121
<b>7.2.</b>	<b>MEDICIÓN DE ONDAS DE SUPERFICIE EN ARREGLOS MULTICANALES (MASW) .....</b>	<b>128</b>
7.2.1.	Trabajos de campo .....	128
7.2.2.	Procesamiento e interpretación del ensayo MASW .....	129
<b>7.3.</b>	<b>ENSAYO DE TOMOGRAFIA ELECTRICA.....</b>	<b>143</b>
7.3.1.	Trabajos de campo .....	143
7.3.2.	Procesamiento e interpretación de ensayos de tomográfica eléctrica .....	143
<b>CAPITULO VIII: GEOTÉCNIA .....</b>		<b>149</b>
<b>8.1.</b>	<b>INVESTIGACIÓN DE CAMPO PARA EL EJE DE PRESA .....</b>	<b>149</b>
8.1.1.	Trabajos de perforación diamantina .....	149
8.1.2.	Equipo empleado .....	149
8.1.3.	Ubicación de las perforaciones diamantinas .....	150
8.1.4.	Ensayo de penetración estándar (SPT) .....	161
8.1.5.	Propiedades físicas de los ensayos de SPT en la unidad geotécnica Ug3a .....	165
8.1.6.	Ensayos realizados de Permeabilidad.....	167
<b>8.2.</b>	<b>INVESTIGACION DE CAMPO PARA EL EMBALSE DE LA PRESA .....</b>	<b>175</b>
8.2.1.	Resultados de los ensayos de laboratorio .....	200
8.2.2.	Ensayos para cantera de material de préstamo .....	201
<b>8.3.</b>	<b>ESTUDIOS PETROGRAFICOS .....</b>	<b>204</b>
8.3.1.	PQ-C (Presa QUISCO – Eje central) .....	205
8.3.2.	PQ-D (Presa QUISCO – Eje derecho) .....	206
8.3.3.	PQ-D (Presa QUISCO – Eje izquierdo) .....	207
<b>CAPITULO IX: DISEÑO DE LA PRESA.....</b>		<b>208</b>
<b>9.1.</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LA PRESA, EN FUNCIÓN AL RIESGO POTENCIAL GENERADO POR LA ROTURA DE LA PRESA .....</b>	<b>208</b>
<b>9.2.</b>	<b>DISEÑO DE LA PRESA: (REFERENCIA TOMADA DEL EXPEDIENTE TÉCNICO APROBADO AGOSTO 2017) .....</b>	<b>209</b>



9.2.1.	Características del diseño de la presa .....	209
9.2.2.	Condiciones geológicas .....	210
9.2.3.	Presupuesto de obra .....	210
<b>9.3.</b>	<b>DISEÑO DE LA PRESA MODIFICADA.....</b>	<b>213</b>
9.3.1.	Módulo de Balasto y Capacidad Portante del terreno .....	216
9.3.2.	Análisis de filtraciones (software GeoStudio 2012) .....	218
9.3.3.	Análisis de esfuerzo – Deformaciones.....	221
<b>9.4.</b>	<b>DETALLES ESTRUCTURALES DE LA PRESA .....</b>	<b>224</b>
9.4.1.	Cimentación .....	224
9.4.2.	Pantalla de drenaje .....	225
9.4.3.	Pantalla impermeable .....	226
9.4.4.	Aliviadero para control de excedencias .....	226
9.4.5.	Sistema de Desagüe de fondo (sedimentos) .....	227
9.4.6.	Galería de Drenaje .....	228
9.4.7.	Drenaje de la Cimentación.....	229
9.4.8.	Drenaje en el Cuerpo de la Presa .....	229
9.4.9.	Sistema de Impermeabilización.....	230
<b>9.5.</b>	<b>RESPECTO A LA TECNOLOGÍA DEL TIPO DE CONCRETO MASIVO.....</b>	<b>232</b>
9.5.1.	Uso de aditivos.....	233
<b>CAPITULO X:</b>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....</b>	<b>234</b>
<b>10.1.</b>	<b>MARCO LEGAL .....</b>	<b>234</b>
10.1.1.	Autoridades competentes: .....	234
10.1.2.	Mecanismos de participación ciudadana: .....	234
10.1.3.	Mecanismos de fiscalización:.....	234
<b>10.2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....</b>	<b>235</b>
10.2.1.	Impactos en el medio físico .....	235
10.2.2.	Impactos en el medio biológico .....	235
10.2.3.	Impactos en el medio socioeconómico .....	236
<b>10.3.</b>	<b>ESTRATEGIA DE MANEJO AMBIENTAL .....</b>	<b>236</b>
10.3.1.	Plan de revegetación: .....	236
10.3.2.	Plan de capacitación: .....	236
10.3.3.	Plan de vigilancia ambiental:.....	236
10.3.4.	Plan de contingencia:.....	236
10.3.5.	Plan de abandono y cierre: .....	236
10.3.6.	Plan de participación ciudadana.....	236
<b>CAPÍTULO XI:</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADO .....</b>	<b>238</b>





11.1.	DISEÑO ORIGINAL VS. NUEVO DISEÑO .....	238
11.2.	CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL EXPEDIENTE ORIGINAL .....	238
11.3.	DISCUSIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA CIMENTACIÓN.....	239
11.3.1.	Baja rigidez y alto riesgo de asentamiento .....	239
11.3.2.	Heterogeneidad crítica de la permeabilidad (riesgo hidráulico) .....	239
11.4.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS NUMÉRICOS .....	240
11.4.1.	Análisis de filtraciones (GeoStudio SEEP/W) .....	240
11.4.2.	Análisis de esfuerzos – Deformaciones .....	240
11.5.	JUSTIFICACIÓN DE LAS MODIFICACIONES DE DISEÑO .....	241
11.5.1.	Justificación de la platea de cimentación de concreto armado (C°A°).....	241
11.5.2.	Justificación de la cortina de inyección y la inclusión de la geomembrana .....	241
11.5.3.	Justificación del desfogue de sedimentos (Funcionalidad operativa).....	242
	CONCLUSIONES .....	243
	RECOMENDACIONES .....	245
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	247
	ANEXOS .....	250

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Acceso a la zona de estudio ruta Cusco - Espinar .....	18
Figura 2	Accesibilidad a la zona de estudio, ruta Espinar - presa de Quisco.....	19
Figura 3	Mapa de ubicación de la zona de estudio. ....	20
Figura 4	Mapa geomorfológico regional.....	50
Figura 5	Esquema Fisiográfico del diagrama en porcentajes de pendientes .....	52
Figura 6	Diagrama de barras según el rango de pendientes, expresados en porcentajes .....	53
Figura 7	Mapa de pendientes de la presa Quisco .....	57
Figura 8	Mapa geomorfológico local .....	62
Figura 9	Columna estratigráfica de la provincia de Espinar .....	64
Figura 10	Mapa geológico regional .....	72
Figura 11	Diagrama hipotético de la formación del Grupo Maure .....	75
Figura 12	Mapa geológico local .....	82
Figura 13	Cuadro de parámetros geomorfológicos de la cuenca Quisco .....	85
Figura 14	Cuadro de Curva Hipsométrica - Cuenca Quisco .....	86
Figura 15	Histograma de frecuencia de altitudes - cuenca Quisco.....	87
Figura 16	Índices anuales del vector y de las estaciones por el Método Brunet Moret .....	89
Figura 17	Suma de los índices anuales del vector y de las estaciones .....	90
Figura 18	Índices el vector y de las estaciones- serie completada y extendida.....	93
Figura 19	Curvas de dobles acumuladas-serie completada y extendida.....	94
Figura 20	Histograma de Precipitación histórica anual completada y corregida .....	97



Figura 21 Gráfico de precipitación promedio mensual - multimensual (mm).....	98
Figura 22 Precipitación Total Mensual Regionalizada de la presa Quisco .....	101
Figura 23 Gráfico de la temperatura media mensual regionalizada de la cuenca Quisco .....	102
Figura 24 Gráfico de la temperatura máxima mensual regionalizada de la cuenca Quisco .....	103
Figura 25 Gráfico de la temperatura mínima mensual regionalizada de la cuenca Quisco .....	104
Figura 26 Gráfico de la temperatura regionalizada en la cuenca Quisco .....	105
Figura 27 Gráfico de la temperatura en el área de cultivo de la presa Quisco .....	106
Figura 28 Gráfico de la humedad relativa (%) media mensual regionalizada .....	108
Figura 29 Gráfico de la variación mensual de la Evapotranspiración Potencial (ETP) regionalizada .....	109
Figura 30 Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-01 .....	121
Figura 31 Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-02 .....	122
Figura 32 Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-03 <sup>a</sup> .....	123
Figura 33 Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-03B.....	124
Figura 34 Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-04 .....	125
Figura 35 Mapa de ubicación de ensayos de Refracción sísmica .....	127
Figura 36 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-1 .....	130
Figura 37 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-2 .....	131
Figura 38 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-3 .....	132
Figura 39 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-4 .....	133
Figura 40 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-5 .....	134
Figura 41 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-6 .....	135
Figura 42 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-7 .....	136
Figura 43 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-8 .....	137
Figura 44 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-9 .....	138
Figura 45 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW- 10.....	139
Figura 46 Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW- 11.....	140
Figura 47 Mapa de medición de ondas de superficie en arreglos multicanales (MASW) .....	142
Figura 48 Discretización del terreno por bloques mediante diferencias finitas .....	144
Figura 49 Perfil de resistividades calculadas e invertidas TE-01 Arreglo Dipolo-Dipolo .....	145
Figura 50 Perfil de resistividades calculadas e invertidas TE-02 Arreglo Dipolo-Dipolo .....	146
Figura 51 Perfil de resistividades calculadas e invertidas TE-03 Arreglo Dipolo-Dipolo .....	146
Figura 52 Perfil de resistividades calculadas e invertidas TE-04 Arreglo Dipolo-Dipolo .....	147
Figura 53 Mapa de ubicación de ensayos de tomografía eléctrica .....	148
Figura 54 Mapa de ubicación de ensayos de perforación diamantina .....	160



Figura 55 Relación entre los valores de $N_{spt}$ y la profundidad del ensayo .....	162
Figura 56 Relación entre los valores de ángulo de rozamiento ( $\phi$ ) y la profundidad para las diferentes unidades geotécnicas según la correlación propuesta por Peck-Hanson & Thornburn (1974) .....	164
Figura 57 Relación entre los valores de cohesión no drenada ( $C_u$ ) y la profundidad para las diferentes unidades geotécnicas según la correlación propuesta por Stroud (1974) .....	165
Figura 58 Patrones de tipo de resultados de prueba Lugeon Houlsby (1976) .....	171
Figura 59 Descripción estratigráfica de la Calicata C-01/5 .....	176
Figura 60 Descripción estratigráfica de la Calicata C-02/5 .....	177
Figura 61 Descripción estratigráfica de la Calicata C-03/5 .....	178
Figura 62 Descripción estratigráfica de la Calicata C-04/5 .....	179
Figura 63 Descripción estratigráfica de la Calicata C-05/5 .....	180
Figura 64 Descripción estratigráfica de la Calicata C-01/7 .....	181
Figura 65 Descripción estratigráfica de la Calicata C-02/7 .....	182
Figura 66 Descripción estratigráfica de la Calicata C-03/7 .....	183
Figura 67 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-01 .....	185
Figura 68 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-02 .....	186
Figura 69 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-03 .....	187
Figura 70 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-04 .....	188
Figura 71 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-05 .....	189
Figura 72 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-06 .....	190
Figura 73 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-07 .....	191
Figura 74 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-08 .....	192
Figura 75 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-09 .....	193
Figura 76 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-10 .....	194
Figura 77 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-11 .....	195
Figura 78 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-12 .....	196
Figura 79 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-13 .....	197
Figura 80 Descripción estratigráfica de la Calicata CV-14 .....	198
Figura 81 Ubicación de las calicatas en el área de presa y el vaso .....	199
Figura 82 Modelo antiguo de la presa según el Expediente Técnico del 2017 .....	212
Figura 83 Diseño Actual de la Presa de Quisco .....	214
Figura 84 Asignación del Módulo de Balasto .....	217
Figura 85 Caudal de filtración .....	218
Figura 86 Gradiente hidráulico .....	219
Figura 87 Presión de poros .....	220
Figura 88 Análisis de Deformación .....	221
Figura 89 Esfuerzo en "X" .....	222
Figura 90 Esfuerzo en "Y" .....	223
Figura 91 Esfuerzo en "XY" .....	224
Figura 92 Sección tipo de la presa de Quisco, modelo de la galería de inspección y drenaje ..	225
Figura 93 Aliviadero escalonado .....	227
Figura 94 Galería de drenaje en cuerpo de la presa .....	229
Figura 95 Galería de drenaje longitudinal y chimenea de acceso vertical a galería .....	230
Figura 96 Sección tipo presa .....	231
Figura 97 Zonificación de los tipos de concreto a utilizar en la presa .....	232



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Ubicación política de la zona de estudio.</i>	17
Tabla 2	<i>Ubicación geográfica de la zona de estudio.</i>	17
Tabla 3	<i>Accesibilidad al emplazamiento de la presa e Infraestructura vial</i>	18
Tabla 4	<i>Clasificación de pendientes en grados</i>	51
Tabla 5	<i>Relaciones estratigráficas regionales.</i>	69
Tabla 6	<i>Relación entre las Formaciones Ccallochahua, Maure y Calasaya.</i>	77
Tabla 7	<i>División hidrográfica de los Niveles 5 y 6.</i>	83
Tabla 8	<i>Ubicación del punto de interés</i>	84
Tabla 9	<i>Estaciones meteorológicas utilizadas</i>	88
Tabla 10	<i>Parámetros de vector - serie de precipitación histórica</i>	90
Tabla 11	<i>Parámetros de vector-serie de precipitación completada y extendida.</i>	93
Tabla 12	<i>Prueba de saltos y tendencias corregidas</i>	95
Tabla 13	<i>Cuadro de registro de precipitación completada (mm)</i>	96
Tabla 14	<i>Cuadro de precipitación total mensual multimensual (mm)</i>	98
Tabla 15	<i>Análisis de correlación altitud - precipitación</i>	99
Tabla 16	<i>Cuadro de Regionalización de la precipitación corregida de la presa Quisco</i>	100
Tabla 17	<i>Regionalización de la temperatura Media mensual de la cuenca Quisco (C°)</i>	102
Tabla 18	<i>Regionalización de la temperatura máxima media mensual de la cuenca Quisco</i>	103
Tabla 19	<i>Regionalización de la temperatura mínima media mensual de la cuenca Quisco</i>	104
Tabla 20	<i>Regionalización de la temperatura en la cuenca Quisco</i>	105
Tabla 21	<i>Regionalización de la temperatura en el área de cultivo</i>	105
Tabla 22	<i>Humedad relativa (%) Promedio mensual regionalizada</i>	107
Tabla 23	<i>Variación mensual de la Evapotranspiración Potencial (ETP) regionalizada</i>	109
Tabla 24	<i>Caudales aforados y corregidos proyecto Quisco</i>	110
Tabla 25	<i>Caudales generados en la cuenca Quisco</i>	110
Tabla 26	<i>Oferta Hídrica a diferentes niveles de persistencia distribución normal del rio Quishca Mayo</i>	111
Tabla 27	<i>Demanda poblacional.</i>	113
Tabla 28	<i>Dotación hídrica para animales</i>	113
Tabla 29	<i>Demanda del proyecto para uso pecuario.</i>	114
Tabla 30	<i>Demanda agrícola proyecto Quisco (gravedad)</i>	115
Tabla 31	<i>Demanda agrícola proyecto Quisco (aspersión).</i>	115
Tabla 32	<i>Resumen de precipitación anual ordenada de menor a mayor para calcular la persistencia al 75%.</i>	117
Tabla 33	<i>Ubicación de Ensayos de Refracción Sísmica</i>	120
Tabla 34	<i>Resultados de ensayos de refracción sísmica (Vp)</i>	126
Tabla 35	<i>Ubicación de ensayos MASW</i>	128
Tabla 36	<i>Clasificación sísmica ASCE - 2010</i>	129
Tabla 37	<i>Resultados de ensayos MASW – 1,2,3 (Vs)</i>	140
Tabla 38	<i>Resultados de ensayos MASW – 4,5,6 (Vs)</i>	140
Tabla 39	<i>Resultados de ensayos MASW – 7,8,9 (Vs)</i>	141
Tabla 40	<i>Resultados de ensayos MASW – 10,11 (Vs)</i>	141
Tabla 41	<i>Ubicación de Ensayos de Tomografía Eléctrica</i>	143
Tabla 42	<i>Resultados de ensayos de tomografía eléctrica (Vp)</i>	147





Tabla 43	<i>Ubicación de los sondajes de perforación diamantina del estribo izquierdo</i>	150
Tabla 44	<i>Ubicación de los sondajes de perforación diamantina del Estribo Derecho</i>	155
Tabla 45	<i>Resultados de los ensayos SPT en sondajes</i>	161
Tabla 46	<i>Resultado de las características físicas del peso específico y densidad natural</i>	166
Tabla 47	<i>Resultado de las características físicas de la porosidad y absorción</i>	166
Tabla 48	<i>Clasificación de permeabilidad (Casagrande y Fadum)</i>	167
Tabla 49	<i>Resultados de permeabilidad tipo Lugeon del Estribo Izquierdo</i>	172
Tabla 50	<i>Resultados de permeabilidad tipo Lugeon del Estribo Derecho</i>	173
Tabla 51	<i>Resultados de ensayos de permeabilidad - Tipo Lefranc</i>	174
Tabla 52	<i>Ubicación de Excavaciones de calicatas para la Presa</i>	175
Tabla 53	<i>Ubicación de Excavaciones de calicatas en Zona del Vaso</i>	184
Tabla 54	<i>Resultados de ensayos de contenido de humedad, granulometría y límites de las excavaciones de calicatas para la presa</i>	200
Tabla 55	<i>Resultados de ensayos de contenido de humedad, granulometría y límites de las excavaciones de calicatas en zona de vaso</i>	200
Tabla 56	<i>Ubicación de excavaciones para la cantera de agregados</i>	202
Tabla 57	<i>Resultados de ensayos SUCS, contenido de humedad, granulometría y límites</i>	202
Tabla 58	<i>Ubicación de cantera de roca</i>	203
Tabla 59	<i>Canteras y Volúmenes</i>	204
Tabla 60	<i>Cuadro de la litología (Presa QUISCO – Eje central), GEOMECH</i>	206
Tabla 61	<i>Cuadro de la litología (Presa de QUISCO – Eje derecho), GEOMECH</i>	206
Tabla 62	<i>Cuadro de la litología (Presa QUISCO – Eje izquierdo), GEOMECH</i>	207
Tabla 63	<i>Clasificación riesgo potencial de la presa Quisco</i>	209
Tabla 64	<i>Estructura presupuestal del expediente técnico aprobado 2017</i>	210
Tabla 65	<i>Estructura presupuestal del nuevo expediente aprobado 2024</i>	213
Tabla 66	<i>Características Mecánicas de los Materiales</i>	215
Tabla 67	<i>Tipos de suelo y sus valores de gradiente hidráulico crítico promedio de cálculo</i>	221
Tabla 68	<i>Resumen de los detalles de los costos de mitigación ambiental de los impactos ambientales</i>	237
Tabla 69	<i>Comparación entre el modelo antiguo y nuevo de la presa de Quisco</i>	238

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	<i>Colinas bajas formadas por depósitos coluvio-aluviales en la presa de Quisco</i>	47
Fotografía 2	<i>Vista del eje de la presa de Quisco y valle glaciar</i>	48
Fotografía 3	<i>Vista de la dirección y sentido de las morrenas en la margen izquierda de la presa de Quisco</i>	49
Fotografía 4	<i>Zona de pendientes llanas, suaves y moderadas, parte inferior de las laderas de la margen derecha de la presa Quisco</i>	54
Fotografía 5	<i>Zona de pendientes fuertes y muy fuertes, partes altas de la margen izquierda de la presa de Quisco</i>	55
Fotografía 6	<i>Zona de pendientes muy escarpada, parte alta del fondo de valle de la presa de Quisco</i>	56
Fotografía 7	<i>Terrazas fluviales a lo largo del vaso de la presa Quisco</i>	58
Fotografía 8	<i>Unidades geomorfológicas locales de la presa Quisco</i>	59
Fotografía 9	<i>Zona de deslizamiento reciente en la margen izquierda de la presa Quisco</i>	60



Fotografía 10	<i>Zona de deslizamiento reciente en la margen derecha de la presa Quisco</i>	61
Fotografía 11	<i>Contacto entre el Grupo Maure y los Depósitos coluvio-aluviales</i>	66
Fotografía 12	<i>Unidad 1 del Grupo Maure y los depósitos coluvio-aluviales, se observa parte del basamento de la presa Quisco.</i>	75
Fotografía 13	<i>Shoshonitas que afloran en el área de estudio de la presa de Quisco.</i>	77
Fotografía 14	<i>Vista de los depósitos morrenicos en la margen izquierda de la presa de Quisco</i>	79
Fotografía 15	<i>Vista de la terraza y los depósitos fluviales en el lecho del río Quisco</i>	80
Fotografía 16	<i>Máquina perforadora rotativa explorer SAT 130</i>	150
Fotografía 17	<i>Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-01</i>	152
Fotografía 18	<i>Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-02</i>	153
Fotografía 19	<i>Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-03</i>	154
Fotografía 20	<i>Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPI-01</i>	155
Fotografía 21	<i>Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-04</i>	157
Fotografía 22	<i>Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-05</i>	158
Fotografía 23	<i>Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPI-02</i>	159
Fotografía 24	<i>Realizando ensayo de permeabilidad tipo Lugeon</i>	172
Fotografía 25	<i>Cantera de agregado para la construcción de la presa de Quisco</i>	202
Fotografía 26	<i>Cantera de roca para la construcción de la presa Quisco</i>	204



## CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Ubicada en el distrito de Alto Pichigua, la Presa de Quisco constituye un activo estratégico para la seguridad hídrica y el desarrollo agropecuario del distrito de Alto Pichigua. No obstante, la evolución de los factores del entorno y las variaciones en las dinámicas de uso de suelo imponen la necesidad de ejecutar una auditoría técnica de su concepción estructural. Dicha revisión es imperativa para ajustar la funcionalidad de la obra a las exigencias actuales, salvaguardando su integridad mecánica y operativa en el tiempo.

Esta investigación adopta una metodología interdisciplinaria que conjuga la geología aplicada y la geotecnia para sustentar el rediseño de la Presa de Quisco. La convergencia de ambas ramas resulta determinante para descifrar la relación intrínseca entre la litología del sitio y la respuesta mecánica del macizo, factores que condicionan la estabilidad estructural y la viabilidad operativa de la obra hidráulica.

La finalidad central de este estudio consiste en evaluar las variables geológicas y geotécnicas que inciden en la reconfiguración de la Presa de Quisco. A través de este análisis, se busca determinar vulnerabilidades estructurales y factores de riesgo latentes, proponiendo soluciones de ingeniería que optimicen tanto la seguridad física como la eficiencia operativa de la infraestructura. Se pretende integrar datos geológicos actualizados, análisis geotécnicos avanzados y modelos computacionales para obtener una comprensión detallada de la estructura del subsuelo y su interacción con la presa.

Los resultados aquí expuestos aspiran a fundamentar un rediseño resiliente que garantice la estabilidad estructural y funcional de la presa. Al proporcionar una base científica robusta, este trabajo se convierte en una herramienta clave para la planificación y optimización de la infraestructura hídrica en Espinar, sirviendo como guía para el desarrollo de proyectos similares bajo criterios de sostenibilidad y minimización de riesgos.



## 1.2. UBICACIÓN

### 1.2.1. Ubicación política

El sector evaluado se emplaza en la región sur del territorio peruano, abarcando las jurisdicciones de las comunidades de Mollocagua y Ccahuaya (Ver tabla 1).

Tabla 1

*Ubicación política de la zona de estudio.*

UBICACIÓN POLÍTICA	
Distrito	Alto Pichigua
Provincia	Espinar
Departamento	Cusco

*Fuente: Elaboración propia*

### 1.2.2. Ubicación geográfica

En términos de georreferenciación, la cuenca Quisco se emplaza en la zona 19L, bajo el sistema de referencia WGS 1984. Los parámetros específicos están expresados en coordenadas geográficas (Ver tabla 2)

Tabla 2

*Ubicación geográfica de la zona de estudio*

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Latitud Sur	Longitud Oeste
14°44'38.18"	71°10'6.12"

*Fuente: Elaboración propia*

## 1.3. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad al área del proyecto desde la ciudad del Cusco se articula a través del eje vial que conecta Cusco y Espinar, finalizando en el emplazamiento de la Presa de Quisco (Ver figura 1 y 2). Este trayecto comprende una longitud total cercana a los 263 km, con un tiempo de desplazamiento estimado de 5 horas y 40 minutos, cuyos tramos detallados se especifican a continuación: (Ver tabla 3)

Tabla 3

*Accesibilidad al emplazamiento de la presa e Infraestructura vial*

INICIO	FIN	DISTANCIA	TIEMPO	DETALLE
CUSCO	ESPINAR	228 km	4h 40 min	Asfaltado
ESPINAR	ACCOCUNCA	23 km	40 min	Trocha carrozable
ACCOCUNCA	PRESA	12 km	20 min	Trocha carrozable

*Fuente: Elaboración propia*

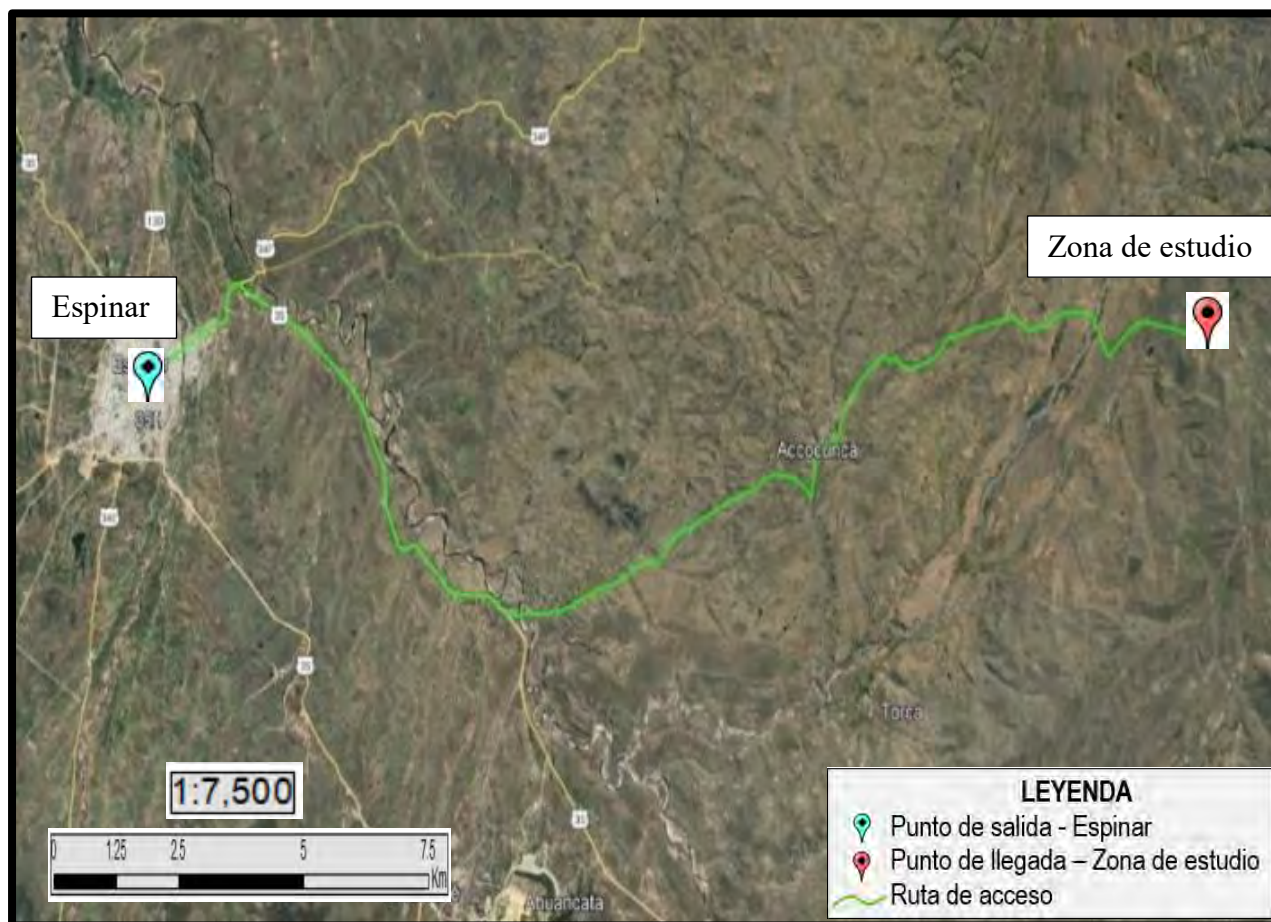
Figura 1

*Acceso a la zona de estudio ruta Cusco - Espinar**Fuente: Elaboración propia adaptada del Google Earth Pro.*



Figura 2

*Accesibilidad a la zona de estudio, ruta Espinar - presa de Quisco*



*Fuente: Elaboración propia adaptada del Google Earth Pro.*



*Mapa de ubicación de la zona de estudio.*





## 1.4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.4.1. Planteamiento del problema

Emplazada en el distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar, la Presa de Quisco se proyecta como una obra hidráulica estratégica para garantizar la seguridad hídrica y la optimización del recurso hídrico en el departamento del Cusco. Esta infraestructura desempeñará un rol determinante en la regulación de caudales y el soporte de las actividades agropecuarias de la zona. La presa viene siendo ejecutada por el PER PLAN MERISS, la cual será una presa de concreto gravedad, destinada al riego permanente.

El principal problema en la cimentación de la presa Quisco es su elevado riesgo de falla, causado por la presencia de agua en el embalse. Dicha cimentación está compuesta principalmente por areniscas tobáceas que aún están en proceso de litificación, lo que significa que no están completamente solidificadas y, por lo tanto, tienen una resistencia mecánica limitada. La existencia de agua en el embalse aumenta la saturación en estos materiales, promoviendo la desintegración progresiva de la roca sedimentaria y la pérdida de su capacidad de carga original. Esta situación incrementa significativamente el riesgo de fallas en la base, ya que las condiciones hidrogeológicas adversas pueden ocasionar erosión interna, filtraciones excesivas y una menor estabilidad general de la estructura.

En tal sentido, se torna prioritaria la realización de una caracterización geomecánica exhaustiva orientada al rediseño de la estructura. Dicha evaluación permitirá establecer los parámetros técnicos necesarios para asegurar la estabilidad física de la presa y la funcionalidad de su cimentación frente a las condiciones del subsuelo.

### 1.4.2. Formulación del problema

#### 1.4.2.1. *Problema general*



¿En qué medida la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas determina los parámetros técnicos necesarios para garantizar el rediseño seguro y eficiente de la presa de Quisco, distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar Cusco 2024?

#### 1.4.2.2. *Problemas específicos*

- ¿Cuáles son las unidades geomorfológicas y características litológicas presentes en la zona de estudio y cómo influyen en la cimentación de la presa de Quisco?
- ¿Qué características hidrológicas presenta la zona de estudio y cómo influyen en la gestión y el rediseño de la presa de Quisco?
- ¿De qué manera los métodos geofísicos permiten identificar la profundidad y las anomalías en el subsuelo para el rediseño de la presa?
- ¿Qué propiedades físico-mecánicas presentan los suelos y rocas del área de estudio relevantes para el rediseño de la presa de Quisco?

### 1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.5.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas permite establecer los parámetros técnicos necesarios para garantizar el rediseño seguro y eficiente de la presa de Quisco, ubicada en el distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar, Cusco, 2024.

#### 1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las unidades geomorfológicas y las características litológicas presentes en la zona de estudio para evaluar su influencia técnica en la cimentación de la presa de Quisco.
- Analizar las características hidrológicas de la zona de estudio para determinar su incidencia en la gestión del recurso y el dimensionamiento hidráulico del rediseño de la presa.



- Determinar de qué manera la aplicación de métodos geofísicos permite identificar la profundidad y las anomalías del subsuelo, a fin de aportar información relevante para el rediseño de la presa
- Establecer las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas del área de estudio con el fin de obtener los parámetros de resistencia y deformabilidad necesarios para el rediseño de la presa

## 1.6. HIPÓTESIS

### 1.6.1. Hipótesis general

La evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas podría influir de manera significativa en la definición de los parámetros técnicos de diseño, contribuyendo potencialmente a la mitigación de riesgos estructurales y a la estabilidad y eficiencia operativa en el rediseño de la presa de Quisco.

### 1.6.2. Hipótesis específicas

- Las unidades geomorfológicas y las características litológicas presentes en la zona de estudio influirán significativamente en las condiciones de cimentación de la presa de Quisco, determinando la selección de criterios técnicos para su rediseño.
- Las características hidrológicas de la cuenca posibilitan definir parámetros hidráulicos adecuados, los cuales influyen en el diseño seguro y eficiente del rediseño de la presa de Quisco.
- La aplicación de métodos geofísicos tiene incidencia en identificar la profundidad de los estratos y las anomalías del subsuelo que influirán en la definición de los parámetros técnicos necesarios para el rediseño de la presa de Quisco.
- Las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas del área de estudio proporcionan los parámetros de resistencia y deformabilidad requeridos para garantizar la estabilidad y seguridad del rediseño de la presa de Quisco.





## 1.7. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presa de Quisco, ubicada en el distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar, región Cusco, constituye una infraestructura hidráulica de gran importancia para el aprovechamiento y la gestión del recurso hídrico en la zona, principalmente con fines agrícolas. No obstante, la existencia de estudios previos y el transcurso del tiempo, sumados a la variabilidad de las condiciones naturales y a los procesos geodinámicos propios del entorno andino, hacen necesaria una evaluación geológica y geotécnica actualizada que permita verificar, complementar y optimizar los parámetros técnicos empleados en su diseño original.

Desde el punto de vista técnico, la investigación se justifica porque la seguridad y eficiencia de una presa dependen directamente de las condiciones geológicas y geotécnicas del área de emplazamiento. La caracterización de las unidades geomorfológicas, las características litológicas, las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas, así como la identificación de la profundidad del subsuelo y de posibles anomalías mediante métodos geofísicos, proporciona información fundamental para definir parámetros confiables de cimentación, estabilidad y comportamiento estructural.

Desde una perspectiva práctica y aplicada, esta investigación permitirá establecer criterios técnicos que contribuyan a un rediseño seguro y eficiente de la presa de Quisco, reduciendo los riesgos asociados a fallas estructurales, filtraciones, asentamientos diferenciales o problemas de estabilidad. Los resultados servirán como base técnica para la toma de decisiones en proyectos de rehabilitación, mantenimiento o rediseño de infraestructuras hidráulicas similares en la región, optimizando el uso de recursos económicos y materiales.

Finalmente, la investigación se justifica desde el punto de vista social y ambiental, ya que un rediseño basado en parámetros técnicos adecuados contribuye a garantizar la seguridad de las poblaciones aguas abajo, la sostenibilidad del recurso hídrico y la mitigación de impactos ambientales negativos. De este modo, el estudio se alinea con los principios de desarrollo sostenible y gestión responsable de infraestructuras hidráulicas en la región Cusco.



## CAPITULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN MIXTO

- Cualitativo: Por que utiliza el análisis documental (precampo), revisión y síntesis de estudios previos, expedientes técnicos y mapas regionales, el cual nos permite entender el marco teórico y el historial del problema.
- Cuantitativo: Cuyo objetivo es obtener parámetros medibles para el diseño de la presa, haciendo pruebas en in situ y laboratorio.

### 2.2. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

- Básica: tiene como finalidad ampliar el conocimiento teórico y científico, sin buscar de manera inmediata una aplicación práctica.
- Aplicada: busca utilizar el conocimiento científico para resolver un problema concreto y real, proponiendo soluciones técnicas o prácticas, mediante métodos:
  - ✓ Método inductivo: porque parte de la observación de hechos particulares para establecer generalizaciones o conclusiones de carácter general.
  - ✓ Método hipotético: Consiste en formular hipótesis, deducir consecuencias verificables y contrastarlas con datos empíricos.
  - ✓ Método deductivo: porque es cualitativo, parte de principios, teorías o normas generales para llegar a conclusiones particulares aplicadas a un caso específico.

### 2.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

- Explicativo: buscamos explicar por qué la cimentación presenta un alto riesgo de falla.
- Correlacional: porque evaluaremos la relación entre dos o más variables.

Buscamos determinar la relación entre las características del subsuelo (causa) y el riesgo de falla de la cimentación (efecto) para justificar el rediseño.

### 2.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN





- No experimental-transversal: Se observarán y registrarán las variables en su estado natural en un único momento para obtener los parámetros necesarios de rediseño.

## 2.5. MÉTODO DE TRABAJO

### ETAPA DE PRECAMPO

La etapa de precampo tuvo como finalidad recopilar, analizar y organizar la información existente del área de estudio, a fin de establecer una base técnica que permita comprender el contexto geológico regional y local, así como planificar de manera adecuada las actividades de campo.

Para ello, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Se recopiló información bibliográfica y documental relacionada con la zona de estudio, proveniente de expedientes técnicos, tesis universitarias, informes institucionales y artículos científicos vinculados a estudios geológicos y geotécnicos.
- Se recopiló y analizó información geológica regional y local proporcionada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), correspondiente a los cuadrángulos 30-S, 30-T, 30-U y 30-V a escala 1:100 000, incluyendo mapas geológicos y memorias descriptivas.
- Se realizó el análisis preliminar de la cartografía geológica existente con la finalidad de identificar las principales unidades litológicas, estructuras geológicas y características tectónicas del área.
- Se revisó información topográfica, hidrológica y climática del área de estudio, necesaria para la comprensión del entorno físico y la planificación del trabajo de campo.
- Se analizaron imágenes satelitales y modelos digitales de elevación para la identificación preliminar de rasgos geomorfológicos, lineamientos estructurales y posibles zonas de inestabilidad.



- Se elaboraron mapas base, tales como mapas topográficos, de drenaje, accesos y ubicación, a escalas adecuadas para el levantamiento geológico en campo.
- Se delimitó el área de estudio, considerando el eje de la presa, los estribos, la fundación y el área del embalse.
- Se planificaron las actividades de campo, definiendo rutas de acceso, puntos de observación, estaciones de muestreo y cronograma de trabajo.
- Se seleccionaron los métodos, herramientas y equipos a emplearse durante el trabajo de campo, tales como instrumentos de medición estructural, GPS, cámara fotográfica y formatos de registro.

#### ETAPA DE CAMPO

La etapa de campo tuvo como objetivo obtener información directa y confiable del área de estudio, necesaria para la caracterización geológica, geofísica, geotécnica y ambiental del sitio de emplazamiento de la presa y sus áreas asociadas.

Las actividades realizadas durante esta etapa fueron las siguientes:

- Se efectuó el levantamiento geológico detallado del área de estudio, con énfasis en el eje de la presa, estribos, fundación y área del embalse, identificando y describiendo las unidades litológicas aflorantes.
- Se realizó el mapeo geomorfológico, registrando las formas del relieve, procesos erosivos, depósitos cuaternarios y condiciones de estabilidad de laderas.
- Se identificaron y evaluaron los fenómenos de geodinámica externa presentes en el área de estudio, tales como deslizamientos, caídas de rocas, erosión fluvial y movimientos en masa, que podrían afectar la estabilidad de la presa y el embalse.
- Se ejecutaron trabajos de campo para los estudios geofísicos, los cuales incluyeron la localización de perfiles, toma de mediciones y registro de datos, conforme a la metodología específica de cada método aplicado.



- Se realizaron investigaciones geotécnicas de campo, que comprendieron la ejecución de ensayos in situ, medición de discontinuidades, descripción de macizos rocosos y excavaciones exploratorias, según los requerimientos del proyecto.
- Se recolectaron muestras representativas de suelos y rocas para su posterior análisis en laboratorio, asegurando su correcta identificación y preservación.
- Se desarrollaron actividades de reconocimiento ambiental, identificando componentes físicos del medio ambiente, áreas sensibles y posibles impactos asociados al proyecto.
- Se efectuó el registro sistemático de la información obtenida mediante anotaciones en cuaderno de campo, registro fotográfico, elaboración de croquis y georreferenciación de los puntos observados.

#### ETAPA DE POSTCAMPO

Durante la fase de gabinete, se procedió con el procesamiento sistemático y la correlación de los datos recabados en campo y laboratorio. Esta etapa permitió consolidar una interpretación integral de las variables geológicas y geotécnicas del sitio, estableciendo los parámetros de diseño definitivos para la infraestructura. La síntesis de esta información fue determinante para garantizar que el planteamiento de la presa responda con precisión a las condiciones geodinámicas y ambientales del entorno

Las actividades desarrolladas fueron las siguientes:

- Se procesaron y organizaron los datos obtenidos durante el levantamiento geológico, geomorfológico, y de geodinámica externa, a fin de sistematizar la información recolectada en campo.
- Se realizó el análisis e interpretación de los datos geofísicos, mediante el uso de software especializado, para la determinación de las condiciones del subsuelo y la continuidad de las unidades geológicas.



- Se efectuó el análisis de los resultados de laboratorio de las muestras de suelo y roca en proceso de litificación, con la finalidad de obtener sus propiedades físicas, mecánicas y geomecánicas.
- Se realizó la caracterización geotécnica y geomecánica de los suelos, empleando clasificaciones y criterios técnicos apropiados para el tipo de obra proyectada.
- Se elaboraron bases de datos y se procesó la información georreferenciada en sistemas de información geográfica (SIG), utilizando el software ArcGIS.
- Se elaboraron los mapas temáticos correspondientes, tales como mapa geológico, geomorfológico, estructural, de geodinámica externa, geotécnico y geofísico.
- Se integraron los resultados de los estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos como insumo para el análisis y desarrollo del diseño de la presa.
- Se realizó la evaluación de los aspectos ambientales, identificando posibles impactos y medidas de manejo ambiental asociadas al proyecto.
- Se interpretó de manera integral la información obtenida, orientada a la evaluación de la aptitud geológica y geotécnica del sitio de emplazamiento de la presa.
- Se realizó el análisis numérico avanzado empleando el software GeoStudio, con la finalidad de evaluar diferentes escenarios de diseño de la presa, considerando las condiciones geológicas y geotécnicas obtenidas en las etapas previas.
- Se efectuó el análisis de filtraciones para simular el flujo de agua a través del cuerpo de la presa y la cimentación, evaluando la efectividad de los elementos de impermeabilización y el comportamiento del caudal de filtración.
- Se desarrolló el análisis esfuerzo–deformación, simulando las cargas inducidas por la presa sobre la cimentación, con el objetivo de cuantificar los asentamientos totales y diferenciales en condiciones de cimentación heterogénea.



- Se realizó el análisis de estabilidad de taludes mediante el módulo SLOPE del software GeoStudio, evaluando condiciones estáticas y verificando el cumplimiento de los factores de seguridad mínimos establecidos por la normativa vigente.
- Se documentaron los parámetros geotécnicos finales y los criterios de diseño empleados para la determinación de los espesores de la platea de cimentación, la profundidad de la cortina de inyección y las especificaciones técnicas de la geomembrana.
- Se elaboró el informe final de la investigación y se preparó la sustentación de la tesis.

#### 2.5.1. Variables

##### 2.5.1.1. *Variables independientes*

- Geología (geomorfología, estratigrafía, estructural, geodinámica)
- Geotecnia (mecánica de suelos, mecánica de rocas, canteras, etc.)
- Hidrología e hidrogeología.

##### 2.5.1.2. *Variables dependientes*

- Estructura de la presa.
- Rediseño de la presa.
- Cimentación de la presa.

#### 2.5.2. Equipos y materiales

- GPS
- Brújula
- Cámara fotográfica
- Picota
- Tableros
- Lupa
- Mapa preliminar
- Cinta métrica, rayador, ácido clorhídrico.



## CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

### 3.1. MARCO REFERENCIAL

PLAN MERISS (2012) en el expediente técnico **“Instalación del sistema de riego Quisco, distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar, Región Cusco”**. El presente expediente consta de estudios multidisciplinarios, en los cuales los más recientes se encuentran los estudios definitivos de geología y geotecnia el cual se usará como para la construcción de la presa de Quisco.

Bustamante y Senen (1995) en la Carta Geológica Nacional **“Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro, Hojas: 30-s, 30-t, 30-u y 30-v”**. Los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro se ubican al Norte y Noroeste del altiplano peruano, por encima de los 4000 m.s.n.m. El área posee fisiografía suave, tiene clima frío y seco y una superficie aproximada de 11920 km<sup>2</sup>. Las geoformas más pronunciadas son las altiplanicies y las cadenas de cerros cuya orientación predominante es noroeste-sureste; siendo el pico más elevado el nevado Cunurana que alcanza los 5420 m.s.n.m, esta información fue descargada del INGEMMET con la finalidad de usar esta información como modelo para elaborar el cartografiado geológico.

Mamani y Mamani (2020) en la tesis **“Estudio geotécnico definitivo para el análisis de filtración y estabilidad en el modelo de impermeabilización con geomembrana del dique de la presa Pallallaje, Coporaque, Espinar, Cusco 2019”**. Este estudio realizado se toma como base para verificar algunos aspectos importantes sobre la presencia de basamentos rocosos, también identificar las propiedades mecánicas del suelo, y considera el rediseño del modelo geotécnico buscando que este cumpla con las condiciones de estabilidad y filtración para optimizar la ejecución del proyecto.

Chara y Soncco (2020) en la tesis **“Estudio geológico, geotécnico e hidrológico para garantizar la seguridad y estanqueidad de la presa Querqueccocha, Distrito de Velille, Provincia de Chumbivilcas, Cusco 2020”**. La información que se tomó de este estudio es entender el abastecimiento de agua lo que conlleva a mejorar el nivel de vida de la población dedicada a distintas actividades como la agricultura y la ganadería de la zona de estudio.





Comité Nacional español de grandes presas (2003) en la Guía Técnica N°2, **“Criterios para proyecto de presas y sus obras añejas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos”**. La información propuesta en este estudio tiene como objetivo proponer recomendaciones y criterios de diseño de las diferentes tipologías de presas y sus órganos de desagüe, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo.

Ccahuata y Ccalta (2022) en la tesis **“Evaluación Geológica y Geotécnica para el emplazamiento de la Presa Aruri – Chumbivilcas, Cusco 2022”**. El estudio se toma como base para transformar un diagnóstico de dificultades muy serias en la cimentación en un proyecto ejecutable, proponiendo modificaciones basadas en evidencia cuantitativa de falla o riesgo. La investigación concluye que las características geológicas y geotécnicas generales del sitio son adecuadas para el emplazamiento del proyecto. En función a los resultados obtenidos alta resistencia de canteras y adecuada capacidad portante de roca, la recomendación principal del estudio es la construcción de una presa de concreto.

Urbina y Laime (2024) en la tesis **“Estudio Geológico – Geotécnico para la factibilidad del diseño y construcción de la presa Cellobamba, Comunidad de Occacahua, Distrito de Tambobamba, Cotabambas – Apurímac 2024”**. Se toma como base para entender el tratamiento de impermeabilización el cual concluye que la construcción de la Presa Cellobamba es factible y estable, siempre y cuando se implementen los tratamientos de impermeabilización y se utilice la tipología de presa de materiales propuestos. La propuesta de utilizar una presa CFRD junto con el tratamiento de inyecciones garantiza la factibilidad técnica de la Presa Cellobamba.

Esquivel y Ruiz (2023) en la tesis **“Estudio Geológico y Geotécnico para la construcción de la Presa Collini, Distrito de Pitumarca, Provincia Canchis, Departamento del Cusco 2023”**. Este estudio se toma como referencia para ver **la presencia de grandes fallas regionales (Cordillera Real, Urcos-Sicuani-Ayaviri)**, pero se concluye que no inciden en el comportamiento estructural local de la presa



### 3.2. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.2.1. Geología

##### MAPEO GEOLÓGICO

En este campo se utilizan planos topográficos base a escala 1:50 000, sobre los cuales se lleva a cabo la identificación y cartografía de las unidades geológicas expuestas, así como el levantamiento de las estructuras geológicas principales, entre ellas fallas, Rb y Bz, conforme a los lineamientos técnicos establecidos por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (Gerencia Regional de Planeamiento, 2012)

##### ARENISCA TOBÁCEA

La arenisca tobácea es una roca formada por la mezcla de granos de arena y material volcánico fino (ceniza o toba), cementados entre sí. Su textura suele ser porosa y su color varía entre tonos amarillos, grises, verdes o rosados según el tipo de toba. (Rivera Mantilla, 2011)

##### Características principales

- Origen: sedimentario–volcánico mixto.
- Ambiente de formación: cuencas cercanas a zonas volcánicas, donde se combinan depósitos fluviales o lacustres con caída de cenizas.
- Textura: clástica, con matriz volcánica muy fina.
- Resistencia: generalmente media a baja, dependiendo del grado de cementación.
- Porosidad: puede ser alta, permitiendo circulación de agua.
- Alteración: se altera fácilmente por meteorización química y física, especialmente si contiene vidrio volcánico.

##### Importancia geotécnica

- Para proyectos como presas, taludes o cimentaciones, la arenisca tobácea puede presentar:
- Baja resistencia a compresión si está poco cementada.
- Aumento de deformabilidad al humedecerse.



- Riesgo de disgregación por meteorización.
- Permeabilidad variable, a veces elevada por fracturas o poros.

### 3.2.2. Geomorfología

#### CARACTERIZACION GEOMORFOLOGICA

La geomorfología en la actualidad designa una disciplina científica que tiene como objeto el reconocimiento, la clasificación y la explicación de las diferentes configuraciones que presenta la superficie externa de la litosfera, de cuya combinación resulta el relieve terrestre. (Muñoz Jiménez, 2000)

La interacción entre los distintos elementos que participan en la génesis del relieve es altamente compleja. Por ello, este tema continúa siendo objeto de debate en la geomorfología teórica y carece de enfoques completamente definidos. Dado el predominio de los factores de modelado, resulta fundamental comprender el rol de la tectónica en la formación del terreno, así como analizar la influencia de las distintas tasas de denudación, las cuales condicionan el levantamiento tectónico y las deformaciones estructurales a escala local.

El clima, la tectónica y el vulcanismo se consideran factores dinámicos, ya que determinan el tipo de procesos y su intensidad en un territorio determinado. En cambio, la región morfoclimática, la estructura tectónica y la litología constituyen factores estáticos, pues representan las características primarias del terreno sobre las cuales actúan los factores dinámicos para generar nuevas formas del relieve. (De Pedraza Gilsanz, 1996)

La geomorfología se define como la disciplina científica orientada a interpretar el relieve terrestre, describir sus formas, analizar su evolución a lo largo del tiempo y comprender los procesos que intervienen en su modelado. (Dearrau M, 1996)

#### TOPOGRAFÍA

Es un procedimiento sistemático que, mediante la aplicación de matemáticas básicas y el empleo de instrumentos mecánicos, automáticos y electrónicos, permite la representación gráfica del relieve y la configuración de la superficie terrestre en planos. (Avalos Lozano, 2019)



### 3.2.3. Geología estructural

#### FALLAS TECTÓNICAS

Una falla es una dislocación se produce cuando las fuerzas tectónicas superan la capacidad de deformación de una roca. Se manifiesta como una fractura acompañada de desplazamiento relativo de los bloques, típica de materiales rígidos sometidos a las presiones generadas por agentes geomorfológicos internos. Cuando únicamente ocurre la fracturación sin desplazamiento, se denomina diaclasa; en el caso de fracturas de menor dimensión, estas reciben el nombre de fisuras. (V. Belousov)

#### PLEGAMIENTOS

Los pliegues se originan por la acción de las fuerzas tectónicas que actúan sobre materiales relativamente blandos o con capacidad de deformación. Estas estructuras presentan componentes claramente diferenciados: la porción convexa superior se denomina anticlinal, mientras que la parte cóncava inferior corresponde al sinclinal; el punto de mayor elevación del pliegue recibe el nombre de cresta. La charnela es la línea que divide de manera simétrica la ondulación del pliegue, y los lados inclinados se conocen como flancos.

La dimensión del pliegue se determina considerando como referencia los centros de los anticlinales y sinclinales, y se expresa mediante la longitud de onda —medida entre crestas o entre senos y la altura, definida entre la cresta y el seno. Los pliegues pueden variar considerablemente en tamaño, desde estructuras microscópicas hasta formas con extensiones de varios kilómetros. (V. Belousov)

### 3.2.4. Hidrología

#### CICLO HIDROLÓGICO

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación. (Ordoñez Gálvez, 2011)



Se entiende como tal al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) en su forma (agua superficial, subsuperficial, subterránea, etc.) (Chereque Morán, 1989).

#### CAUDAL

Para evaluar adecuadamente los recursos hídricos de una cuenca, es indispensable realizar mediciones sistemáticas del caudal, de forma diaria, a una hora constante y durante el mayor período posible. Este procedimiento permite caracterizar el régimen hidrológico de los ríos. Por ello, los países implementan redes de estaciones de aforo encargadas de registrar y difundir esta información. En el Perú, esta función es desarrollada principalmente por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). (Chereque Morán, 1989)

#### CUENCA

La cuenca de drenaje de un curso de agua corresponde al área del territorio en la cual las precipitaciones confluyen y se concentran para dar origen a un único sistema de escurrimiento. Cada corriente posee una cuenca claramente delimitada a lo largo de todo su recorrido. (Villon Bejar, 2002)

Se entiende por precipitación a toda el agua de origen atmosférico que alcanza la superficie terrestre, ya sea en estado líquido, como llovizna o lluvia, en estado sólido, como nieve o granizo, así como en formas denominadas ocultas, entre ellas el rocío y la helada blanca. Estas manifestaciones se producen como consecuencia de variaciones en la temperatura o en la presión atmosférica. La precipitación representa la principal y, en muchos casos, la única fuente de ingreso de agua al sistema hidrológico continental. (Musy, 2001)

#### BALANCE HÍDRICO

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca exige una estimación adecuada del balance hidrológico, lo que implica comprender el ciclo del agua en sus distintas etapas y la manera en que la precipitación se distribuye entre los procesos de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.



La ecuación del balance hidrológico constituye una formulación conceptualmente sencilla; sin embargo, la determinación precisa de sus componentes suele ser compleja debido a la escasez de mediciones directas y a la variabilidad espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas hacia los acuíferos y de los cambios en el almacenamiento de agua dentro de la cuenca. (Ordoñez Gálvez, 2011)

### 3.2.5. Geofísica

#### ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

Dentro de los métodos sísmicos, este es el de uso más frecuente. Se basa en la ejecución de perfiles longitudinales equipados con sensores denominados geófonos, los cuales se disponen a intervalos conocidos y, por lo general, uniformes. La energía generada por la fuente sísmica, comúnmente producida mediante impactos con un martillo de aproximadamente 8 kg, se propaga a través del terreno y es captada por los sensores, registrándose posteriormente en un sismógrafo.

La longitud de los perfiles suele variar entre 25 y 100 m, con separaciones entre geófonos que generalmente no superan los 5 m, a fin de asegurar un adecuado nivel de detalle en la investigación. En cada perfil se consideran, como mínimo, tres puntos de disparo, ubicados al inicio, centro y final del trazado; cuando la longitud del perfil supera los 60 m, el número de puntos de disparo suele incrementarse a cinco.

El análisis de los tiempos de arribo de las ondas elásticas a los geófonos permite determinar las velocidades de propagación y los espesores de los distintos materiales atravesados. (Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

### 3.2.6. Geotecnia

#### PRESA

Las presas representan una de las infraestructuras de ingeniería más relevantes para el desarrollo de un país, ya que funcionan como estructuras construidas sobre cursos de agua con el propósito de almacenar el recurso hídrico y regular su caudal. Estas obras pueden presentar





diversas dimensiones y configuraciones; a nivel mundial, los tipos de presas más comunes son las de materiales sueltos, las presas de gravedad y las presas de tipo bóveda. (Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

De acuerdo con la Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM), una presa se define como una estructura destinada principalmente a la retención de agua, con la finalidad de elevar su nivel y generar un volumen de almacenamiento. Este incremento del nivel permite alcanzar una cota adecuada para el abastecimiento de agua y/o el riego agrícola.

Desde el punto de vista estructural, una presa debe garantizar condiciones de resistencia, estabilidad e impermeabilidad, propias de su función hidráulica. Asimismo, debe contar con los dispositivos necesarios para regular el volumen almacenado y evacuar de manera segura los excedentes, los cuales pueden presentarse de forma súbita y con elevada intensidad. Todo ello debe lograrse minimizando los impactos tanto sobre el entorno del embalse como sobre las propias instalaciones de la presa.

#### Clasificación de presas

De acuerdo a la “INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS”, (ICOLD) la clasificación según su uso es la siguiente:

- Para almacenamiento de agua: Se utilizan para acumular agua durante períodos de escasez hídrica, asegurando su disponibilidad para distintos usos.
- Presas de derivación: Tienen como finalidad desviar el caudal desde el cauce principal hacia sistemas de conducción como canales, tuberías o zanjás; también son denominadas bocatomas.
- Presas reguladoras: Conocidas igualmente como presas de control de inundaciones, su función es retardar el escurrimiento de las avenidas, reduciendo el impacto de las crecidas mediante la laminación del hidrograma correspondiente.

Según su Estructura:



- Presas de gravedad: Estructura maciza (generalmente de concreto o mampostería) que resiste el empuje del agua por su propio peso.

Subtipos:

- ✓ Gravedad de concreto convencional
  - ✓ Gravedad de concreto compactado con rodillo (CCR)
  - ✓ Gravedad aligerada
- Presas de bóveda (o arco): Tienen forma curva y transmiten el empuje horizontal del agua hacia los estribos laterales.

Características:

- ✓ Requieren valles estrechos y rocas muy competentes.
- ✓ Estructura delgada respecto a su altura.

Subtipos:

- ✓ De arco simple
  - ✓ De arco múltiple
  - ✓ De doble curvatura
- Presas de contrafuerte: Compuestas por una losa aguas arriba sostenida por contrafuertes rígidos.

Características:

- ✓ Requieren menos material que las de gravedad.
- ✓ Necesitan cimentación firme y estable.

Subtipos:

- ✓ De losa plana con contrafuertes
  - ✓ De arco y contrafuertes
- Presas de materiales sueltos: Construidas con materiales naturales (suelo, grava, roca) compactados. Son las más comunes en zonas altoandinas.

a) Presas de tierra: Formadas por suelos finos y arcillosos.



Características:

- ✓ Muy impermeables si tienen núcleo arcilloso.
- ✓ Requieren control de filtraciones.

Subtipos:

- ✓ Homogénea
- ✓ Con núcleo central
- ✓ Con núcleo inclinado
- ✓ Con pantalla aguas arriba

b) Presas de enrocado: Hechas con rocas fragmentadas y compactadas. Suelen incluir una pantalla impermeable, que puede ser:

- ✓ De asfalto
- ✓ De concreto
- ✓ De arcilla
- ✓ Geomembrana

Subtipos:

- ✓ Enrocado con pantalla aguas arriba
- ✓ Enrocado con núcleo impermeable
- ✓ Enrocado con membrana central
- Presas mixtas: Combinan distintos tipos estructurales cuando el valle presenta condiciones variables.

Ejemplos:

- ✓ Parte de tierra + parte de concreto
- ✓ Tierra + enrocado
- ✓ Gravedad + materiales sueltos
- Presas de alivio (menos comunes): Utilizan estructuras especiales para permitir parte del flujo.



Ejemplo: presas vertederas.

Según su aplicación:

- Presas filtrantes o diques de retención: Son estructuras destinadas a interceptar y retener materiales sólidos transportados por corrientes torrenciales, desde sedimentos finos hasta bloques de gran tamaño, permitiendo al mismo tiempo el paso del agua, especialmente en zonas montañosas.
- Presas de control de avenidas: Su función principal es reducir y regular los caudales generados por avenidas torrenciales, con el objetivo de minimizar los daños en las áreas ubicadas aguas abajo durante eventos de precipitaciones intensas.
- Presas de derivación: Están diseñadas para elevar el nivel del agua y posibilitar su conducción controlada hacia obras de derivación, evitando la acumulación excesiva de sedimentos que pueda obstruir las bocatomas. Generalmente presentan alturas reducidas, ya que el almacenamiento no constituye su finalidad principal.
- Presas de almacenamiento: Tienen como propósito fundamental retener agua para su uso regulado en actividades como riego, generación de energía eléctrica, abastecimiento poblacional, recreación o navegación, dando lugar a embalses o lagunas artificiales de gran capacidad.
- Presas de relaves: Corresponden a estructuras destinadas a la contención de residuos sólidos y líquidos provenientes de actividades mineras, los cuales se depositan en vasos de almacenamiento para su decantación. Por lo general, son de menor tamaño que las presas hidráulicas convencionales, aunque en ciertos casos pueden albergar volúmenes significativos de material. Al igual que las presas de agua, cuentan con una cortina — usualmente del mismo material— y un vertedero; sin embargo, en lugar de una obra de toma, disponen de sistemas específicos para la extracción de los líquidos.



## Principales elementos de la presa

Según la SPANCOLD, COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS, los principales elementos son los siguientes:

- Embalse: Corresponde al volumen máximo de agua que puede ser retenido por la presa.
- Vaso: Es el espacio físico o depresión natural donde se almacena el agua embalsada.
- Boquilla: Es el sector seleccionado para la implantación de la estructura de cierre de la presa.
- Cortina: Constituye el elemento estructural principal, diseñado para ser estable y resistente, capaz de soportar el empuje hidrostático del agua y de limitar las pérdidas por filtración
- Caras, taludes o paramentos: Son las superficies, inclinadas o verticales, que **delimitan el cuerpo de la presa; la cara en contacto con el agua se denomina “aguas arriba”, mientras que la opuesta recibe el nombre de “aguas abajo”.**
- Estribos: Son los apoyos laterales mediante los cuales la estructura de la presa se ancla al terreno circundante.
- Corona: Es la parte superior y generalmente horizontal de la presa.
- Base o cimentación: Corresponde a la superficie inferior de la estructura, encargada de transmitir el peso de la presa al terreno de apoyo. (Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

## ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

Los ensayos de laboratorio en mecánica de suelos constituyen procedimientos destinados a determinar las propiedades mecánicas de los suelos, formando parte de las técnicas de investigación del terreno. Las muestras extraídas se analizan de manera representativa, con el fin de que los resultados reflejen el comportamiento del conjunto del suelo estudiado.



Entre los ensayos de mecánica de suelos más utilizados para obtener las características fundamentales durante el reconocimiento geotécnico del terreno donde se proyecta la ubicación de un sistema hidráulico, se encuentran los ensayos de identificación.

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM-D-422 MTC E 107-2000
- Limite líquido ASTM-D423 MTC E 110-2000
- Limite plástico ASTM-D424 MTC E 111-2000
- Contenido de humedad ASTM-D-2216 MTC E 108-2000
- Ensayo de Proctor modificado ASTM-D-1557 MTC E 115-2000
- Clasificación de ASSTHO Y SUCS STM-D-2487

#### ENSAYO DE PERMEABILIDAD

- Ensayo Lefranc

Este ensayo se emplea para determinar el coeficiente de permeabilidad en suelos granulares permeables o semipermeables, ubicados por debajo del nivel freático, así como en rocas intensamente fracturadas. La prueba se realiza en el interior de los sondeos y puede llevarse a cabo tanto durante el proceso de perforación como una vez concluida dicha perforación. (Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

- Ensayo de Lugeon

El ensayo Lugeon consiste en la inyección de agua a una presión manométrica controlada, mediante el uso de obturadores, en un tramo específico de un sondeo ejecutado en roca dura mediante perforación diamantina. A partir del proceso de inyección y saturación bajo presión, se determina la conductividad hidráulica del macizo rocoso, información fundamental para el diseño y la construcción de obras de ingeniería como presas, embalses, centrales hidroeléctricas, casas de máquinas, entre otras, así como para la evaluación de la estabilidad de taludes excavados en roca. En algunos casos, este ensayo también es interpretado como un procedimiento de fracturación hidráulica del macizo rocoso.





El ensayo Lugeon puede ejecutarse de manera simultánea a la perforación o una vez concluida esta. Generalmente, la primera alternativa resulta más conveniente y requiere únicamente el uso de un obturador; sin embargo, es un método más lento y de mayor costo, pudiendo prolongar el tiempo de investigación. Cuando se realiza tras finalizar la perforación, el ensayo suele desarrollarse de forma ascendente, iniciándose en el tramo más profundo del sondeo. (Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

### EXCAVACIÓN DE CALICATAS

Las calicatas, zanjas, rozas y pozos son excavaciones ejecutadas mediante procedimientos mecánicos convencionales, que permiten la inspección directa del terreno hasta determinadas profundidades, así como la obtención de muestras y la realización de ensayos in situ. Este tipo de trabajos facilita el acceso directo al suelo, lo que posibilita la identificación de variaciones litológicas, estructuras, discontinuidades y otros rasgos relevantes, además de la extracción de muestras de mayor tamaño para su análisis en laboratorio.

Las calicatas constituyen uno de los métodos más utilizados en el reconocimiento superficial del terreno y, debido a su bajo costo y rápida ejecución, representan una herramienta habitual y eficiente en las investigaciones geotécnicas in situ. (Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

### ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia a la compresión uniaxial de probetas cilíndricas de roca, cuya altura corresponde aproximadamente a entre dos y tres veces su diámetro. Generalmente, dichas probetas se obtienen a partir de testigos provenientes de sondeos; no obstante, también pueden extraerse de bloques de roca mediante equipos adecuados en laboratorio. La obtención de estos bloques en mina u obra debe realizarse sin el uso de voladuras, ya que estas pueden inducir nuevas microfisuras o incrementar las existentes, lo que ocasionaría una disminución de la resistencia de las probetas ensayadas.



Además de permitir la determinación de la resistencia mecánica, este ensayo posibilita la obtención de las constantes elásticas de la roca, tales como el módulo de Young y el coeficiente de Poisson. (Ramírez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)

#### CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RQD – HOEK)

- RQD (Rock Quality Designation)

El RQD es uno de los índices más utilizados para evaluar el grado de fracturamiento de un macizo rocoso, ya que proporciona información sobre la cantidad y el estado de las discontinuidades que afectan a los materiales. Este parámetro es ampliamente empleado para establecer una caracterización preliminar de la calidad del macizo rocoso en áreas donde se proyecta la ejecución de obras de ingeniería civil. La designación de calidad de la roca (RQD) se determina a partir del análisis del núcleo o testigo extraído de un sondeo, y se expresa como un porcentaje que refleja el grado de continuidad o fracturación de la masa rocosa. Valores de RQD iguales o superiores al 75 % indican rocas de buena calidad y elevada competencia, mientras que valores inferiores al 50 % corresponden a rocas de baja calidad o intensamente alteradas. Este método, aplicable en campo, permite evaluar la solidez del macizo rocoso y el nivel de deterioro producido por los procesos de intemperismo.



## CAPITULO IV: GEOMORFOLOGÍA

### GENERALIDADES

Los estudios realizados en el área de la presa ayudan a interpretar las unidades geomorfológicas, con el fin de evaluar su influencia en el comportamiento geotécnico del terreno y su incidencia en la viabilidad del rediseño de la presa de Quisco. Se realizaron reconocimientos de campo con el propósito de identificar evidencias de procesos geodinámicos, tanto latentes como activos. Esta auscultación se centró en la detección de fenómenos de remoción en masa, antiguos deslizamientos y focos de erosión fluvial o pluvial, factores que podrían comprometer la integridad de los estribos y la zona de inundación de la presa.

Adicionalmente, se registraron pendientes y se elaboraron mapas preliminares usando modelos digitales de elevación (DEM) para identificar las inclinaciones del terreno y su distribución espacial, con especial atención a las áreas donde se proyecta la ubicación de la presa, esta evaluación permite identificar zonas estables y las áreas potencialmente inestables presentes para la construcción de la presa de Quisco.

#### 4.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La presa de Quisco se ubica en el altiplano y oscila entre 3900 y 4000 m.s.n.m, se caracteriza por ser un valle de origen glaciar, presenta relieves de baja altura y pendientes moderadas, una morfología generalmente suave, lo que implica una topografía más estable y menos accidentada, lo cual es favorable para la construcción de la presa (Ver figura 4), sin embargo, se deben seguir considerando los procesos geodinámicos locales, como deslizamientos o erosión en zonas puntuales. (De la Cruz B., 1995)

##### 4.1.1. Altiplanicies (AP)

Estas unidades geomorfológicas están ubicadas hacia el Norte y la zona Sur-Oeste del cuadrángulo de Velille, Ayaviri y Azángaro. Dentro del cuadrángulo de Yauri, esta unidad geomorfológica se manifiesta de forma limitada, principalmente como una pequeña planicie o

también conocida como la Cubeta de Yauri. Esto indica que, aunque la unidad es extensa en otros cuadrángulos (Ayaviri y Azángaro), en Yauri su presencia es reducida pero bien definida. (De la Cruz B., 1995)

#### 4.1.1.1. *Colinas bajas (RC-b)*

Las colinas son geoformas dominantes en el eje de la presa, son relieves de menor magnitud o altura y de menores pendientes, formadas principalmente por depósitos coluvio-aluviales, en el área regional de la presa encontramos colinas en roca intrusiva, sedimentaria y volcano-sedimentaria (Ver fotografía 1). Estas superficies son moderadamente estables, aunque en ciertos sectores pueden presentar signos de inestabilidad local debido a erosión y a procesos geodinámicos menores. Estas colinas constituyen la base sobre la cual se evaluó la ubicación del eje del dique. (De la Cruz B., 1995)

#### Fotografía 1

*Colinas bajas formadas por depósitos coluvio-aluviales en la presa de Quisco*



#### 4.1.1.2. *Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)*

Este entorno geomorfológico se desarrolla a una altitud entre los 4,000 y 5,000 m.s.n.m., se caracteriza por una pendiente pronunciada, de relieves altos y empinados, nuestra área de estudio se sitúa sobre rocas sedimentarias, formando cadenas montañosas, los cuales han sufrido

el efecto de la glaciación, con el arrastre de materiales ladera abajo a manera de morrenas y fluvioglaciares, conformando valles en forma de U. (De la Cruz B., 1995)

#### 4.1.1.3. Valles glaciares (VII-gl)

Los valles glaciares son una característica geomorfológica destacada de la zona, son producto de la acción erosiva de los glaciares provenientes de la cordillera durante la última glaciación, donde actualmente se encuentra emplazado el vaso de la presa de Quisco con un perfil de sección transversal en forma de U característicos (Ver fotografía 2).

Durante el proceso de formación de esta geoforma se han producido una serie de eventos geodinámicos que han producido procesos de socavación fluvioglacial que generaron deslizamientos, uno de ellos ha ocasionado los depósitos de materiales deslizados en la zona del eje del dique desde la margen izquierda hacia la margen derecha, sin embargo, estos son de espesores que no sobrepasan los 8 m de espesor y no comprometen la estabilidad actual. (PLAN MERISS, 2012)

#### Fotografía 2

*Vista del eje de la presa de Quisco y valle glacial*





#### 4.1.1.4. Morrenas (Mo)

Las morrenas son una forma de relieve glaciar, que se ha formado posterior al proceso glaciar pleistocénico, durante el cuaternario y reciente, esta geoforma se evidencia en la margen izquierda de la fracción media a alta de la colina del cerro Ankara. La zona de estudio presenta morrenas de tipo laterales, que se forman al borde del glaciar y están compuestas por rocas y sedimentos que han sido transportados por el glaciar (Ver fotografía 3). Los sedimentos morrénicos se encuentran débilmente consolidados, lo que representa un factor de atención ante posibles inestabilidades futuras. (Gerencia Regional de Planeamiento, 2012)

#### Fotografía 3

*Vista de la dirección y sentido de las morrenas en la margen izquierda de la presa de Quisco*

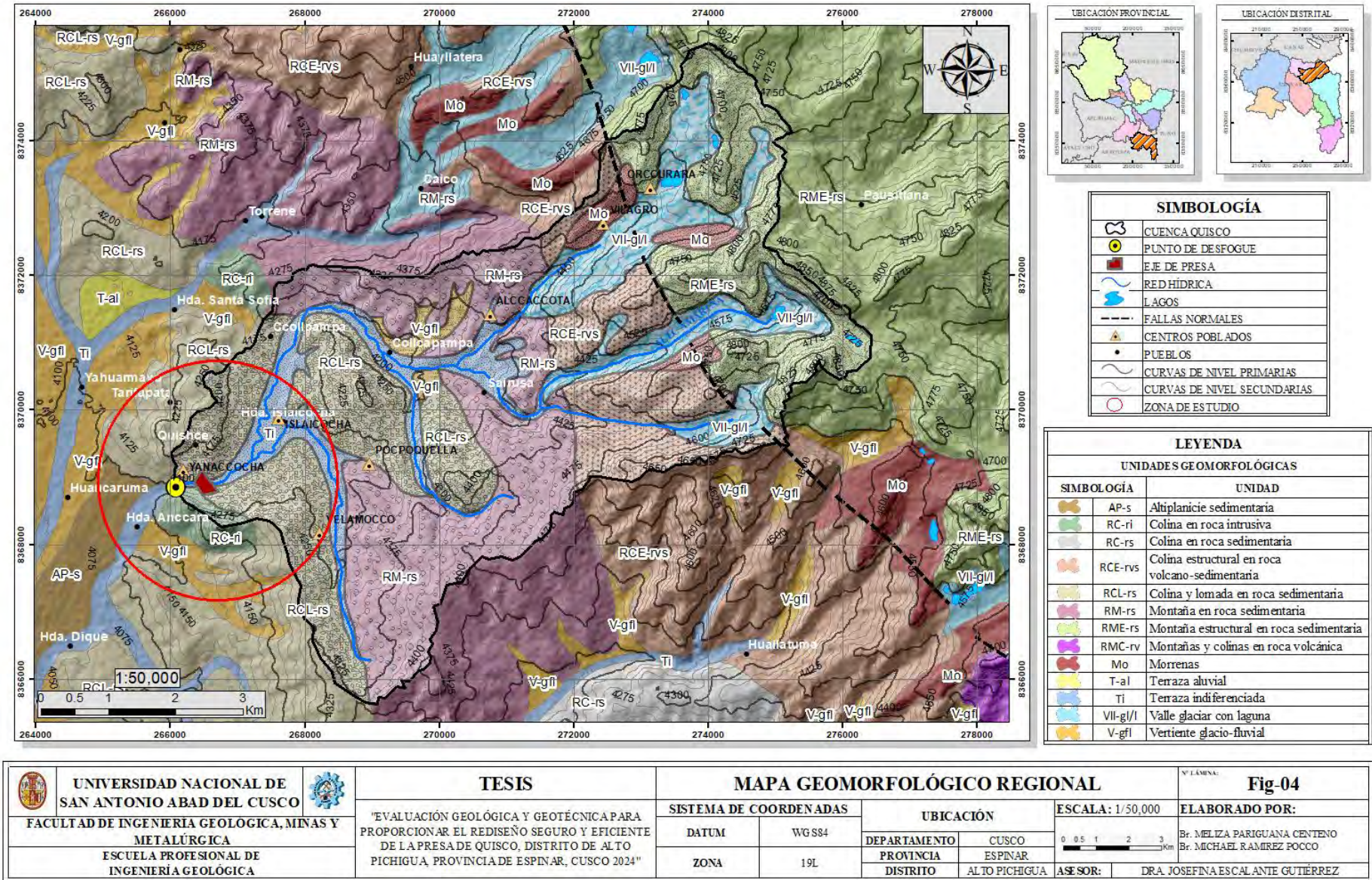






Figura 4

Mapa geomorfológico regional





## 4.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL







La geomorfología local del emplazamiento de la presa de Quisco refleja la evolución cuaternaria dominada por glaciaciones, actividad volcánica y procesos erosivos fluviales (Ver figura 8). Con el fin de optimizar el análisis del terreno, se procedió a la zonificación de las unidades geomorfológicas a nivel local, complementada con la generación de un modelo digital de pendientes para la cuenca Quisco.

### 4.2.1. Pendientes

La generación del mapa de pendientes para la cuenca Quisco se fundamentó en el procesamiento de un Modelo de Elevación Digital (DEM), el cual permite cuantificar la inclinación del relieve y su incidencia en la dinámica de laderas (Ver figura 7). Este análisis es crítico para identificar sectores propensos a procesos de remoción en masa y comprender la génesis de las geoformas depositacionales en el entorno de la presa. La categorización de estas pendientes, con especial atención al área de cimentación, se detalla bajo los criterios técnicos establecidos en la (Ver tabla 4):

Tabla 4

*Clasificación de pendientes en grados*

Color	Rango de pendientes en grados	Superficie Topográfica	Área (km <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
	0° - 1°	Llana	0.059	59128.244	0.133
	1° - 5°	Suavemente inclinada	2.697	2696670.332	6.071
	5° - 15°	Moderada	24.732	24732137.064	55.683
	15° - 25°	Fuerte	13.383	13382775.109	30.131
	25° - 45°	Muy fuerte o escarpada	3.417	3416783.690	7.693
	> 45°	Muy escarpado	0.128	128442.338	0.289
TOTAL			44.416	44415936.777	100.000

*Fuente: Adaptado de Informe Técnico N° A7142. ( INGEMMET, 2021)*

Un esquema fisiográfico del diagrama en porcentajes de pendientes (Ver figura 5) complementado con un diagrama de barras (Ver figura 6), son útiles porque convierten la



información del relieve en una representación cuantitativa, visual y comparativa. Esto facilita la interpretación geomorfológica, geotécnica e hidrológica del área estudiada, permiten interpretar rápidamente cómo se distribuyen las formas del terreno según su inclinación. Su utilidad es clave en proyectos como el rediseño de una presa, donde la estabilidad del entorno es fundamental.

Permiten evaluar riesgos geotécnicos: Cada rango de pendiente está asociado con ciertos procesos:

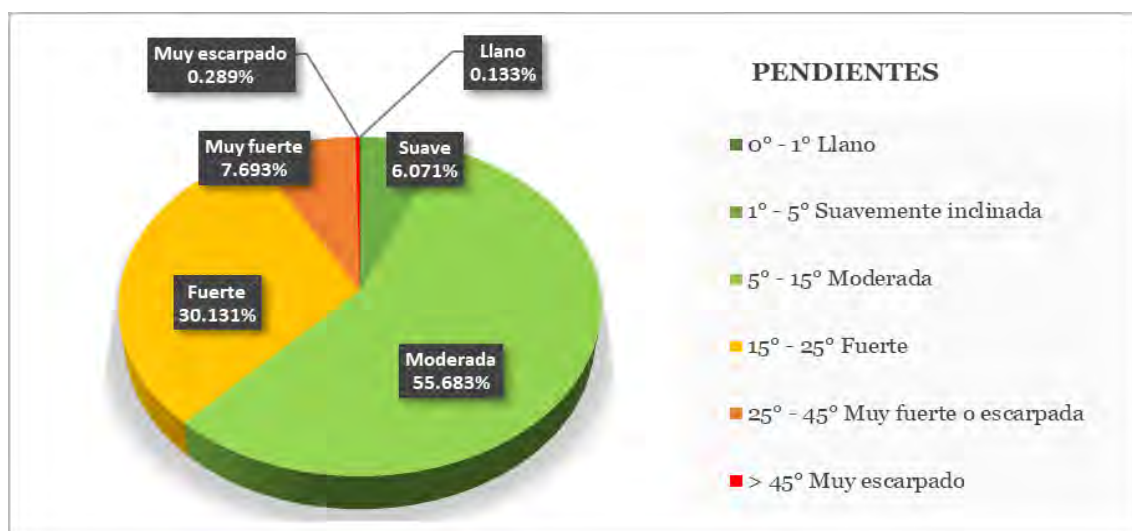
- Pendientes fuertes → deslizamientos, erosión acelerada.
- Pendientes suaves → acumulación de sedimentos.
- Pendientes medias → transporte de materiales.

El esquema ayuda a identificar zonas críticas para obras civiles como una presa, accesos, túneles o canales.

Relaciona las pendientes con procesos geomorfológicos: El análisis permite entender dónde se erosiona intensamente, dónde se deposita material, qué zonas tienen estabilidad relativa, cómo ha evolucionado el relieve. Esto respalda la interpretación general del paisaje (base de un mapa geomorfológico).

Figura 5

*Esquema Fislográfico del diagrama en porcentajes de pendientes*



*Fuente: Elaboración propia*

El diagrama de barras (Ver figura 6) agrega un nivel adicional de interpretación porque:

Muestra la distribución cuantitativa de las pendientes

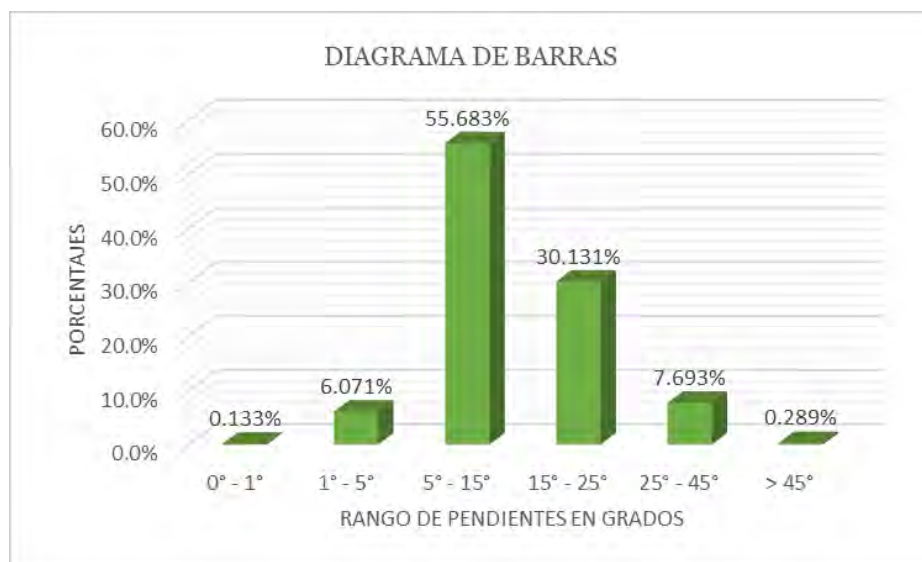
Puedes ver qué porcentaje del territorio corresponde a cada rango.

Esto ayuda a evaluar si el área es predominantemente plana, ondulada o montañosa, facilita comparaciones rápidas

El diagrama permite comparar rangos de pendiente entre sí, ver tendencias visuales y detectar si la zona tiene predominancia de laderas escarpadas (riesgo) o superficies planas (estabilidad)

Figura 6

*Diagrama de barras según el rango de pendientes, expresados en porcentajes*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.1.1. Pendiente Llana (0° - 1°)

Esta unidad comprende las superficies de relieve horizontal con gradientes que oscilan entre 0° y 1°, cubriendo una extensión de 0.059 km<sup>2</sup> equivalente al 0.133% del área total. Se localiza en el piso de valle, adyacente al cauce principal, y está constituida predominantemente por terrazas fluviales de origen reciente. En la cartografía de pendientes, este rango se identifica

con el color verde oscuro y su configuración morfológica se ilustra en la fotografía. (Ver fotografía 4)

#### 4.2.1.2. *Pendiente Suavemente inclinada ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ )*

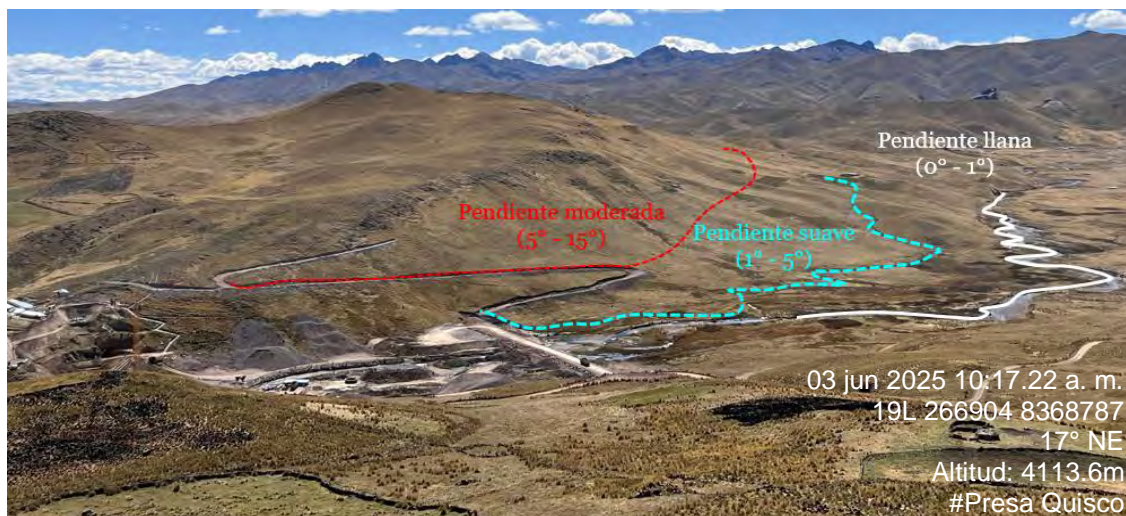
Este rango abarca superficies con inclinaciones suaves de  $1^{\circ}$  a  $5^{\circ}$ , extendiéndose sobre 2.697 km<sup>2</sup> el 6.071% del área evaluada. Geomorfológicamente, esta unidad se ubica en los niveles inferiores del relieve y está constituida por depósitos cuaternarios de origen aluvial, así como por llanuras de inundación estacionales. En la cartografía temática, estas zonas se distinguen por el color verde claro y su disposición física. (Ver fotografía 4)

#### 4.2.1.3. *Pendiente Moderada ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ )*

Son superficies que presentan pendientes de  $5^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , con 24.732 km<sup>2</sup> que representa el 55.683% de la zona de estudio, este tipo de pendiente se encuentra en las partes inferiores de las laderas, ocupa gran parte del sector central y occidental de la cuenca, lo que indica zonas potencialmente favorables para el desarrollo de la construcción de la presa. Conformadas principalmente por colinas. En el mapa se representan por su color verde amarillento. (Ver fotografía 4)

### Fotografía 4

*Zona de pendientes llanas, suaves y moderadas, parte inferior de las laderas de la margen derecha de la presa Quisco.*



#### 4.2.1.4. Pendiente Fuerte ( $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ )

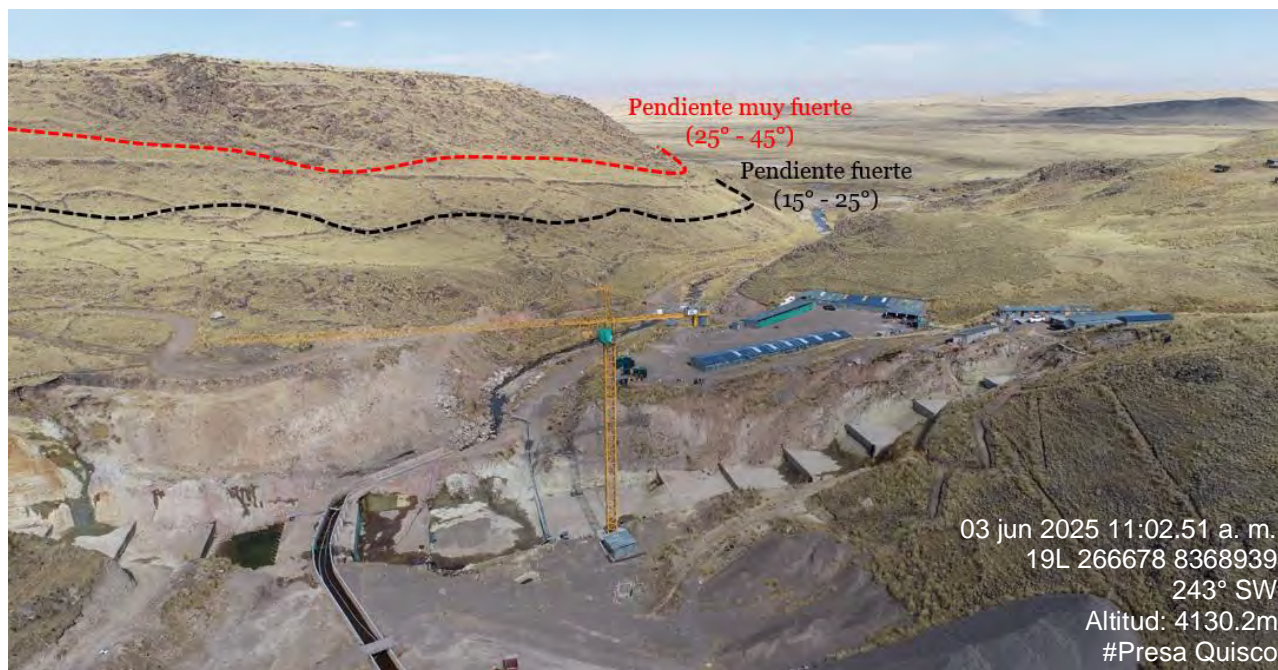
Son superficies que presentan pendientes de  $15^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ , con  $13.383 \text{ km}^2$  que representa el 30.131% de la zona de estudio, predominan en la porción oriental y noroeste de la cuenca, conformada principalmente por laderas de montaña. La margen derecha es relativamente más suave, aunque se registran algunas zonas con pendientes fuertes hacia aguas abajo del eje. En el mapa se representan por su color amarillento. (Ver fotografía 5)

#### 4.2.1.5. Pendiente muy fuerte o escarpada ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ )

Son superficies que presentan pendientes de  $25^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ , con  $3.417 \text{ km}^2$  que representa el 7.693% de la zona de estudio, predominan laderas con pendientes pronunciadas, la margen izquierda del eje presenta sectores con pendientes mayores, donde se evidencian laderas inestables o potencialmente inestables. En el mapa se representan por su color anaranjado. (Ver fotografía 5)

Fotografía 5

*Zona de pendientes fuertes y muy fuertes, partes altas de la margen izquierda de la presa de Quisco.*





#### 4.2.1.6. *Pendiente muy escarpada ( $> 45^\circ$ )*

Esta unidad agrupa las superficies con inclinaciones superiores a los  $45^\circ$ , abarcando una extensión de 0.128 km<sup>2</sup> el 0.289% del área total. Geomorfológicamente, representan las vertientes más abruptas y los escarpes de las partes altas de la cuenca, definiendo una topografía accidentada de alta energía (Ver fotografía 6). En el mapa se representan por su color rojo.

#### Fotografía 6

*Zona de pendientes muy escarpada, parte alta del fondo de valle de la presa de Quisco.*

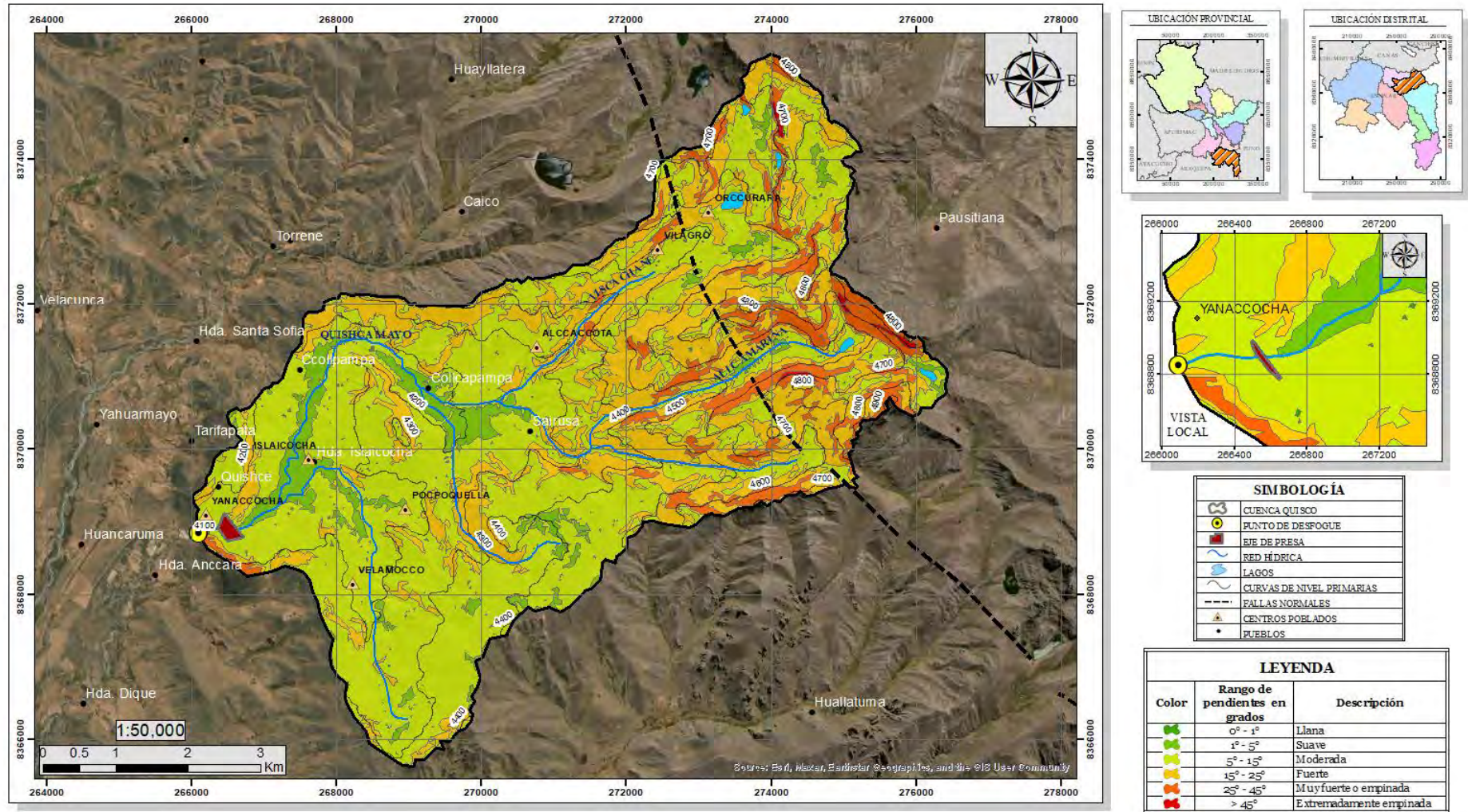









Figura 7

Mapa de pendientes de la presa Quisco



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		TESIS	MAPA DE PENDIENTES						N° LÁMINA: <b>Fig-07</b>	
				SISTEMA DE COORDENADAS		UBICACIÓN		ESCALA: 1/50,000	ELABORADO POR:		
				DATUM	WGS84						
				FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA			"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024"	DEPARTAMENTO	CUSCO		Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO Br. MICHAEL RAMÍREZ POCO
								PROVINCIA	ESPINAR		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			ZONA	19L	DISTRITO	ALTO PICHIGUA	ASESOR:	DRA. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ			



#### 4.2.2. Unidades geomorfológicas locales

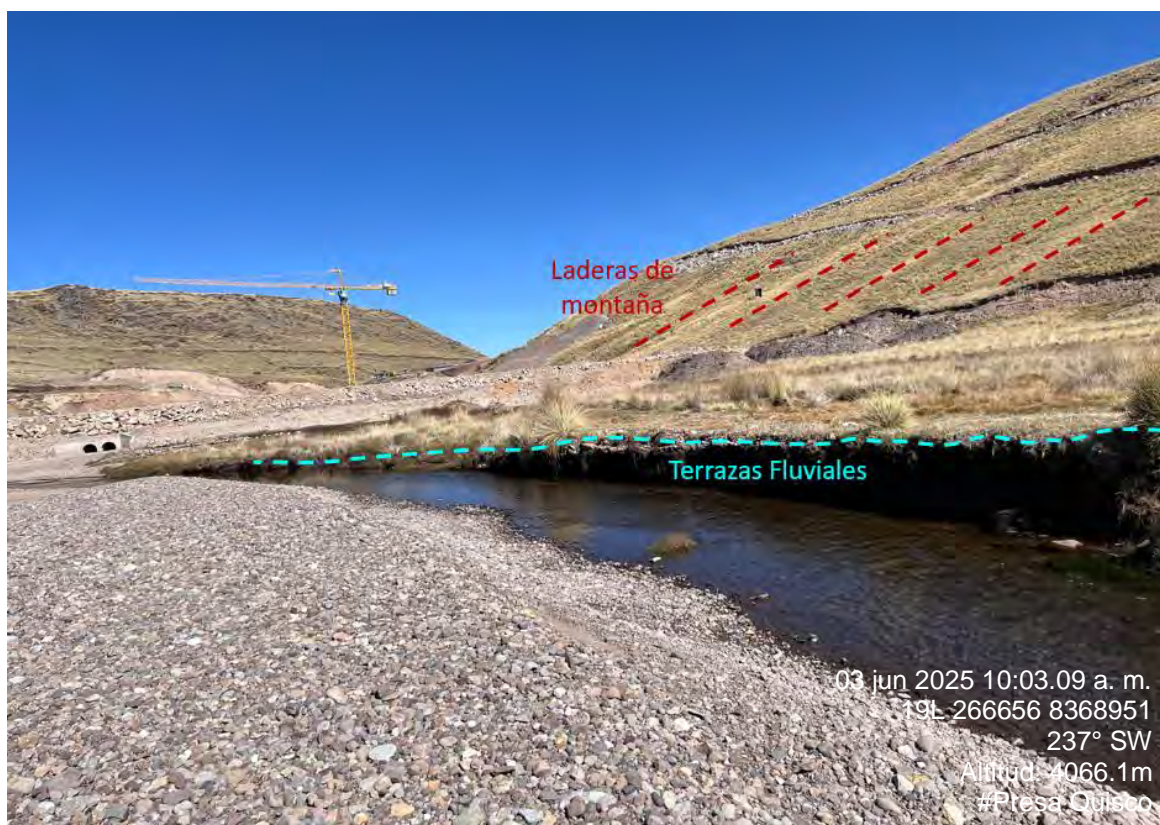
##### 4.2.2.1. Terrazas fluviales (T-fl)

Las terrazas fluviales son geoformas importantes resultado de la erosión y sedimentación fluvial a lo largo del tiempo en el nivel del lecho del río, constituida por una superficie plana y de origen fluvial, se encuentra a lo largo del vaso de la presa de Quisco hasta la zona externa del vaso. (Ver fotografía 7)

Se identificaron dos niveles de terrazas fluviales a lo largo del vaso de la futura represa. La más antigua presenta un espesor promedio de 1.5 m y la más reciente, 0.7 m en el eje del dique, incrementándose aguas arriba. Estas terrazas están compuestas por gravas y arenas, contaminadas con limos orgánicos en la parte superior y óxidos en profundidad, indicando procesos de sedimentación aluviales activos en el pasado reciente.

#### Fotografía 7

*Terrazas fluviales a lo largo del vaso de la presa Quisco*



#### 4.2.2.2. *Laderas de montaña (LM)*

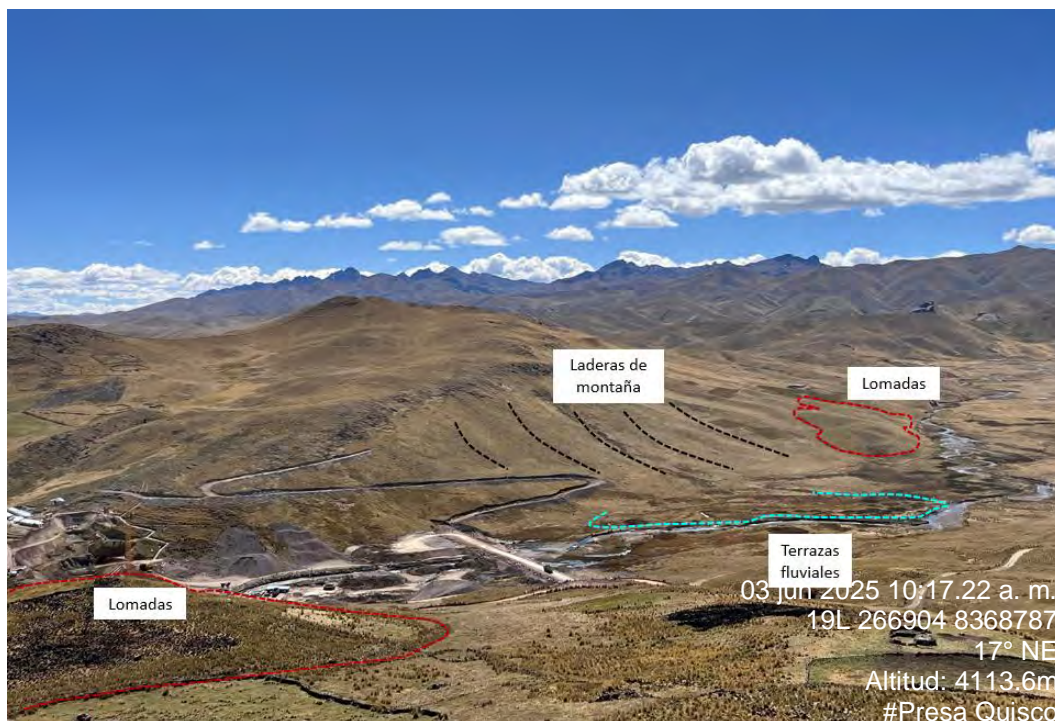
Las laderas de montaña es una superficie de terreno inclinada, útil en la estabilidad del terreno, el comportamiento de los escurrimientos y la dinámica de remoción de masas; los fenómenos de dinámica de las laderas no son frecuentes en la zona de estudio, y ocurren por saturación, pérdida de cohesión y deslizamiento de la matriz fina areno-limo-arcillosa de los depósitos superficiales o por colapso y caída de bloques o porciones de rocas aflorantes, debido, ya sea a la acción de erosión de los ríos o por intemperismo y aumento del grado de fracturación. Esos procesos pueden ser favorecidos por la acción antrópica. (Ver fotografía 7)

#### 4.2.2.3. *Lomadas (Lo)*

Desarrolladas al pie de los cerros, son una forma de relieves bajos, ondulados, los cuales se presentan en forma aislada o en forma continua, a una altitud comprendida entre los 4,000 y 4,200 m.s.n.m. El agente de transporte está dirigido por el escurrimiento de las aguas pluviales, en los periodos de lluvias. (Ver fotografía 8)

Fotografía 8

*Unidades geomorfológicas locales de la presa Quisco.*





#### 4.2.2.4. Deslizamiento antiguo (DSL-a)

Una antigua masa deslizada ha sido reconocida en la zona de la garganta donde se proyecta construir el dique. Esta geoforma muestra una zona proximal con bloques de gran tamaño (0.8 a 2.0 m) y una zona distal con materiales finos y bloques menores (menores a 0.6 m). Aunque este deslizamiento está actualmente estabilizado, su reactivación podría ocurrir si se generan cortes de talud durante la construcción. Asimismo, dos pequeños deslizamientos antiguos ubicados aguas arriba por la margen derecha podrían ser reactivados al llenarse el vaso, generando aporte de sedimentos.

#### 4.2.2.5. Deslizamientos recientes (DSL-r)

Se detectaron deslizamientos activos en la margen derecha (Ver fotografía 10). Son deslizamientos de movimiento extremadamente lento, según la clasificación de Varnes, no afectan directamente la estabilidad de la presa. Estos eventos muestran escarpas y subsidencias internas, lo que indica una evolución progresiva y activa del terreno. (Ver fotografía 9)

Fotografía 9

*Zona de deslizamiento reciente en la margen izquierda de la presa Quisco.*





## Fotografía 10

*Zona de deslizamiento reciente en la margen derecha de la presa Quisco*

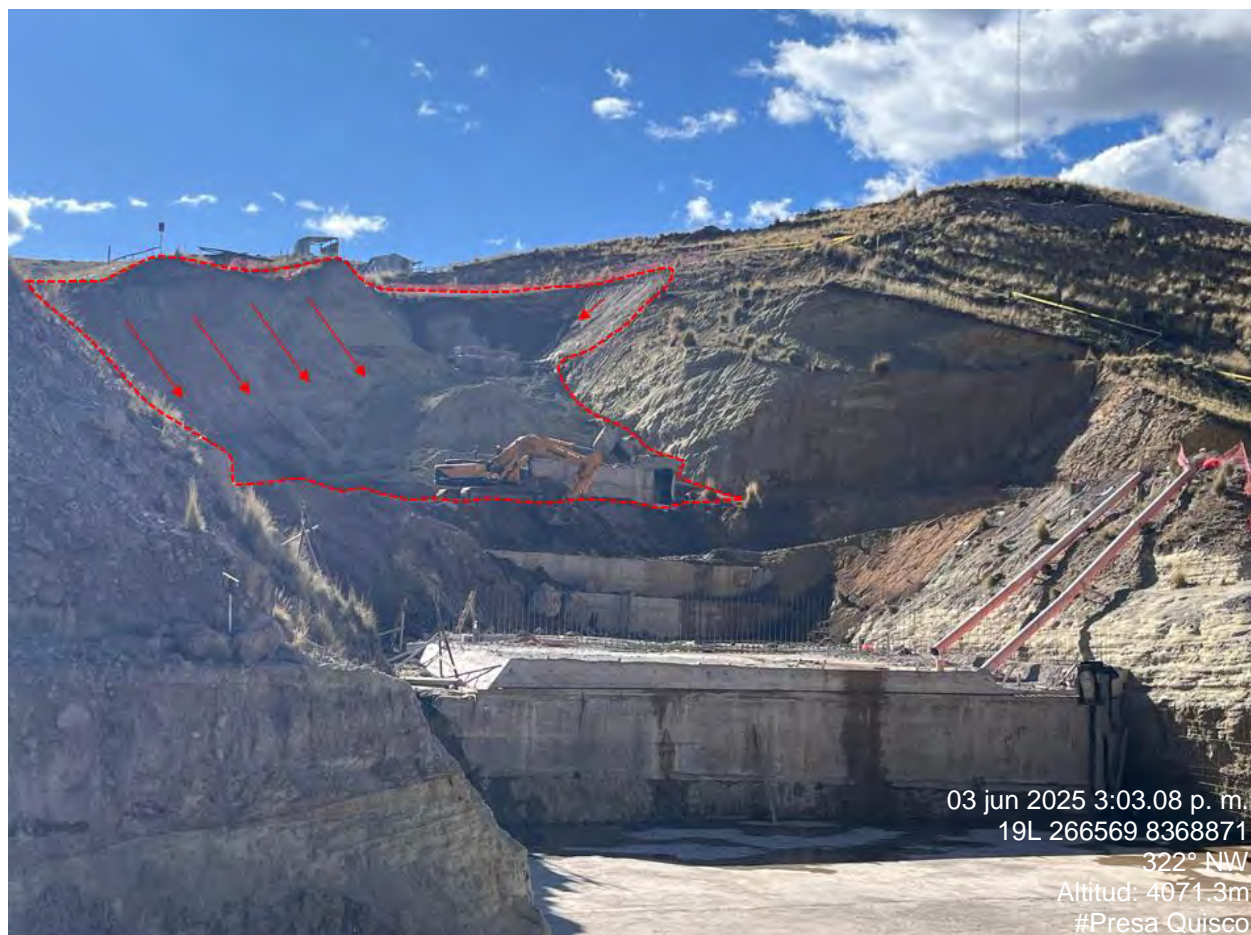
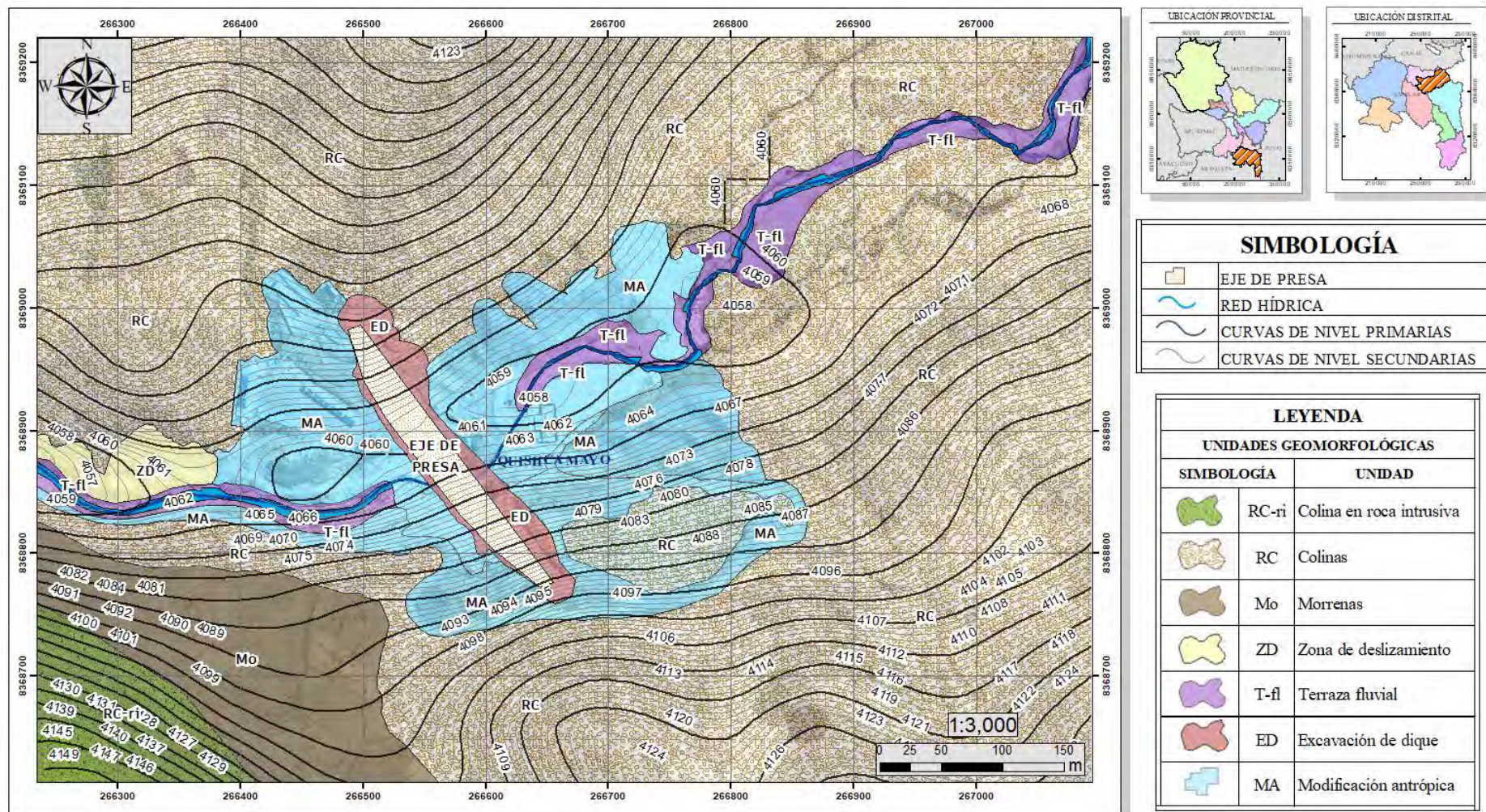








Figura 8

Mapa geomorfológico local



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		TESIS	MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL						N° LÁMINA: <b>Fig-08</b>	
				SISTEMA DE COORDENADAS		UBICACIÓN		ESCALA: 1/3,000		ELABORADO POR:	
				DATUM	WGS84			0 25 50 100 150 m		Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO Br. MICHAEL RAMÍREZ POCO	
				FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA		"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024"		DEPARTAMENTO		CUSCO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		PROVINCIA		ESPINAR							
				DISTRITO		ALTO PICHIGUA					

Fuente: Elaboración propia





## CAPITULO V: GEOLOGÍA

### GENERALIDADES

El área de estudio de acuerdo a De la Cruz, considera unidades litoestratigráficas que va desde los depósitos cuaternarios (Qpl-glf y Qh-al), hasta los afloramientos de rocas del grupo Tacaza y Puno (Paleógeno). (Ver figura 9)

El análisis se ha basado en cartografía geológica, excavación de calicatas, estudios geofísicos y perforaciones diamantinas, lo que ha permitido establecer un modelo geológico estratigráfico y estructural confiable del área del vaso y el dique de la presa.

Para el análisis estratigráfico de la zona de estudio, se utilizó como referencia la columna estratigráfica del Altiplano, donde se reconocen importantes unidades geológicas con relevancia en el contexto estructural y volcánico del sur andino, que presenta la secuencia geológica de la zona, detallando unidades litoestratigráficas (formaciones, grupos, eventos volcánicos) y depósitos cuaternarios, desde las unidades más antiguas en la base hasta las más recientes en la parte superior.

Esta secuencia estratigráfica refleja una evolución geológica compleja, desde eventos volcánicos intensos durante el Neógeno (Tacaza y Barroso), seguidos por condiciones más tranquilas con sedimentación fina (Azángaro), y finalmente un modelado glaciar en épocas recientes (Cuaternario), que sigue siendo evidente en la geomorfología actual del sector de Alto Pichigua, Espinar.



Figura 9

Columna estratigráfica de la provincia de Espinar

ERATENA				UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS				ROCAS INTRUSIVAS					
SISTEMA		SERIE	GEOCRONO METRICA (m.a)										
CENOZOICA	CUATERNARIO	PLEISTOCENA	HOLOCENA	Dep. Aluviales		Qh-al	Gravas de diámetro variable subangulosas a subredondeadas envueltas en una matriz arenolimsa.	Gualacahuja		Qp-sh	Shoshonita		
				Dep. Fluvio-glaciales		Qh-ig	Gravas y arenas en matriz limosa, incluye depósitos coluviales y de terraza.						
				Dep. Morénicos		Qpl-mo	Bloques angulosos a subangulosos de rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas, de diámetro variable en matriz arenolimsa.						
		PLIOCENA	1.0	Fm. Casapampa		Nq-b	(>400 m) Tobas vitroclásticas de composición riolítica, cohesionadas por recristalización durante su enfriamiento. No presenta estratificación definida.						
				Gpo. Barrow		Np-cay	Tobas cristolíticas de composición dacítica a riolítica, con plegamientos alterados por sericitita y arcillas, y biotitas alteradas por óxidos de hierro.						
						Complejo Volcánico Huacatan						Np-hu/an	Coladas de andesitas y brechas.
												Np-hu/pi	Agglomerados brechoides y tobas cristolíticas.
												Np-jp/an	Lavas andesíticas porfíricas de textura granular media, parcialmente fluidales.
					Np-jp/pi	Tobas riolíticas a riolíticas, vulcanitas y tobas retrabajadas.							
				Fm. Ocuropo		Nm-oc	Conglomerados polimícticos que contienen clastos subangulosos a subredondeados de calizas, cuarzos, areniscas, dolitas, englobados en matriz arenosa.						
	MIOCENA	5.3	Maure4		Nm-ma4	(>300 m.) Tobas cristolíticas de composición riolítica a dacítica.							
			Maure3		Nm-ma3	(>400 m.) Limoarcillitas y dolomitas de coloración beige a gris blanquecina con abundante contenido de diatomeas.							
			Maure2		Nm-ma2	(>200 m.) Areniscas y limoarcillitas de coloración marrón rojizo.							
			Maure1		Nm-ma1	(>100 m.) Conglomerados polimícticos y areniscas arcóscas de coloración marrón rojizo.							
			Gpo. Tacaza	23		PN-ta/b	(150 m.) Tobas líticas y tobas cristolíticas de composición riolítica a riolítica, tobas líticas y conglomerados polimícticos.						
	PN-ta/an	Lavas andesíticas a traqueolíticas.											
	PN-ht	(500m) Brechas y aglomerados de naturaleza andesítica.											
PALEÓGENO	PALEOGENA EOCENA Oligocena	Gpo. Puno		P-pt	(300m) Conglomerados polimícticos (clastos subangulosos a subredondeados de calizas, cuarzos, areniscas rojas) en matriz arenosa intercalados con areniscas conglomeradas.								
		Fm. Muñari		P-mu	(400m) Areniscas arcóscas y limoarcillitas marrón rojizas intercaladas con conglomerados polimícticos (clastos subredondeados a subangulosos de calizas, cuarzos, areniscas rojas) en matriz arenosa.								
		Fm. Auzangate		KaP-au	(300 m) Limoarcillitas y dolomitas marrón rojizas intercaladas con areniscas arcóscas.								
		CRETÁCEO	SUPERIOR	98	Fm. Arancay		Kia-ar	(30 m.) Calizas micríticas, bioclásticas y dolomitas intercaladas con calizas margosas y dolomitas.					
					Fm. Huachuani		Ki-hu	(100 m.) Cuarzoarenitas y sublitarenitas gris blanquecinas de grano medio a grueso con algunas intercalaciones de areniscas y limoarcillitas rojas.					

Fuente: De la Cruz B. (1995). Adaptado del Cuadrángulo Yauri 30-T, INGEMMET.

Nota: Se muestra las edades geológicas y las unidades litoestratigraficas



## 5.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La geología de la zona se encuentra dominada por depósitos sedimentarios del Grupo Maure (Mioceno), con presencia puntual de rocas volcánicas de la Formación Ccallocahua (Pleistoceno) y depósitos cuaternarios de variada génesis (fluviales, coluviales, morrénicos, entre otros) (Ver figura 10). La evolución geológica evidencia una alternancia entre fases sedimentarias y volcánicas, en un contexto tectónico activo influenciado por subsidencia y actividad volcánica. (Ver tabla 5)

### 5.1.1. GRUPO MAURE (Nm-ma) Neógeno (Mioceno)

El Grupo Maure representa una unidad estratigráfica de origen principalmente volcánico-sedimentario que ha sido ampliamente reconocida tanto en territorio boliviano como peruano. Su estudio inicial por Kozłowski (1918) bajo el nombre de “Estratos del Río Mauri” y su posterior clasificación como formación por Ahlfeld y Branisa (1960) da cuenta de su importancia regional. En el Perú, el INGEMMET ha adoptado esta clasificación, reconociendo una sucesión de depósitos sedimentarios y piroclásticos que reflejan una historia geológica compleja marcada por vulcanismo activo y sedimentación lacustre.

Litológicamente, el Grupo Maure muestra una gran heterogeneidad, con presencia de:

- Brechas y conglomerados volcánicos: indican una dinámica de alta energía, posiblemente vinculada a flujos de detritos o lahares derivados de actividad volcánica cercana. (Ver fotografía 11)
- Areniscas, tufitas, limolitas y arcillas: evidencian una secuencia de energía decreciente, donde los sedimentos más finos se depositaron en ambientes más tranquilos, como cuencas lacustres.
- Tobas retrabajadas con pómez y lapilli: sugieren actividad volcánica sostenida, con momentos de mayor explosividad que produjeron depósitos gruesos en la parte superior.

El conjunto de estas rocas sugiere que los materiales del Grupo Maure fueron transportados por corrientes fluviales de corto recorrido, alimentadas por erupciones volcánicas, y posteriormente depositados en un ambiente lacustre, posiblemente intermitente y con eventos volcánicos recurrentes.

#### Fotografía 11

*Contacto entre el Grupo Maure y los Depósitos coluvio-aluviales*



#### 5.1.2. FORMACION CALASAYA (NQ-ca) Neógeno (Mioceno-Plioceno)

La Formación Calasaya corresponde a una unidad volcánico-sedimentaria y forma parte de las unidades más recientes que recubren o intercalan los grupos volcánicos más antiguos como el Grupo Maure. (De la Cruz B., 1995)

Está compuesta por ignimbritas, lavas andesíticas, dacíticas y tobas, muchas veces soldadas. En algunos sectores se intercalan con areniscas volcánicas, limolitas y arcillas de origen lacustre o fluvial. Su coloración varía entre gris claro, rosado y marrón claro dependiendo del grado de oxidación y alteración. Es frecuente encontrar estructuras de flujo, texturas porfídicas y zonas altamente fracturadas o meteorizadas en superficie.



En el área de la presa Quisco, la Formación Calasaya puede sobreyacer discordantemente al Grupo Maure, especialmente si la zona conserva parte del relieve original o si existen remanentes de depósitos jóvenes no erosionados.

Su presencia o ausencia dependerá de la topografía previa al depósito y de los procesos erosivos posteriores. No forma parte del basamento, pero puede estar presente como una cobertura superficial en zonas altas o al margen del vaso de la presa.

Si la Formación Calasaya aflora en sectores del vaso o del eje de la presa, puede representar materiales con propiedades mecánicas menos favorables que las unidades del Grupo Maure, especialmente si se encuentran tobas poco consolidadas o ignimbritas alteradas.

### **5.1.3. FORMACION CCALLOCAHUA (Qp-cc-sh) (Pleistoceno superior)**

La Formación Ccallocahua, representa un conjunto de rocas volcánicas efusivas de carácter shoshonítico, es decir, lavas de alta alcalinidad y ricas en potasio, lo que las diferencia notablemente de otras series volcánicas de la región andina.

Está compuesta por lavas de tipo shoshonítico, que corresponden a productos volcánicos de composición intermedia a ácida, similares a las andesitas basálticas, pero con mayor contenido de potasio.

Debido a su alta viscosidad, las erupciones asociadas a esta formación generaron flujos lentos y gruesos, que no se expandieron ampliamente, sino que se concentraron en depresiones y valles, formando depósitos lenticulares.

Se trata de un vulcanismo explosivo y viscoso que ocurrió sobre una superficie accidentada, donde los flujos se encauzaron y rellenaron quebradas, valles colmatados y bajos estructurales. (Gerencia Regional de Planeamiento, 2012)

La forma lenticular de los depósitos sugiere acumulaciones localizadas, sin continuidad estratigráfica amplia, lo que implica que sus afloramientos son discontinuos y topográficamente condicionados.





#### 5.1.4. GRUPO PUNO (P-pu) Paleogeno Oligoceno

El Grupo Puno está representada por una potente secuencia clástica de origen continental, caracterizada por la presencia de niveles volcánicos intercalados. Esta unidad se encuentra en discordancia angular sobre rocas mesozoicas, lo que evidencia un evento tectónico previo a su depósito.

Está compuesto predominantemente por areniscas rojizas, conglomerados polimícticos, limolitas y yeso. Las areniscas son de grano fino a grueso, usualmente arcósicas, con contenido de cuarzo, feldespatos alterados, biotita y plagioclasas.

Los conglomerados contienen clastos subredondeados a angulosos de origen volcánico, cuarcítico y sedimentario, de hasta 30 cm de diámetro, en matriz arenosa.

Aparecen intercalaciones de limo-arcillitas y ocasionales niveles de yeso, lo cual indica momentos de menor energía y condiciones lacustres o de inundación.

La presencia de estratificación paralela y cruzada, así como secuencias de grano creciente o decreciente, sugiere un ambiente fluvial, con depósitos de canales entrelazados (fluvial trenzado).

Aunque el Grupo Puno no siempre aflora directamente en la zona del vaso de la presa Quisco, es fundamental entender su posición estratigráfica y litológica, ya que puede representar el basamento regional sobre el cual se disponen unidades más jóvenes como el Grupo Maure o los depósitos volcánicos de Tacaza y Barroso.

Sus características geomecánicas (areniscas cementadas, conglomerados bien consolidados) podrían representar materiales competentes estructuralmente, en contraste con unidades más recientes de menor cohesión. (Gerencia Regional de Planeamiento, 2012)

#### 5.1.5. GRUPO TACAZA (PN-T) Paleógeno Neógeno

El Grupo Tacaza representa una unidad volcánico-sedimentaria del Paleógeno-Neógeno, caracterizada por el inicio del vulcanismo masivo en el sur del Perú, especialmente en la región del Altiplano y la Cordillera Occidental. Se deposita en discordancia sobre sedimentos





continentales más antiguos como el Grupo Puno, y es a su vez infrayacente al Grupo Barroso y otras unidades volcánicas del Neógeno superior. (De la Cruz B., 1995)

#### 5.1.5.1. *Formación Orcopampa (PN-or) – Mioceno Inferior*

Compuesta por estratos aglomerádicos de composición dacítica, clastos de forma subredondeada a subangulosa, dispuestos en una matriz piroclástica.

Hacia niveles superiores, se observan piroclastos tobáceos y compactos.

La litología dominante indica una actividad volcánica explosiva y violenta, con emisión de materiales líticos y bloques de magma preexistente. Los minerales dominantes son la hornblenda, piroxenos y biotita, con texturas porfiríticas.

Representa depósitos volcánicos de caída y flujo piroclástico, con posible acumulación en ambientes lacustres o depresiones tectónicas. Es indicativo de una fase intermedia del vulcanismo andino, con eventos explosivos intercalados con deposición de sedimentos clásticos.

#### 5.1.5.2. *Formación Ichocollo (PN-ich) – Oligoceno*

Compuesta por flujos lávicos de andesita y andesita-basáltica, de matriz afanítica con fenocristales de plagioclasas sericitadas, biotita y piroxenos, y color gris oscuro, grano fino a medio, textura porfirítica.

El Grupo Tacaza refleja una transición desde ambientes sedimentarios continentales a ambientes volcánicos activos, siendo clave en la evolución tectono-volcánica del sur del Perú.

También se menciona ambiente lagunar, lo cual sugiere que parte de la actividad volcánica se produjo en interacción con cuerpos de agua o durante pausas volcánicas que permitieron la acumulación de sedimentos finos.

Tabla 5

#### *Relaciones estratigráficas regionales*

UNIDAD	RELACIÓN ESTRATIGRAFICA	EDAD GEOLÓGICA
Grupo Barroso	Suprayace al Grupo Tacaza	Neógeno (Mioceno sup.– Cuaternario)
Grupo Tacaza	Formaciones Orcopampa e Ichocollo	Oligoceno – Mioceno inf.
Grupo Puno	Subyace discordantemente	Eoceno – Oligoceno



Formación Muni / Arcurquina	Base más antigua (carbonatada o marino- continental)	Cretácico – Paleoceno
-----------------------------------	---	-----------------------

*Fuente: Elaboración propia*

Aunque no necesariamente aflora directamente en el vaso o el eje de la presa de Quisco, el Grupo Tacaza es clave como base regional del volcanismo.

La presencia de aglomerados y lavas densas sugiere rocas de alta resistencia mecánica, pero con posible fracturamiento o heterogeneidad estructural que puede influir en el flujo subterráneo o estabilidad si estuvieran expuestas.

Además, puede tener influencia en la hidrogeología local al constituir acuíferos fisurados o niveles confinantes.

#### 5.1.6. DEPOSITOS COLUVIO ALUVIALES (Q-coal)

Los depósitos coluvio-aluviales del área de la presa Quisco representan sedimentos cuaternarios recientes, formados por la acción combinada de procesos de transporte gravitacional (coluviales) y procesos fluviales o de escorrentía (aluviales). Constituyen una cobertura inestable, heterogénea y poco consolidada que recubre afloramientos de substrato rocoso, principalmente del Grupo Maure y de las shoshonitas subvolcánicas del Pleistoceno-Plioceno. (De la Cruz B., 1995)

Está compuesta por gravas, arenas y limos con arcillas, de matriz mixta, de baja a media plasticidad. Clastos mal clasificados, de tamaños variables, con presencia ocasional de bolones y bloques (>2 m). Predominan fragmentos de rocas volcánicas y sedimentarias, derivados de la erosión de unidades cercanas (Maure, shoshonitas).

Esta composición refleja una mezcla de sedimentos transportados por gravedad (deslizamientos, reptación, caída de rocas) y procesos aluviales secundarios (escorrentía, flujos concentrados).

Se distribuyen de forma heterogénea en el área, sobre todo: en zonas adyacentes a deslizamientos, en la margen izquierda del valle donde se ubicará el eje de la presa, cubriendo



áreas donde el substrato rocoso aflora parcialmente, sirviendo como una delgada capa superficial de alteración o acumulación, la acumulación principal en laderas o pie de ladera indica que se trata de depósitos coluvio-aluviales compuestos, es decir, material removido de laderas por procesos gravitacionales y luego retrabajado o redistribuido por agua superficial.

Los depósitos coluvio-aluviales del área de la presa de Quisco representan materiales de cobertura inestable y heterogénea, generados por la interacción de procesos de ladera y agua superficial. Su presencia en zonas cercanas a deslizamientos activos o antiguos los convierte en un elemento clave a considerar en la estabilidad del proyecto, tanto para la fase de diseño estructural, como para la planificación de obras de mitigación y drenaje. (Ver fotografía 11)

#### 5.1.7. DEPOSITOS CUATERNARIOS (Q)

Los depósitos de cobertura cuaternaria identificados en la zona de la presa Quisco son el producto de procesos sedimentarios recientes, dentro del contexto estratigráfico local, superponiéndose a las unidades geológicas más antiguas como el Grupo Maure, las rocas volcánicas shoshoníticas y los depósitos coluvio-aluviales, desarrollados en ambientes húmedos y topografía suave. Su composición rica en limos, arcillas y materia orgánica los convierte en materiales poco competentes desde el punto de vista geotécnico, especialmente en condiciones saturadas. Por ello, su presencia debe ser cuidadosamente considerada en el diseño y ejecución de las obras hidráulicas, sobre todo en las zonas de deslizamiento activo y pie de talud, donde pueden comprometer la estabilidad del terreno y las estructuras proyectadas.

Se localizan en las partes altas de la margen izquierda, donde se acumulan por escasa pendiente y escurrimiento lento, planicies aluviales donde el agua discurre en forma difusa, favoreciendo la deposición de finos y materia vegetal. Zonas de deslizamientos y pie de taludes, donde actúan como sedimentos de relleno húmedos, posiblemente retrabajados.

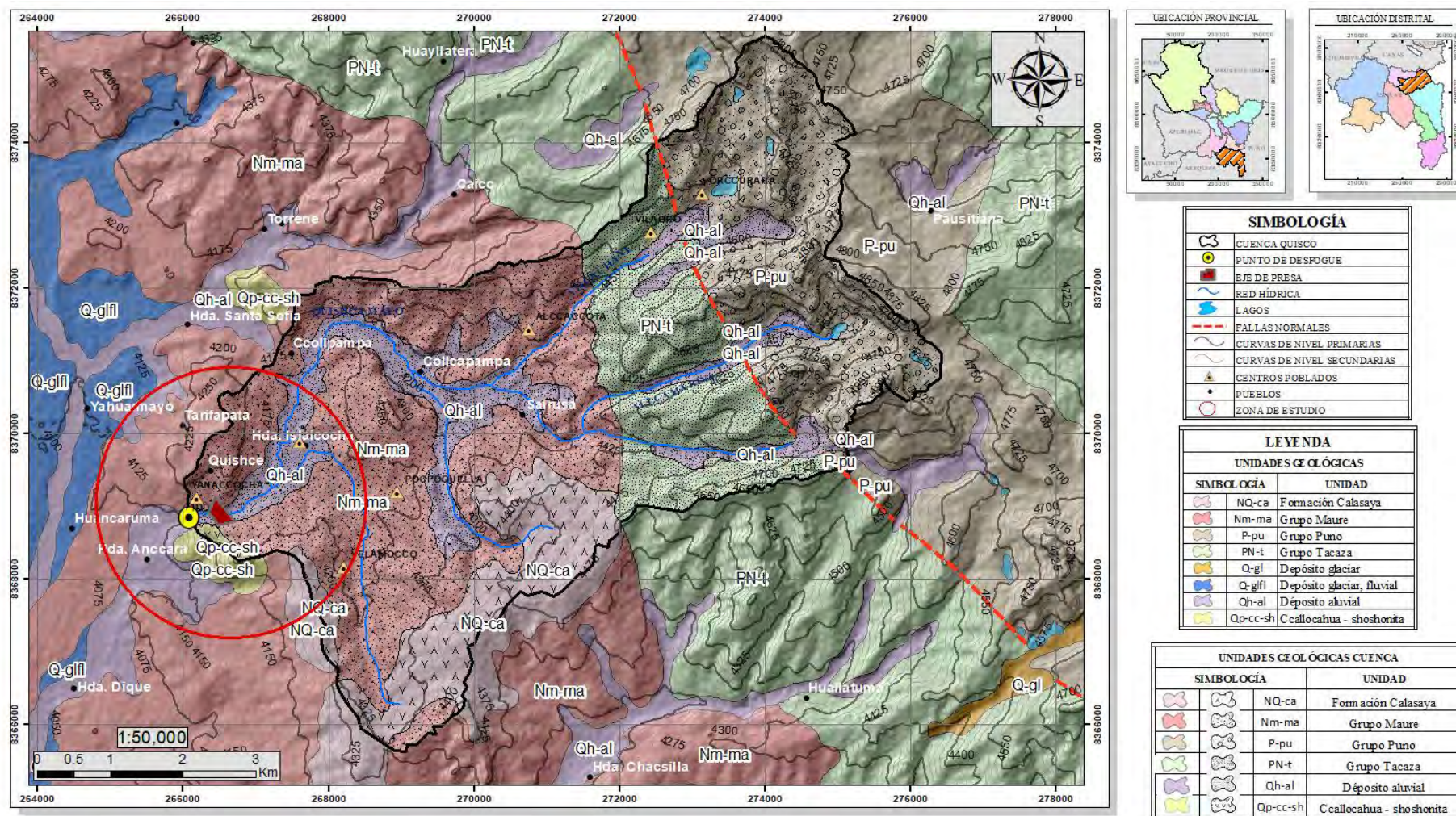
Su presencia en zonas afectadas por deslizamientos indica que pueden formar parte del material retransportado o acumulado tras eventos de inestabilidad de ladera. (De la Cruz B., 1995)








Figura 10

Mapa geológico regional



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO</b> 	<b>TESIS</b>	<b>MAPA GEOLÓGICO REGIONAL</b>				<b>Fig-10</b>			
		<b>"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024"</b>		<b>SISTEMA DE COORDENADAS</b>		<b>UBICACIÓN</b>		<b>ESCALA: 1/50,000</b>	<b>ELABORADO POR:</b>
				DATUM	WGS84	DEPARTAMENTO	CUSCO		Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO Br. MICHAEL RAMÍREZ POCO
				ZONA	19L	PROVINCIA	ESPINAR		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>				DI STRITO	ALTO PICHIGUA	ASESOR:	DRA. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ		

Fuente: Elaboración propia basada en la información extraída del GEOCATMIN, INGEMMET (2025)



## 5.2. GEOLOGÍA LOCAL

La geología En la zona de emplazamiento de la presa y su entorno inmediato predominan rocas sedimentarias, principalmente: areniscas, de grano medio a fino, localmente tobáceas; limolitas y lutitas, intercaladas; y en algunos sectores, niveles volcánico-sedimentarios.

Estas litologías presentan variabilidad en grado de cementación, resistencia y fracturamiento, aspectos relevantes para la evaluación de las condiciones de cimentación (Ver figura 12)

### 5.2.1. GRUPO MAURE (Nm-ma)

El Grupo Maure en la zona del proyecto constituye el basamento geológico fundamental sobre el cual se apoya la infraestructura de la presa de Quisco.

Su composición predominantemente volcánica-sedimentaria le otorga características mecánicas e hidrogeológicas variables, que deben ser cuidadosamente caracterizadas para un diseño seguro. (Ver figura 11)

La presencia de sedimentos lacustres indica que el terreno pudo haber estado expuesto a ciclos de sedimentación fina y posibles acumulaciones de agua, mientras que los componentes piroclásticos sugieren actividad volcánica persistente que influye en la calidad de los materiales.

En la zona de la presa de Quisco, el Grupo Maure se encuentra subdividido en cuatro unidades, pero solo las dos inferiores afloran actualmente, debido a procesos de erosión que han eliminado las unidades superiores. Esta estratigrafía local es de suma importancia para los aspectos geotécnicos e hidrogeológicos del proyecto de la presa.

#### 5.2.1.1. Unidad Maure 1: (**Nm-ma1**)

Compuesta por conglomerados polimícticos tobas volcánicas y areniscas arcósicas, de color gris a marrón rojizo.





Estas rocas en proceso de litificación proveen soporte estructural, con características de medio grado de meteorización, y forman parte del basamento de la presa de Quisco, por lo que tienen relevancia para el diseño estructural del cimiento de la presa. (Ver fotografía 12)

#### 5.2.1.2. *Unidad Maure 2: (Nm-ma2)*

Está compuesta por arenitas y limo-arcillitas, también de color marrón rojizo.

Aflora en superficie, principalmente aguas arriba del eje de la presa, por lo que debe ser considerada en el comportamiento hidráulico del vaso, ya que sus características de permeabilidad moderada a baja pueden influir en la infiltración y almacenamiento del agua.

#### 5.2.1.3. *Unidad Maure 3: (Nm-ma3)*

Conformada por limo-arcillitas y dolomitas con presencia de diatomitas (material silíceo altamente poroso).

Su ausencia en el área de Quisco, por erosión, indica que el perfil estratigráfico ha sido truncado. No obstante, en otras zonas donde está presente, esta unidad podría actuar como acuífero local o zona de acumulación por su alta porosidad.

#### 5.2.1.4. *Unidad Maure 4: (Nm-ma4)*

Formada por tobas cristalolíticas riolíticas o dacíticas, de origen volcánico explosivo.

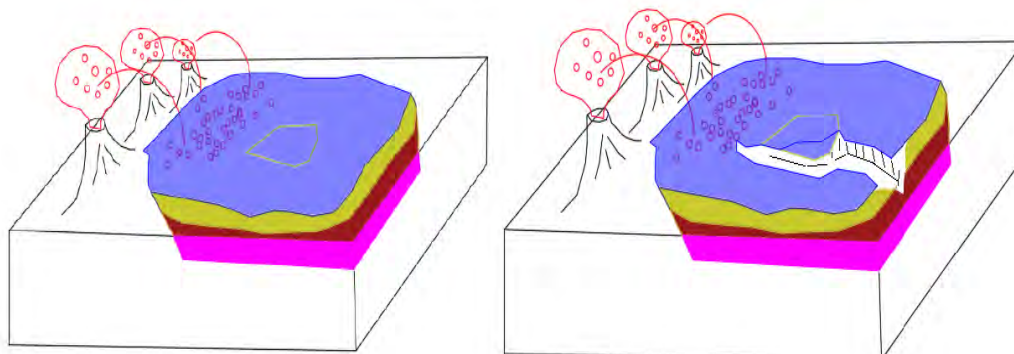
También está ausente en el área del proyecto, pero su presencia en otras áreas indica una etapa volcánica tardía y puede representar un nivel de sellado o confinamiento para acuíferos subyacentes, dependiendo de su grado de compactación y fracturamiento.

Para un entendimiento simple se hace un esquema hipotético de cómo se formó el grupo Maure a partir de efusiones volcánicas sobre una laguna.



Figura 11

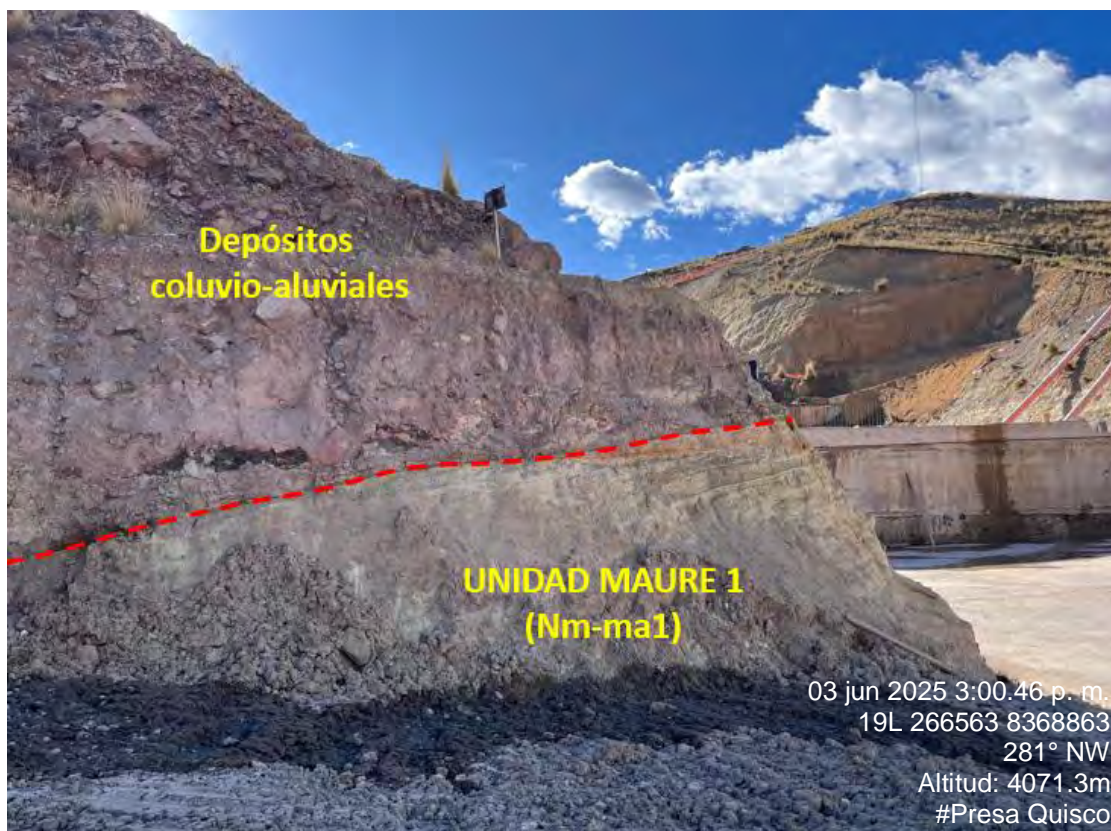
*Diagrama hipotético de la formación del Grupo Maure*



*Fuente: Elaboración propia*

Fotografía 12

*Unidad 1 del Grupo Maure y los depósitos coluvio-aluviales, se observa parte del basamento de la presa Quisco.*





### 5.2.2. FORMACION CCALLOCAHUA (**Qp-cc-sh**)

La Formación Ccallocahua representa una etapa volcánica tardía en el área de Quisco, asociada a eventos efusivos y explosivos localizados, que se superponen a terrenos más antiguos como Maure y Calasaya. (Ver fotografía 13)

Su reducida distribución y morfología lenticular indican que no forma parte fundamental del basamento estructural de la presa, pero sí podría representar material de cobertura o formar parte de la topografía adyacente al vaso o al canal del río.

Conformada por lavas shoshoníticas y depósitos piroclásticos.

Desde un punto de vista geotécnico e hidráulico, estas rocas podrían tener:

- Alta resistencia mecánica, si están poco fracturadas.
- Permeabilidad muy baja, en caso de lavas masivas.
- Riesgo de inestabilidad local, si presentan alteración hidrotermal o fracturamiento intenso.
- En el entorno de la presa Quisco, la Formación Ccallocahua aflora en pequeñas áreas: En la zona alta del valle, posiblemente en laderas elevadas.
- Aguas abajo, en la margen izquierda del río, donde podrían haber rellenado antiguos cauces o depresiones.



Fotografía 13

*Shoshonitas que afloran en el área de estudio de la presa de Quisco.*



Tabla 6

*Relación entre las Formaciones Ccallochua, Maure y Calasaya.*

FORMACIÓN	POSICIÓN ESTRATIGRAFICA	NATURALEZA	PRESENCIA EN LA ZONA DE QUISCO
Ccallochua (Qp-cc-sh)	Más reciente	Lavas shoshoníticas y depósitos piroclásticos	Parcial – zona alta del valle y margen izquierda
Calasaya (NQ-ca)	Intermedia	Ignimbritas y lavas dacíticas/andesíticas	Parcial o ausente localmente
Maure (T-mr)	Más antigua	Conglomerados, areniscas, tobas, limolitas	Base geológica de la presa

*Fuente: Elaboración propia*



### 5.2.3. DEPOSITOS GLACIARES (Q-gl)

Los depósitos glaciares tipo morrena observados en el área de emplazamiento de la presa Quisco constituyen evidencias de la última glaciación cuaternaria que afectó la región altoandina del sur del Perú. Estos depósitos representan los remanentes de antiguos glaciares de valle, formados por procesos de transporte y sedimentación glaciar.

Se trata de depósitos heterogéneos en composición y textura, típicos de ambientes glaciares:

- Bloques y bolones de gran tamaño, mal clasificados.
- Gravas, arenas, limos y arcillas dispuestos sin estratificación definida.
- La matriz suele ser limo-arenosa, con bajo grado de compactación.
- La coloración rosada general indica una posible influencia de material volcánico alterado o presencia de feldespatos oxidados.

En la margen izquierda, las morrenas afloran en la parte superior del relieve, alineadas de forma paralela al cerro Ankara, lo cual sugiere que corresponden a morrenas laterales asociadas al límite del antiguo glaciar. (Ver fotografía 14)

En la margen derecha, también se encuentran relictos de morrenas laterales, especialmente aguas abajo del eje del dique, lo que indica un avance glacial más antiguo y una posible asimetría del valle glaciar.

Son el producto de la deposición directa del hielo, sin acción fluvial intermedia, lo que explica su falta de selección granulométrica y estructura caótica.

Desde el punto de vista geotécnico, estos depósitos glaciares presentan características críticas para la estabilidad de obras de infraestructura:

Alta heterogeneidad y baja compacidad, lo que puede representar zonas de debilidad estructural si no se retiran o tratan adecuadamente.

Posibilidad de permeabilidad variable, con zonas que permiten filtraciones rápidas y otras que las retienen.



## Fotografía 14

*Vista de los depósitos morrenicos en la margen izquierda de la presa de Quisco*



## 5.2.4. DEPOSITOS FLUVIALES (Qh-fl)

Los depósitos fluviales presentes en el entorno del río Quisco representan sedimentos cuaternarios recientes, originados por la dinámica natural de los cursos de agua en un sistema montañoso de alta energía. Estos depósitos se localizan principalmente en los cauces actuales y en antiguas terrazas fluviales (Ver fotografía 15). Las terrazas fluviales identificadas son indicadores de procesos fluviales antiguos y recientes, y deben ser cuidadosamente evaluadas en el diseño de ingeniería del embalse y las obras conexas.

Están compuestos por una mezcla mal clasificada de:

- Gravas y arenas (de origen aluvial, transportadas por corriente).

- Limos (fases de baja energía en el sistema fluvial).
- Los espesores son variables, y en algunos casos llegan hasta 8 metros, lo cual indica una dinámica fluvial activa o una historia prolongada de sedimentación.
- La estructura es típicamente estratificada en capas horizontales o entrecruzadas, aunque puede verse perturbada por eventos secundarios como deslizamientos.

Deben ser caracterizados mediante ensayos de permeabilidad y granulometría, y si es necesario, removidos o sellados durante la construcción del dique.

#### Fotografía 15

*Vista de la terraza y los depósitos fluviales en el lecho del río Quisco*



#### 5.2.5. DEPOSITOS DE DESLIZAMIENTO (Q-dI)

Los depósitos de deslizamiento reciente observados en la margen derecha del río Ankara, representan manifestaciones activas o semiactivas de procesos de remoción en masa ocurridos en tiempos geológicamente recientes, probablemente asociados a condiciones de saturación, sobrecarga o debilidad litológica en los materiales superficiales. título

Su ubicación en la margen derecha y fuera del área directa del dique, los excluye de influir estructuralmente sobre la presa, pero no los descarta como factor de riesgo secundario.





Estos movimientos son comunes en zonas donde la pendiente es pronunciada, el substrato es alterado o fracturado, y hay presencia de materiales coluvio-aluviales o cobertura orgánica saturada.

Constituidos principalmente por materiales sueltos, tales como: Gravas, arenas y limos re TRABAJADOS, fragmentos de roca volcánica y bloques caídos, posible presencia de suelo orgánico o turba en sectores húmedos.

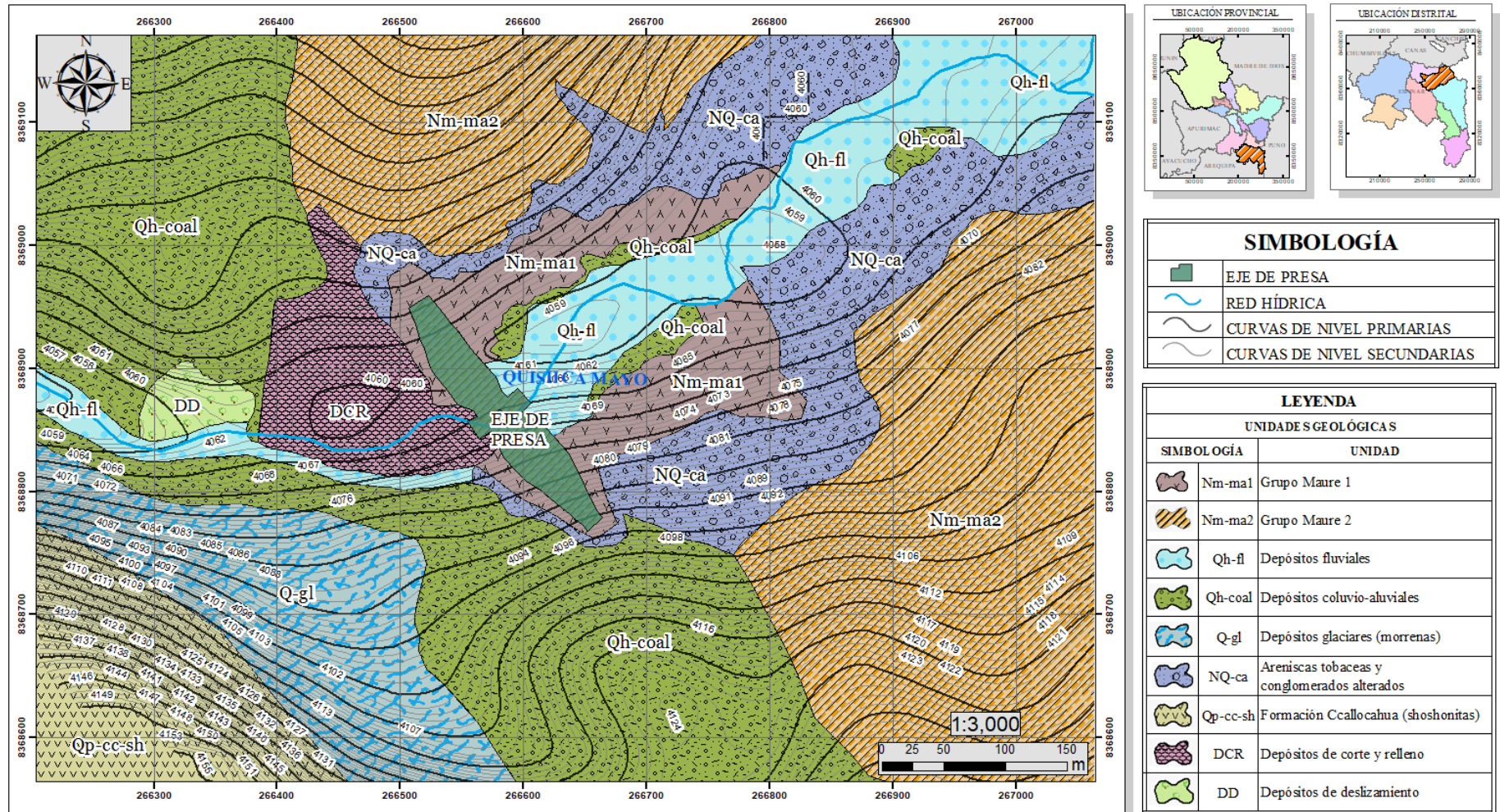
No presentan una gran profundidad o volumen, por lo que se clasifican como deslizamientos superficiales (tipo flujo o reptación), pero con riesgo potencial acumulativo si no se tratan.




Aunque no afectan directamente al eje del dique, estos deslizamientos sí pueden contribuir negativamente al balance sedimentológico del vaso, por lo que se recomienda su tratamiento y estabilización preventiva antes de la entrada en operación del proyecto.



Figura 12

Mapa geológico local



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO		TESIS	MAPA GEOLÓGICO LOCAL					Nº LÁMINA: <b>Fig-12</b>
				SISTEMA DE COORDENADAS		UBICACIÓN		ESCALA: 1/3,000	ELABORADO POR: Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO Br. MICHAEL RAMÍREZ POCO
				DATUM	WGS84				
				ZONA	19L				
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024"				DEPARTAMENTO		CUSCO			
				PROVINCIA		ESPINAR			
				DISTRITO		ALTO PICHIGUA			
				ASESOR:		DRA. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ			

Fuente: Elaboración propia



## CAPITULO VI: HIDROLOGÍA

En todo proyecto la fuente de agua conlleva a un aprovechamiento hídrico el cual es de mucha importancia, este nos permite conocer las fuentes de agua superficial, así como los parámetros hidrológicos y climatológicos: precipitación, temperatura, evapotranspiración, humedad, etc. La cuenca del río Quishca Mayo abarca una superficie total de 44.84 km<sup>2</sup>, configurándose como una unidad hidrológica de montaña con un marcado desnivel. El sistema lótico se origina en la divisoria de aguas conformada por los macizos Chanllerani, Pichagua, Marillani, Quilca y Justo Punta, situándose su nacimiento a una cota de 4,902 msnm. Con un recorrido principal de 12.512 km, el cauce desciende hasta los 4,030 msnm, que actúa como nodo de control para el análisis de caudales y el diseño de la estructura.

### 6.1. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

Conforme a la demarcación de las unidades hidrográficas del Perú (ver tablas 7 y 8), el área del proyecto se circunscribe dentro de la Región Hidrográfica del Amazonas. Específicamente, el sector de estudio se integra en la cuenca alta del río Apurímac, bajo la codificación y jerarquía establecida por el sistema Pfafstetter, lo que define el marco normativo y de gestión de recursos hídricos aplicable al rediseño de la presa.

Tabla 7

*División hidrográfica de los Niveles 5 y 6*

CUENCAS NIVEL 5	CUENCAS / INTERCUENCAS NIVEL 6	CODIGO	ÁREA (km <sup>2</sup> )
VILCANOTA	ALTA RIO VILCANOTA	499499	1742.0
	RIO SALCCA	499498	2329.2
	SALCCA - YANATILE	499497	1720.9
	TOTAL		5792.1
ALTA DEL RIO APURIMAC	RIO ALTO APURIMAC	499999	1942.3
	RIO SAÑU	499998	610.5
	SAÑU - QQUERO	499997	308.3
	RIO QQUERO	499996	938.9
	QQUERO - SALADO	499995	18.2
	RIO SALADO	499994	2414.8
	SALADO - LIVITACA	499993	1907.7



RIO LIVITACA	499992	767.1
BAJA RIO APURIMAC	499991	684.2
TOTAL		9592.0

*Fuente: Proyecto “Mapa hidrográfico e Inventario de Fuentes de Agua Superficial” (MAHIFAS 2005)*

Tabla 8

*Ubicación del punto de interés*

Fuente de Agua		Ubicación del punto de captación						
		Política		Unidad Hidrográfica			Geográfica WGS84 Zona 19 Sur	
Tipo	Nombre	Región	Provincia	Distrito	Cuenca	Código	Este (m)	Norte (m)
Río	Quishca Mayo	Cusco	Espinar	Alto Pichihua	Alto Apurímac	49999	266574	8368886

*Fuente: Elaboración propia*

## 6.2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DE ESTUDIO

El entorno de la presa Quisco constituye un escenario complejo donde convergen intervenciones antrópicas y agentes naturales exógenos, tales como la precipitación pluvial y la acción eólica. El análisis de los parámetros geomorfométricos de la cuenca (Ver figura 13) revela la respuesta de un sistema dinámico en constante evolución, donde la morfología del terreno regula el transporte de sedimentos y el comportamiento de las escorrentías, factores determinantes para la estabilidad del vaso y la vida útil de la infraestructura.

Las características de cada cuenca son descritas en; (1) parámetros de forma, (2) parámetros de relieve, (3) parámetros de la red hidrográfica de la cuenca de Quisco.



Figura 13

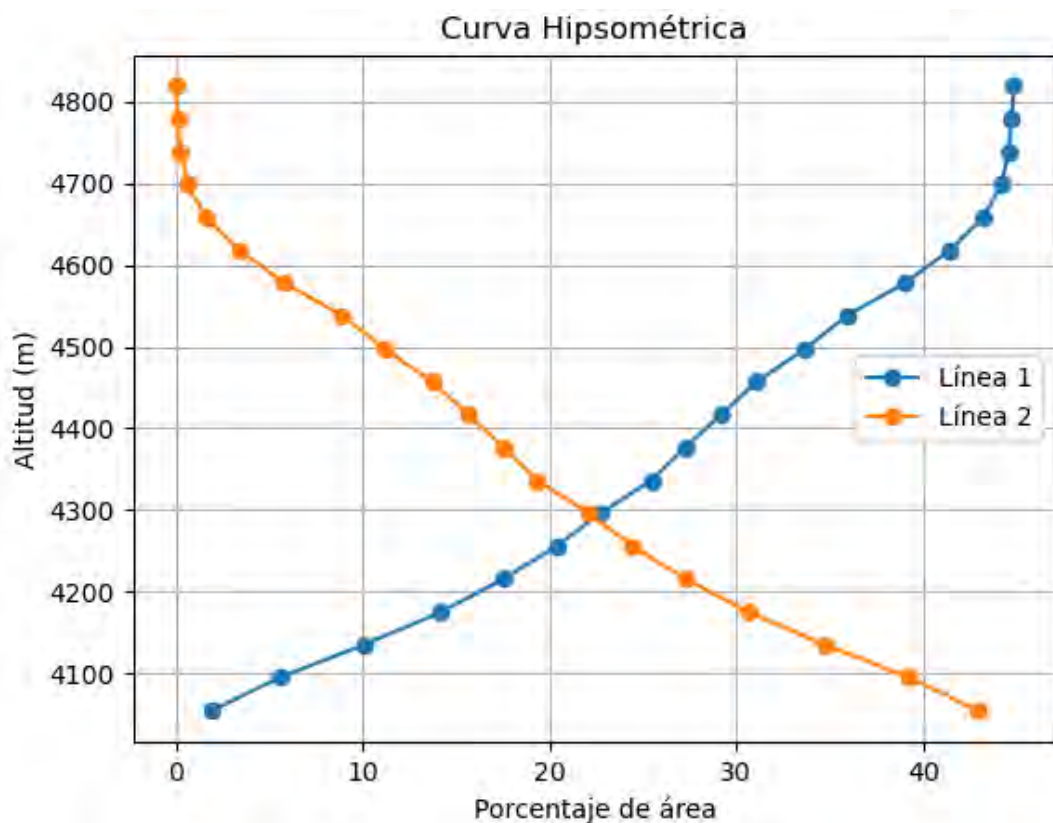
Cuadro de parámetros geomorfológicos de la cuenca Quisco

PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA QUISCO							
PARAMETROS					UNIDAD	CUENCA QUISCO	
AREA DE LA CUENCA					km <sup>2</sup>	44.84	
PERÍMETRO					km	34.33	
PARAMETROS DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de compacidad			1	1.45	
		FACTOR DE FORMA	Longitud (// al curso mas largo)			km	6.12
			Ancho de la cuenca			km	7.32
			Radio de circularidad			1	0.48
			Factor forma			1	1.20
	RECTÁNGULO EQUIVALENTE			Lado mayor		km	29.11
				Lado menor		km	1.54
	Longitud total de los ríos de diferentes grados			Orden 1		km	12.91
				Orden 2		km	8.44
				Orden 3		km	-
				Orden 4		km	-
				Orden 5		km	-
	PARAMETROS DE RELIEVE	Curva hipsométrica				-	-
Polígono de frecuencia				-	-		
Altitud máxima de la cuenca				m.s.n.m	4859.00		
Altitud mínima de la cuenca				m.s.n.m	4054.00		
Desnivel total de la cuenca				km			
Altitud de frecuencia media				m.s.n.m	4361.29		
Altitud media de la cuenca				m.s.n.m	4456.06		
Altitud máxima del cauce				m.s.n.m	4150.00		
Altura mas frecuente				m.s.n.m	4155.12		
Pendiente de la cuenca (Sist. del rectángulo equivalente)				%	21.93		
PARAMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA	Tipo de corriente				-	perenne	
	Densidad de drenaje				km/km <sup>2</sup>	0.36	
	Pendiente media del río principal				m/m	0.02	
	Altitud mínima del cauce				m.s.n.m	4054.00	
	Tiempo de concentración				hr.	1.32	

Fuente: Elaboración propia

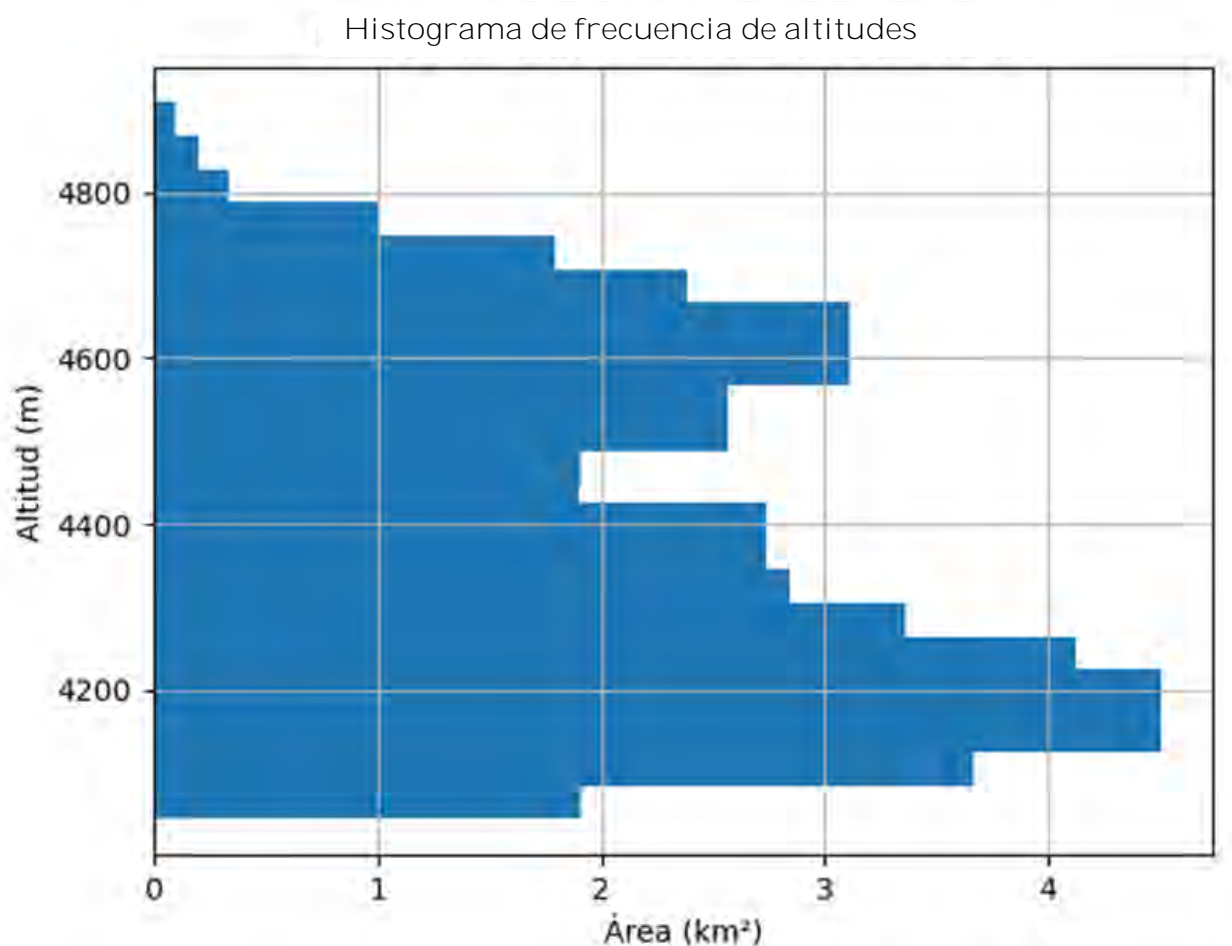


Figura 14

*Cuadro de Curva Hipsométrica - Cuenca Quisco**Fuente: Elaboración propia*

La curva hipsométrica (ver figura 14) y el histograma de frecuencias de altitudes (ver figura 15) muestran que la cuenca de aporte de la presa de Quisco presenta un rango altitudinal aproximado entre 4 050 y 4 820 m s.n.m., con predominio de áreas situadas en altitudes medias. Esta distribución altimétrica indica una cuenca con relieve moderadamente disectado, lo que condiciona la generación de escorrentía superficial y el tiempo de concentración, influyendo directamente en la respuesta hidrológica de la cuenca. En consecuencia, estas características deben ser consideradas en el análisis hidrológico para el rediseño seguro y eficiente de la presa de Quisco.

Figura 15

*Histograma de frecuencia de altitudes - cuenca Quisco**Fuente: Elaboración propia*

### 6.3. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA E HIDROMÉTRICA

Ante la ausencia de instrumentación meteorológica in situ dentro de la cuenca de la presa de Quisco, se procedió a una regionalización de datos empleando estaciones periféricas. La selección de estas estaciones se fundamentó en su proximidad geográfica y en la similitud de su comportamiento climático, asegurando la representatividad de los registros. El inventario de las estaciones de referencia utilizadas para la caracterización hidroclimatológica que se detallan a continuación (Ver tabla 9):



Tabla 9

*Estaciones meteorológicas utilizadas*

REGISTRO DE ESTACIONES METEOROLOGICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO								
N°	ESTACIONES	PROPIEDAD	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		ALTITUD msnm	UBICACIÓN POLITICA		
			LATITUD	LONGITUD		Departamento	Provincia	Distrito
1	Granja Kayra	SENAMHI	13°33'24.29" S	71°52'30.61" W	3214	Cusco	Cusco	San Jerónimo
2	Cay cay	SENAMHI	13°35'59.96" S	71°41'44.91" W	3117	Cusco	Paucartambo	Cay cay
3	Ccatcca	SENAMHI	13°36'35.6" S	71°33'36.4" W	3681	Cusco	Quispicanchi	Ccatca
4	Pomacanchi	SENAMHI	14°1'40.08" S	71°34'21.36" W	3690	Cusco	Acomayo	Pomacanchi
5	Paruro	SENAMHI	13°46'1.1" S	71°50'40.9" W	3070	Cusco	Paruro	Paruro
6	Pisac	SENAMHI	13°25'10.2" S	71°51'3.1" W	2990	Cusco	Calca	Pisac

*Fuente: Elaboración propia*

### 6.3.1. Análisis de datos de precipitación

El método tradicional para analizar datos de precipitación comprende la elaboración de tablas con valores promedio mensuales y anuales de lluvia, así como la creación de histogramas, curvas de masa duales y la aplicación de pruebas estadísticas para identificar y, en caso necesario, cuantificar inconsistencias, saltos o tendencias en los datos. Sin embargo, este procedimiento resulta ser bastante laborioso. Por esta razón, en el estudio se optó por emplear un método no convencional denominado método vector regional (MVR). Este método se basa en la construcción de una estación ficticia representativa de toda la zona del proyecto, utilizando la información disponible. Posteriormente, se calcula el promedio para cada estación, generando una serie de promedios anuales que se conoce como "vector regional", ya que considera datos correspondientes a una región climáticamente homogénea.

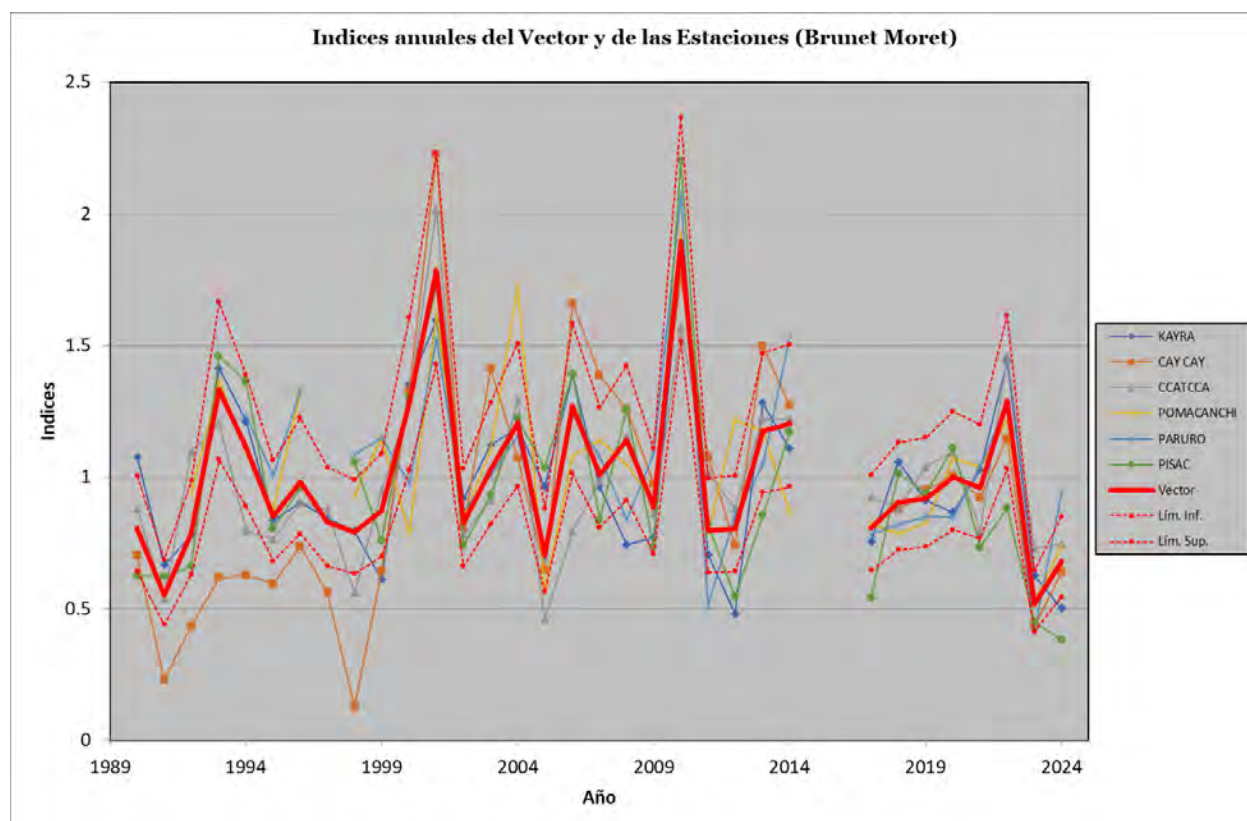
Un área se considera homogénea cuando los coeficientes de correlación entre las estaciones anuales se sitúan aproximadamente en 0.65, lo cual se atribuye a la baja densidad de la red de estaciones. Una vez que se obtiene un vector de alta calidad, es factible calcular valores extendidos de la precipitación media anual.

Para facilitar el análisis, crítica y completación de datos hidrométricos mediante este método, se utilizó el programa Hydraccess, que permite realizar estos procesos de manera eficiente y sistemática, optimizando el manejo de las series temporales y mejorando la calidad de la información obtenida.

Se tiene la representación gráfica de los índices del vector correspondiente a la serie de precipitaciones histórica de cada uno de las estaciones (Ver figura 16 y 17).

Figura 16

*Índices anuales del vector y de las estaciones por el Método Brunet Moret*

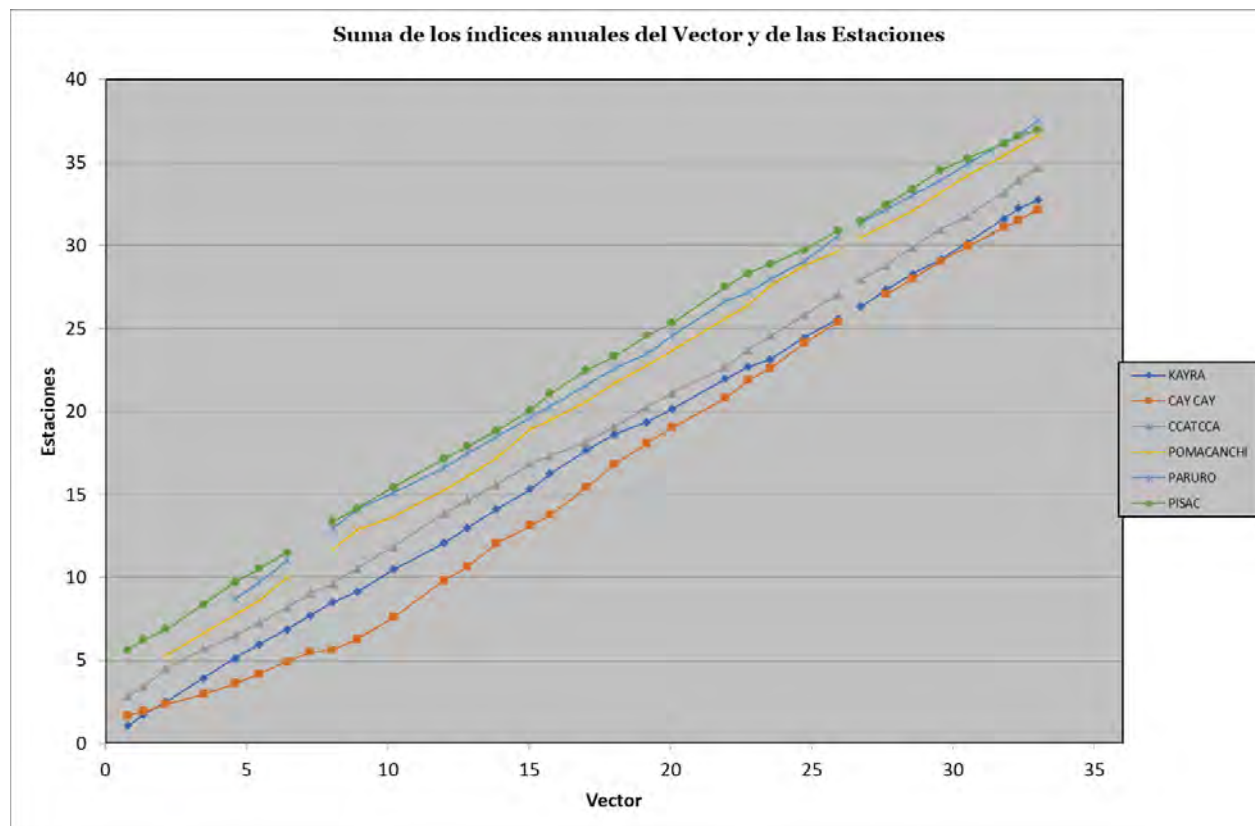


*Fuente: Elaboración propia*



Figura 17

*Suma de los índices anuales del vector y de las estaciones*



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 10

*Parámetros de vector - serie de precipitación histórica*

Id Estación	N° Años	Coef. Variación	Media Obs.	Media Calculada	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Calidad (/10)	Evaluación (/10)
KAYRA	33	0.321	145.1	146.2	0.15	0.881	7.7	7
CAY CAY	32	0.486	106.8	112.6	0.285	0.801	7.2	7.1
CCATCCA	33	0.314	130.2	131.4	0.17	0.841	7.8	7.8
POMACANCHI	30	0.301	159	151.5	0.2	0.787	7.7	7.7
PARURO	28	0.313	171.3	163.9	0.188	0.82	7.5	7.5
PISAC	32	0.396	119.3	122.6	0.186	0.881	7.2	7.2

*Fuente: Elaboración propia*



En el análisis realizado, se puede verificar que la información pluviométrica es consistente en las cuatro estaciones, según la calificación de la correlación del vector con las estaciones, el cual es mayor a 0.65 (Ver tabla 10). Pero debido al coeficiente de variación en algunos meses de cada serie temporal, se necesita la completación de datos.

#### 6.3.2. Completado de datos de precipitación por el Método de Regresión Lineal

Para garantizar la continuidad de las series históricas, se aplicó la técnica de regresión lineal simple como método de completado de datos. Este procedimiento estadístico permite estimar las omisiones de precipitación en las estaciones de referencia mediante la construcción de un modelo de ajuste entre variables correlacionadas. Previo a su ejecución, se verificó el cumplimiento de los supuestos de linealidad y el coeficiente de correlación, asegurando que las estimaciones mantengan la representatividad climática necesaria para el diseño de la presa.

En el caso de precipitaciones anuales, se asume una correlación lineal directa entre las estaciones, por lo que la ecuación de la recta de regresión se expresa como:

$$y=a+bx$$

- y: Representa la variable dependiente, es decir, el valor de precipitación que se desea estimar
- x: es la variable independiente, es decir, la precipitación registrada en la estación que se utiliza como referencia para la predicción.
- a: es el intercepto o coeficiente constante, que representa el valor de y cuando  $x=0$ .
- b: es la pendiente o coeficiente de regresión, que indica la tasa de cambio de Y con respecto a x.

Para determinar los coeficientes a y b, se minimiza la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores estimados (método de mínimos cuadrados), mediante las siguientes fórmulas:



$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

- $n$  es el número de observaciones disponibles.
- $x_i, y_i$  son los valores observados de las variables  $x$  y  $y$ .
- $\bar{x}, \bar{y}$  son las medias de  $x$  y  $y$ , respectivamente.

Esta regresión lineal simple permite predecir los valores faltantes de precipitación en una estación en función de los valores registrados en una estación vecina con datos completos, siempre y cuando exista una correlación significativa entre ambas series.

Como caso de estudio para el proceso de reconstrucción de series, se seleccionaron las estaciones de Kayra, Caicay y Pisac. El procedimiento se basó en el método de regresión lineal, definiendo a la estación Kayra como la estación guía o variable independiente, debido a la integridad y consistencia de sus registros históricos. A continuación, se detalla el modelado matemático empleado para transferir la información hidrológica hacia las estaciones con vacíos de información, asegurando la homogeneidad de la base de datos para el proyecto.

Entre las diversas estaciones evaluadas en este proyecto, donde se implementó el completado de datos mediante regresión lineal. A continuación, se expone el procedimiento seguido, tomando en cuenta que la estación de referencia o completa utilizada fue la estación Kayra.

Una vez completada las precipitaciones faltantes (Ver Anexo II pág. 253), se realizó nuevamente la verificación de consistencia utilizando el Vector Regional (Ver figura 18). A continuación, encontraremos la precipitación media calculada y los principales parámetros estadísticos a tener en cuenta en la construcción de Vector Regional.



Tabla 11

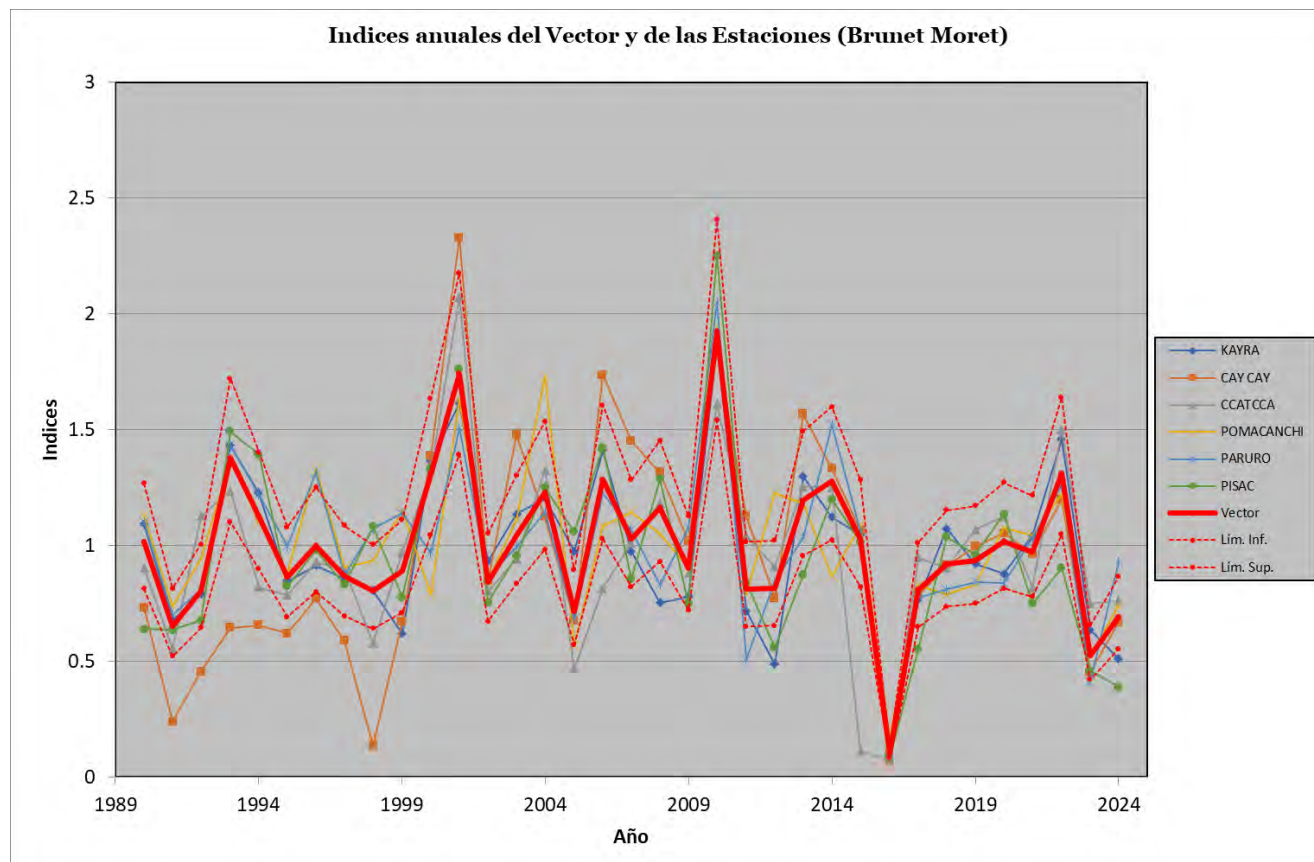
*Parámetros de vector-serie de precipitación completada y extendida*

Id Estación	N° Años	Coef. Variación	Media Obs.	Media Calculada	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Calidad (/10)	Evaluación (/10)
KAYRA	35	0.358	141.4	144.3	0.139	0.917	7.7	7.1
CAY CAY	35	0.504	103.7	107.6	0.296	0.8	7.3	7.2
CCATCCA	35	0.393	123.4	128	0.232	0.792	6.8	6.8
POMACANCHI	35	0.328	153.7	150.7	0.189	0.834	6.6	6.6
PARURO	35	0.342	165.8	165.5	0.163	0.88	8.2	8.2
PISAC	35	0.422	115.7	119.9	0.189	0.891	7.4	7.4

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 18

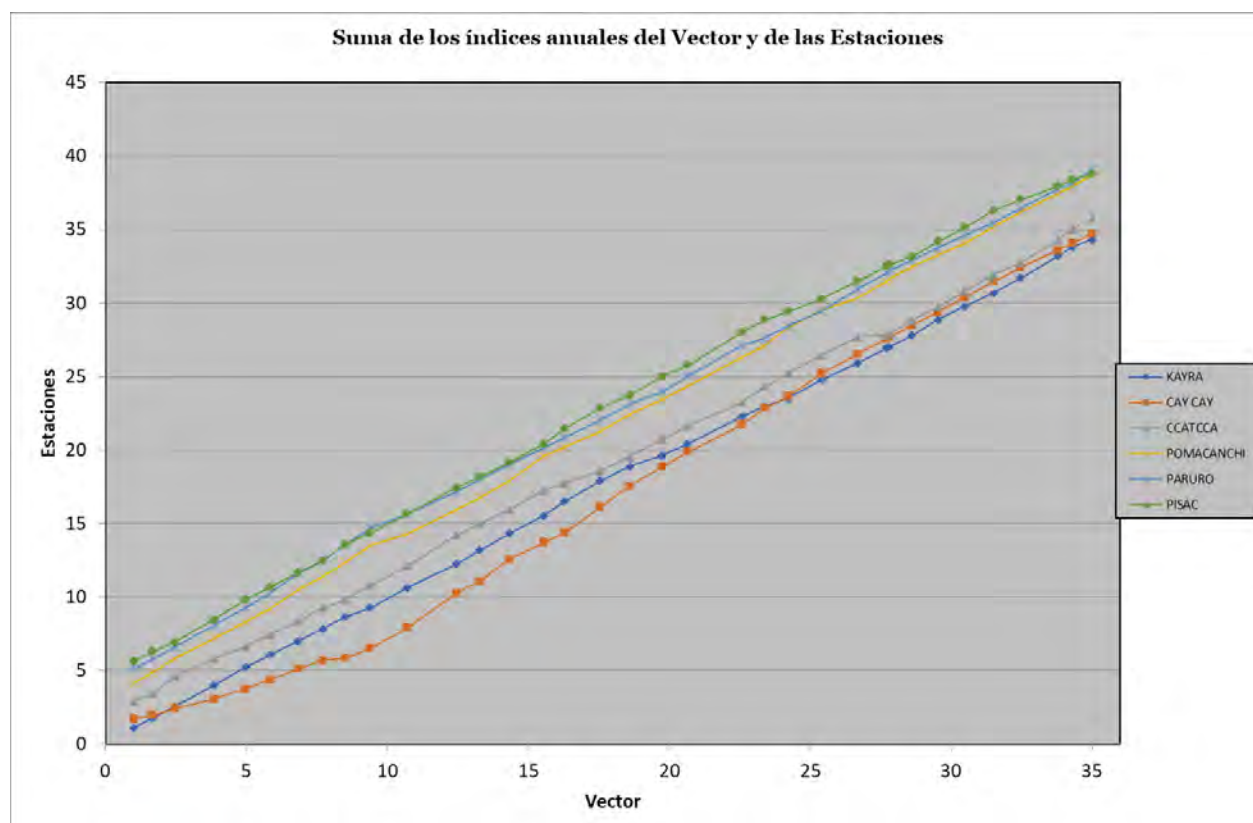
*Índices el vector y de las estaciones- serie completada y extendida*



*Fuente: Elaboración propia*



Figura 19

*Curvas de dobles acumuladas-serie completada y extendida**Fuente: Elaboración propia*

### 6.3.3. Análisis de saltos y tendencias

En las estaciones (Kayra, Cay cay, Ccatcca, Pomacanchi, Paruro, Pisac) observando el gráfico de precipitación mensual se puede observar algunos datos puntuales con posibles saltos o error sistemático, por lo que se empleara el software TREND, diseñado para asistir en la evaluación estadística de tendencias, variabilidad y aleatoriedad en datos hidrológicos. Las técnicas estadísticas implementadas por TREND se fundamentan en los métodos de detección de tendencias y cambios recomendados por la OMM y la UNESCO.

Al utilizar este software se ha tomado en cuenta los siguientes Test:

- Test para tendencias.



Mann-Kendall (no-paramétrico de tendencia).

- Test para cambio en media/mediana (saltos)

CUSUM (no-paramétrico para salto de paso en la media).

- Test para diferenciar en media/mediana (saltos) en dos diferentes periodos de la serie. t de Student (paramétrico).

Las pruebas estadísticas desarrolladas para el cálculo de la consistencia de los datos climáticos se reportarán en la siguiente tabla utilizando las tres pruebas estadísticas: Mann-Kendall; CUSUM Y t de Student. (Ver tabla 12)

Tabla 12

*Prueba de saltos y tendencias corregidas*

Estación	Test estadístico	Valores críticos	(Tabla estadística)			Resultado
			a=0.1	a=0.05	a=0.01	
Kayra	Mann-Kendall	0.052	1.645	1.96	2.576	NS
	Cusum	9	25.003	27.872	33.405	NS
	Student's t	0.164	1.654	1.973	2.603	NS
Caycay	Mann-Kendall	2.737	1.645	1.96	2.576	NS
	Cusum	21	25.003	27.872	33.405	NS
	Student's t	-1.527	1.654	1.973	2.603	NS
Ccatcca	Mann-Kendall	0.788	1.645	1.96	2.576	NS
	Cusum	9	25.003	27.872	33.405	NS
	Student's t	-0.882	1.654	1.973	2.603	NS
Pomacanchi	Mann-Kendall	-0.041	1.645	1.96	2.576	NS
	Cusum	12	25.003	27.872	33.405	NS
	Student's t	0.319	1.654	1.973	2.603	NS
Paruro	Mann-Kendall	-0.186	1.645	1.96	2.576	NS
	Cusum	14	25.003	27.872	33.405	NS
	Student's t	-0.266	1.654	1.973	2.603	NS
Pisac	Mann-Kendall	-0.224	1.645	1.96	2.576	NS
	Cusum	12	25.003	27.872	33.405	NS



Student's t	-0.162	1.654	1.973	2.603	NS
-------------	--------	-------	-------	-------	----

Fuente: *Elaboración propia*

Según los resultados obtenidos, los cuales fueron clasificados como NS (no significativos), se determina que los datos presentan consistencia y no requieren corrección adicional.

#### 6.3.4. Precipitación total anual completada, homogénea y consistente

Tabla 13

*Cuadro de registro de precipitación completada (mm)*

RESUMEN DE PRECIPITACIONES ANUALES							
N°	AÑO	KAYRA	CAYCAY	CCATCCA	POMACANCHI	PARURO	PISAC
1	1990	641.10	441.76	550.58	812.99	801.20	540.00
2	1991	682.40	351.21	551.90	874.71	847.13	475.15
3	1992	609.30	367.18	538.30	700.77	765.83	423.55
4	1993	799.90	344.72	686.20	859.43	855.08	563.44
5	1994	798.40	374.20	685.30	797.37	1028.00	738.93
6	1995	560.00	256.55	537.90	758.42	683.40	376.15
7	1996	412.90	405.13	557.30	883.13	912.00	455.04
8	1997	805.30	358.41	569.50	883.30	931.48	567.90
9	1998	610.20	219.30	443.60	718.39	789.40	476.00
10	1999	543.10	488.80	591.50	703.20	758.00	501.84
11	2000	652.00	469.20	576.50	784.66	710.30	468.50
12	2001	864.10	902.20	931.20	1070.39	893.30	794.20
13	2002	822.10	621.10	878.90	1024.88	1017.40	724.50
14	2003	713.70	791.10	621.40	818.53	828.30	559.30
15	2004	632.00	548.90	748.90	990.32	819.70	601.80
16	2005	517.30	512.20	577.20	706.74	591.90	439.00
17	2006	856.30	693.00	757.10	986.92	804.90	691.40
18	2007	621.40	665.31	565.50	930.15	754.50	533.50
19	2008	592.40	645.00	714.70	784.51	631.01	643.80
20	2009	525.50	489.70	630.30	805.20	832.60	525.70
21	2010	876.70	619.20	703.60	829.10	983.80	902.40
22	2011	740.50	737.80	830.20	836.70	920.40	678.00
23	2012	679.60	545.72	713.30	946.50	962.80	617.30
24	2013	796.60	763.51	879.30	911.40	930.91	745.00
25	2014	660.70	470.98	701.39	779.69	959.73	607.55
26	2015	520.40	422.02	524.94	694.08	666.96	440.96
27	2016	584.65	469.37	665.49	757.38	738.41	491.61
28	2017	590.40	496.60	699.80	643.30	886.30	448.70
29	2018	789.70	779.90	890.90	883.86	979.80	691.60

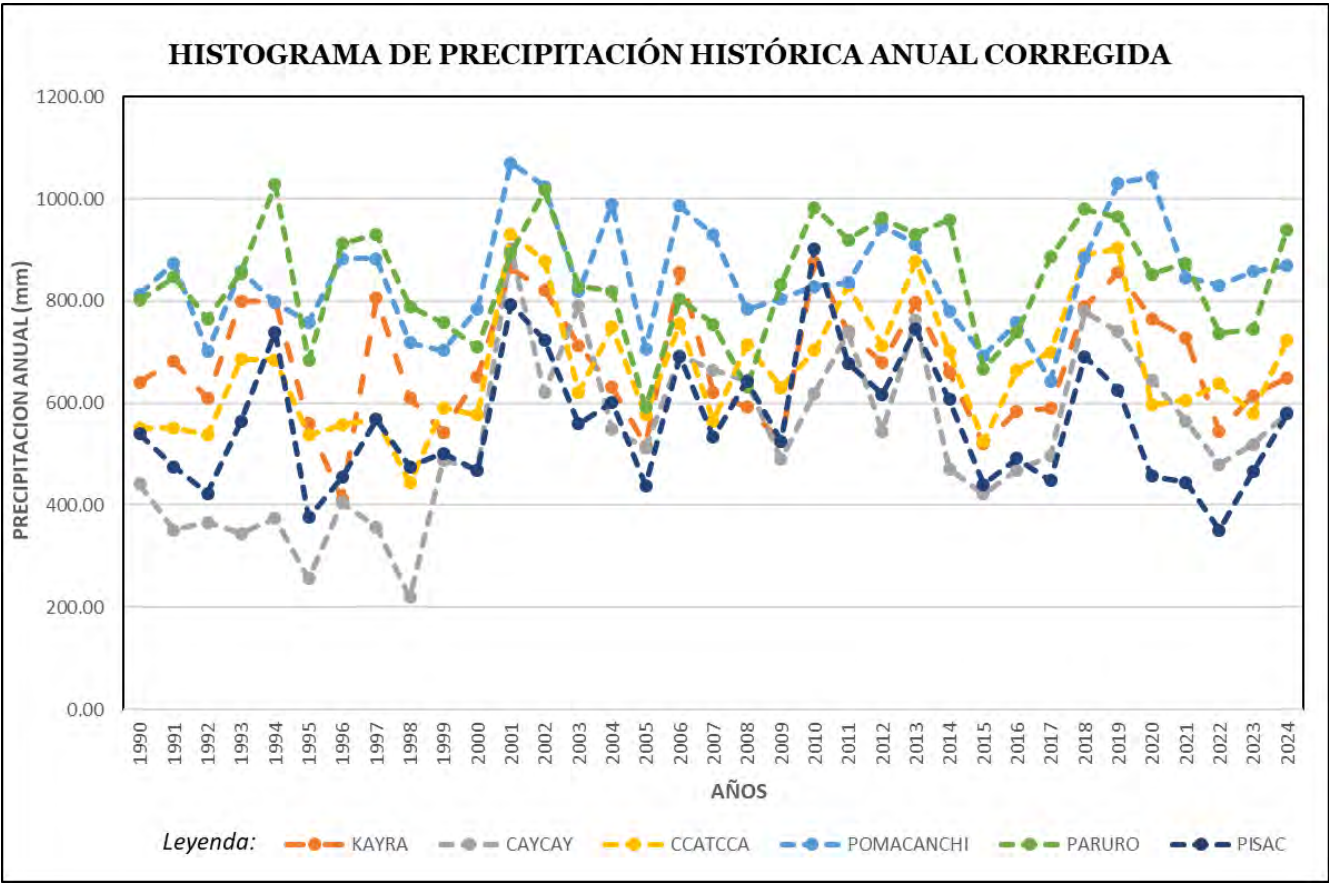


30	2019	856.10	740.10	904.10	1031.60	965.30	626.10
31	2020	765.94	645.71	596.70	1042.91	852.32	456.80
32	2021	728.40	565.30	606.40	845.70	874.00	445.30
33	2022	544.30	480.10	638.30	831.20	737.50	352.00
34	2023	614.70	519.40	579.90	858.30	744.90	465.50
35	2024	649.70	581.30	723.70	870.10	940.10	578.80
N° DATOS		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
MEDIA		675.94	536.63	667.77	847.31	839.96	561.35
DESV.STD		119.50	160.22	124.13	108.31	112.31	126.79
COE.VAR		0.18	0.30	0.19	0.13	0.13	0.23
P.MAX		876.70	902.20	931.20	1070.39	1028.00	902.40
P.MIN		412.90	219.30	443.60	643.30	591.90	352.00

Fuente: Elaboración propia basada en la información de SENAMHI 2025

Figura 20

Histograma de Precipitación histórica anual completada y corregida



Fuente: Elaboración propia



La precipitación media en la cabecera de la cuenca oscila entre 536.63 mm y 847.31 mm, mostrando una marcada variabilidad pluviométrica en la zona (Ver tabla 14). Esta fluctuación responde a factores como la altitud y el relieve, que afectan la distribución espacial y temporal de las lluvias. Dicha variabilidad es crucial para entender la disponibilidad de agua y planificar adecuadamente la gestión hídrica y los proyectos de riego en el área de estudio, dado que influye directamente en el comportamiento hidrológico de la cuenca (Ver figura 21).

Tabla 14

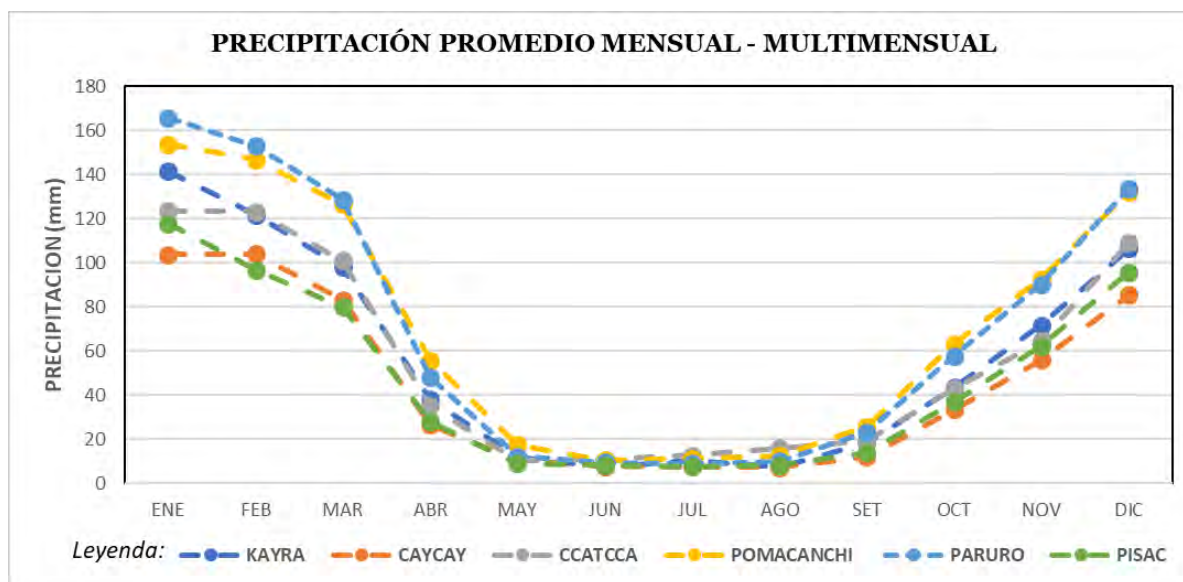
*Cuadro de precipitación total mensual multimensual (mm)*

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)-MULTIMENSUAL (1990-2024)															
Item	Estación	Altitud (mnsnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	KAYRA	3214	141.40	121.62	98.04	37.82	11.97	7.40	10.51	7.34	18.46	43.29	71.58	106.51	675.94
2	CAYCAY	3117	103.67	103.86	83.25	26.50	10.48	7.71	7.50	7.08	11.97	33.32	55.92	85.36	536.62
3	CCATCCA	3681	123.44	123.21	100.98	35.03	10.32	10.53	12.66	15.91	19.10	42.91	64.48	109.28	667.85
4	POMACA NCHI	3690	153.65	146.81	126.39	55.74	17.32	10.36	11.03	12.40	25.65	63.20	92.59	132.15	847.29
5	PARURO	3070	165.80	152.90	128.60	47.90	12.20	9.30	8.80	10.00	23.10	57.70	90.10	133.60	840.00
6	PISAC	2990	117.75	96.80	79.84	27.96	8.99	8.07	7.33	8.06	14.00	36.79	62.09	95.67	563.35

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 21

*Gráfico de precipitación promedio mensual - multimensual (mm)*



*Fuente: Elaboración propia*





### 6.3.5. Precipitación media en el área de estudio

La cantidad de precipitación registrada en un lugar concreto no suele variar respecto a la observada en áreas cercanas, por lo que es esencial contar con información sobre la precipitación media dentro de la cuenca. Para estimar estos valores, es necesario utilizar los datos registrados de manera puntual por pluviómetros situados alrededor del área de interés. Para este propósito, se recurre al método de regionalización de la precipitación, usando las mediciones de las estaciones que tienen influencia en la zona de estudio. Una vez realizado el análisis exploratorio, completados y extendidos los datos, así como su análisis estadístico, se procede a determinar el módulo pluviométrico anual. Para ello, se implementó el modelo de Regresión Polinómica, cuyos resultados se presentan en la tabla siguiente (Ver tabla 15).

Tabla 15

#### *Análisis de correlación altitud - precipitación*

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD MEDIA msnm	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	ECUACIÓN DE REGRESIÓN				$P=B_0+B_1*H$
			$X^2$	$Y^2$	$X*Y^2$	$Y^4$	
KAYRA	3214	675.94	1.03E+07	4.57E+05	1.47E+09	2.09E+11	
CAYCAY	3117	536.63	9.72E+06	2.88E+05	8.98E+08	8.29E+10	
CCATCCA	3681	667.77	1.35E+07	4.46E+05	1.64E+09	1.99E+11	
POMACANCHI	3690	847.31	1.36E+07	7.18E+05	2.65E+09	5.15E+11	
PARURO	3070	839.96	9.42E+06	7.06E+05	2.17E+09	4.98E+11	
PISAC	2990	561.35	8.94E+06	3.15E+05	9.42E+08	9.93E+10	
FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE PARAMETROS DE REGRESION				VALORES DE PARAMETROS DE REGRESION			
A=SUM X	3.69E+03	G=C-(A²)/n	1.36E+07	COEF.INDEPENDIENTE	Bo= 502542870.027591		
B=SUMA Y	8.47E+02	H=F-A*D/n	5.15E+11	COEF.DEPENDIENTE	B1= -127000.556281808		
C=SUM X²	1.36E+07	I=F-(D²)/n	5.15E+11	COEF. DE CORRELACION	r= 0.929		
D=SUM Y²	7.18E+05	J=H/G	3.79E+04	DESVIACION ESTANDAR	r²= 0.863		
E=SUM X*Y²	2.65E+09	K=(D-J*A)/n	-4.53E+04				
F=SUM Y⁴	5.15E+11						

Fuente: Elaboración propia



Tabla 16

*Cuadro de Regionalización de la precipitación corregida de la presa Quisco*

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1990	121.07	69.28	46.27	46.11	9.49	34.06	3.82	8.31	11.36	56.87	93.07	86.75	586.45
2	1991	77.04	139.47	76.10	36.32	12.04	12.48	4.20	3.80	16.58	40.09	74.53	93.01	585.66
3	1992	102.95	78.56	72.66	18.51	4.06	24.26	3.87	18.21	5.78	47.47	92.43	58.45	527.20
4	1993	163.72	91.68	55.88	24.71	1.82	1.33	3.75	14.20	10.37	37.48	75.31	155.93	636.18
5	1994	137.47	127.35	125.74	46.55	6.67	0.05	0.21	0.75	21.35	51.27	46.93	120.37	684.70
6	1995	106.29	67.21	104.19	18.27	4.23	0.00	2.03	0.42	19.35	17.07	57.61	94.52	491.20
7	1996	134.70	85.53	70.76	45.32	10.71	0.00	0.01	20.37	17.42	50.22	45.70	80.62	561.35
8	1997	105.71	121.54	122.14	21.21	6.94	0.00	0.77	8.71	8.91	38.38	118.48	84.49	637.28
9	1998	101.12	114.02	60.69	22.29	0.94	3.92	18.01	1.30	3.02	51.05	59.66	68.26	504.28
10	1999	114.75	104.67	88.17	47.80	2.51	1.65	2.06	0.00	26.65	25.10	32.35	109.58	555.30
11	2000	147.96	125.86	92.09	12.42	4.26	7.39	5.13	6.71	11.15	53.05	20.07	80.79	566.87
12	2001	225.42	147.23	139.38	33.21	13.16	1.05	16.60	13.57	15.41	68.48	72.76	98.40	844.68
13	2002	106.76	185.94	121.59	39.48	11.36	3.82	28.46	8.08	23.98	53.00	84.52	120.93	787.93
14	2003	137.74	135.36	142.49	35.70	6.43	6.18	0.39	15.86	7.34	33.83	25.87	123.60	670.79
15	2004	164.84	130.60	71.87	24.43	9.89	18.94	14.31	9.12	33.83	38.69	55.24	100.46	672.23
16	2005	92.81	94.50	97.28	31.73	2.14	0.06	1.07	3.98	4.97	35.77	66.92	86.60	517.82
17	2006	159.76	123.40	118.96	66.43	0.26	9.91	0.67	9.79	5.13	61.81	74.66	110.81	741.59
18	2007	135.99	89.56	141.88	50.92	6.81	0.00	4.18	0.51	3.67	41.57	72.09	83.04	630.23
19	2008	131.98	110.77	71.01	16.57	11.15	5.73	0.11	5.62	12.80	51.95	72.83	130.59	621.10
20	2009	114.50	96.37	71.44	27.47	4.57	0.00	7.17	1.21	12.74	11.04	142.37	100.89	589.76
21	2010	243.75	114.50	116.11	20.53	4.58	0.45	1.69	7.48	4.66	57.12	34.91	155.19	760.97
22	2011	102.48	185.18	121.40	52.94	4.58	4.20	6.58	1.77	34.00	43.45	45.34	132.55	734.47
23	2012	102.42	168.83	60.82	33.56	3.38	3.64	1.59	1.27	22.59	19.49	105.27	168.51	691.36
24	2013	150.36	144.89	86.71	24.14	5.48	3.76	4.01	13.52	10.34	93.50	78.47	163.12	778.30
25	2014	153.61	109.36	64.64	41.82	9.45	1.28	8.36	10.56	16.31	75.19	37.37	119.26	647.21
26	2015	114.88	105.85	54.98	65.09	25.07	21.63	24.64	20.50	27.40	20.49	18.42	7.24	506.21
27	2016	13.15	10.33	18.96	27.95	61.56	87.30	117.94	89.72	114.97	7.45	14.37	10.25	573.95
28	2017	98.45	97.40	111.05	55.40	17.07	3.05	0.82	7.48	14.99	30.15	63.05	84.06	582.96
29	2018	115.57	159.68	147.97	26.68	3.86	21.15	19.38	12.39	8.00	100.25	81.35	80.33	776.61
30	2019	117.16	137.96	136.28	31.26	15.85	0.31	3.95	0.29	5.99	55.41	125.86	162.92	793.26
31	2020	127.15	155.03	93.16	56.42	40.69	3.27	2.45	0.26	6.27	23.88	53.37	113.18	675.13
32	2021	120.31	100.08	93.52	51.56	9.21	3.87	1.29	1.05	10.98	33.86	92.61	111.08	629.41
33	2022	159.87	110.61	136.86	22.13	3.28	0.15	0.15	5.23	18.22	7.37	21.49	69.46	554.83
34	2023	67.88	95.95	80.64	35.69	39.03	0.12	3.33	6.58	18.80	31.59	76.09	130.00	585.69
35	2024	86.06	103.65	130.35	40.74	13.66	4.09	0.46	1.10	22.64	39.13	135.26	95.42	672.55
N° DATOS		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
MEDIA		124.45	115.38	95.54	35.75	11.03	8.26	8.96	9.42	17.37	42.93	67.62	102.59	639.30
COEF.VAR		41.03	34.86	32.71	14.24	12.71	16.06	20.32	15.23	18.91	21.34	32.95	36.96	93.85
P.MAX		243.75	185.94	147.97	66.43	61.56	87.30	117.94	89.72	114.97	100.25	142.37	168.51	844.68
P.MIN		13.15	10.33	18.96	12.42	0.26	0.00	0.01	0.00	3.02	7.37	14.37	7.24	491.20

*Fuente: Elaboración propia*

La zona de la presa de Quisco presenta una precipitación media anual estimada en 639.30 mm (Ver tabla 16). Este valor refleja la cantidad promedio de lluvias que se registran anualmente en el área, siendo un parámetro fundamental para el análisis hidrológico y la planificación de

proyectos asociados al recurso hídrico (Ver figura 22). Esta precipitación media permite dimensionar la oferta hídrica de la cuenca, influye en la generación de escorrentía y en la disponibilidad de agua para usos agrícolas, poblacionales y ambientales. Además, constituye una referencia clave para el diseño y operación eficiente de la infraestructura hidráulica de la presa, asegurando que se ajuste a las condiciones climatológicas prevalentes en la región

Figura 22

*Precipitación Total Mensual Regionalizada de la presa Quisco*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 6.3.6. Temperatura

La caracterización climática del área de influencia se sustentó en los registros históricos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), entidad rectora en el país. (Ver tabla 17).

El comportamiento térmico en la cuenca presenta una marcada dependencia de la altitud, estableciendo un gradiente térmico vertical definido. En la zona de oferta hídrica, situada a una cota media de 4,454.50 msnm, la temperatura media regionalizada oscila entre los 5.29 °C y 9.64



°C. Por el contrario, en las áreas destinadas al cultivo (3,990 msnm), se observa un incremento en los registros térmicos, con valores medios que fluctúan entre 5.91 °C y 10.76 °C. Estas variaciones caracterizan los distintos pisos altitudinales de la cuenca, condicionando tanto la hidrología de cabecera como las necesidades hídricas en las zonas bajas.

Tabla 17

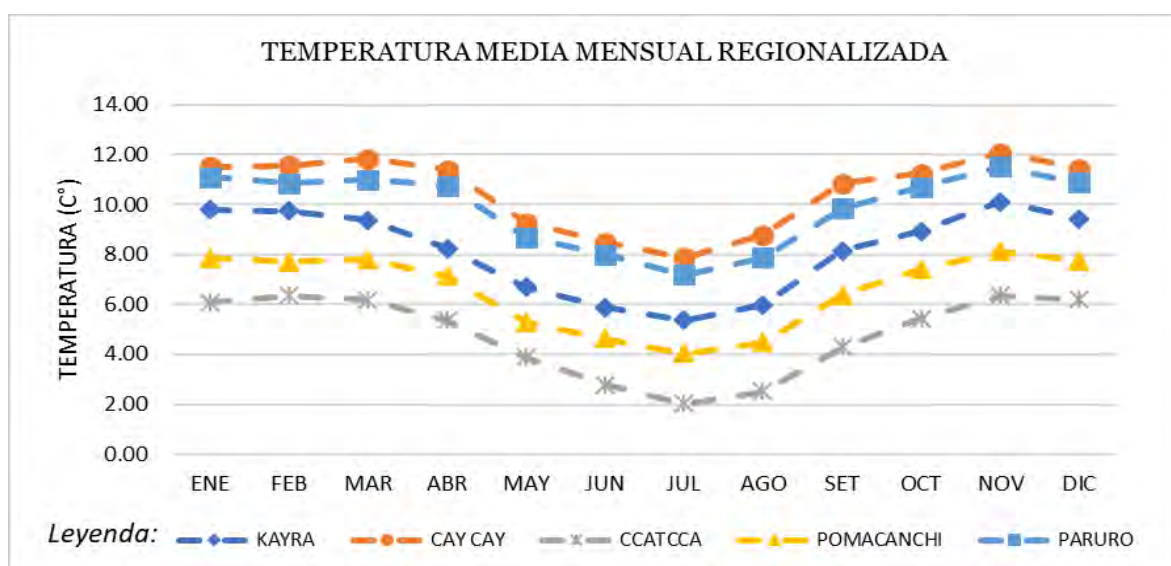
*Regionalización de la temperatura Media mensual de la cuenca Quisco (C°)*

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD (msnm)	ALTURA MEDIA DE LA CUENCA = 4454.50 msnm ALTURA MEDIA DEL AREA DE LOS CULTIVOS = 3990 msnm MESES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
KAYRA	3214	9.80	9.74	9.38	8.24	6.70	5.87	5.35	5.97	8.14	8.94	10.11	9.41
CAY CAY	3117	11.52	11.56	11.83	11.40	9.28	8.49	7.86	8.79	10.85	11.25	12.09	11.44
CCATCCA	3681	6.07	6.34	6.18	5.35	3.88	2.78	2.01	2.49	4.27	5.43	6.34	6.21
POMACANCHI	3690	7.86	7.70	7.79	7.13	5.28	4.62	4.03	4.48	6.37	7.41	8.11	7.74
PARURO	3070	11.10	10.86	10.99	10.75	8.67	7.99	7.19	7.88	9.85	10.70	11.53	10.89
T. MEDIA DE LA CUENCA		9.27	9.24	9.23	8.57	6.76	5.95	5.29	5.92	7.90	8.75	9.64	9.14
T. MEDIA A. CULTIVO		10.35	10.32	10.31	9.57	7.55	6.64	5.91	6.61	8.82	9.76	10.76	10.20

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

*Gráfico de la temperatura media mensual regionalizada de la cuenca Quisco*



Fuente: Elaboración propia



Tabla 18

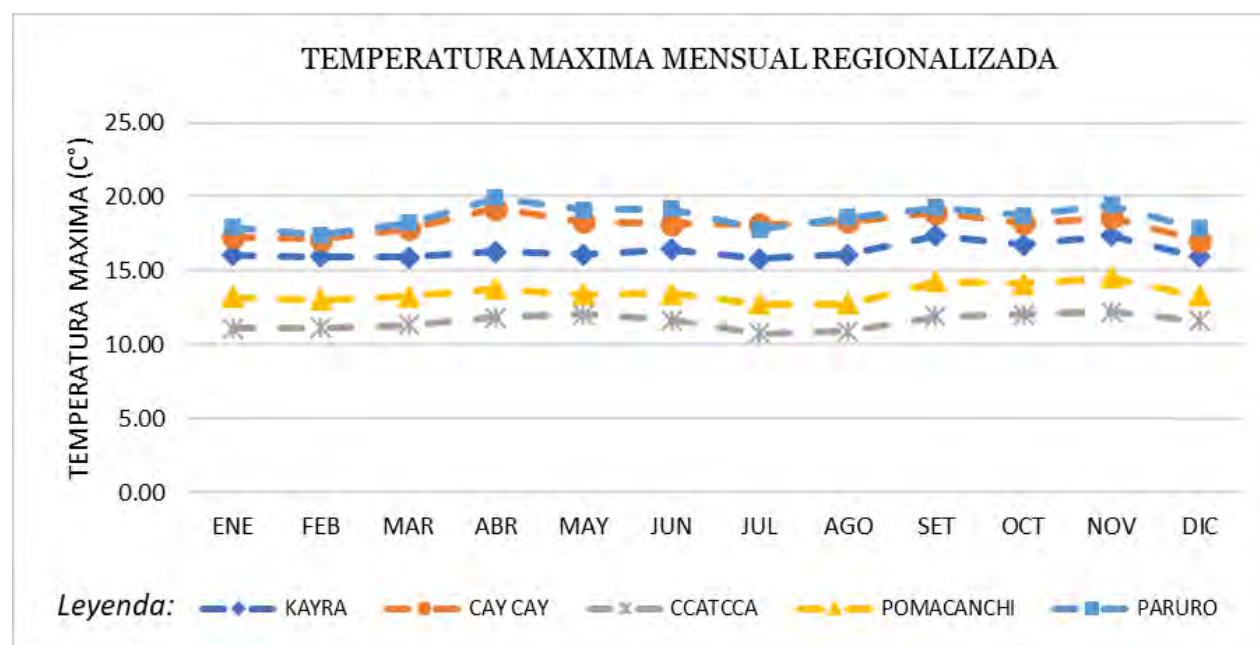
*Regionalización de la temperatura máxima media mensual de la cuenca Quisco*

		ALTURA MEDIA DE LA CUENCA = 4454.50 msnm ALTURA MEDIA DEL AREA DE LOS CULTIVOS = 3990 msnm											
NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
KAYRA	3214	16.03	15.97	15.89	16.29	16.10	16.45	15.80	16.08	17.37	16.74	17.39	15.96
CAY CAY	3117	17.27	17.15	17.86	19.22	18.30	18.18	18.12	18.30	18.92	18.22	18.62	17.03
CCATCCA	3681	11.08	11.14	11.33	11.82	12.04	11.64	10.74	10.91	11.88	12.01	12.20	11.63
POMACANCHI	3690	13.19	13.02	13.24	13.78	13.41	13.46	12.73	12.75	14.26	14.10	14.54	13.31
PARURO	3070	17.92	17.40	18.22	19.92	19.12	19.19	17.78	18.59	19.27	18.76	19.44	17.83
T. MAX DE LA CUENCA		15.10	14.94	15.31	16.21	15.80	15.78	15.03	15.33	16.34	15.96	16.44	15.15
T. MAX A. CULTIVO		16.86	16.68	17.09	18.09	17.64	17.62	16.78	17.11	18.24	17.82	18.35	16.92

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 24

*Gráfico de la temperatura máxima mensual regionalizada de la cuenca Quisco*



*Fuente: Elaboración propia*





Tabla 19

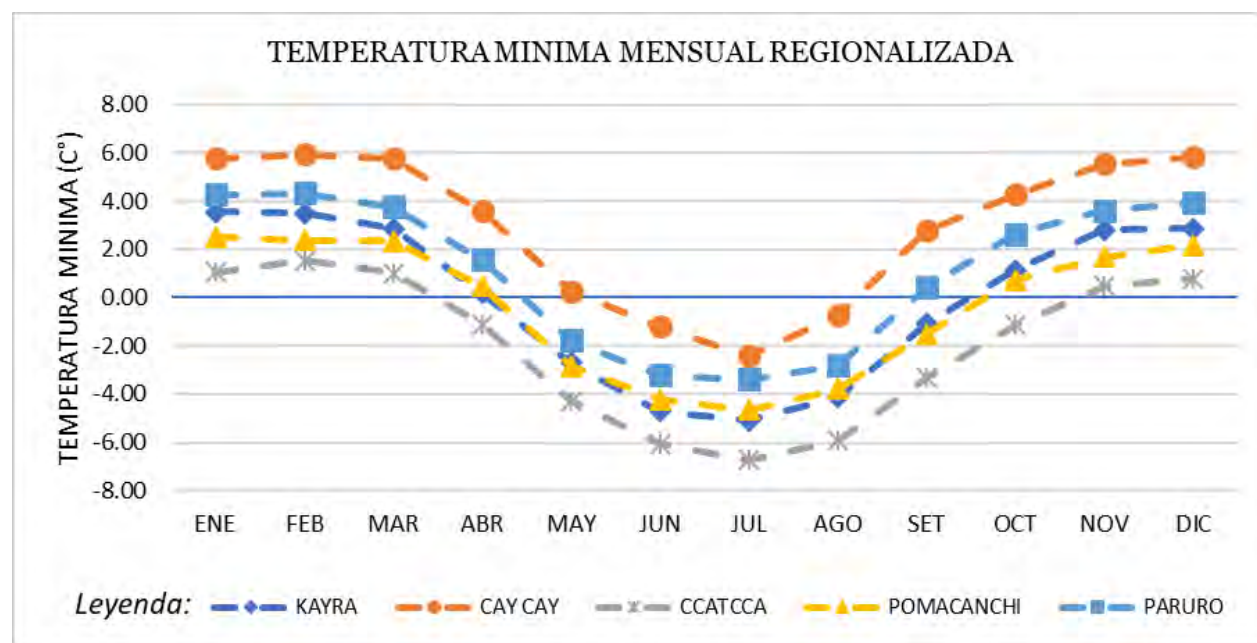
*Regionalización de la temperatura mínima media mensual de la cuenca Quisco*

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD (msnm)	MESES											
		ALTURA MEDIA DE LA CUENCA = 4454.50 msnm ALTURA MEDIA DEL AREA DE LOS CULTIVOS= 3990 msnm											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
KAYRA	3214	3.57	3.51	2.88	0.18	-2.70	-4.71	-5.09	-4.14	-1.09	1.14	2.82	2.87
CAY CAY	3117	5.77	5.97	5.79	3.59	0.26	-1.21	-2.40	-0.72	2.78	4.28	5.57	5.85
CCATCCA	3681	1.07	1.55	1.03	-1.12	-4.29	-6.08	-6.72	-5.93	-3.33	-1.15	0.48	0.79
POMACANCHI	3690	2.53	2.38	2.34	0.48	-2.85	-4.23	-4.67	-3.79	-1.52	0.73	1.68	2.17
PARURO	3070	4.28	4.33	3.76	1.59	-1.77	-3.21	-3.40	-2.82	0.43	2.64	3.61	3.94
T. MIN DE LA CUENCA		3.44	3.55	3.16	0.94	-2.27	-3.89	-4.46	-3.48	-0.55	1.53	2.83	3.12
T. MIN A. CULTIVO		3.85	3.96	3.53	1.05	-2.53	-4.34	-4.97	-3.89	-0.61	1.70	3.16	3.49

Fuente: Elaboración propia

Figura 25

*Gráfico de la temperatura mínima mensual regionalizada de la cuenca Quisco*



Fuente: Elaboración propia



Tabla 20

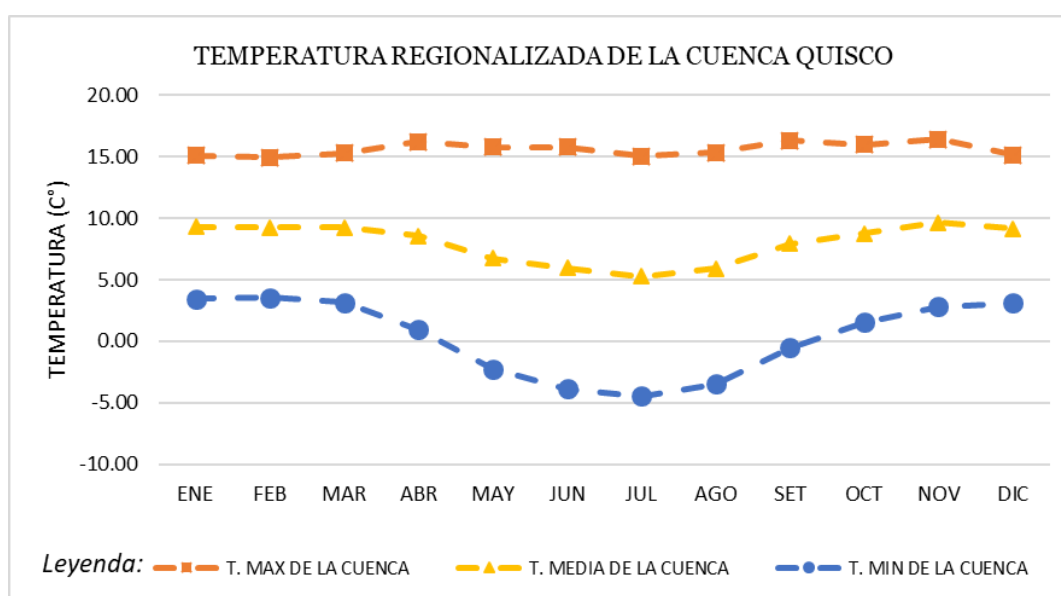
*Regionalización de la temperatura en la cuenca Quisco*

ALTURA MEDIA DE LA CUENCA = 4454.50 msnm ALTURA MEDIA DEL AREA DE LOS CULTIVOS= 3990 msnm												
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
T. MAX. DE LA CUENCA	15.10	14.94	15.31	16.21	15.80	15.78	15.03	15.33	16.34	15.96	16.44	15.15
T. MEDIA DE LA CUENCA	9.27	9.24	9.23	8.57	6.76	5.95	5.29	5.92	7.90	8.75	9.64	9.14
T. MIN. DE LA CUENCA	3.44	3.55	3.16	0.94	-2.27	-3.89	-4.46	-3.48	-0.55	1.53	2.83	3.12

Fuente: Elaboración propia

Figura 26

*Gráfico de la temperatura regionalizada en la cuenca Quisco*



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

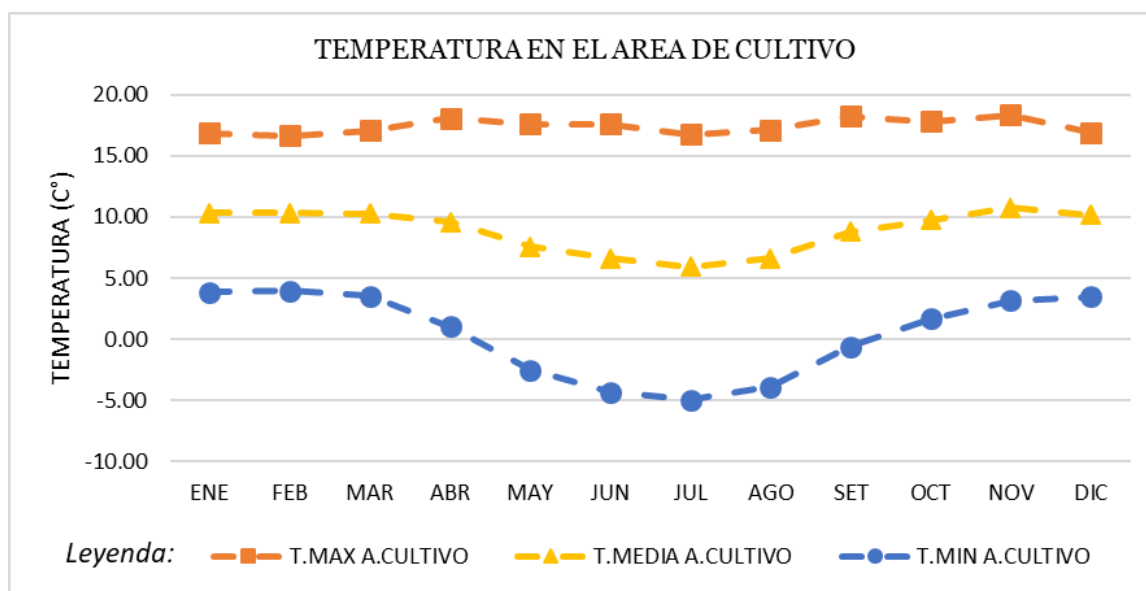
*Regionalización de la temperatura en el área de cultivo*

ALTURA MEDIA DE LA CUENCA = 4454.50 msnm ALTURA MEDIA DEL AREA DE LOS CULTIVOS= 3990 msnm												
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
T. MAX. A. CULTIVO	16.86	16.68	17.09	18.09	17.64	17.62	16.78	17.11	18.24	17.82	18.35	16.92
T. MEDIA A. CULTIVO	10.35	10.32	10.31	9.57	7.55	6.64	5.91	6.61	8.82	9.76	10.76	10.20
T. MIN. A. CULTIVO	3.85	3.96	3.53	1.05	-2.53	-4.34	-4.97	-3.89	-0.61	1.70	3.16	3.49

Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Gráfico de la temperatura en el área de cultivo de la presa Quisco



Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.7. Humedad relativa

Con el propósito de caracterizar esta variable, se ha procesado la información hidrometeorológica de tres (03) estaciones de referencia. Estas unidades de monitoreo fueron seleccionadas por su proximidad estratégica y representatividad climática respecto al área de influencia del proyecto los cuales son: Ccatcca, Pomacanchi y la estación de Sicuani por presentar un registro consistente y estar ubicado cerca de la zona del proyecto.

La humedad relativa actúa como un indicador dinámico supeditado a la interacción de variables como la nubosidad, precipitación y temperatura. Su magnitud, definida por la capacidad de retención de vapor de agua en la atmósfera, exhibe un marcado régimen estacional en la cuenca Quisco. Durante el periodo de avenidas (diciembre – abril), se registran los niveles de saturación más altos con un promedio del 80.13 %, mientras que en la temporada de estiaje (mayo – noviembre), los valores descienden hasta un 55.20 %. Esta oscilación, aunque estable en sus extremos, es determinante para el cálculo de la evaporación en el futuro embalse (Ver tabla 22)



En la siguiente figura (Ver figura 28), a continuación, se presenta el análisis de la variabilidad temporal de la humedad relativa a escala mensual. Los registros corresponden a las estaciones de referencia cuya área de influencia determina el comportamiento higrométrico en el sector del proyecto.

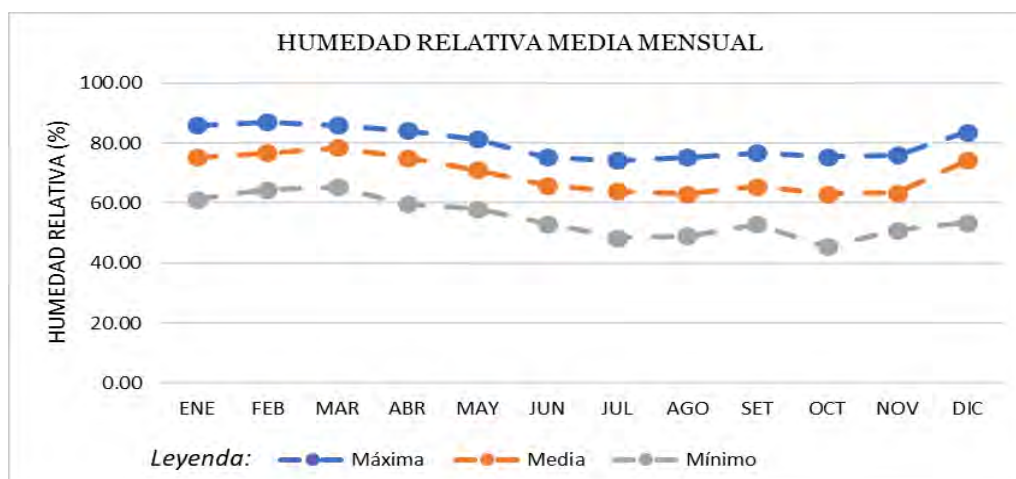
Tabla 22

*Humedad relativa (%) Promedio mensual regionalizada*

ALTURA MEDIA DE LA CUENCA = 4454.50 msnm ALTURA MEDIA DEL AREA DE LOS CULTIVOS= 3990 msnm													
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
CCATCCA	ALTITUD (msnm) 3681												
Máxima	87.80	89.70	89.00	87.50	84.00	80.90	78.30	81.80	83.10	82.10	82.80	88.10	84.59
Media	80.57	82.14	80.99	77.82	76.52	70.63	69.16	70.48	71.35	72.16	74.59	78.25	75.39
Mínimo	66.70	71.90	72.00	58.30	63.80	56.80	43.90	57.50	57.50	59.40	65.20	57.30	60.86
POMACANCHI	ALTITUD (msnm) 3690												
Máxima	86.60	87.90	86.90	86.40	81.40	79.00	77.30	77.70	77.60	78.90	81.20	85.40	82.19
Promedio	76.99	76.63	82.08	78.76	73.21	68.77	64.00	61.92	67.79	62.14	63.76	78.23	71.19
Mínimo	63.30	64.40	64.70	66.00	62.20	54.00	52.90	45.20	57.10	45.00	47.50	64.30	57.22
SICUANI	ALTITUD (msnm) 3534												
Máxima	83.30	83.50	82.20	78.90	78.90	65.90	67.00	66.60	69.60	65.40	64.10	77.70	73.59
Media	68.22	71.61	72.44	68.74	63.67	58.50	58.85	56.84	57.63	55.09	51.73	66.29	62.47
Mínimo	53.70	57.20	59.40	54.60	48.10	48.50	48.90	44.60	44.10	32.10	40.30	38.80	47.53
HUMEDAD RELATIVA MENSUAL REGIONALIZADA (%)													
Máxima	85.90	87.03	86.03	84.27	81.43	75.27	74.20	75.37	76.77	75.47	76.03	83.73	80.13
Media	75.26	76.79	78.51	75.11	71.13	65.97	64.00	63.08	65.59	63.13	63.36	74.26	69.68
Mínimo	61.23	64.50	65.37	59.63	58.03	53.10	48.57	49.10	52.90	45.50	51.00	53.47	55.20

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 28

*Gráfico de la humedad relativa (%) media mensual regionalizada**Fuente: Elaboración propia*

#### 6.3.8. Evapotranspiración potencial

La Evapotranspiración Potencial (ETP) se define como la máxima tasa de transferencia de agua hacia la atmósfera desde una superficie de referencia completamente cubierta de vegetación activa y con disponibilidad hídrica ilimitada. Por otro lado, la evapotranspiración (ET) de un cultivo está condicionada por fenómenos meteorológicos. Esta evapotranspiración está influenciada por tres factores principales: el tipo de vegetación, la cantidad de agua disponible en el suelo y la actividad de las estomas.

La estimación de la Evapotranspiración Potencial (ETP) se efectuó mediante la aplicación de modelos empíricos indirectos, los cuales sistematizan la interacción de diversas variables climáticas a través de algoritmos matemáticos. Estos métodos integran registros críticos de temperatura, radiación solar y humedad relativa, permitiendo un ajuste riguroso de los valores según las condiciones específicas de la cuenca (Ver tabla 23). Se recomienda utilizar la ecuación que incorpore la mayor cantidad de variables climáticas para obtener mejores resultados; sin embargo, en algunas zonas donde no se dispone de toda esta información, se opta por métodos que se adapten a las condiciones y a los datos disponibles. En este estudio, para calcular la ETP





considerando la información accesible, se empleó el método de Hargreaves y el método de Seruto los cuales tienen una mayor consistencia para nuestra zona de estudio, como se describirá a continuación (Ver figura 29).

Tabla 23

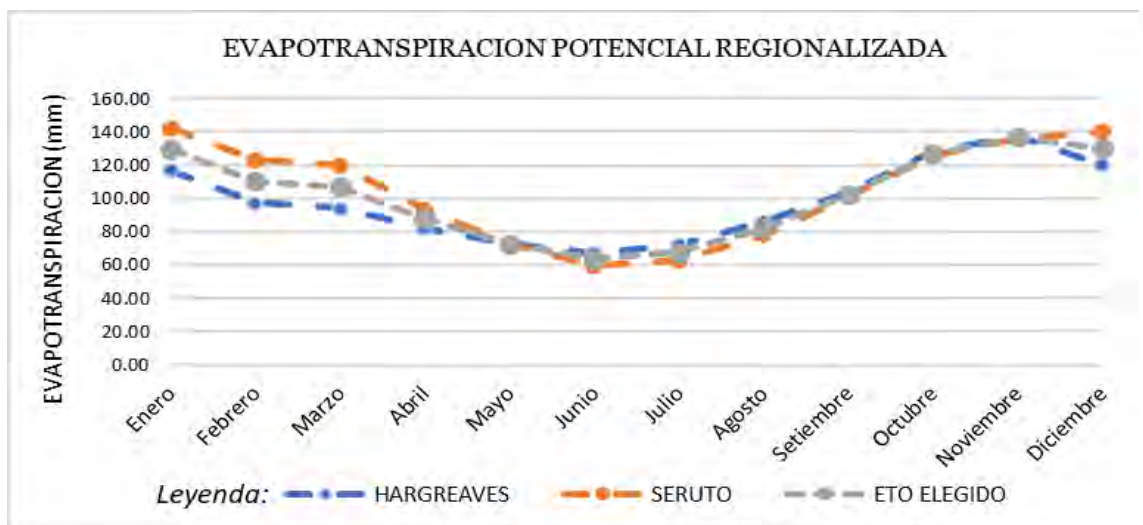
*Variación mensual de la Evapotranspiración Potencial (ETP) regionalizada*

Mes	ETo (mm/mes)	ETo (mm/mes)	ETo Elegido(mm/mes)
Enero	117.11	142.37	129.74
Febrero	97.51	123.19	110.35
Marzo	94.28	119.71	106.99
Abril	82.33	93.47	87.90
Mayo	72.63	72.59	72.61
Junio	67.36	59.61	63.48
Julio	72.35	62.76	67.56
Agosto	86.27	78.12	82.19
Setiembre	103.65	100.73	102.19
Octubre	128.52	125.74	127.13
Noviembre	137.51	135.90	136.70
Diciembre	120.18	140.34	130.26
Evapotranspiración Potencial Anual:			1179.701mm/año

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 29

*Gráfico de la variación mensual de la Evapotranspiración Potencial (ETP) regionalizada*



*Fuente: Elaboración propia*



#### 6.4. OFERTA HÍDRICA

Para la oferta hídrica del proyecto se ha utilizado como fuente de información los caudales puntuales aforados por el PLAN MERISS INKA durante los años 2015 al 2017, así como la información hidrométrica de las estaciones ya mencionadas anteriormente.

Tabla 24

*Caudales aforados y corregidos proyecto Quisco*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	1132	1227	780	560	57	57	37	20	16	16	80	75
2016	1576	1071	1819	977	59	59	40	23	19	19	140	122
2017	1132	1227	1819	977	55	55	35	17	13	13	80	75
MEDIA	1280	1175	1473	838	57	57	37	20	16	16	100	90
DESV.EST.	256	74	490	197	2	2	2	2	3	3	28	22

*Fuente: Expediente Técnico del Proyecto Instalación del Sistema de Riego Quisco, Plan MERISS (Agosto 2018).*

Utilizando los registros de las estaciones seleccionadas, se ejecutó inicialmente un análisis de consistencia para validar la integridad de la información mediante técnicas de inspección gráfica y evaluación de saltos o tendencias (Ver tabla 25). Posteriormente, se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple para la completación y homogeneización de las series históricas.

Tabla 25

*Caudales generados en la cuenca Quisco*

N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1990	1150	1237	1165	681	58	55	35	18	13	14	83	77	4586
2	1991	1094	1256	1652	877	56	58	37	20	16	16	79	72	5233
3	1992	1170	1221	2232	1110	56	57	36	18	15	15	77	72	6079
4	1993	1022	1126	2110	1074	53	59	41	24	20	20	153	130	5832
5	1994	1613	1139	1617	928	55	58	39	21	16	15	96	86	5683
6	1995	1122	1169	2115	1071	56	53	34	16	13	13	73	68	5803
7	1996	1109	1177	1354	865	58	57	39	21	17	18	85	75	4875
8	1997	1154	1152	134	230	59	55	36	18	15	15	78	74	3020
9	1998	1070	1254	973	729	57	55	36	18	13	14	90	81	4390
10	1999	1007	1241	1955	1011	61	58	38	21	17	17	86	80	5592
11	2000	1859	981	730	552	54	56	37	20	16	17	81	76	4479
12	2001	1090	1220	1282	817	57	58	39	21	14	15	80	77	4770
13	2002	1080	1214	791	622	58	56	37	20	15	14	95	83	4085
14	2003	1330	1235	2210	1091	59	57	38	20	16	16	104	89	6265
15	2004	1198	1235	1014	702	53	56	37	20	16	16	79	79	4505
16	2005	1211	1170	2090	1024	59	58	38	21	16	15	84	77	5863
17	2006	1371	1239	1578	841	55	56	37	20	16	16	108	86	5423
18	2007	1141	1133	1289	757	55	55	35	18	16	16	83	78	4676
19	2008	1537	1145	1887	995	54	56	37	20	16	17	81	75	5920
20	2009	1282	913	1380	816	56	58	37	20	16	16	139	115	4848



21	2010	1479	1130	1750	966	56	57	36	19	15	15	87	80	5690
22	2011	1114	1181	1191	676	59	58	39	21	18	18	101	95	4571
23	2012	1191	1170	1617	949	54	57	38	21	18	17	81	81	5294
24	2013	1276	1194	2107	1052	56	56	37	20	17	17	102	96	6030
25	2014	1125	1201	1504	875	58	55	34	16	12	12	81	77	5050
26	2015	1223	1269	2200	1109	55	63	44	27	21	21	85	77	6194
27	2016	1545	1122	1334	828	59	55	37	19	16	17	95	84	5211
28	2017	1121	1220	954	637	57	58	39	22	17	17	129	111	4382
29	2018	1103	1123	1391	813	58	57	39	21	18	17	157	132	4929
30	2019	1298	1261	1470	878	57	58	40	23	19	19	120	94	5337
31	2020	1124	1258	1328	834	58	59	40	23	20	19	129	100	4992
32	2021	1040	1221	1355	783	57	57	39	22	18	19	77	75	4763
33	2022	1132	1227	780	560	57	57	37	20	16	16	80	75	4057
34	2023	1576	1071	1819	977	59	59	40	23	19	19	140	122	5924
35	2024	1133	1227	1819	977	55	55	35	17	13	13	80	75	5499
DATOS		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
MEDIA		1231.14	1180.91	1490.77	848.77	56.69	56.91	37.63	20.26	16.26	16.31	96.51	86.40	5138.57
DESV. EST.		196.12	77.10	496.80	191.07	1.94	1.77	2.06	2.23	2.12	2.04	23.35	16.69	725.86
Q. MAX.		1859.00	1269.00	2232.00	1110.00	61.00	63.00	44.00	27.00	21.00	21.00	157.00	132.00	6265.00
Q. MIN.		1007.00	913.00	134.00	230.00	53.00	53.00	34.00	16.00	12.00	12.00	73.00	68.00	3020.00

Fuente: Elaboración propia

Con los Caudales medios mensuales generados del río Quishca Mayo se procedió a desviar a los distintos niveles de persistencia utilizando la distribución normal, los caudales desviados a la distribución Normal son los asumidos en el presente proyecto por presentar su persistencia con mayores precisiones, los que se pueden verificar observando las siguientes tablas (Ver tabla 26):

Tabla 26

*Oferta Hídrica a diferentes niveles de persistencia distribución normal del río Quishca Mayo*

(l/s)														
P%	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
Q. al 50%	1231.14	1180.91	1490.77	848.77	56.69	56.91	37.63	20.26	16.26	16.31	96.51	86.40	5138.57	
Q. al 75%	1098.96	1128.95	1155.93	719.99	55.38	55.72	36.24	18.76	14.83	14.94	80.78	75.15	4649.34	
Q. al 90%	979.71	1082.08	853.87	603.81	54.20	54.64	34.99	17.40	13.54	13.70	66.58	65.00	4208.01	
Q. al 95%	908.52	1054.09	673.53	534.45	53.50	54.00	34.24	16.59	12.77	12.96	58.11	58.94	3944.52	
VOLUMEN (MMC)														
P%	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
Q. al 50%	3.297	2.857	3.993	2.200	0.152	0.148	0.101	0.054	0.042	0.044	0.250	0.231	13.369	
Q. al 75%	2.943	2.731	3.096	1.866	0.148	0.144	0.097	0.050	0.038	0.040	0.209	0.201	11.566	
Q. al 90%	2.624	2.618	2.287	1.565	0.145	0.142	0.094	0.047	0.035	0.037	0.173	0.174	9.940	
Q. al 95%	2.433	2.550	1.804	1.385	0.143	0.140	0.092	0.044	0.033	0.035	0.151	0.158	8.968	

Fuente: Elaboración propia



## 6.5. DEMANDA HÍDRICA

### 6.5.1. Demanda poblacional

Para determinar la demanda de agua a largo plazo, se analizó la evolución demográfica de la capital distrital de Alto Pichigua. Tomando como base los datos censales de 2005 (2,905 habitantes), se proyectó la población hacia un horizonte de diseño al año 2030. Aplicando una tasa de crecimiento intercensal del 3.0%, se estimó una población futura de 6,082 habitantes. Este cálculo sigue las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), empleando el modelo de crecimiento exponencial para asegurar la capacidad de la infraestructura proyectada.

$$P_f = P_a \left( \frac{100 + P}{100} \right)^N$$

Dónde:

- $P_f$ : Población Final
- $P_a$ : Población actual
- P: Porcentaje de aumento anual
- N: Número de años
- Grandes ciudades: 2,7%
- Pequeñas ciudades: 3,0%
- Pueblos y aldeas: 2,2%

Considerando un horizonte de diseño de 25 años (periodo 2005-2030), se ha determinado una población proyectada de 6,082 habitantes. Tomando como base una dotación per cápita de 100 l/persona/día, se estimó un requerimiento hídrico poblacional equivalente a un caudal medio de 4.0 l/s. Este valor representa la demanda base para el balance de oferta y demanda de la presa, cuyos detalles mensuales se sistematizan. (Ver tabla 27)



Tabla 27

*Demanda poblacional*

N°	POBLACIÓN ACTUAL	POBLACIÓN FUTURA 2030	DOTACIÓN (l/día por habitante)	Requerimiento (l/s)
Habitantes	2905	6082	100	3.36
Sub Total				3.36
Otros (20%)				0.67
Total				4.03
Tasa de crecimiento 3%				

*Fuente: Elaboración propia*

### 6.5.2. Demanda pecuaria

De acuerdo con los estándares técnicos establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), específicamente en la norma de instalaciones sanitarias, se han determinado las dotaciones de agua para actividades pecuarias. Estas asignaciones, que contemplan el consumo en establos de ganado vacuno, porquerizas y granjas, son fundamentales para el cálculo de la demanda pecuaria en la cuenca. Los valores normativos adoptados para el proyecto se detallan. (Ver tabla 28)

Tabla 28

*Dotación hídrica para animales*

ALOJAMIENTO ANIMAL	DOTACIÓN (l/s)
Ganado lechero	120 l/día por animal
Bovino y equinos	40 l/día por animal
Ovinos y porcinos	10 l/día por animal
Aves	20 l/día por cada 100 aves

*Fuente: Elaboración propia*





Para el ganado vacuno y ovino la dotación diaria por animal y para el proyecto está dada según se indica en la siguiente tabla. (Ver tabla 29)

Tabla 29

*Demanda del proyecto para uso pecuario*

GANADO	CANTIDAD (Cabezas)	DOTACIÓN (l/día por animal)	REQUERIMIENTO (l/s)
Vacuno	2440	120	3.39
Ovino	10000	10	1.16
Sub Total			4.55
Otros (10%)			0.45
Total			5

*Fuente: Elaboración propia*

### 6.5.3. Demanda agrícola

La determinación de la demanda de campo se basó en el levantamiento de información in situ, consolidado en una cédula de cultivo diseñada específicamente para el proyecto. El análisis comparativo evaluó dos escenarios de operación continua (24 horas): un sistema de riego por gravedad y una alternativa por aspersión. Los resultados arrojaron un módulo de riego máximo de 0.74 l/s/ha para el método convencional, mientras que la tecnificación por aspersión optimiza el requerimiento a 0.44 l/s/ha. Con un área beneficiaria de 945 ha, el balance consolidado de las demandas agrícola, poblacional y pecuaria se detalla en las siguientes tablas (Ver tabla 30 y tabla 31)

Tabla 30

*Demanda agrícola proyecto Quisco (gravedad)*

CULTIVOS	%	ÁREA (ha)	VALORES POR GRAVEDAD											
			MESES											
			JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Avena Forrajera	16%	72.40					0.90	0.88	1.00	1.16	1.16	1.09		
Rye grass inglés + trebol Rojo + Rye grass Italiano + trebol Blanco	24%	108.60	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Alfalfa + Dactylis glomerata	60%	271.50	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Total Area Anualmente		452.50												
Area Fisica Total		452.50												
Intensidad de Uso		1.00												
Area Cultivada Mensual (ha)			380.10	380.10	380.10	380.10	452.50	452.50	452.50	452.50	452.50	452.50	380.10	380.10
Requerimiento neto (mm. Sobre el area cultivada)			65.46	70.67	64.83	60.12	41.90	21.76	6.09	0.00	10.13	41.13	68.44	64.14
Requerimiento volumetrico de agua (m³/ha)			654.56	706.72	648.28	601.24	419.04	217.57	60.95	0.00	101.27	411.35	684.44	641.36
Eficiencia de riego			0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Numero de horas de riego			24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Modulo de riego (l/s/ha)			0.69	0.74	0.71	0.63	0.46	0.23	0.06	0.00	0.11	0.45	0.72	0.70
Caudal demandado (l/s)			262.06	282.95	268.20	240.72	206.38	103.70	29.05	0.00	48.27	202.59	274.03	265.34
Numero de Días			31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00
Volumen Requerido por Mes			701,910	757,843	695,176	644,733	534,942	277,752	77,805	0	129,284	525,126	733,951	687,755
								Riego de Machaco						

*Fuente: Basado en la información del Expediente Técnico del PLAN MERISS 2017*

Tabla 31

*Demanda agrícola proyecto Quisco (aspersión).*

CULTIVOS	%	ÁREA (ha)	VALORES POR ASPERSIÓN											
			MESES											
			JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Avena Forrajera	16%	78.80					0.90	0.88	1.00	1.16	1.16	1.09		
Rye grass inglés + trebol Rojo + Rye grass Italiano + trebol Blanco	24%	118.20	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Alfalfa + Dactylis glomerata	60%	295.50	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Total Area Anualmente		492.50												
Area Fisica Total		492.50												
Intensidad de Uso		1.00												
Area Cultivada Mensual (ha)			413.70	413.70	413.70	413.70	492.50	492.50	492.50	492.50	492.50	492.50	413.70	413.70
Requerimiento neto (mm. Sobre el area cultivada)			65.46	70.67	64.83	60.12	41.90	21.76	6.09	0.00	10.13	41.13	68.44	64.14
Requerimiento volumetrico de agua (m³/ha)			654.56	706.72	648.28	601.24	419.04	217.57	60.95	0.00	101.27	411.35	684.44	641.36
Eficiencia de riego			0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Numero de horas de riego			24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Modulo de riego (l/s/ha)			0.41	0.44	0.42	0.38	0.27	0.14	0.04	0.00	0.06	0.27	0.43	0.42
Caudal demandado (l/s)			169.80	183.33	173.78	155.97	133.72	67.19	18.82	0.00	31.28	131.27	177.55	171.92
Numero de Días			31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00
Volumen Requerido por Mes			454,789	491,030	450,426	417,742	346,605	179,964	50,412	0	83,767	340,246	475,550	445,618
									Riego de Machaco					

*Fuente: Basado en la información del Expediente Técnico del PLAN MERISS 2017*

En resumen, para calcular la demanda total del proyecto se debe realizar lo siguiente:

- Riego por Gravedad: 0.74 l/s/ha



- Riego por Aspersión: 0.44 l/s/ha

Ahora, calculamos la demanda total agrícola con los datos de área:

- Demanda de Riego por Gravedad:  $452\text{ha} \times 0.74 \text{ l/s/ha} = 334.48 \text{ l/s}$
- Demanda de Riego por Aspersión:  $493\text{ha} \times 0.44 \text{ l/s/ha} = 216.92 \text{ l/s}$
- Demanda Agrícola Total:  $334.48 \text{ l/s} + 216.92 \text{ l/s} = 551.40 \text{ l/s}$

Dado eso la demanda total del proyecto vendría a ser la siguiente:

$D_r = \text{Demanda Poblacional} + \text{Demanda Pecuaria} + \text{Demanda Agrícola}$

$D_r = 4.03 \text{ l/s} + 5 \text{ l/s} + 551.40 \text{ l/s}$

$D_r = 560.43 \text{ l/s}$

Luego, convertiremos este valor a milímetros por año sobre el área de la cuenca (42.46 km<sup>2</sup>).

Demanda total en mm/año

$$D_r \left( \frac{\text{mm}}{\text{año}} \right) = \frac{560.43 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 31536000 \frac{\text{s}}{\text{año}}}{42460000 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * \frac{1000 \text{ mm}}{\text{m}}$$

$D_r = 416.24 \text{ mm/año}$

## 6.6. BALANCE HÍDRICO

En este apartado se desarrolla la simulación del funcionamiento del embalse, determinando la dinámica del volumen almacenado en intervalos mensuales. Este análisis de operación permite contrastar la oferta hídrica frente a la demanda del proyecto. Para asegurar la confiabilidad del suministro destinado al riego, el modelo integra variables críticas: la precipitación efectiva al 75 % de persistencia, los caudales de ingreso por escorrentía superficial y las pérdidas del sistema (evaporación e infiltración en el vaso). El estudio se fundamenta en el principio de continuidad o balance hídrico, cuya ecuación de gobierno se presenta a continuación.

$$\Delta A = P + Q_a - E - Q_e - D_r$$



Siendo:

- $\Delta A$  = Cambio en el almacenamiento ( $m^3$ )
- P = Precipitación total del mes ( $mm$ )
- E = Pérdidas por evaporación ( $mm$ )
- Qa = Escurrimiento superficial, flujo subterráneo, acuíferos, escurrimiento superficial de otras cuencas, etc. ( $m^3$ )
- Qe = Pérdidas por infiltración ( $mm$ )
- Dr = Demanda de proyecto ( $m^3$ )

#### 6.6.1. Procedimientos para calcular el balance hídrico de la Presa de Quisco

Cálculo de la precipitación al 75% de persistencia anual

Para cada estación, se hizo lo siguiente:

- Ordenar los datos anuales de precipitación de menor a mayor.
- Calcular la posición del percentil 75:
- N=número total de datos: 35
- Posición =  $(N+1) \cdot (1-\text{Percentil})$

En este caso el percentil es 0.75 (para 75% de Persistencia)

Calculando la Posición=  $(35+1) \cdot (1-0.75) = 9$

Esto significa que el valor de precipitación al 75% de persistencia será el noveno valor más bajo en la lista de datos ordenada de menor a mayor. (Ver tabla 32)

Tabla 32

*Resumen de precipitación anual ordenada de menor a mayor para calcular la persistencia al 75%*

RESUMEN DE PRECIPITACIONES ANUAL ORDENADA						
N°	KAYRA	CAYCAY	CCATCCA	POMACANCHI	PARURO	PISAC
1	412.90	219.30	443.60	643.30	591.90	352.00
2	517.30	256.55	524.94	694.08	631.01	376.15



3	520.40	344.72	537.90	700.77	666.96	423.55
4	525.50	351.21	538.30	703.20	683.40	439.00
5	543.10	358.41	550.58	706.74	710.30	440.96
6	544.30	367.18	551.90	718.39	737.50	445.30
7	560.00	374.20	557.30	757.38	738.41	448.70
8	584.65	405.13	565.50	758.42	744.90	455.04
9	590.40	422.02	569.50	779.69	754.50	456.80
PRECIPITACION ANUAL AL 75% DE PERSISTENCIA SERIA EL DE LA NOVENA POSICION						
PROMEDIO	595.49					

Fuente: *Elaboración propia*

Para calcular el escurrimiento superficial (Qa):

Utilizamos la precipitación y el coeficiente de escorrentía  $C_i = 0.36$

$$Q_a = P \times C_i = 595.49 \text{ mm/año} \times 0.36$$

$$Q_a = 214.38 \text{ mm/año}$$

Ahora, realizamos el balance hídrico anual usando los datos de precipitación al 75% de persistencia:

- Precipitación (P): 595.49 mm/año
- Escorrentía (Qa): 214.38 mm/año
- Evapotranspiración (E): 101.425 mm/año
- Infiltración (Qe): 0 mm/año (es cero debido a la geomembrana de impermeabilización).
- Demanda (Dr): 416.24 mm/año

$$\Delta A = P + Q_a - E - Q_e - D_r$$

$$\Delta A = 595.49 + 214.38 - 101.425 - 0 - 416.24$$

$$\Delta A = 809.87 - 517.665$$

$$\Delta A = 292.205 \text{ mm/año}$$





#### 6.6.2. Sostenibilidad del déficit (análisis de la viabilidad)

Con el cálculo, el balance hídrico no presenta un déficit, sino un excedente de 290.205 mm/año. Por lo tanto, no hay un déficit que sustentar. El proyecto es técnicamente viable bajo un escenario de precipitación al 75% de persistencia y con las eficiencias de riego especificadas.

El volumen de embalse de 8.21 MMC (8.21 millones de metros cúbicos) es el respaldo que hace posible el proyecto. Este volumen se usa para asegurar el suministro de agua en periodos de tiempo más secos que un año de 75% de persistencia, o durante las estaciones secas. La justificación de su necesidad se basa en que, aunque el balance anual sea positivo, los meses de menor precipitación podrían generar déficits momentáneos que el embalse cubrirá.



## CAPITULO VII: GEOFÍSICA

### GENERALIDADES

Los estudios geofísicos son métodos Indirectos que ayudan a corroborar a través de métodos directos como es el caso de perforaciones diamantinas, la estratigrafía del terreno en estudio, para este caso se realizaron líneas de refracción sísmicas, ensayos MASW y tomografía eléctrica, ensayos que nos proporcionaran de manera cuantitativa los estratos que subyacen a la presa. A continuación, describiremos los equipos y los ensayos que se ejecutaron:

#### 7.1. ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

El método de Refracción Sísmica se fundamenta en la medición de los tiempos de llegada de las ondas longitudinales o compresionales (Ondas P), las cuales son inducidas mediante una fuente de energía impulsiva. El procedimiento registra el tiempo que tardan estas ondas en propagarse desde el punto de emisión o punto de disparo (shot) hasta una serie de sensores (geófonos) estratégicamente distribuidos a lo largo de una línea sísmica.

##### 7.1.1. Trabajo de campo

La exploración geofísica se planificó mediante una distribución estratégica de las unidades de prospección en el área de influencia del proyecto. En total, se ejecutaron cinco (05) líneas de refracción sísmica, cuyas longitudes fueron dimensionadas de acuerdo a la profundidad de investigación requerida y la accesibilidad del terreno.

La tabla siguiente presenta un resumen de ubicación de las líneas sísmicas realizadas en la zona de estudio (Ver tabla 33).

Tabla 33

#### *Ubicación de Ensayos de Refracción Sísmica*

N°	SONDEO	LONGITUD (m)	COORDENADAS UTM (WGS'84)			
			INICIO		FIN	
			ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
1	LST-01	400	266480	8369121	266730	8368809
2	LST-02	400	266680	8368791	266430	8369103
3	LST-03A	250	266362	8369087	266519	8368892



4	LST-03B	150	266626	8368758	266529	8368879
5	LST-04	250	266468	8368857	266660	8369008

Fuente: Elaboración propia

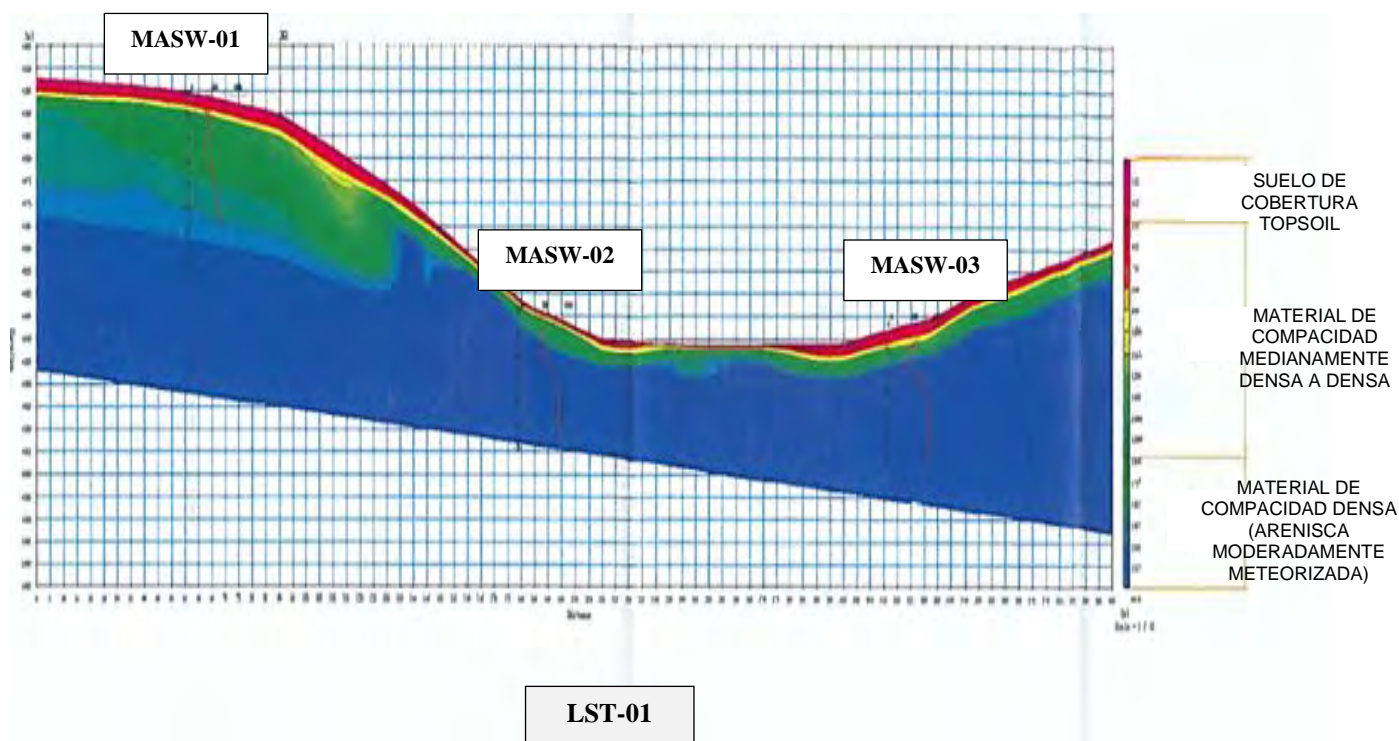
### 7.1.2. Procesamiento e interpretación del ensayo de refracción sísmica

El procesamiento e interpretación de los perfiles sísmicos se efectuó mediante la suite de software PickWin y PlotRefra. En la fase inicial, PickWin facilitó la identificación y el 'picado' de los tiempos de primera llegada en los sismogramas. Posteriormente, PlotRefra generó el modelo de profundidad a partir de estos datos, empleando el método de los mínimos cuadrados para el cálculo de velocidades y el método de tiempo de retardo para la estimación de espesores. El proceso incluyó un ajuste topográfico mediante un procedimiento iterativo, asegurando que el modelo geofísico final presente una alta convergencia con la geología observada en superficie.

#### 7.1.2.1. Perfil de refracción sísmica LST-01

Figura 30

Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-01



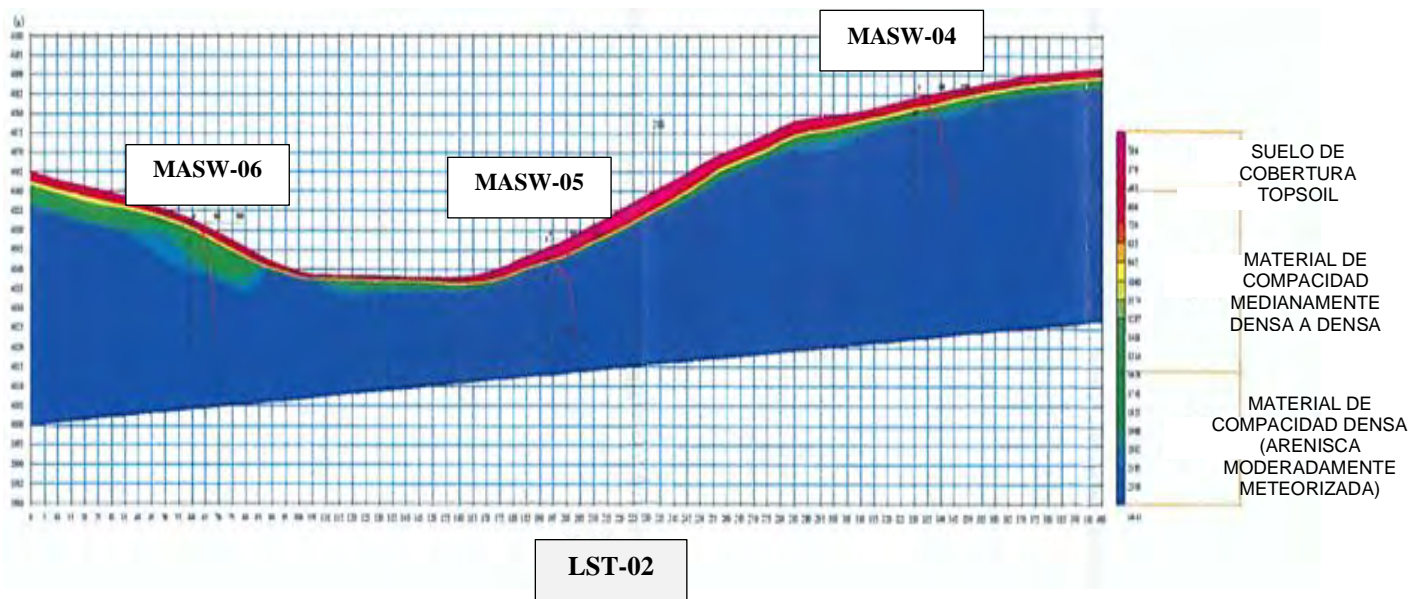
De acuerdo al ensayo de refracción sísmica se ha determinado 3 estratos:

- Estrato 01 ( $V_p(m/s)$  200-500): suelo de cobertura con un espesor de 3m a 5m.
- Estrato 02 ( $V_p(m/s)$  500-1600): Material de compacidad medianamente densa a densa con un espesor de 3m a 20m.
- Estrato 03 ( $V_p(m/s)$  >1600): Material de capacidad densa tobas de resistencia media a baja con un espesor de hasta 50m.

#### 7.1.2.2. Perfil de refracción sísmica LST-02

Figura 31

Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-02



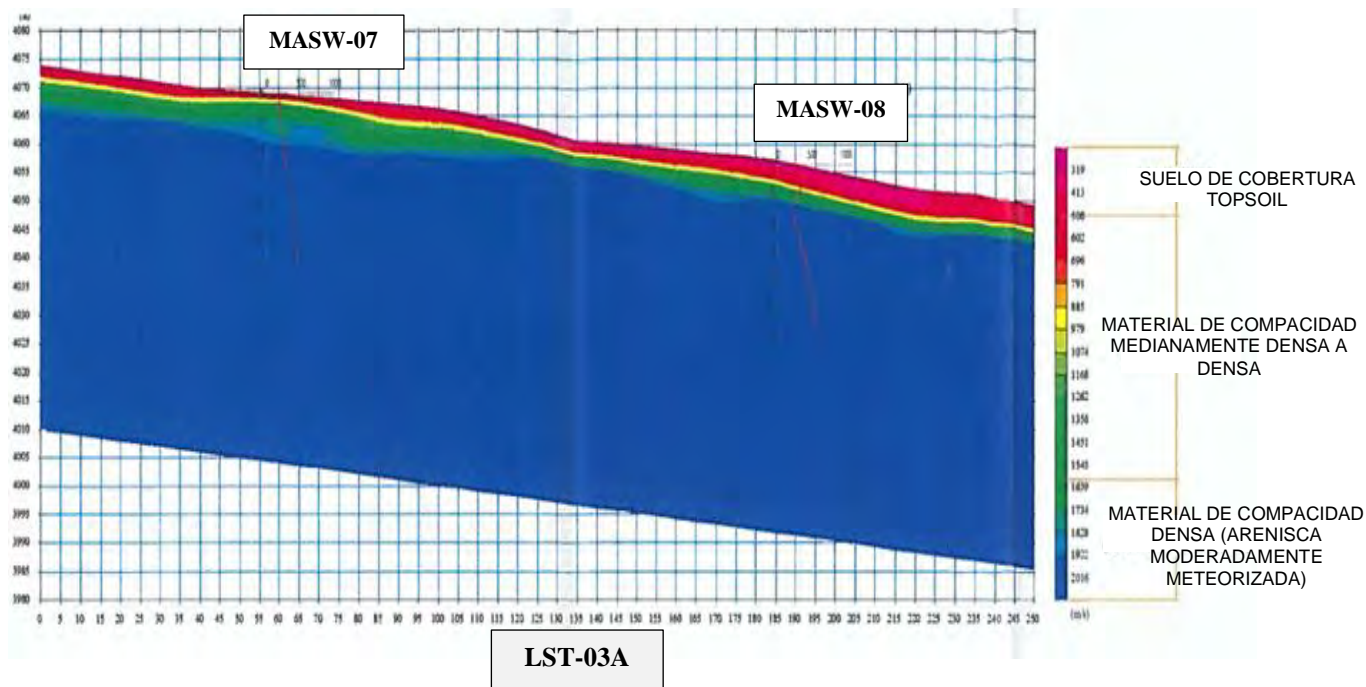
De acuerdo al ensayo de refracción sísmica se ha determinado 3 estratos:

- Estrato 01 ( $V_p(m/s)$  200-500): suelo de cobertura con un espesor de 3m a 5m.
- Estrato 02 ( $V_p(m/s)$  500-1600): Material de compacidad medianamente densa a densa con un espesor de 2m a 10m.
- Estrato 03 ( $V_p(m/s)$  >1600): Material de capacidad densa tobas de resistencia media a baja con un espesor de hasta 50m.

### 7.1.2.3. Perfil de refracción sísmica LST-03

Figura 32

Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-03<sup>a</sup>



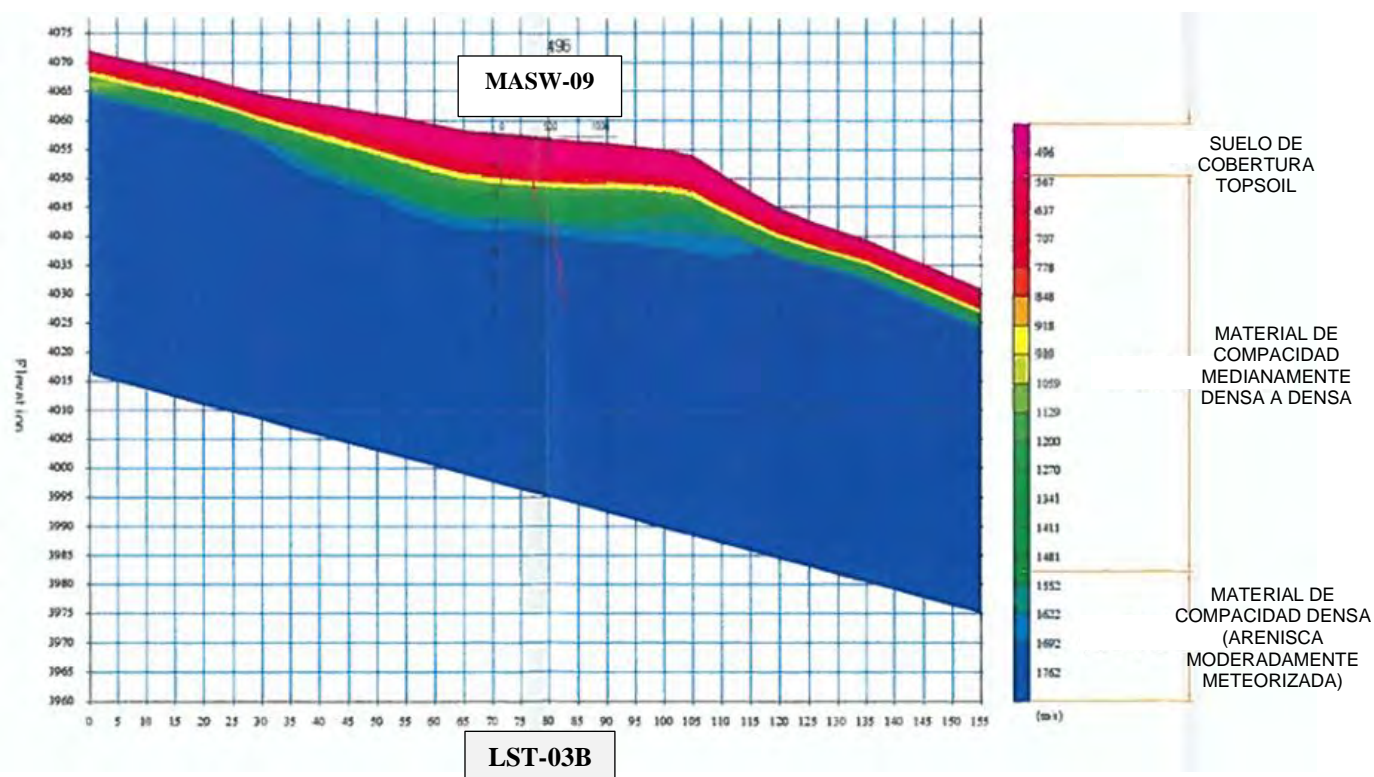
De acuerdo al ensayo de refracción sísmica se ha determinado 3 estratos:

- Estrato 01 ( $V_p$ (m/s) 200-500): suelo de cobertura con un espesor de 2m a 4m.
- Estrato 02 ( $V_p$ (m/s) 500-1600): Material de compacidad medianamente densa a densa con un espesor de 3m a 7m.
- Estrato 03 ( $V_p$ (m/s) >1600): Material de capacidad densa tobas de resistencia media a baja con un espesor de hasta 50m.



Figura 33

*Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-03B*



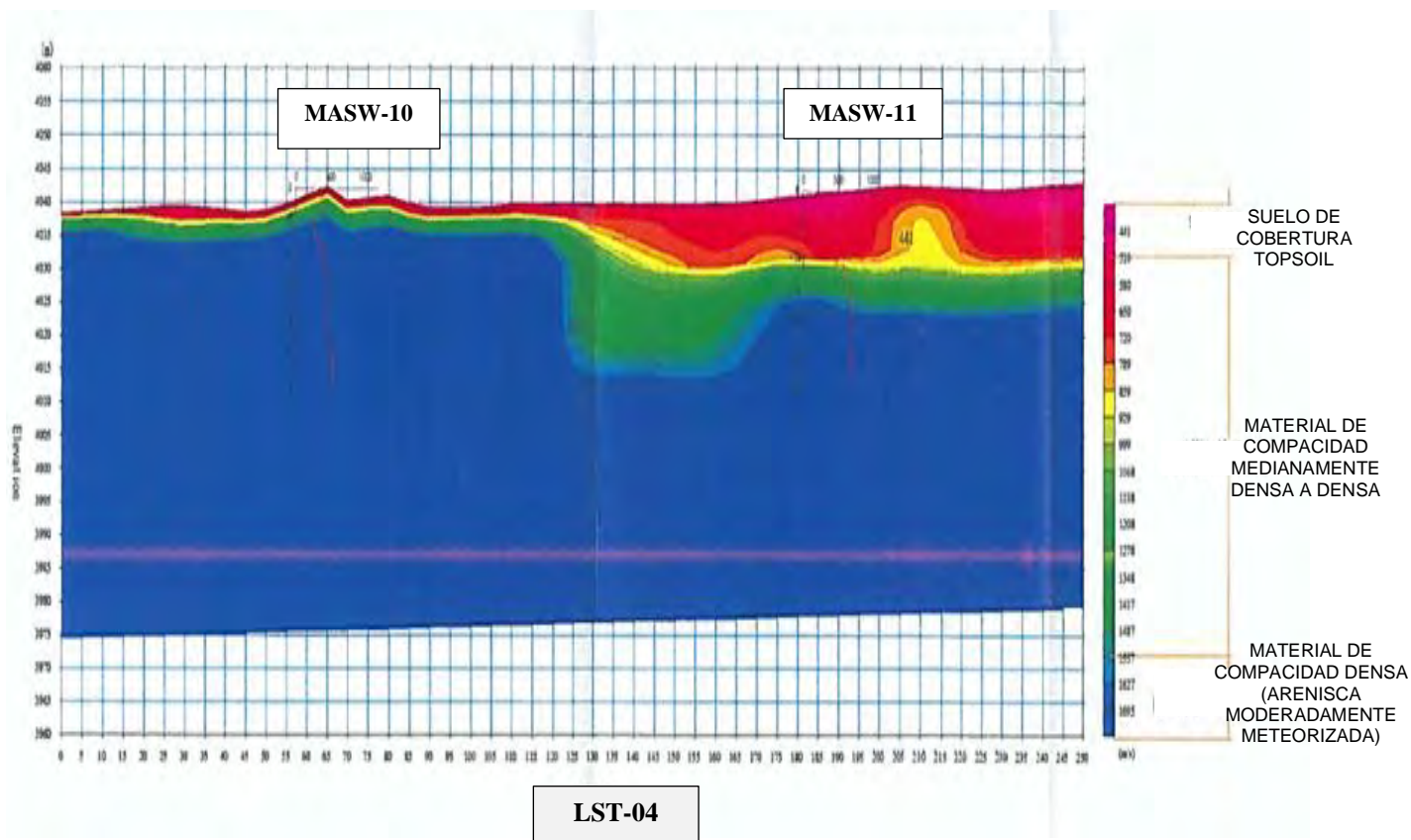
De acuerdo al ensayo de refracción sísmica se ha determinado 3 estratos

- Estrato 01 ( $V_p$ (m/s) 200-500): suelo de cobertura con un espesor de 1m a 5m.
- Estrato 02 ( $V_p$ (m/s) 500-1600): Material de compacidad medianamente densa a densa con un espesor de 3m a 15m.
- Estrato 03 ( $V_p$ (m/s) >1600): Material de capacidad densa tobas de resistencia media a baja con un espesor de hasta 50m.

#### 7.1.2.4. Perfil de refracción sísmica LST-04

Figura 34

Perfil sísmico de velocidades de ondas P en la línea de LST-04



De acuerdo al ensayo de refracción sísmica se ha determinado 3 estratos

- Estrato 01 ( $V_p$ (m/s) 200-500): suelo de cobertura con un espesor de 1m a 5m.
- Estrato 02 ( $V_p$ (m/s) 500-1600): Material de compacidad medianamente densa a densa con un espesor de 3m a 15m.
- Estrato 03 ( $V_p$ (m/s) >1600): Material de capacidad densa tobas de resistencia media a baja con un espesor de hasta 50m.

La tabla siguiente muestra en resumen los resultados obtenidos de campo para cada una de las líneas sísmicas ejecutadas en el área proyectada. (Ver tabla 34)



Tabla 34

*Resultados de ensayos de refracción sísmica (Vp)*

N°	LÍNEA	ESTRATO	Vp (m/s)	ESPESOR (m)
1	LST-01	Suelo de cobertura - Top Soil	200 - 500	De 3 a 5m
2		Material de compacidad medianamente densa a densa	500 - 1600	De 3 a 20m
3		Material de compacidad densa - Tobas de resistencia baja a media	>1600	Hasta 50m de investigación
4	LST-02	Suelo de cobertura - Top Soil	200 - 500	De 3 a 5m
5		Material de compacidad medianamente densa a densa	500 - 1600	De 2 a 10m
6		Material de compacidad densa - Tobas de resistencia baja a media	>1600	Hasta 50m de investigación
7	LST-03A	Suelo de cobertura - Top Soil	200 - 500	De 2 a 4m
8		Material de compacidad medianamente densa a densa	500 - 1600	De 3 a 7m
9		Material de compacidad densa - Tobas de resistencia baja a media	>1600	Hasta 50m de investigación
10	LST-03B	Suelo de cobertura - Top Soil	200 - 500	De 2 a 6m
11		Material de compacidad medianamente densa a densa	500 - 1600	De 2.5 a 8m
12		Material de compacidad densa - Tobas de resistencia baja a media	>1600	Hasta 50m de investigación
13	LST-04	Suelo de cobertura - Top Soil	200 - 500	De 1 a 5m
14		Material de compacidad medianamente densa a densa	500 - 1600	De 3 a 15m
15		Material de compacidad densa - Tobas de resistencia baja a media	>1600	Hasta 50m de investigación

*Fuente: Elaboración propia*

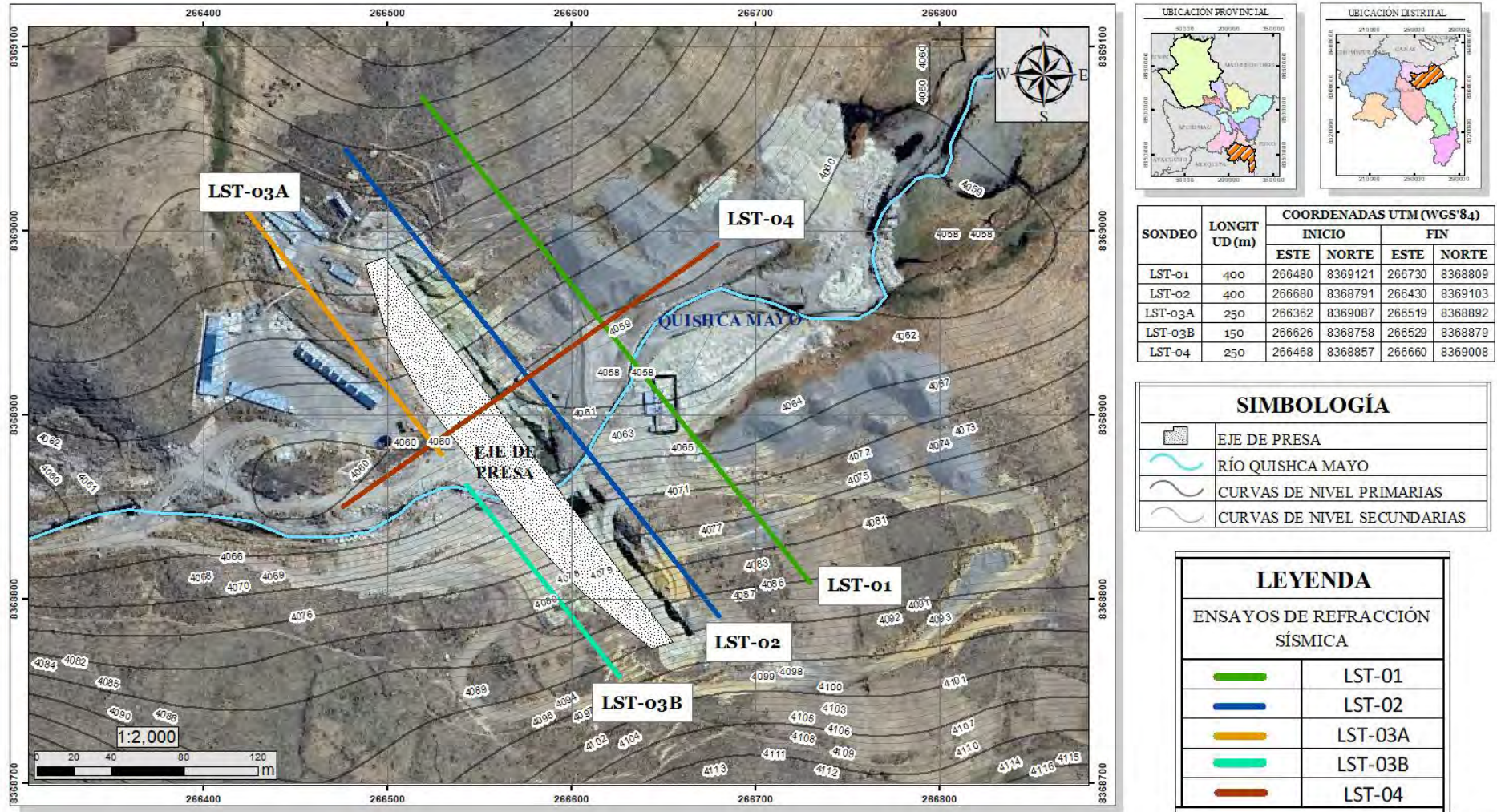
Se concluye de estos ensayos de refracción sísmica, presentes en el estrato 3 de areniscas tobáceas de baja resistencia a media, que están en proceso de litificación, servirá como apoyo estructural para la construcción de la presa de Quisco.








Figura 35

Mapa de ubicación de ensayos de Refracción sísmica



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO		TESIS	MAPA DE UBICACIÓN DE ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA					Nº LÁMINA: <b>Fig-35</b>		
				SISTEMA DE COORDENADAS		UBICACIÓN		Escala: 1/2,000	ELABORADO POR:		
	DATUM			WG S84	DEPARTAMENTO	CUSCO		Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO Br. MICHAEL RAMIREZ POCO			
	ZONA			19L	PROVINCIA	ESPINAR					
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024"			ASESOR:		DRA. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ		
									DISTRITO		ALTO PICHIGUA



## 7.2. MEDICIÓN DE ONDAS DE SUPERFICIE EN ARREGLOS MULTICANALES (MASW)

De manera complementaria, se ejecutaron ensayos de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) con el objetivo de caracterizar el perfil de rigidez del subsuelo mediante la determinación de las velocidades de ondas de corte Vs. Estos ensayos están orientados a determinar lo siguiente:

- Perfil estratigráfico del suelo en función a sus características dinámicas.
- Características dinámicas de los estratos en función a las velocidades de las ondas de corte Vs.
- Parámetros de deformación dinámica de los suelos.

### 7.2.1. Trabajos de campo

Esta técnica permitió inducir las ondas de superficie necesarias para el análisis de dispersión en el subsuelo. En total, se desplegaron once (11) líneas de prospección distribuidas estratégicamente en el área de estudio para mapear el perfil de velocidades de ondas de corte Vs. El detalle de la ubicación geográfica y la nomenclatura de cada ensayo se presenta en la siguiente tabla. (Ver tabla 35)

Tabla 35

*Ubicación de ensayos MASW*

N°	SONDEO	COORDENADAS UTM (WGS'84)	
		ESTE (m)	NORTE (m)
1	MASW-01	266519	8369073
2	MASW-02	266597	8368975
3	MASW-03	266683	8368868
4	MASW-04	266641	8368840
5	MASW-05	266555	8368947
6	MASW-06	266469	8369055
7	MASW-07	266398	8369042
8	MASW-08	266480	8368941
9	MASW-09	266577	8368819
10	MASW-10	266525	8368879





11	MASW-11	266614	8368966
----	---------	--------	---------

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.2. Procesamiento e interpretación del ensayo MASW

Luego del procesamiento de información se ha obtenido el siguiente registro de velocidad de ondas Vs para diferentes profundidades.

Tabla 36

Clasificación sísmica ASCE - 2010

Tipo de suelo	Denominación del suelo	Velocidad de onda de corte Vs30(m/s)	Resistencia a la penetración estándar SPT
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo Rígido	$180 < V_s < 360$	<b><math>15 \leq N \leq 50</math></b>
E	Suelo Blando	$V_s < 180$	$N < 15$

Fuente: Elaboración propia

#### 7.2.2.1. MASW-1

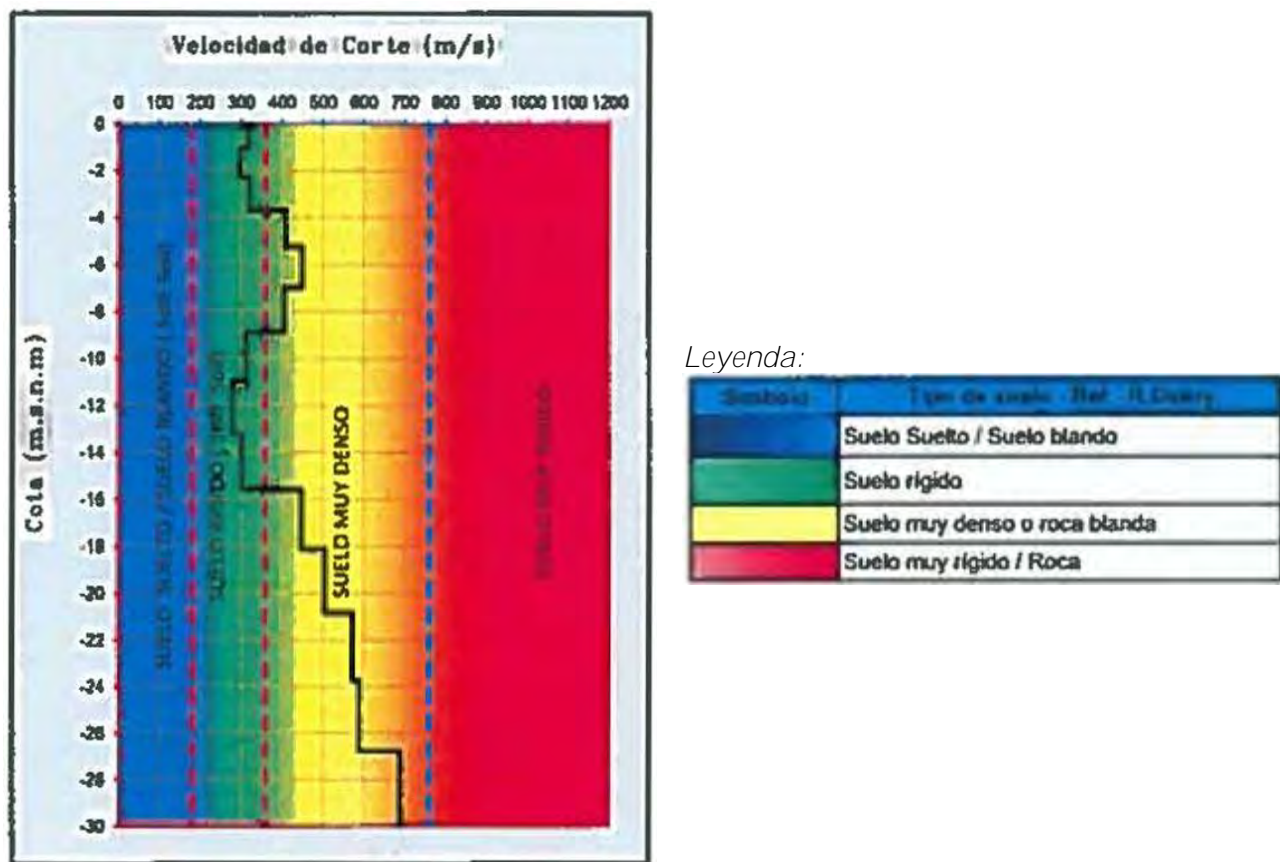
De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 4 estratos:

- Estrato sísmico 01 ( $V_s=297\text{m/s}$ ) con una profundidad de 0.00 a 3.71m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=380\text{m/s}$ ) con una profundidad de 3.71 a 8.90m.
- Estrato sísmico 03 ( $V_s=449\text{m/s}$ ) con una profundidad de 8.90 a 15.58m.
- Estrato sísmico 04 ( $V_s=530\text{m/s}$ ) con una profundidad de 15.58 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=414 \text{ m/s}$  pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo intermedio.

Figura 36

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-1



#### 7.2.2.2. MASW-2

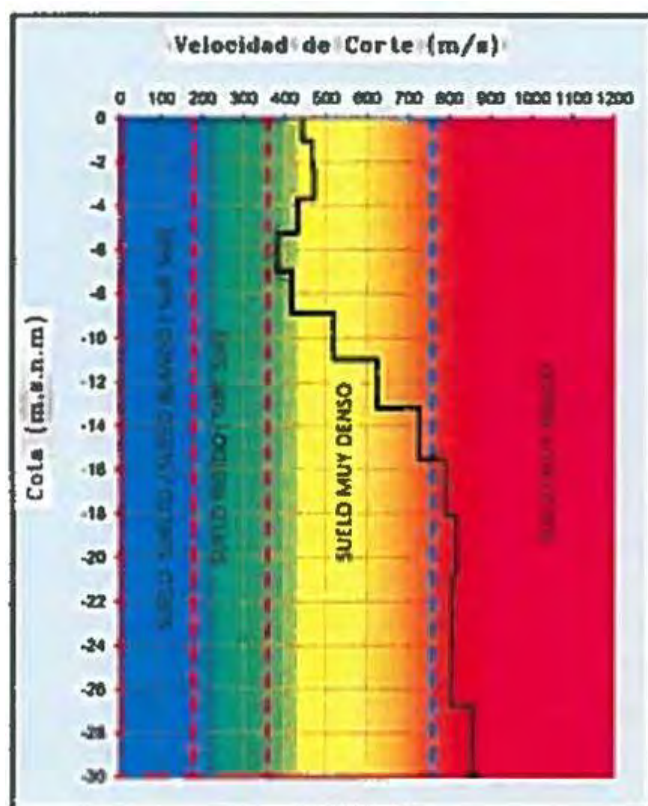
De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 2 estratos:

- Estrato sísmico 01 ( $V_s=418$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 15.58m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=535$  m/s) con una profundidad de 15.58 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=476.5$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo muy rígido.

Figura 37

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-2



Leyenda:

Color	Tipos de suelo: Ref. N.º 01
Azul	Suelo Suelto / Suelo blando
Verde	Suelo rígido
Amarillo	Suelo muy denso o roca blanda
Rojo	Suelo muy rígido / Roca

#### 7.2.2.3. MASW-3

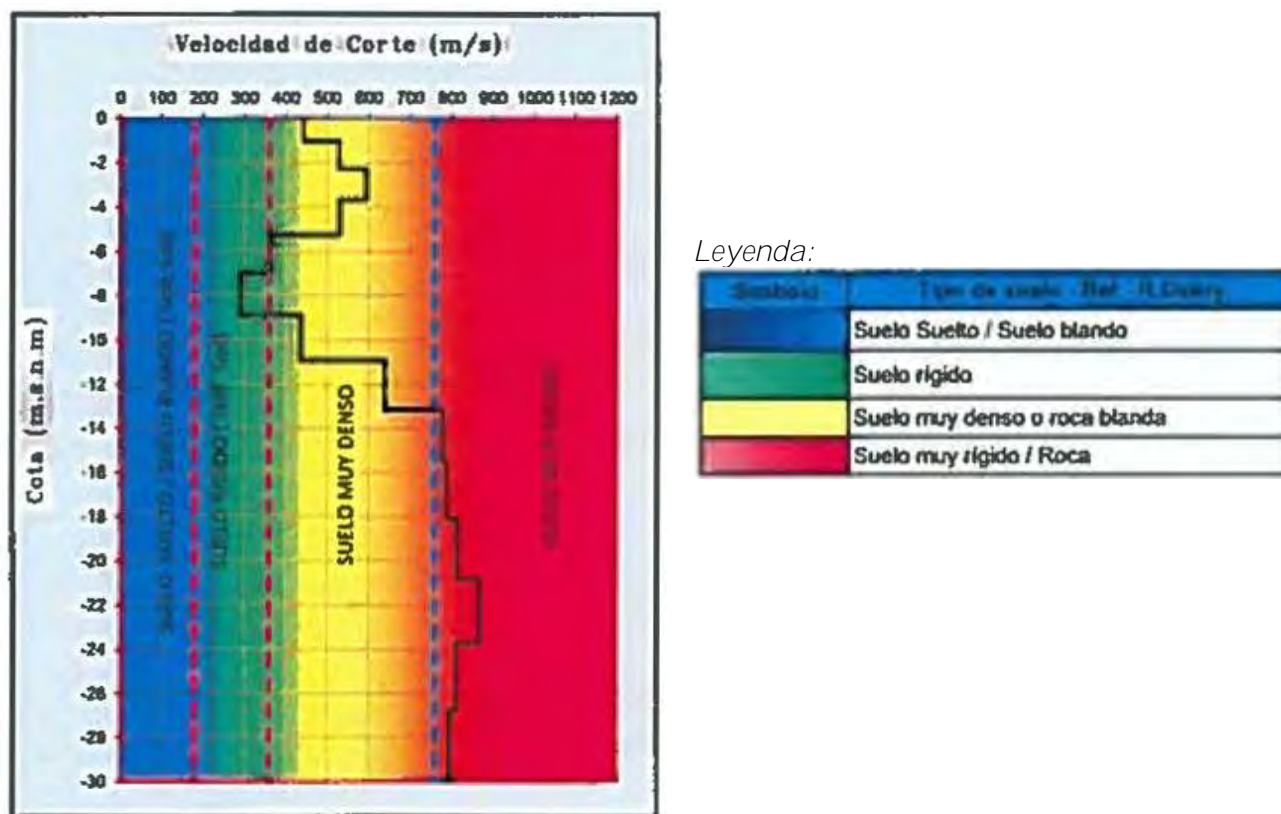
De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 4 estratos:

- Estrato sísmico 01 ( $V_s=235$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 7.01m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=309$  m/s) con una profundidad de 7.01 a 8.90m.
- Estrato sísmico 03 ( $V_s=473$  m/s) con una profundidad de 8.90 a 13.19m.
- Estrato sísmico 04 ( $V_s=541$  m/s) con una profundidad de 13.19 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=389.5$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo muy rígido.

Figura 38

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-3



#### 7.2.2.4. MASW-4

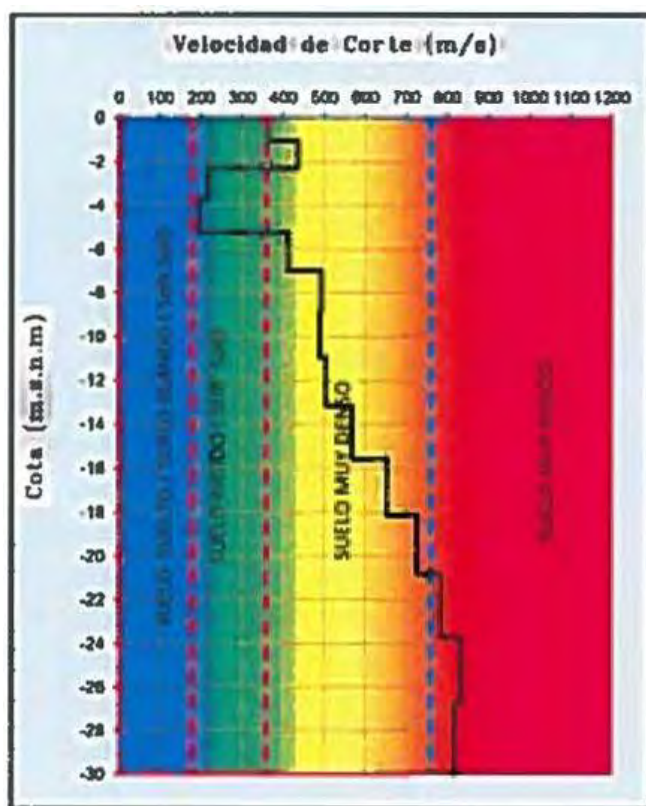
De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 4 estratos:

- Estrato sísmico 01 ( $V_s=410$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 2.31m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=435$  m/s) con una profundidad de 2.31 a 5.28m.
- Estrato sísmico 03 ( $V_s=506$  m/s) con una profundidad de 5.28 a 20.85m.
- Estrato sísmico 04 ( $V_s=552$  m/s) con una profundidad de 20.85 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=475.8$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo intermedio.

Figura 39

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-4



Leyenda:

Simbología	Tipo de suelo: Ref. - R. Cuerny
	Suelo Suelto / Suelo blando
	Suelo rígido
	Suelo muy denso o roca blanda
	Suelo muy rígido / Roca

#### 7.2.2.5. MASW-5

De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 5 estratos:

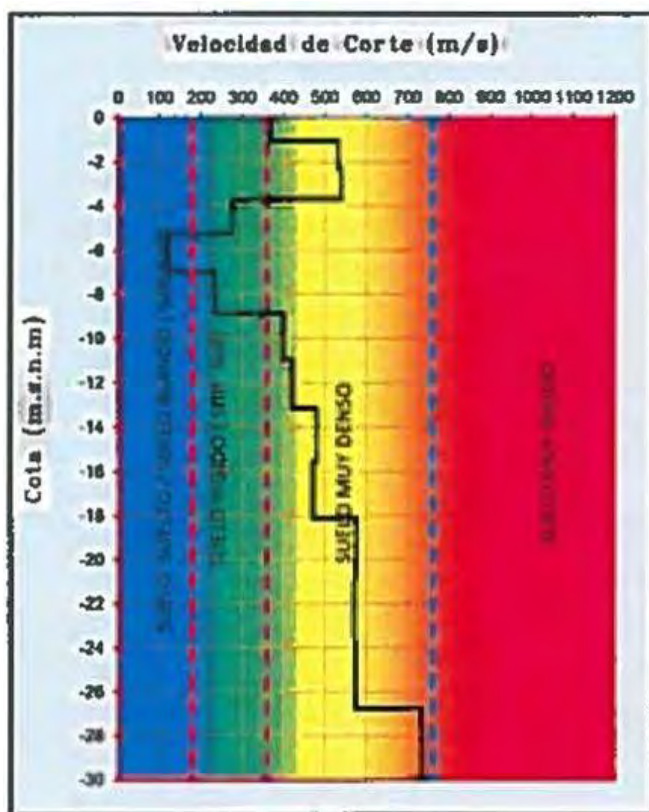
- Estrato sísmico 01 ( $V_s=234$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 3.71m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=276$  m/s) con una profundidad de 3.71 a 5.28m.
- Estrato sísmico 03 ( $V_s=367$  m/s) con una profundidad de 5.28 a 7.01m.
- Estrato sísmico 04 ( $V_s=532$  m/s) con una profundidad de 7.01 a 8.90m.
- Estrato sísmico 05 ( $V_s=576$  m/s) con una profundidad de 8.90 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=397$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo intermedio.



Figura 40

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-5



Leyenda:

Simbolo	Tipos de suelo: Ref. ILD 1997
	Suelo Suelto / Suelo blando
	Suelo rígido
	Suelo muy denso o roca blanda
	Suelo muy rígido / Roca

#### 7.2.2.6. MASW-6

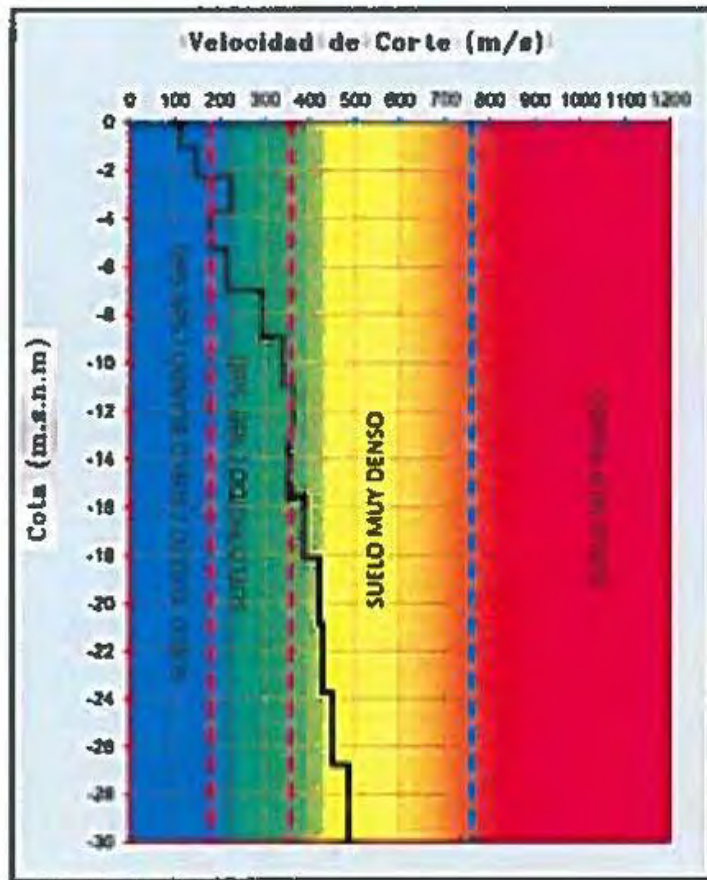
De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 7 estratos:

- Estrato sísmico 01 ( $V_s=147$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 2.31m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=224$  m/s) con una profundidad de 2.31 a 3.71m.
- Estrato sísmico 03 ( $V_s=295$  m/s) con una profundidad de 3.71 a 5.28m.
- Estrato sísmico 04 ( $V_s=295$  m/s) con una profundidad de 5.28 a 10.96m.
- Estrato sísmico 05 ( $V_s=352$  m/s) con una profundidad de 10.96 a 13.19m.
- Estrato sísmico 06 ( $V_s=364$  m/s) con una profundidad de 13.19 a 15.58m.
- Estrato sísmico 07 ( $V_s=428$  m/s) con una profundidad de 15.58 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=300.7$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo D, el cual viene a ser un suelo intermedio.

Figura 41

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-6



Leyenda:

Simbolo	Tipo de suelo / Roca / R. C. (m/s)
■	Suelo Suelto / Suelo blando
■	Suelo rígido
■	Suelo muy denso o roca blanda
■	Suelo muy rígido / Roca

#### 7.2.2.7. MASW-7

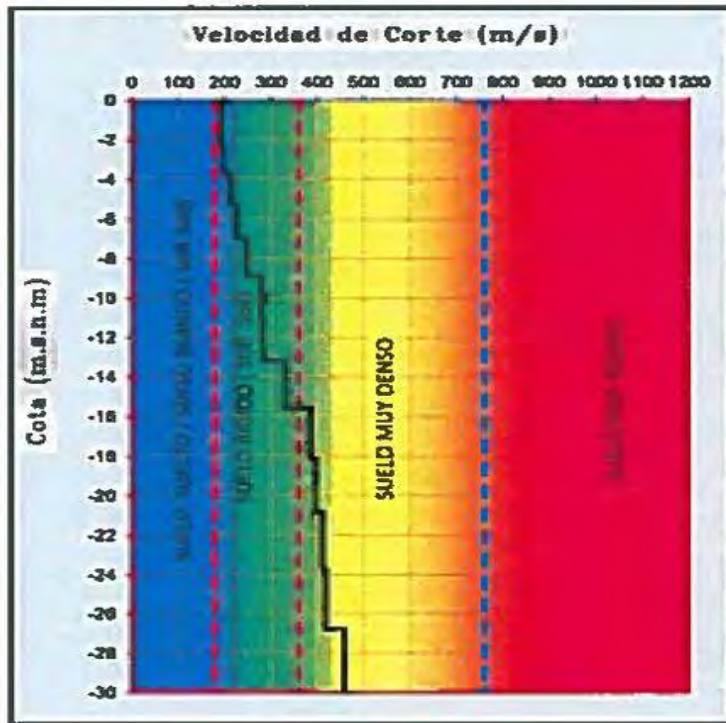
De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 2 estratos:

- Estrato sísmico 01 ( $V_s=323$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 15.58m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=412$  m/s) con una profundidad de 15.58 a 30.00m.





Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=367.5$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo intermedio.

Figura 42

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-7



Leyenda:

Simbolo	Tipo de suelo	Ref. ILDM 1997
	Suelo Suelto / Suelo blando	
	Suelo rígido	
	Suelo muy denso o roca blanda	
	Suelo muy rígido / Roca	

#### 7.2.2.8. MASW-8

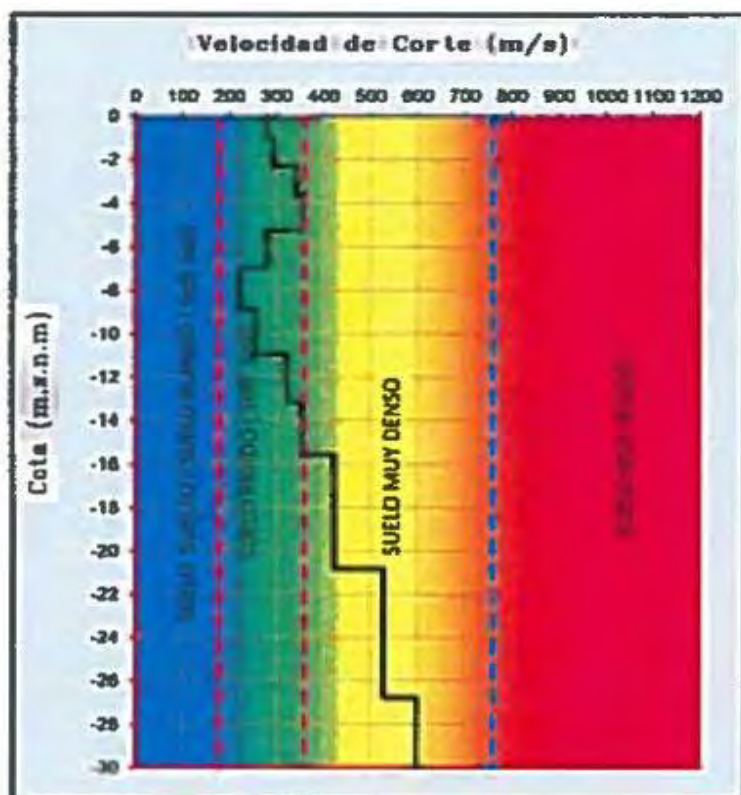
De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 2 estratos:

- Estrato sísmico 01 ( $V_s=356$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 15.58m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=527$  m/s) con una profundidad de 15.58 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=441.5$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo intermedio.

Figura 43

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-8



Leyenda:

Simbolo	Tipo de suelo Ref. I.L.Guery
	Suelo Suelto / Suelo blando
	Suelo rígido
	Suelo muy denso o roca blanda
	Suelo muy rígido / Roca

#### 7.2.2.9. MASW-9

De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 4 estratos:

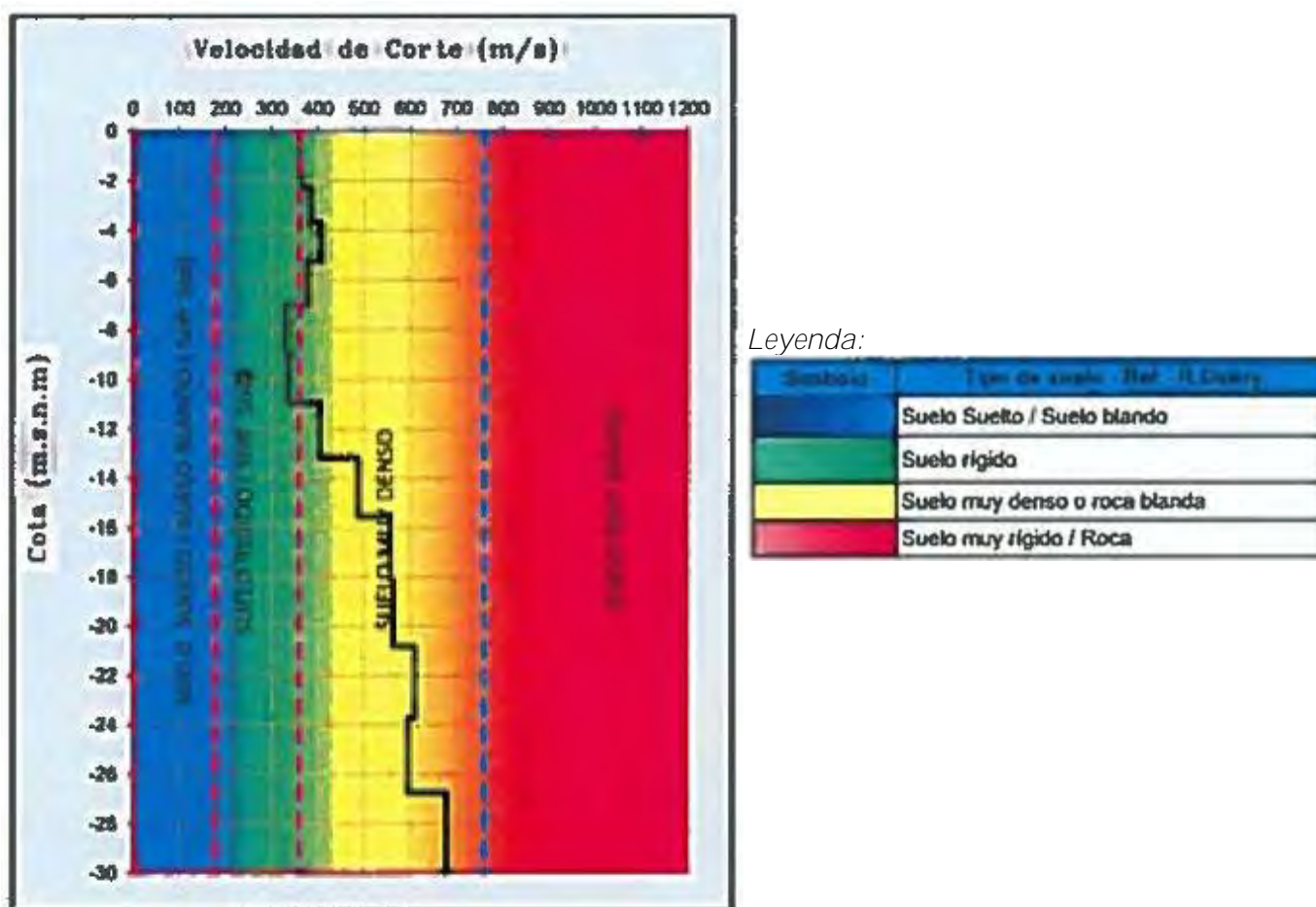
- Estrato sísmico 01 ( $V_s=336$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 1.07m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=360$  m/s) con una profundidad de 1.07 a 7.01m.
- Estrato sísmico 03 ( $V_s=384$  m/s) con una profundidad de 7.01 a 10.96m.
- Estrato sísmico 04 ( $V_s=563$  m/s) con una profundidad de 10.96 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=410.8$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo intermedio.



Figura 44

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-9



#### 7.2.2.10. MASW-10

De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 4 estratos:

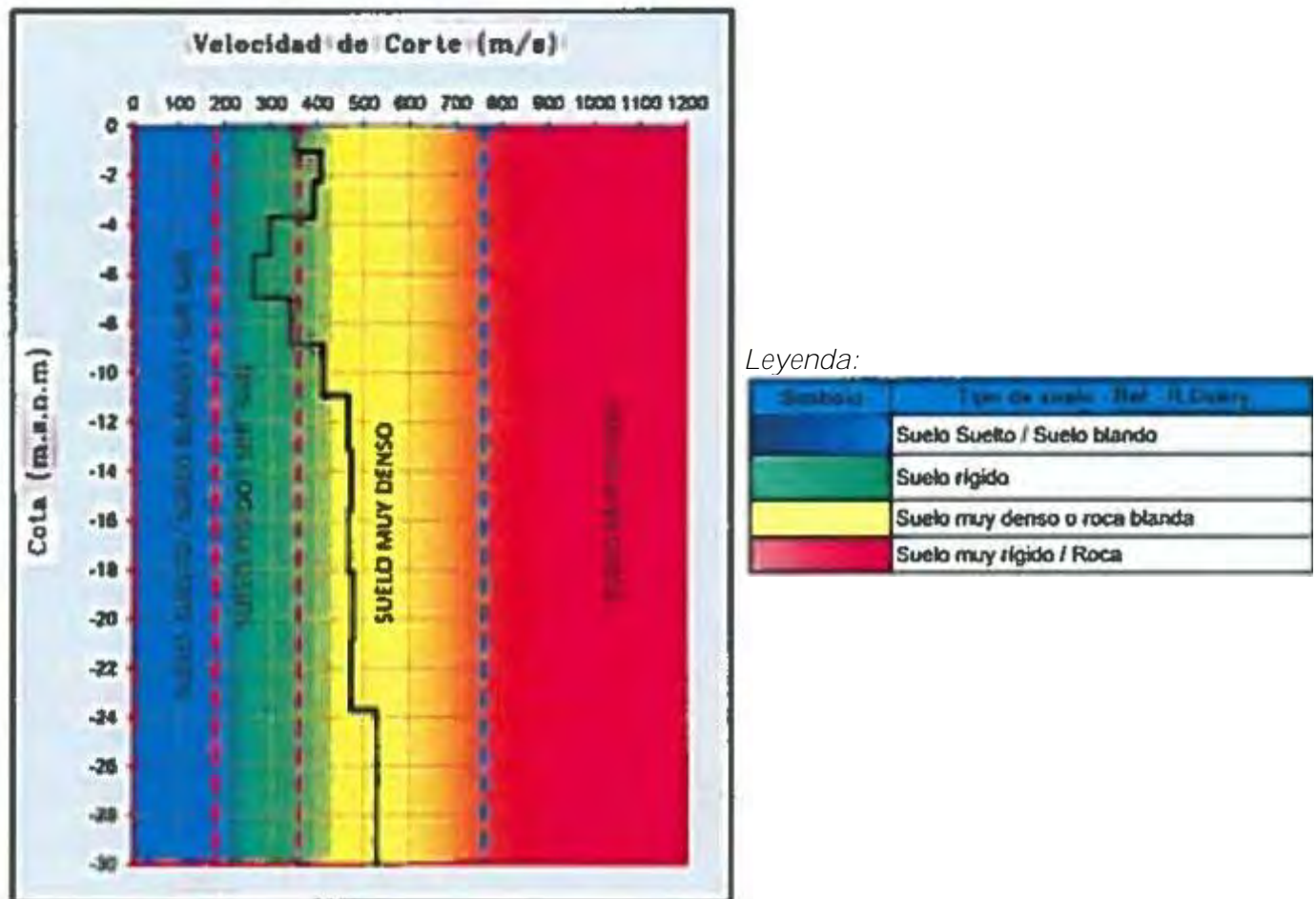
- Estrato sísmico 01 ( $V_s=261$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 1.07m.
- Estrato sísmico 02 ( $V_s=392$  m/s) con una profundidad de 1.07 a 3.71m.
- Estrato sísmico 03 ( $V_s=407$  m/s) con una profundidad de 7.01 a 8.90m.
- Estrato sísmico 04 ( $V_s=478$  m/s) con una profundidad de 8.90 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=384.5$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo intermedio.



Figura 45

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-10



#### 7.2.2.11. MASW-11

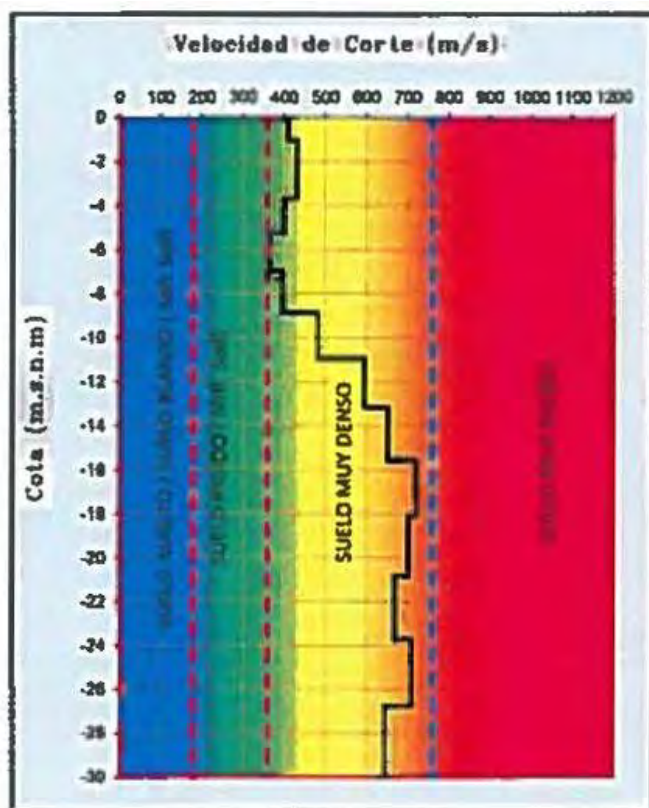
De acuerdo al ensayo de MASW se ha determinado 1 estratos:

- Estrato sísmico 01 ( $V_s=547$  m/s) con una profundidad de 0.00 a 30.00m.

Dándonos una velocidad de ondas de corte de  $V_s=547$  m/s pertenecientes a un tipo de suelo tipo C, el cual viene a ser un suelo muy rígido.

Figura 46

Perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte Vs la cota del ensayo MASW-11



Leyenda:

Símbolo	Tipo de suelo Ref. ILDM93
■	Suelo Suelto / Suelo blando
■	Suelo rígido
■	Suelo muy denso o roca blanda
■	Suelo muy rígido / Roca

Tabla 37

Resultados de ensayos MASW – 1,2,3 (Vs)

N°	MASW-1		MASW-2		MASW-3	
	Vs = 414 (Tipo C)		Vs = 476.5 (Tipo C)		Vs = 389.5 (Tipo C)	
	Prof (m)	Vs (m/s)	Prof (m)	Vs (m/s)	Prof (m)	Vs (m/s)
1	0.00 - 3.71	297	0.00 - 15.58	418	0.00 - 7.01	235
2	3.71 - 8.90	380	15.58 - 30.00	535	7.01 - 8.90	309
3	8.90 - 15.58	449	-	-	8.90 - 13.19	473
4	15.58 - 30.0	530	-	-	13.19 - 30.0	541

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38

Resultados de ensayos MASW – 4,5,6 (Vs)

N°	MASW-4	MASW-5	MASW-6
	Vs = 475.8 (Tipo C)	Vs = 397 (Tipo C)	Vs = 300.7 (Tipo D)



	Prof (m)	Vs (m/s)	Prof (m)	Vs (m/s)	Prof (m)	Vs (m/s)
1	0.00 - 2.31	410	0.00 - 3.71	234	0.00 - 2.31	147
2	2.31 - 5.28	435	3.71 - 5.28	276	2.31 - 3.71	224
3	5.28 - 20.85	506	5.28 - 7.01	367	3.71 - 5.28	295
4	20.85 - 30.0	552	7.01 - 8.90	532	5.28 - 10.96	295
5	-	-	8.90 - 30.0	576	10.96 - 13.19	352
6	-	-	-	-	13.19 - 15.58	364
7	-	-	-	-	15.58 - 30.0	428

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39

Resultados de ensayos MASW – 7,8,9 (Vs)

N°	MASW-7		MASW-8		MASW-9	
	Vs = 367.5 (Tipo C)		Vs = 441.5 (Tipo C)		Vs = 410.8 (Tipo C)	
	Prof (m)	Vs (m/s)	Prof (m)	Vs (m/s)	Prof (m)	Vs (m/s)
1	0.00 - 15.58	323	0.00 - 15.58	356	0.00 - 1.07	336
2	15.58 - 30.0	412	15.58 - 30.00	527	1.07 - 7.01	360
3	-	-	-	-	7.01 - 10.96	384
4	-	-	-	-	10.96 - 30.0	563

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40

Resultados de ensayos MASW – 10,11 (Vs)

N°	MASW-10		MASW-11	
	Vs = 384.5 (Tipo C)		Vs = 547 (Tipo C)	
	Prof (m)	Vs (m/s)	Prof (m)	Vs (m/s)
1	0.00 - 1.07	261	0.00 - 30.0	547
2	1.07 - 3.71	392	-	-
3	3.71 - 8.90	407	-	-
4	8.90 - 30.0	478	-	-

Fuente: Elaboración propia

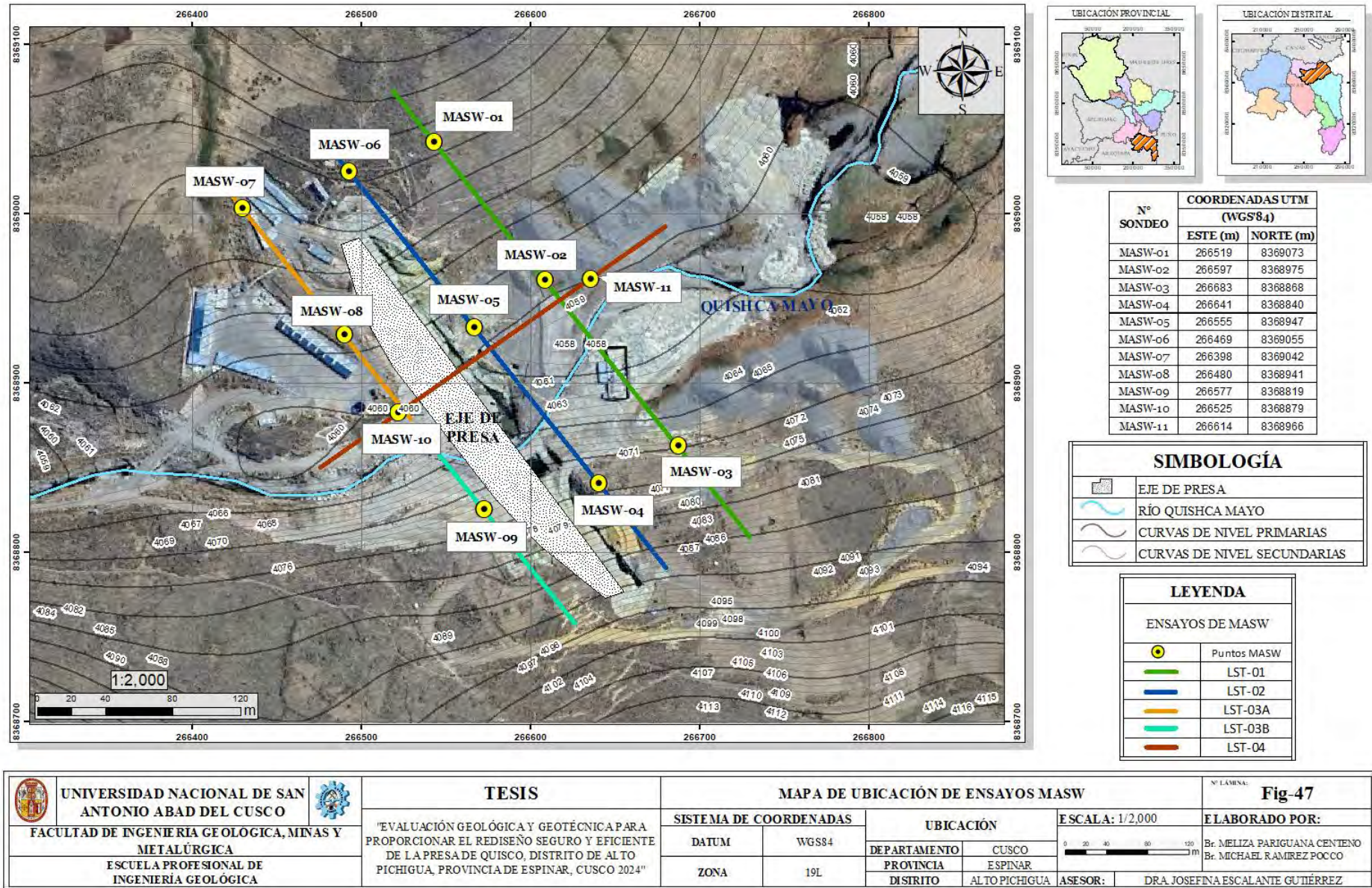
Se concluye de estos ensayos de medición de ondas de superficie en arreglos multicanales (MASW), que el terreno de la cimentación puede soportar la carga de la presa de concreto, siempre y cuando el diseño estructural presente implicaciones sísmicas.





Figura 47

Mapa de medición de ondas de superficie en arreglos multicanales (MASW)



Fuente: Elaboración propia



### 7.3. ENSAYO DE TOMOGRAFIA ELECTRICA

A pesar de que la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) emplea un sistema multielectródico automatizado, su sustento físico es intrínsecamente análogo al de los métodos de resistividad convencionales. Ambos se rigen por los mismos principios electrodinámicos de inyección de corriente y medición de potencial en el subsuelo, permitiendo calcular la resistividad aparente mediante la aplicación de la Ley de Ohm.

#### 7.3.1. Trabajos de campo

La investigación del subsuelo se llevó a cabo mediante el uso de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE), técnica fundamentada en el principio de resistividades diferenciales (Ver tabla 41). Este ensayo geoelectrico, de naturaleza no invasiva, permite la discriminación de las unidades litoestratigráficas a través de su respuesta ante un campo eléctrico inducido, correlacionando las variaciones de resistencia específica con la composición y el estado de saturación de los materiales encontrados.

Se realizaron un total de tres líneas de tomografía eléctrica, con la configuración tetraelectródica Polo-Dipolo y con electrodos espaciados cada 10 metros.

Tabla 41

*Ubicación de Ensayos de Tomografía Eléctrica*

N°	SONDEO	LONGITUD	COORDENADAS UTM (WGS'84)			
		(m)	INICIO		FIN	
			ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
1	TE-01	400	266362	8369087	266612	8368775
2	TE-02	400	266430	8369103	266680	8368791
3	TE-03	400	266480	8369121	266730	8368809
4	TE-04	250	266468	8368856	266653	8369001

*Fuente: Elaboración propia*

#### 7.3.2. Procesamiento e interpretación de ensayos de tomográfica eléctrica

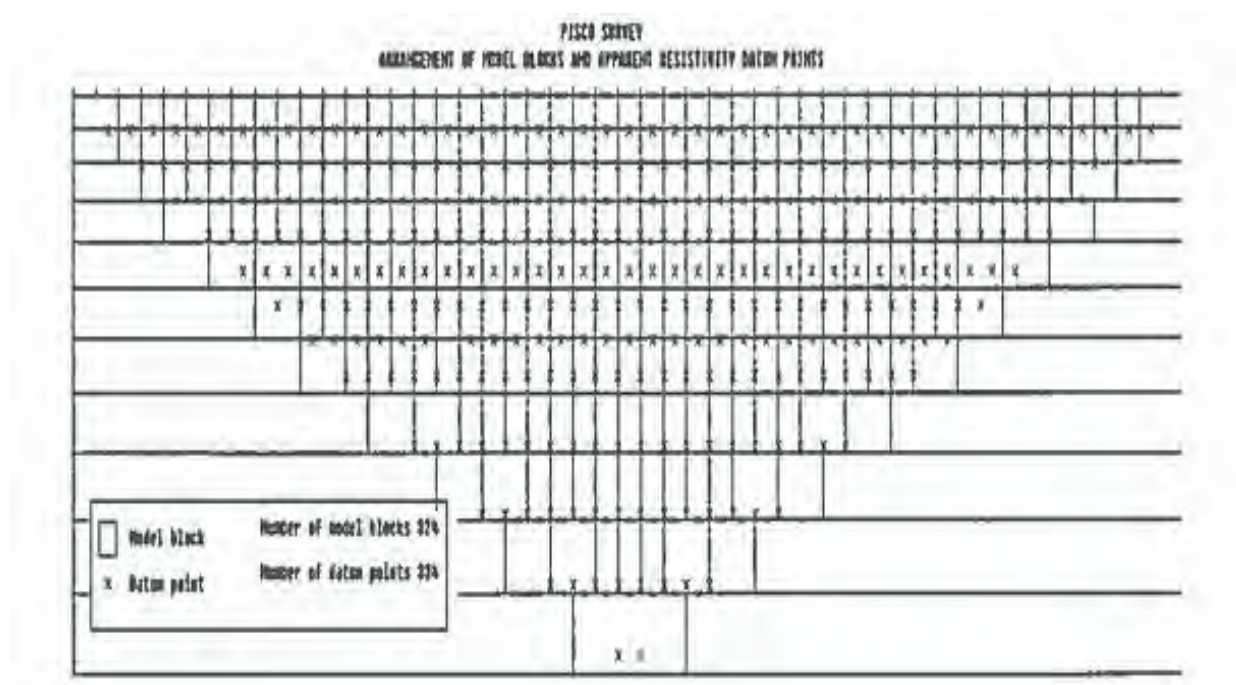
La finalidad de este proceso consiste en transformar la pseudosección de resistividades aparentes recolectada en campo en un modelo bidimensional (2D) de resistividades reales. Este



procedimiento de inversión numérica emplea un algoritmo iterativo que busca minimizar la discrepancia entre los datos medidos y los calculados. Específicamente, se aplicó el método de Inversión con Restricción de Suavidad (Smoothness-Constrained Inversion), basado en la técnica de mínimos cuadrados de Gauss-Newton. Este enfoque es idóneo para identificar transiciones graduales en el subsuelo, tales como plumas de infiltración hídrica, con la ventaja de no depender de un modelo de referencia inicial para iniciar la convergencia. Durante el modelado, el terreno se discretiza mediante elementos finitos, técnica que ofrece una precisión superior al integrar la topografía irregular del área de estudio.

Figura 48

*Discretización del terreno por bloques mediante diferencias finitas*



Inicio de los cálculos:

- El programa genera un modelo homogéneo de resistividades.
- Posteriormente calcula el modelo de resistividades aparentes que se deriva del modelo de resistividades reales.
- Compara el modelo aparente calculado con el medido en el campo.

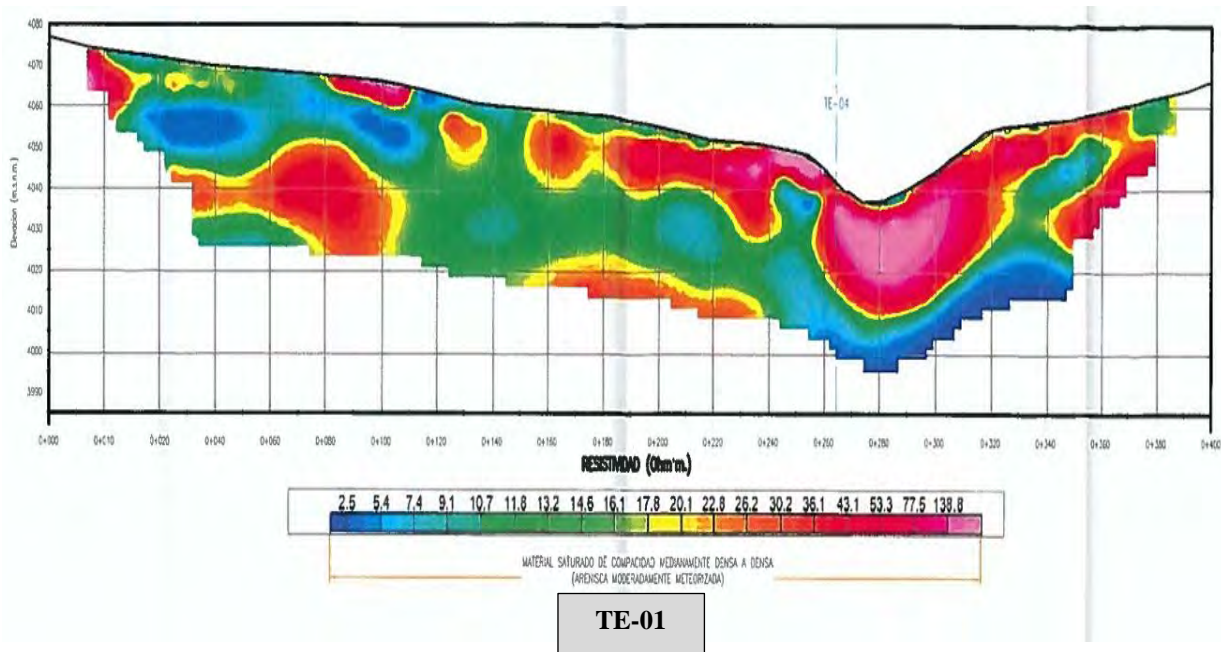
- Comienza un proceso iterativo con el fin de encontrar un modelo de resistividades reales, tal que la diferencia entre el modelo de resistividades aparentes calculado y el medido sea mínimo. El proceso finaliza cuando se alcance un RMS inferior al predefinido. No obstante, es frecuente limitar el número de interacciones (por defecto el programa tiene un máximo de 5 iteraciones).

Visualización de los resultados: pseudosección de resistividades aparentes medida en el campo, modelo de resistividades aparentes calculado por el ordenador y el modelo de resistividades reales.

#### 7.3.2.1. Perfil de tomografía TE-01

Figura 49

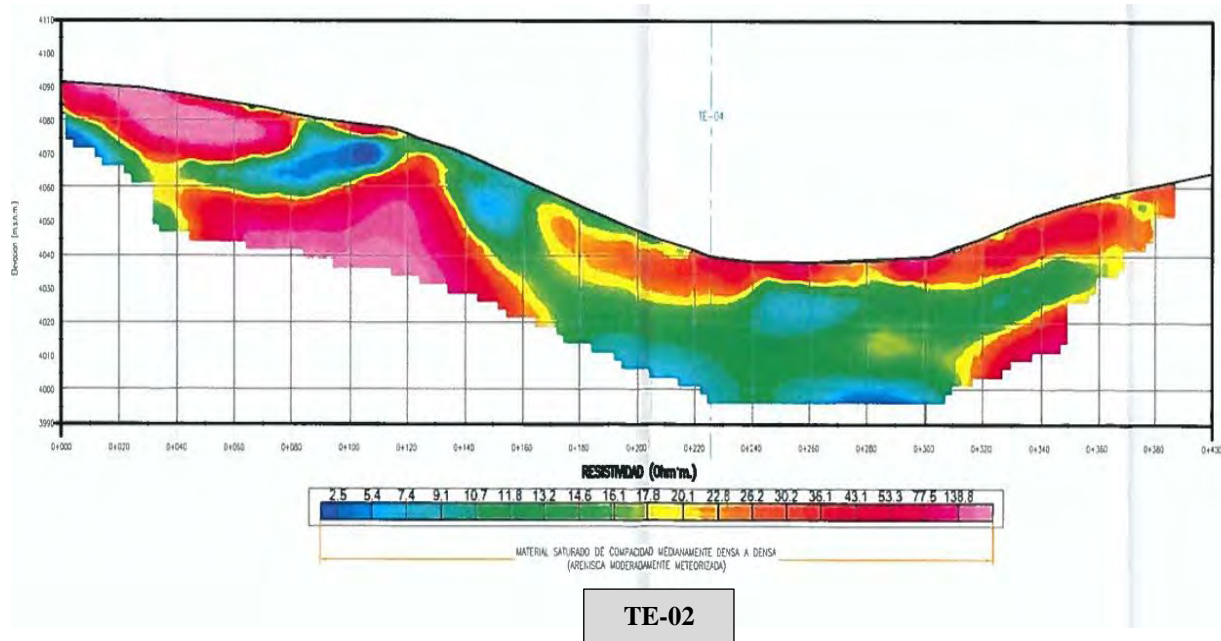
*Perfil de resistividades calculadas e invertidas TE-01 Arreglo Dipolo-Dipolo*



### 7.3.2.2. Perfil de tomografía TE-02

Figura 50

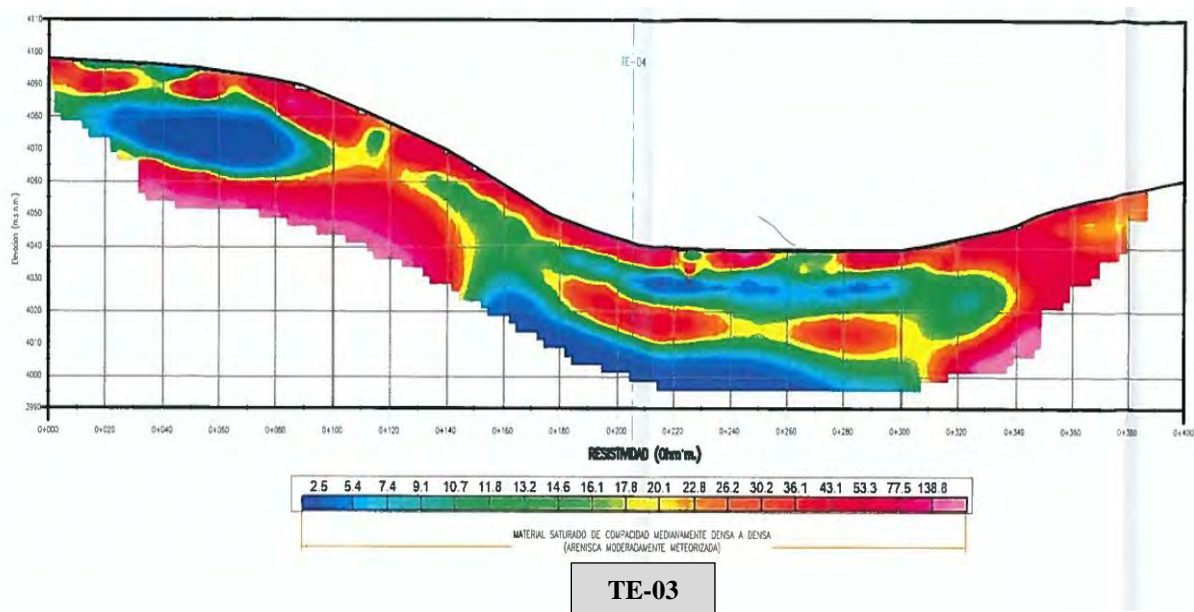
Perfil de resistividades calculadas e invertidas TE-02 Arreglo Dipolo-Dipolo



### 7.3.2.3. Perfil de tomografía TE-03

Figura 51

Perfil de resistividades calculadas e invertidas TE-03 Arreglo Dipolo-Dipolo



#### 7.3.2.4. Perfil de tomografía TE-04

Figura 52

Perfil de resistividades calculadas e invertidas TE-04 Arreglo Dipolo-Dipolo

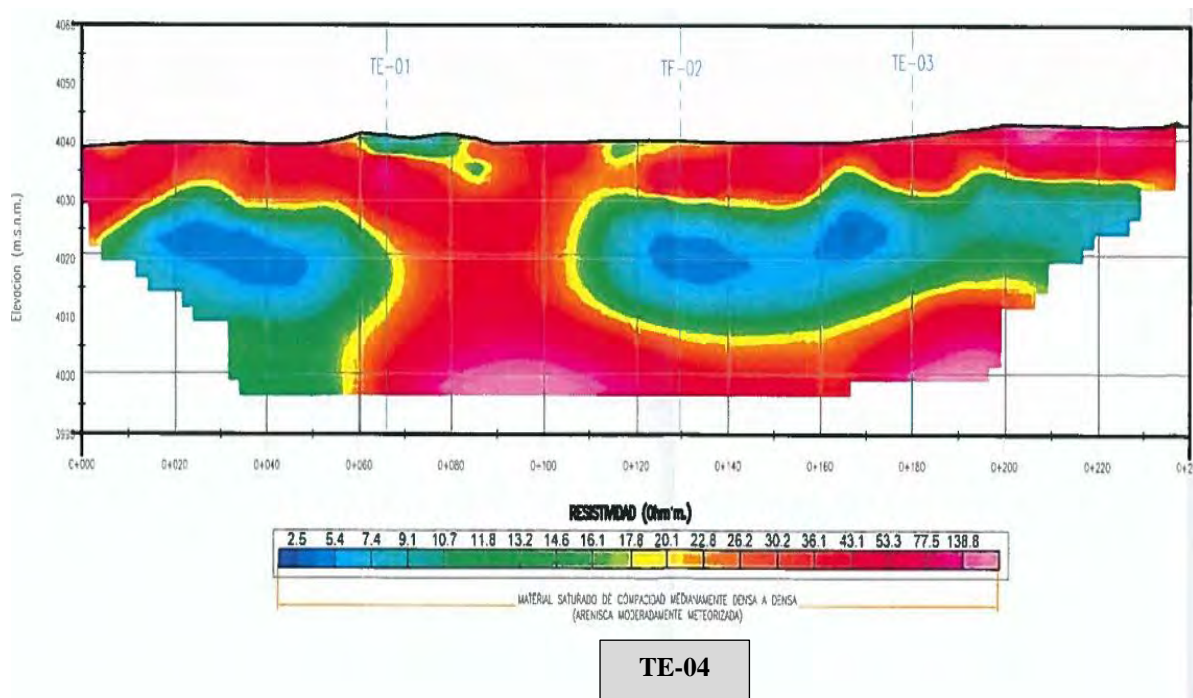


Tabla 42

Resultados de ensayos de tomografía eléctrica (Vp)

N°	LÍNEA	ESTRATO	$\Omega$ (Ohm*m)
1	TE-01	Material saturado de compacidad medianamente densa a densa (Suelo residual producto del intemperismo de la toba) Presencia de tobas de resistencia baja < 3 Mpa	2.5 - 138
2	TE-02	Material saturado de compacidad medianamente densa a densa (Suelo residual producto del intemperismo de la toba) Presencia de tobas de resistencia baja < 3 Mpa	2.5 - 138
3	TE-03	Material saturado de compacidad medianamente densa a densa (Suelo residual producto del intemperismo de la toba) Presencia de tobas de resistencia baja < 3 Mpa	2.5 - 138
4	TE-04	Material saturado de compacidad medianamente densa a densa (Suelo residual producto del intemperismo de la toba) Presencia de tobas de resistencia baja < 3 Mpa	2.5 - 138

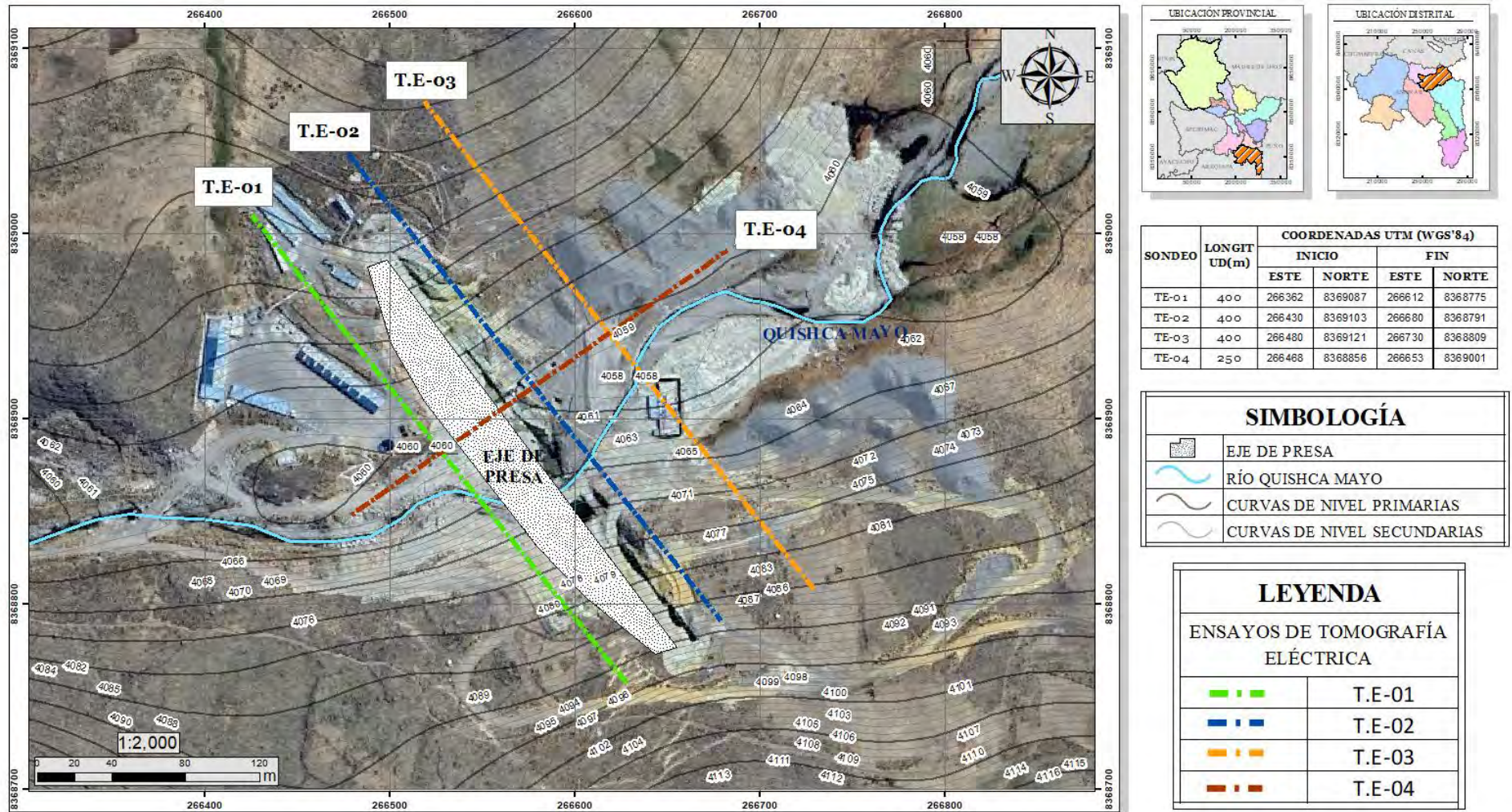
Fuente: Elaboración propia







Figura 53

Mapa de ubicación de ensayos de tomografía eléctrica



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO		TESIS	MAPA DE UBICACIÓN DE ENSAYOS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA				N° LÁMINA: <b>Fig-53</b>	
				SISTEMA DE COORDENADAS		UBICACIÓN		ESCALA: 1/2,000	ELABORADO POR: Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO Br. MICHAEL RAMIREZ POCO
						DATUM	WGS84		
				ZONA	19L	PROVINCIA	ESPINAR		
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024"		DISTRITO		ALTO PICHIGUA	ASESOR:	DRA. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ





## CAPITULO VIII: GEOTÉCNIA

### GENERALIDADES

La investigación geotécnica realizada en la zona de estudio consiste en la realización de perforaciones rotativas con recuperación de testigos para impermeabilización y consolidación del eje de presa, con el fin de verificar la calidad del macizo rocoso y la permeabilidad en el eje de presa. El desarrollo de los trabajos permitió identificar las unidades geotécnicas y estimar parámetros geotécnicos de los materiales que se encuentran en la zona de estudio.

#### 8.1. INVESTIGACIÓN DE CAMPO PARA EL EJE DE PRESA

##### 8.1.1. Trabajos de perforación diamantina

Para la presa de Quisco se realizaron 07 sondajes geotécnicos de perforación diamantina en el eje de la presa, esta zona ya presenta el basamento en proceso de litificación.

La exploración del subsuelo se ejecutó mediante perforaciones rotativas con el sistema Wire Line, garantizando una recuperación de núcleos ininterrumpida. Se utilizó el diámetro HQ (63.5 mm de testigo) empleando muestreadores de pared doble y coronas impregnadas con diamante. En estricto cumplimiento de la normativa ASTM D2113-99 y las directrices de la *Diamond Core Drill Manufacturers Association* (DCDMA), se utilizó agua como fluido de circulación para la limpieza del pozo y la evacuación de detritos, asegurando la integridad de las muestras obtenidas para su posterior análisis geomecánico.

##### 8.1.2. Equipo empleado

Para la ejecución de los trabajos se utilizó un equipo completo de perforación el cual consta de los siguientes materiales:

- Máquina perforadora: Modelo Explorer SAT con motor John Deere de 4 cilindros, diésel, con capacidad de perforación en diámetro HQ (110.00m) y NQ hasta (220.00m). (Ver fotografía 16)
- Bomba de agua: Bomba 430 Marca FMC con motor diésel. Año 2018 / Capacidad de bombeo hasta 120 litros por minuto

- Tubería de perforación en diámetro HQ.
- Tubería Casing HWT y HQ.
- Core Barel sistema Wire Line completo en diámetro HQ.
- Accesorios para perforación y otros materiales que complementaron los trabajos.

Fotografía 16

*Máquina perforadora rotativa explorer SAT 130*

### 8.1.3. Ubicación de las perforaciones diamantinas

Las perforaciones diamantinas están ubicadas en 07 puntos estratégicos de la presa, las ubicaciones se detallan a continuación (Ver tabla 43):

Tabla 43

*Ubicación de los sondajes de perforación diamantina del estribo izquierdo*

Sondeo	Coordenadas			Inclinación	Prof. Programado	Prof. Ejecutado	Perforación		Nivel Freático
	Norte	Este	Cota				Suelo	Roca en proceso de litificación	



SEPC - 01	8368811	266623	4055	-90°	7.00	13.20	0.00	13.20	0.00
SEPC - 02	8368834	266602	4050	-90°	7.00	12.05	0.00	12.05	0.00
SEPC - 03	8368873	266570	4045	-90°	7.00	11.00	0.00	11.00	0.00
SEPI - 01	8368873	266585	4045	-90°	12.00	19.00	0.00	19.00	0.00
<b>TOTALES</b>					<b>33.00</b>	<b>55.25</b>	<b>0.00</b>	<b>55.25</b>	

Fuente: Elaboración propia

- SEPC-01 (0.00 - 13.20m) – ARENISCA TOBACEA

De color gris blanquecino, los granos que presenta la roca son de grano grueso a fino, medianamente alterada, poco a medio fracturada, dureza blanda, se raya fácilmente con la cuchilla. ROCA REGULAR (CLASE III), RQD promedio 42 %, RMR promedio 50. En el tramo de 12.00 a 12.80 metros, la roca presenta una tonalidad rojiza. (Ver fotografía 17)

- SEPC-02 (0.00 - 12.05m) – ARENISCA TOBACEA

De color gris blanquecino, la granulometría que presenta la roca es de grano grueso a fino, medianamente alterada, poco a medio fracturada, dureza blanda, se raya con una cuchilla. ROCA REGULAR-MALA (CLASE III-IV), RQD promedio 38%, RMR promedio 42. En el tramo de 0.00 hasta 3.05 la roca se encuentra muy fracturada a extremadamente fracturada, en el tramo 4.65 a 5.00 y de 11.20 a 11.65 metros la roca presenta una tonalidad rojiza de grano muy fino. (Ver fotografía 18)

- SEPC-03 (0.00 – 11.00m) – ARENISCA TOBACEA

De color rojizo a gris blanquecino al inicio de la perforación, los granos que presenta la roca son de grano grueso a fino, medianamente alterada, dureza blanda, poco fracturado, se raya fácilmente con una cuchilla. ROCA REGULAR (CLASE III), RQD promedio 40%, RMR promedio 50. En el tramo de 0.00 a 0.40; 1.90 a 2.40 metros la roca se encuentra extremadamente fracturada, de 3.90 a 11.00 metros la tonalidad de la roca es de color rojizo. (Ver fotografía 19)

- SEPI-01 (0.00 – 19.00m) – ARENISCA TOBACEA

De color gris blanquecino a rojizo, los granos que presenta la roca son de grano grueso a grano fino, poco a medio fracturado, dureza blanda, se raya fácilmente con una cuchilla. ROCA REGULAR (CLASE III), RQD promedio 42%, RMR promedio 47. En los tramos 0.00 a 0.30; 10.45 a 10.85; 14.40 a 16.50 la roca se encuentra extremadamente fracturada, en el tramo de 7.00 a 10.85 la roca es de color rojizo con una matriz de grano fino, de 14.60 a 16.00m Las areniscas se encuentran con cavidades. (Ver fotografía 20)

Fotografía 17

*Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-01*





## Fotografía 18

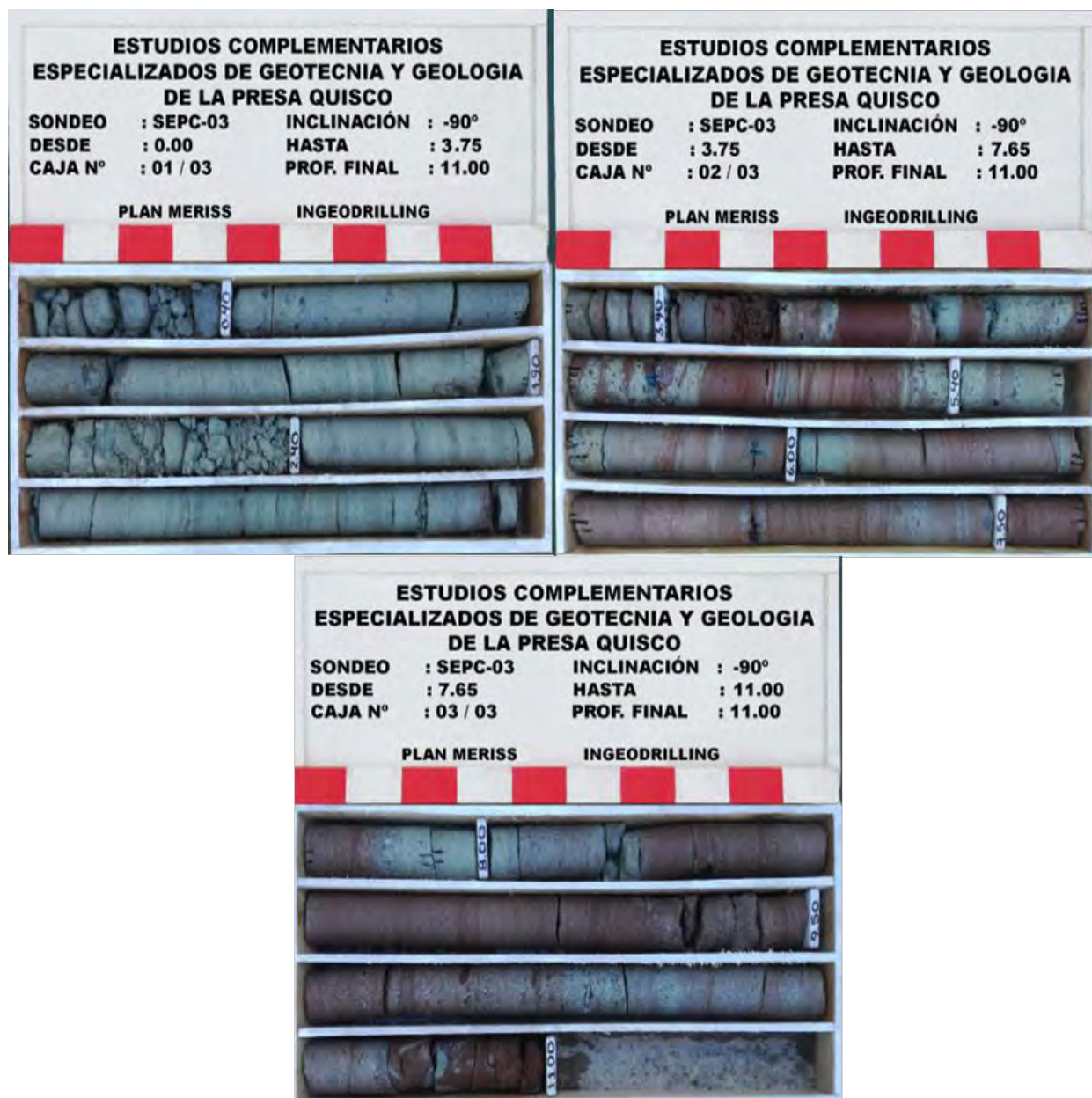
Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-02





## Fotografía 19

*Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación  
diamantina SEPC-03*





## Fotografía 20

Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPI-01

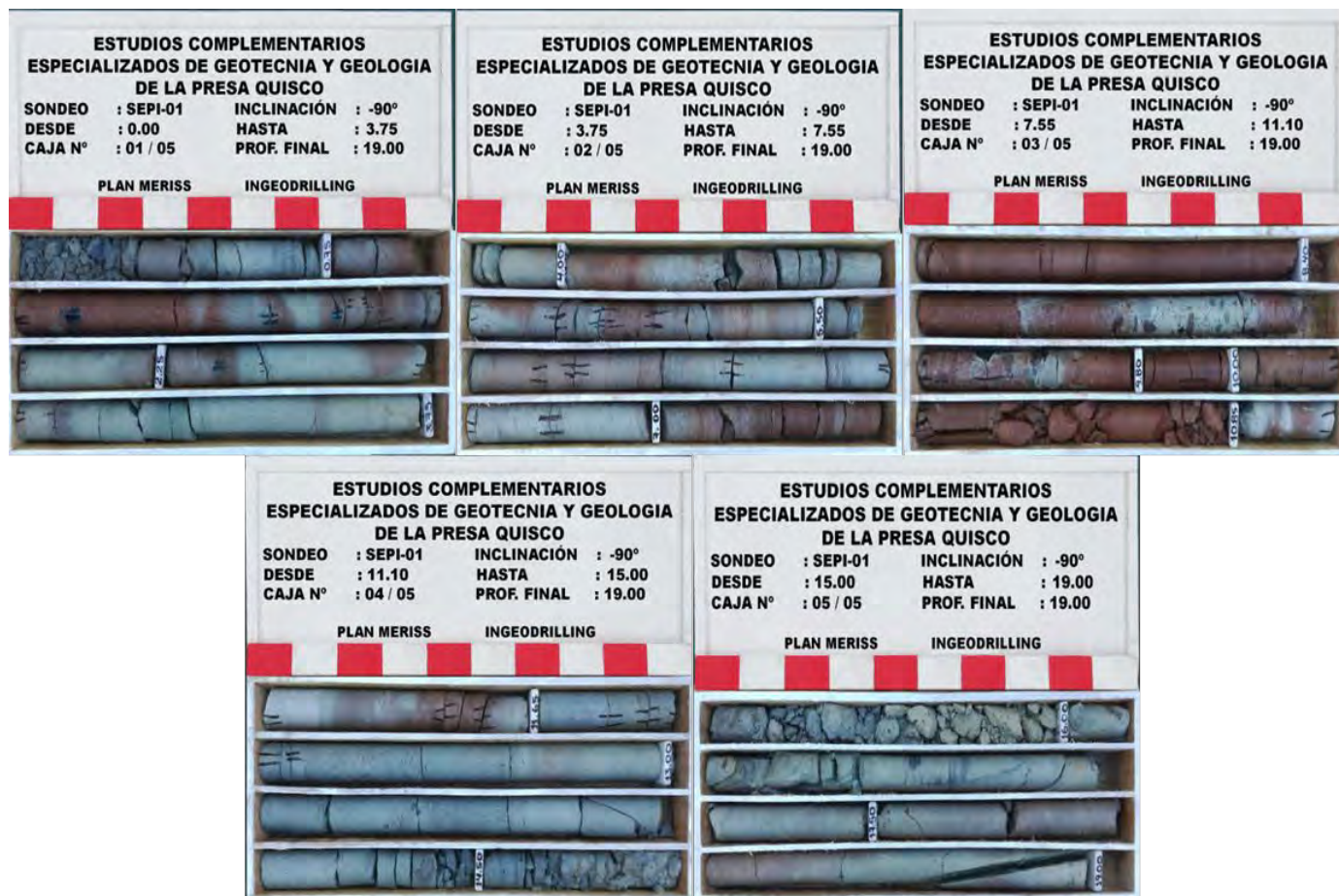


Tabla 44

Ubicación de los sondajes de perforación diamantina del Estribo Derecho

Sondeo	Coordenadas			Inclinación	Prof. Programado	Prof. Ejecutado	Perforación		Nivel Freático
	Norte	Este	Cota				Suelo	Roca en proceso de litificación	
SEPC - 04	8368901	266550	4045	-90°	7.00	10.00	0.00	10.00	0.00
SEPC - 05	8368961	266509	4062	-90°	7.00	13.30	0.00	13.30	0.00
SEPI - 02	8368916	266550	4045	-90°	12.00	19.00	0.00	19.00	0.00
TOTALES					26.00	42.30	0.00	42.30	

Fuente: Elaboración propia



- SEPC-04 (0.00 – 10.00m) – ARENISCA TOBACEA

De color rojizo a gris blanquecino al inicio del sondeo, los granos que presenta la roca es grano grueso y grano fino, medianamente alterada, poco fracturada, dureza blanda, se raya fácilmente con una cuchilla. ROCA REGULAR (CLASE III), RQD promedio 44%, RMR promedio 49. En el tramo de 4.00 a 10.00 metros la tonalidad de la roca es rojiza. (Ver fotografía 21)

- SEPC-05 (0.00 – 13.30m) – ARENISCA TOBACEA

De color gris blanquecino a rojizo, los granos que presenta la roca son de grano grueso y grano fino, medio fracturado, medianamente alterada, dureza blanda, se raya fácilmente con una cuchilla. ROCA REGULAR - MALA (CLASE III-IV), RQD promedio 35%, RMR promedio 42. En el tramo 0.00 a 2.60; 4.10 a 5.80; 8.80 a 9.40 la roca se encuentra extremadamente fracturada. (Ver fotografía 22)

- SEPI-02 (0.00 – 19.00m) – ARENISCA TOBACEA

De color gris blanquecino y rojizo, de grano grueso y grano fino, medianamente alterada, poco fracturada, dureza blanda, se raya a una cuchilla. ROCA REGULAR (CLASE III), RQD promedio 35%, RMR promedio 52. En el tramo 0.90 a 1.91 metros la roca se encuentra fragmentada. (Ver fotografía 23)



## Fotografía 21

*Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-04*



## Fotografía 22

*Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPC-05*







## Fotografía 23

*Fotografía de cajas de sondeo geotécnico de la presa Quisco, sondajes de perforación diamantina SEPI-02*

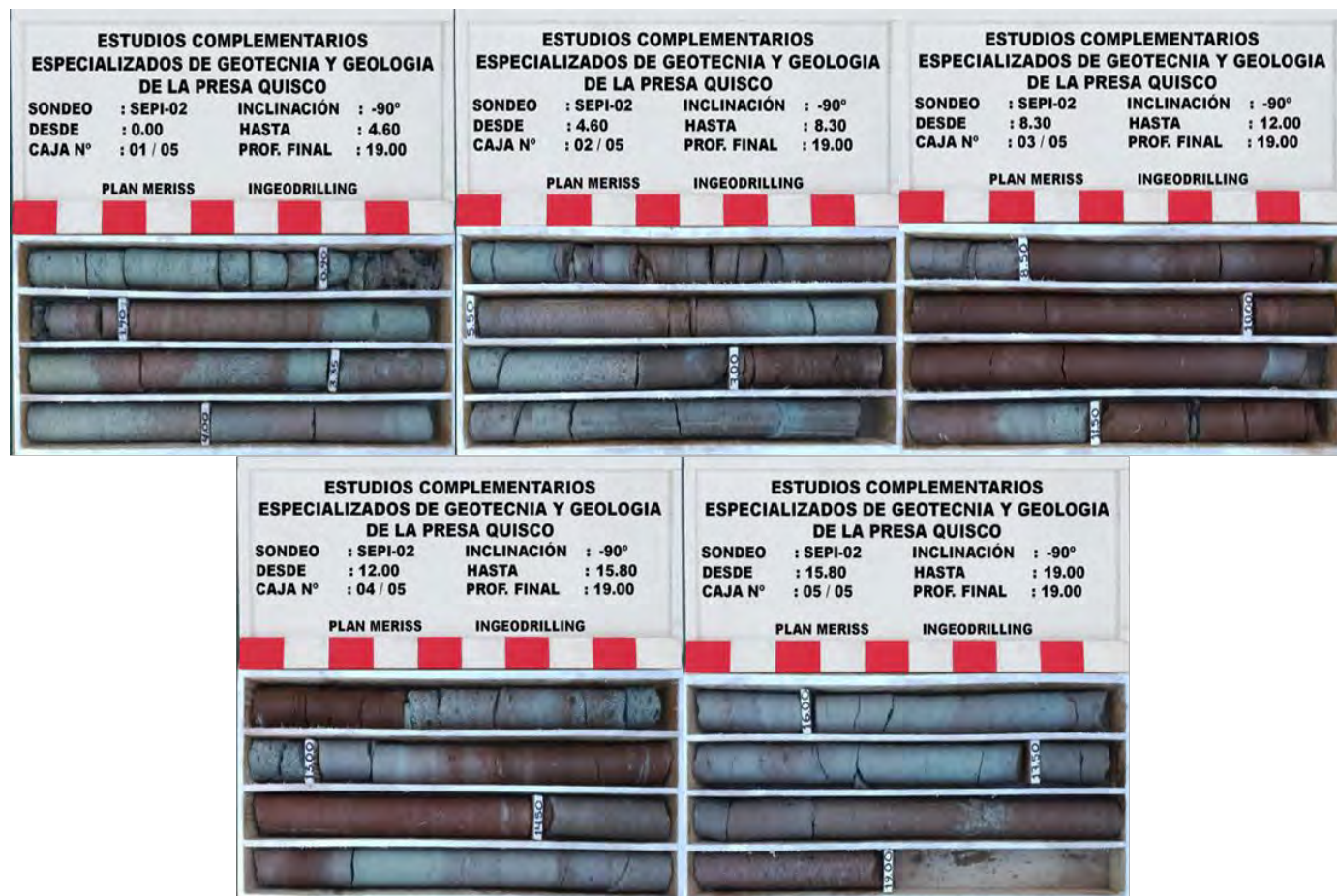
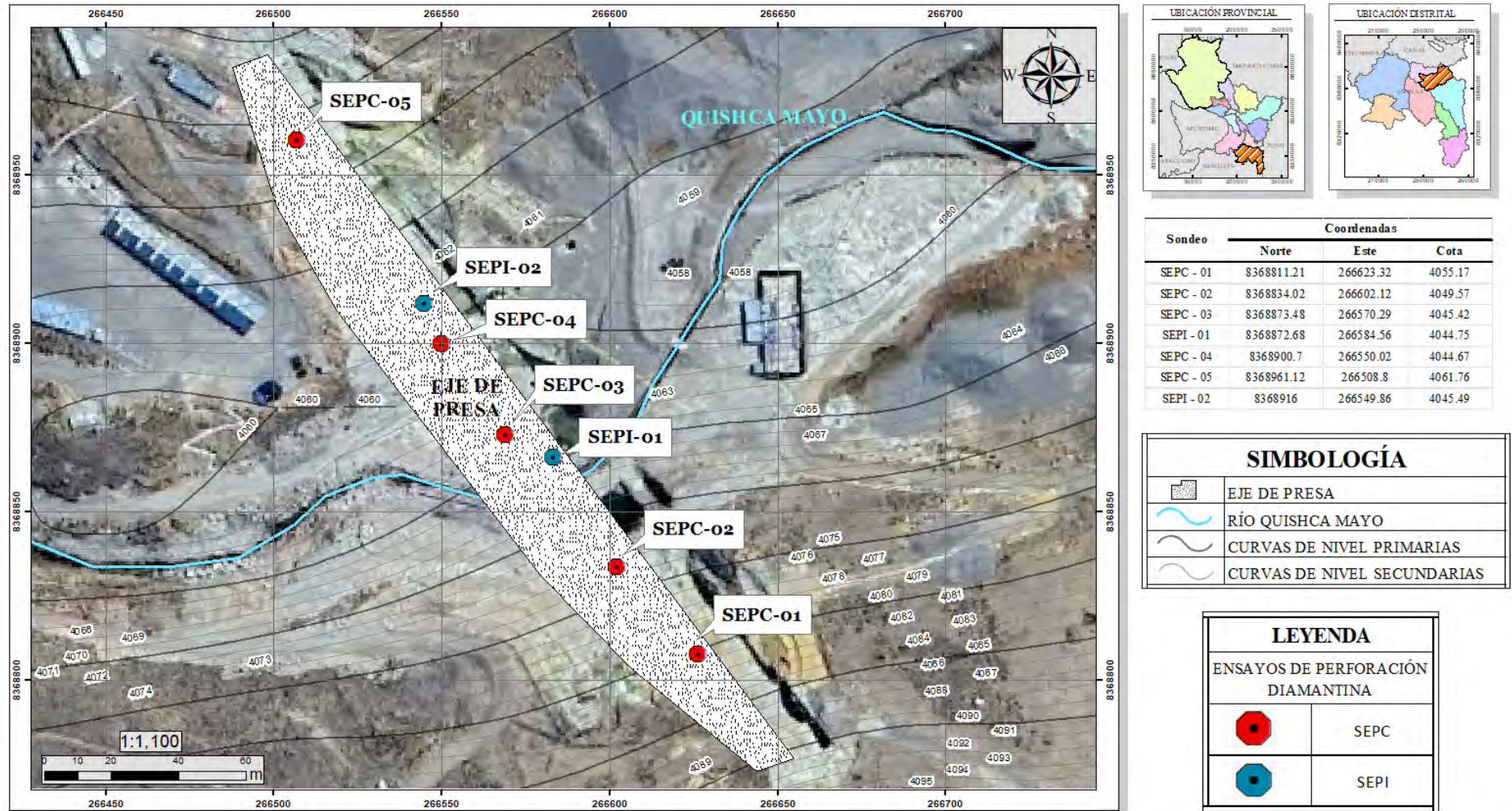









Figura 54

Mapa de ubicación de ensayos de perforación diamantina



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO		TESIS	MAPA DE UBICACIÓN DE PERFORACIONES DIAMANTINA						N° LÁMINA: <b>Fig-54</b>	
				SISTEMA DE COORDENADAS		UBICACIÓN		ESCALA: 1/1,100	ELABORADO POR:		
				DATUM	WG S84						
				FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024"		DEPARTAMENTO	CUSCO		Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO Br. MICHAEL RAMÍREZ POCCO
								PROVINCIA	ESPINAR		
								DISTRITO	ALTO PICHIGUA		



#### 8.1.4. Ensayo de penetración estándar (SPT)

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) constituye la técnica *in situ* más difundida para la evaluación de la compacidad y los parámetros de resistencia de los suelos. Siguiendo los protocolos de la norma ASTM D-1586, el método cuantifica la oposición de los estratos al hincado de un muestreador de cuchara partida. El dispositivo, que posee dimensiones normalizadas ( $\emptyset$  ext. 51 mm e int. 35 mm), es impulsado mediante la energía de impacto de una masa de 63.50 kg en caída libre desde una altura de 760 mm. El registro del número de golpes se realiza en tres segmentos de 150 mm cada uno, descartando la primera lectura por efectos de perturbación del fondo de la perforación, tal como se detalla en la siguiente tabla. (Ver tabla 45)

Tabla 45

*Resultados de los ensayos SPT en sondajes*

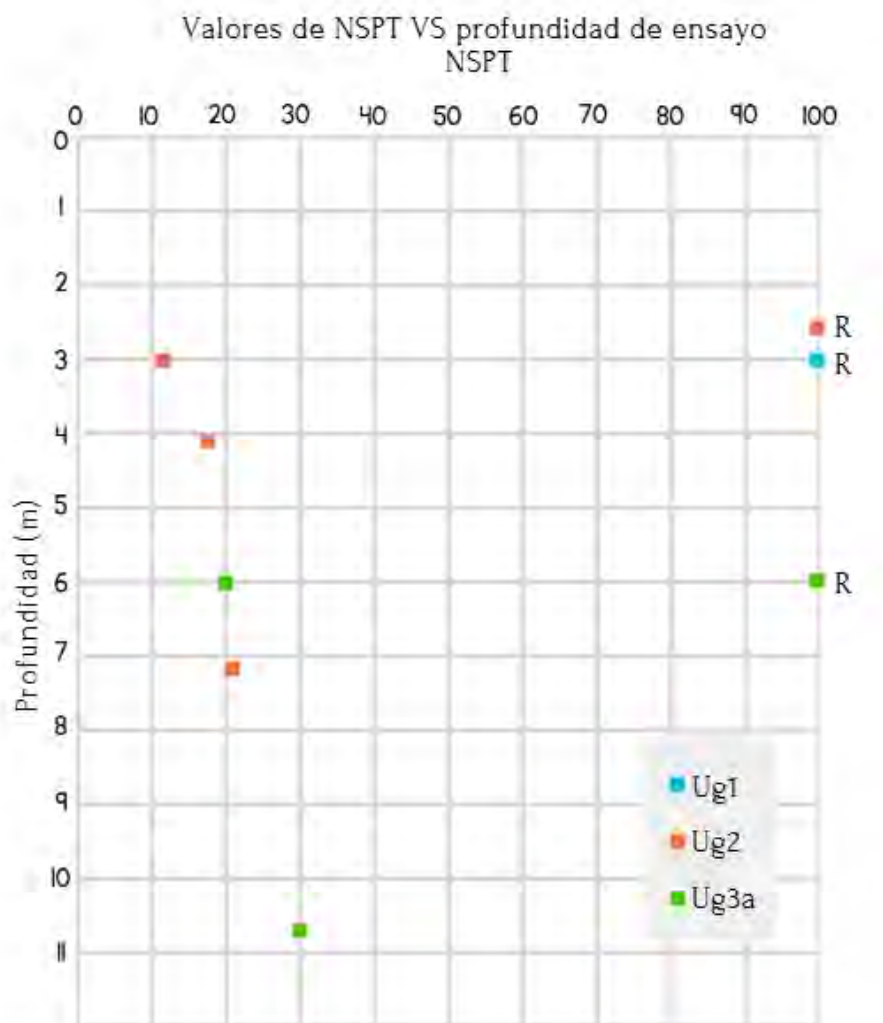
Sondeo	SPT	Prof. (m) de ensayo	N. de Golpe		
			15	30	45
S-01	SPT-1	2.60 - 2.82	7	R	R
	SPT-2	6.00 - 6.17	50	R	R
S-03	SPT-1	3.00 - 3.08	R	R	R
	SPT-2	6.00 - 6.45	4	7	13
S-04	SPT-1	4.15 - 4.60	5	9	7
	SPT-2	7.20 - 7.65	2	8	13
	SPT-3	10.60 - 11.05	14	16	14
S-05	SPT-1	3.00 - 3.45	4	6	6
	SPT-2	6.00 - 6.10	R	-	-

*Fuente: Elaboración propia*

Para las diferentes unidades geotécnicas identificadas, se analizaron los valores de  $N_{spt}$  medidos en el campo y su variabilidad en función de la profundidad. El objetivo del análisis de los valores de  $N_{spt}$  fue estimar las propiedades geotécnicas de las unidades, diferenciando los depósitos de suelo (Ug1 y Ug2) del material de cimentación (Ug3a).

Figura 55

Relación entre los valores de Nspt y la profundidad del ensayo



Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de resistencia al corte (ángulo de rozamiento y cohesión no drenada  $C_u$ ) han sido estimados preliminarmente utilizando las correlaciones con Nspt, respectivamente las propuestas por Peck-Hanson & Thombum (1974) y por Stroud (1974).

#### 8.1.4.1. Heterogeneidad de la Cobertura Superficial (Ug1 y Ug2)

Los suelos de cobertura, que son los depósitos coluviales (Ug2) y aluviales (Ug1), presentan las siguientes características:





- Unidad Coluvial (Ug2): Los valores de Nspt se muestran homogéneos con valores que aumentan ligeramente con la profundidad, aunque son inferiores a 25. Esto clasifica a la unidad Ug2 como de densidad media a suelta (si es granular) o firme a media (si es cohesiva).
  - ✓ Implicación: Los valores bajos de Nspt confirman que esta unidad no es adecuada para transmitir cargas pesadas de la presa sin ser removida o compactada.
- Unidad Aluvial (Ug1): Aunque presenta algunos valores bajos de Nspt (alrededor de 10 a 20), la característica más notable es la presencia de rechazos (R) a poca profundidad (2.8 m y 5.9 m).
  - ✓ Implicación: Estos rechazos se atribuyen a la presencia de bloques de roca dentro del depósito aluvial. Esto confirma que los depósitos superficiales son muy heterogéneos y presentan restos de la arenisca subyacente.

#### 8.1.4.2. *Dureza y profundidad del Basamento tobáceo en proceso de litificación (Ug3a)*

La unidad Ug3a que representa la parte superior de la arenisca tobácea:

- Rechazo a Poca Profundidad: El gráfico muestra al menos dos puntos de Rechazo (R) en Ug3a a profundidades someras (3.0 m y 5.9 m).
  - ✓ Deducción: Esto verifica que el basamento rocoso se encuentra a escasa profundidad. El rechazo implica una resistencia a la penetración muy alta; la roca es físicamente dura o muy densa en su matriz intacta.

#### 8.1.4.3. *Parámetros de Resistencia al Corte*

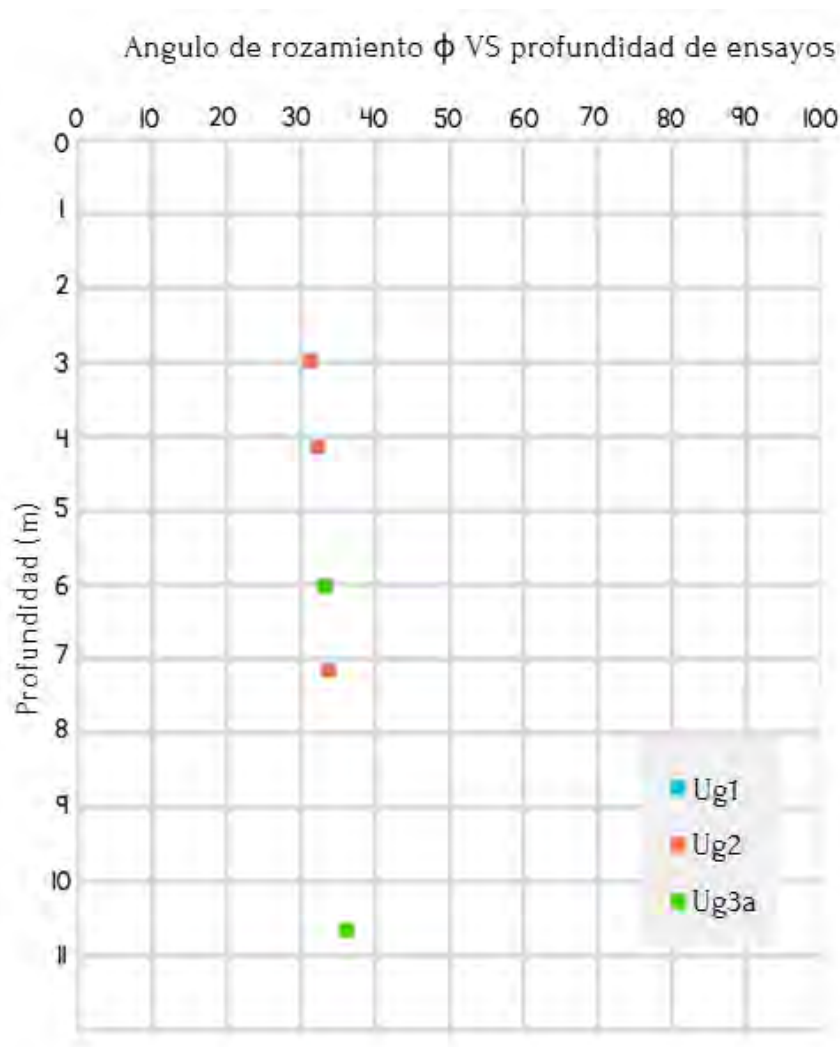
Los parámetros estimados a partir de las correlaciones con Nspt (Ver figura 56 y 57) son esenciales para el diseño:



- Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ ): Los valores son altos, oscilando aproximadamente entre 25° y 40°. Esto indica que el suelo tiene una buena fricción interna, lo cual es favorable para la estabilidad y resistencia al deslizamiento.
- Cohesión no drenada ( $C_u$ ): Los valores son variables y significativos (entre 100 kPa y 500 kPa), lo que sugiere la presencia de una importante fracción de limos y arcillas de alta plasticidad o consistencia.

Figura 56

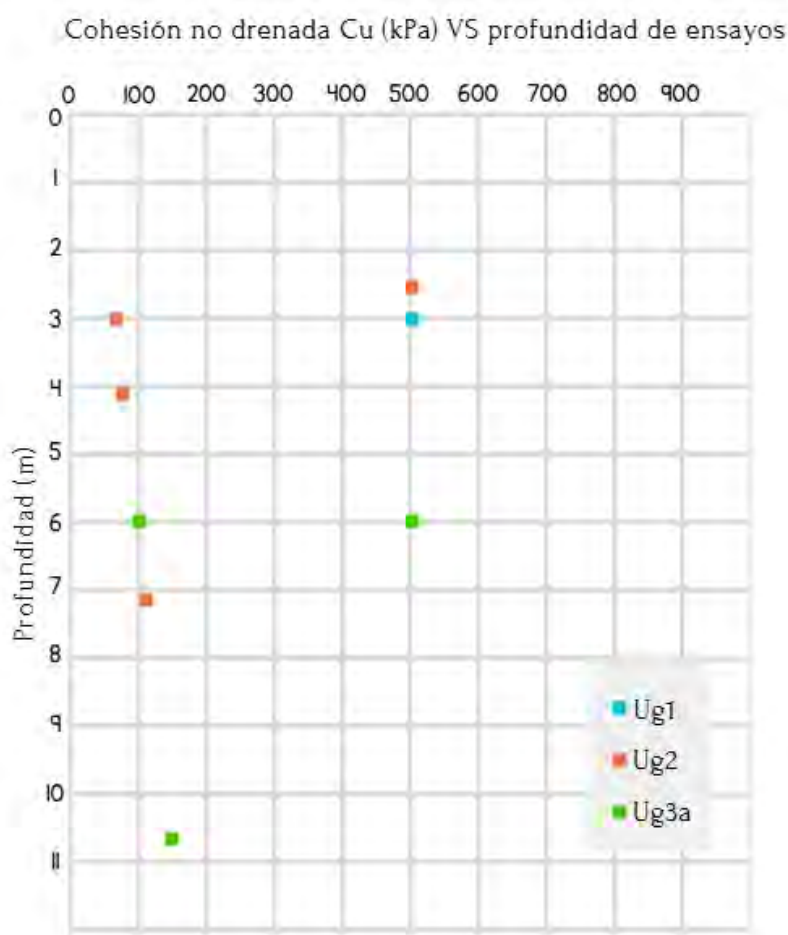
*Relación entre los valores de ángulo de rozamiento ( $\phi$ ) y la profundidad para las diferentes unidades geotécnicas según la correlación propuesta por Peck-Hanson & Thornburn (1974)*



Fuente: Elaboración propia

Figura 57

Relación entre los valores de cohesión no drenada ( $C_u$ ) y la profundidad para las diferentes unidades geotécnicas según la correlación propuesta por Stroud (1974)



Fuente: Elaboración propia

#### 8.1.5. Propiedades físicas de los ensayos de SPT en la unidad geotécnica Ug3a

Las muestras tomadas en los sondeos realizados fueron ensayadas para obtener y evaluar las siguientes características físicas:

- Peso específico ( $\text{KN/m}^3$ )
- Densidad natural ( $\text{g/cm}^3$ )
- Porosidad (%)
- Absorción (%)



Los resultados de los ensayos realizados se analizaron utilizando métodos de tipo estadístico. De esta forma ha sido posible definir los valores característicos (Min, Prom, Max) y sus variabilidades relativas (Dev. est.), por cada litología ensayada.

Tabla 46

*Resultado de las características físicas del peso específico y densidad natural*

Unidad Geotécnicas	Peso específico (KN/m <sup>3</sup> )			Densidad natural (g/cm <sup>3</sup> )		
	min	max	med	min	max	med
Ug3a	18.64	19.62	19.12	1.90	2.00	1.95

*Fuente: Elaboración propia*

El análisis de estos valores revela una conclusión geotécnica significativa que, a primera vista, parece contradecir la baja calidad estructural reportada (RMR 42-52), pero en realidad, explica la naturaleza exacta del problema.

Donde el peso específico con valor medio de 19.12 KN/m<sup>3</sup> típicamente alto, nos da un indicativo de que el material es significativamente denso. Con respecto a la densidad de 2.26 g/cm<sup>3</sup> el cual viene a ser una densidad alta es coherente con una arenisca tobácea cementada o roca en proceso de litificación densa.

Una alta densidad 1.95 g/cm<sup>3</sup> generalmente implica una baja porosidad de matriz. Por lo tanto, el agua no está principalmente en la matriz, sino que está fluyendo masivamente a través de las discontinuidades, fracturas y cavidades confirmando los valores bajos de RQD y el riesgo hidráulico.

Tabla 47

*Resultado de las características físicas de la porosidad y absorción*

Unidad Geotécnicas	Porosidad (%)			Absorción (%)		
	min	max	med	min	max	med
Ug3a	8.02	10.31	9.16	6.19	8.38	7.28

*Fuente: Elaboración propia*



El análisis de la porosidad y la absorción de la roca Ug3a (Arenisca Tobácea) es un hallazgo crítico que confirma y cuantifica la vulnerabilidad hidráulica y de durabilidad de la cimentación.

Donde se presenta una porosidad de 9.16% moderada/alta para una roca de cimentación de presa, indicando un volumen significativo de vacíos internos. Alta capacidad de absorción, lo que significa que el material tiene una gran afinidad y capacidad para retener agua en su matriz.

Una alta absorción 7.28 % reduce significativamente la Resistencia a la Compresión Simple (UCS), lo que explica la baja calidad geotécnica RMR 42 a 52 y las zonas con UCS < 3 MPa.

#### 8.1.6. Ensayos realizados de Permeabilidad

Dada la presencia de un basamento rocoso en fase de litificación en el eje de la estructura, se procedió a la ejecución de pruebas de campo tipo Lugeon y Lefranc. Estos ensayos permitieron cuantificar la conductividad hidráulica de forma puntual, proporcionando valores referenciales de permeabilidad para cada unidad litoestratigráfica interceptada. Esta caracterización es crítica para evaluar las posibles pérdidas por infiltración y determinar la necesidad de tratamientos de consolidación o pantallas de impermeabilización en la cimentación.

Para el cálculo de los ensayos de permeabilidad se ha tomado como referencia la clasificación de permeabilidad (Casagrande y Fadum) los cuales están basados en los trabajos iniciales de Terzaghi. (Ver tabla 48)

Tabla 48

*Clasificación de permeabilidad (Casagrande y Fadum)*

Coeficiente de Permeabilidad (K) (cm/s)	Clasificación Cualitativa	Relevancia para el Flujo de Agua	Tipo de Suelo Típico (USCS)
$>1.0 \times 10^{-1}$	Alta (Excelente Drenaje)	Prácticamente libre drenaje.	Gravas (GW, GP), Arenas muy gruesas.
$10^{-1}$ a $10^{-3}$	Media (Buen Drenaje)	Flujo apreciable. Ideal para drenes.	Arenas gruesas a finas (SW, SP).
$10^{-3}$ a $10^{-5}$	Baja (Pobre Drenaje)	Flujo lento. Los suelos son considerados semipermeables.	Arenas muy finas, Limos gruesos (SM, ML).
$10^{-5}$ a $10^{-7}$	Muy Baja (Pobre Drenaje)	Filtración muy lenta, pero medible. Rango deseado para núcleos de presa.	Limos, Arcillas limosas (ML, CL).
$10^{-7}$ a $10^{-9}$	Prácticamente Impermeable	Filtración insignificante o nula.	Arcillas compactas (CL, CH), Arcillas muy plásticas.





$<1.0 \times 10^{-9}$	Impermeable	Materiales que actúan como barrera hidráulica total.	Arcillas puras (CH).
-----------------------	-------------	--	----------------------

Fuente: Elaboración propia

#### 8.1.6.1. Ensayo de Permeabilidad Tipo Lugeon

Para las ejecuciones de las pruebas se ha empleado obturador (packer) del tipo Wire Line marca GEOKON, la presión que se usó en la etapa de saturación del terreno fue la mínima, se recomendó 0.15 Kg/cm<sup>2</sup> por metro de profundidad calculado al punto medio del bulbo de ensayo para la presión máxima y presiones de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{1}{4}$  de la presión máxima para las presiones intermedias y mínimas, obteniéndose los caudales promedios por un periodo de 10 minutos en cada estadio de presión; la unidad de presión empleada es Kg/cm<sup>2</sup>. Los factores condicionantes y que fueron tomados en cuenta durante la ejecución de los ensayos Lugeón, para la determinación de las presiones y tramo fueron:

- Profundidad del tramo de ensayo.
- Grado de fracturamiento del macizo rocoso.
- Porcentaje de recuperación de testigos.
- Características físico mecánicas de la roca.
- Condiciones para la obturación del tramo de ensayo.

El protocolo operativo para el ensayo Lugeon (Ver fotografía 24) consistió en la aplicación de presiones controladas, asegurando que los valores máximos no excedieran la presión litoestática teórica del tramo evaluado. Esta precaución es vital para evitar el hidrofracturamiento o alteraciones estructurales en el macizo rocoso. Para el cálculo de la presión de diseño, se asumió un peso específico de 2.50 g/cm<sup>3</sup> para roca competente y 1.50 g/cm<sup>3</sup> para horizontes meteorizados, aplicando un coeficiente de seguridad de 0.15 kg/cm<sup>2</sup> por metro de profundidad. La prueba se ejecutó mediante ciclos de carga y descarga (mínima-intermedia-máxima-intermedia-mínima), limitando la presión manométrica a un tope de 8 kg/cm<sup>2</sup> en sondeos de hasta 50 metros, garantizando la estabilidad del medio según los estándares de Lugeon (1933)."



## CALCULO DE ABSORCIONES Y PRESIONES DE ENSAYO

Con los caudales obtenidos para cada uno de los estadios de presión, se procede a efectuar los cálculos de absorción por metro de tramo de ensayo, dividiendo el caudal entre la longitud del tramo de ensayo ( $Q = It / \text{min} / \text{m}$ ).

- Presión Efectiva (PE)

La presión efectiva de inyección es la magnitud resultante que actúa directamente sobre el intervalo de prueba. Esta se determina mediante el balance algebraico de las componentes energéticas del sistema: la presión manométrica (PM) registrada en la superficie, la carga hidrostática (CH) debida a la columna de agua y el descuento por pérdidas de carga (PC) ocasionadas por la fricción en la tubería.

$$PE = PM + CH + PC$$

- Presión Manométrica (PM)

La presión manométrica representa la magnitud física registrada en el cabezal de inyección mediante un instrumento de medición de presión. Su valor constituye la lectura directa en superficie antes de realizar cualquier corrección por factores hidráulicos o gravitacionales.

- Carga Hidráulica (CH)

La carga hidráulica se define como la presión gravitacional ejercida por la columna de fluido en el interior del sondeo. Su determinación depende de la posición del nivel freático: en ausencia de este, el cálculo se basa en la distancia vertical comprendida entre el manómetro de superficie y el punto medio del intervalo de prueba (centro del bulbo).

- Pérdidas de Carga (PC)

En un sistema de conducción como el que se utilizó: tubería de perforación HQ, las pérdidas de carga son despreciables, no han sido consideradas para efectos de cálculo, ya que por el diámetro empleado y por tratarse de tuberías nuevas, las pérdidas de energía por fricción son mínimas.

## GRÁFICA DE LOS RESULTADOS



Los parámetros de absorción y presión neta se representan en un sistema de coordenadas cartesianas, tal como se observa en los registros adjuntos. El análisis morfológico de la curva resultante es determinante para caracterizar el régimen de flujo y comprender los fenómenos físicos que ocurren en las discontinuidades del macizo durante la inyección.

#### INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS DE ABSORCIÓN- PRESIÓN EFECTIVA

La interpretación de las curvas de Presión Efectiva vs. Absorción permite diagnosticar el comportamiento hidrodinámico del macizo mediante cinco regímenes distintivos:

- **Régimen de Flujo Laminar:** Se caracteriza por una proporcionalidad lineal entre el caudal inyectado y la carga aplicada. Este fenómeno sugiere la presencia de discontinuidades estrechas con rellenos granulares estables, resultando usualmente en permeabilidades inferiores a 3 UL.
- **Régimen de Flujo Turbulento:** Se manifiesta cuando el incremento de absorción a presiones elevadas es menor al esperado proporcionalmente, indicando heterogeneidad en la apertura de las fisuras. Se asocia comúnmente a valores superiores a 4 UL.
- **Dilatación Elástica (Jacking):** Ocurre cuando la presión de inyección supera la resistencia de confinamiento, provocando una apertura temporal de las juntas o la compresión del material de relleno. Es un proceso reversible donde la permeabilidad aumenta drásticamente solo durante el pico de presión.
- **Fenómeno Erosivo (Wash-out):** Se identifica por el incremento progresivo de la absorción debido al arrastre de partículas finas dentro de las fracturas. Gráficamente, el ciclo de histéresis presenta un sentido horario, reflejando una degradación de la colmatación natural.
- **Efecto de Obturación (Relleno):** Representa la reducción de la conductividad hidráulica por la sedimentación de finos o efectos de capilaridad. En este escenario, la curva se ensancha en sentido antihorario, indicando una colmatación mecánica de los conductos durante la prueba.



Figura 58

Patrones de tipo de resultados de prueba Lugeon Houlsby (1976)

PATRONES TIPOS DE RESULTADOS DE PRUEBAS LUGEON						
TIPO DE FLUJO	ETAPAS	PATRONES LUGEON	INTERPRETACIÓN DE LOS PATRONES	VALOR A USAR COMO UNIDAD LUGEON	INTERPRETACIÓN	CURVA DE INTERPRETACIÓN
Flujo Laminar	1º		Los 5 valores Lugeon son aproximadamente iguales	Se usa el promedio de los 5 valores	Fracturas finas aproximadamente iguales, existe una relación lineal similar. Fracturas finas y relleno granular, esta asociado a valores menores de 3 UL.	
	2º					
	3º					
	4º					
	5º					
Flujo turbulento	1º		El valor Lugeon mas bajo ocurre en la presión máxima	Se usa el valor Lugeon para la presión máxima	La absorción a la máxima presión es relativamente menor que las presiones intermedias y mínimas. Se explica por fracturas de diferente grosor, esta asociada a valores mayores de 4 UL.	
	2º					
	3º					
	4º					
	5º					
Flujo dilatación	1º		El valor Lugeon más alto ocurre en la presión máxima	Se usan los valores Lugeon para las presiones mínimas y/o medias	A presión máxima hay una dilatación temporal de la abertura y se comprime momentáneamente el relleno por efectos de la presión de agua y la absorción es mayor, el proceso es reversible y las fracturas serán Elásticas	
	2º					
	3º					
	4º					
	5º					
Flujo erosión	1º		Los valores Lugeon aumentan en el proceso de la prueba (por cambios en el medio rocoso)	Se usa el valor Lugeon más alto	El material fino de las fracturas es lavado, la absorción se incrementa con el tiempo, las flechas son en sentido horario.	
	2º					
	3º					
	4º					
	5º					
Flujo relleno	1º		Los Lugeones decrecen en el proceso de la prueba (los vacíos son gradualmente rellenos)	Se usa el valor Lugeon más bajo	Por aberturas son gradualmente rellenas y selladas a medida que transcurre el ensayo, la absorción decrece en función al tiempo en sentido antihorario. La disminución se debe a la resistencia capilar de penetración del agua en fracturas finas.	
	2º					
	3º					
	4º					
	5º					
<div><div><div>CLASIFICACIÓN DEL VALOR LUGEON</div><div>REPRESENTATIVO</div><div>0 - 1 U.L. - MUY FAVORABLE</div><div>1 - 3 U.L. - FAVORABLE</div><div>3 -10 U.L. - DESFAVORABLE</div><div>&gt; 10 U.L. - MUY DESFAVORABLE</div></div><div><div>EQUIVALENCIAS APROXIMADAS</div><div>K = lts</div><div>10<sup>-1</sup> : 6000 lts</div><div>10<sup>-2</sup> : 600 lts</div><div>10<sup>-3</sup> : 60 lts</div><div>10<sup>-4</sup> : 6 lts</div><div>10<sup>-5</sup> : 0.6 lts</div><div>10<sup>-6</sup> : 0.06 lts</div></div><div>UL : 1.30 x 10<sup>-5</sup> cm/sg</div><div>AUTOR : HOULSBY 1976</div></div>						



## Fotografía 24

*Realizando ensayo de permeabilidad tipo Lugeon*



Tabla 49

*Resultados de permeabilidad tipo Lugeon del Estribo Izquierdo*

SONDEO	TRAMO		TRAMO	NIVEL DE AGUA	U.L.	K = Cm/Seg	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA
	DESDE	HASTA					
SEPC - 01	2.20	7.20	5.00	0.00	8.80	$1.14 \times 10^{-04}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	3.20	7.20	4.00		5.50	$7.15 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	7.20	10.20	3.00		2.86	$3.72 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	10.20	13.20	3.00		2.50	$3.25 \times 10^{-04}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
SEPC - 02	2.10	7.10	5.00	0.00	0.01	$0.00 \times 10^{+00}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	6.75	12.05	5.30		2.92	$3.80 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	7.95	12.05	4.10		2.19	$2.85 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
SEPC - 03	1.00	6.00	5.00	0.00	3.50	$4.55 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación) con Microconglomerados
	5.00	6.00	1.00		3.00	$3.90 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación) con Microconglomerados
	6.00	8.00	2.00		7.22	$9.39 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	8.00	11.00	3.00		7.87	$1.02 \times 10^{-04}$	Arenisca (Proceso de Litificación) con Microconglomerados
SEPI - 01	1.00	4.00	3.00	0.00	4.50	$5.85 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	4.00	7.00	3.00		5.00	$71.5 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	6.00	7.00	1.00		0.01	$1.30 \times 10^{-07}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	7.50	10.00	2.50		0.01	$1.30 \times 10^{-07}$	Arenisca (Proceso de Litificación)



10.00	13.00	3.00	0.01	$1.30 \times 10^{-07}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
13.00	16.00	3.00	0.36	$4.68 \times 10^{-06}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
16.50	19.00	2.50	0.01	$1.30 \times 10^{-07}$	Arenisca (Proceso de Litificación)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50

Resultados de permeabilidad tipo Lugeon del Estribo Derecho

SONDEO	TRAMO		TRAMO	NIVEL DE AGUA	U.L.	K = Cm/Seg	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA
	DESDE	HASTA					
SEPC - 04	1.00	4.00	3.00	0.00	5.26	$6.84 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	2.00	4.00	2.00		6.28	$8.16 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	4.00	7.00	3.00		4.12	$5.35 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	6.00	7.00	1.00		0.01	$1.30 \times 10^{-07}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
SEPC - 05	7.00	10.00	3.00	0.50	2.00	$2.60 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	6.50	9.50	3.00		2.24	$2.91 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	9.50	13.30	3.80		1.13	$1.47 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
SEPI - 02	1.00	4.00	3.00	0.00	3.80	$4.94 \times 10^{-04}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	2.00	4.00	2.00		0.01	$1.30 \times 10^{-07}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	4.00	7.00	3.00		0.01	$1.30 \times 10^{-07}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	7.00	10.00	3.00		0.01	$1.30 \times 10^{-07}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	10.00	13.00	3.00		0.87	$1.13 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	13.00	16.00	3.00		2.45	$3.19 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)
	16.00	19.00	3.00		1.72	$2.24 \times 10^{-05}$	Arenisca (Proceso de Litificación)

Fuente: Elaboración propia

#### 8.1.6.2. Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc

El Ensayo Lefranc es un método de carga variable o constante que se realiza dentro de una perforación o pozo de prueba. se enfoca en medir la velocidad de infiltración del agua cuando se produce un cambio en la carga hidráulica dentro de una cavidad o tramo aislado del suelo.

Ensayo de carga variable (Método más común): Se llena el sondeo con agua y se mide el tiempo que tarda el nivel del agua en descender una determinada distancia. Este descenso lento es típico de suelos de baja permeabilidad (limos y arcillas).

Ensayo de carga constante: Se mantiene constante el nivel de agua en el sondeo mientras se mide la tasa de caudal de agua necesaria para compensar la infiltración en el suelo. Este se usa para suelos de permeabilidad media.



El resultado final del Ensayo Lefranc es el coeficiente de permeabilidad (K), expresado generalmente en unidades de velocidad (m/s o cm/s). Este parámetro es vital para:

- Diseño de drenaje: Dimensionar sistemas de drenaje alrededor de la cimentación de la presa o en terraplenes.
- Estimación de filtraciones: Calcular el volumen de agua que se perderá por filtración a través del cuerpo de la presa o su cimentación.
- Evaluación de materiales: Determinar la idoneidad de los suelos in situ o de cantera para ser utilizados como núcleos impermeables o filtros en la construcción de presas de tierra o enrocado.

El coeficiente de permeabilidad del suelo se calcula de manera simple con la siguiente fórmula:

$$K = Q / (C.H)$$

Dónde:

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

Q: Caudal (cm<sup>3</sup>/s)

H: Carga hidráulica (cm)

C: Coeficiente de forma (cm<sup>-1</sup>)

Tabla 51

*Resultados de ensayos de permeabilidad - Tipo Lefranc*

Sondeo	Ensayo	Profundidad (m)	Material	Permeabilidad (cm/s)
S-01	LF-1	1.90 - 2.60	Suelo residual, conformado por arena arcillosa	$6.28 \times 10^{-06}$
	LF-2	5.50 - 6.00	Suelo residual, conformado por arcilla arenosa	$2.96 \times 10^{-07}$
S-02	LF-2	2.20 - 2.80	Suelo aluvial, conformado por grava pobremente graduada en matriz arenosa con limos	$5.63 \times 10^{-04}$
S-04	LF-1	3.70 - 4.15	Limo arcilloso, plasticidad media	$2.42 \times 10^{-06}$



LF-2	9.1 - 10.0	Limo arcilloso, plasticidad media	$9.86 \times 10^{-08}$
------	------------	-----------------------------------	------------------------

Fuente: *Elaboración propia*

## 8.2. INVESTIGACION DE CAMPO PARA EL EMBALSE DE LA PRESA

Se realizaron excavaciones, tales como calicatas a cielo abierto con maquinaria (excavadora). La sección mínima de las calicatas fue de 2,0 x 3,0 m y una profundidad y/o altura de corte de 3,0 metros, siempre y cuando la naturaleza del terreno lo haya permitido (Ver tabla 52). La profundidad de la excavación puede estar limitada por la presencia del nivel freático; estratos gravosos (bolonería masiva) o mantos rocosos.

Tabla 52

*Ubicación de Excavaciones de calicatas para la Presa*

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	COORDENADAS UTM (WGS'84)	
			ESTE (m)	NORTE (m)
C-01/5	2.50	N. A	266577	8368975
C-02/5	2.50	N. A	266685	8368856
C-03/5	2.20	N. A	266603	8368981
C-04/5	4.00	N. A	266621	8368824
C-05/5	3.20	N. A	266576	8368836
C-01/7	3.50	N. A	266637	8368857
C-02/7	2.20	N. A	266504	8368972
C-03/7	3.20	N. A	266629	8368791










Fuente: *Elaboración propia*





Figura 59

Descripción estratigráfica de la Calicata C-01/5


CALICATA C-01/5									
PROFUNDIDAD		2.50 m							
COORDENADAS		266577 E ; 8368975 N							
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco							
PERFIL CALICATA									
Prof.(m)					Est.	Litología	SUCS AASHTO	DESCRIPCIÓN	
	Color	Esp. Ac	Esp. I						
- 0.10		0.60	0.60	1		OL	Terreno de cobertura de color marrón oscuro, conformado por material orgánico de baja plasticidad, húmedo y presenta raíces en gran cantidad.		
- 0.20									
- 0.30									
- 0.40									
- 0.50									
- 0.60									
- 0.70		0.80	0.20	2		CL	Arcilla de baja plasticidad, de color beige oscuro, húmedo, y compacidad media.		
- 0.80									
- 0.90									
- 1.00									
- 1.10									
- 1.20									
- 1.30		2.30	1.50	2		SW-SM	Suelo residual conformado por una matriz de ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO Y GRAVA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SW-SM, de color beige oscuro, húmedo, la matriz presenta bastante cantidad de arena (75.9%), pequeña cantidad de grava (15.1%), y presenta una porción pequeña de finos (9.0%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 14.4%. Material conformado producto de la meteorización de la toba.		
- 1.40									
- 1.50									
- 1.60									
- 1.70									
- 1.80									
- 1.90									
- 2.00									
- 2.10									
- 2.20									
- 2.30									
- 2.40		2.50	0.20	3		-	Toba volcánica de color plomizo, húmedo y de resistencia baja.		
- 2.50									

Fuente: Elaboración propia



Figura 60

Descripción estratigráfica de la Calicata C-02/5

CALICATA C-02/5									
PROFUNDIDAD		2.50 m							
COORDENADAS		266685 E ; 8368856 N							
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco							
									
PERFIL CALICATA									
Prof.(m)					Est.	Litología	SUCS AASHTO	DESCRIPCIÓN	
	Color	Esp. Ac	Esp. l						
- 0.10		0.40	0.40	1		OL	Terreno de cobertura de color marrón, conformado por material orgánico de baja plasticidad, húmedo y presenta raíces en gran cantidad.		
- 0.20									
- 0.30									
- 0.40									
- 0.50		0.90	0.50	2		CL-ML	Limo arcilloso blando, de color beige oscuro, húmedo y plástico.		
- 0.60									
- 0.70									
- 0.80									
- 0.90									
- 1.00		2.50	1.60	3		-	Toba volcánica de color plomizo, húmedo, se encuentra en proceso de meteorización presentando resistencias bajas a 03 Mpa.		
- 1.10									
- 1.20									
- 1.30									
- 1.40									
- 1.50									
- 1.60									
- 1.70									
- 1.80									
- 1.90									
- 2.00									
- 2.10									
- 2.20									
- 2.30									
- 2.40									
- 2.50									







Fuente: Elaboración propia



Figura 61






Descripción estratigráfica de la Calicata C-03/5

CALICATA C-03/5							
PROFUNDIDAD		2.20 m					
COORDENADAS		266603 E ; 8368981 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	DESCRIPCIÓN
	Color	Esp. Ac	Esp. l				
- 0.10		0.50	0.50	1		OL	Terreno de cobertura de color marrón, conformado por material orgánico de baja plasticidad, húmedo y presenta raíces en gran cantidad.
- 0.20							
- 0.30							
- 0.40							
- 0.50							
- 0.60		2.50	2.00	2		SP-SM	Suelo residual conformado por una matriz de ARENA POBREMENTE GRADUADA CON LIMO que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SP-SM, de color beige claro, húmedo, la matriz presenta bastante cantidad de arena (83.4%), pequeña cantidad de grava (10.2%), y presenta una porción pequeña de finos (6.4%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 12.5%. Material conformado producto de la meteorización de la toba.
- 0.70							
- 0.80							
- 0.90							
- 1.00							
- 1.10							
- 1.20							
- 1.30							
- 1.40							
- 1.50							
- 1.60							
- 1.70							
- 1.80							
- 1.90							
- 2.00							
- 2.10							
- 2.20							

Fuente: Elaboración propia

Figura 62

Descripción estratigráfica de la Calicata C-04/5

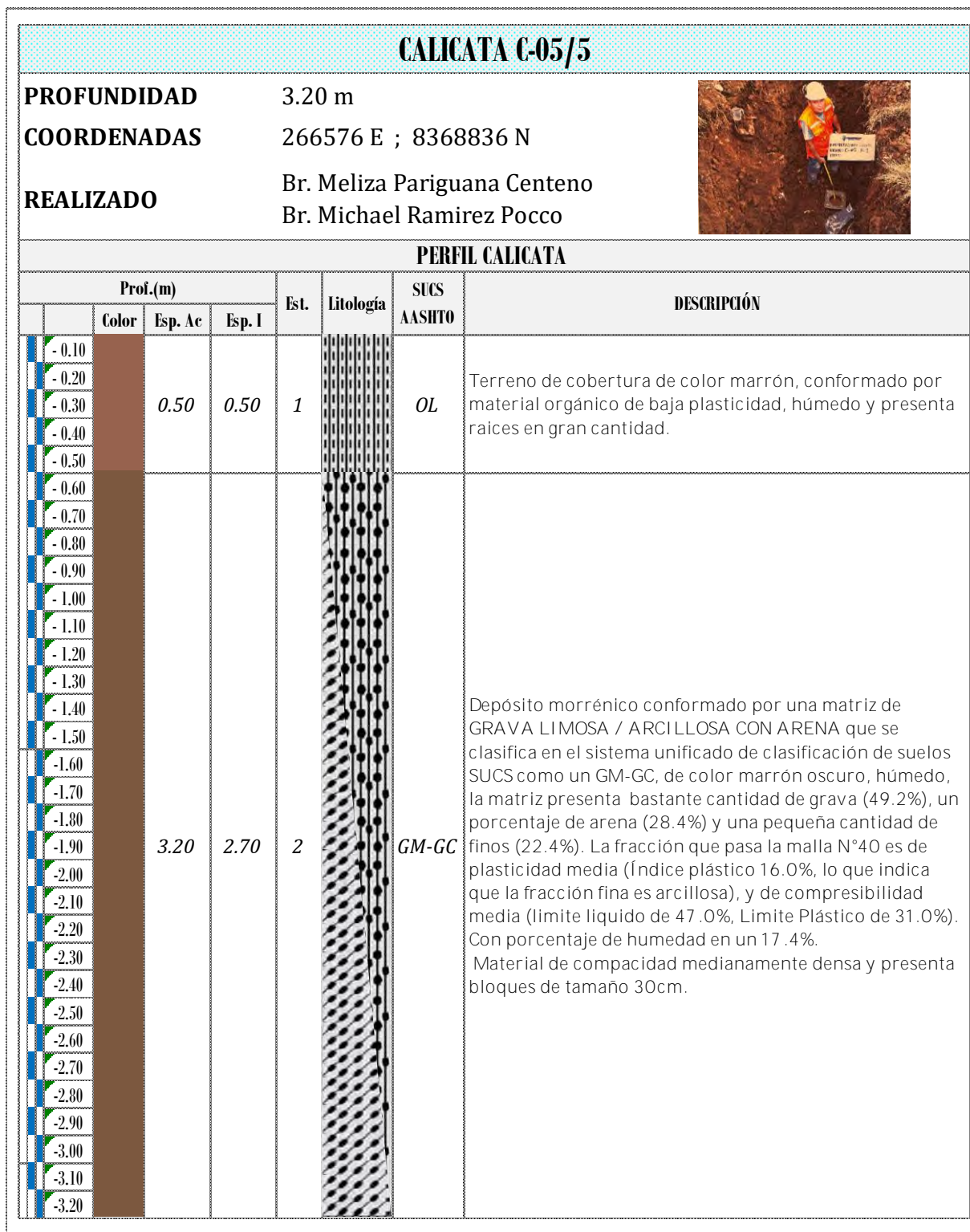
CALICATA C-04/5							
PROFUNDIDAD		4.00 m					
COORDENADAS		266621 E ; 8368824 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
							
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	DESCRIPCIÓN
	Color	Esp. Ac	Esp. l				
- 0.10		1.80	1.80	1		OL	Terreno de cobertura de color marrón, conformado por material orgánico de baja plasticidad, húmedo y presenta raíces en gran cantidad.
- 0.20							
- 0.30							
- 0.40							
- 0.50							
- 0.60							
- 0.70							
- 0.80							
- 0.90							
- 1.00							
- 1.10							
- 1.20							
- 1.30							
- 1.40							
- 1.50							
- 1.60		4.00	2.20	2		SM	Depósito morrénico conformado por una matriz de ARENA LI MOSA CON GRAVA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM, de color marrón oscuro, húmedo, la matriz presenta bastante cantidad de arena (41.9%) y finos (40.2%), así como una pequeña cantidad de grava (17.9%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 1.0%. Material de compactidad medianamente densa.
- 1.70							
- 1.80							
- 1.90							
- 2.00							
- 2.10							
- 2.20							
- 2.30							
- 2.40							
- 2.50							
- 2.60							
- 2.70							
- 2.80							
- 2.90							
- 3.00							
- 3.10							
- 3.20							
- 3.30							
- 3.40							
- 3.50							
- 3.60							
- 3.70							
- 3.80							
- 3.90							
- 4.00							

Fuente: Elaboración propia



Figura 63

Descripción estratigráfica de la Calicata C-05/5



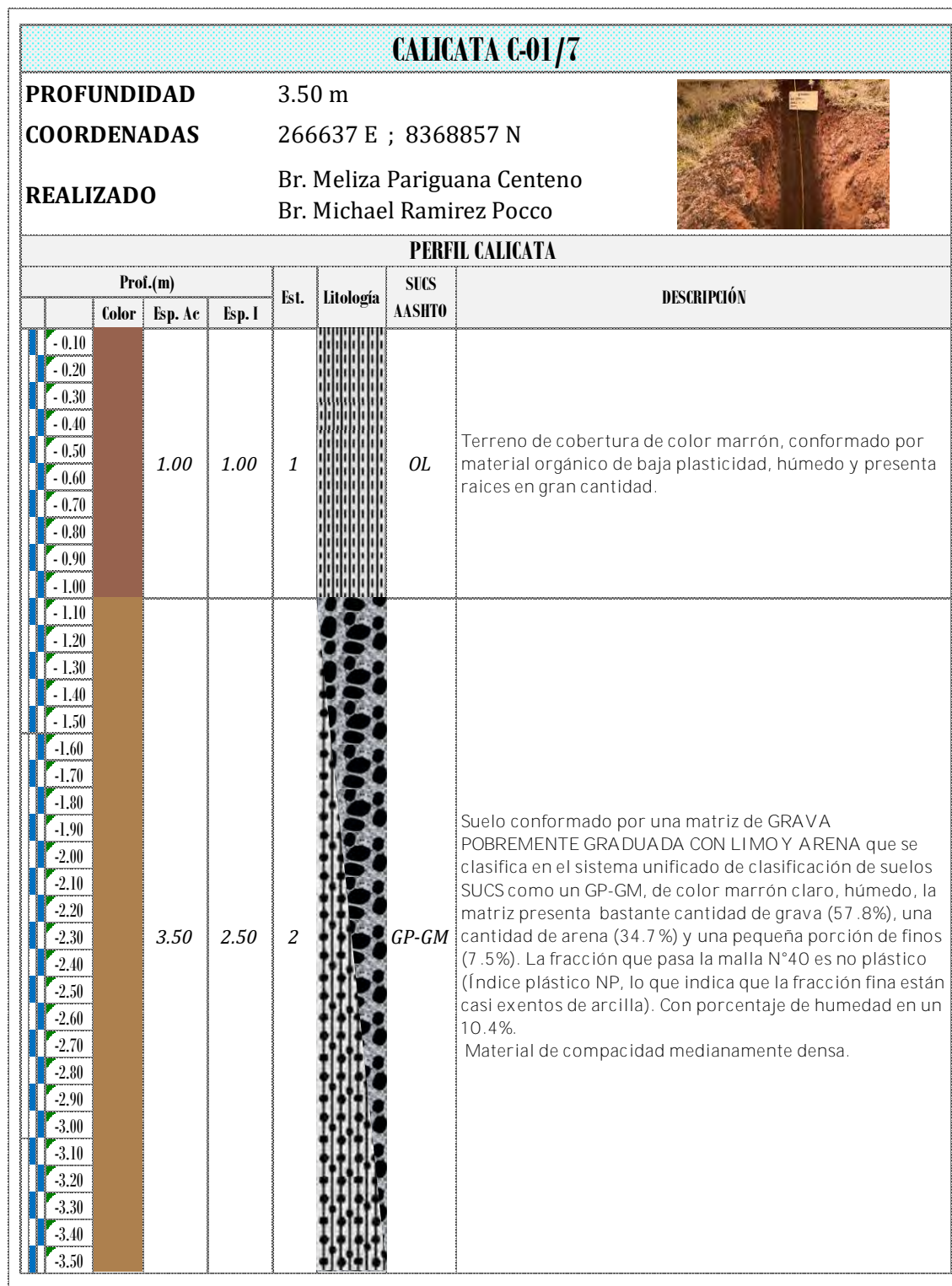
Fuente: Elaboración propia





Figura 64

Descripción estratigráfica de la Calicata C-01/7







Fuente: Elaboración propia



Figura 65

Descripción estratigráfica de la Calicata C-02/7

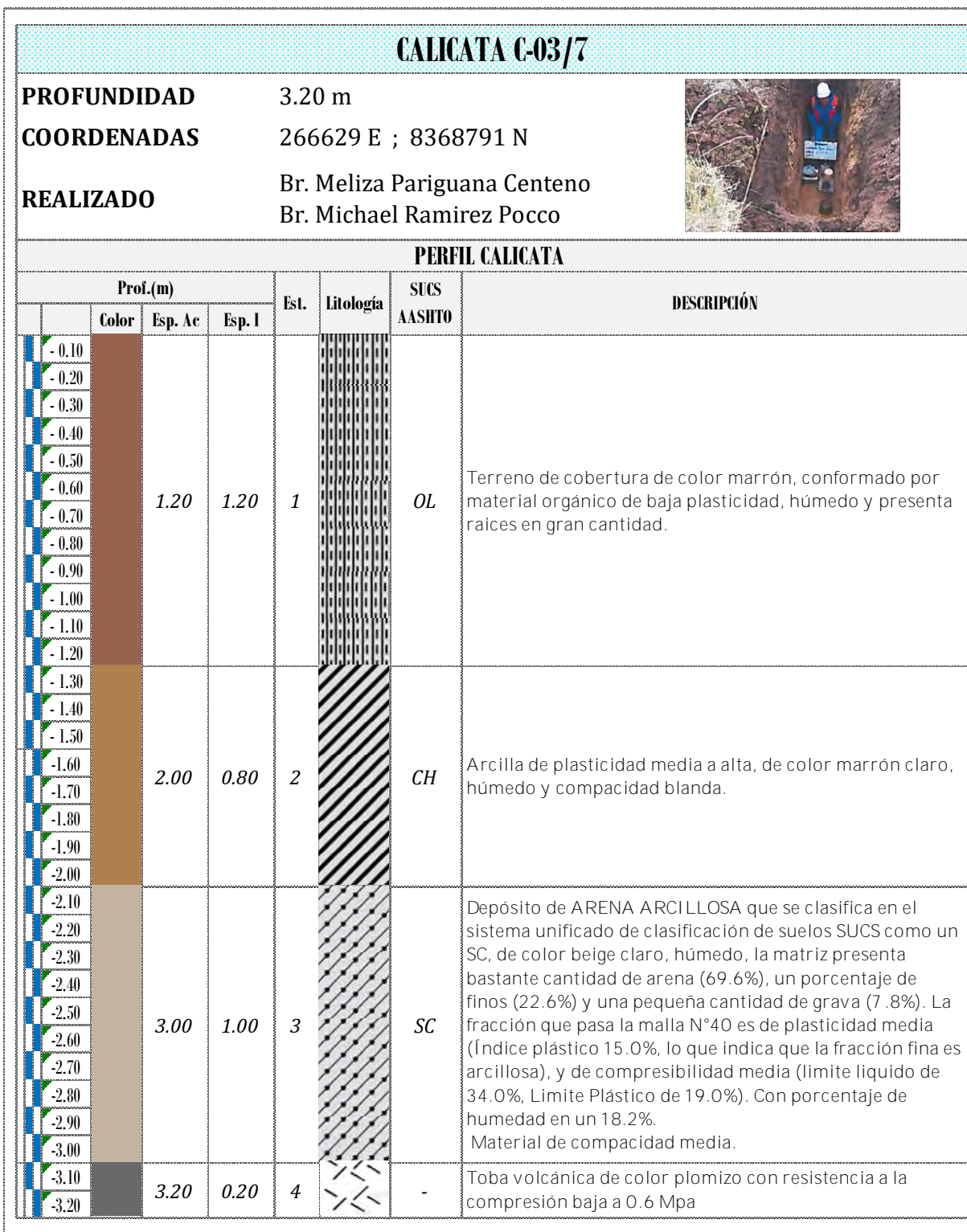
CALICATA C-02/7									
PROFUNDIDAD		2.20 m							
COORDENADAS		266504 E ; 8368972 N							
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco							
PERFIL CALICATA									
Prof.(m)					Est.	Litología	SUCS AASHTO	DESCRIPCIÓN	
		Color	Esp. Ac	Esp. l					
- 0.10			0.40	0.40	1		OL	Terreno de cobertura de color marrón, conformado por material orgánico de baja plasticidad, húmedo y presenta raíces en gran cantidad.	
- 0.20									
- 0.30									
- 0.40									
- 0.50			1.30	0.90	2		CL	Arcilla de baja plasticidad, de color beige oscuro, húmedo, plástica y compacidad media a blanda.	
- 0.60									
- 0.70									
- 0.80									
- 0.90									
- 1.00									
- 1.10									
- 1.20									
- 1.30			2.20	0.90	3		GP-GM	Suelo residual conformado por una matriz de GRAVA POBREMENTE GRADUADA CON LIMO Y ARENA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GP-GM, de color marrón, húmedo, la matriz presenta bastante cantidad de grava (51.0%), una cantidad de arena (41.9%) y una pequeña porción de finos (7.1%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 10.1%. Material de compacidad medianamente densa, formado producto de la meteorización de la toba.	
- 1.40									
- 1.50									
- 1.60									
- 1.70									
- 1.80									
- 1.90									
- 2.00									
- 2.10									
- 2.20									

Fuente: Elaboración propia



Figura 66

Descripción estratigráfica de la Calicata C-03/7



Fuente: Elaboración propia



Tabla 53

*Ubicación de Excavaciones de calicatas en Zona del Vaso*


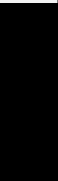


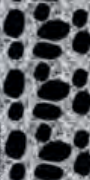
CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	COORDENADAS UTM (WGS'84)	
			ESTE (m)	NORTE (m)
CV-01	2.00	1.10	266675	8368923
CV-02	2.30	1.40	266715	8369061
CV-03	2.30	N. A	266748	8369018
CV-04	2.30	0.70	266770	8368983
CV-05	2.70	1.50	266800	8368928
CV-06	2.30	0.00	266930	8368963
CV-07	2.30	2.18	267131	8369057
CV-08	2.30	2.20	267173	8369196
CV-09	2.30	1.80	267398	8369428
CV-10	1.80	1.20	267311	8369489
CV-11	2.60	0.00	267023	8369416
CV-12	2.65	0.00	266944	8369344
CV-13	2.60	0.00	266879	8369284
CV-14	2.30	1.30	266943	8369138

*Fuente: Elaboración propia*



Figura 67

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-01

CALICATA CV-01							
PROFUNDIDAD		2.00 m					
COORDENADAS		266675 E ; 8368923 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. I				
- 0.05		0.40	0.40	1		SM	Arenas limosas, de grano fino, en estado semicompacto a compacto, de baja plasticidad, húmeda, de color negro, presencia de materia orgánica. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.
- 0.10							
- 0.15							
- 0.20							
- 0.25							
- 0.30							
- 0.35							
- 0.40							
- 0.45		2.00	1.60	2		GP	GRAVA POBREMENTE GRADUADA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GP, con arenas de grano grueso a fino, en estado semicompacto, no plástico, húmedo a saturado, de color gris a negro, sus gravas son de forma subredondeadas a redondeadas, tamaño máximo de 3in, porcentaje de 3in a 6in es de 5%. La matriz presenta bastante cantidad de grava (73.0%), un porcentaje de arena (25.1%) y una pequeña cantidad de finos (1.9%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 6.14%. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue medio. Nivel freático a la profundidad de 1.10m, producto del río cercano a la excavación.
- 0.50							
- 0.55							
- 0.60							
- 0.65							
- 0.70							
- 0.75							
- 0.80							
- 0.85							
- 0.90							
- 0.95							
- 1.00							
- 1.05							
- 1.10							
- 1.15							
- 1.20							
- 1.25							
- 1.30							
- 1.35							
- 1.40							
- 1.45							
- 1.50							
- 1.55							
- 1.60							
- 1.65							
- 1.70							
- 1.75							
- 1.80							
- 1.85							
- 1.90							
- 1.95							
- 2.00							


Fuente: Elaboración propia





Figura 68

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-02







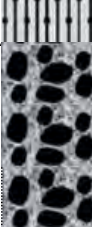
CALICATA CV-02									
PROFUNDIDAD		2.30 m							
COORDENADAS		266715 E ; 8369061 N							
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco							
									
PERFIL CALICATA									
Prof.(m)					Est.	Litología	SUCS AASHTO		
		Color	Esp. Ac	Esp. l					
-0.05			0.30	0.30	1		ML	Limo orgánico, con arenas de grano fino, blanda, de baja plasticidad, húmeda, de color gris a negro. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue medio.	
-0.10									
-0.15									
-0.20									
-0.25									
-0.30									
-0.35			1.20	0.90	2			ARENA LIMOSA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM, húmeda, de color marrón oscuro. La matriz presenta bastante cantidad de arena (57.9%), un porcentaje de finos (41.1%) y una pequeña cantidad de grava (1.0%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 33.5%. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue medio.	
-0.40									
-0.45									
-0.50									
-0.55									
-0.60									
-0.65									
-0.70									
-0.75									
-0.80									
-0.85									
-0.90									
-0.95									
-1.00									
-1.05									
-1.10									
-1.15									
-1.20									
-1.25			2.30	1.10	3		SM	Arena limosa, da grano medio, en estado semicompacto, no plástica, húmeda, saturada, de color gris, presencia de oxidación. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue bajo. Nivel freático a la profundidad de 1.40m, producto del río cercano a la excavación.	
-1.30									
-1.35									
-1.40									
-1.45									
-1.50									
-1.55									
-1.60									
-1.65									
-1.70									
-1.75									
-1.80									
-1.85									
-1.90									
-1.95									
-2.00									
-2.05									
-2.10									
-2.15									
-2.20									
-2.25									
-2.30									

Fuente: Elaboración propia



Figura 69

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-03


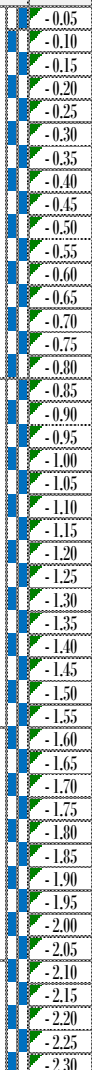

CALICATA CV-03							
PROFUNDIDAD		2.30 m					
COORDENADAS		266748 E ; 8369018 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
							
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. I				
-0.05		0.50	0.50	1		SM	Arena limosa de grano fino, en estado semicompacto a compacto, de baja plasticidad, húmeda de color negro, presencia de materia orgánica. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.
-0.10							
-0.15							
-0.20							
-0.25							
-0.30							
-0.35							
-0.40							
-0.45		1.10	0.60	2		SM	Arena limosa de grano fino, en estado semicompacto a compacto, no presenta plasticidad, húmeda, de color marrón oscuro. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue medio.
-0.50							
-0.55							
-0.60							
-0.65							
-0.70							
-0.75							
-0.80							
-0.85		2.30	1.20	3		GP	GRAVA POBREMENTE GRADUADA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GP, con arenas de grano grueso a fino, en estado semicompacto, no plástico, saturado, de color plomo a gris, sus gravas son de forma subredondeadas a redondeadas, tamaño máximo de 3in, porcentaje de 3in a 6in es de 3%. La matriz presenta bastante cantidad de grava (50.8%), un porcentaje de arena (45.0%) y una pequeña cantidad de finos (4.2%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 13.52%. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue medio.
-0.90							
-0.95							
-1.00							
-1.05							
-1.10							
-1.15							
-1.20							
-1.25							
-1.30							
-1.35							
-1.40							
-1.45							
-1.50							
-1.55							
-1.60							
-1.65							
-1.70							
-1.75							
-1.80							
-1.85							
-1.90							
-1.95							
-2.00							
-2.05							
-2.10							
-2.15							
-2.20							
-2.25							
-2.30							

Fuente: Elaboración propia



Figura 70

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-04






CALICATA CV-04							
PROFUNDIDAD		2.30 m					
COORDENADAS		266770 E ; 8368983 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. I				
-0.05		2.30	2.30	1		GW	<p>GRAVA BIEN GRADUADA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GW, con arenas de grano grueso a fino, en estado semicompacto, no plástico, saturado, de color plomo a gris, sus gravas son de forma subredondeadas, tamaño máximo de 3in, porcentaje de 3in a 6in es de 2%. La matriz presenta bastante cantidad de grava (68.8%), un porcentaje de arena (30.7%) y una pequeña cantidad de finos (0.5%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 5.25%. Durante la excavación sus paredes fueron inestables, su grado de dificultad para excavar fue bajo. Nivel freático a la profundidad de 0.70m, producto del río cercano a la excavación.</p>
-0.10							
-0.15							
-0.20							
-0.25							
-0.30							
-0.35							
-0.40							
-0.45							
-0.50							
-0.55							
-0.60							
-0.65							
-0.70							
-0.75							
-0.80							
-0.85							
-0.90							
-0.95							
-1.00							
-1.05							
-1.10							
-1.15							
-1.20							
-1.25							
-1.30							
-1.35							
-1.40							
-1.45							
-1.50							
-1.55							
-1.60							
-1.65							
-1.70							
-1.75							
-1.80							
-1.85							
-1.90							
-1.95							
-2.00							
-2.05							
-2.10							
-2.15							
-2.20							
-2.25							
-2.30							

Fuente: Elaboración propia



Figura 71

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-05



CALICATA CV-05									
PROFUNDIDAD		2.70 m							
COORDENADAS		266800 E ; 8368928 N							
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco							
PERFIL CALICATA									
		Prof.(m)			Est.	Litología	SUCS AASHTO		
		Color	Esp. Ac	Esp. l					
-0.05			0.40	0.40	1		SM	Arena limosa de grano fino, en estado semicompacto, de baja plasticidad, húmeda, de color marrón oscuro, presencia de materia orgánica. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.	
-0.10									
-0.15									
-0.20									
-0.25									
-0.30									
-0.35			1.40	1.00	2		SM	ARENA LIMOSA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM, de grano fino, en estado semicompacto a compacto, de baja plasticidad, húmeda, de color marrón. La matriz presenta bastante cantidad de arena (73.7%), un pequeño porcentaje de finos (26.03%) y no presenta grava. La fracción que pasa la malla N°40 es de plasticidad media (Índice plástico 9.0%, lo que indica que la fracción fina es arcillosa), y de compresibilidad media (límite líquido de 45.0%, Límite Plástico de 36.0%). Con porcentaje de humedad en un 43.7%. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.	
-0.40									
-0.45									
-0.50									
-0.55									
-0.60									
-0.65									
-0.70									
-0.75									
-0.80									
-0.85									
-0.90									
-0.95									
-1.00									
-1.05			2.10	0.70	3		SC	ARENA ARCILLOSA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SC, de grano fino, en estado compacto, medianamente plástica, húmeda, de color marrón rojizo. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue medio a alto. Nivel freático a la profundidad de 1.50m, producto del río cercano a la excavación.	
-1.10									
-1.15									
-1.20									
-1.25									
-1.30									
-1.35									
-1.40									
-1.45									
-1.50									
-1.55			2.70	0.60	4		GP	Grava pobremente graduada, con arenas de grano grueso a fino, suelto, no plástico, saturado a redondeada, de color plomo a gris, sus gravas son de forma subredondeadas a redondeadas, tamaño máximo de 3in, porcentaje de 3in a 6in es de 5%. Durante la excavación sus paredes fueron inestables, su grado de dificultad para excavar fue bajo.	
-1.60									
-1.65									
-1.70									
-1.75									
-1.80									
-1.85									
-1.90									
-1.95									
-2.00									
-2.05									
-2.10									
-2.15									
-2.20									
-2.25									
-2.30									
-2.35									
-2.40									
-2.45									
-2.50									
-2.55									
-2.60									
-2.65									
-2.70									

Fuente: Elaboración propia



Figura 72

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-06

CALICATA CV-06													
PROFUNDIDAD		2.30 m											
COORDENADAS		266930 E ; 8368963 N											
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco											
PERFIL CALICATA													
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO							
	Color	Esp. Ac	Esp. I										
-0.05 -0.10 -0.15 -0.20 -0.25 -0.30 -0.35 -0.40 -0.45 -0.50		0.50	0.50	1		SM	Arena limosa de grano fino, en estado semicompacto, de baja plasticidad, húmeda, de color gris, presencia de raíces y materia orgánica. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.						
-0.55 -0.60 -0.65 -0.70 -0.75 -0.80 -0.85 -0.90 -0.95 -1.00 -1.05 -1.10 -1.15 -1.20 -1.25 -1.30 -1.35 -1.40 -1.45 -1.50													
-1.55 -1.60 -1.65 -1.70 -1.75 -1.80 -1.85 -1.90 -1.95 -2.00 -2.05 -2.10 -2.15 -2.20 -2.25 -2.30													

Fuente: Elaboración propia





Figura 73

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-07




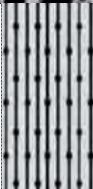
CALICATA CV-07														
PROFUNDIDAD		2.30 m												
COORDENADAS		267131 E ; 8369057 N												
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco												
PERFIL CALICATA														
Prof.(m)					Est.	Litología	SUCS AASHTO							
	Color	Esp. Ac	Esp. I											
-0.05 -0.10 -0.15 -0.20 -0.25 -0.30 -0.35 -0.40 -0.45 -0.50		0.50	0.50	1		SM	Arena limosa de grano fino, en estado semicompacto, de baja plasticidad, húmeda, de color gris a negro, presencia de raíces y materia orgánica. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.							
-0.55 -0.60 -0.65 -0.70 -0.75 -0.80														
-0.85 -0.90 -0.95 -1.00 -1.05 -1.10 -1.15 -1.20 -1.25 -1.30 -1.35 -1.40 -1.45 -1.50														
-1.55 -1.60 -1.65 -1.70 -1.75 -1.80 -1.85 -1.90 -2.00 -2.05 -2.10 -2.15 -2.20 -2.25 -2.30														
								1.50	1.00	2		SM	Arena limosa de grano medio, en estado compacto, de baja plasticidad, húmeda, de color marrón a naranja, presencia de oxidación. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.	

Fuente: Elaboración propia



Figura 74

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-08




CALICATA CV-08							
PROFUNDIDAD		2.30 m					
COORDENADAS		267173 E ; 8369196 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
							
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. l				
-0.05		0.55	0.55	1		SM	Arena limosa de grano fino, en estado semicompacto, de baja plasticidad, húmeda, de color gris a negro, presencia de raíces y materia orgánica. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.
-0.10							
-0.15							
-0.20							
-0.25							
-0.30							
-0.35							
-0.40							
-0.45							
-0.50							
-0.55		1.90	1.35	2		GP-GM	GRAVA POBREMENTE GRADUADA CON LIMO Y ARENA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GP-GM, con arenas limosas de grano fino, en estado compacto, medianamente plástico, húmedo, de color gris a negro, con presencia de materia orgánica, sus gravas son de forma subredondeadas, tamaño máximo de 3in, porcentaje de 3in a 6in es de 2%. La matriz presenta bastante cantidad de grava (52.9%), un porcentaje de arena (37.9%) y una pequeña cantidad de finos (9.2%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 9.6%. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue alto.
-0.60							
-0.65							
-0.70							
-0.75							
-0.80							
-0.85							
-0.90							
-0.95							
-1.00							
-1.05							
-1.10							
-1.15							
-1.20							
-1.25							
-1.30		2.30	0.40	3		SM	Arena limosa de grano medio, en estado compacto, no plástico, saturado, de color marrón rojizo. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue alto. Nivel freático a la profundidad de 2.20m producto de filtraciones de pequeños ojos de agua.
-1.35							
-1.40							
-1.45							
-1.50							
-1.55							
-1.60							
-1.65							
-1.70							
-1.75							
-1.80							
-1.85							
-1.90							
-1.95							
-2.00							
-2.05							
-2.10							
-2.15							
-2.20							
-2.25							
-2.30							

Fuente: Elaboración propia



Figura 75

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-09

CALICATA CV-09							
PROFUNDIDAD		2.30 m					
COORDENADAS		267398 E ; 8369428 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
							
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. l				
-0.05		0.40	0.40	1		SM	Arena limosa de grano fino, en estado semicompacto, de baja plasticidad, húmeda, de color negro, presencia de raíces y materia orgánica. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo.
-0.10							
-0.15							
-0.20							
-0.25							
-0.30							
-0.35							
-0.40		2.30	1.90	2		GP-GM	GRAVA POBREMENTE GRADUADA CON LIMO Y ARENA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GP-GM, con arenas limosas de grano fino, en estado compacto, de baja plasticidad, húmedo a saturada, de color gris a negro, con presencia de materia orgánica, sus gravas son de forma subredondeadas, tamaño máximo de 3in, porcentaje de 3in a 6in es de 1%. La matriz presenta bastante cantidad de grava (49.6%), un porcentaje de arena (43.6%) y una pequeña cantidad de finos (6.8%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 11.3%. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue alto. Nivel freático a la profundidad de 1.80m producto del río cercano a la excavación.
-0.45							
-0.50							
-0.55							
-0.60							
-0.65							
-0.70							
-0.75							
-0.80							
-0.85							
-0.90							
-0.95							
-1.00							
-1.05							
-1.10							
-1.15							
-1.20							
-1.25							
-1.30							
-1.35							
-1.40							
-1.45							
-1.50							
-1.55							
-1.60							
-1.65							
-1.70							
-1.75							
-1.80							
-1.85							
-1.90							
-1.95							
-2.00							
-2.05							
-2.10							
-2.15							
-2.20							
-2.25							
-2.30							



Fuente: Elaboración propia






### Descripción estratigráfica de la Calicata CV-10

*Fuente: Elaboración propia*



Figura 77

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-11

CALICATA CV-11							
PROFUNDIDAD		2.60 m					
COORDENADAS		267023 E ; 8369416 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
							
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. I				
-0.05		1.00	1.00	1		ML	Limo orgánico, con arenas de grano fino, blanda, de alta plasticidad, húmeda, de color negro. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue medio.
-0.10							
-0.15							
-0.20							
-0.25							
-0.30							
-0.35							
-0.40							
-0.45							
-0.50							
-0.55							
-0.60							
-0.65							
-0.70							
-0.75							
-0.80							
-0.85		2.60	1.60	2		SM	ARENA LIMOSA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM, de grano medio, en estado compacto, de alta plasticidad, húmeda, de color beige a marrón. La matriz presenta bastante cantidad de arena (75.3%), un porcentaje de fino (22.3%) y una pequeña cantidad de gravas (2.4%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 19.3%. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue medio.
-0.90							
-0.95							
-1.00							
-1.05							
-1.10							
-1.15							
-1.20							
-1.25							
-1.30							
-1.35							
-1.40							
-1.45							
-1.50							
-1.55							
-1.60							
-1.65							
-1.70							
-1.75							
-1.80							
-1.85							
-1.90							
-1.95							
-2.00							
-2.05							
-2.10							
-2.15							
-2.20							
-2.25							
-2.30							
-2.35							
-2.40							
-2.45							
-2.50							
-2.55							
-2.60							






Fuente: Elaboración propia





Figura 78

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-12


CALICATA CV-12							
PROFUNDIDAD		2.65 m					
COORDENADAS		266944 E ; 8369344 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. I				
-0.05		0.75	0.75	1		ML	Limo orgánico, con arenas de grano fino, blanda, de alta plasticidad, húmeda, de color negro. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue medio.
-0.10							
-0.15							
-0.20							
-0.25							
-0.30							
-0.35							
-0.40							
-0.45							
-0.50							
-0.55							
-0.60							
-0.65		2.65	1.90	2		SM	ARENA LIMOSA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM, de grano medio, en estado compacto, de alta plasticidad, húmeda, de color beige a marrón. La matriz presenta bastante cantidad de arena (58.2%), un porcentaje de fino (21.6%) y una pequeña cantidad de gravas (20.2%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 19.1%. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue medio.
-0.70							
-0.75							
-0.80							
-0.85							
-0.90							
-0.95							
-1.00							
-1.05							
-1.10							
-1.15							
-1.20							
-1.25							
-1.30							
-1.35							
-1.40							
-1.45							
-1.50							
-1.55							
-1.60							
-1.65							
-1.70							
-1.75							
-1.80							
-1.85							
-1.90							
-1.95							
-2.00							
-2.05							
-2.10							
-2.15							
-2.20							
-2.25							
-2.30							
-2.35							
-2.40							
-2.45							
-2.50							
-2.55							
-2.60							
-2.65							

Fuente: Elaboración propia



Figura 79

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-13


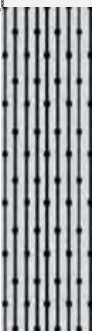
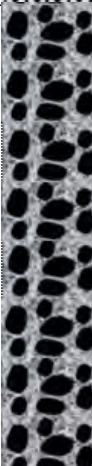
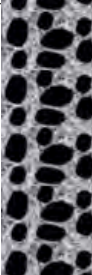
CALICATA CV-13								
PROFUNDIDAD		2.60 m						
COORDENADAS		266879 E ; 8369284 N						
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco						
								
PERFIL CALICATA								
Prof.(m)					Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. I					
-0.05		0.70	0.70	1		ML	Limo orgánico, con arenas de grano fino, blanda, de alta plasticidad, húmeda, de color negro. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue medio.	
-0.10								
-0.15								
-0.20								
-0.25								
-0.30								
-0.35								
-0.40								
-0.45								
-0.50								
-0.55		2.60	1.90	2		SM	ARENA LIMOSA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM, de grano medio, en estado compacto, de alta plasticidad, húmeda, de color marrón a gris. La matriz presenta bastante cantidad de arena (60.0%), un porcentaje de fino (26.7 %) y una pequeña cantidad de gravas (13.3%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 23.0%. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue medio.	
-0.60								
-0.65								
-0.70								
-0.75								
-0.80								
-0.85								
-0.90								
-0.95								
-1.00								
-1.05								
-1.10								
-1.15								
-1.20								
-1.25								
-1.30								
-1.35								
-1.40								
-1.45								
-1.50								
-1.55								
-1.60								
-1.65								
-1.70								
-1.75								
-1.80								
-1.85								
-1.90								
-1.95								
-2.00								
-2.05								
-2.10								
-2.15								
-2.20								
-2.25								
-2.30								
-2.35								
-2.40								
-2.45								
-2.50								
-2.55								
-2.60								

Fuente: Elaboración propia



Figura 80

Descripción estratigráfica de la Calicata CV-14

CALICATA CV-14							
PROFUNDIDAD		2.30 m					
COORDENADAS		266943 E ; 8369138 N					
REALIZADO		Br. Meliza Pariguana Centeno Br. Michael Ramirez Pocco					
							
PERFIL CALICATA							
Prof.(m)				Est.	Litología	SUCS AASHTO	
	Color	Esp. Ac	Esp. l				
-0.05	Negro	0.70	0.70	1		SM	Arena limosa de grano fino, en estado semicompacto, de baja plasticidad, húmeda, de color gris a negro, presencia de raíces y materia orgánica. Sus paredes durante la excavación fueron estables, el grado de dificultad para excavar fue bajo a medio.
-0.10							
-0.15							
-0.20							
-0.25							
-0.30							
-0.35							
-0.40							
-0.45							
-0.50							
-0.55	Negro	1.70	1.00	2		GP	GRAVA POBREMENTE GRADUADA que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GP, en estado semicompacto, no plástico, húmedo, de color gris a negro, presencia de materia orgánica, sus gravas son de forma subredondeadas a redondeadas, tamaño máximo de 4in, porcentaje de 3in a 6in es de 5%. La matriz presenta bastante cantidad de grava (88.0%), un porcentaje de arena (10.7%) y una pequeña cantidad de finos (1.3%). La fracción que pasa la malla N°40 es no plástico (Índice plástico NP, lo que indica que la fracción fina están casi exentos de arcilla). Con porcentaje de humedad en un 7.6%. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue alto.
-0.60							
-0.65							
-0.70							
-0.75							
-0.80							
-0.85							
-0.90							
-0.95							
-1.00							
-1.05	Negro	2.30	0.60	3		GP	Grava pobremente graduada con arenas de grano grueso, medianamente compacto, saturado, a saturado, de color marrón a gris. Durante la excavación sus paredes fueron estables, su grado de dificultad para excavar fue alto. Nivel freático a la profundidad de 1.30m producto del río cercano a la excavación.
-1.10							
-1.15							
-1.20							
-1.25							
-1.30							
-1.35							
-1.40							
-1.45							
-1.50							
-1.55							
-1.60							
-1.65							
-1.70							
-1.75							
-1.80							
-1.85							
-1.90							
-1.95							
-2.00							
-2.05							
-2.10							
-2.15							
-2.20							
-2.25							
-2.30							

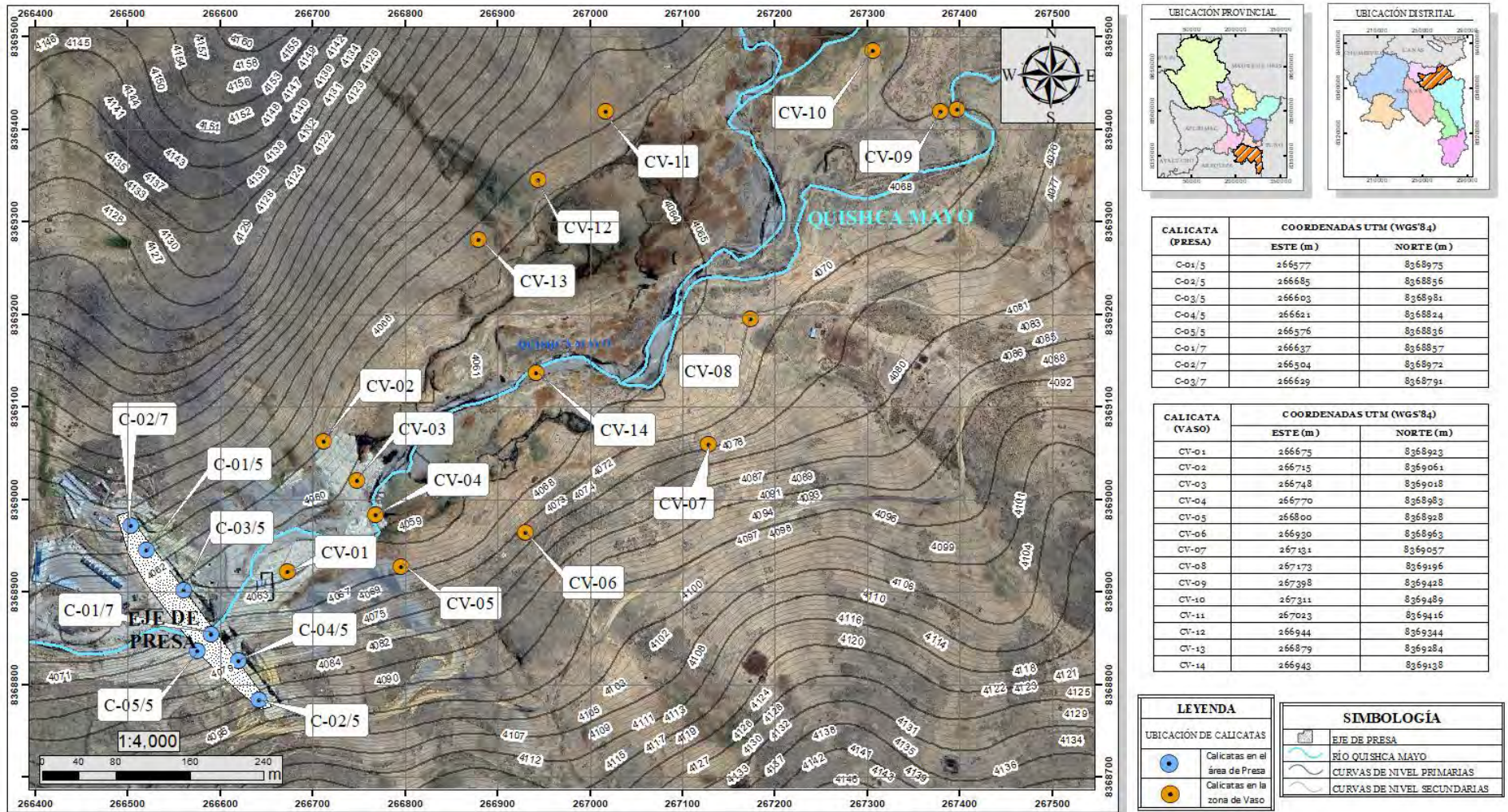
Fuente: Elaboración propia








Figura 81

Ubicación de las calicatas en el área de presa y el vaso



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO</b>		<b>TESIS</b>	<b>MAPA DE UBICACIÓN DE CALICATAS</b>					<small>Nº LÁMINA:</small> <b>Fig-81</b>
				<b>SISTEMA DE COORDENADAS</b>		<b>UBICACIÓN</b>		<b>ESCALA:</b> 1/4,000	<b>ELABORADO POR:</b>
				<b>DATUM</b>	<b>WG S84</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>CUSCO</b>		Br. MELIZA PARIGUANA CENTENO Br. MICHAEL RAMÍREZ POCCO
				<b>ZONA</b>	<b>19L</b>	<b>PROVINCIA</b>	<b>ESPINAR</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA</b>			"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024"			<b>DISTRITO</b>	<b>ALTO PICHIGUA</b>	<b>ASESOR:</b>	<b>DRA. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ</b>
<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>									



### 8.2.1. Resultados de los ensayos de laboratorio

Los materiales recolectados (suelo y roca) se sometieron a un riguroso programa de laboratorio para cuantificar sus propiedades físico-mecánicas. Para las muestras de suelo, se determinó la clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), además de parámetros básicos como el contenido de humedad natural y el peso unitario. La evaluación de la resistencia se realizó mediante ensayos de corte directo y triaxial, complementados con pruebas de compactación bajo el estándar Proctor Modificado. En cuanto al macizo rocoso, se evaluó la resistencia mediante ensayos de carga puntual (Point Load Test), propiedades físicas y caracterización química, cuyos resultados detallados se sistematizan en las siguientes tablas. (Ver tabla 54 y tabla 55)

Tabla 54

*Resultados de ensayos de contenido de humedad, granulometría y límites de las excavaciones de calicatas para la presa*

CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	GRANULOMETRÍA (%)			LÍMITES (%)			C. H. (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	
			Fino	Arena	Grava	LL	LP	IP			
C-01/5	M-1	0.80 - 2.30	9.0	75.9	15.1	-	NP	-	14.4	Arena bien graduada con limo y grava	SW-SM
C-02/5	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-03/5	M-1	0.50 - 2.20	6.4	83.4	10.2	-	NP	-	12.5	Arena pobremente graduada con limo	SP-SM
C-04/5	M-1	1.80 - 4.00	40.2	41.9	17.9	-	NP	-	1.0	Arena limosa con grava	SM
C-05/5	M-1	0.50 - 3.20	22.4	28.4	49.2	47	31	16	17.4	Grava limosa/arcillosa con arena	GM/GC
C-01/7	M-1	1.00 - 3.50	7.5	34.7	57.8	-	NP	-	10.4	Grava pobremente graduada con limo y arena	GP-GM
C-02/7	M-1	1.30 - 2.20	7.1	41.9	51.0	-	NP	-	10.1	Grava pobremente graduada con limo y arena	GP-GM
C-03/7	M-1	2.00 - 3.00	22.6	69.6	7.8	34	19	15	18.2	Arena arcillosa	SC

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55

*Resultados de ensayos de contenido de humedad, granulometría y límites de las excavaciones de calicatas en zona de vaso*

CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	GRANULOMETRÍA (%)			LÍMITES (%)			C. H. (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	
			Fino	Arena	Grava	LL	LP	IP			
CV-01	M-1	0.40 - 2.00	1.9	25.1	73.0	-	NP	-	6.14	Grava pobremente graduada	GP





CV-02	M-1	0.30 - 2.30	41.1	57.9	1.0	-	NP	-	33.5	Arena limosa	SM
CV-03	M-1	1.10 - 2.30	4.2	45.0	50.8	-	NP	-	13.52	Grava pobremente graduada	GP
CV-04	M-1	0.00 - 2.30	0.5	30.7	68.8	-	NP	-	5.25	Grava bien graduada	GW
CV-05	M-1	0.40 - 1.40	26.03	73.7	0.0	45	36	9	43.7	Arena limosa	SM/SC
CV-06	M-1	1.50 - 2.30	20.04	77.3	2.3	-	NP	-	16.5	Arena limosa	SM
CV-07	M-1	1.50 - 2.30	13.7	68.2	18.1	-	NP	-	15.5	Arena limosa	SM
CV-08	M-1	0.55 - 1.90	9.2	37.9	52.9	-	NP	-	9.6	Grava pobremente graduada con limo y arena	GP-GM
CV-09	M-1	0.40 - 2.30	6.8	43.6	49.6	-	NP	-	11.3	Grava pobremente graduada con limo y arena	GP-GM
CV-10	M-1	0.40 - 1.80	1.1	22.6	76.3	-	NP	-	6.8	Grava pobremente graduada	GP
CV-11	M-1	1.00 - 2.60	22.3	75.3	2.4	-	NP	-	19.3	Arena limosa	SM
CV-12	M-1	0.75 - 2.65	21.6	58.2	20.2	-	NP	-	19.1	Arena limosa	SM
CV-13	M-1	0.70 - 2.60	26.7	60.0	13.3	-	NP	-	23.0	Arena limosa	SM
CV-14	M-1	0.70 - 170	1.3	10.7	88.0	-	NP	-	7.6	Grava pobremente graduada	GP

Fuente: Elaboración propia

## 8.2.2. Ensayos para cantera de material de préstamo

### 8.2.2.1. Cantera de Agregados

El cauce ancho del río Challuta de 100 m a 300 m (el río Quishca Mayo confluye casi 7 km al Sur-Oeste del eje de la presa), ha sido considerado como áreas de préstamo de los depósitos aluviales, para utilizarlos como agregados para concreto (Ver fotografía 25). Los volúmenes disponibles son:

- Cantera de agregado 1: área de 33,000 m<sup>2</sup>, profundidad investigada 2 m, volumen disponible 66,000 m<sup>3</sup>.
- Cantera de agregado 2: área de 44,000 m<sup>2</sup>, profundidad investigada 2 m, volumen disponible 88,000 m<sup>3</sup>.
- Cantera de agregado 3: área de 32,500 m<sup>2</sup>, profundidad investigada 2 m, volumen disponible 65,000 m<sup>3</sup>.
- Cantera de agregado 4: área de 32,000 m<sup>2</sup>, profundidad investigada 2 m, volumen disponible 64,000 m<sup>3</sup>.

En total se dispondría de 283,000 m<sup>3</sup> de material de aluviones con buenas características físico-mecánicas para agregados.



Tabla 56

*Ubicación de excavaciones para la cantera de agregados*

N°	Calicata	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	Coordenadas UTM (WGS 84)	
				Este (m)	Norte (m)
1	CAG-1	2.0	0.8	264198	8368553
2	CAG-2	2.0	0.7	263433	8367341
3	CAG-3	2.0	0.75	262262	8365354
4	CAG-4	2.0	0.7	261596	8362811

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 57

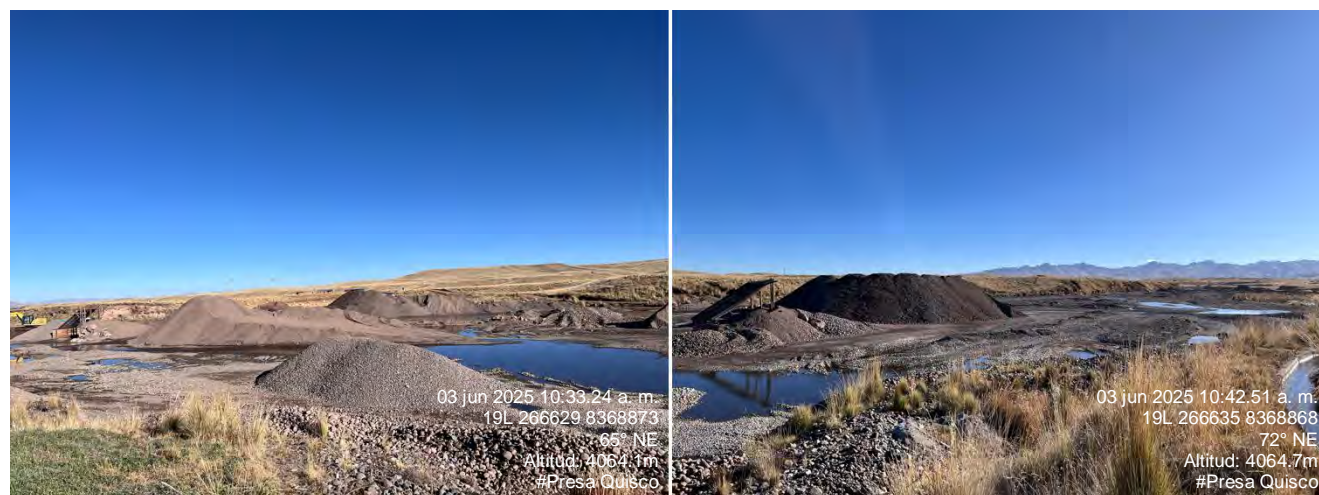
*Resultados de ensayos SUCS, contenido de humedad, granulometría y límites*

N°	Calicata	Muestra	Profundidad	Granulometría (%)			Límites (%)			C.H. (%)	Clasificación SUCS	
			(m)	Fino	Arena	Grava	LL	LP	IP			
23	CAG-1	M-1	0.00 - 1.50	0.9	12.3	86.8	-	NP	-	2.2	Grava pobremente gradada	GP
24	CAG-2	M-1	0.00 - 2.00	0.2	11.1	88.7	-	NP	-	2.1	Grava bien gradada	GW
25	CAG-3	M-1	0.00 - 2.00	0.4	20.1	79.5	-	NP	-	2.1	Grava bien gradada	GW
26	CAG-4	M-1	0.00 - 2.00	0.3	17.1	82.6	-	NP	-	2.7	Grava pobremente gradada	GP

*Fuente: Elaboración propia*

Fotografía 25

*Cantera de agregado para la construcción de la presa de Quisco*





#### 8.2.2.2. *Cantera de Rocas*

Aproximadamente a 200 m aguas abajo del eje proyectado, sobre el margen derecho del valle del río Quishca Mayo (Ver tabla 58), se ha identificado una elevación compuesta por rocas volcánicas de afinidad shoshonítica (Ver fotografía 26). Este afloramiento posee un alto potencial para ser explotado como fuente de material para el cuerpo de enrocado o como agregados para el concreto estructural. No obstante, su viabilidad técnica está supeditada a la ejecución de ensayos de reactividad álcali-sílice, con el fin de mitigar riesgos de degradación química en la matriz del hormigón ante la presencia de fases de sílice inestable en ambientes húmedos.

Cantera de rocas identificada permitiría producir unos 400,000 m<sup>3</sup> de material para el enrocado de la presa de Quisco, y eventualmente, agregados para concreto.

Tabla 58

*Ubicación de cantera de roca*

N°	Calicata	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	Coordenadas UTM (WGS '84)	
				Este (m)	Norte (m)
10	CR1	-	N.A.	266397	8368861
11	CR2	-	N.A.	266076	8368892

*Fuente: Elaboración propia*

- Ensayo de Abrasión

Se realiza el ensayo de abrasión (maquina los ángeles) con la norma ASMR C-535.NTP400.020, para determinar el porcentaje de desgaste físico de los materiales.

Con las muestras recogidas en las calicatas CR1 y CR2, se realizaron ensayos de abrasión, para evaluar la pérdida de peso debido a la abrasión a través del equipo los Ángeles.

Calicatas	Muestra	Índice L.A.
CR-1	M-1	21.9
CR-2	M-1	36.3

*Fuente: Elaboración propia*



## Fotografía 26

### Cantera de roca para la construcción de la presa Quisco



Las canteras y volúmenes requeridos son los siguientes:

Tabla 59

### Canteras y Volúmenes.

CANTERAS	Parcial	Total (material requerido)	Eficiencia de la cantera 70%	Factor de Seguridad
CANTERA DE ROCA		34,717.61	69,300.00	2.00
Piedra grande	34,717.61			
CANTERA PLAYA DE RIO		120,921.18	112,000.00	1.00
Piedra chancada	58,969.63			
Hormigón	19,873.21			
Arena Gruesa	42,078.34			

Fuente: *Elaboración propia*

Respecto a la cantera de agregados de río, se puede ampliar más el área de explotación.

## 8.3. ESTUDIOS PETROGRAFICOS

GEOMECC realizó un análisis petrográfico de las tres muestras enviadas por el Plan MERISS, y el resumen es el siguiente:



#### 8.3.1. PQ-C (Presa QUISCO – Eje central)

- Litología: Arenisca volcanoclástica

Roca volcano-sedimentaria conformada por fragmentos angulosos (80%) de plagioclasas, biotita, cuarzo, minerales opacos, fragmentos líticos volcánicos, fragmentos líticos de roca piroclástica y fragmentos de roca intrusiva, cementados (20%) por carbonatos. En general, los granos presentan formas angulosas de esfericidad baja y tienen tamaños que varían entre 0.19 mm y 2.09 mm, sin embargo, algunos fragmentos líticos llegan a tener tamaños de 4.06 mm. Los fragmentos de plagioclasas presentan maclas polisintéticas y zonación, los fragmentos de biotita están flexionados e incipientemente alterados a cloritas. (Ver tabla 60)

Los fragmentos de roca piroclástica están constituidos por fragmentos de plagioclasas en una matriz de cenizas o en ocasiones vítrea; los fragmentos de roca intrusiva están constituida por cristales subhedrales de plagioclasas maclados incipientemente alterados a arcillas criptocristalinas.

Se distinguen tres tipos de fragmentos líticos volcánicos:

- Tienen textura vitrofírica, constituida por cristales de plagioclasas y biotita inmersos en una matriz vítrea parcialmente alterada a arcillas:
- Son los más abundantes, se caracterizan por tener una matriz microgranular conformada por cuarzo, feldespatos, y en ocasiones, micas, presentan fenocristales de plagioclasas, biotita, y en algunos casos, moldes de anfíboles alterados a cloritas y óxidos de hierro
- Tienen textura porfídica con matriz granular, están constituidos por fenocristales de plagioclasas maclados y zonados inmersos en una matriz de plagioclasas, cuarzo y moldes de ferromagnesianos, en algunos de estos 93 fragmentos la matriz es traquítica, en general presentan alteración a sílice, sericita, cloritas y óxidos de hierro. La matriz originalmente constituida por arcillas está fuertemente remplazada por un cemento calcáreo.





Tabla 60

*Cuadro de la litología (Presa QUISCO – Eje central), GEOMEC*

MINERAL	%
Plagioclasas	35
Líticos de roca volcánica II	28
Carbonatos	20
Cuarzo	4
Líticos de roca volcánica III	3
Líticos de roca piroclástica	3
Arcillas	2
Líticos de roca volcánica I	2
Líticos de roca intrusiva	1
Minerales opácos	1
Biotita	1
Cloritas	Trazas

*Fuente: Elaboración propia*

### 8.3.2. PQ-D (Presa QUISCO – Eje derecho)

- Litología: Arenisca volcanoclásticos

Se resume en el contenido de sus componentes mineralógicos para la clasificación como arenisca volcanoclástica en la siguiente tabla: (Ver tabla 61)

Tabla 61

*Cuadro de la litología (Presa de QUISCO – Eje derecho), GEOMEC*

MINERAL	%
Plagioclasas	35
Líticos de roca volcánica	22
Arcillas	17
Líticos de roca piroclástica	15
Vidrio	4
Cuarzo	3
Minerales opácos	2
Biotita	1
Carbonatos	1
Cloritas	Trazas

*Fuente: Elaboración propia*



### 8.3.3. PQ-D (Presa QUISCO – Eje izquierdo)

- Litología: Arenisca volcanoclásticos

Se resume en el contenido de sus componentes mineralógicos para la clasificación como arenisca volcanoclástica en la siguiente tabla (ver tabla 62):

Tabla 62

*Cuadro de la litología (Presa QUISCO – Eje izquierdo), GEOMECH*

MINERAL	%
Líticos de roca volcánica II	39
Plagioclasas	25
Carbonatos	10
Arcillas	6
Líticos de roca volcánica I	5
Cuarzo	4
Líticos de roca piroclástica	3
Líticos de roca alterada	3
Biotita	2
Minerales opacos	1
Líticos de roca intrusiva	1
Vidrio	1
Cloritas	Trazas

*Fuente: Elaboración propia*



## CAPITULO IX: DISEÑO DE LA PRESA

### 9.1. CLASIFICACIÓN DE LA PRESA, EN FUNCIÓN AL RIESGO POTENCIAL GENERADO POR LA ROTURA DE LA PRESA

Con base en el análisis técnico detallado en el anexo de 'Clasificación de la Presa según el Riesgo Potencial por Rotura' para el Proyecto Quisco, se establecieron las categorías de seguridad correspondientes. Este estudio, desarrollado por el Ing. Wilber Fermín Laqui Vilca, se ciñe estrictamente al Reglamento de Seguridad de Presas Públicas de Embalse, ratificado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mediante la Resolución Jefatural N° 272-2018-ANA. Dicha normativa marco regula los protocolos de vigilancia y prevención de riesgos hídricos a nivel nacional.

Se realizó la modelización hidráulica y simulación del comportamiento de la onda de avenida generada por la rotura de la presa de Quisco, con el fin de proveer información para la elaboración de instrumentos técnicos de seguridad de la presa de Quisco, así como la estimación del riesgo potencial asociado a la ocurrencia de la falla de dicha estructura de regulación en una longitud de 27.76 km del río Quisco.

Como resultado de este estudio se analizaron escenarios con ocurrencia de avenidas y volúmenes de almacenamiento igual al nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), donde los niveles de afectación se incrementan de manera no significativa, en este sentido no se percibe la afectación de núcleos urbanos y servicios esenciales, sin embargo, los resultados proveen la ocurrencia de pérdidas de numerosas vidas humanas, daños materiales catastróficos en viviendas, terrenos de cultivo bajo riego y en secano, establos, granjas, infraestructura hidráulica, infraestructura vial, entre otros.

Efectuado el análisis de peligrosidad y afectación generados por la probable rotura de la Presa Quisco y el tránsito de la onda de avenida, y teniendo en consideración lo establecido en el Reglamento de Seguridad de Presas Públicas de Embalse de Agua, se clasifica la presa de la siguiente forma (Ver tabla 63):



Tabla 63

*Clasificación riesgo potencial de la presa Quisco*

PRESA	Clasificación en función a:	
	DIMENSIONES	RIESGO POTENCIAL
QUISCO	Grandes presas Altura superior a 15m y capacidad del embalse mayor a 3 Hm <sup>3</sup>	Categoría B Afectación importante a viviendas, tierras de cultivo, establos, granjas, caminos, puentes, bocatomas, canales de riego, produciendo la pérdida de algunas vidas humanas.

*Fuente: Elaboración propia*

Como recomendación, una vez construida la presa de Quisco, se deberá continuar con la implementación de las acciones dispuestas en el Reglamento de Seguridad de Presas Públicas de Embalse de Agua.

## 9.2. DISEÑO DE LA PRESA: (REFERENCIA TOMADA DEL EXPEDIENTE TÉCNICO APROBADO AGOSTO 2017)

El expediente técnico original, aprobado en 2012, propone la construcción de una presa de gravedad de concreto con el propósito de implementar el sistema de riego Quisco en el distrito de Alto Pichigua, Cusco. Este documento se fundamenta en estudios geológicos y geotécnicos que, **según análisis posteriores, no se revisaron de manera "adecuada y rigurosa". Se señala que la cimentación diseñada presentaba problemas muy graves para sostener una presa de estas características.** A pesar de contar con información técnica suficiente, esta no fue analizada con la profundidad necesaria, lo que resultó en un diagnóstico deficiente sobre las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio de la presa. (Ver figura 82)

### 9.2.1. Características del diseño de la presa

Las principales características de la presa, según el expediente técnico de 2017, son:

- Tipo de presa: Concreto gravedad
- Altura máxima: 36.70 m
- Longitud de coronación: 270.00 m



- Nivel de coronación: 4,080.90 msnm
- Ancho de la corona: 4.00 m
- Ancho máximo de la base: 27.17 m
- Inyecciones de consolidación: Inyecciones de lechada de cemento con una profundidad mínima de 5.00 m.
- Pantalla impermeable: Inyecciones de lechada de cemento con profundidades entre 10.00 m y 20.00 m.

#### 9.2.2. Condiciones geológicas

El proyecto identificó las siguientes unidades geotécnicas en el área de la presa:

- Unidad Ug1: Depósito cuaternario superficial compuesto por gravas, cantos rodados y arena.
- Unidad Ug2: Depósito cuaternario de gravas, detritos y arena con matriz de arcilla.
- Unidad Ug3a: Roca sedimentaria, específicamente arenisca granular fracturada y meteorizada.
- Unidad Ug3: Roca sedimentaria, mayormente arenisca de granulometría media a fina, poco fracturada y meteorizada.

#### 9.2.3. Presupuesto de obra

Tabla 64

*Estructura presupuestal del expediente técnico aprobado 2017*

Descripción	Presupuesto Base (S/)
Costo Directo	S/. 74, 222,671.67
Gastos Generales	S/. 7, 917,741.11
Supervisión	S/. 2, 233,120.89





Expediente Técnico	S/. 607,900.00
Infraestructura de Riego	S/. 84,373,533.67
Mitigación del Impacto Ambiental	S/. 330,034.95
Reducción de Riesgos	S/. 240,500.00
Capacitación de Usuarios	S/. 1,620,880.20
<i>TOTAL</i>	<i>S/. 87,172,848.82</i>

*Modelo antiguo de la presa según el Expediente Técnico del 2017*





### 9.3. DISEÑO DE LA PRESA MODIFICADA

Este apartado presenta un análisis técnico detallado del diseño de la Presa Quisco, cuyo propósito es evaluar la adecuación y seguridad de la estructura (Ver figura 83). El estudio se concentra en el diseño de una presa de gravedad de concreto, analizando su comportamiento tanto estructural como geotécnico ante diversas condiciones de carga, incluyendo riesgos sísmicos y la estabilidad de sus cimientos.

A diferencia del expediente técnico inicial, este análisis enfatiza la validación del diseño mediante una metodología rigurosa que incorpora el uso de varios programas de software especializados. El objetivo principal es asegurar que la presa satisfaga los estándares de seguridad establecidos y que las soluciones de ingeniería propuestas sean viables técnica y económicamente. En el documento se concluye que la presa se configura como una estructura segura y resistente, confirmando la robustez de su diseño.

En la siguiente tabla se detalla el presupuesto actual de la presa de Quisco:

Tabla 65

*Estructura presupuestal del nuevo expediente aprobado 2024*

ITEM	DESCRIPCIÓN	SUB TOTAL (S/.)
1	CONTROL ALTIMETRICO Y PLANIMETRICO	381,257.28
2	OBRAS PRELIMINARES	6,263,922.63
3	PRESA	66,147,044.77
4	SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION AGUAS ARRIBA	5,187,654.23
5	SISTEMA DE PROTECCION AGUAS ABAJO	53,071.53
6	ALIVIADERO ESCALONADO Y PUENTE	775,987.48
7	TOMA DE FONDO Y DESCARGA DE CAUDAL ECOLOGICO	4,313,178.85
8	OBRAS COMPLEMENTARIAS	840,894.51
9	SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	292,846.99
10	MITIGACIÓN AMBIENTAL	1,008,440.00
11	OTROS	583,409.50
Costo Directo (S/.):		85,847,707.77

Figura 83

*Diseño Actual de la Presa de Quisco*

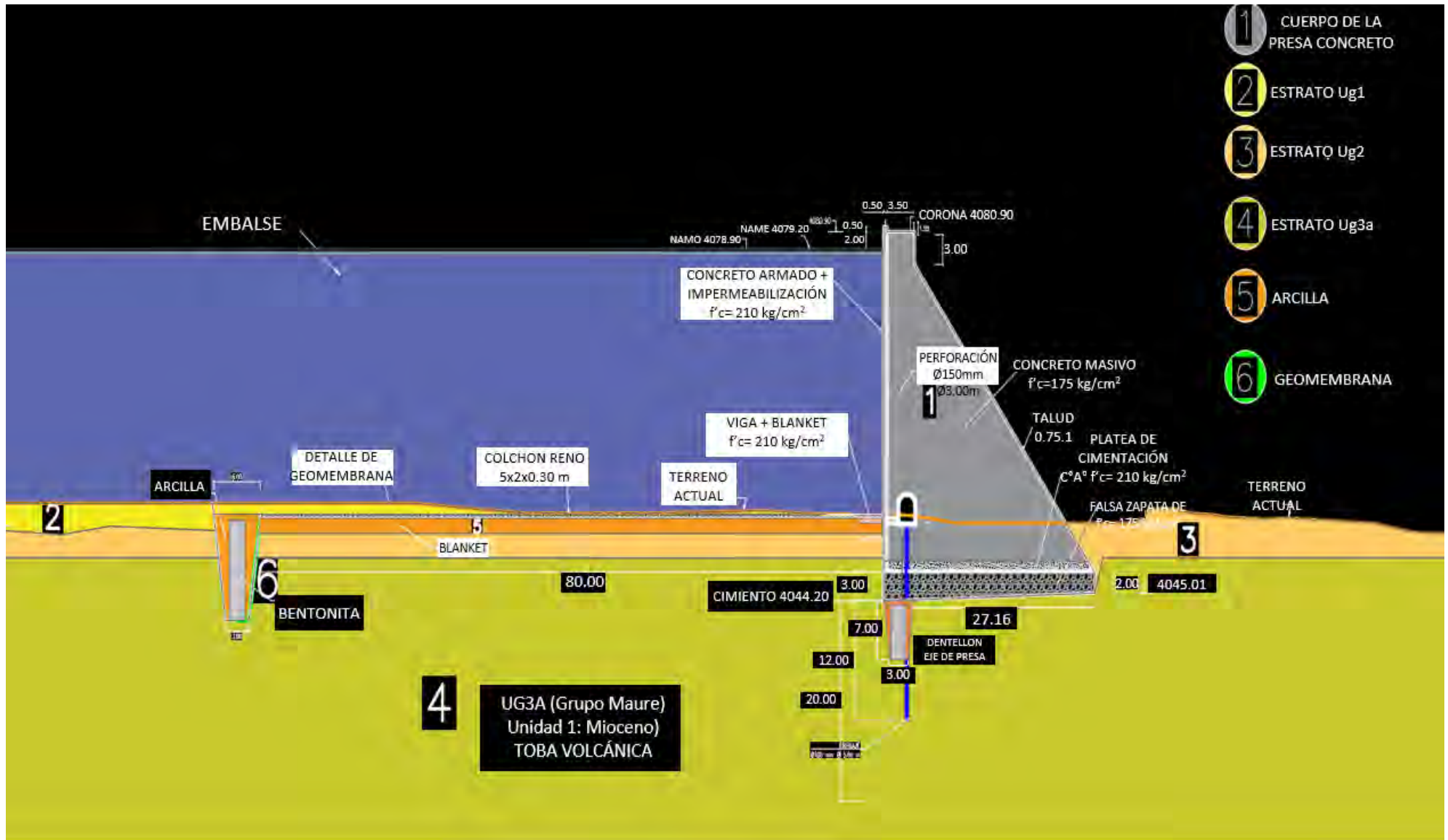




Tabla 66

*Características Mecánicas de los Materiales*

PARÁMETROS MECÁNICOS DE LOS MATERIALES (PRESA QUISCO)						
Modelo Elástico	Peso Específico	Poisson (u)	Young (E) KN/m <sup>2</sup>	( $\phi$ ) Ángulo Fricción	(C) Cohesión KN/m <sup>2</sup>	(K) Permeabilidad (cm/s)
Ug1	18KN/m <sup>3</sup>	0.3		30	0	2.42E-06
Ug2	17KN/m <sup>3</sup>	0.3		28	2.94	2.42E-06
Ug3a	19.72KN/m <sup>3</sup>	0.44	300,000.00	30	70	9.86E-08
Concreto	23.52KN/m <sup>3</sup>	0.15	1,946,611.52			1.00E-09

*Fuente: Elaboración propia*

- Ug1 – Ug2.- Ambos estratos Geotécnicos corresponden a los depósitos sueltos (aluvial, coluvial) que afloran al largo de los causes y en las partes superficiales de las laderas como depósitos coluviales y suelos de alteración del substrato rocoso. El espesor observado en estos depósitos es variable 1 a 10m. Los depósitos que caracterizan esta unidad corresponden a depósitos sueltos, normalmente consolidados, de elevada porosidad, constituidos principalmente por grava, bloques, arena con menor limo y arcilla. Hidrogeológicamente se caracterizan por tener una permeabilidad media de clase K3.
- Ug3a.- Corresponde a la formación Sedimentaria del Grupo Maure – Unidad 1 (Mioceno), representa la porción meteorizada y muy fracturada del macizo rocoso. Se conforma principalmente de arenisca de grano grueso a fino, de color desde gris claro hasta rojizo. El espesor de esta unidad es variable hasta 12m aproximadamente. Hidrogeológicamente se caracteriza por tener una permeabilidad de clase K1 hasta K3, dependiente del grado de meteorización y de las condiciones de fracturación local del macizo rocoso.





### 9.3.1. Módulo de Balasto y Capacidad Portante del terreno

El coeficiente de balasto constituye una variable fundamental en el análisis de la interacción suelo-estructura, representando la rigidez del medio de apoyo. Este parámetro vincula la presión aplicada por una cimentación superficial (zapata o platea) con el desplazamiento vertical o asentamiento resultante en los horizontes geotécnicos. Es esencial para predecir la respuesta elástica del terreno y para el modelado de cimentaciones flexibles mediante el concepto de lecho elástico.

Existen diversas fórmulas para la obtención del módulo de balasto como es la fórmula de Vogt, formula de Vesic, formula de klepikov, universidad de Buenos aires etc. Para el modelo en Sap2000 se toma en consideración la fórmula de Vesic:

#### a. Cálculo y asignación del Módulo de Balasto

Formula de Vesic

$$k = \frac{E}{B \cdot (1 - \nu^2)}$$

Donde:

K= Modulo de Balasto

E= Modulo de Elasticidad

B=Ancho de la sección

V= Modulo de Poisson

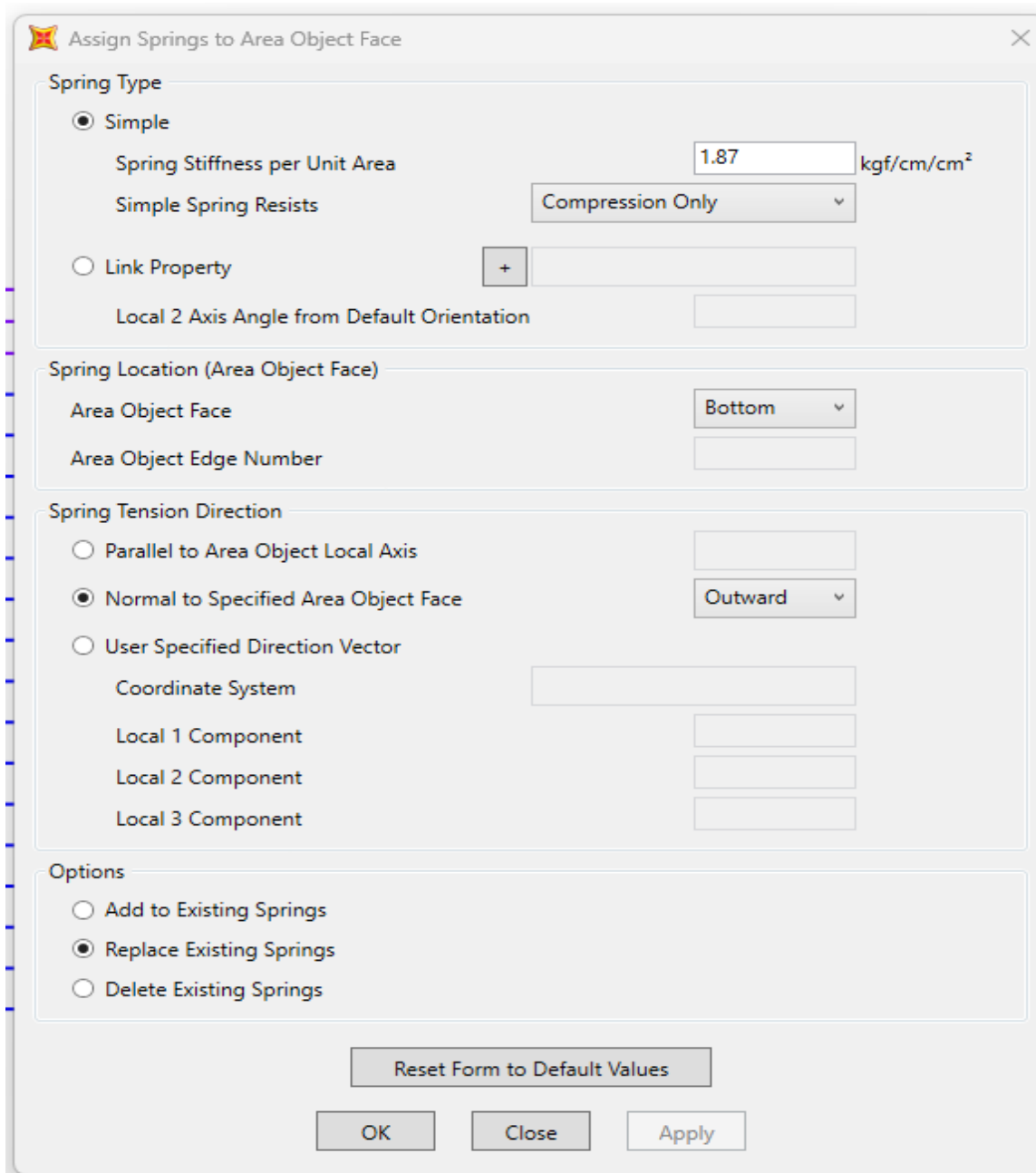
De esta forma planteamos la siguiente resolución:

$$k = \frac{400,000 \frac{KN}{m^2}}{27m * (1 - 0.44^2)}$$

$$k = \frac{4077.47 \frac{kg}{cm^2}}{2177.28cm}$$

$$k = 1.87 \frac{kg}{cm^3}$$

Figura 84

*Asignación del Módulo de Balasto*

**Assign Springs to Area Object Face**

**Spring Type**

- ☒ Simple
  - Spring Stiffness per Unit Area: 1.87 kgf/cm/cm<sup>2</sup>
  - Simple Spring Resists: Compression Only
- ☐ Link Property
  - Local 2 Axis Angle from Default Orientation: [Empty]

**Spring Location (Area Object Face)**

- Area Object Face: Bottom
- Area Object Edge Number: [Empty]

**Spring Tension Direction**

- ☐ Parallel to Area Object Local Axis
- ☒ Normal to Specified Area Object Face
  - Outward
- ☐ User Specified Direction Vector
  - Coordinate System: [Empty]
  - Local 1 Component: [Empty]
  - Local 2 Component: [Empty]
  - Local 3 Component: [Empty]

**Options**

- ☐ Add to Existing Springs
- ☒ Replace Existing Springs
- ☐ Delete Existing Springs

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

b. Capacidad Portante del terreno

Para el diseño de la presa se tomará el valor de la capacidad portante admisible de las siguientes consideraciones:

### Estudio Geotécnico de la presa Quisco

En el estudio geotécnico según GEODATA, mencionan las resistencias a la compresión de la Sub-unidad Ug3a donde mencionan lo siguiente:

La sub-unidad Ug3a (rocas en aparente meteorización del macizo rocoso del Grupo Maure) indican valores de resistencia a la compresión de 2.6Mpa a 5.15Mpa, con un valor apto para el diseño de 2.6 Mpa.

Capacidad portante del terreno: 2.6 Mpa

$Q_{\text{portante}}: 26.51 \text{ kg/cm}^2$

Aplicando un factor de seguridad de 3.0, se tiene:

$Q_{\text{admisible}}: 8.84 \text{ Kg/cm}^2$

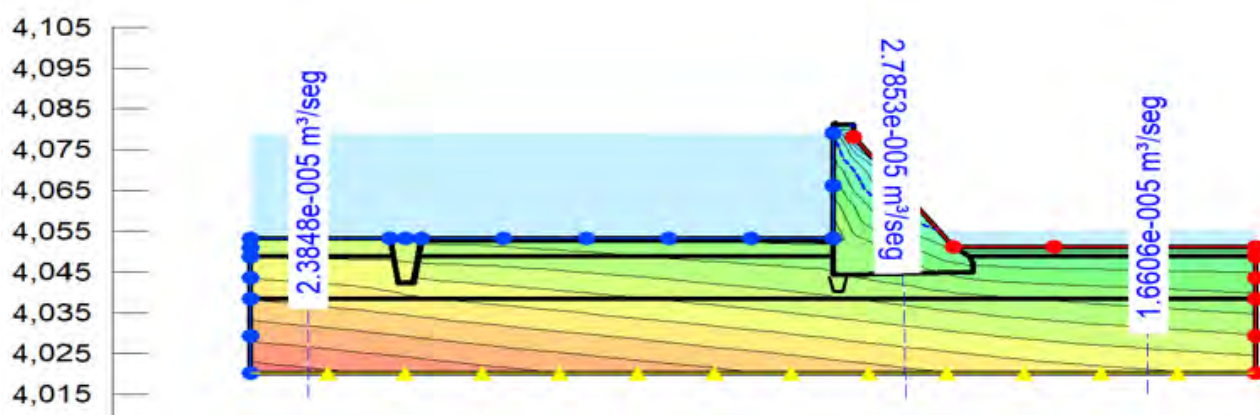
#### 9.3.2. Análisis de filtraciones (software GeoStudio 2012)

Para realizar en análisis y cálculos de filtración del caudal, redes de flujo y gradiente hidráulico se ha utilizado el programa SEEP/W del paquete GeoStudio tomado una sección típica de la presa.

Resultados redes de flujo

Figura 85

*Caudal de filtración*



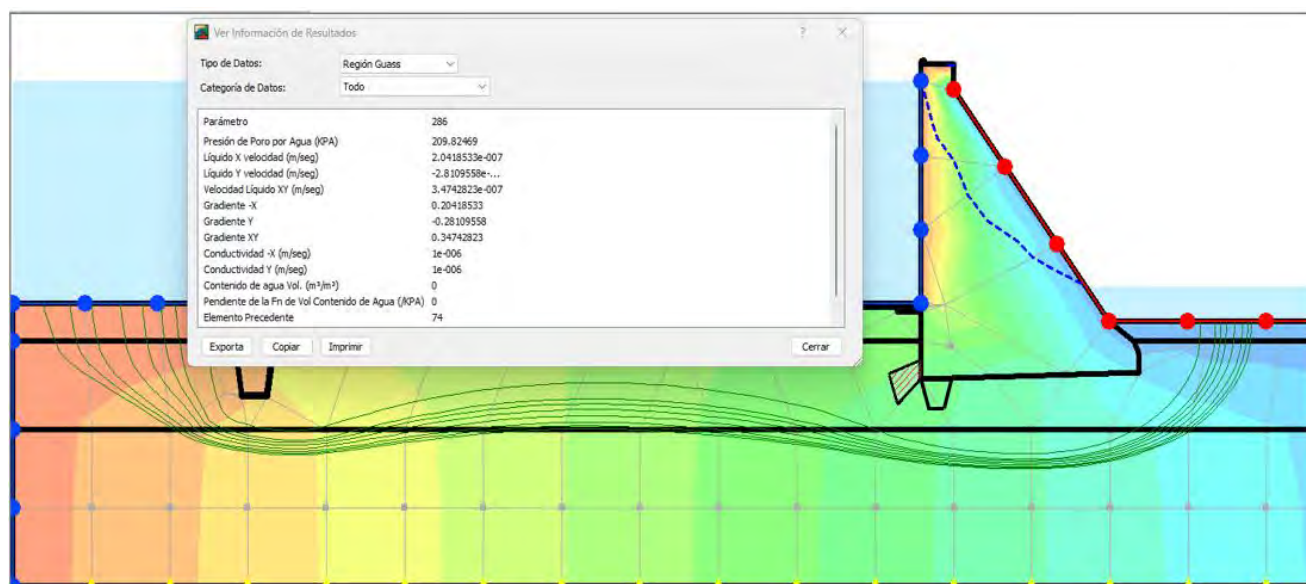
Fuente: GeoStudio 12

El análisis calcula un caudal de filtración en la parte central del cuerpo de la presa de 5.03 lt/seg. Para un volumen total de almacenamiento de 8. MMC (millones de metros cúbicos), este caudal se traduce en una pérdida anual 0.09 MMC.

El volumen anual de pérdida representa solo el 1.11 % del volumen útil del embalse. Este porcentaje es extremadamente bajo y aceptable para una presa de este tipo. El modelado valida el uso de los parámetros de permeabilidad de diseño (Ug3a a  $9.86 \times 10^{-8}$  cm/s) y demuestra que la cortina de inyección es efectiva para reducir el flujo a niveles insignificantes.

Figura 86

### Gradiente hidráulico



Fuente: GeoStudio 12

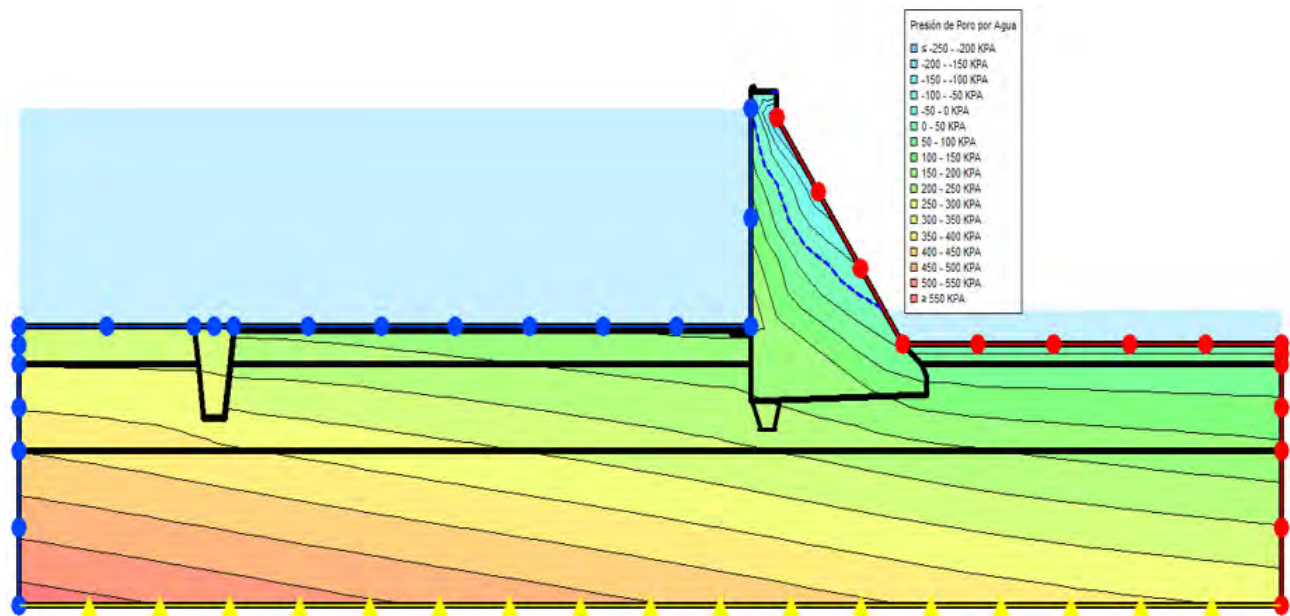
El gradiente hidráulico es la relación entre la pérdida de carga y la distancia recorrida por el agua, siendo el factor que puede causar sifonamiento (erosión interna) en la salida. Los valores de gradiente hidráulico en la zona de cimentación se encuentran menores a 0.33.

Dado que los valores modelados están menores a 0.33, estos por debajo de los gradientes críticos para los suelos más susceptibles, se concluye que el diseño es seguro contra el

sifonamiento. El drenaje y la baja permeabilidad del macizo consolidado (Ug3a) aseguran que el agua salga con una velocidad y presión inofensivas.

Figura 87

*Presión de poros*



Fuente: GeoStudio 12

La presión de poros (o subpresión) es la presión ascendente del agua en la base de la presa y es el factor más importante para la estabilidad al deslizamiento. La figura 87 mostraría el patrón de reducción de la presión de poros debido al efecto de la cortina de inyección y los drenes.

El texto concluye que, con las inyecciones de consolidación propuestas a una profundidad mínima de 5 m, se pretende disminuir más los valores de gradiente y presión de poros. El resultado de la presión de poros se utiliza directamente en el análisis de estabilidad de la presa. Una subpresión baja, gracias a la inyección, garantiza un alto factor de seguridad contra el deslizamiento al maximizar la fuerza vertical resistente (peso de la presa).

Los valores de gradiente hidráulico según el modelo del software GeoStudio 12 en la zona de cimentación están menores a 0.33 valores admisibles según el tipo de suelo que se presenta en la zona de fundación (Ver tabla 67):



Tabla 67

*Tipos de suelo y sus valores de gradiente hidráulico crítico promedio de cálculo*

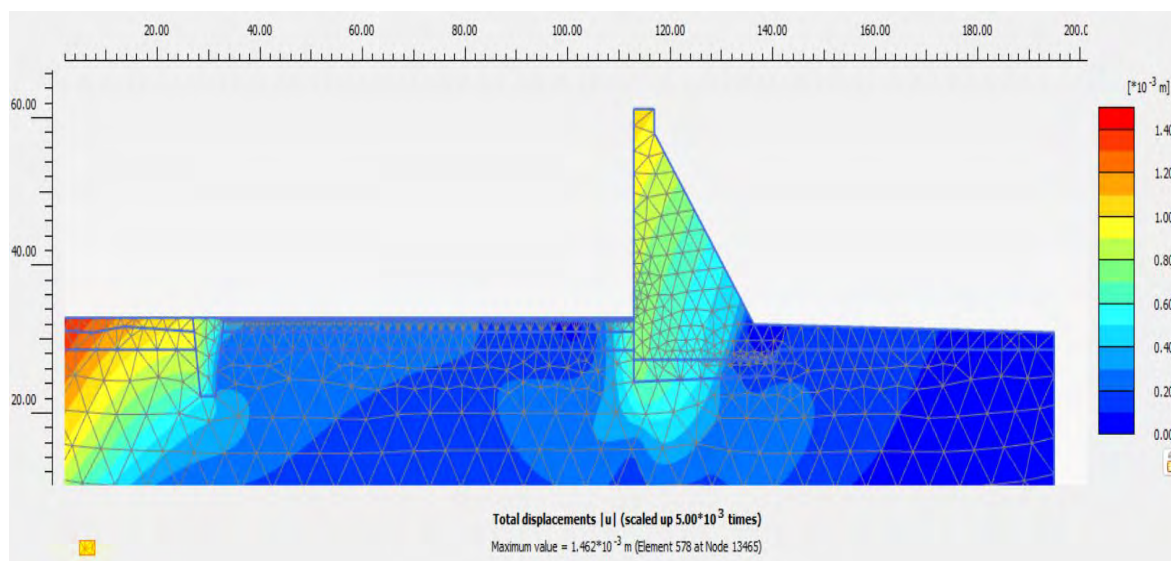
Suelo	Gradiente Hidráulico Crítico promedio de cálculo
Arena fina	0.32
Arena gruesa	0.42
Arena gruesa	0.48
Arcilla arenosa	0.6
Marga	0.8
Arcilla	1.35

*Fuente: Elaboración propia*

De la misma forma los valores de la presión de poros en la zona de cimentación se verifican en rangos de 50 a 80 Kpa valores considerados como admisibles, adicionalmente se en este Estudio de Modificación del Expediente Técnico se recomienda mejorar la fundación de la Presa realizando inyecciones de consolidación a una profundidad de 5m como mínimo con esto se pretende alcanzar mejores condiciones para la zona de cimentación y así disminuir más los valores de gradiente y presión de poros.

### 9.3.3. Análisis de esfuerzo – Deformaciones.

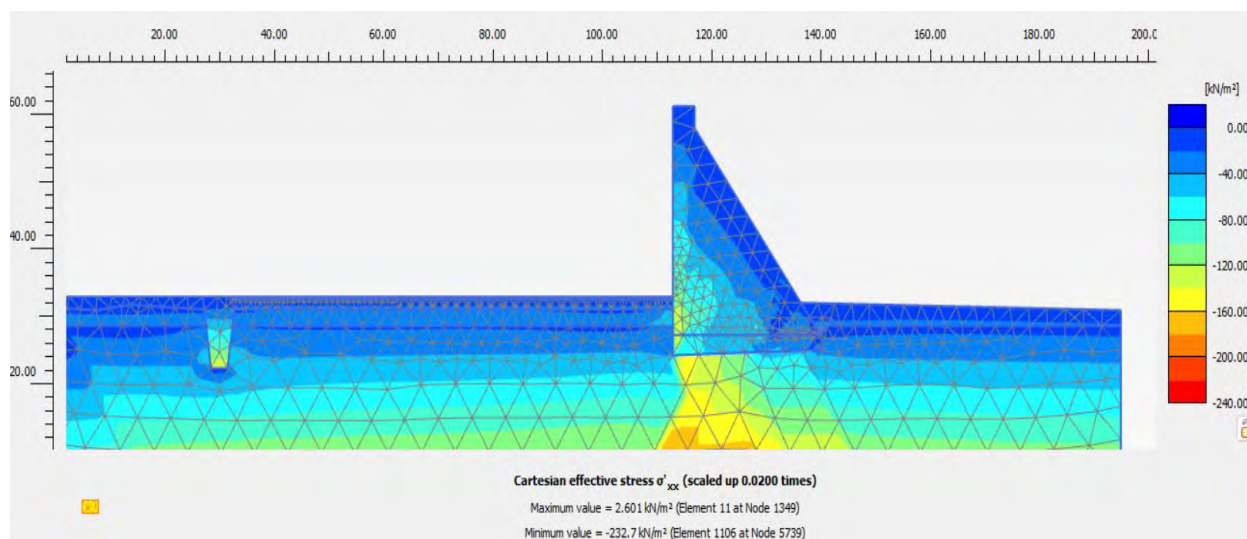
Figura 88

*Análisis de Deformación*

De acuerdo al análisis de esfuerzo – deformación se presentan valores máximos en la zona de la corona y en la zona del dentellón presentando un esfuerzo máximo de 1.46cm (aproximadamente 15 mm) es generalmente un valor bajo y aceptable para una estructura de concreto masivo. Esto significa que el diseño está cumpliendo su objetivo de controlar la deformación de la cimentación blanda mediante las inyecciones de consolidación.

Figura 89

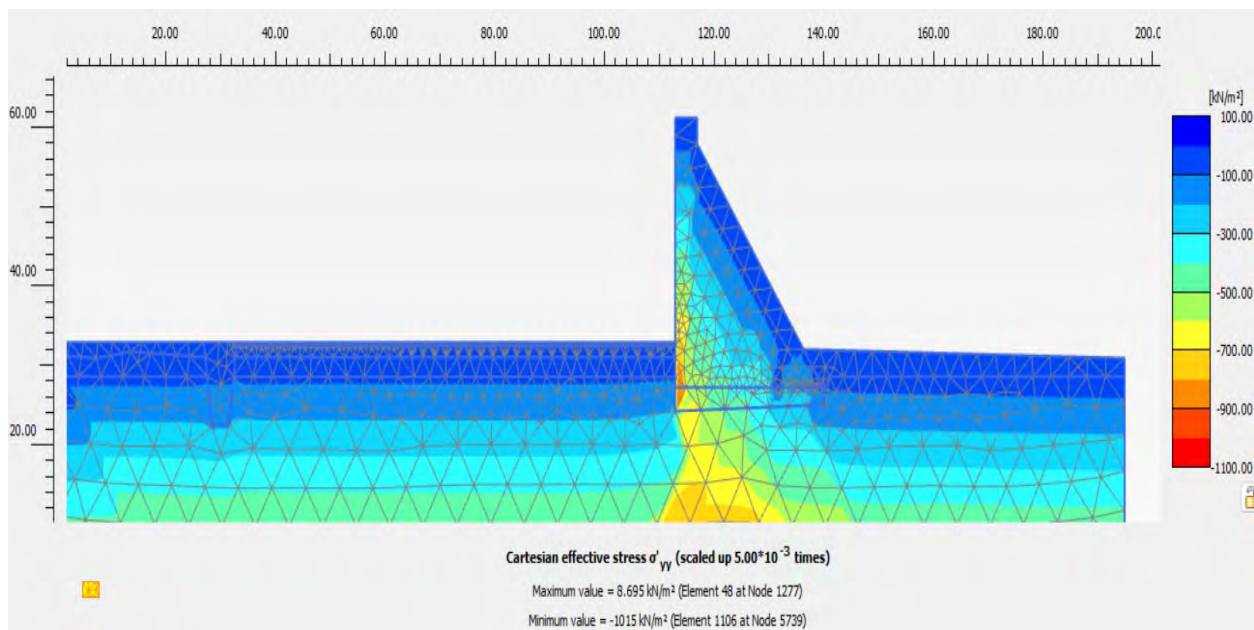
### *Esfuerzo en “X”*



Los valores de esfuerzo máximos que se presentan en el cuerpo de la presa en la dirección “X” están en un rango de 0.0265kg/cm<sup>2</sup> a 2.37kg/cm<sup>2</sup> siendo el valor de esfuerzo a compresión en el concreto de 175kg/cm<sup>2</sup> se asume un comportamiento correcto en el eje “X”.

Dado que el esfuerzo máximo es mucho menor que la resistencia del material, el diseño asume un comportamiento correcto en el eje “X”. No existe riesgo de falla por compresión o corte horizontal bajo esta condición de carga.

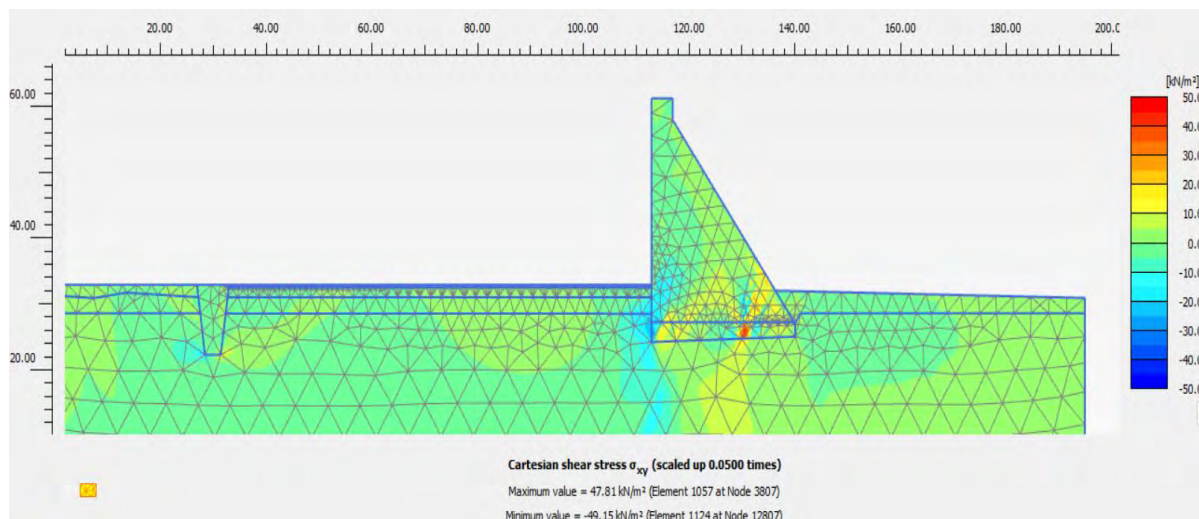
Figura 90

*Esfuerzo en “Y”*

Los valores de esfuerzo máximos que se presentan en el cuerpo de la presa en la dirección “Y” están en un rango de  $0.08 \text{ kg/cm}^2$  a  $10.34 \text{ kg/cm}^2$  siendo el valor de esfuerzo a compresión en el concreto de  $175 \text{ kg/cm}^2$  se asume un comportamiento correcto en la dirección “Y”.

Este valor es también extremadamente bajo comparado con la resistencia del concreto ( $175 \text{ kg/cm}^2$ ). Se asume un comportamiento correcto en la dirección “Y”. Esto confirma que el diseño es seguro contra la compresión y que las tensiones verticales son bien manejadas por el concreto.

Figura 91

*Esfuerzo en “XY”*

Los valores de esfuerzo máximos que se presentan en el cuerpo de la presa en la dirección “XY” están en un rango de  $0.48 \text{ kg/cm}^2$  a  $0.50 \text{ kg/cm}^2$  cabe mencionar que los resultados muestran valores más favorables cuando se hace el análisis en las dos direcciones.

El informe destaca que los resultados son "más favorables cuando se hace el análisis en las dos direcciones". Esto significa que el diseño de la sección de la presa, combinado con la alta resistencia al corte de la cimentación (alto ángulo de fricción  $\phi = 50.12^\circ$ ), es altamente resistente al deslizamiento y al cizallamiento.

Conclusión general del análisis de esfuerzo: El análisis de las cuatro figuras concluye que, desde el punto de vista estructural, el diseño de la presa de Quisco es robusto y seguro bajo las cargas estáticas (y probablemente pseudo-estáticas por sismo) modeladas. La clave del éxito del modelamiento reside en la asunción de que:

La cimentación ha sido mejorada y consolidada, permitiendo un asentamiento máximo bajo control 1.46 cm).

#### 9.4. DETALLES ESTRUCTURALES DE LA PRESA

##### 9.4.1. Cimentación



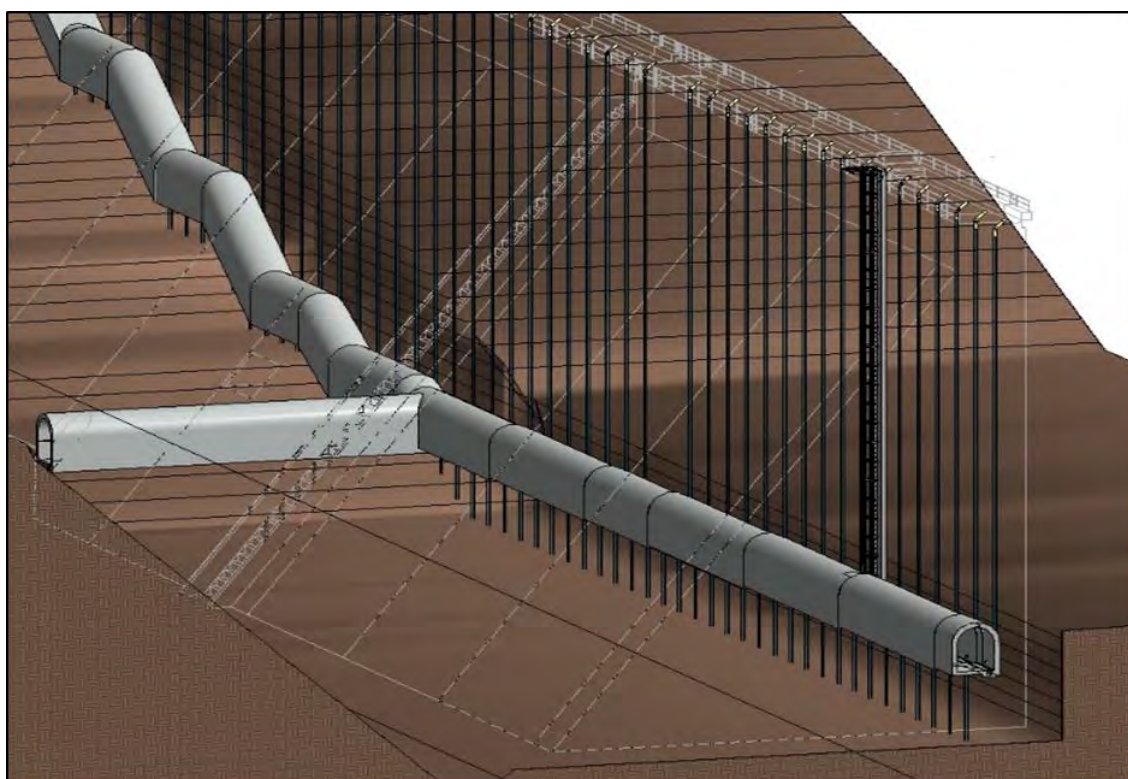
Colocación de una platea de cimentación de C°A° como interfase entre el concreto vaciado por bloques y la continuidad en el vaciado del cuerpo de la presa, también Triple fila de inyecciones (incluye consolidación y relleno de fisuras), con el fin de evitar posibles asentamientos diferenciales en la zona de cimentación por comportamientos disímiles del suelo de fundación. El objetivo es que la carga o resultante final de las fuerzas en la zona de cimentación de la presa (zona central y lados hacia los estribos, se distribuyan en un área más grande y, por lo tanto, la tensiones en el suelo sean menores y la probabilidad de falla por corte del suelo sea mínima.

#### 9.4.2. Pantalla de drenaje

Para reducir la fuerza de subpresión en la cimentación de la presa, se mantiene la implementación de las perforaciones del drenaje vertical desde la rasante de la galería de inspección y drenaje, con una profundidad de 12 m desde el nivel de cimentación de la presa, el diámetro de las perforaciones es de 150 mm. Espaciados c/2.50 m.

Figura 92

*Sección tipo de la presa de Quisco, modelo de la galería de inspección y drenaje*







#### 9.4.3. Pantalla impermeable

El diseño contempla un paramento vertical de 0.50 m de espesor, configurado como una pantalla estanca reforzada con acero por temperatura y optimizada con aditivos impermeabilizantes en la mezcla. Como medida de protección adicional, la superficie exterior recibirá una imprimación con recubrimiento asfáltico. Para la gestión de caudales remanentes, se proyectó una red de drenes verticales destinada a interceptar las infiltraciones provenientes de la cara de aguas arriba. Estos excedentes serán conducidos hacia una canaleta colectora ubicada en la galería de inspección, situada estratégicamente en la base del cuerpo de la presa.

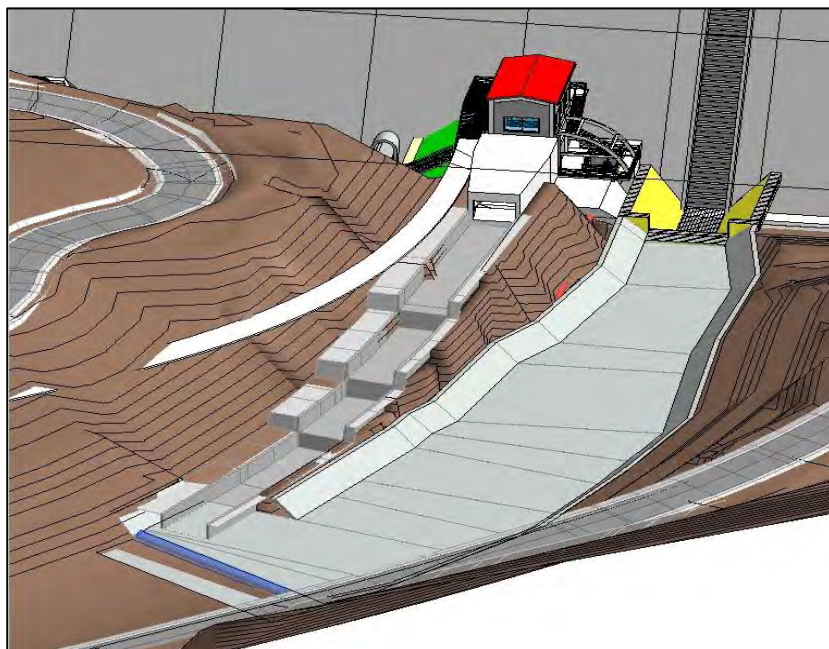
#### 9.4.4. Aliviadero para control de excedencias

Se ha ratificado el uso del vertedero escalonado para el proyecto Quisco, fundamentado en su alta capacidad para mitigar la energía cinética del flujo excedente. Esta configuración genera una pérdida de carga significativa a lo largo del rápido, lo que permite optimizar y reducir considerablemente las dimensiones de la poza de amortiguación al pie de la estructura (Ver figura 93). En esta zona, el resalto hidráulico gestiona una energía residual mucho menor en comparación con un aliviadero de perfil liso tradicional. Asimismo, la geometría escalonada favorece una intensa autoxigenación del flujo, aumentando el arrastre de aire y disminuyendo las velocidades, lo cual minimiza el riesgo de daños por cavitación en la superficie del concreto.

El vertedor escalonado funcionará simultáneamente como conducto del aliviadero y disipador de energía hidráulica.

En la entrega de la poza al cauce natural del río se incluye un canal de mampostería de piedra asentado en concreto con el fin de garantizar la estabilidad de los taludes de terreno natural aguas debajo de la presa. Aguas abajo empalma con el canal de salida de la cámara de válvulas.

Figura 93

*Aliviadero escalonado*

#### 9.4.5. Sistema de Desagüe de fondo (sedimentos)

Con el fin de tener una salida por debajo del nivel mínimo, se considera la implementación de una toma de fondo mediante una tubería metálica de 0,50 m. de diámetro con una obra de toma aguas arriba. Su función será la de controlar la acumulación de sedimentos en la zona del volumen muerto de la presa. Su operación será al finalizar el período de explotación cuando el embalse se encuentre en su nivel mínimo operativo.

- Sistema de regulación y control de salida : 02 válvulas tipo compuerta (Cuchilla) D=0,50 m.
- Tubería de salida: 01 línea con tubería metálica.
- Longitud del conducto de la toma de fondo: 67,80 m
- Nivel de la rasante de captación: 4,055.17 m.s.n.m.
- Diámetro de las tuberías de acero: 0,50 m. (diámetro interno)
- Pendiente mínima tubería: 7%



- Nivel de salida en desfogue: 4,050.44 m s.n.m.

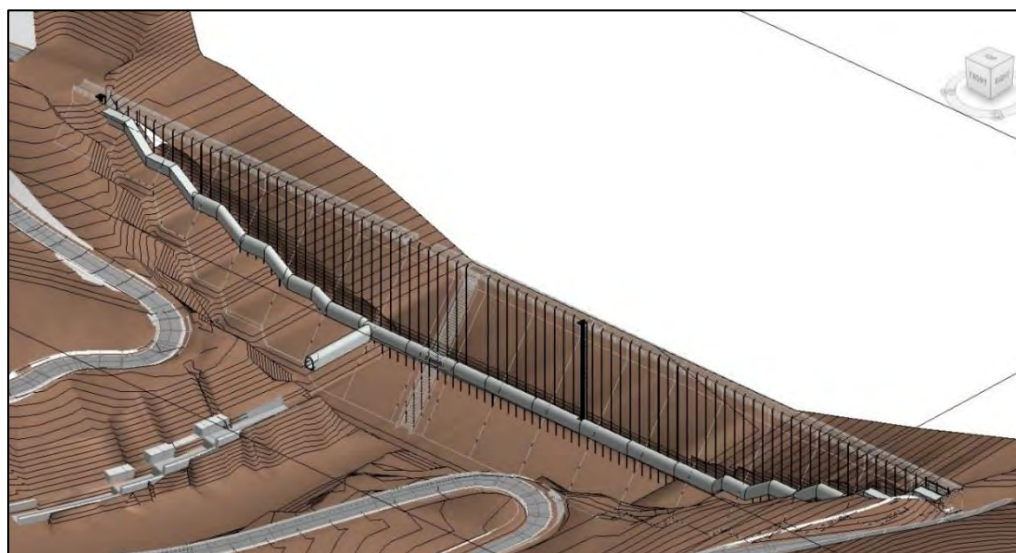
#### 9.4.6. Galería de Drenaje

Se tiene previsto la instalación de una galería de drenaje y de inspección a lo largo del eje longitudinal de la presa. Las secciones de la galería serán variables, con mayor sección en la parte central de la presa, reduciéndose hacia los estribos. La galería tiene el propósito de evacuar las aguas de filtración por gravedad hacia aguas abajo de la presa, por lo que su cota de entrega debe ser superior a la cota del cauce. (Ver figura 94)

Esta galería longitudinal tiene los siguientes propósitos:

- Recolección y evacuación de las aguas de filtración que filtran por la pared de aguas arriba, y del sistema de drenaje en la cimentación.
- Para la inspección del estado del concreto en la presa.
- Reforzamiento de la pantalla de impermeabilización de la fundación de la presa.
- Inyecciones de cemento en el cuerpo de concreto de la presa y de su paramento aguas arriba.
- Control y limpieza del sistema de drenaje instalados en la galería.
- Instalación de los sistemas de comunicación dentro del cuerpo de la presa, y de la instrumentación del sistema de auscultación de la presa.
- La galería transversal al eje de la presa, tiene los siguientes propósitos:
  - ✓ Evacuación de las aguas de filtración
  - ✓ Observatorio adicional del estado del concreto
  - ✓ Inspección de la instrumentación de la presa
  - ✓ Drenaje y evacuación al exterior del cuerpo de la presa

Figura 94

*Galería de drenaje en cuerpo de la presa*

#### 9.4.7. Drenaje de la Cimentación

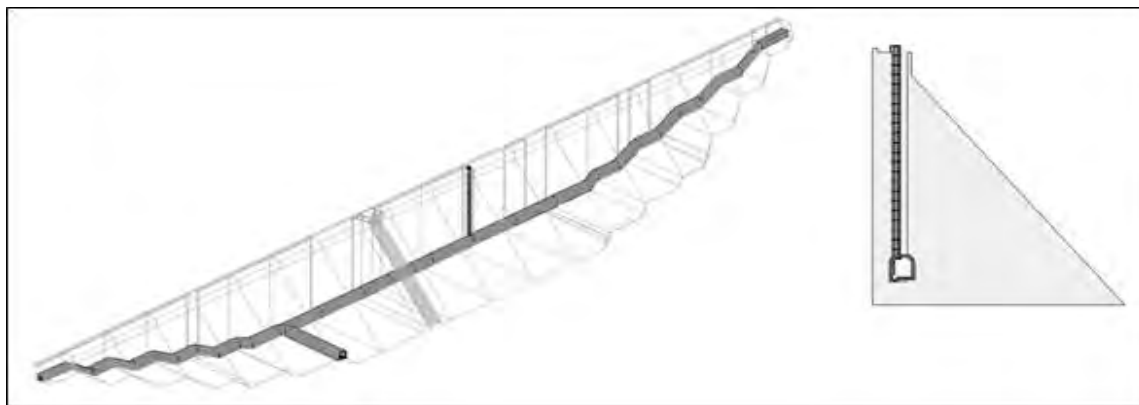
El drenaje de la cimentación consistirá de perforaciones verticales de diámetro 0.25 m - 0.40 m, con distancias de 2 m a 5 m entre ellas. La profundidad de perforación de drenaje será en el rango de 12 m. por debajo de la cimentación de la presa. El eje de la línea de drenaje debe estar fuera de la zona de los taladros de consolidación, y la distancia entre drenajes debe ser de 2 m a 3 m.

#### 9.4.8. Drenaje en el Cuerpo de la Presa

Con el fin de gestionar las filtraciones a través de la estructura y las juntas de construcción, se implementará un sistema de drenaje vertical en el cuerpo de la presa. Esta red captará el flujo proveniente del paramento de aguas arriba para conducirlo hacia la galería longitudinal de inspección. Los drenes poseerán un diámetro de entre 15 y 20 cm, guardando una separación mínima de 2 metros respecto a la cara húmeda de la presa. Asimismo, se ha establecido un distanciamiento entre ejes de drenaje de 2 a 3 metros para garantizar una cobertura óptima de evacuación.

Figura 95

*Galería de drenaje longitudinal y chimenea de acceso vertical a galería*



#### 9.4.9. Sistema de Impermeabilización

- **Pantalla Impermeable Horizontal tipo Blanket aguas arriba:** Geomembrana HDPE 2 mm. GM13
- **Longitud de pantalla horizontal:** 80 m.
- **Dentellón Aguas Arriba:** Bentonita – Cemento (pantalla plástica)
- **Profundidad:** 10 m.
- **Dimensiones básicas:** 3 m. x 6 m. x 10 m.
- **Protección geomembrana:** Geotextil 400 gr/m2 no tejido doble + gavión tipo colchón de 0,30 m. de espesor.

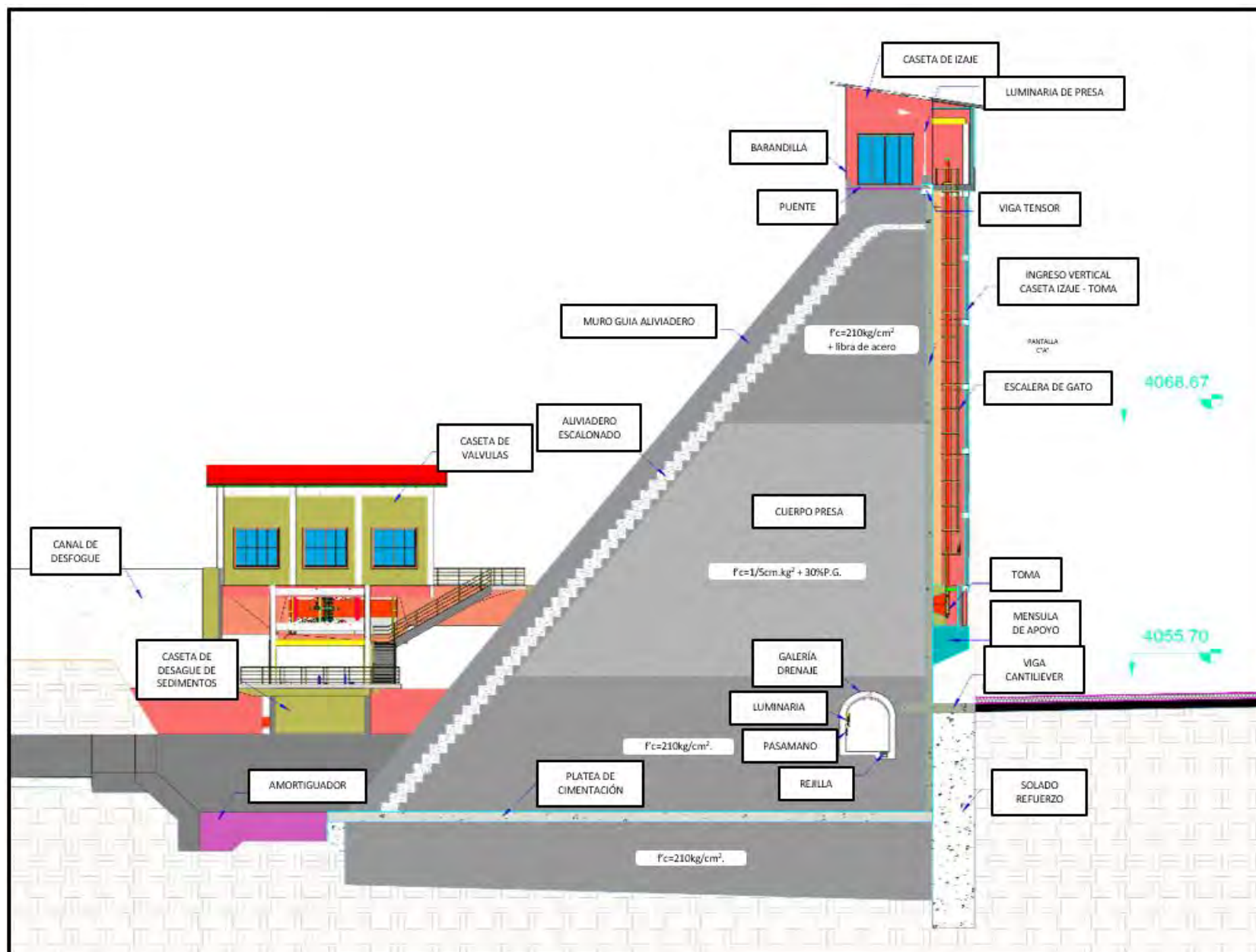
#### 9.4.10. Dentellón en el eje de la presa

Se ha diseñado un dentellón de concreto de 7.00 m de profundidad ubicado en el eje de la presa, el cual actúa de forma solidaria con la pantalla impermeable de geomembrana. Según los resultados obtenidos en el software GeoStudio (SEEP/W), este elemento logra una disipación de la carga hidráulica superior al 40%, manteniendo los gradientes de salida en niveles seguros para prevenir la erosión interna en el basamento volcanoclástico.



Figura 96

Sección tipo presa



### 9.5. RESPECTO A LA TECNOLOGÍA DEL TIPO DE CONCRETO MASIVO.

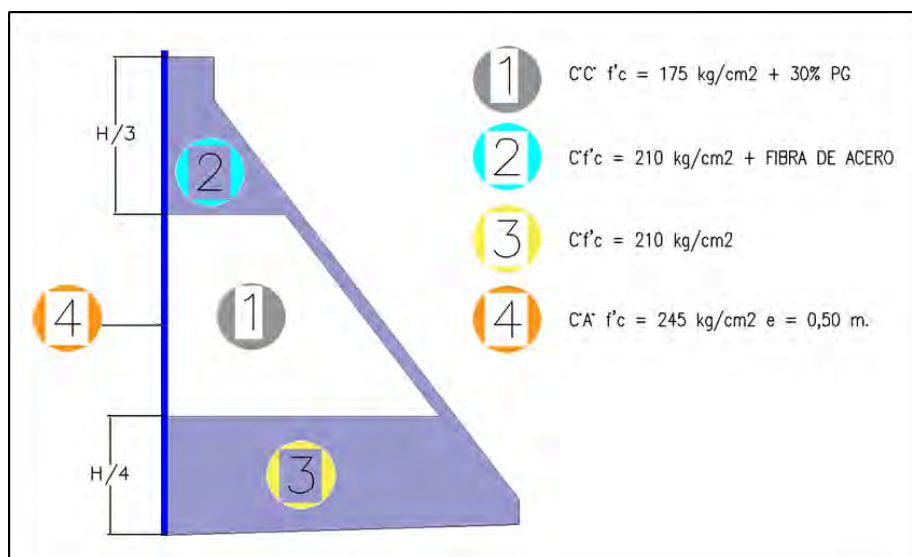
Se modifica el concreto masivo con tamaño máximo de 6" en el cuerpo de presa con el uso de diferentes tipos concreto, sectorizando de la siguiente manera:

- Concreto en la base hasta una altura que corresponde a  $H/4$ , concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- $C^o C^o f'c = 175$  kg/cm<sup>2</sup> + 30% PG, en núcleo.
- $C^o f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> + fibra de acero, en el tercio final.
- Pantalla impermeable de  $C^o A^o f'c = 245$  kg/cm<sup>2</sup> de 0,50 m. de espesor con revestimiento de impermeabilizante.

Se continuará el vaciado sobre los bloques de concreto ya construido, y con el fin de lograr una adecuada transmisión de esfuerzos a través de dichos bloques, se considera la construcción de una platea de cimentación armada con concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, en un espesor de 1 m. en la zona central y de 0,50 m. en los estribos. Por otro lado, con el fin de evitar deformaciones en el eje longitudinal de la presa, se considera la construcción de una viga tensor en la corona.

Figura 97

*Zonificación de los tipos de concreto a utilizar en la presa*



Fuente: Elaboración propia.



#### 9.5.1. Uso de aditivos

Para garantizar la integridad del concreto frente a ciclos de congelamiento y deshielo, se prescribe el uso de aditivos plastificantes, acelerantes y, fundamentalmente, incorporadores de aire, manteniendo un contenido de aire del 4.5% según el estándar ACI 211.1. Debido a las condiciones climáticas, los vaciados se restringirán al intervalo de 09:00 a 14:00 horas cuando las temperaturas desciendan de los 10°C. Se implementará el precalentamiento del agua de mezcla para asegurar una temperatura en masa de entre 10°C y 32°C (con un óptimo de 23°C), protegiendo los elementos mediante mantas térmicas. Finalmente, la colocación seguirá la normativa ACI 207, limitando el volumen diario a 500 m<sup>3</sup> y organizando el vertido en tongadas de 1 a 2 metros, divididas en capas de compactación de 0.50 m.



## CAPITULO X: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El proyecto "Instalación del sistema de riego Quisco" busca aumentar los rendimientos de la producción pecuaria a través de la construcción de una infraestructura de riego. Este proyecto, tiene como objetivos principales mejorar la oferta hídrica y la eficiencia en la captación, conducción, distribución y aplicación del agua para los sistemas de gravedad y aspersión propuestos.

Para garantizar la sostenibilidad del proyecto, se llevarán a cabo actividades como la construcción de la infraestructura, la capacitación en la gestión de sistemas de riego y acciones de mitigación de impactos. Se ha planificado un plan de capacitación integral para que los usuarios puedan manejar técnicas de riego mejoradas, optimizar el uso del agua y fortalecer la capacidad de autogestión de sus organizaciones comunales.

### 10.1. MARCO LEGAL

Es importante destacar que el proyecto se rige por la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley N° 27446) y su reglamento, la cual tiene como finalidad fundamental asegurar que los proyectos de inversión, tanto públicos como privados, que puedan causar daños significativos al ambiente, sean analizados y aprobados previamente a su ejecución.

La ley se basa en principios como la prevención, la participación ciudadana y la responsabilidad ambiental.

#### 10.1.1. Autoridades competentes:

Diversas entidades del gobierno, como el Ministerio del Ambiente (MINAM) y otros sectores, que son responsables de la aprobación de los estudios ambientales.

#### 10.1.2. Mecanismos de participación ciudadana:

La ley exige la realización de audiencias públicas y la difusión de la información para que la población afectada pueda opinar sobre los proyectos.

#### 10.1.3. Mecanismos de fiscalización:



Se establece un proceso para asegurar el cumplimiento de las medidas de mitigación y la correcta ejecución del proyecto según lo aprobado en el estudio ambiental.

## 10.2. CARACTERIZACIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

El estudio realizado identifica una variedad de impactos negativos en los medios físicos, biológicos y socioeconómicos a lo largo de las fases de construcción y operación.

### 10.2.1. Impactos en el medio físico

#### 10.2.1.1. *Calidad del aire:*

Durante la construcción, se generarán ruidos molestos por el uso de equipos y explosivos, que pueden causar hipoacusia y estrés en los trabajadores. El movimiento de materiales y vehículos también dispersará polvo y partículas, afectando a los trabajadores y a la población cercana.

#### 10.2.1.2. *Calidad del suelo:*

Una gestión inadecuada de los residuos sólidos y la mala ubicación de los servicios higiénicos de los trabajadores podrían contaminar los suelos.

#### 10.2.1.3. *Recurso hídrico y paisaje:*

El represamiento del agua con una presa de concreto afectará el caudal del río y modificará el paisaje alto andino, creando una laguna artificial. El proyecto también puede provocar un cambio en el uso del suelo para la implementación de pastos cultivados.

### 10.2.2. Impactos en el medio biológico

#### 10.2.2.1. *Flora:*

La apertura de zanjas para los canales de conducción y la inundación de áreas por el represamiento del agua afectarán grandes extensiones de cobertura vegetal, incluyendo pastizales y humedales.

#### 10.2.2.2. *Fauna:*

La construcción de los canales creará barreras temporales para la fauna local. Además, existe un riesgo de caza furtiva por parte de los trabajadores.





### 10.2.3. Impactos en el medio socioeconómico

El principal impacto positivo del proyecto es la generación de empleo, tanto temporal durante la construcción como permanente en la fase de operación y mantenimiento. Esto mejorará el nivel de vida y contribuirá al desarrollo de la comunidad.

## 10.3. ESTRATEGIA DE MANEJO AMBIENTAL

El Plan de Gestión Ambiental (PGA) busca mitigar los impactos identificados y asegurar la sostenibilidad del proyecto. El PGA incluye los siguientes componentes:

### 10.3.1. Plan de revegetación:

Se plantea la recuperación de las áreas intervenidas mediante la reubicación de pasto nativo (tepes) en las fuentes hídricas y zonas adyacentes a los canales. Esto busca restaurar la vegetación perdida y prevenir la erosión.

### 10.3.2. Plan de capacitación:

Se realizarán talleres para sensibilizar al personal de obra y a la población local sobre la gestión ambiental, la conservación de la flora y fauna, y la importancia del uso eficiente del agua. Se llevarán a cabo análisis participativos y reuniones para verificar el avance del plan y tomar decisiones correctivas.

### 10.3.3. Plan de vigilancia ambiental:

Se monitorearán las condiciones ambientales en los sitios de trabajo para asegurar el cumplimiento de las medidas de mitigación. El monitoreo incluirá la calidad del agua, suelo y aire.

### 10.3.4. Plan de contingencia:

Establece medidas de acción para eventos inesperados, como la quema de vegetación o desastres naturales.

### 10.3.5. Plan de abandono y cierre:

Asegura la recuperación del entorno y la limpieza de los campamentos y áreas afectadas una vez que las obras concluyan.

### 10.3.6. Plan de participación ciudadana



Incluyó reuniones y asambleas con los beneficiarios para aprobar el proyecto y el planteamiento hidráulico.

El estudio incluye un análisis detallado de los costos de mitigación de los impactos ambientales, así como un cronograma para la ejecución de las actividades.

Tabla 68

*Resumen de los detalles de los costos de mitigación ambiental de los impactos ambientales*

ITEM	DESCRIPCIÓN	Monto (S/.)	% del total
Plan de Manejo Ambiental	Implementación de todas las medidas de mitigación y gestión ambiental del proyecto.	156,034.95	47.28%
1.1	Medidas de Mitigación de Impactos Negativos	114,642.15	34.74%
1.2	Plan de Cierre y Abandono	1,847.60	0.56%
1.3	Plan de Contingencia	16,547.00	5.01%
1.4	Plan de Capacitación y Participación Ciudadana	14,068.20	4.26%
1.5	Plan de Seguimiento y Monitoreo Ambiental	8,930.00	2.71%
Subtotal Plan de Manejo Ambiental		156,034.95	47.28%
Monitoreo y Supervisión Ambiental	Honorarios del supervisor para asegurar el cumplimiento de las medidas ambientales.	174,000.00	52.72%
Total General	Suma de todos los ítems de mitigación.	330,034.95	100.00%

*Fuente: Expediente Técnico del Proyecto Instalación del Sistema de Riego Quisco, Plan MERISS (2017).*



## CAPÍTULO XI: DISCUSIÓN DE RESULTADO

La discusión de resultados integra y contrasta los hallazgos de la investigación de campo, las propiedades mecánicas de la roca de cimentación y los resultados de los análisis numéricos (filtraciones y esfuerzos-deformaciones) para sustentar la modificación del diseño de la presa Quisco.

### 11.1. DISEÑO ORIGINAL VS. NUEVO DISEÑO

Se realizó una comparación entre el modelo antiguo y el actual de la presa de Quisco (Ver tabla 69), en el cual se determina la diferencia entre sus características.

Tabla 69

*Comparación entre el modelo antiguo y nuevo de la presa de Quisco*

CARACTERÍSTICA	DISEÑO ORIGINAL (EXPEDIENTE TÉCNICO 2017)	NUEVO DISEÑO
Tipo de presa	Concreto Gravedad	Concreto Gravedad
Altura máxima	36.70 m	Sin cambios
Longitud de coronación	270.00 m	Sin cambios
Pantalla impermeable	Se menciona una pantalla impermeable con inyecciones de lechada de cemento con profundidades entre 10.00 m y 20.00 m.	Incluye una pantalla impermeable de concreto armado de 0.50 metros de espesor y una geomembrana en el talud aguas arriba.
Cimentación	Inyecciones de consolidación con lechada de cemento de 5.00 m de profundidad como mínimo.	Propone una plataforma de cimentación con concreto de 210 kg/cm <sup>2</sup> de 1 metro de espesor en el centro y 0.50 m en los estribos. Recomienda inyecciones de consolidación de 5 metros.
Cuerpo de presa	No se especifica el uso de diferentes tipos de concreto.	Se modifica el concreto masivo, sectorizándolo con concreto de 210 kg/cm <sup>2</sup> en la base, 175 kg/cm <sup>2</sup> + 30% de puzolana en el núcleo y 210 kg/cm <sup>2</sup> con fibra de acero en el tercio final.
Viga tensora	No se menciona en las características principales.	Se añade una viga tensora en la corona para prevenir deformaciones a lo largo del eje.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 11.2. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL EXPEDIENTE ORIGINAL

El documento de evaluación del expediente técnico de 2017 destaca que, si bien se cuenta con suficiente información, no fue revisada de forma rigurosa, lo que llevó a concluir que la



cimentación presenta dificultades muy serias para ser utilizada como base para una presa de concreto gravedad. El análisis geotécnico identifica varias unidades de roca y depósitos, como areniscas fracturadas y meteorizadas, que requerían una revisión detallada.

En resumen, el nuevo diseño es una respuesta directa a las deficiencias detectadas en la cimentación del diseño original y busca mejorar la impermeabilización y la estabilidad general de la estructura. Las modificaciones propuestas, como la adición de una geomembrana, el uso de distintos tipos de concreto y la viga tensora, apuntan a corregir los problemas identificados.

### 11.3. DISCUSIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA CIMENTACIÓN

Los resultados de los ensayos y la caracterización de la unidad de cimentación (arenisca tobácea Ug3a) revelan dos problemas principales: la alta deformabilidad y la extrema heterogeneidad hidráulica del macizo rocoso en proceso de litificación.

#### 11.3.1. Baja rigidez y alto riesgo de asentamiento

- La unidad Ug3a posee un Módulo de Young de solo 400,000 KN/m<sup>2</sup> (o 040. GPa). Este valor es significativamente bajo para un macizo rocoso en procesos de litificación destinado a cimentar una presa de concreto gravedad, lo que confirma que la roca es altamente deformable.
- A pesar de la baja rigidez, la resistencia intrínseca de la roca (resistencia al corte) es alta, con un ángulo de fricción interna de 33° y una cohesión C de 80KN/m<sup>2</sup>. Esto sugiere que la matriz rocosa es densa, pero el comportamiento del macizo en proceso de litificación está dominado por las discontinuidades y la meteorización.

#### 11.3.2. Heterogeneidad crítica de la permeabilidad (riesgo hidráulico)

- El análisis de los ensayos Lugeon (U.L.) demuestra una variabilidad extrema en la permeabilidad, lo cual es la principal fuente de riesgo en la cimentación.

- ✓ Se identifican tramos de roca prácticamente impermeables en la zona central SEPC-03 con 0.01 U.L. a profundidades de 10 m a 16 m.



- ✓ Se registran tramos de permeabilidad alta en los estribos SEPC-01 con 8.80 U. L entre 2.2 y 7.20 m, en el estribo derecho SEPC-03 con 7.22 U. L entre 6.00 y 8.00 m, en el estribo derecho SEPC-03 con 7.87 U. L entre 8.00 y 11.00 m.

En conclusión, esta disparidad implica que la roca de cimentación es altamente susceptible a asentamientos diferenciales. Las zonas de alta U.L. son más fracturadas, lo que las hace más blandas y propensas a hundirse más que la zona central (rígida) bajo la carga de la presa y la filtración del agua.

#### 11.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS NUMÉRICOS

Los resultados de los modelos computacionales confirman la necesidad de las modificaciones propuestas.

##### 11.4.1. Análisis de filtraciones (GeoStudio SEEP/W)

- Caudal de filtración: El caudal calculado es de 5.03 lt/s en la parte central del cuerpo de la Presa. Este volumen de filtración representa solo el 1.11% del volumen útil de embalse anual.
- Gradiente hidráulico: Los valores de gradiente hidráulico modelados en la zona de cimentación varían entre 0.25 y 0.35. Al compararse con los gradientes críticos de materiales arenosos 0.32 a 0.48, se asume un comportamiento admisible general.

Si bien el gradiente promedio es tolerable, las zonas de 8.80 U. L representan caminos de flujo preferenciales con riesgo de erosión interna. Por ello, la simulación se realizó asumiendo una mejora de la fundación, lo que justifica la recomendación de inyecciones de consolidación mínimas 5 m para disminuir aún más el gradiente y la presión de poros.

##### 11.4.2. Análisis de esfuerzos – Deformaciones

- Deformación máxima (Asentamiento): El análisis predice una deformación asentamiento máxima 1.46 cm ubicada en la zona de la corona y el dentellón.
- Esfuerzos en el concreto: Los valores de esfuerzo máximos en el concreto masivo son bajos 2.37 kg/cm<sup>2</sup> en el eje X y 10.34 kg/cm<sup>2</sup> en el eje Y.





Dado que la resistencia a la compresión del concreto es de  $175 \text{ kg/cm}^2$ , el cuerpo de la presa se comporta estructuralmente de manera correcta. No obstante, el asentamiento de 1.46 cm combinado con la heterogeneidad de la cimentación induce riesgos de asentamiento diferencial, pero que es la principal preocupación del diseño.

#### 11.5. JUSTIFICACIÓN DE LAS MODIFICACIONES DE DISEÑO

Las modificaciones introducidas en el diseño son una respuesta directa y necesaria a los problemas de deformabilidad y heterogeneidad evidenciados.

##### 11.5.1. Justificación de la platea de cimentación de concreto armado (C°A°)

- La necesidad de una plataforma de cimentación con concreto de  $210 \text{ kg/cm}^2$  con espesores variables 1 m en el centro y 0.50 m en los estribos se justifica por la alta variabilidad en la permeabilidad y densidad de la unidad Ug3a.
- La platea actúa como un elemento rígido intermedio para:
  - ✓ Distribuir la Carga: Reducir las tensiones de contacto en el macizo deformable.
  - ✓ Controlar el Asentamiento Diferencial: Forzar a la cimentación a moverse de forma más uniforme, previniendo grietas por flexión y tracción en la base del cuerpo de la presa.

##### 11.5.2. Justificación de la cortina de inyección y la inclusión de la geomembrana

- La inyección de consolidación a 5 metros como mínimo y la cortina de inyección profunda son esenciales para reducir la permeabilidad de las zonas altamente fracturadas 8.80 U. L.
- El objetivo final de esta inyección es asegurar que la permeabilidad del macizo se acerque al valor de diseño asumido  $9.86 \times 10^{-08} \text{ cm/s}$ , eliminando el riesgo de erosión interna y manteniendo la estabilidad por deslizamiento.

En resumen, la discusión concluye que, si bien el cuerpo de la presa cumple con los criterios de resistencia a compresión, la cimentación original presenta dificultades muy serias



debido a la deformabilidad y a la heterogeneidad hidráulica. Las modificaciones de diseño platea de C°A° e inyección son una respuesta directa para mitigar estos riesgos geotécnicos, mejorar la impermeabilización y garantizar la estabilidad general de la estructura.

Inclusión de la Geomembrana como una medida de impermeabilización complementaria y redundante que reviste el paramento de aguas arriba. Su justificación es triple:

- Barrera absoluta: Provee una barrera 0 permeabilidad en la interfaz crítica entre el agua del embalse y la cimentación fracturada, garantizando la estanqueidad.
- Protección sísmica: Actúa como una capa de desacoplamiento, ayudando a acomodar las pequeñas deformaciones o movimientos diferenciales inducidos por el sismo o el llenado, sin transferir tracción directa al concreto de la presa.
- Refuerzo contra deficiencias: Compensa cualquier deficiencia residual en la Cortina de Inyección, actuando como una segunda línea de defensa para el control de filtraciones y subpresiones.

#### 11.5.3. Justificación del desfogue de sedimentos (Funcionalidad operativa)

El desfogue de sedimentos no es una solución geotécnica, sino una necesidad operativa y de gestión de la vida útil del embalse, y debe incluirse en la justificación de diseño.

- Vida útil del embalse: La justificación primordial es la necesidad de mantener la capacidad de almacenamiento del embalse a lo largo del tiempo. Los ríos en zonas andinas suelen acarrear una alta tasa de sedimentos.
- Función hidráulica: El desfogue permite la evacuación periódica o continua de los sedimentos acumulados cerca de la toma o el fondo del embalse. Al reducir la sedimentación, se evitan:
  - ✓ Pérdida de volumen útil: Asegurando que 100% del volumen de almacenamiento permanezca disponible para el riego y otros usos.
  - ✓ Daño a estructuras de toma: Protegiendo la maquinaria y las compuertas de la abrasión y obstrucción.



## CONCLUSIONES

1. Se concluye que el emplazamiento de la presa se ubica en un entorno geomorfológico favorable, caracterizado por un valle glaciar en sección "U" con pendientes moderadas ( $15^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ ) en los estribos, lo que facilita el apoyo estructural del dique. Sin embargo, la geología dominada por el Grupo Maure (areniscas, conglomerados y tobas) y la presencia de depósitos cuaternarios heterogéneos imponen desafíos técnicos. Esta configuración litoestratigráfica condiciona el comportamiento hidrogeológico del proyecto, exigiendo un control riguroso sobre la permeabilidad y la variabilidad de la resistencia mecánica de los materiales de fundación.
2. El análisis hidrológico confirma la viabilidad hídrica del proyecto, con una oferta disponible de 11.566 MMC anuales (al 75% de persistencia), volumen que supera ampliamente la demanda máxima total estimada de 616.3 l/s para fines agrícolas, pecuarios y poblacionales. La capacidad de regulación del embalse garantiza el suministro continuo incluso durante la época de estiaje (junio-septiembre). No obstante, el diseño hidráulico del aliviadero y las obras de toma han sido dimensionados bajo criterios de seguridad, asegurando la operatividad y sostenibilidad del recurso en el horizonte de diseño.
3. Mediante la integración de métodos geofísicos (Refracción Sísmica, MASW y Tomografía Eléctrica), se determinó la fundación del subsuelo hasta los 50 m de profundidad, identificando un basamento de tobas de resistencia media-baja bajo estratos de compacidad variable. La identificación de perfiles dinámicos tipo C y D, junto con anomalías de baja resistividad detectadas en la tomografía, permitieron localizar zonas críticas de potencial filtración y heterogeneidad litológica. Estos hallazgos fueron determinantes para definir la profundidad de la pantalla de impermeabilización y los sectores que requieren inyecciones de consolidación.



4. La caracterización sustentada en perforaciones diamantinas y ensayos Lugeon, identifica un basamento rocoso en proceso de litificación con variabilidad local. Aunque las areniscas tobáceas presentan resistencias mecánicas aceptables, el riesgo de asentamientos diferenciales entre estribos es latente. Los modelos numéricos en GeoStudio validan que, con las mejoras propuestas (uso de geomembrana tipo blanket y zonificación de concretos), los esfuerzos y deformaciones se mantienen dentro de los límites de seguridad, con filtraciones controladas que representan solo el 1.11% del volumen útil anual.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda un monitoreo geodinámico continuo en las zonas identificadas con pendientes fuertes ( $>15^\circ$ ) y presencia de deslizamientos antiguos o activos, especialmente en las márgenes izquierda y derecha del eje del dique, para prevenir procesos de inestabilidad durante las etapas de corte, excavación y llenado del vaso.
2. Se recomienda ejecutar nuevas líneas sísmicas y de tomografía en sectores adyacentes para cubrir posibles discontinuidades no detectadas en el presente estudio, utilizar la información generada para la selección de materiales, dimensionamiento de cimentaciones y planificación de medidas de mitigación de riesgos geotécnicos e hidráulicos.
3. Dada la naturaleza de las areniscas tobáceas en procesos de litificación y la heterogeneidad detectada mediante la tomografía eléctrica, se recomienda ejecutar una pantalla de inyecciones de consolidación e impermeabilización en todo el eje de la cerrada. Es imperativo realizar ensayos Lugeon de control durante las inyecciones para verificar que el coeficiente de permeabilidad se reduzca a los niveles asumidos en el rediseño, mitigando así el riesgo de erosión interna.
4. Considerando el volumen de sedimentos propio de las cuencas altoandinas y los caudales de diseño obtenidos, se recomienda implementar un Plan de Manejo de Cuenca Alta. Este debe incluir programas de reforestación y control de erosión para prolongar la vida útil del volumen muerto del embalse, además de establecer un protocolo de operación de las compuertas de fondo para la evacuación periódica de sedimentos.
5. Se recomienda realizar una inspección técnica detallada de la geomembrana tipo blanket y las estructuras de concreto cada dos años para detectar posibles fisuraciones por ciclos de congelamiento y deshielo.





6. Se recomienda establecer un calendario de limpieza mecánica de los drenes verticales de 15-20 cm cada 2 años, para evitar la colmatación por carbonatos que podría anular el sistema de alivio de presiones y comprometer la estabilidad.
7. **Se recomienda realizar perforaciones diamantinas estratégicamente ubicadas en el eje de la presa, estribos y zona de fundación, con la finalidad de confirmar y validar la información obtenida mediante los estudios geofísicos, permitiendo una caracterización directa y continua del subsuelo.**
8. Se sugiere que para asegurar la durabilidad del apoyo de la presa, se recomienda que el sistema de peines sea construido mediante zanjas rellenas de material filtrante técnicamente graduado (filtros de arena y grava), protegiendo las tuberías perforadas de PVC. Se debe garantizar que el espaciamiento entre drenes no supere los 10 metros, asegurando así una cobertura total de la zona de descarga y evitando el ascenso del nivel freático hacia el cuerpo de la presa.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

INGEMMET, I. (2021). Informe Técnico N° A7142: Evaluación de peligros geológicos en el centro poblado Puerto Manoa, distrito San Gabán, provincia Carabaya - Puno. Puno.

Avalos Lozano, W. (2019). Curso de Topografía. Chiclayo.

Ayala, L. (2023). Clasificación de los Depósitos Sedimentarios. Obtenido de <https://www.explorock.com/clasificacion-de-los-depositos-sedimentarios/>

Bustamante, D. I., & Senen, N. (1995). INGEMMET. Obtenido de Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro, Hojas: 30-s, 30-t, 30-u y 30-v.

Ccahuata Huaman , J., & Ccalta Arce, T. (2022). Evaluacion Geológica y Geotécnica para el emplazamiento de la Presa Aruri – Chumbivilcas, Cusco .

Centro Universitario de Mérida;. (2021). Tomografía Eléctrica: Fundamentos y Aplicaciones. España.

Chara Holguin, J., & Soncco Mamani, Y. (2020). Tesis "Estudio geológico, geotécnico e hidrogeológico para garantizar la seguridad y estanqueidad de la presa Querqueccocha, distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco". Cusco.

Chara, J., & Soncco, J. (2020). Estudio Geológico, Geotecnico e Hidrológico para garantizar la seguridad y estanqueidad de la presa Querqueccocha, Distrito de Velille, Provincia de de Chumbivilcas, Cusco 2020. Cusco.

Chereque Morán, W. (1989). Hidrología. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, CONCYTEC.

Comité Nacional español de grandes presas. (2003). Criterios para proyectos de presas y sus obras ajenas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.

De la Cruz B., N. (1995). Geología de los Cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azangaro. Lima, Perú: INGEMMET.

De Pedraza Gilsanz, J. (1996). Geomorfología, Principios, Métodos y Aplicaciones. Madrid: Rueda, S. L.



Editorial Etecé. (24 de Agosto de 2025). Concepto. Obtenido de Importancia del ciclo del agua: <https://concepto.de/importancia-del-ciclo-del-agua/>

Esquivel Chañi, R. N., & Ruiz Peralta, Y. (2023). Estudio Geológico y Geotécnico para la construcción de la Presa Collini, Distrito de Pitumarca, Provincia Canchis, Departamento del Cusco 2023.

Garrote Villar, E. (2006). El ensayo de Tracción Indirecta.

Gerencia Regional de Planeamiento, P. y. (2012). Expediente técnico de la caracterización de las unidades geológicas y del inventario de recursos metálicos, no metálicos, y peligros geodinámicos. Provincia Espinar.

Gonzáles de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educacion. S. A.

Gutierrez Quispe, E., & Quispe Lacuta, R. (2022). Tesis "Estudio geológico y geotécnico del terreno de fundación para la construcción de la presa Huisillopunku- Santo Tomas".

Mamani, A., & Mamani, E. (2020). Estudio Geotecnico definitivo para el analisis de Filtración y estabilidad en el modelo de Impermeabilización con Geomenbrana del dique de la Presa Pallallaje, Coporaque, Espinar, Cusco.

Muelas Rodriguez, A. (s.f.). Manual de Mecánica del Suelo y Cimentaciones.

Muñoz Jiménez, J. (2000). Geomorfología General. España - Madrid: Sintesis S. A.

Musy, A. (2001). Cours "Hydrologie generale". Obtenido de <http://dgrwww.epfl.ch/HYDRAM/e-drologie/>

Ordoñez Gálvez, J. (2011). Balance Hídrico Superficial. Lima, Perú: Foro Peruano para el Agua - GWP Perú.

Ordoñez Gálvez, J. (2011). Ciclo Hidrológico. Lima, Perú: Foro Peruano para el Agua - GWP Perú.

PHI-LAC, P. p. (2006). Balance Hídrico Superficial del Perú a nivel multianual. Perú. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000228136>



PLAN MERISS. (2012). Instalación de sistema de riego Quisco, Distrito de Alto Pichigua, Provincia de Espinar, Region Cusco.

Ramírez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes.

Rivera Mantilla, H. (2011). Geología General.

Urbina Riveros, E., & Laime Florez, V. (2024). Tesis "Estudio geológico-geotécnico para la factibilidad del diseño y construcción de la presa Cellobamba, comunidad de Occacahua, distrito de Tambobamba, Cotabambas - Apurímac".

V. Belousov. (s.f.). Geología Estructural.

Villon Bejar, M. (2002). Hidrología (2° ed). Lima.



## ANEXOS





## ANEXO I

### Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TÍTULO: EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA PROPORCIONAR EL REDISEÑO SEGURO Y EFICIENTE DE LA PRESA DE QUISCO, DISTRITO DE ALTO PICHIGUA, PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO 2024					
Bach. Meliza Pariguana Centeno Bach. Michael Ramirez Pocco					
MARCO TEÓRICO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
MARCO REFERENCIAL	GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE	MÉTODO CIENTÍFICO
PLAN MERISS (2012) en el expediente técnico “Instalación del sistema de riego Quisco, distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar, Región Cusco”. Bustamante y Senen (1995) en la Carta Geológica Nacional “Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro, Hojas: 30-s, 30-t, 30-u y 30-v”. Mamani y Mamani (2020) en la tesis “Estudio geotécnico definitivo para el análisis de filtración y estabilidad en el modelo de impermeabilización con geomembrana del dique de la presa Pallallaje, Coporaque, Espinar, Cusco 2019”. Chara y Soncco (2020) en la tesis “Estudio geológico, geotécnico e hidrológico para garantizar la seguridad y estanqueidad de la presa Querquaccocha, Distrito de Velille, Provincia de Chumbivilcas, Cusco 2020”. Comité Nacional español de grandes presas (2003) en la Guía Técnica N°2, “Criterios para proyecto de presas y sus obras afejas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos”. Ccahuata y Ccalta (2022) en la tesis “Evaluación Geológica y Geotécnica para el emplazamiento de la Presa Aruri – Chumbivilcas, Cusco 2022”.	¿En qué medida la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas determina los parámetros técnicos necesarios para garantizar el rediseño seguro y eficiente de la presa de Quisco, distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar Cusco 2024?	Determinar en qué medida la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas permite establecer los parámetros técnicos necesarios para garantizar el rediseño seguro y eficiente de la presa de Quisco, ubicada en el distrito de Alto Pichigua, provincia de Espinar, Cusco, 2024.	La evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas determina de manera significativa los parámetros técnicos de diseño, permitiendo mitigar riesgos estructurales y garantizar la estabilidad y eficiencia operativa en el rediseño de la presa de Quisco.	•Geología (geomorfología, estratigrafía, estructural, geodinámica) •Geotecnia (mecánica de suelos, mecánica de rocas, canteras, etc) •Hidrología e hidrogeología.	<b>•Descriptivo:</b> porque describiremos las características geológicas y geotécnicas del área. <b>•Analítico:</b> analizaremos las propiedades fisico-mecánicas de las muestras de suelo. <b>•Aplicado:</b> daremos solución al riego de falla en la cimentación y un nuevo diseño de la presa.
MARCO CONCEPTUAL	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	DEPENDIENTES	ETAPA DE CAMPO
MAPEO GEOLÓGICO En este campo se utilizan planos topográficos base a escala 1:50 000, sobre los cuales se lleva a cabo la identificación y cartografía de las unidades geológicas expuestas, así como el levantamiento de las estructuras geológicas principales, entre ellas fallas, Rb y Bz, conforme a los lineamientos técnicos establecidos por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (Gerencia Regional de Plancamiento, 2012) ARENISCA TOBÁCEA La arenisca tobácea es una roca formada por la mezcla de granos de arena y material volcánico fino (ceniza o toba), cementados entre sí. Su textura suele ser porosa y su color varía entre tonos amarillos, grises, verdes o rosados según el tipo de toba. (Rivera Mantilla, 2011) CICLO HIDROLÓGICO Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación. (Ordoñez Gálvez, 2011) CUENCA La cuenca de drenaje de un curso de agua corresponde al área del territorio en la cual las precipitaciones confluyen y se concentran para dar origen a un único sistema de escurrimiento. Cada corriente posee una cuenca claramente delimitada a lo largo de todo su recorrido. (Villon Bejar, 2002) EXCA VACIÓN DE CALICATAS Las calicatas constituyen uno de los métodos más utilizados en el reconocimiento superficial del terreno y, debido a su bajo costo y rápida ejecución, representan una herramienta habitual y eficiente en las investigaciones geotécnicas in situ. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)	•¿Cuáles son las unidades geomorfológicas y características litológicas presentes en la zona de estudio y cómo influyen en la cimentación de la presa de Quisco? •¿Qué características hidrológicas presenta la zona de estudio y cómo influyen en la gestión y el rediseño de la presa de Quisco? •¿De qué manera los métodos geofísicos permiten identificar la profundidad y las anomalías en el subsuelo para el rediseño de la presa? •¿Qué propiedades fisico-mecánicas presentan los suelos y rocas del área de estudio relevantes para el rediseño de la presa de Quisco?	•Caracterizar las unidades geomorfológicas y las características litológicas presentes en la zona de estudio para evaluar su influencia técnica en la cimentación de la presa de Quisco. •Analizar las características hidrológicas de la zona de estudio para determinar su incidencia en la gestión del recurso y el dimensionamiento hidráulico del rediseño de la presa. •Determinar la profundidad del subsuelo y las anomalías que condicionan el rediseño de la presa mediante la aplicación de métodos geofísicos. •Establecer las propiedades fisico-mecánicas de los suelos y rocas del área de estudio con el fin de obtener los parámetros de resistencia y deformabilidad necesarios para el rediseño de la presa	•Las unidades geomorfológicas y las características litológicas presentes en la zona de estudio influyen significativamente en las condiciones de cimentación de la presa de Quisco, determinando la selección de criterios técnicos para su rediseño. •Las características hidrológicas de la cuenca permiten definir parámetros hidráulicos adecuados, los cuales influyen en el diseño seguro y eficiente del rediseño de la presa de Quisco. •La aplicación de métodos geofísicos permite identificar la profundidad de los estratos y las anomalías del subsuelo que influyen en la definición de los parámetros técnicos necesarios para el rediseño de la presa de Quisco. •Las propiedades fisico-mecánicas de los suelos y rocas del área de estudio proporcionan los parámetros de resistencia y deformabilidad requeridos para garantizar la estabilidad y seguridad del rediseño de la presa de Quisco.	•Estructura de la presa. •Rediseño de la presa. •Cimentación de la presa.	La etapa de campo tuvo como objetivo obtener información directa y confiable del área de estudio, necesaria para la caracterización geológica, geofísica, geotécnica y ambiental del sitio de emplazamiento de la presa y sus áreas asociadas.  ETAPA DE POST CAMPO  Durante la fase de gabinete, se procedió con el procesamiento sistemático y la correlación de los datos recabados en campo y laboratorio. Esta etapa permitió consolidar una interpretación integral de las variables geológicas, geofísicas y geotécnicas del sitio, estableciendo los parámetros de diseño definitivos para la infraestructura. La síntesis de esta información fue determinante para garantizar que el planteamiento de la presa responda con precisión a las condiciones geodinámicas y ambientales del entorno.  ETAPA FINAL Sustentación de tesis



## ANEXO II

### HIDROLOGÍA

#### Resumen de precipitaciones mensual completada

RESUMEN DE PRECIPITACIONES MENSUAL COMPLETADA							
N°	AÑO	KAYRA	CAY CAY	CCATCCA	POMACANCHI	PARURO	PISAC
1	1/01/1990	157.60	78.88	115.70	170.38	182.6	76.75
2	1/02/1990	90.40	30.63	68.70	104.18	107.9	45.63
3	1/03/1990	60.20	14.35	55.20	74.42	74.3	20.33
4	1/04/1990	47.40	21.74	24.20	61.81	60.1	82.60
5	1/05/1990	7.50	8.03	1.30	22.50	15.7	6.25
6	1/06/1990	31.80	22.68	37.90	46.44	42.7	38.46
7	1/07/1990	0.00	2.21	0.00	15.12	7.3	0.01
8	1/08/1990	5.80	2.20	8.00	20.83	13.8	3.02
9	1/09/1990	13.30	0.00	1.30	28.22	22.1	8.40
10	1/10/1990	73.70	33.04	39.40	87.72	89.3	44.12
11	1/11/1990	86.90	128.69	81.38	100.73	104.0	99.42
12	1/12/1990	66.50	99.31	117.50	80.63	81.3	115.01
13	1/01/1991	97.60	25.86	70.70	111.27	115.9	76.23
14	1/02/1991	163.60	123.77	146.10	176.29	189.3	101.73
15	1/03/1991	105.20	24.23	54.40	118.76	124.4	64.56
16	1/04/1991	45.10	10.01	31.00	59.55	57.5	31.40
17	1/05/1991	11.00	5.80	3.90	25.95	19.6	11.54
18	1/06/1991	5.10	10.91	23.40	20.14	13.0	8.01
19	1/07/1991	1.50	0.00	0.00	16.59	9.0	0.00
20	1/08/1991	0.00	0.00	0.00	15.12	7.3	2.05
21	1/09/1991	21.40	0.02	16.30	36.20	31.1	2.03
22	1/10/1991	49.30	6.73	26.30	63.69	62.2	50.75
23	1/11/1991	83.60	68.64	69.90	97.48	100.3	61.41
24	1/12/1991	99.00	75.24	109.90	133.68	117.5	65.44
25	1/01/1992	114.10	49.14	144.20	142.17	134.2	81.03
26	1/02/1992	102.40	54.94	92.70	90.66	121.2	45.42
27	1/03/1992	104.00	65.24	49.10	96.21	123.0	31.71
28	1/04/1992	14.90	13.41	14.90	29.79	23.9	22.62
29	1/05/1992	0.00	0.00	3.70	15.12	7.3	0.03
30	1/06/1992	19.40	14.52	33.60	34.23	28.9	26.03
31	1/07/1992	0.00	0.00	0.00	15.12	7.3	2.56
32	1/08/1992	21.40	10.02	25.90	15.79	31.1	13.33
33	1/09/1992	8.00	2.30	0.00	6.79	16.2	4.02
34	1/10/1992	50.70	24.64	43.00	92.52	63.7	32.00
35	1/11/1992	117.40	72.74	87.90	89.18	137.9	91.80
36	1/12/1992	57.00	60.23	43.30	73.20	70.7	73.00
37	1/01/1993	206.70	69.42	158.20	206.92	237.2	178.91
38	1/02/1993	110.50	40.50	102.80	125.13	130.2	82.93
39	1/03/1993	75.80	59.07	77.80	102.65	33.1	12.46
40	1/04/1993	18.80	18.62	16.40	31.70	38.0	36.05
41	1/05/1993	0.90	0.01	2.30	0.31	0.0	8.25

42	1/06/1993	0.00	0.01	2.10	2.29	0.0	4.20
43	1/07/1993	2.70	0.00	0.00	6.29	7.0	8.25
44	1/08/1993	6.90	4.23	49.10	12.26	5.0	14.25
45	1/09/1993	18.00	0.00	11.20	16.74	18.0	3.02
46	1/10/1993	46.20	2.20	31.20	87.22	57.0	18.23
47	1/11/1993	111.90	57.93	57.90	81.14	90.5	87.04
48	1/12/1993	201.50	92.73	177.20	186.78	239.0	109.85
49	1/01/1994	177.00	70.66	104.90	166.11	202.0	167.20
50	1/02/1994	163.90	82.32	143.70	151.58	163.0	118.00
51	1/03/1994	173.90	84.70	110.70	125.15	166.0	151.63
52	1/04/1994	45.50	18.01	41.60	47.68	88.0	59.83
53	1/05/1994	11.80	0.00	8.20	5.79	12.0	5.31
54	1/06/1994	0.00	0.00	0.00	0.30	0.0	0.01
55	1/07/1994	0.00	0.00	0.00	0.31	1.0	0.02
56	1/08/1994	0.00	0.00	2.50	1.30	1.0	0.05
57	1/09/1994	25.70	12.00	29.00	25.74	33.0	12.44
58	1/10/1994	40.20	31.20	47.40	68.71	91.0	52.62
59	1/11/1994	40.50	13.60	35.60	88.19	112.0	13.22
60	1/12/1994	119.90	61.71	161.70	116.51	159.0	158.60
61	1/01/1995	122.00	66.83	100.70	133.05	165.0	98.91
62	1/02/1995	94.80	12.72	66.50	108.56	72.0	79.53
63	1/03/1995	95.30	87.93	156.60	127.06	126.0	80.01
64	1/04/1995	17.80	0.01	31.90	37.07	24.0	7.20
65	1/05/1995	0.00	0.00	9.60	13.51	0.0	4.22
66	1/06/1995	0.00	0.01	0.00	0.01	0.0	0.01
67	1/07/1995	0.60	0.00	0.00	5.51	7.0	0.01
68	1/08/1995	1.20	0.00	0.00	1.50	0.0	0.02
69	1/09/1995	28.80	0.00	9.90	36.02	38.0	12.23
70	1/10/1995	26.70	6.21	10.10	9.04	34.0	24.20
71	1/11/1995	70.20	21.64	75.60	126.04	60.4	18.21
72	1/12/1995	102.60	61.20	77.00	161.05	157.0	51.60
73	1/01/1996	131.90	83.01	118.90	200.53	218.0	117.60
74	1/02/1996	98.00	57.90	125.60	91.56	110.0	69.31
75	1/03/1996	70.50	67.30	64.80	114.67	95.3	44.42
76	1/04/1996	32.30	38.40	25.80	55.57	71.3	69.32
77	1/05/1996	11.00	6.20	1.20	17.05	21.6	12.15
78	1/06/1996	0.00	0.00	0.00	0.01	0.0	0.00
79	1/07/1996	0.00	0.00	0.00	0.01	0.0	0.03
80	1/08/1996	6.30	17.91	22.40	28.82	34.5	21.61
81	1/09/1996	19.60	0.00	16.50	32.32	26.1	18.01
82	1/10/1996	32.30	25.60	29.60	108.00	76.3	52.52
83	1/11/1996	11.00	33.80	40.40	79.55	82.9	47.51
84	1/12/1996	0.00	75.01	112.10	155.04	176.0	2.56



85	1/01/1997	123.30	63.30	115.30	136.59	144.5	99.77
86	1/02/1997	127.70	74.90	132.60	194.01	152.5	103.24
87	1/03/1997	104.80	98.60	121.90	190.58	173.5	99.50
88	1/04/1997	31.00	7.50	11.30	23.07	60.0	4.10
89	1/05/1997	4.80	3.00	5.10	16.01	13.0	2.90
90	1/06/1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
91	1/07/1997	0.00	0.00	0.00	5.00	0.0	0.00
92	1/08/1997	7.10	3.50	4.00	12.53	9.0	20.10
93	1/09/1997	12.30	6.80	8.80	7.55	4.0	18.10
94	1/10/1997	44.40	15.01	22.40	83.07	69.5	13.50
95	1/11/1997	201.50	54.40	84.60	135.82	180.0	108.90
96	1/12/1997	148.40	31.40	63.50	79.07	125.5	97.80
97	1/01/1998	116.30	14.60	73.80	141.07	177.5	129.80
98	1/02/1998	156.20	72.60	129.40	130.31	149.2	98.70
99	1/03/1998	22.60	35.40	62.70	136.84	96.2	38.20
100	1/04/1998	31.00	7.10	10.70	17.54	56.0	21.60
101	1/05/1998	1.60	0.00	0.00	0.00	0.3	4.20
102	1/06/1998	1.90	2.20	15.20	0.02	3.0	3.00
103	1/07/1998	116.30	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
104	1/08/1998	1.60	4.50	0.00	0.02	1.5	0.80
105	1/09/1998	4.30	0.00	0.00	1.02	0.7	13.50
106	1/10/1998	49.80	6.50	31.90	72.02	105.5	64.00
107	1/11/1998	49.70	26.90	58.80	104.51	94.5	50.90
108	1/12/1998	58.90	49.50	61.10	115.04	105.0	51.30
109	1/01/1999	89.30	72.30	124.30	173.52	188.5	93.20
110	1/02/1999	92.20	102.30	120.40	140.61	98.2	122.30
111	1/03/1999	92.00	82.70	102.20	84.28	156.8	51.50
112	1/04/1999	42.80	52.30	40.00	93.34	52.0	28.30
113	1/05/1999	1.30	0.80	0.00	9.24	0.0	4.90
114	1/06/1999	3.40	0.00	0.00	0.02	2.0	5.24
115	1/07/1999	1.00	4.90	3.20	1.61	0.0	2.60
116	1/08/1999	0.00	0.00	0.00	0.01	0.0	0.00
117	1/09/1999	43.10	17.60	33.80	19.13	28.5	30.00
118	1/10/1999	18.80	16.20	14.00	34.40	61.0	17.70
119	1/11/1999	39.70	24.60	26.20	40.72	37.5	40.20
120	1/12/1999	119.50	115.10	127.40	106.32	133.5	105.90
121	1/01/2000	197.40	149.40	169.30	119.21	160.5	159.80
122	1/02/2000	137.30	77.00	110.50	184.20	198.5	105.40
123	1/03/2000	119.50	81.90	107.70	112.00	115.0	58.70
124	1/04/2000	10.90	2.90	20.10	30.60	13.5	2.20
125	1/05/2000	2.60	1.80	2.00	7.50	4.5	9.10
126	1/06/2000	5.80	11.60	1.80	14.81	10.0	3.70
127	1/07/2000	2.70	9.00	6.40	6.01	9.0	0.00

128	1/08/2000	4.50	3.10	6.60	16.11	11.0	2.00
129	1/09/2000	10.70	3.70	23.70	22.50	7.0	4.40
130	1/10/2000	49.30	32.60	56.30	92.31	70.5	41.60
131	1/11/2000	29.30	17.70	14.90	41.30	15.4	11.00
132	1/12/2000	82.00	78.50	57.20	138.11	95.4	70.60
133	1/01/2001	233.00	250.80	265.30	246.01	249.6	211.20
134	1/02/2001	173.10	155.00	153.90	159.60	172.9	136.40
135	1/03/2001	137.40	140.40	126.90	180.91	162.4	152.20
136	1/04/2001	36.40	29.60	62.10	45.20	21.3	19.90
137	1/05/2001	11.50	17.70	22.60	15.71	5.4	12.10
138	1/06/2001	0.00	0.00	0.00	3.30	3.5	0.00
139	1/07/2001	17.40	20.60	18.00	21.30	10.5	19.40
140	1/08/2001	10.20	24.40	24.90	15.83	6.7	5.60
141	1/09/2001	20.60	19.00	17.00	18.91	16.0	8.00
142	1/10/2001	38.30	93.50	98.40	84.01	78.1	50.00
143	1/11/2001	96.80	71.20	67.80	81.31	75.4	77.40
144	1/12/2001	89.40	80.00	74.30	198.30	91.5	102.00
145	1/01/2002	134.50	91.10	102.50	128.02	142.8	90.60
146	1/02/2002	184.60	186.00	176.90	236.10	255.9	161.40
147	1/03/2002	112.70	98.40	144.80	174.20	149.1	106.10
148	1/04/2002	21.60	22.70	62.00	69.00	43.9	35.80
149	1/05/2002	16.20	6.00	8.30	13.70	22.6	6.60
150	1/06/2002	2.50	0.00	13.00	0.64	4.2	4.30
151	1/07/2002	27.10	29.00	34.80	27.80	18.5	46.60
152	1/08/2002	3.70	0.00	9.10	17.30	18.8	3.30
153	1/09/2002	10.30	16.30	25.40	62.30	29.7	10.90
154	1/10/2002	78.70	29.80	67.30	65.51	61.6	39.40
155	1/11/2002	97.80	48.70	85.40	108.40	114.0	91.60
156	1/12/2002	132.40	93.10	149.40	121.91	156.3	127.90
157	1/01/2003	163.90	159.00	120.40	167.20	164.7	114.40
158	1/02/2003	135.50	157.20	142.60	164.41	165.8	108.70
159	1/03/2003	142.90	225.00	133.40	150.60	157.7	110.70
160	1/04/2003	56.50	28.60	15.70	63.50	50.5	15.80
161	1/05/2003	2.00	2.50	10.30	16.40	5.9	4.40
162	1/06/2003	6.40	6.20	9.20	8.70	2.6	6.80
163	1/07/2003	0.00	0.00	2.50	0.00	0.0	0.00
164	1/08/2003	21.30	17.30	25.50	6.01	8.7	23.60
165	1/09/2003	3.70	10.40	4.80	17.11	7.4	4.00
166	1/10/2003	34.60	7.00	15.70	64.40	65.1	31.70
167	1/11/2003	23.10	19.50	17.80	50.20	38.2	18.30
168	1/12/2003	123.80	158.40	123.50	110.00	161.7	120.90
169	1/01/2004	173.70	120.90	169.70	260.90	189.5	149.90
170	1/02/2004	125.80	106.90	106.50	175.40	219.7	109.20

171	1/03/2004	66.50	72.20	91.60	81.50	56.8	95.60
172	1/04/2004	21.00	18.70	28.50	51.20	22.6	15.80
173	1/05/2004	2.40	2.80	17.20	25.40	14.1	2.00
174	1/06/2004	20.50	34.80	28.20	10.20	12.2	16.40
175	1/07/2004	17.00	19.60	27.90	8.90	8.7	10.30
176	1/08/2004	9.00	11.40	14.70	16.91	0.0	6.90
177	1/09/2004	21.70	10.40	48.00	71.50	34.4	32.50
178	1/10/2004	25.60	26.00	55.40	57.21	59.8	25.90
179	1/11/2004	60.90	62.00	69.90	67.20	53.8	43.00
180	1/12/2004	87.90	63.20	91.30	164.00	148.1	94.30
181	1/01/2005	140.80	72.60	60.20	85.81	113.0	127.00
182	1/02/2005	9.00	139.60	147.40	130.31	107.1	76.90
183	1/03/2005	120.20	85.20	109.80	148.00	96.0	69.10
184	1/04/2005	33.10	30.80	36.10	52.00	23.3	29.60
185	1/05/2005	3.20	3.80	2.80	2.10	1.9	0.00
186	1/06/2005	0.40	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
187	1/07/2005	1.20	0.00	1.50	0.20	2.5	1.50
188	1/08/2005	4.00	5.90	5.60	4.30	2.2	3.70
189	1/09/2005	4.50	10.60	9.90	2.61	0.4	4.10
190	1/10/2005	39.10	28.90	27.50	74.21	43.3	18.00
191	1/11/2005	59.30	46.60	77.70	101.50	96.6	50.50
192	1/12/2005	102.50	88.20	98.70	105.70	105.6	58.60
193	1/01/2006	203.40	186.90	104.30	163.72	202.8	170.70
194	1/02/2006	155.50	86.00	108.00	232.31	133.0	82.20
195	1/03/2006	145.90	107.80	161.50	95.62	132.5	125.00
196	1/04/2006	40.90	52.70	70.30	140.61	90.0	34.50
197	1/05/2006	0.20	0.00	0.40	1.10	0.0	0.00
198	1/06/2006	4.90	8.50	3.30	11.10	6.2	30.00
199	1/07/2006	0.00	4.30	0.00	0.00	0.0	0.00
200	1/08/2006	10.50	8.20	14.10	7.34	8.8	14.30
201	1/09/2006	7.50	7.20	6.60	4.31	2.3	5.20
202	1/10/2006	72.50	76.90	84.60	80.20	42.3	42.70
203	1/11/2006	67.80	80.80	85.40	101.31	77.2	69.70
204	1/12/2006	147.20	73.70	118.60	149.30	109.8	117.10
205	1/01/2007	140.80	156.20	129.50	172.60	176.5	102.70
206	1/02/2007	58.70	114.50	97.40	175.61	76.4	55.80
207	1/03/2007	107.30	167.11	107.60	226.52	172.0	135.80
208	1/04/2007	93.60	37.00	31.90	77.60	46.7	42.10
209	1/05/2007	5.80	4.50	9.90	14.10	2.1	7.60
210	1/06/2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
211	1/07/2007	4.00	10.80	5.10	4.80	0.6	1.70
212	1/08/2007	0.00	1.40	1.90	0.01	0.0	0.00
213	1/09/2007	1.00	0.00	2.50	4.01	11.3	4.90

214	1/10/2007	49.40	40.70	53.70	52.50	39.5	32.70
215	1/11/2007	72.40	74.20	50.70	99.70	101.7	66.90
216	1/12/2007	88.40	58.90	75.30	102.70	127.7	83.30
217	1/01/2008	108.80	141.60	151.60	158.60	137.5	154.30
218	1/02/2008	109.20	128.80	114.70	140.80	70.4	151.50
219	1/03/2008	64.40	41.50	62.60	128.30	100.3	61.50
220	1/04/2008	7.60	10.70	24.00	33.70	22.5	8.50
221	1/05/2008	8.70	14.70	8.40	12.91	21.4	5.90
222	1/06/2008	2.10	16.20	6.20	4.40	4.5	3.60
223	1/07/2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.70
224	1/08/2008	3.90	9.20	13.70	3.10	3.2	3.20
225	1/09/2008	13.90	7.20	6.40	17.00	28.4	9.80
226	1/10/2008	51.70	52.30	54.80	77.90	52.0	46.80
227	1/11/2008	90.20	75.60	87.10	78.30	75.1	64.10
228	1/12/2008	131.90	147.20	185.20	129.50	115.7	133.90
229	1/01/2009	112.50	109.50	112.60	136.70	178.3	89.90
230	1/02/2009	108.30	89.30	106.60	105.60	123.2	89.40
231	1/03/2009	79.10	62.60	80.30	80.50	92.7	66.20
232	1/04/2009	21.30	35.50	31.30	41.80	33.4	14.10
233	1/05/2009	5.30	6.50	2.40	8.60	6.5	0.20
234	1/06/2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
235	1/07/2009	3.30	4.50	14.90	14.10	6.4	3.10
236	1/08/2009	0.70	2.00	4.00	0.00	0.3	0.80
237	1/09/2009	15.10	6.70	17.30	11.00	11.8	20.40
238	1/10/2009	8.30	5.70	14.60	18.20	16.3	8.20
239	1/11/2009	88.70	80.50	141.60	277.60	213.0	118.10
240	1/12/2009	82.90	86.90	104.70	111.10	150.7	115.30
241	1/01/2010	268.60	197.70	206.30	292.10	339.5	270.10
242	1/02/2010	168.50	92.60	91.00	88.40	153.9	145.10
243	1/03/2010	129.20	73.10	148.50	116.60	126.7	155.80
244	1/04/2010	16.60	1.30	9.80	53.80	45.1	6.00
245	1/05/2010	1.30	14.90	0.00	2.40	4.5	6.50
246	1/06/2010	0.10	0.00	1.70	0.00	0.0	1.10
247	1/07/2010	1.40	2.00	6.10	0.00	0.0	1.40
248	1/08/2010	4.70	7.80	4.70	12.80	6.9	11.40
249	1/09/2010	8.20	8.70	3.60	5.30	2.5	1.80
250	1/10/2010	63.60	56.70	57.90	58.90	59.1	72.70
251	1/11/2010	40.40	24.00	30.60	42.10	62.1	26.30
252	1/12/2010	174.10	140.40	143.40	156.70	183.5	204.20
253	1/01/2011	103.40	121.30	133.30	119.10	84.1	100.70
254	1/02/2011	179.30	229.80	223.40	151.80	241.1	170.60
255	1/03/2011	131.90	95.50	147.40	135.70	164.4	109.20
256	1/04/2011	67.60	68.00	62.10	60.20	51.1	32.90

257	1/05/2011	3.90	0.30	6.90	9.30	2.4	6.80
258	1/06/2011	3.20	4.50	4.50	4.70	3.2	7.00
259	1/07/2011	3.70	5.50	12.70	7.10	4.9	8.60
260	1/08/2011	0.00	0.00	1.20	8.90	0.7	0.60
261	1/09/2011	38.90	19.70	36.30	56.50	40.3	27.90
262	1/10/2011	38.20	53.10	40.10	50.90	72.1	26.20
263	1/11/2011	60.20	63.00	31.50	42.80	47.3	48.00
264	1/12/2011	110.20	77.10	130.80	189.70	208.8	139.50
265	1/01/2012	70.50	83.30	116.20	184.70	139.8	67.00
266	1/02/2012	157.90	160.90	168.10	232.70	213.8	157.00
267	1/03/2012	41.70	24.60	60.90	100.40	111.0	54.20
268	1/04/2012	48.10	5.32	38.60	63.90	30.7	30.10
269	1/05/2012	4.50	1.90	10.20	2.60	1.4	1.20
270	1/06/2012	1.20	0.80	6.90	10.20	4.4	0.00
271	1/07/2012	0.00	3.00	3.80	1.10	1.6	0.80
272	1/08/2012	0.10	1.70	3.00	2.90	0.0	0.50
273	1/09/2012	18.40	9.70	17.80	34.90	41.0	24.10
274	1/10/2012	19.50	6.00	18.00	45.00	28.8	8.60
275	1/11/2012	138.20	84.30	86.20	95.50	148.7	127.00
276	1/12/2012	179.50	164.20	183.60	172.60	241.6	146.80
277	1/01/2013	187.30	168.60	160.70	178.00	171.7	104.80
278	1/02/2013	137.20	116.90	173.50	167.10	188.9	152.20
279	1/03/2013	75.50	102.70	124.00	91.80	97.9	68.10
280	1/04/2013	13.00	22.21	29.40	46.20	21.8	23.30
281	1/05/2013	6.40	3.90	5.50	8.90	0.0	10.70
282	1/06/2013	6.10	3.60	0.90	1.30	7.0	5.40
283	1/07/2013	2.00	6.00	12.30	0.00	1.5	4.10
284	1/08/2013	12.40	5.70	18.10	19.90	15.4	15.80
285	1/09/2013	6.30	11.20	6.70	22.30	14.7	5.60
286	1/10/2013	105.00	105.00	94.50	60.50	106.9	132.00
287	1/11/2013	86.00	81.50	80.10	105.10	101.2	52.90
288	1/12/2013	159.40	136.20	173.60	210.30	203.9	170.10
289	1/01/2014	161.90	143.20	160.20	131.00	252.0	143.80
290	1/02/2014	116.50	105.20	108.80	124.70	168.5	82.60
291	1/03/2014	40.00	48.70	69.60	94.00	96.5	68.70
292	1/04/2014	35.00	45.90	38.20	39.00	62.0	50.00
293	1/05/2014	10.10	7.80	16.75	7.50	6.1	12.80
294	1/06/2014	0.00	0.00	8.25	0.00	0.0	0.00
295	1/07/2014	3.20	5.57	10.94	18.27	10.9	5.08
296	1/08/2014	5.80	7.49	13.13	20.83	13.8	7.13
297	1/09/2014	12.60	12.50	18.85	27.53	21.4	12.49
298	1/10/2014	82.20	63.78	77.42	96.10	98.8	67.36
299	1/11/2014	37.50	30.85	39.81	52.06	49.1	32.12



300	1/12/2014	155.90	0.00	139.44	168.71	180.7	125.47
301	1/01/2015	151.30	114.70	14.34	164.18	175.6	121.84
302	1/02/2015	140.90	107.04	4.07	153.93	164.1	113.64
303	1/03/2015	66.70	52.36	18.53	80.83	81.5	55.14
304	1/04/2015	70.80	55.38	64.89	84.87	86.1	58.38
305	1/05/2015	16.40	15.30	57.86	31.27	25.6	15.49
306	1/06/2015	3.90	6.09	93.47	18.96	11.7	5.63
307	1/07/2015	10.30	10.80	83.31	25.26	18.8	10.68
308	1/08/2015	4.60	6.60	82.91	19.65	12.5	6.18
309	1/09/2015	16.10	15.08	74.29	30.98	25.3	15.25
310	1/10/2015	19.10	17.29	15.82	33.93	28.6	17.61
311	1/11/2015	16.40	15.30	14.95	31.27	25.6	15.49
312	1/12/2015	3.90	6.09	0.49	18.96	11.7	5.63
313	1/01/2016	10.30	10.80	9.11	25.26	18.8	10.68
314	1/02/2016	4.60	6.60	17.22	19.65	12.5	6.18
315	1/03/2016	16.10	15.08	19.77	30.98	25.3	15.25
316	1/04/2016	19.10	17.29	64.00	33.93	28.6	17.61
317	1/05/2016	73.14	57.11	31.27	87.17	88.7	60.22
318	1/06/2016	110.39	84.56	25.33	123.87	130.1	89.59
319	1/07/2016	121.41	92.68	172.24	134.73	142.4	98.28
320	1/08/2016	81.83	63.51	172.93	95.73	98.4	67.07
321	1/09/2016	131.06	99.79	108.49	144.24	153.1	105.88
322	1/10/2016	0.00	3.21	19.89	15.12	7.3	2.56
323	1/11/2016	10.13	10.68	17.73	25.10	18.6	10.54
324	1/12/2016	6.59	8.07	7.51	21.61	14.7	7.75
325	1/01/2017	110.40	84.57	121.30	124.70	128.5	66.40
326	1/02/2017	84.30	65.33	110.00	122.80	194.0	52.60
327	1/03/2017	121.20	92.52	133.70	68.20	185.2	116.40
328	1/04/2017	47.50	38.21	89.40	44.00	83.3	55.40
329	1/05/2017	11.20	11.47	25.20	24.50	25.8	12.10
330	1/06/2017	0.10	5.20	8.40	0.60	2.2	3.20
331	1/07/2017	0.00	0.00	0.00	2.20	2.3	0.80
332	1/08/2017	8.00	7.00	3.20	13.00	11.6	5.50
333	1/09/2017	18.30	15.80	16.40	22.40	14.9	9.00
334	1/10/2017	27.70	31.10	27.90	40.30	43.1	24.60
335	1/11/2017	60.00	82.20	75.30	70.70	78.2	40.80
336	1/12/2017	101.70	63.20	89.00	109.90	117.2	61.90
337	1/01/2018	154.80	98.30	115.80	119.00	134.2	124.30
338	1/02/2018	162.50	163.30	188.30	145.80	250.3	121.10
339	1/03/2018	145.70	145.00	208.50	158.66	190.8	107.00
340	1/04/2018	19.60	27.70	26.90	34.42	31.7	32.00
341	1/05/2018	0.20	1.00	4.00	15.31	0.5	3.90
342	1/06/2018	16.20	18.30	34.20	31.08	22.6	14.20

343	1/07/2018	15.80	22.60	22.40	30.68	20.1	13.60
344	1/08/2018	7.10	11.20	11.20	22.11	13.4	15.00
345	1/09/2018	7.00	6.80	4.50	10.50	11.1	11.80
346	1/10/2018	84.80	101.80	131.50	135.20	108.5	85.70
347	1/11/2018	80.80	80.10	73.50	94.20	104.2	92.60
348	1/12/2018	95.20	103.80	70.10	86.90	92.4	70.40
349	1/01/2019	133.00	107.10	136.70	125.10	139.5	115.30
350	1/02/2019	127.20	152.60	226.20	168.40	138.9	77.70
351	1/03/2019	164.40	128.30	104.00	155.90	201.6	126.00
352	1/04/2019	39.80	7.70	24.60	60.10	50.4	19.30
353	1/05/2019	28.20	18.10	18.40	8.00	12.1	17.60
354	1/06/2019	1.50	0.00	0.00	0.00	0.0	0.50
355	1/07/2019	3.70	2.30	0.00	4.60	5.8	9.10
356	1/08/2019	0.00	0.00	0.00	1.40	0.5	0.00
357	1/09/2019	9.80	8.90	6.50	4.60	4.1	4.80
358	1/10/2019	82.40	46.80	59.80	44.70	71.1	53.10
359	1/11/2019	111.70	103.40	114.30	227.40	160.3	95.80
360	1/12/2019	154.40	164.90	213.60	231.40	181.0	106.90
361	1/01/2020	126.70	113.30	144.00	162.40	138.7	136.10
362	1/02/2020	156.30	164.30	154.70	214.70	203.6	107.70
363	1/03/2020	80.20	63.70	60.40	145.70	164.0	87.70
364	1/04/2020	85.57	66.27	10.60	99.42	102.5	0.00
365	1/05/2020	87.57	67.74	6.10	101.39	0.0	0.00
366	1/06/2020	0.00	6.50	3.50	3.10	7.6	0.40
367	1/07/2020	8.20	0.00	0.00	5.50	1.2	0.90
368	1/08/2020	1.00	0.50	0.00	0.20	0.0	0.00
369	1/09/2020	14.60	0.60	8.00	10.20	7.0	0.10
370	1/10/2020	17.50	15.00	31.80	56.70	16.9	16.30
371	1/11/2020	46.60	30.40	45.40	119.40	75.3	27.60
372	1/12/2020	141.70	117.40	132.20	124.20	135.5	80.00
373	1/01/2021	150.50	103.80	104.70	157.30	170.7	90.00
374	1/02/2021	121.00	114.10	100.60	105.00	112.9	92.80
375	1/03/2021	85.20	81.90	89.20	150.40	156.8	40.50
376	1/04/2021	90.50	25.80	51.50	57.20	83.7	24.30
377	1/05/2021	6.70	9.40	0.00	8.20	28.4	6.80
378	1/06/2021	11.50	2.60	1.60	5.50	1.1	2.70
379	1/07/2021	3.00	0.30	0.00	2.40	2.6	0.00
380	1/08/2021	4.30	0.20	0.00	0.00	0.0	2.30
381	1/09/2021	1.50	11.40	16.00	12.50	27.2	2.30
382	1/10/2021	45.80	31.00	16.40	53.40	42.6	29.50
383	1/11/2021	102.30	88.80	103.80	95.00	120.4	87.80
384	1/12/2021	106.10	96.00	122.60	198.80	127.6	66.30
385	1/01/2022	210.40	129.00	191.90	184.00	208.9	108.30

386	1/02/2022	89.70	86.70	132.80	155.60	206.2	43.40
387	1/03/2022	142.20	125.00	143.40	208.00	191.9	73.40
388	1/04/2022	6.20	10.30	4.00	87.80	33.3	1.30
389	1/05/2022	1.00	10.30	3.00	5.50	0.3	1.10
390	1/06/2022	0.50	0.00	0.00	0.30	0.0	0.20
391	1/07/2022	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0	0.00
392	1/08/2022	2.50	4.50	14.40	0.70	1.2	10.50
393	1/09/2022	21.90	29.80	19.00	16.90	16.9	13.20
394	1/10/2022	1.20	2.90	6.10	19.00	17.8	0.60
395	1/11/2022	27.50	24.50	17.40	23.60	18.2	27.60
396	1/12/2022	41.20	57.10	106.30	129.80	41.8	72.40
397	1/01/2023	91.70	48.70	95.90	79.10	67.8	55.20
398	1/02/2023	130.40	78.10	95.80	124.30	159.4	31.70
399	1/03/2023	62.00	51.40	63.70	177.60	97.2	68.90
400	1/04/2023	39.60	47.70	31.40	66.60	19.6	25.60
401	1/05/2023	45.80	44.60	36.40	41.10	39.6	44.60
402	1/06/2023	0.00	0.00	0.00	0.80	0.0	0.00
403	1/07/2023	0.00	6.30	5.00	5.60	0.0	4.60
404	1/08/2023	5.70	5.80	0.00	15.30	14.3	1.40
405	1/09/2023	13.40	15.90	16.80	31.50	30.7	13.10
406	1/10/2023	21.80	28.60	46.80	47.50	45.6	13.70
407	1/11/2023	57.30	54.90	63.90	115.70	110.2	89.40
408	1/12/2023	147.00	137.40	124.20	153.20	160.5	117.30
409	1/01/2024	73.60	72.00	97.90	111.60	153.9	46.80
410	1/02/2024	83.60	98.90	124.80	146.40	125.7	90.00
411	1/03/2024	129.30	112.30	161.20	160.10	206.1	72.90
412	1/04/2024	55.20	32.00	50.90	57.20	46.8	21.00
413	1/05/2024	14.80	18.80	19.90	10.10	17.5	7.10
414	1/06/2024	0.10	10.20	6.00	5.70	1.5	2.90
415	1/07/2024	0.50	0.50	0.00	0.00	0.0	2.00
416	1/08/2024	0.80	0.70	0.00	5.50	0.0	0.10
417	1/09/2024	24.40	23.00	23.70	26.40	32.1	16.60
418	1/10/2024	26.60	43.30	34.30	82.00	35.9	30.60
419	1/11/2024	131.60	103.50	145.80	150.40	172.3	170.00
420	1/12/2024	109.20	66.10	59.20	114.70	148.3	118.80
N° DATOS		<b>420</b>	<b>420</b>	<b>420</b>	<b>420</b>	<b>420</b>	<b>420</b>
MEDIA		<b>56.33</b>	<b>44.72</b>	<b>55.65</b>	<b>70.61</b>	<b>70.00</b>	<b>46.78</b>
DESV.STD		<b>57.58</b>	<b>49.11</b>	<b>55.88</b>	<b>65.01</b>	<b>69.49</b>	<b>49.52</b>



# ANEXO III

## GEOFÍSICA

### Ensayos de medición de ondas superficiales



**TERRASOLUTIONS PERU**  
CONSULTORES EN INGENIERIA

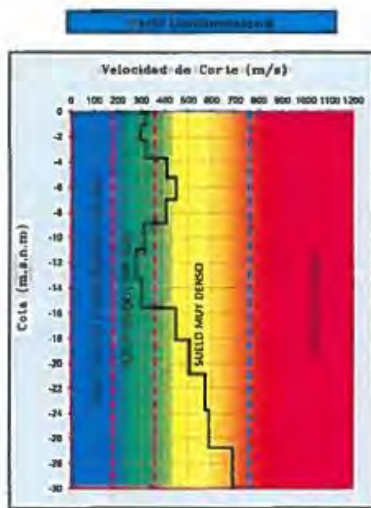
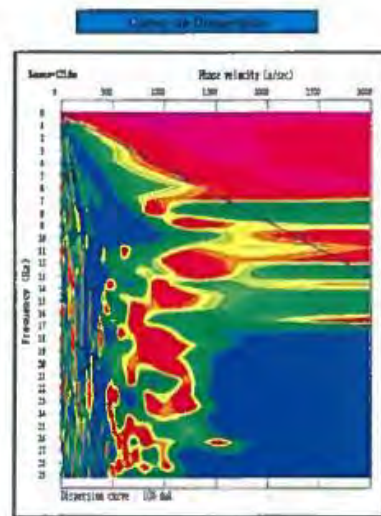
**ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN AMBIENTES MULTICANAL**

MANW-1

Proyecto : ESTUDIO GEOFISICO REPRESA QUISCO  
Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR  
Fecha : Febrero 2016

Coordenadas : WGS 84  
Datum : UTM  
Zona - Banda : 18-L  
Este : 266519  
Norte : 8369073  
Cota : 0 m.s.n.m.

Modelo de equipo : Geode - 24 canales  
Realizado : G. Muñoz  
Revisado : N. Mori  
Longitud de : 75 m



Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Clasificación
-1.07	319.00	Suelo blando
-2.31	297.00	
-3.71	321.00	
-5.28	407.00	Suelo intermedio
-7.01	449.00	
-8.90	405.00	Suelo blando
-10.96	312.00	
-13.19	278.00	Suelo blando
-15.58	302.00	
-18.13	448.00	Suelo muy denso o roca blanda
-20.85	505.00	
-23.74	572.00	
-26.79	588.00	
-30.00	689.00	Suelo muy rígido / Roca

Clasificación	Tipos de Suelo
Suelo blando	Suelo blando / Suelo muy blando
Suelo intermedio	Suelo intermedio
Suelo muy denso o roca blanda	Suelo muy denso o roca blanda
Suelo muy rígido / Roca	Suelo muy rígido / Roca

**Clasificación Sísmica ASCE - 2010**

Clasificación	Descripción	Velocidad de onda de corte (m/s)	Período de vibración (s)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}$  (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales  
N: Número de golpes

**ASCE - 2010**

Clasificación	412
Tipo de Suelo	C

**NTP E-030 - 2016**

Clasificación	412
Tipo de Suelo	Suelo intermedio

**Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016**

Clasificación	Descripción	Velocidad de onda de corte (m/s)
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

T0 (s)	T0=4H/Vs30	0.29
--------	------------	------





**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORES EN INGENIERÍA

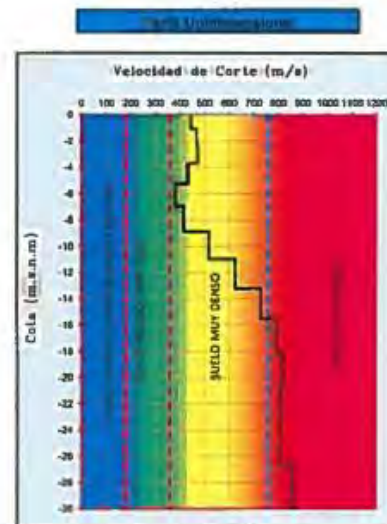
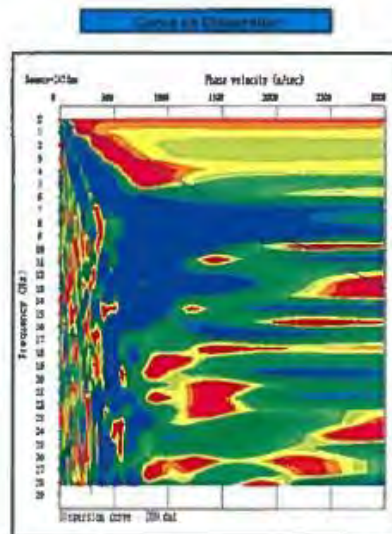
# ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARRECIUNOS MULTICANAL

WASW-82

Proyecto : ESTUDIO GEOFÍSICO REPRESA QUISCO  
Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR  
Fecha : Febrero\_2016

Coordenadas : WGS 84  
Datum : UTM  
Zona - Banda : 18-L  
Elev : 266597  
Norte : 8368975  
Cota : 0 m.s.n.m

Modelo de equipo : Geode - 24 canales  
Realizado : G. Muñoz  
Revisado : H. Mori  
Longitud de : 75 m



Cota (m.s.n.m)	Velocidad (m/s)	Clasificación
-1.07	443.00	
-2.31	466.00	
-3.71	471.00	
-5.28	432.00	
-7.01	383.00	
-8.90	416.00	
-10.96	519.00	
-13.19	624.00	
-15.58	726.00	
-18.13	791.00	
-20.85	816.00	
-23.74	808.00	
-26.79	805.00	
-30.00	859.00	

Clasificación	Descripción
Suelo Suelto / Suelo blando	
Suelo rígido	
Suelo muy denso o roca blanda	
Suelo muy rígido / Roca	

## Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Velocidad de onda de corte (Vs) (m/s)	Clasificación Sísmica ASCE - 2010
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$
B	Roca	$760 < V_s < 1500$
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$

$V_{s30}$  (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales  
N: Número de golpes

## ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Clasificación Sísmica ASCE - 2010
	810
	C

## NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016
	810
	Suelo muy rígido

## Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016
S0	$V_s > 1500$
S1	$500 < V_s < 1500$
S2	$180 < V_s < 500$
S3	$V_s < 180$

T0 (s)	T0=4H/Vs30	Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016
		0.20





**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORES EN INGENIERÍA

## ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARREGLOS MULTICANAL

BASE 01

Proyecto : ESTUDIO GEOFÍSICO REPRESA QUISCO

Coordenadas : WGS 84

Modelo de equipo : Geode - 24 canales

Datum : UTM

Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR

Zona - Banda : 18-L

Realizado : G. Muñoz

Escala : 200000

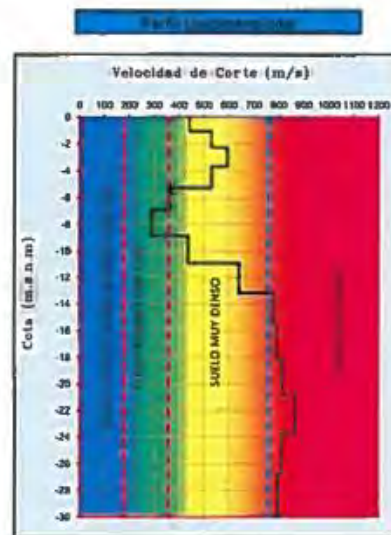
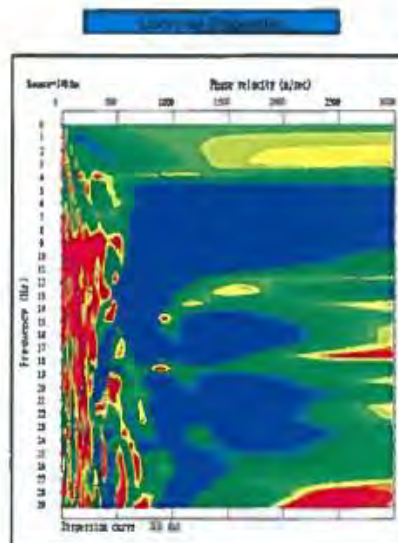
Revisado : N. Mori

Norte : 8368868

Longitud de : 75 m

Fecha : Febrero 2016

Cota : 0 m.s.n.m.



Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Clasificación
-1.07	442.00	
-2.31	529.00	
-3.71	583.00	
-5.28	530.00	
-7.01	364.00	
-8.90	291.00	
-10.96	436.00	
-13.19	639.00	
-15.58	780.00	
-18.13	790.00	
-20.85	815.00	
-23.74	867.00	
-26.79	812.00	
-30.00	795.00	

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Clasificación
-1.07	442.00	Suelo muy blando / Suelo blando
-2.31	529.00	Suelo blando
-3.71	583.00	Suelo blando
-5.28	530.00	Suelo blando
-7.01	364.00	Suelo blando
-8.90	291.00	Suelo blando
-10.96	436.00	Suelo blando
-13.19	639.00	Suelo blando
-15.58	780.00	Suelo blando
-18.13	790.00	Suelo blando
-20.85	815.00	Suelo blando
-23.74	867.00	Suelo blando
-26.79	812.00	Suelo blando
-30.00	795.00	Suelo blando

### Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Clase	Descripción	Velocidad de corte (m/s)	Período (s)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	$N/A$
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	$N/A$
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}(m/s)$ : Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales  
N: Número de golpes

### ASCE - 2010

Tipo de Suelo	C
---------------	---

### NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Suelo muy rígido
---------------	------------------

### Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Clase	Descripción	Velocidad de corte (m/s)
S0	Roca dura	$V_s > 1500$
S1	Suelo muy rígido	$500 < V_s < 1500$
S2	Suelo intermedio	$180 < V_s < 500$
S3	Suelo blando	$V_s < 180$

T0 (s)	T0=4H/Vs30	0.20
--------	------------	------





**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORES EN INGENIERÍA

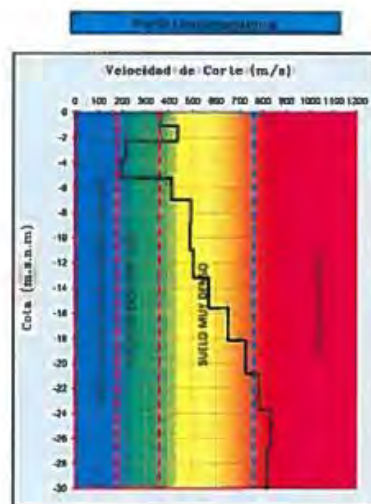
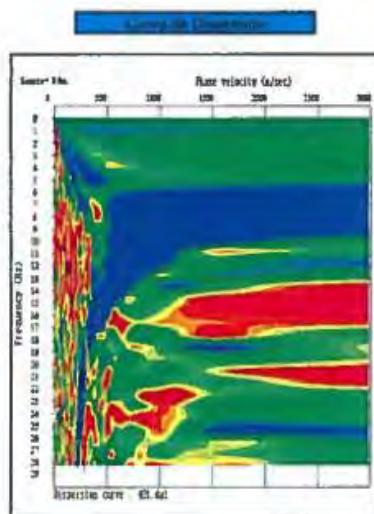
# ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN AKNELOS MULTICANAL

MADN-04

Proyecto : ESTUDIO GEOFÍSICO REPRESA QUISCO  
Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR  
Fecha : Febrero\_2016

Coordenadas : WGS 84  
Datum : UTM  
Zona - Banda : 18-L  
Este : 256641  
Norte : 8368840  
Cota : 0 m s.n.m.

Modelo de equipo : Geode - 24 canales  
Realizado : G. Muñoz  
Revisado : N. Mon  
Longitud de : 75 m



Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Clasificación
-1.07	364.00	
-2.31	435.00	
-3.71	215.00	
-5.28	196.00	
-7.01	412.00	
-8.90	493.00	
-10.96	489.00	
-13.19	506.00	
-15.58	569.00	
-18.13	653.00	
-20.85	727.00	
-23.74	786.00	
-26.79	835.00	
-30.00	818.00	

Clasificación	Descripción
	Suelo Suelto / Suelo blando
	Suelo rígido
	Suelo muy denso o roca blanda
	Suelo muy rígido / Roca

## Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Velocidad promedio de ondas de corte ( $V_s$ )	Velocidad promedio de ondas de corte ( $V_s$ )	Velocidad promedio de ondas de corte ( $V_s$ )
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}(m/s)$ : Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales  
N: Número de golpes

## ASCE - 2010

Tipo de Suelo	C
---------------	---

## NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Suelo intermedio
---------------	------------------

## Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Velocidad promedio de ondas de corte ( $V_s$ )	Clasificación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

T0 (s)	$T0 = 4H/V_{s30}$	0.24
--------	-------------------	------



**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORA EN INGENIERÍA

# ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ABRIL 2015 MULTICANAL

MAW 001

Proyecto : ESTUDIO GEOFISICO REPRESA QUISCO

Coordenadas : WGS 84

Modelo de equipo : Geode - 24 canales

Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR

Zona - Banda : 18-L

Realizado : G Muñoz

Este : 768555

Revisado : N Mori

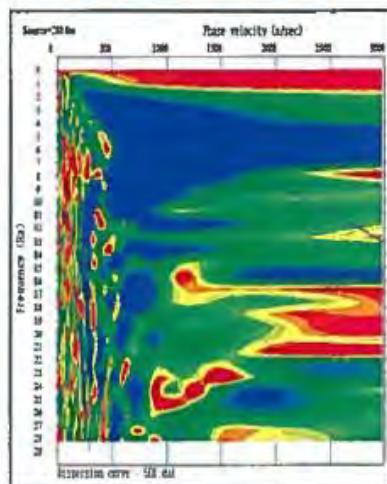
Norte : 8368947

Longitud de : 75 m

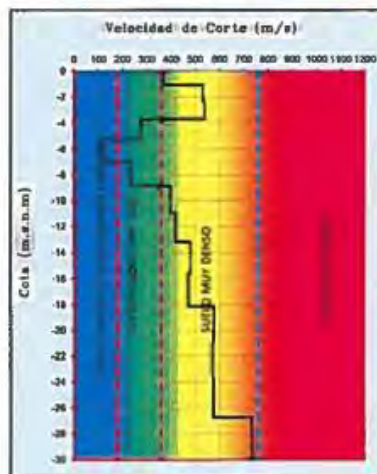
Fecha : Febrero\_2016

Cota : 0 m.s.n.m

Curvas de Dispersión



Perfil Litostratigráfico



Clasificación de Suelos

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Clasificación
-1.07	368.00	Suelo muy blando
-2.31	532.00	
-3.71	539.00	
-5.28	276.00	
-7.01	119.00	Suelo blando
-8.90	234.00	
-10.96	399.00	Suelo muy blando
-13.19	421.00	
-15.58	450.00	
-18.13	471.00	
-20.85	576.00	
-23.74	572.00	
-26.79	574.00	
-30.00	733.00	

Clasificación	Descripción
Suelo Suelto / Suelo blando	
Suelo rígido	
Suelo muy denso o roca blanda	
Suelo muy rígido / Roca	

Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Clasificación	Descripción	Velocidad de onda de corte (m/s)	Período natural (s)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}(m/s)$ : Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

N: Número de golpes

ASCE - 2010

$V_{s30}(m/s)$	392
Tipo de Suelo	C

NTP E-030 - 2016

$V_{s30}(m/s)$	392
Tipo de Suelo	Suelo Intermedio

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Clasificación	Descripción	Velocidad de onda de corte (m/s)
50	$V_s > 1500$	Roca dura
51	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
52	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
53	$V_s < 180$	Suelo blando

T0 (s)	$T0=4H/V_{s30}$	0.31
--------	-----------------	------





**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORES EN INGENIERÍA

## ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARREGLOS MULTICANAL

REPORT

Proyecto : ESTUDIO GEOFÍSICO REPRESA QUISCO

Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR

Fecha : Febrero\_2016

Coordenadas : WGS 84

Datum : UTM

Zona - Banda : 18-L

Este : 206469

Norte : 8369055

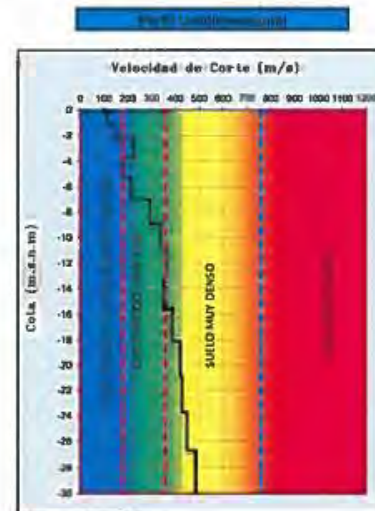
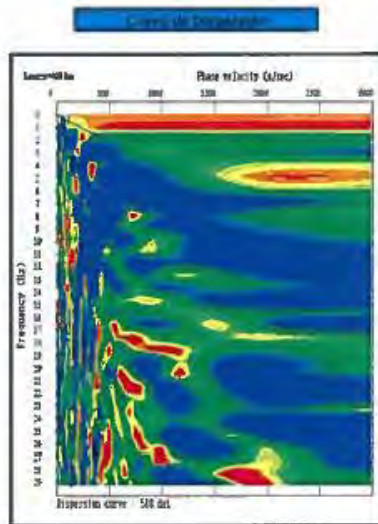
Cota : 0 m.s.n.m

Modelo de equipo : Geode - 24 canales

Realizado : G. Muñoz

Revisado : N. Mori

Longitud de : 75 m



**Tabla de Datos**

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Clase de Suelo
-1.07	112.00	Suelo muy blando
-2.31	147.00	Suelo blando
-3.71	224.00	Suelo blando
-5.28	178.00	Suelo blando
-7.01	215.00	Suelo blando
-8.90	285.00	Suelo blando
-10.96	340.00	Suelo blando
-13.19	384.00	Suelo blando
-15.58	352.00	Suelo blando
-18.13	388.00	Suelo blando
-20.85	421.00	Suelo blando
-23.74	428.00	Suelo blando
-26.79	451.00	Suelo blando
-30.00	487.00	Suelo blando

**Tabla de Clasificación**

Clase de Suelo	Descripción
Suelo blando	Suelo blando / Suelo muy blando
Suelo rígido	Suelo rígido
Suelo muy denso o roca blanda	Suelo muy denso o roca blanda
Suelo muy rígido / Roca	Suelo muy rígido / Roca

### Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Descripción de Suelo	Velocidad de corte de onda (m/s)	Relación de Poisson
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}(m/s)$ : Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales.  
N: Número de golpes

### ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Clase de Suelo
D	301

### NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Clase de Suelo
Suelo intermedio	301

### Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Clase de Suelo	Descripción
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

Tipo de Suelo	Clase de Suelo
TD (s)	TD=4H/Vs30 0.40





**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORES EN INGENIERIA

## ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARRIGLOS MULTICANAL

MALAYAT

Proyecto : ESTUDIO GEOFISICO REPRESA QUISCO

Coordenadas : WGS 84

Modelo de equipo : Geode - 24 canales

Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR

Zona - Banda : 19-L

Realizado : G. Muñoz

Este : 268469

Revisado : N. Mon

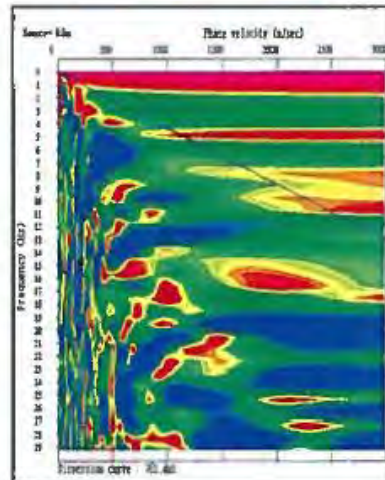
Norte : 8369042

Longitud de : 75 m

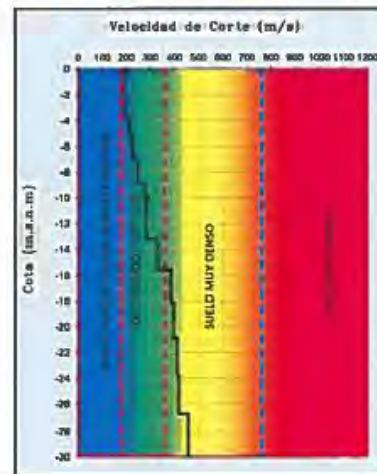
Fecha : Febrero\_2016

Cota : 0 m.s.n.m

Curva de Dispersión



Perfil Litomecánico



Curva de Profundidad

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Clasificación
-1.07	194.00	Suelo muy blando
-2.31	192.00	
-3.71	198.00	
-5.28	211.00	
-7.01	226.00	
-8.90	247.00	
-10.96	280.00	
-13.19	282.00	
-15.58	330.00	
-18.13	385.00	
-20.85	398.00	Suelo blando
-23.74	412.00	
-26.79	417.00	
-30.00	458.00	
		Suelo muy rígido / Roca

Clasificación	Descripción
Suelo muy blando	Suelo blando / Suelo muy blando
Suelo blando	Suelo blando
Suelo muy blando o roca blanda	Suelo muy blando o roca blanda
Suelo muy rígido / Roca	Suelo muy rígido / Roca

### Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Descripción	Velocidad de onda de corte (m/s)	Factor de reducción
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}(m/s)$ : Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

N\*: Número de golpes

### ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Factor
D	3.03

### NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Factor
Suelo intermedio	3.03

### Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Velocidad de onda de corte (m/s)	Descripción
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

T0 (s)	$T0 = 4H/V_{s30}$	Factor
		0.40



**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORES EN INGENIERÍA

# ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARTÍCULOS MULTICANAL

MA3W-05

Proyecto : ESTUDIO GEOFÍSICO REPRESA QUISCO

Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR

Fecha : Febrero\_2016

Coordenadas : WGS 84

Datum : UTM

Zona - Banda : 18-L

Escala : 266480

Norte : 8368941

Cota : 0

M.S.N.M.

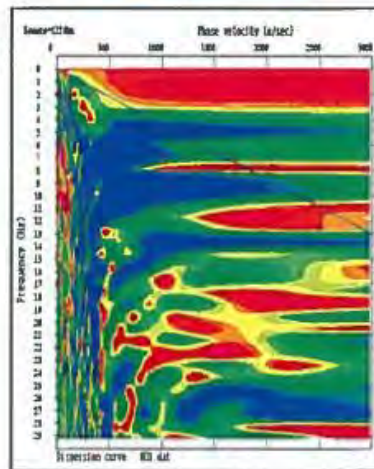
Modelo de equipo : Geode - 24 canales

Realizado : G. Muñoz

Revisado : N. Mori

Longitud de : 75 m

Gráfico de Amplitud



Perfil Unidimensional

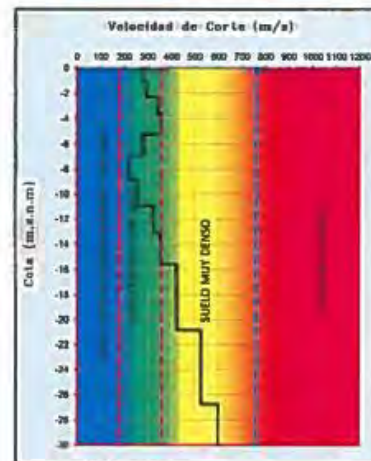


Gráfico de Profundidad

-1.07	280.00	
-2.31	295.00	
-3.71	341.00	
-5.28	356.00	
-7.01	279.00	
-8.90	223.00	
-10.96	256.00	
-13.19	323.00	
-15.58	354.00	
-18.13	422.00	
-20.85	424.00	
-23.74	527.00	
-26.79	528.00	
-30.00	596.00	

Clasificación	Descripción
Suelo muy blando	Suelo muy blando / Suelo blando
Suelo blando	Suelo blando
Suelo muy denso o roca blanda	Suelo muy denso o roca blanda
Suelo muy rígido / Roca	Suelo muy rígido / Roca

Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Clase de Suelo	Amplitud promedio de ondas de corte (m/s)	Velocidad de ondas de corte (m/s)	Relación de amplitud de ondas de corte (m/s)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}$  (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

N: Número de golpes

ASCE - 2010

$V_{s30}$ (m/s)	368
Tipo de Suelo	C

NTP E-030 - 2016

$V_{s30}$ (m/s)	368
Tipo de Suelo	Suelo intermedio

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Clase de Suelo	Velocidad de ondas de corte (m/s)	Descripción
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

Factor de reducción (R)	Factor de reducción (R)	Factor de reducción (R)
T0 (s)	$T0 = 4H/V_{s30}$	0.33





**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORES EN INGENIERÍA

## ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ANEJOLOS MULTICANAL

MASIV 01

Proyecto : ESTUDIO GEOFÍSICO REPRESA QUISCO

Coordenadas : WGS 84

Modelo de equipo : Goode - 24 canales

Datum : UTM

Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR

Zona - Banda : 18-L

Realizado : G. Muñoz

Este : 266577

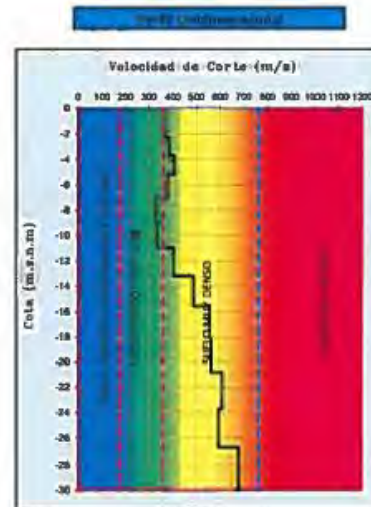
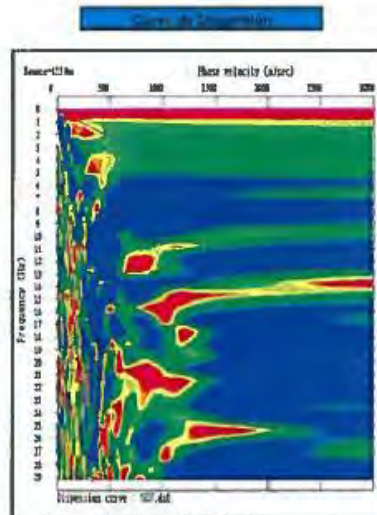
Revisado : H. Mori

Norte : 8368819

Longitud de : 75 m

Fecha : Febrero\_2016

Cota : 0 m s.n.m



Profundidad (m)	Velocidad de Corte (m/s)	Clasificación
-1.07	360.00	Suelo muy blando
-2.31	383.00	
-3.71	384.00	
-5.28	406.00	
-7.01	379.00	
-8.90	330.00	Suelo blando
-10.96	338.00	
-13.19	404.00	
-15.58	487.00	
-18.13	557.00	
-20.85	563.00	Suelo muy blando
-23.74	611.00	
-26.79	597.00	
-30.00	678.00	

**Tabla de Clasificación**

Clasificación	Descripción
Suelo muy blando	Suelo muy blando / Suelo blando
Suelo blando	Suelo blando
Suelo muy blando	Suelo muy blando o roca blanda
Suelo muy rígido / Roca	Suelo muy rígido / Roca

### Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Descripción	Velocidad de Corte (m/s)	Relación de Poisson
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_s30$  (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

N\*: Número de golpes

### ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Clasificación
Tipo de Suelo	C

### NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Clasificación
Tipo de Suelo	Suelo intermedio

### Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Velocidad de Corte (m/s)	Clasificación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

**Tabla de Clasificación**

T0 (s)	T0=4H/Vs30	Clasificación
T0 (s)	T0=4H/Vs30	0.26



**TERRASOLUTIONS PERÚ**  
CONSULTORES EN INGENIERÍA

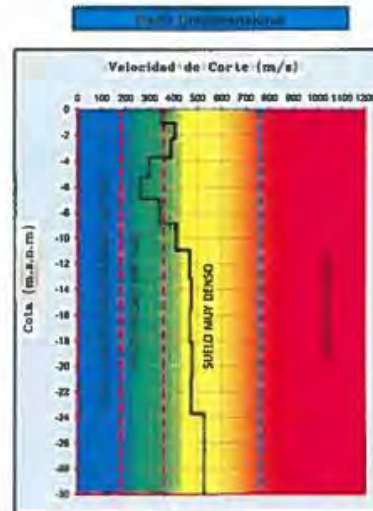
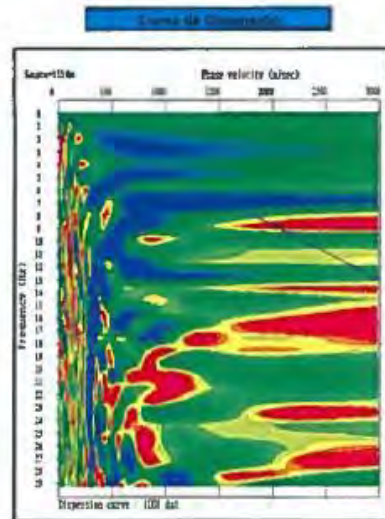
## ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN AJUIGOS MULTICANAL

MASPP-10

Proyecto : ESTUDIO GEOFÍSICO REPRESA QUISCO  
Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR  
Fecha : Febrero\_2016

Coordenadas : WGS 84  
Datum : UTM  
Zona - Banda : 18-L  
Este : 266525  
Norte : 836879  
Cota : 0 m s.n.m.

Modelo de equipo : Geode - 24 canales  
Realizado : G Muñoz  
Revisado : N Mori  
Longitud de : 75 m



Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Clasificación
-1.07	352.00	Suelo muy blando
-2.31	407.00	Suelo blando
-3.71	392.00	Suelo blando
-5.28	297.00	Suelo blando
-7.01	281.00	Suelo blando
-8.90	341.00	Suelo blando
-10.96	412.00	Suelo blando
-13.19	488.00	Suelo blando
-15.58	474.00	Suelo blando
-18.13	489.00	Suelo blando
-20.65	478.00	Suelo blando
-23.74	474.00	Suelo blando
-26.79	529.00	Suelo blando
-30.00	528.00	Suelo blando

Clasificación	Velocidad (m/s)	Clasificación
Suelo blando	352.00	Suelo blando
Suelo blando	407.00	Suelo blando
Suelo blando	392.00	Suelo blando
Suelo blando	297.00	Suelo blando
Suelo blando	281.00	Suelo blando
Suelo blando	341.00	Suelo blando
Suelo blando	412.00	Suelo blando
Suelo blando	488.00	Suelo blando
Suelo blando	474.00	Suelo blando
Suelo blando	489.00	Suelo blando
Suelo blando	478.00	Suelo blando
Suelo blando	474.00	Suelo blando
Suelo blando	529.00	Suelo blando
Suelo blando	528.00	Suelo blando

### Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Velocidad de Corte (m/s)	Clasificación
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$
B	Roca	$760 < V_s < 1500$
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$

$V_{s30}$ (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales  
N: Numero de golpes

### ASCE - 2010

Tipo de Suelo	G
---------------	---

### NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Suelo intermedio
---------------	------------------

### Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Velocidad de Corte (m/s)	Clasificación
S1	$V_s > 1500$	Roca dura
S2	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S3	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S4	$V_s < 180$	Suelo blando

T0 (s)	$T0 = 4H/V_{s30}$	0.28
--------	-------------------	------





**TERRASOLUTIONS PERU**  
CONSULTORIA EN INGENIERIA

# ANALISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARRIGLOS MULTICANAL

MADH-11

Proyecto : ESTUDIO GEOFISICO REPRESA QUISCO

Coordenadas : WGS 84

Modelo de equipo : Geode - 24 canales

Ubicación : DISTRITO DE ALTO PICHIGUA - ESPINAR

Zona - Banda : 18-L

Realizado : G. Muñoz

Fecha : Febrero\_2016

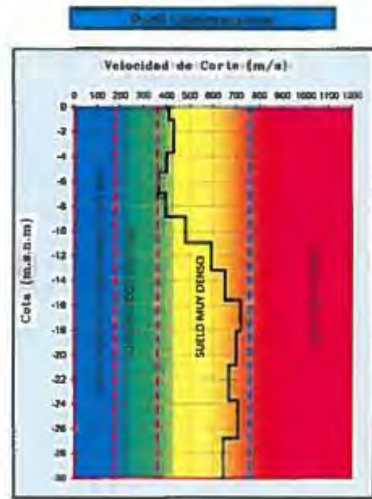
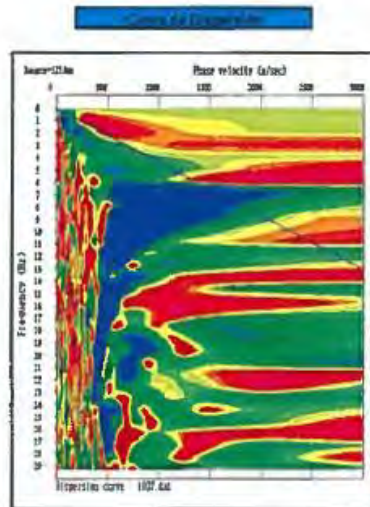
Este : 266814

Revisado : N. Mori

Norte : 8368966

Longitud de : 75 m

Cota : 0 m.s.n.m



Profundidad (m)	Cota (m.s.n.m)	Velocidad (m/s)
-1.07	409.00	
-2.31	433.00	
-3.71	430.00	
-5.28	399.00	
-7.01	364.00	
-8.99	396.00	
-10.96	463.00	
-13.19	595.00	
-15.58	652.00	
-18.13	721.00	
-20.85	703.00	
-23.74	668.00	
-26.79	710.00	
-30.00	645.00	

Color	Descripción
Blue	Suelo muy blando / Suelo blando
Green	Suelo rigido
Yellow	Suelo muy denso o roca blanda
Orange	Suelo muy rigido / Roca

## Clasificación Sismica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Descripción del suelo	Velocidad de onda de corte (Vs) (m/s)	Período de vibración (T) (s)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rigido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}$  (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

N: Numero de golpes

## ASCE - 2010

Tipo de Suelo	C
---------------	---

## NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Suelo muy rigido
---------------	------------------

## Clasificación Sismica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Velocidad de onda de corte (Vs) (m/s)	Descripción
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rigido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

Tipo de Suelo	Período de vibración (T) (s)	Factor de amplificación (Fa)
T0 (s)	T0=4H/Vs30	0.22





# ANEXO IV

## GEOTÉCNIA

### Registros geológicos de los sondeos para consolidación

[illegible]







[illegible]







# Ensayos de permeabilidad tipo Lugeon para impermeabilización

<b>ENSAYO DE AGUA A PRESION</b> <b>TIPO LUGION</b>				 <small>Ingeniería y Gestión</small>	
<b>PROYECTO :</b>	ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS ESPECIALIZADOS DE GEOTECNIA Y GEOLOGIA DE LA PRESA QUITCO	<b>PROF. DE ENSAYO DE :</b> 4.00 A 7.00 m <b>FECHA :</b> 9/08/2017 <b>Hr. INICIO :</b> 15:05 <b>FIN :</b> 15:20	<b>SONDEO N°</b> SEPI-01 <b>ENSAYO N°</b> 2 / 7		
<b>AREA :</b>	EJE DE PRESA	<b>LITOLOG. DEL TRAMO :</b> ARENISCA (Proceso de Litificación)			

$h_m$	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.53	m
$a$	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.40	m
$h_a$	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	0.00	m
$\Delta h$	=	SORRECARGA HIDRAULICA	6.03	m
$d$	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	4.00	m
$L$	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	7.00	m
$\alpha$	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	-90	°
$\Delta h'$	=	$\Delta h \cos \alpha$	6.03	m
$l$	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	3.00	m
$\phi$	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	9.60	cm
$P_M$	=	PRESION MANOMETRICA		
$P_{EF}$	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
$\Delta p$	=	PERDIDAS DE CARGA		
$q$	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
$qt$	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
$G$	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
$Q$	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR ML. DE TRAMO DE ENSAYO		
$UL$	=	UNIDAD LUGION ( $Q \times 10 / P_M$ )		

	$P_M =$ <small>kg/cm<sup>2</sup></small> 0.00	$P_M =$ <small>kg/cm<sup>2</sup></small>	$P_M =$ <small>kg/cm<sup>2</sup></small>	$P_M =$ <small>kg/cm<sup>2</sup></small>	$P_M =$ <small>kg/cm<sup>2</sup></small>
TIEMPO EN MINUTO	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL
0	3080.0				
1	3190.0	110.00			
2	3300.0	110.00			
3	3410.0	110.00			
4	3520.0	110.00			
5	3630.0	110.00			
6					
7					
8					
9					
10					
$qt(1)$	550.00				
$Q$ (l/min/m)	110.00				
$\Delta p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	36.67				
$P_{EF}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.05				
$UL$	6918.24				

$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$

REPRESENTACIÓN GRÁFICA

GRÁFICO DE PATRÓN DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGION

UNIDAD LUGION SELECCIONADA: **6.918.24** U/L

K (PERMEABILIDAD): **8.99E-02** cm/s

**OBSERVACIONES**

Prueba Lugeon Nro. 4 tramo 4.00 - 7.00 m, litología Arenisca (Proceso de Litificación)

Nivel freático, 0.01 mts.

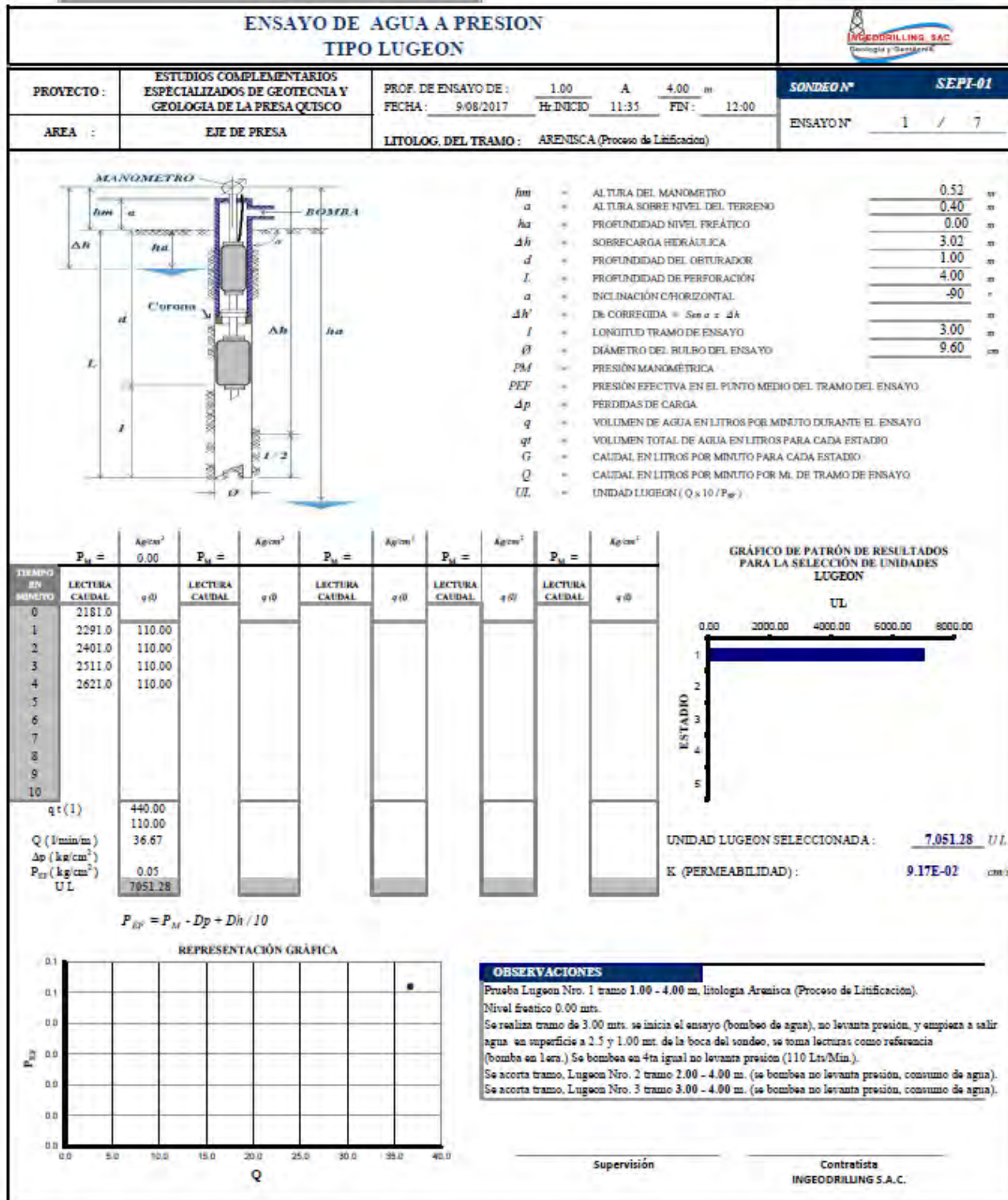
Se inicia el ensayo (bombeo de agua) no levanta presión, se toma lecturas con la bomba en 2da como referencia.

Se acorta tramo, Lugeon Nro. 5 tramo 5.00 - 7.00 m. (se bombea no levanta presión, consumo de agua).

Supervisión


Contratista

INGEODRILLING S.A.C.





## ENSAYO DE AGUA A PRESION TIPO LUGEON



**PROYECTO :** ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS ESPECIALIZADOS DE GEOTECNIA Y GEOLOGIA DE LA PRESA QUITCO

**AREA :** EJE DE PRESA

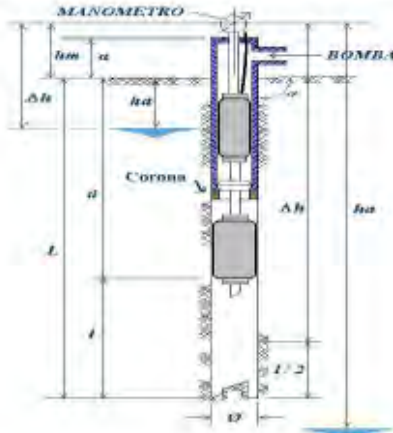
**PROF. DE ENSAYO DE :** 6.00 A 7.00 m

**FECHA :** 9/08/2017 **HR INICIO :** 16:50 **FIN :** 17:55

**LITOLOG. DEL TRAMO :** ARENISCA (Proceso de Litificación)

**SONDEON°** SEPI-01

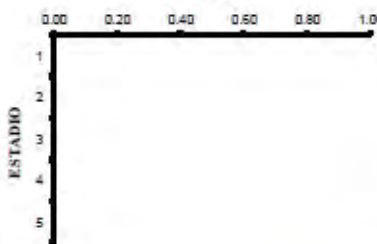
**ENSAYO N°** 3 / 7



$h_m$	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.53	m
$a$	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.45	m
$h_a$	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO	0.00	m
$\Delta h$	=	SOBRECARGA HIDRÁULICA	7.03	m
$d$	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	6.00	m
$L$	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN	7.00	m
$\alpha$	=	INCLINACIÓN C/HORIZONTAL	-90	°
$\Delta h'$	=	DE CORREGIDA = $\text{Sen } \alpha \times \Delta h$		m
$l$	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	1.00	m
$\phi$	=	DIÁMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	9.60	cm
$P_M$	=	PRESIÓN MANOMÉTRICA		
$PEF$	=	PRESIÓN EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
$\Delta p$	=	PÉRDIDAS DE CARGA		
$q$	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
$qt$	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
$G$	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
$\bar{Q}$	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO		
$UL$	=	UNIDAD LUGEON ( $Q \times 10 / P_M$ )		

	$P_M = 0.60$	$P_M = 1.50$	$P_M = 2.50$	$P_M = 1.50$	$P_M = 0.60$
TIEMPO EN MINUTO	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL
0	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
1	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
2	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
3	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
4	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
5	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
6	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
7	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
8	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
10	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9	4169.9
$q(1)$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$Q$ (l/min/m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\Delta p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.65	1.55	2.55	1.55	0.65
$UL$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**GRÁFICO DE PATRÓN DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

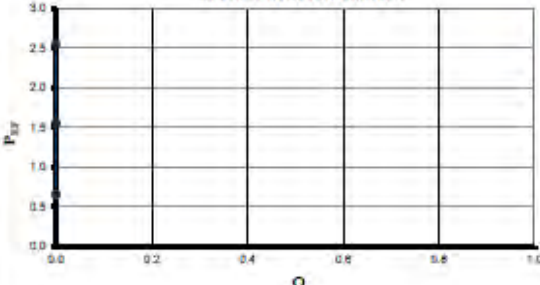


UNIDAD LUGEON SELECCIONADA: 0.01 U/L

K (PERMEABILIDAD): 1.30E-07 cm/s

$P_{N^o} = P_M - Dp + Dh / 10$

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA**



**OBSERVACIONES**

Prueba Lugeon Nro. 6 tramo 6.00 - 7.00 m, litología Arenisca (Proceso de Litificación).

Nivel freático, 0.00 mts.

Dada esas presiones no consume, se levanta el manómetro hasta 5 bares tampoco consume.

Supervisión

Contratista

INGEODRILLING S.A.C.



<b>ENSAYO DE AGUA A PRESION</b> <b>TIPO LUGEON</b>				 <small>Ingeniería y Geotecnia</small>	
<b>PROYECTO :</b>	ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS ESPECIALIZADOS DE GEOTECNIA Y GEOLOGIA DE LA PRESA QUISCO	PROF. DE ENSAYO DE: 7.50 A 10.00 m	<b>SONDEON°</b> SEPI-01		
<b>FECHA:</b> 10/08/2017	<b>H. INICIO:</b> 08:20	<b>FIN:</b> 09:25	<b>ENSAYO N°</b> 4 / 7		
<b>AREA :</b>	EJE DE PRESA	<b>LITOLOG. DEL TRAMO :</b> ARENISCA (Proceso de Litificación)			

hm	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.52	m
a	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.40	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO	0.00	m
Δh	=	SOBRECARGA HIDRÁULICA	9.27	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	7.50	m
l	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN	10.00	m
a'	=	INCLINACIÓN C/HORIZONTAL	-90	°
Δh'	=	Dh CORREGIDA = Sen a x Δh		m
I	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	2.50	m
Ø	=	DIÁMETRO DEL HULBO DEL ENSAYO	9.60	cm
Pd	=	PRESIÓN MANOMÉTRICA		
PEF	=	PRESIÓN EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Δp	=	PÉRDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR ML. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P <sub>av</sub> )		

	P <sub>M</sub> = 0.60 kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> = 1.25 kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> = 2.50 kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> = 1.25 kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> = 0.60 kg/cm <sup>2</sup>
TIEMPO EN MINUTO	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL	LECTURA CAUDAL
0	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
1	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
2	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
3	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
4	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
5	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
6	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
7	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
9	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
10	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8	4212.8
qt (l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q (l/min/m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Δp (kg/cm <sup>2</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>av</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	0.65	1.30	2.55	1.30	0.65
UL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$P_{av} = P_M - Dp + Dh / 10$

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA**

**GRÁFICO DE PATRÓN DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

UNIDAD LUGEON SELECCIONADA: 0.01 U/L

K (PERMEABILIDAD): 1.30E-07 cm/s

**OBSERVACIONES**

Prueba Lugeon Nro. 7 tramo 7.50 - 10.00 m, litología Arenisca (Proceso de Litificación). Nivel freático, 0.01 mts.

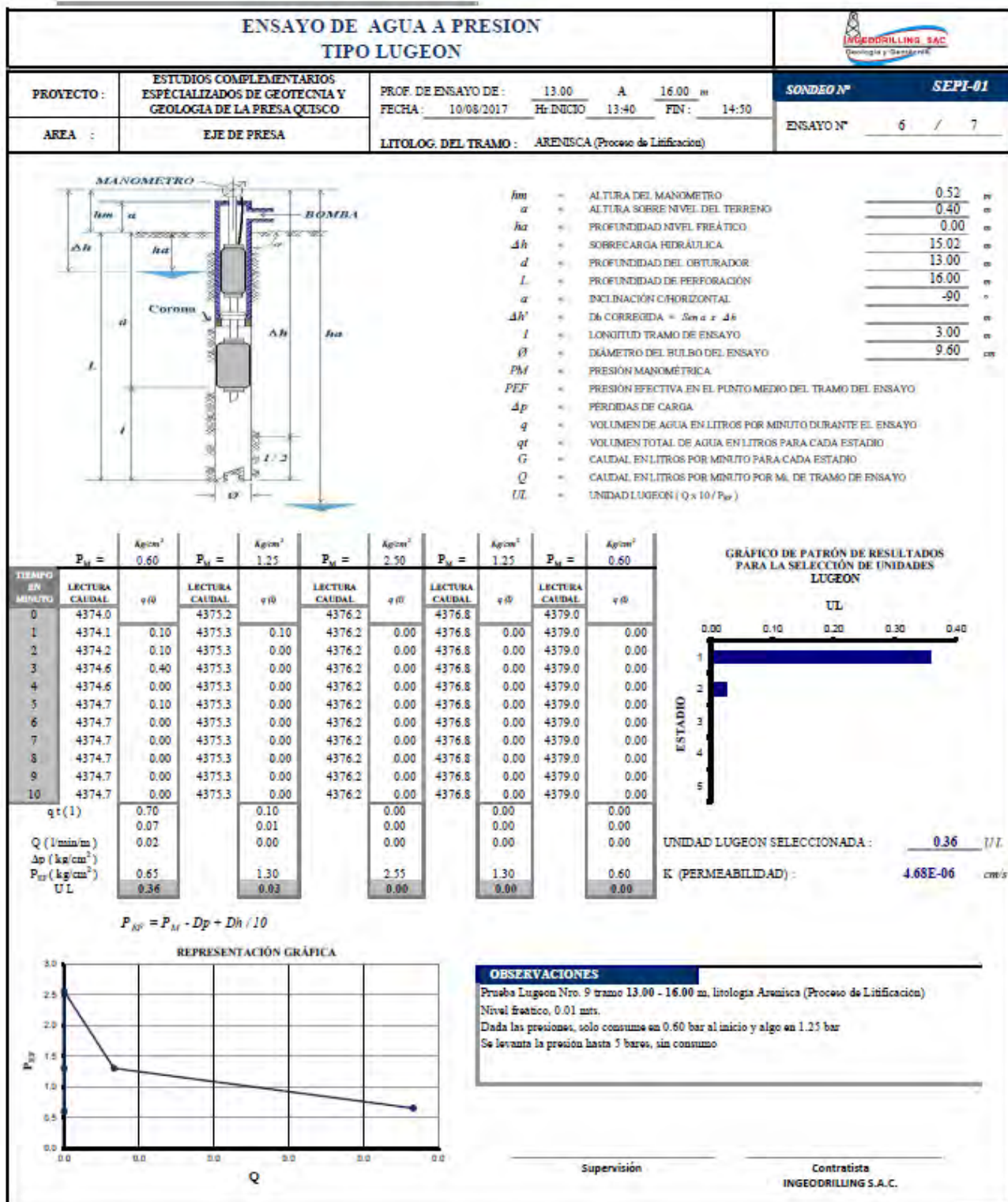
Dada esas presiones no consume, se levanta el manómetro hasta 5 bares tampoco consume.

Supervisión \_\_\_\_\_

Contratista INGEODRILLING S.A.C.







<b>ENSAYO DE AGUA A PRESION</b> <b>TIPO LUGEOON</b>					
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS ESPECIALIZADOS DE GEOTECNIA Y GEOLOGIA DE LA PRESA QUISCO	PROF. DE ENSAYO DE:	16.50	A	19.00 m
		FECHA:	10/08/2017	H: INICIO	17:00
				FIN:	18:10
<b>AREA:</b>	EJE DE PRESA	<b>LITOLOG. DEL TRAMO:</b> CALIZA-ARENISCA (Proceso de Litificación).			
		<b>SONDEO N°</b>	SEPT-01		
		<b>ENSAYO N°</b>	7 / 7		

hm =	ALTURA DEL MANOMETRO	0.52	m
a =	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.40	m
ha =	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO	0.00	m
Δh =	SOBRECARGA HIDRAULICA	18.27	m
d =	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	16.50	m
l =	PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN	19.00	m
α =	INCLINACIÓN C/HORIZONTAL	-90	°
Δh' =	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh		m
l =	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	2.50	m
Ø =	DIÁMETRO DEL HULBO DEL ENSAYO	9.60	cm
PM =	PRESIÓN MANOMÉTRICA		
PEE =	PRESIÓN EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Δp =	PÉRDIDAS DE CARGA		
q =	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt =	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G =	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q =	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL =	UNIDAD LUGEOON ( Q x 10 / P <sub>EE</sub> )		

	P <sub>M</sub> = 0.60 kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> = 1.25 kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> = 2.50 kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> = 1.25 kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> = 0.60 kg/cm <sup>2</sup>
TIEMPO EN MINUTO	LECTURA CAUDAL q (l)	LECTURA CAUDAL q (l)	LECTURA CAUDAL q (l)	LECTURA CAUDAL q (l)	LECTURA CAUDAL q (l)
0	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
2	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
3	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
4	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
5	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
6	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
7	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
8	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
9	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
10	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1	4394.1
qt (l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q (l/min/m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Δp (kg/cm <sup>2</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>EE</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	0.65	1.30	2.55	1.30	0.65
UL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$P_{EE} = P_M - \Delta p + D \cdot h / 10$

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA**

3.0					
2.5					
2.0					
1.5					

**GRÁFICO DE PATRÓN DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEOON**

UNIDAD LUGEOON SELECCIONADA: 0.01 U/L

K (PERMEABILIDAD): 1.30E-07 cm/s

**OBSERVACIONES**

Prueba Lugeon Nro. 10 tramo 16.50 - 19.00 m, litología CALIZA-ARENISCA (Proceso de Litificación).

Nivel freático, 0.00 mts.

Dada las presiones, no consume nada.

Se levanta la presión hasta 3 bares, sin consumo.