

# 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 EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI – CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022

PRESENTADO POR:

-Br. Jhon Stuar Ccahuata Huaman

-Br. Tony Duverlee Ccalta Arce

Para optar al título Profesional de

**INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

**ING. LOPEZ ZAPANA RONALD**

**CUSCO - PERU  
2023**

## **Dedicatoria**

Este nuevo proyecto de tesis lo dedico a mis padres Herminio Y Silvia por el gran amor, dedicación y esfuerzo dedicados en este tiempo, al darme una educación buena con principios, valores y enseñanza con su ejemplo donde los objetivos y metas trazadas se alcanzan con el esfuerzo, voluntad y tiempo de uno mismo.

A mis hermanos Josué y Flor Emely por estar siempre a mi lado.

Jhon stuar

Con mucho amor y gratitud a mi padre, Apolinar Ccalta Quispe que Dios lo tiene en su gloria, a mi linda madre Bilma arce Ccompi por ser los pilares más importantes, siempre demostrándome su apoyo incondicional y sacrificio. También agradecer a todos mis tíos y tías por su confianza y apoyo incondicional.

A mi hermana, Flor, Ruth, a mi hermanito David y a mis primos que permanentemente me aconsejaron a seguir luchando, alcanzar mis objetivos y confiaron en mí. También a mi novia Esther por creer siempre en mi capacidad

Tony Duverlee

## **Agradecimiento**

Al Dios todo poderoso por brindarnos la oportunidad de cumplir los objetivos, metas y cumplirlos satisfactoriamente en este nuevo proyecto de investigación.

Al asesor Mgt. Ronald Luis López Zapana, por la enseñanza y experiencias compartida a través del proyecto, por su apoyo, dedicación y confianza en esta tesis de Investigación.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y los docentes por entregarnos una formación académica, donde aplicaremos la ética y moral en nuestras vida profesionales y personales.

A nuestros familiares y amigos que nos apoyaron y creyeron en este proyecto de investigación.

Los autores

## Resumen

En la presente investigación titulada “EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI – CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022” fijo por objetivo Evaluar las características geológicas y parámetros geotécnicos para la construcción de la presa Aruri - Uchucarcco, Chumbivilcas 2022. En la metodología, se aplicó el método no experimental, del tipo analítico, descriptivo, hipotético, con enfoque cuantitativo, nivel experimental y diseño explicativa. Los resultados obtenidos muestran que las características geológicas del área del embalse son de origen circo glaciar y estructura simple, incluyendo a las morrenas del cuaternarios de hasta 5 m de altura y rocas intrusivas del batolito de Apurímac como basamento rocoso. Los parámetros geotécnicos son: permeabilidad de cimentación de la presa que varía de 3.86 UL a 209.92 UL, capacidad portante de cimentación del dique de la presa es de 20 kg/cm<sup>2</sup>, en la capacidad portante de cimentación del suelo varia de 1.0 a 1.5 kg/cm<sup>2</sup> y las características de las canteras de piedras con resistencias entre 1250 – 1400 kg/cm<sup>2</sup> y densidad de 2.6 a 2.7 gr/cm<sup>3</sup> y la de agregados cumplen con los requisitos de la norma y tiene 22.1 % de desgaste según el ensayo de abrasión de los ángeles. La investigación muestra como conclusión que las características geológicas y geotécnicas son las adecuadas para el emplazamiento de la presa Aruri y que es recomendable la construcción de la presa de concreto.

Este proyecto contiene inicialmente la parte introductoria, en un capítulo siguiente que describe el marco teórico en los cual se exponen los conceptos que son utilizados en el desarrollo de los capítulos siguientes, así como el resumen de los estudios existentes en el área de estudio.

En el capítulo III. describe los aspectos de características de la zona de embalse, así como ubicación, accesibilidad y el clima de la zona o lugar de estudio.

En el capítulo IV. describe los aspectos geomorfológicos, en el que hace conocer las características de la zona del proyecto y su génesis de su morfología.

En el siguiente capítulo V se describe la Geología Regional y Local, Estratigrafía y Litología, fallas, pliegues, fracturas, etc. y su influencia para el proyecto

En el capítulo VI se describe la hidrología donde se resumen de manera general los parámetros de precipitación, parámetros geomorfológicos, drenajes para la evaluación de los parámetros sísmicos principalmente.

En el capítulo VII se describe la neo-tectónica y sismicidad, el cual es un resumen para la evaluación de los parámetros sísmicos principalmente.

En el capítulo VIII se trata de la Geotecnia de la zona de emplazamiento de la presa Aruri (Comportamiento geotécnico y geo mecánico de las Unidades Estratigráficas Locales identificadas). Investigaciones de campo mediante métodos directos (perforaciones o excavación de calicatas representativas) e indirectos (geofísicos) según la litología de la zona y Ensayos de laboratorio.

En el capítulo IX se trata sobre las Canteras: Materiales de construcción (agregados, piedras)

Las conclusiones y recomendaciones han sido realizadas en función al diagnóstico y a los factores de seguridad obtenidos, los mismo que han sido consensuados y coordinados en el equipo de trabajo.

**Palabras clave:** perforación diamantina, tomografía eléctrica, permeabilidad, cimentación, presa.

## **Abstrac**

The present investigation entitled "GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL EVALUATION FOR THE SITE OF THE ARURI DAM - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022" set by objective Evaluate the geological characteristics and geotechnical parameters for the construction of the Aruri - Uchucarcco dam, Chumbivilcas 2022. As a methodology, it was applied the non-experimental method, of the analytical, descriptive, hypothetical type, of the quantitative approach, of the experimental level and explanatory design. The results obtained show that the geological characteristics of the reservoir area are of glacial cirque origin and are of simple conformation made up of Quaternary moraines up to 5m and the intrusive rocks of the Apurímac batholith as rocky basement. The geotechnical parameters are: foundation permeability of the dam that varies from 3.86 UL to 209.92 UL, foundation bearing capacity of the dam dam is 20 kg/cm<sup>2</sup>, the foundation bearing capacity of the soil varies from 1.0 to 1.5 kg/ cm<sup>2</sup> and the characteristics of stone quarries with resistance between 1250 - 1400 kg/cm<sup>2</sup> and density of 2.6 to 2.7 gr/cm<sup>3</sup> and that of aggregates meet the requirements of the standard and has 22.1% wear according to the abrasion test of the Angels. The investigation shows as a conclusion that the geological and geotechnical characteristics are adequate for the location of the Aruri dam and that the construction of the concrete dam is recommended.

This project initially contains the introductory part, in a following chapter the theoretical framework is described in which the concepts that are used in the development of the following chapters are exposed, as well as the summary of the existing studies of the study area.

Chapter III describes the characteristics of the reservoir area, as well as location, accessibility and climate of the area under study.

Chapter IV describes the geomorphological aspects, in which it makes known the characteristics of the project area and its genesis of its morphology.

The following chapter V describes the Regional and Local Geology, Stratigraphy and Lithology, and Structural Geology (faults, folds, fractures, etc.) and their influence or risk for the project.

In chapter VI, hydrology is described, where precipitation parameters, geomorphological parameters, drainage are summarized in a general way, mainly for the evaluation of seismic parameters.

In chapter VII the neo-tectonics and seismicity are described, which is a summary for the evaluation of the seismic parameters mainly.

Chapter VIII deals with the Geotechnics of the area where the Aruri dam is located (Geotechnical and geomechanical behavior of the identified Local Stratigraphic Units). Field investigations using direct (drilling or excavation of representative test pits) and indirect (geophysical) methods depending on the lithology of the area and laboratory tests.

Chapter IX deals with Quarries: Construction materials (aggregates, stones)

The conclusions and recommendations have been made based on the diagnosis and the safety factors obtained, which have been agreed upon and coordinated in the work team.

**Keywords:** diamond drilling, electrical tomography, permeability, foundation, dam.

## Índice General

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Resumen .....	iv
Abstrac .....	vi
Índice General .....	iv
Índice De Tablas .....	x
Índice de figuras .....	xiii
CAPITULO 1: INTRODUCCION .....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1.1 Descripción del problema.....	2
1.1.2 Formulación del problema.....	2
1.2 JUSTIFICACION .....	3
1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivo específicos .....	3
1.5 HIPOTESIS Y VARIABLES.....	3
1.5.1 Hipótesis general .....	3
1.5.2 Hipótesis específicos .....	4
1.5.3 Variables .....	4
1.6 METODOLOGIA Y DISEÑO DE INVESTIGACION.....	4
1.6.2 Diseño de investigación: .....	5
1.6.3 Población de estudio:.....	5
1.6.4 Selección de muestra:.....	5
1.6.4 Toma de muestra: .....	5
1.7 INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTO DE TRABAJO.....	5
1.7.1 Instrumentos de trabajo .....	5
1.7.2 Etapas de trabajo .....	6
CAPITULO II: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL .....	7
2.1 ANTECEDENTES .....	7
2.1.1 Antecedente local.....	7
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	7
2.1.3 Antecedente internacional.....	8
2.2 BASES TEORICAS .....	8

2.1.1 Geología.....	8
2.1.2 Geomorfología.....	11
2.1.3 Geofísica .....	12
2.1.4 Geodinámica .....	19
2.1.4. Presas .....	26
2.1.5 Geotecnia.....	27
2.1 MARCO CONCEPTUAL .....	45
CAPITULO III: CARACTERIZACION DEL AREA DE EMBALSE .....	47
3.1 GENERALIDADES.....	47
3.2 UBICACIÓN .....	47
2.1.1 Ubicación de la zona de estudio .....	47
3.3 ACCESIBILIDAD .....	50
3.4 CLIMA Y VEGETACION .....	50
3.4.1 Clima .....	50
3.4.2 Vegetación .....	51
3.5 TOPOGRAFIA.....	51
3.5.1 Trabajo de campo .....	51
3.5.2 Trabajo de gabinete .....	52
CAPITULO IV: GEOMORFOLOGIA .....	52
4.1 Generalidades .....	52
4.2 Conjuntos estructurales y morfológicos .....	53
4.2.1 Faja Intracordillerana .....	53
4.2.2 Cordillera Oriental: .....	54
4.3 Morfología del área de estudio.....	54
4.3.1 Cerros.....	55
4.3.2 Valles glaciarios .....	55
4.3.3 Circo glaciar .....	56
4.3.4 Quebradas.....	57
4.3.5 Colinas .....	57
4.3.6 Lagunillas y humedales.....	57
4.3.7 Morrenas .....	58
4.4 Morfogénesis.....	58
4.4.1 Morfogénesis del Pre Cuaternario .....	58
4.4.2 Morfogénesis del Cuaternario .....	59
4.4.3 Morfodinámica actual .....	59

4.4.3.1 Esguurrimiento Superficial .....	60
4.4.4 Erosión en Surcos y Cárcavas.....	60
CAPITULO V: GEOLOGIA.....	62
5.1 Generalidades .....	62
5.2 Estratigrafía .....	62
5.2.1 Formación Arcuquina .....	63
5.2.2 Depósitos cuaternarios .....	64
5.2.2.1 Depósitos morrenicos y fluvioglaciares.....	64
5.2.3 Rocas igneas.....	66
5.2.3.1 Batolito de Apurímac.....	66
5.2.3.1.1 Roca intacta .....	67
5.2.3.1.2 Roca alterada .....	67
5.2.3.1.3 Saprolito .....	67
5.2.3.1.3 Suelo Residual .....	68
5.2.3.2 Depósitos orgánicos perma húmedos .....	68
5.2.3.3 Depósitos de caídas de piedras.....	68
5.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	70
5.3.1 Geología estructural.....	70
5.3.2 Sistema de diaclasas .....	70
5.3.2.1 Sistema NNE –SSW. ....	70
5.3.2.2 Sistema WNW –ESE.....	70
5.3.2.3 Sistema NNW –SSW .....	71
5.3.2.4 Sistema NE –SW .....	71
5.3.2.5 Sistema NW –SE .....	72
5.3.3 Sistema de fallas.....	72
CAP VI: HIDROLOGIA Y GEOHIDROLOGIA.....	74
6.1 Generalidades .....	74
6.1.1 Ubicación Hidrográfica de la Cuenca Aruri.....	74
6.2 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS .....	75
6.2.1 Elementos de área y superficie.....	75
6.1.3 Elementos de relieve.....	75
6.1.4 Elementos de Forma de la cuenca .....	76
6.4 Parámetros hidro morfológicos .....	77
6.6 Hidrología superficial.....	78
6.6.1 Información hidrometeorológica.....	79

6.6.2 Precipitación.....	79
6.6.3 Temperatura media mensual .....	85
6.6.4 Evapotranspiración .....	85
6.5 Hidrología superficial.....	87
6.5.1 Laguna .....	87
6.5.2 Drenaje Superficial.....	87
6.7 Oferta hídrica generada .....	88
6.7.1 Generación De Caudales Medios Mensuales. ....	88
6.7.2 Modelo Precipitación – escorrentía Lutz Scholz.....	88
6.8 Balance hídrico.....	119
6.8.1 Demanda De Agua .....	119
6.9 Análisis de eventos extremos .....	121
6.9.1 Caudales Máximos .....	121
CAPITULO VII: NEOTECTONICA Y SISMICIDAD.....	128
7.1 Neo tectónica .....	128
7.2 Implicancias geodinámicas .....	128
7.3 Marco sismo tectónicos.....	129
7.3.1 Eventos de subducción .....	129
7.3.2 La sismicidad de interfase – Segmento Central - Sur .....	130
7.3.2.1 Sismicidad de interplaca .....	130
7.3.2.2 Mapa de aceleraciones sísmicas.....	133
7.3.2.3 Mapa sísmico en la zona de estudio.....	135
7.3.2.4 Mapa de zonas de sismicidad en el área del Proyecto .....	136
CAPITULO VIII: GEOTECNICA.....	138
8.1 Campaña de campo.....	138
8.2 Caracterización Geomecánica.....	138
8.2.1 Estaciones geomecánicas. ....	138
8.2.1.1 Ensayo de resistencia de la matriz rocosa. ....	139
8.2.2 Valoración del macizo rocoso. ....	140
8.2.2.1 Descripción Macroscópica de las rocas .....	141
8.2.2.2 Peso específico de la Roca .....	141
8.2.2.3 Absorción .....	141
8.2.2.4 Humedad natural.....	142
8.2.3 Capacidad portante admisible para los macizos rocosos. ....	142
8.2.4 Módulo de elasticidad. ....	143

8.3 Caracterización de mecánica de suelos .....	143
8.3.1 Ubicación de las calicatas de prospección-.....	143
8.3.2 El perfil estratigráfico C-1:.....	144
8.3.3 El perfil estratigráfico C-2:.....	145
8.3.4 El perfil estratigráfico C-3:.....	145
8.3.5 El perfil estratigráfico C-4:.....	145
8.3.6 El perfil estratigráfico C-5:.....	146
8.3.7 Discusión.....	146
8.3.7.1 Clasificación de suelos.....	147
8.3.7.2 Capacidad portante admisible .....	147
8.4 PROSPECCION GEOFISICA.....	148
8.4.1 Generalidades.....	148
8.4.1 Tomografía eléctrica resistiva .....	148
8.4.3 Ubicación de las líneas .....	148
8.4.3.1 Línea de la sección A-A' .....	149
8.4.3.2 Línea de la sección tomográfica B-B' .....	150
8.4.3.3 Línea de la sección tomográfica C-C' .....	150
8.4.3.4 Línea de la sección tomográfica D-D' .....	151
8.4.4 Descripción de resistividades de secciones .....	151
8.4.4.1 Sección A-A' .....	152
8.4.4.2 Sección B-B' .....	154
8.4.4.3 Sección C-C' .....	155
8.4.4.4 Sección D-D' .....	157
8.5 Sondajes eléctrico verticales.....	158
8.5.1 Interpretación y resultados de los SEVs.....	158
8.5.2 Ubicación de los sondajes eléctricos verticales.....	159
8.5.3 Sondaje eléctrico vertical N° 01 .....	160
8.5.4 Sondaje eléctrico vertical N° 02 .....	161
8.6 Perforación diamantina .....	163
8.6.1 Ubicación de los sondajes diamantinos.....	164
8.6.2 Logueo de perforación SD 1.....	164
8.6.3 Logueo de perforación SD 2.....	165
8.6.4 Logueo de perforación SD 3.....	165
8.6.6 Permeabilidad Lugeon.....	166
8.6 Análisis e interpretación .....	167

8.6.1 Interpretación geológica de secciones tomográficas.....	167
8.6.1.1 Sección A-A´ .....	167
8.6.1.2 Sección B-B´ .....	167
8.6.1.3 Sección C-C´ .....	168
8.6.1.4 Sección D-D´ .....	168
8.6.2 Sección geológica en el eje de presa. ....	169
8.6.3 Sección geotécnica en el eje de presa. ....	169
CAPITULO IX: CANTERAS .....	171
9.1 Cantera de rocas.....	171
9.2 Canteras de agregados.....	172
9.2.1 Cantera de agregados para concreto .....	172
CONCLUSIONES.....	174
RECOMENDACIONES .....	176
BIBLIOGRAFIA .....	177
ANEXOS.....	183

## Índice De Tablas

Tabla 1. Cuadro de matriz de operacionalización de las variables -----	4
Tabla 2. Los terremotos y sismos que ocurrieron en el sur de Perú. -----	20
Tabla 3. Clasificación geomecánica de Bieniawski, (1989)-----	28
Tabla 4. Resistencia a la comprensión simple con la valoración RMR-----	32
Tabla 5. Valores de RQD según la frecuencia de las discontinuidades -----	34
Tabla 6. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el Índice RQD.--	34
Tabla 7. Descripción de la continuidad o persistencia. -----	35
Tabla 8. Valoración RMR de la rugosidad -----	36
Tabla 9. Descripción de la abertura y valoración RMR -----	37
Tabla 10. Valoración RMR del relleno.-----	38
Tabla 11. Valoración RMR de la Meteorización -----	39
Tabla 12. Valoración RMR del estado general del agua -----	39
Tabla 13. Clasificación de grado de dureza según la Compresión Uniaxial.----	41
Tabla 14. Ubicación política -----	47
Tabla 15. Ubicación geográfica UTM (WGS84): UTM 19L -----	47
Tabla 16. Coordenadas de puntos de control-----	51
Tabla 17. Ubicación hidrográfica de la Cuenca Aruri -----	74
Tabla 18. Información meteorológica utilizada. -----	79
Tabla 19. Variación mensual de la precipitación media. -----	80
Tabla 20. Registro De Datos Pluviométricos De La Estación Yauri, Libre De Saltos Y Tendencias-----	81
Tabla 21. Las Estaciones Utilizadas Para El Proceso De Regionalización.----	82
Tabla 22. Regionalización De La Precipitación Anual Para El Sector De La Laguna Aruri -----	82
Tabla 23. Coeficientes para generación de precipitación mensual-----	83
Tabla 24. Precipitación Anual Para La Zona De La Laguna Aruri -----	84
Tabla 25. Registro De Precipitación Regionalizada De La Laguna Aruri -----	84
Tabla 26. Resumen de precipitaciones media mensual-----	85
Tabla 27. Temperatura Media Mensual °C -----	85
Tabla 28. Evapotranspiración de Referencia de Penman Monteith - FAO -----	86
Tabla 29. Calculo de Etp. proceso de hoja en programa CropWat - FAO. -----	86
Tabla 30. Hoja de resultados Etp. proceso en CropWat - FAO-----	86

Tabla 31. Características hidráulicas de la laguna Aruri -----	87
Tabla 32. Punto de Aforo y Caudal de los drenajes -----	87
Tabla 33. Caudal Generado Cuenca ARURI. -----	90
Tabla 34. Aforos Medios Mensuales Obtenidos De La Cuenca Aruri,Según Modelo Precipitación – Escorrentía Lutz Scholz -----	117
Tabla 35. Cálculo De La Correlación De Altura Y Volumen De Almacenamiento Topográfico De La Presa Aruri-----	118
Tabla 36. demanda de agua agrícola con su cedula de cultivo -----	119
Tabla 37. La Oferta Y Demanda De La Cuenca Aruri-----	120
Tabla 38. El Balance Hídrico De La Cuenca Aruri -----	120
Tabla 39. Información de la precipitación máxima dentro de 24 Horas en la estación Santo Tomas -----	122
Tabla 40. Información de la precipitación máxima dentro de 24 horas en la presa Aruri-----	123
Tabla 41. La Distribución De Probabilidad De Precipitación Mediante Gumbel -----	124
Tabla 42. Ecuaciones De Regresión Múltiple Para Los Factores B0, B1. B2 Y K. Aplicativo Análisis De Datos. -----	124
Tabla 43. Intensidades De Las Lluvias Determinadas Por La Precipitación Máx. Diaria Pd, En La Permanencia De La Frecuencia Y Precipitación-----	124
Tabla 44. Intensidad Duración Y Frecuencia Y Ecuación Correspondiente. --	125
Tabla 45. Tiempo De Concentración TC -----	126
Tabla 46. Ecuación de intensidad de precipitación en un tiempo de retorno de 50 años y para un tiempo de concentración de 15 min-----	126
Tabla 47. Cálculo De Aforo Máximo Según Método Racional -----	126
Tabla 48. Eventos de subducción en la parte central del Perú -----	129
Tabla 49. Eventos De Sismicidad De Interplaca -----	130
Tabla 50. Eventos de sismicidad de interplaca -----	131
Tabla 51. Tabla De Zonificación Sísmica -----	137
Tabla 52. Resultados De Ensayos De Resistencia De La Matriz Rocosa -----	140
Tabla 53. Resultados De Valoración Del Macizo Rocoso-----	140
Tabla 54. Identificación De La Roca-----	141
Tabla 55. Resultado De Absorción-----	141
Tabla 56. Resultados De Humedad Natural. -----	142

Tabla 57. Resultados De Capacidad Portante Del Macizo Rocoso -----	142
Tabla 58. Resumen De Módulo De Elasticidad Y De Poisson.-----	143
Tabla 59. Ubicación De Las Calicatas -----	143
Tabla 60. Resumen De Clasificación De Suelos -----	147
Tabla 61. Resultados Del SEV N°01 -----	160
Tabla 62. Resumen De Resultados Del SEV N°01 -----	160
Tabla 63. Resultados del SEV N°02-----	161
Tabla 64. Resumen De Resultados Del SEV N°02-----	162
Tabla 65. Resumen De Ensayos De Permeabilidad De Lugeon-----	166
Tabla 66. Canteras De Rocas-----	171

## Índice de figuras

Figura 1. Unidades litológicas .....	9
Figura 2. Estructura geológica .....	9
Figura 3. Dirección de fuerzas .....	10
Figura 4. Tipos de diaclasas .....	10
Figura 5. Tipos de fallas .....	11
Figura 6. Circo glaciar .....	11
Figura 7. Ley de OHM .....	13
Figura 7. Ley de OHM .....	13
Figura 8. Instrumento para medir la resistividad que presenta un suelo.....	15
Figura 9. Resistividad de suelo, roca y agua .....	15
Figura 10. Márgenes de variación de rocas, minerales y químicos. ....	16
Figura 11. Distribución de electrodos, líneas de flujo eléctrico en el SEV y interpretación de resistividades	
Figura 12. Arreglo en el modo de la técnica Schlumberger.....	18
Figura 13. Mapa de ordenadas espectrales según la PUCP .....	23
Figura 14. Mapa de ordenadas espectrales según el IGP .....	24
Figura 15. Orientaciones de discontinuidades del macizo rocos .....	31
Figura 16. Partes del martillo de schmidt.....	31
Figura 17. Abaco de las densidades de la roca.....	32
Figura 18. Procedimiento para la determinación de RQD usando el núcleo ....	33
Figura 19. Índice de resistencia geológica (GSI) para macizos rocosos fracturados.....	41
Figura 20. Ubicación de la laguna Aruri .....	47
21. Mapa de ubicación distrital, provincial y regional .....	49
Figura 22. Ubicación geomorfología en el contexto regional (Faja Intracordillerana) .....	54
Figura 23. Valles glaciares conforman la morfología de las lagunas en forma paralela.....	56
Figura 24. Laguna Aruri es resultado de un circo glaciar cuyas morrenas laterales se observan al SO de la laguna .....	57
Figura 25. Laguna Aruri y humedales en alrededores de la laguna como resultado de acuíferos del macizo rocoso .....	58

26. Mapa geomorfológico.....	61
Figura 27. Mapa geológico regional.....	62
28. Mapa estructural.....	69
Figura 29. Sistema NNE-SSW en las estaciones 2, 3 y 7 .....	70
Figura 30. Sistema WNW-ESE en la estación 4.....	71
Figura 31. Sistema NNW-SSE en la estación 5.....	71
Figura 32. Sistema NE-SW en las estaciones 1 .....	72
Figura 33. Sistema NW-SE en la estación 6.....	72
Figura 34. El sistema de fallas asociado a sistema de diaclasas.....	73
Figura 35. Laguna Aruri y Superficie de cuenca de aporte hídrico .....	75
Figura 36. Curva Hipsométrica cuenca Aruri .....	77
Figura 37. Polígono de frecuencia de altitudes y mapa orográfico .....	77
Figura 38. Variación Anual de la precipitación promedio multimensual (2003 – 2018). .....	80
Figura 39. Variación Anual de la precipitación media red de estaciones .....	81
Figura 40. Líneas de tendencia regional precipitación anual .....	83
Figura 41. Comportamiento regional de la precipitación anual por regresión potencial .....	83
Figura 42. Vista panorámica de laguna Aruri.....	87
Figura 43. Drenajes principales de la laguna Aruri.....	88
Figura 44. procesamiento de la precipitación a caudal .....	89
Figura 45. Balance hídrico de la cuenca Aruri con proyección de represamiento .....	121
Figura 46. Relación entre las curvas de intensidad duración y frecuencia .....	126
Figura 47. Configuración sismo tectónica de la zona de subducción sudamericana, segmento central y sur.....	132
Figura 48. Mapa de ordenadas espectrales en el Perú.....	134
Figura 49. Mapa de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú.....	135
Figura 50. Mapa sísmico en el área del Proyecto.....	136
Figura 51. Mapa de zonificación sísmica.....	136
Figura 52. Esclerómetro de rocas utilizado en los ensayos .....	139

Figura 53. Proceso de excavación con retroexcavadora CAT 416D y ubicación de calicatas.....	144
Figura 54. Capacidad portante admisible en nivel de delgados estratos de suelos arenoso de las morrenas mediante el penetró metro de Pocket. ....	148
Figura 55. Ubicación de las líneas de tomografía eléctrica .....	149
Figura 56. Línea de tomografía eléctrica de la sección A-A´ en proceso de instalación de los electrodos y registro .....	150
Figura 57. Línea de tomografía eléctrica de la sección B-B´ en proceso de instalación de los electrodos y registro .....	150
Figura 58. Línea de tomografía eléctrica de la sección C-C´ en proceso de instalación de los electrodos y registro. ....	150
Figura 59. Línea de tomografía eléctrica de la sección D-D´ en proceso de instalación de los electrodos y registro .....	151
Figura 60. Sección tomográfica A-A .....	152
Figura 61. Sección tomográfica B-B .....	154
Figura 62. Sección tomográfica C-C.....	156
Figura 63. Sección tomográfica D-D´ .....	157
Figura 64. Ubicación de los SEV s.....	159
Figura 65. Interpretación gráfica del SEV N°01 .....	161
Figura 66. Tomografía eléctrica del SEV N°01 .....	161
Figura 67. Interpretación gráfica del SEV N°02.....	163
Figura 68. Tomografía eléctrica del SEV N°01 .....	163
Figura 69. Proceso de perforación y ubicación de sondajes diamantinos .....	164
Figura 70. Logueo del sondaje de perforación diamantina en el Pozo 01 .....	165
Figura 71. Logueo del sondaje de perforación diamantina en el Pozo 02 .....	165
Figura 72. Logueo del sondaje de perforación diamantina en el Pozo 03 .....	166
Figura 73. Interpretación geológica de la sección tomografía A´-A´ .....	167
Figura 74. Interpretación geológica de la sección tomografía B´-B´ .....	168
Figura 75. Interpretación geológica de la sección tomografía C´-C´ .....	168
Figura 76. Interpretación geológica de la sección tomografía D´-D´ .....	169
Figura 77. Sección geológica en el que se observa las perforaciones y las clases de roca .....	169
Figura 78. Sección geotécnica en el que se observa las clases de roca .....	170
Figura 79. Ubicación de las canteras de piedras al sur de la laguna Aruri .....	172

Figura 80. Ubicación de las canteras de piedra suelta que se hallan en cercos que serán inundados.....	172
Figura 81. Cantera del puente Coporaque en el que se producen agregados para concreto .....	173

## **CAPITULO 1: INTRODUCCION**

En el siguiente presente trabajo de investigación: EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI – CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022, se ha desarrollado a nivel de Ingenierías los datos, valores y cálculos con el objetivo de evaluar las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos de las condiciones de dique y vaso de la presa con destinos agrícolas.

La zona de terrenos de la comunidad de Uchucarcco en donde se emplazará la presa Aruri se encuentra dentro de la zona altoandina donde se encuentran terrenos con altura por encima de 4400 msnm, se encuentra como basamento rocoso al batolito de Apurimac y formación Arcurquina que rodean la zona.

La investigación pretende en conocer la geología, geomorfología, geodinamica y los parámetros geotécnicos del suelo y roca sobre los que se emplazaran la presa Aruri y reonocer la estabilidad física de la zona de estudio, así como, calcular la capacidad admisible del suelo y de la roca de fundación de la presa. Donde se plantea el problema principal: ¿Cuáles son las condiciones geológicas en su contexto general (geomorfológicos, estructurales, litológicos, geodinámicos) y parámetros geotécnicos respectivos en el emplazamiento de la presa Aruri – Uchucarcco, Chumbivilcas, Cusco 2022?

Se plantea los siguientes objetivos: Determinar las condiciones geológicas de la laguna Aruri, determinar las condiciones geomorfológicas de la laguna Aruri, determinar las condiciones geodinámicas de la laguna Aruri y determinar los parámetros geotécnicos de la laguna Aruri. La investigación se desarrolló siguiendo un procedimiento en los tres etapas : La primera etapa se buscó y compendio la información y antecedentes existente del sector, en cuento a la segunda etapa se realizó trabajos de reconocimiento de sector y toma de muestras, en la tercera etapa se analizó e interpreto los resultados obtenidos en campo y laboratorio.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1.1 Descripción del problema**

La construcción de la presa Aruri, será necesario, para el represamiento de agua proveniente de lluvias, manantes cercanos a la zona, esta debe buscar solucionar el déficit de agua en la comunidad con destinos agrícolas, ayudando a abastecer de agua e incorporación al riego las nuevas tierras dentro del Valle; consigo esta traerá desarrollo económico a la zona donde producirá herbazal para el consumo de animales de manera permanente, la crianza de ganado para producción de carne y leche, por lo cual se plantea el problema de investigación.

Que, teniendo la necesidad de la ampliación de las áreas agropecuarias en la Jurisdicción de la comunidad de Uchucarrco, donde se plantea el diseño de la presa Aruri , se debe conocer los indicadores geotécnicos y geológicos que garanticen un diseño adecuado y cumplan con la reglamentación y normatividad vigente en el Perú así como recomendar las características de los materiales para el dique de presa, la profundidad de cimentación y parámetros de diseño se realiza el presente estudio geológico y geotécnico.

### **1.1.2 Formulación del problema**

Problema general

- ¿Cuáles son las condiciones geológicas en su contexto general (geomorfológicos, estructurales litológicos, geodinámicas) y parámetros geotécnicos respectivos en el emplazamiento de la presa Aruri - Uchucarcco, Chumbivilcas 2022?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son las condiciones geológicas de la laguna Aruri?
- ¿Cuáles son las condiciones geomorfológicas de la laguna Aruri?
- ¿Cuáles son las condiciones geodinámicas de la laguna Aruri?
- ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos de la laguna Aruri?

## **1.2 JUSTIFICACION**

El trabajo de investigación es de carácter ingenieril donde se analiza, calcula y evalúa las condiciones geológicas (geomorfológica. Estratigrafía. Litología , geodinámica) y parámetros geotécnicos para la construcción de la presa Aruri donde se estudia la capacidad portante o puesta a tierra (suelo y roca), las geoformas del relieve, las fallas, manantes, etc., para solucionar los escasos de agua en la producción agrícola, brindando agua para impulsar su desarrollo socioeconómico y sostenible de la zona.

El presente trabajo busca el mejoramiento agrícola de 6272,00 Ha, en el distrito de Uchurcacco mediante el consumo de un aforo regulado del agua que proviene de la laguna Aruri con su derivación de ríos, mediante la construcción de la presa Aruri se pretende almacenar y regular el consumo de agua para las zonas agrícolas.

## **1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Evaluar las condiciones geológicas en su contexto general (geomorfológicos, estructurales litológicos, geodinámicas) y parámetros geotécnicos respectivos en el emplazamiento de la presa Aruri - Uchucarcco, Chumbivilcas 2022.

### **1.3.2 Objetivo específicos**

- Determinar las condiciones geológicas de la laguna Aruri
- Determinar las condiciones geomorfológicas de la laguna Aruri
- Determinar las condiciones geodinámicas de la laguna Aruri
- Determinar los parámetros geotécnicos de la laguna Aruri

## **1.5 HIPOTESIS Y VARIABLES**

### **1.5.1 Hipótesis general**

- Evaluar las condiciones geológicas en su contexto general (geomorfológicos, estructurales litológicos, geodinámicas) y parámetros geotécnicos respectivos aportara significativamente en el emplazamiento de la presa Aruri - Uchucarcco, Chumbivilcas 2022.

### 1.5.2 Hipótesis específicos

- Las condiciones geológicas de la laguna Aruri, son adecuados para el emplazamiento de la presa.
- Las condiciones geomorfológicas de la laguna Aruri, son convenientes para el emplazamiento de la presa.
- Las condiciones geodinámicas de la laguna Aruri, son apropiadas para el emplazamiento de la presa.
- Los parámetros geotécnicos de la laguna Aruri, son adecuados para el emplazamiento de la presa.

### 1.5.3 Variables

- **Variable independiente**  
Geología y geotécnica
- **Variable dependiente**  
Emplazamiento de la presa

Tabla 1. Cuadro de matriz de operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIONES	DIMENSIONES
V1. Geología y geotécnica	D1: Estudios geológicos	I1: Topografía del terreno
		I2: Geología regional
		I3: Geología local
	D2: Estudios geomorfológicos	I1: Geomorfología regional
		I2: Geomorfología local
	D3: Estudios geodinámicos	I1: Geodinámica interna
I2: Geodinámica externa		
V2. Emplazamiento de la presa	D1: parámetros requeridos para su construcción	I1: Geotecnia de eje y vaso
		I2: Hidrogeología
		I3: Materiales disponibles (canteras)

## 1.6 METODOLOGIA Y DISEÑO DE INVESTIGACION

### 1.6.1 Tipo de investigación:

*Analítico, Descriptivo, Hipotético*

Según Aguirre & De la torre, (2019) esta investigación se encarga de estudiar de manera crítica la información; seleccionar hechos, sucesos, variables,

categorías que se observan o miden en la realidad con la intención de describir estos aspectos específicos y verificar la hipótesis.

### **1.6.2 Diseño de investigación:**

*No Experimental*

Hernández, (2014) define que es la investigación que se realiza sin manipulación deliberada de las variables.

### **1.6.3 Población de estudio:**

Nuestra Población de estudio abarca 70 hts, Las muestras serán tomadas a lo largo de 25 km del dique.

### **1.6.4 Selección de muestra:**

Para este estudio se toman 5 calicatas en suelos excavadas con retroexcavadora y 3 perforaciones diamantinas en rocas en la zona del dique.

### **1.6.4 Toma de muestra:**

Se extrae las muestras que conforma la población son de 10 kg en peso para los ensayos correspondientes en laboratorio.

## **1.7 INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTO DE TRABAJO**

### **1.7.1 Instrumentos de trabajo**

durante el trabajo se utilizarán los siguientes equipos e instrumentos:

- Wincha (flexómetro)
- Picota
- Brújula
- Estación total, con todos sus accesorios, para levantamiento de topografía
- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Equipos para ensayo de mecánica de suelos y rocas tales como: tamices estándar, balanza electrónica, instrumentos de medición de densidad de campo y otros formularios y registros.

## **1.7.2 Etapas de trabajo**

### **Etapa de pre-campo**

Se recolectará información previa de trabajos realizados anteriormente cerca de la zona de Uchucarcco, con la finalidad de conocer las características y aspectos que influyan en la construcción de la presa:

Luego se evaluará los aspectos geológicos y geotécnicos para las cimentaciones del eje de la presa Uchucarcco, área del vaso y otras obras. Así mismo se investigará e identificará las zonas de cantera cercanas a la presa.

### **Etapa de campo I**

Se contará con mapas base de topografía y geología en la visita, se identificarán las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos específicos de la zona de estudio para la construcción de la presa Aruri - Uchucarcco. Así mismo toda la información obtenida se registrará en el mapa base y cuaderno de campo.

### **Etapa de campo II**

Se realizará las pruebas in situ de sismicidad, prospección geofísica, prospecciones directas con perforaciones diamantina y excavación de calicatas, así mismos ensayos estándar para calcular los parámetros geotécnicos de la zona de construcción de la presa de Aruri - Uchucarcco.

### **Etapa de post-campo**

Se organizará y procesará la información obtenida en las anteriores etapas. Se evaluarán los parámetros geotécnicos resultantes del material de cimentación, área del vaso, cuerpo de la presa, túnel de desvío, aliviaderos, plinto, canal y otras obras.

### **Etapa de gabinete**

Se verificará la información obtenida para luego realizar el procesamiento y corrección de datos de campo. Luego se contrastará con la hipótesis y también se hallará resultados finales para la posterior elaboración del informe de la investigación.

### **Etapa final**

Los resultados obtenidos durante estudio se hará presentacion como base de la tesis.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1 ANTECEDENTES**

#### **2.1.1 Antecedente local**

La investigación denominada **“EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI – CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022”** constituye tesis de grado para obtener el título de ingeniero geólogo en la UNSAAC.

Dentro de la zona de estudio del proyecto se identificó la existencia tres presas construidas con fines agropecuarios y se busca que la comunidad de Uchucarcco se beneficie de esta agua para mejorar las áreas de cultivo de pastos para sus animales (cuyes, ganados, etc)

La formulación de los estudios de la municipalidad de Chamaca y la empresa minera HUGBAY han realizado un convenio, el mismo que ha permitido la ejecución de los estudios a través de la empresa Ordoñez e hijos SCRL.

La empresa adjudicada para la realización de los estudios estuvo a cargo de fue Ordoñez e Hijos Ingenieros S.C.R.L, quienes desarrollaron todos los estudios.

#### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Según Llanos, (2013) estudiaron las condiciones geologicas del area de embalse en la laguna de Cotachaca. La investigacion es de tipo analítico, descriptivo e hipotetico y tiene un diseño de investigacion no experimental. La poblacion de estudio comprende 5.77 km<sup>2</sup>. La muestra son 10 calicatas. El instrumento de investigacion fue las fichas de laboratorio y uso de la observacion. Se hallo que para un area de 8236.37 km<sup>2</sup> la precipitacion es de 701.44 mm en obteniendo asi un caudal de 46.43 m<sup>3</sup>/s. Concluyendo que los datos anteriores son considerables para la construccion de la represa de Cotachaca la cual pretente brindar de agua a la poblacion en tiempos de sequias.

Según Carlos, (2022) Estudio las características geológica – geotécnicas del lugar a evaluar para construcción de presa Ucuscancha I. En la investigación de trabajo es de tipo descriptiva, analítica y en cuanto diseño de investigación es no experimental transacción descriptivo. La población es el total de datos geológicos y geotécnicos tomadas de la roca y el suelo de la zona del proyecto. La muestra de 17 calicatas en el área de presa, 07 en el eje de presa, 10 en el área del vaso, 26 calicatas en estructuras complementarias ( 04 en bocatomas, 05 en tramo alto del lado derecha del canal, 02 en el partidor, 01 en sifón, 04 en tramo bajo del lado derecha del canal, 04 en el lado izquierda y 06 en canal de Hualahoyo), 5 perforaciones diamantinas y estudios de materiales del talud con 03 calicatas realizando ensayos de cono de arena. El instrumento de investigación son fichas de laboratorio. Se halló que la permeabilidad en el campo está entre  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  cm/s). Se concluye que los datos obtenidos brindan la información necesaria para la construcción de la presa de Ucuscancha I.

### **2.1.3 Antecedente internacional**

Según Ibadango & Pico, (2015) estudio la geología, geotecnia y geofísica de la presa Bufay. La siguiente investigación es de tipo descriptiva, analítica y el diseño de investigación es no experimentado. La población la comprende la zona de estudio de 20 km<sup>2</sup>. La muestra son el total de datos obtenidos en campo con 13 calicatas. El instrumento de investigación son las fichas laboratorio. Se halló que la permeabilidad es de un rango de  $10^{-7}$  a  $10^{-10}$  m/s y que el material es limo y arcilla. Concluyendo que los datos obtenidos son los recomendable para realizar dicha obra, que beneficiara a los pobladores del Bufay.

## **2.2 BASES TEORICAS**

### **2.1.1 Geología**

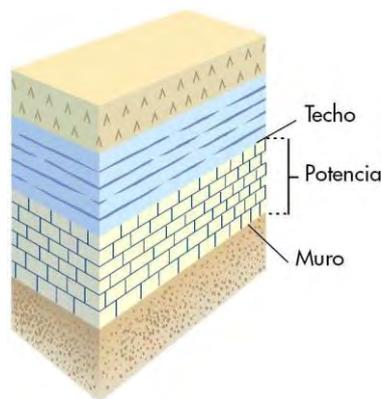
Mantilla, (2015) indica que la geología es una disciplina que se encarga de estudiar la tierra, los fenómenos que ocurrieron en el tiempo pasado y ocurren durante el presente, su composición y estructura, su evolución y su relación con el universo, así como se evidencia la evolución de la vida en las rocas.

Así mismo el estudio geológico se realiza en diferentes escalas siendo las más importantes: la escala regional y local.

**Geología regional:** Es una de las ramas de la geología que se encarga de estudiar las diferentes configuraciones geológicas de cada continente, regiones y países dentro de la tierra.

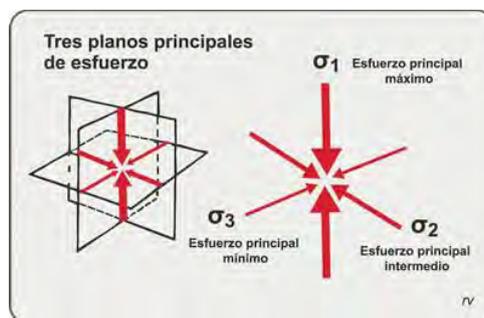
**Geología local:** se refiere básicamente a un sitio en particular y en cuanto también a la estructura es la distribución de todo los materiales afectados por el gran tectonismo de la tierra.

**Unidad litológica:** Es un material rocoso que posee las propiedades y características de composición química y mineralógica similares, esta se limita por otras unidades tanto en las parte inferior e superior y posee también rasgos que determinan su edad.



*Figura 1. Unidades litológicas*

**Estructuras geológicas:** Según Mantilla, (2015) las deformaciones dependen de factores como intensidad de esfuerzo, de presión, temperatura, composición de la roca y del tiempo de formación.



*Figura 2. Estructura geológica*

**Fracturas:** Las fracturas son el resultado de los esfuerzos que son tensionales, compresionales y de aplastamiento. Sobrepasando los límites de resistencia donde la roca deja de ser una sustancia plástica; estos límites varían de acuerdo al tipo de roca en algunos aparece y en otras no.

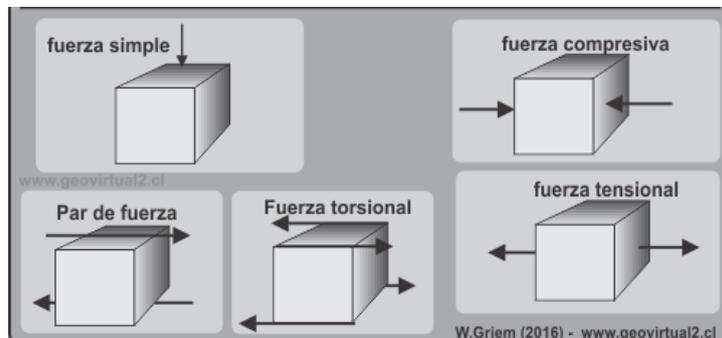


Figura 3. Dirección de fuerzas

**Diaclasas:** Son estructuras que presenta grietas o aberturas en la roca, sin presentar un desplazamiento entre los bloques rocosos. Se divide en 4 tipos las cuales son: no sistemáticas, sistemáticas, ortogonales y conjugadas.

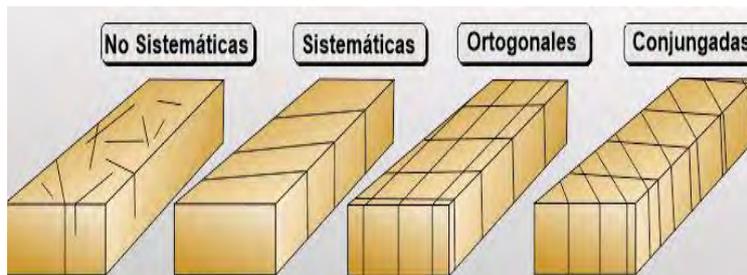


Figura 4. Tipos de diaclasas

**Fallas:** Es un material en que se produce una fractura y a la vez existe desplazamiento de dos bloques que son separados por la fractura. Se dividen en 4 tipos: fallas normales, horizontales, inversa y mixtas.

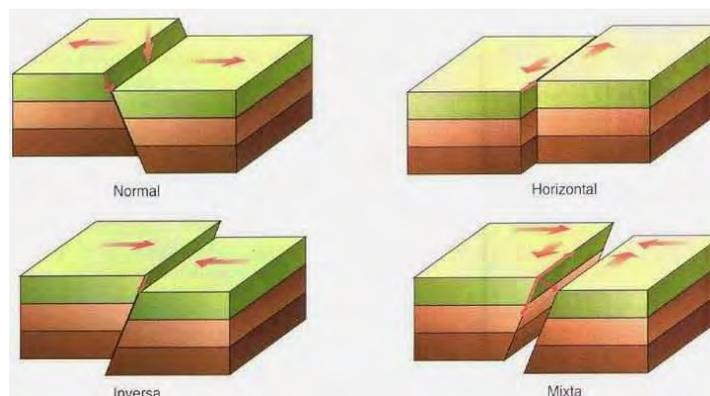


Figura 5. Tipos de fallas

### 2.1.2 Geomorfología

Según Muñoz, (1995) la geomorfología es una la disciplina científica que estudia el reconocimiento, clasificación y todas las explicaciones de las diferentes configuraciones que presenta la superficie externa de la litosfera de la tierra.

**Formas de relieve estructurales:** Estas formar del relieve dependen de los agentes externos las cuales modelan y otras cuyos caracteres reflejan los factores internos como la naturaleza, forma del yacimiento y disposición tectónica del raqueado recibiendo el nombre de forma estructural.

**Cerros:** Corresponde a elevaciones naturales del terreno con menor altura que las montañas, compuestas por rocas y suelos controladas por los esfuerzos presentando diferentes direcciones.

**Valles glaciarios:** Es un valle por donde se evidencia que ha circulado un glaciar con dimensiones considerables y que deja una geomorfología de glaciario. Estos glaciares a medida que se desplazan por gravedad van provocando desgaste del relieve donde deja superficies lisas.

**Circo glaciar:** El circo glaciar es una depresión en forma semicircular de originada por la erosión glaciar en paredes escarpadas y fondo cóncavo en el nacimiento de valles.

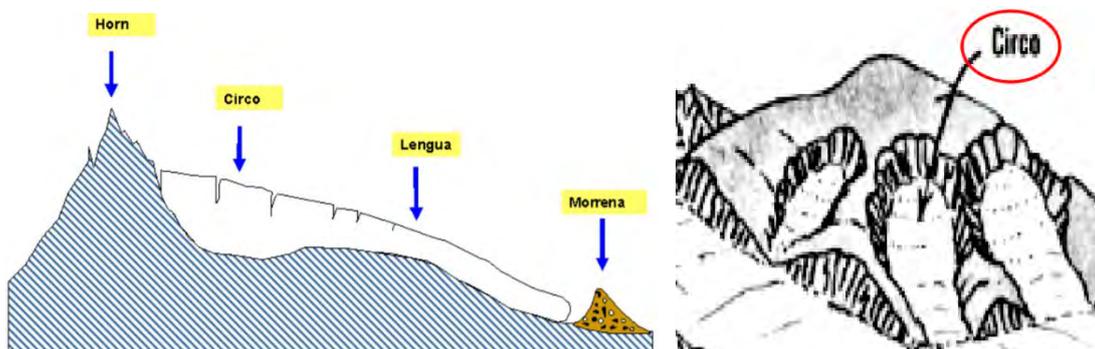


Figura 6. Circo glaciar

**Quebradas:** Son geformas hondonadas profundas con paredes empinadas y abruptas originadas por las aguas permanentes en el transcurso del tiempo o por acciones tectónicas.

**Colinas:** Se trata de relieves estables que representan efectos erosivos menores. En mayor medida se trata de altas montañas, en menor medida fondos de valle, formados a poca profundidad por suelo y roca.

**Lagunillas y humedales:** Los humedales se encuentran en los alrededores de las lagunillas, como resultado de cambios de coeficientes de permeabilidad que mediante pequeños manantes que fluyen de acuíferos que lo constituyen los macizos rocosos fracturados del área.

**Morrenas:** Son materiales como piedra, arena, barro y otros que un glaciar erosiona para luego transportarla y posteriormente acumularlo.

### **2.1.3 Geofísica**

#### **Prospección geofísica**

En síntesis, que, “la Geofísica es una ciencia natural que utiliza los postulados fundamentales de la Física para investigar el comportamiento de algunos componentes de nuestro planeta como el campo magnético, la densidad de las rocas, su capacidad para conducir la corriente eléctrica y las ondas sísmicas, el movimiento de los continentes y los fondos marinos, etc”. .(Auge, 2008)

#### **Métodos geo eléctricos de prospección**

En este capítulo será necesario tener conocimiento de hidrogeología donde se consideran aspectos para inferir en las condiciones del subsuelo, teniendo en cuenta esto se presentan los tipos de prospección.

#### **Método resistivo**

Este método que consiste en una corriente que pasa a través de las rocas, la ley de Ohm indica que se presentan caídas de potencial  $V$  entre 2 puntos por los que se transporta la corriente de intensidad  $I$ , así mismo  $R$  es la resistencia que el medio de transporte ofrece a la corriente eléctrica.

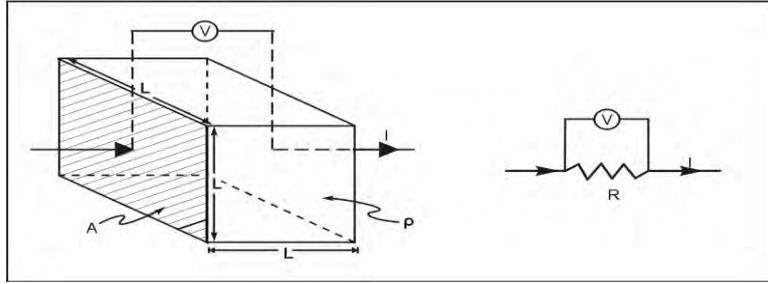


Figura 7. Ley de OHM

Figura 7. Ley de OHM

$$\Delta V = I \cdot R$$

(Ec. 2.1)

La resistencia de un material que se asimila a un cilindro de longitud L y presenta un área S depende de su composición y la forma.

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

(Ec. 2.2)

Donde  $\rho$  es la naturaleza del conductor y se le denomina resistividad.

En el ámbito de la prospección geo eléctrica, se le denomina resistividad de las rocas o sedimentos.

Si se Reemplaza R de la Ec. 2.1 por su equivalente de la Ec. 2.2 si tiene que:

$$\Delta V = I \cdot \frac{\rho \cdot L}{S}$$

(Ec. 2.3)

Sabemos que la resistividad se define como una propiedad inversa a la conductividad eléctrica y por general se expresa en ohm por metro ( $\Omega \cdot m$ ).

La resistividad que la mayoría de las rocas y sedimentos secos es elevada, por que como actúan como semiconductores, o conductores de baja capacidad. En lo cual el comportamiento cambia significativamente cuando las fisuras o los poros están ocupados por agua, lo que genera una disminución de la resistividad, o lo que es lo mismo en aumento en la

capacidad de conducción de la corriente eléctrica. Además del grado de saturación también incide en la resistividad del medio, el contenido salino del agua; a mayor salinidad, menor resistividad y viceversa. Los contrastes en las resistividades son los que permiten aplicar exitosamente los métodos de prospección geo eléctrica mediante la inyección de corrientes continuas (Sarmiento-valdés, 2019).

Son pocos que los componentes geológicos subsaturados o secos, que presentan baja resistividad o alta conductividad entre los que pueden mencionarse a minerales metálicos como calcopirita, pirita, magnetita, galena, pirrotina, etc.

La Ec. 2.4, muestra el principio fundamental de la medida de resistividad del suelo. Este consiste en inyectar una corriente continua entre el par de electrodos AB midiéndose la tensión entre el par de electrodos MN. Para un medio homogéneo de resistividad, la diferencia de potencial es (Orellana, 1982):

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right)$$

(Ec. 2.4)

Donde AM, AN, BM, BN son las distancias entre electrodos. La resistividad viene dada por la expresión:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I}$$

(Ec. 2.5)

Donde

$$k = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

(Ec. 2.6)

Se presenta el factor geométrico que se relaciona principalmente de acuerdo al arreglo de electrodos.

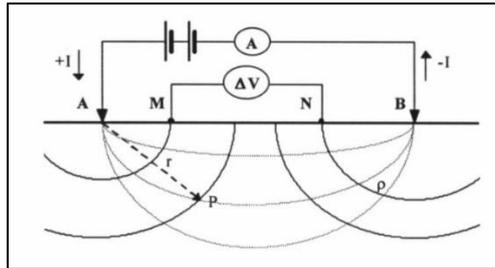


Figura 8. Instrumento para medir la resistividad que presenta un suelo

MATERIAL	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	> 10000
Basamento. Roca fracturada	1500 - 5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100 - 2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1 - 100
Gruss no saturado	500 - 1000
Gruss saturado	40 - 60
Saprolito no saturado	200 - 500
Saprolito saturado	40 - 100
Gravas no saturadas	500 - 2000
Gravas saturadas	300 - 500
Arenas no saturadas	400 - 700
Arenas saturadas	100 - 200
Limos no saturados	100 - 200
Limos saturados	20 - 100
Limos saturados con agua salada	5 - 15
Arcillas no saturadas	20 - 40
Arcillas saturadas	5 - 20
Arcillas saturadas con agua salada	1 - 10
Andosoles secos	1000 - 2000
Andosoles no saturados	300 - 2000
Andosoles saturados	100 - 300

TIPO DE ROCA	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )
Caliza compactada	> 1000
Caliza fracturada	300 - 1000
Caliza blanda (Sahcab)	100 - 300
Caliza saturada con agua dulce	20 - 100
Caliza saturada con agua salobre	10 - 20
Caliza saturada con agua salada	< 10
Agua dulce	1 - 20
Agua salada	< 1

AGUA O ROCAS	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )
Agua de mar	0.2
Agua de acuíferos aluviales	10 - 30
Agua de fuentes	50 - 100
Arenas y gravas secas	1000 - 10000
Arenas y gravas con agua dulce	50 - 500
Arenas y gravas con agua salada	0.5 - 5
Arcillas	2 - 20
Margas	20 - 100
Calizas	300 - 10000
Areniscas arcillosas	50 - 300
Areniscas cuarcitas	300 - 10000
Cineritas, tobas volcánicas	20 - 100
Lavas	300 - 10000
Esquistos grafitosos	0.5 - 5
Esquistos arcillosos o alterados	100 - 300
Esquistos sanos	300 - 3000
Gneis, granito alterado	100 - 1000
Gneis, granito sanos	1000 - 10000

Figura 9. Resistividad de suelo, roca y agua

En la Ilustración se observa las resistividades que presentan los minerales, rocas y sedimentos, también se ve diferencias grandes entre basamentos rocosos (macizos rocosos) y suelos cuaternarios (gravas, arenas y finos).

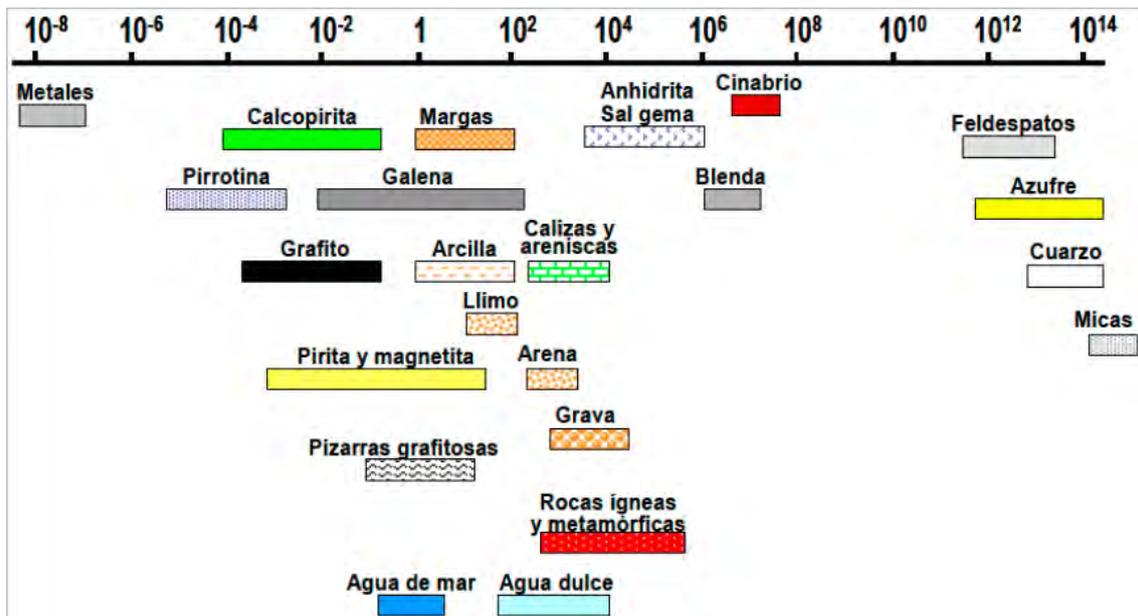


Figura 10. Márgenes de variación de rocas, minerales y químicos.

### Tomografía eléctrica

El estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) (2D), comúnmente encontrado en la bibliografía como ERT, abreviación de Electrical Resistivity Tomography o “Electrical Imaging” Dahlin, (2001), es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente.

Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada, donde se inyecta una corriente eléctrica y mediante un dispositivo receptor se observa la respuesta del subsuelo, siendo el resultado, datos de resistividades aparentes.

La tomografía geo eléctrica se considera como el resultado de la unión de los métodos de SEV (sondeo eléctrico vertical) y el de calicata eléctrica, este obtiene mediciones de manera verticales y horizontales a lo largo del área de estudio, para generar así un modelo de distribución del subsuelo. En relación a este método de estudio es el que más se prioriza, debido a que el proceso es más eficaz y tecnológico que se puede realizar una alta eficiencia con alta resolución en obtener resultados en gráficos 2D y 3D.

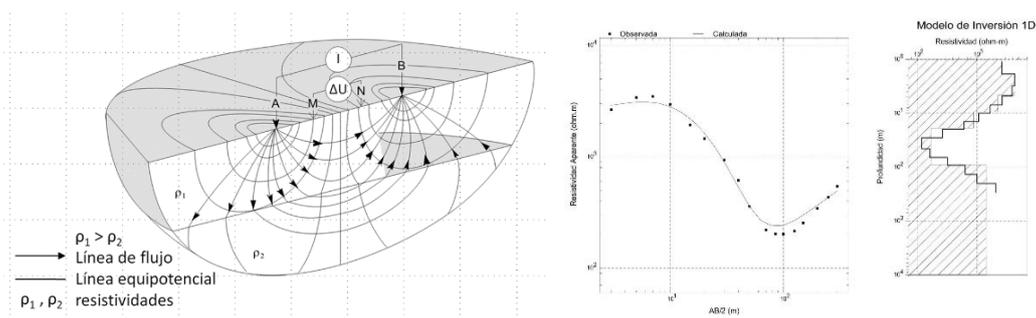
Se caracteriza por ser una técnica de resistividad multielectrónica, cuyo arreglo geométrico varía dependiendo del objetivo de estudio.

Con las mediciones adquiridas se construye una sección en dos dimensiones (2D) que muestra una primera aproximación de los cambios en el subsuelo. Posteriormente, se aplica un algoritmo de inversión para obtener la distribución real de resistividades o imagen eléctrica. Imagen que será un resultado interpretable desde un punto de vista físico y geológico, y que dará información sobre las características físicas del subsuelo.

Este método geofísico fue desarrollado para la investigación de áreas de geología compleja Griffiths & Barker, (1993). Su aplicación es diversa, como en la exploración de recursos naturales y actualmente en numerosas aplicaciones ambientales, hidrogeológicas, arqueológicas y geotécnicas.

### Sondaje eléctrico vertical

El Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), Este es un método eléctrico muy utilizado en la investigación geofísica, mediante la aplicación de una corriente eléctrica al suelo, obteniendo la distribución de resistividad aparente y conductividad eléctrica de rocas y suelos, que se puede medir la diferencia de potencial obtenida utilizando un quad-electrodo de matriz. (total utilizando 4 electrodos) es posible obtener el valor de resistividad aparente del material formador del suelo a una cierta profundidad. De esta manera los suelos gruesos o rocosos tienen una resistividad alta, mientras y tanto que los suelos arcillosos o con presencia de alta humedad y sales, esto presentan anomalías de baja resistividad.



*Figura 11. Distribución de electrodos, líneas de flujo eléctrico en el SEV y interpretación de resistividades*

### Principales Aplicaciones

El sondaje eléctrico vertical es utilizado en la investigación de la estratificación Geoeléctrica del subsuelo con ventajas en profundidad de

prospección respecto a la tomografía eléctrica, algunos de ellos se indican a continuación:

- Estudio de acuíferos: profundidad, espesor, propiedades (salinidad).
- Exploración de rocas sedimentarias con composición arcilla-grava y por tanto mayor permeabilidad y resistividad.
- Rastreo de potencias de materiales aluviales, si verificar si hay presencia de espesores inferiores de grano de menor tamaño.
- Rastreo del lecho rocoso.

### Funcionamiento

En el suelo se mide la magnitud (V) del campo eléctrico generado en el suelo por la corriente aplicada (resistividad aparente). Según el estudio, también se puede medir la diferencia de fase del campo eléctrico (efecto IP).

El método SEV es uni-dimensional, por el cual se realizó un modelo del terreno asumiendo la estratificación horizontal de este con la resistividad.

Se usan dipolos de electrodos para introducir corriente y así medir el voltaje según arreglos geométricos para el objetivo. Se tienen dos configuraciones usuales de electrodos las cuales son de Schlumberger y Wenner.

En el campo la aplicación es distribución de electrodos en un orden establecido al cual llamamos dispositivo electrodo. Para la configuración de Schlumberger consiste en arreglar cuatro electrodos de forma La distancia entre los electrodos (potencial), que es simétrica al centro de la sonda, tiene la siguiente dependencia de los electrodos de corriente ( $AB/5 > MN > AB/20$ ).

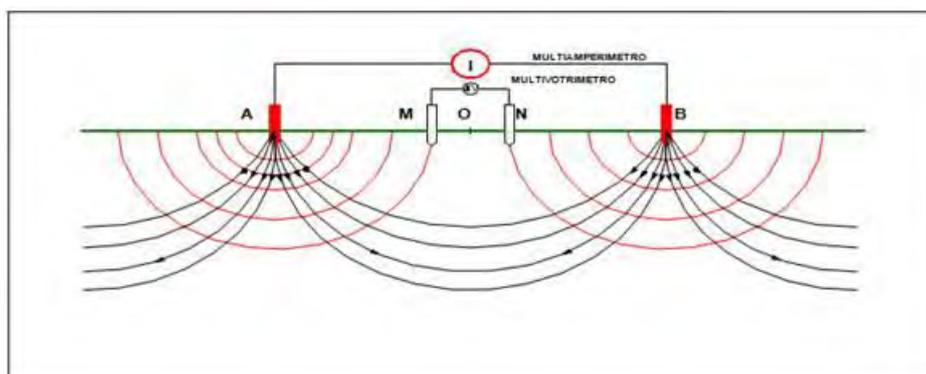


Figura 12. Arreglo en el modo de la técnica Schlumberger

## **2.1.4 Geodinámica**

### **Procesos de Geodinámica Interna**

Según Bazán, (2013), la Cordillera de los Andes es una mega morfoestructura que se extiende paralela al borde Oeste de la placa Sudamericana con una extensión de 7000 km. y con alturas de hasta 6000 msnm. En el Perú, la Cordillera de los Andes se presenta bien definida, con una orientación NW-SE; sin embargo, es notoria la presencia de dos deflexiones importantes, coincidentes con los cerros de Illescas en el norte y península de Paracas en el sur, a la altura de 6° Sur, la deflexión de Huancabamba cambia la orientación de la cordillera a NE-SW y a los 14° Sur, la deflexión de Abancay cambia la orientación de la cordillera a WNW - ESE.

Es necesario suponer que no existe sólo una compresión, a menos que las mencionadas deflexiones se hayan formado antes de la Cordillera de los Andes y ésta sólo se adaptó a las estructuras preformadas. Si observamos estructuras más locales, por ejemplo, si realizamos un cartografiado geológico en un área de la región de Chumbivilcas encontramos un conjunto de pliegues de rocas cretácicas que se orientan con rumbo Andino, cortados por fallas con el mismo rumbo, suponemos que estas estructuras se formaron por los mismos esfuerzos y al mismo tiempo que se iba formando la Cordillera de los Andes.

Su formación puede explicarse por diferentes litologías y diferentes respuestas a las fuerzas que crean las zonas de cizalla, pero según Woodcok & Schubert, (1994) las fallas de rumbo son, por lo general, de alto ángulo y la estratificación de bajo ángulo, por lo que las anisotropías de la roca son menos condicionantes de la estructura. Por lo que es necesario considerar una componente de cizalla o una cupla de esfuerzos.

### **Marco sismotectónico**

El marco sismo-tectónico del área de proyecto está dominado por la subducción de la placa oceánica de Nazca debajo de la placa Sudamericana. La zona de subducción se origina a cierta distancia de la costa en la fosa Perú - Chile y la placa de subducción Nazca se extiende hacia el este, debajo

del borde occidental de la placa Sudamericana. La subducción debajo del borde continental ha venido produciéndose durante, por lo menos, 100 millones de años, y el acortamiento cortical y adición magmática del volcanismo de arco que se producen simultáneamente en el interior de la placa emergente han dado como resultado una corteza continental gruesa y la formación de la Cordillera de los Andes Jordan, (1983).

### Eventos de subducción

Para la caracterización de fuentes sísmicas se estimaron las magnitudes utilizando datos históricos, poniendo enfoque en el centro y sur del Perú. En este análisis se consideró eventos históricos significativos que se muestra enumerados en la tabla a continuación.

*Tabla 2. Los terremotos y sismos que ocurrieron en el sur de Perú.*

Año	M(1)	Estilo	Profundidad (km) (2)	Longitud de Ruptura Mínima (km)(3)	Referencias
<b>Sismos de Interfase en la Zona de Subducción</b>					
<b>Segmento Central</b>					
1586	8.1-8.5	Inverso (Thrust)	60	175	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1664	7.5-7.8	Inverso (Thrust)	15	75	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1678	7.7-8.0	Inverso (Thrust)	40	100-150	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1687	8.4-9.0	Inverso (Thrust)	30	300	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; NGDC; Silgado 1985
1746	8.6-8.8	Inverso (Thrust)	30	350	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1986
1940	8.1-8.2	Inverso (Thrust)	60	180	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1942	8.2	Inverso (Thrust)	60	200	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1966	8.1	Inverso (Thrust)	38	100	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1974	8.1	Inverso (Thrust)	Set-22	140	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977; Langer y Spence 1995
1996	7.7-7.9	Inverso (Thrust)	33	<200	Chatelein <i>et al.</i> 1997
<b>Sismos de Intraplaca en la Zona de Subducción</b>					
1970	7.8-8.0	Normal	43-64	130	Abe 1972; Kanamori 1977; Lomnitz 1971; Silgado 1985
1994	8.2	Inverso (Reverse)	631	90	C. Jimenez 2014

(<sup>1</sup>) Los estimados de magnitud derivan de diversas escalas de magnitud que incluyen la magnitud de onda superficial (*M<sub>s</sub>*) y la magnitud de momento (*M<sub>w</sub>*). En algunos casos, la *M<sub>w</sub>* fue estimada a partir de la liberación del momento sísmico al comparar las alturas del recorrido del tsunami (Beck y Nishenko, 1990).

*(<sup>2</sup>) Profundidades focales estimadas a partir de la base de datos de sismicidad histórica del Centro Geodésico. En lugar de utilizar datos de solución de planos de falla, se empleó profundidades focales para inferir los mecanismos de fuentes de sismos históricos que se produjeron previamente a los inicios del Siglo XX cuando se recopiló datos instrumentales de sismicidad en primer lugar.*

*(<sup>3</sup>) Longitud de ruptura mínima basada en la intensidad de las vibraciones documentadas para sismos históricos (Dorbath et al. 1990). Los estimados de la longitud de ruptura para los eventos de interfase e intraplaca se basaron en el momento sísmico.*

### **Sismicidad de interface – Segmento central – Sur**

Se debe indicar que existen seis grandes sismos (Mw 7.7 - 8.2) cuyo origen se presenta en el segmento central entre los años 1940 y 1966. Los sismos, se presentaron en un tiempo de 14 años aprox., anteriormente tenían una inactividad sísmica de 200 años. Luego se presentaron 14 sismos (Mw 7.5 - 9.0+) originadas entre los años 1550 y 1750 con un intervalo 14 años para su ocurrencia. Las posteriores series de sismos más tempranas incluyen sismos del año 1687 (Mw 8.4 - 9.0) y 1746 (Mw 8.6 - 8.8), que fueron los más grandes eventos ocurridos y registrados del segmento central Dorbath, (1990). Este intervalo irregular de recurrencia sugiere que la recurrencia de grandes y amplios sismos de interfase en el segmento central puede agruparse en el tiempo. Por ejemplo, el intervalo entre grandes sismos históricos es de alrededor de 60 años (1687 a 1746), pero 260 años han pasado desde el evento de 1746, el evento más grande registrado. El evento más reciente que ha ocurrido en este segmento fue el del 15 de agosto de 2007 con Mw 7.9.

### **Sismicidad y sus causas en el Sur**

La presencia de eventos sísmicos en el Perú permitió identificar y conocer las características de dos altas fuentes de alto potencial sísmico, el primero se localiza frente de la línea de toda costa y ocurrió cuando se convergían la placa Nazca (oceánica) con la Sudamericana (continental) donde la primera placa se introdujo por la parte inferior de la segunda produciendo la subducción por ser más densa

La cual indica que los departamentos entre Tacna y Tumbes serán afectados por sismo de origen de subducción. Donde se presentaron sismos en los años 1619, 1746, 1868, 1940, 1942, 1966, 1970, 1974, 1996 los cuales produjeron gran daño y destrucción de las viviendas, así como muertes en lo largo de la costa de Perú

La subducción es causante de estos sismos ya que al ocurrir este proceso se descarga el 80% de energía que se acumula en el interior del planeta. También se encuentra la segunda fuente de la génesis sísmica la cual se correlaciona con los importantes sistemas de fallas encontradas en el interior del continente, teniendo así las fallas de la Cordillera Blanca, Huaytapallana, Quiches, Rioja, Moyobamba, Satipo, Tambomachay y Ayacucho como las principales. La localización de estas fallas nos ayuda a identificar los sectores con mayor probabilidad de que ocurra sismos.

La zona de estudio específicamente no ha tenido eventos importantes de sismicidad, probablemente por la presencia del batolito de Apurímac, que al igual que el batolito de Machupicchu, aun estando próximo a sismos con intensidades mayores a V ocurridos en el Cusco, no han sido sentidos en la zona de Machupicchu, por tanto, se considera que este mismo efecto se replica en la zona del Batolito de Apurímac en el que se halla el Proyecto Aruri.

### **Eventos de corteza**

Según el Mapa Neo tectónico del Perú INGEMMET, (2008 - 2018) en las proximidades del sector de estudio no se ha evidenciado fallas geológicas cuaternarias, ni se ha evidenciado en campo estructuras que puedan ser incluidos como estructuras de importancia regional para que se le se le haya asignado un análisis de recurrencia, por lo que la evaluación se realiza en estos casos, con fallas geológicas de las proximidades a 500km que se reportan en la literatura existente.

En base a los sismos ocurridos se contempla que el sector del proyecto está ligeramente alejado de los sismos superficiales, intermedios y profundos.

### **Mapa de aceleraciones sísmicas**

Los parámetros de aceleración sísmica para la demarcación del Proyecto en el mapa de la Pontificia Universidad Católica del Perú corresponden a valores entre 0.28g a 0.30g, mientras que en el mapa del Instituto geofísico del Perú se halla entre 0.20 a 0.22, por tanto, será prudente considerar un valor intermedio, es decir, utilizar para el proyecto 0.26g.

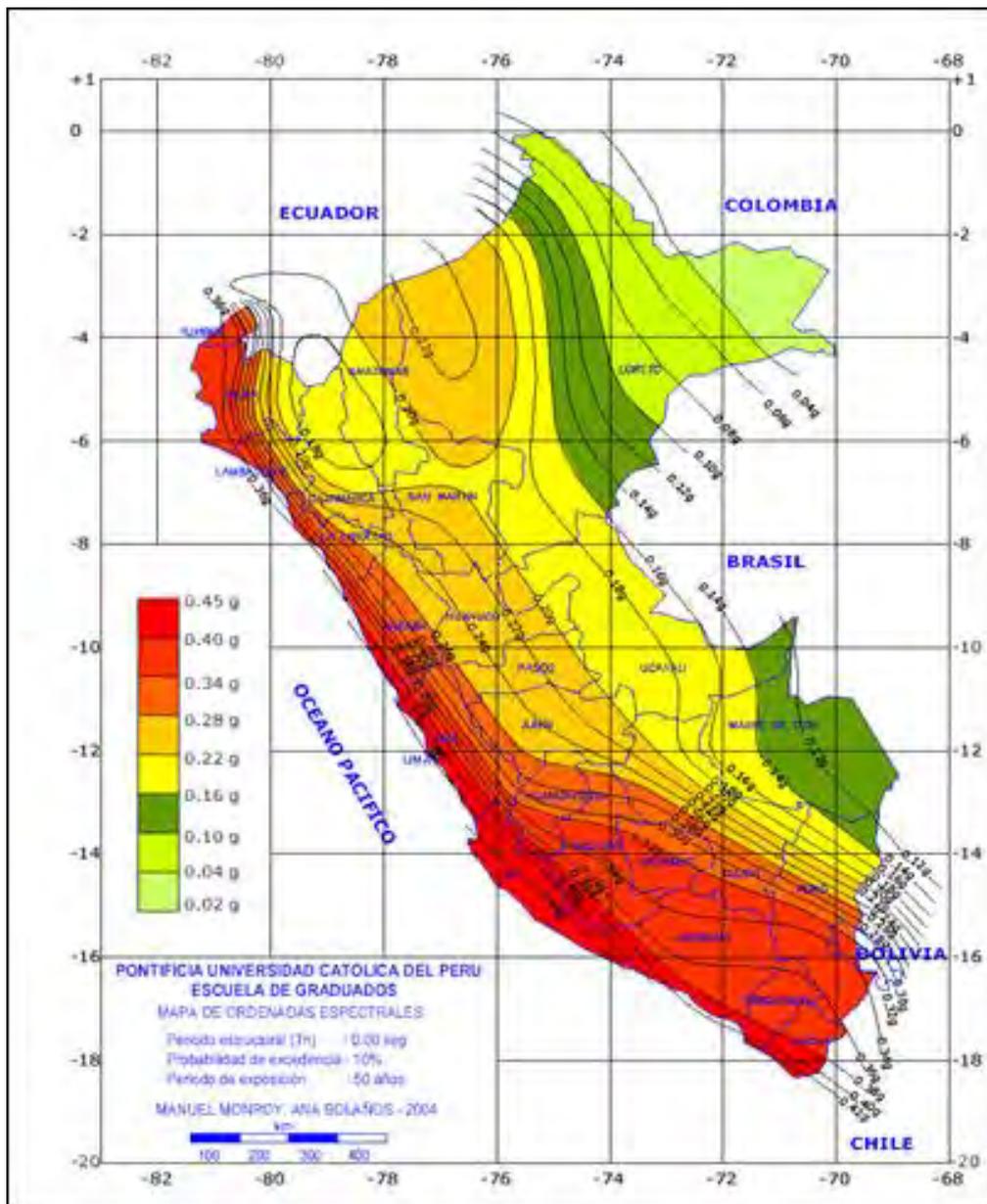


Figura 13. Mapa de ordenadas espectrales según la PUCP

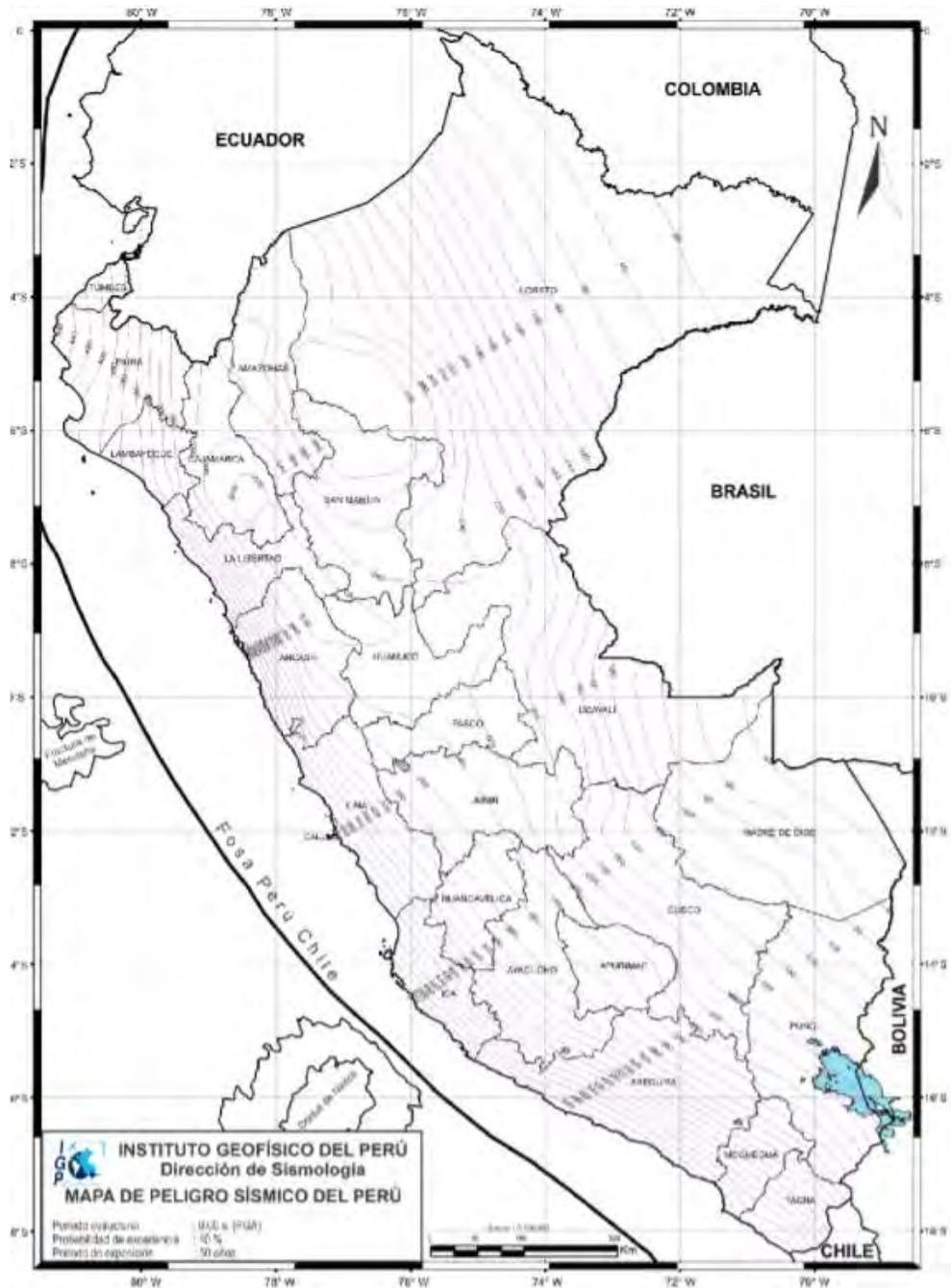


Figura 14. Mapa de ordenadas espectrales según el IGP

### Tectonismo

En la demarcación de estudio está relacionada a la deflexión de Abancay, asociada directamente a la subducción de la placa de Nazca en la placa Sudamericana iniciada en el Permo- triásico, con una aceleración de la convergencia de placas en la fase Incaica, respecto a lo cual, Tassara, (2013) indica que causó la deformación de los depósitos, todo ello como respuesta del aumento de la velocidad de convergencia ( $>15$  cm/año) entre la placa

Nazca y Sudamericana (Pardo, Casas y Moldar, 1987; Cole, 1990 en Camus, 2003).

### **Geodinámica externa**

Respecto a la geodinámica externa que precisa describir las características que presenta el suelo y la actividad en masa (deslizamientos, caídas, flujos, avalanchas huaycos, etc.), que existen en determinada área. Luego de la revisión histórica del desarrollo de la geodinámica, en el área de estudio se ha establecido que estos son escasos y de manera incipiente este tipo de procesos, sin embargo, se describe la tipología de procesos que tienen alguna presencia incipiente.

### **Pie de talud**

El pie se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera por lo general es cóncava.

### **Deslizamientos**

Se define a los movimientos que se producen al alterarse la resistencia al corte del material y esto tienen lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de una franja relativamente estrecha del material. Por general las superficies de deslizamiento son notables o pueden deducirse a criterio. El movimiento de masa puede ser progresivo o de manera súbita, dependiendo de los factores condicionantes que las afecten. Estos procesos son incipientes y muy pequeños que no representan peligros, y no afectan ninguna infraestructura importante.

### **Derrumbes**

Es uno de los fenómenos naturales donde la masa de la tierra se desplaza, porque ha perdido su estabilidad o equilibrio en sectores montañosos. En otras palabras, es el movimiento descendente de los suelos, rocas y materiales orgánicos bajo el efecto de la gravedad. Cuando una masa de tierra, roca y escombros se desprende y baja por la pendiente (inclinación natural del suelo) o talud hasta localizar un sitio estable. Está limitada a pequeñas caídas de rocas en un tramo de la carretera de acceso a la zona de presa, que no representa peligro a la infraestructura hidráulica en proyecto.

## 2.1.4. Presas

### Generalidades

Según CIGB, (2007) Una presa es una estructura construida la cual corta un curso de agua con el objetivo de contener y controlar el aforo de agua. Las presas varían de tamaño y necesidad de la población, pudiendo ser de tierra o estructuras de hormigón las cuales cumplen la función de almacenar y distribuir el agua.

### Partes de una presa

**El embalse:** es el contenido de depósito de agua, que se almacena de los ríos.

**El vaso:** es el sector del valle donde se almacena agua, diseñada para prevenir inundaciones y almacenar el vital líquido.

**La boquilla:** es el sector escogido para fundar la cortina

**La cortina:** es la estructura que se ubica para garantizar la estabilidad de la presa, impidiendo las filtraciones de agua y soporta el empuje hidrostático del agua.

**Los paramentos** (caras o taludes): son superficies semi verticales que se encuentran en el interior de la presa limitando el agua.

**La coronación:** es la parte de la presa que la delimita superiormente.

**Los estribos:** son partes laterales en las que se apoya la boquilla de la presa.

**El aliviadero:** es aquella estructura por la cual fluye el agua excedente del embalse.

**La cimentación:** Esta estructura es la encargada de transmitir la carga por el peso de la presa y la carga por la presión del agua que actúa sobre el terreno.

**Las compuertas:** son equipos hidromecánicos que permitan la regulación del aforo del agua que se desembalsa.

**El desagüe de fondo:** son conductos que permiten vaciar la presa ya sea por prevención de avenidas y/o cumplir con el caudal ecológico.

## **2.1.5 Geotecnia**

### **Mecánica de rocas**

Esencialmente este intrusivo de Andahuaylas \_Yauri puede ser clasificado por su composición de granodiorita y tonalita, con contener esta composición mayormente, a la vez hay zonas donde se presentan cambios graduales hacia un incremento de acidez o basicidad repectivamente. Macroscópicamente estas rocas presentan una composición leucócratas y con gran presencia de minerales máficos en ciertas partes, las cuales tienen las características de ser oscuras. Asi encontramos que en algunas zonas existe presencia de las enclavas dioríticas con muy variables tamaños alcanza un tamaño de hasta un metro. La mayor composición de las facies más grandes se clasifico como granodiorita leucócrata, de presencia de grano grueso y los minerales identificados son plagioclasas, cuarzo, ortosa, hornblenda y biotita en orden de abundancia. También se aprecia magnetita y por alteración epídota y clorita. Estas presentan una texturas faneríticas isotrópicas.

### **Roca intacta**

En el tema de mecánica de rocas se ha hablado en muchas ocasiones de ROCA o ROCA INTACTA para referirse a un elemento (trozo, bloque, probeta) de roca que no muestra discontinuidades observables. Ramírez & Alejano, (2004)

### **Macizo rocoso**

Es el entorno in-situ que contempla diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, pliegues, estratos, fallas y otros rasgos estructurales” (Conociendo a la roca) “Se define como Macizo rocoso como la forma en la que se presenta las rocas en el medio natural. Por lo tanto, un macizo rocoso estará definido por la roca y la estructura”. Ramírez & Alejano, (2004)

### **Clasificación geomecánica**

a. Clasificación de Bieniawski - RMR (Rock Mass Rating)

Esta clasificación ha sido y es utilizada con buenos resultados en el diseño de túneles y estabilidad de taludes, por lo mismo que se describe los detalles de la metodología utilizada previo el cuadro general.

Tabla 3. Clasificación geomecánica de Bieniawski, (1989)

Tabla 3.12 Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

A. Parámetros de clasificación con sus valores							
Parámetros		Rango de Valores					
1	Resistencia de la roca intacta	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión uniaxial	
	Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa 1 - 5 MPa < 1 MPa	
Puntaje		15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
	Puntaje	20	17	13	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Puntaje	20	15	10	8	5	
4	Condición de las discontinuidades (ver E)	Superficies muy rugosas, sin separación, paredes de roca sin alteración	Superficies rugosas, sin separación < 1 mm. Paredes de roca ligeramente meteorizadas	Superficies ligeramente rugosas, con separación < 1 mm. Paredes de roca meteorizadas.	Superficies pulidas o ranuras < 5 mm de separación o separación 1-5 mm. Continuas	Relleno blando < 5 mm de espesor. Separación > 5 mm. Continuas.	
	Puntaje	30	25	20	10	0	
5	Área Subterránea	Flujo por cada 10 m de longitud del túnel (litros)	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
	Presión de agua en la cara (Tensión principal mayor etc.)	Condiciones Generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Gotoso	Flujo
Puntaje		15	10	7	4	0	
B. Ajuste la orientación de las discontinuidades							
Orientación del rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	
Puntaje	Túneles y Minas	0	-2	-5	-10	-12	
	Discontinuidades Taludes	0	-5	-25	-50	-60	
C. Tipos de macizos rocosos determinados a partir de la valoración total							
Puntaje	100-81	80-61	60-41	40-21	< 21		
Tipos de Roca	I	II	III	IV	V		
Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala		
D. Significado de los tipos de roca							
Tipos de Roca	I	II	III	IV	V		
Tiempo medio de scootin	20 años, claro de 15 m	1 año, claro de 10 m	1 semana, claro de 5 m	10 horas, claro de 2,5 m	30 min, claro de 1 m		
Cohesión del macizo rocoso (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Ángulo de fricción del macizo rocoso (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades							
Longitud (Persistencia)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Puntaje	5	4	3	2	1		
Separación (abertura)	Ninguna	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Puntaje	5	4	3	2	1		
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Superficies pulidas		
Puntaje	5	4	3	2	1		
Relleno	Ninguno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Blando < 5 mm	Blando > 5 mm		
Puntaje	5	4	3	2	1		
Meteorización	Inalterada	Ligeramente meteorizada	Modestamente meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta		
Puntaje	5	4	3	2	1		
F. Efecto de la orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades en los túneles**							
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel					
Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45 - 90°	Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20 - 45°	Buzamiento 45 - 90°	Buzamiento 20 - 45°				
Muy favorable	Favorable	Muy favorable	Regular				
Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45 - 90°	Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20 - 45°	Buzamiento 0 - 20° Independiente del rumbo					
Regular	Desfavorable	Regular (1 punto por 45°)					

Fuente: Bieniawski; (1989)

En el año 1973, Bieniawski desarrollo su clasificación a partir de experiencia en obras subterráneas en África del sur. Su aplicación es extendida a todo tipo de macizos rocosos, excepto en rocas expansivas y fluyentes. Ha sido modificada y actualizada en los años 1976 y 1989. La clasificación de Bieniawski, también es conocida como clasificación RMR, y parte de los siguientes parámetros para determinar la calidad del macizo rocoso. Se presenta las valoraciones del RMR, que tiene una variación de 0 a 100, clasificándolos así en cinco categorías.

### A. Parámetros de clasificación con sus valores.

1.-la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

2.-R.Q.D. Grado de fracturación del macizo rocoso.

3.- El espaciado de las discontinuidades.

4.-las condiciones de las discontinuidades, el cual consiste en los siguientes parámetros: Abertura de las caras de la discontinuidad, Continuidad o persistencia de la discontinuidad, Rugosidad, Alteración de la discontinuidad, Relleno de las discontinuidades.

5.- La presencia de agua en el macizo rocoso, el agua tiene un gran impacto en su comportamiento, para este criterio se utilizan los siguientes términos: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a alta presión.

#### B Ajuste la orientación de las discontinuidades.

En este ítem se ajustará la valoración del ítem A, y se corregirá respecto a la orientación de las discontinuidades y al tipo de infraestructura (túnel, cimentación o talud).

Para la obtención del Índice RMR de Bieniawski se realizará los siguientes procedimientos

1. Se hace la suma de los 5 variables o parámetros calculados y eso da resultado del valor índice (RMR básico).

2.-El parámetro 6 se refiere a la orientación de toda las discontinuidades con respecto a la excavación. El valor del RMR varía entre 0 a 100.

#### C. Tipos de macizos rocosos a partir de la valuación total.

Se define el puntaje obtenido para describir su calidad desde muy buena para el tipo I hasta muy mala para el tipo V definido por el rango de sus valores.

#### **Caracterización geotécnica**

La caracterización Geotécnica se relaciona como el primer requerimiento para fines geotécnicos. Harvey, (1987) menciona que:

La caracterización geotécnica analiza en conjunto los resultados de la descripción física in-situ de los parámetros físicos del macizo rocoso (el color, la textura, el estado de intemperismo, etc.); y los resultados de ensayos de

laboratorio ( porosidad, resistencia de la roca, densidad relativa, etc.) con la finalidad de realizar los cálculos de carácter geotécnico necesarios y por consiguiente comprender el comportamiento mecánico y resistencia del macizo rocoso frente a las diferentes condiciones que les fueron afectos.

### **Estaciones geomecánicas**

Según Farfán (2011) las estaciones geomecánicas (EGM) “Son una zona observación en un afloramiento rocoso donde se hace un estudio sistemático de las condiciones de las discontinuidades entre otros detalles estructurales, entre los cuales los más significativos son el tipo y la distribución de las discontinuidades que afectan al macizo, tomando datos suficientes de la dirección y ángulo de buzamiento, y con estos datos hacer un tratamiento estadístico que permita discriminar que “familias” de discontinuidades afectan al macizo rocoso, y cuál es su orientación preferente.

### **Numero de familias de discontinuidad**

Una familia de discontinuidades está constituida por aquellas que tienen orientaciones similares y el mismo origen. El número de familias de discontinuidades existentes en un macizo rocoso define su comportamiento; determina el grado en que puede deformarse sin que se produzcan roturas en los materiales rocosos y prefigura la forma de rotura del macizo Ramírez & Alejano, (2004) . Las discontinuidades que presentan la misma orientación permiten cuantificar las condiciones similares que presentan este grupo de discontinuidades.

### **Orientación de discontinuidades**

La ruptura sistemática ocurre en familias con orientaciones y características más o menos unificadas. La orientación relativa y la distancia entre las diferentes familias dentro del macizo rocoso determinan la forma de los bloques que componen este bloque.

La medida de la orientación de una discontinuidad se realiza con la brújula, esta medida es el espacio que queda definido por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de

dicha línea). Su medida se realiza mediante la brújula. Gonzáles de Vallejo, (2002).

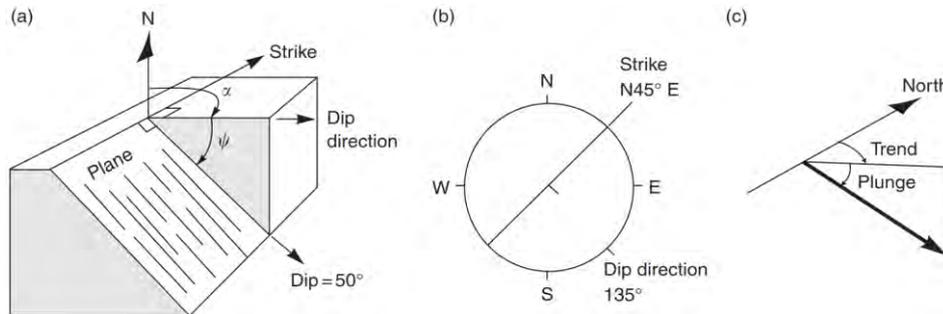


Figura 15. Orientaciones de discontinuidades del macizo rocos

### La resistencia de la roca

La resistencia de la roca es uno de los parámetros más importantes para las estaciones geomecánicas, este ensayo de campo permite estimar de forma aproximada con una sencilla correlación la resistencia a la compresión simple UCS, aplicable a la matriz rocosa intacta, pero también a discontinuidades. Las mediciones de campo se tienen que verificar con ensayos de compresión no confinada o ensayos de carga puntual (LPT).

El esclerómetro de tipo L es el recomendado para determinar la resistencia la compresión en rocas, este es un pequeño equipo metálico de geometría cilíndrica que cuenta con un muelle dentro, así como de una punta retráctil, la cual, al ser presionada contra la roca hace que el muelle se dispase, rebote y registre un valor.

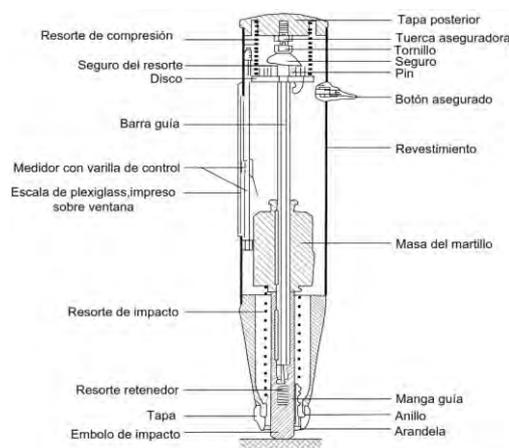


Figura 16. Partes del martillo de schmidt

Para la realización del ensayo se limpia la masa rocosa y se pule para poder llegar a tener una superficie plana, esta debe estar libre de fisuras o grietas, y sin pátinas; luego el equipo se posiciona perpendicular al plano de ensayo y se presiona hasta que salte el muelle, ahí presionamos el botón de seguridad para que quede registrado el valor. El muelle del aparato sufre un mayor o menor rebote, dependiendo de la resistencia de la roca, deben realizarse 10 percusiones con el martillo por punto de ensayo, sin considerar los 5 resultados con valores más bajos y tomando como dato el promedio de los otros 5 valores; el valor obtenido, se correlaciona con un ábaco que está en función a la densidad de la roca, la inclinación del martillo y del plano ensayado.

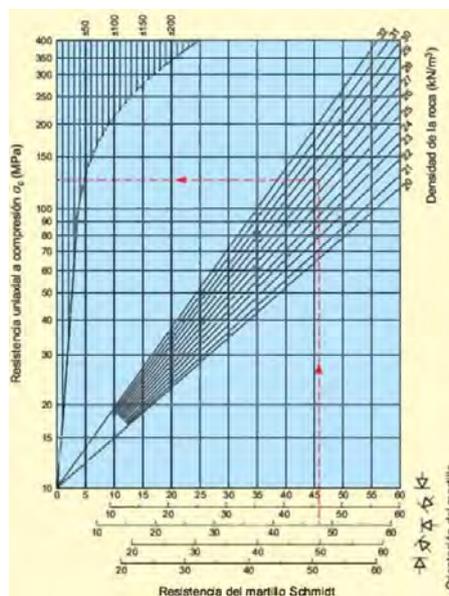


Figura 17. Abaco de las densidades de la roca

Tabla 4. Resistencia a la compresión simple con la valoración RMR

Descripción	Resistencia a la Compresión Simple	Valoración RMR
Extremadamente dura	>250 MPa	15
Muy dura	100 - 250 MPa	12
Dura	50 - 100 MPa	7
Moderadamente blanda	25 - 50 MPa	4
Blanda	5 - 25 MPa	2
Muy blanda	1 - 5 MPa	1
Extremadamente blanda	<1 MPa	0

Fuente: Gonzáles, (2002)

Se concluye que la resistencia de la roca intacta es un parámetro importante que puede ser interpretada de acuerdo a su capacidad de resistencia frente a varios esfuerzos de compresión. Este valor puede ser obtenido in-situ al utilizar un esclerómetro de tipo L, o al realizar un ensayo de laboratorio de compresión simple con la finalidad de clasificar el tipo de roca y valorar su resistencia.

### RQD (Rock Quality Designation)

El RQD fue propuesto por Deere (1964) como una medida de la calidad del núcleo en sondajes, se define como la relación (en porcentaje) de la longitud total de los fragmentos de testigos mayores a 0.1 m (4 pulgadas). Además del método directo para determinar RQD a partir de la extracción de testigo, también se utilizan diferentes métodos indirectos disponible para evaluar RQD.

Para la determinación de RQD utilizando testigos, la Internacional Society for Rock Mechanics (ISRM) recomendó un tamaño de núcleo de al menos NQ (tamaño 54.7 mm) perforado con tubería de doble tubo utilizando una broca diamantina. Las fracturas artificiales se pueden identificar ajustando núcleos y superficies sin manchas.

Todas las fracturas artificiales deben ser ignoradas al contar la longitud del núcleo para RQD. El procedimiento correcto para determinar el RQD es a partir testigos.

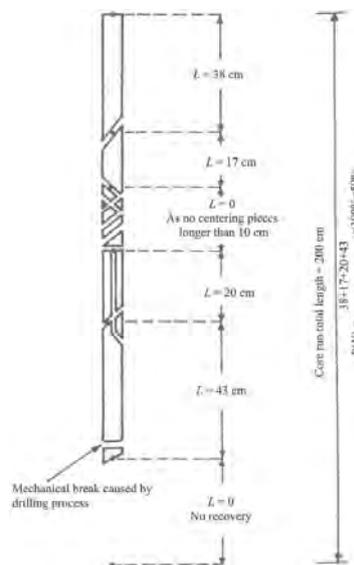


Figura 18. Procedimiento para la determinación de RQD usando el núcleo

El RQD también se puede determinar a partir de la frecuencia de discontinuidad obtenida del muestreo de la línea de exploración. Las correlaciones entre RQD y frecuencia de discontinuidad lineal se han derivado para diferentes formas de distribución del espaciamiento de discontinuidades Priest & Hudson, (1976). Para una línea de mapeo, se puede obtener el promedio del espaciado de las discontinuidades (número de discontinuidades dividida para la longitud de la línea de muestreo). El RQD de esta manera, se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda) + 1$$

(Ec. 2.1)

Donde:

$\lambda = 1/$  (frecuencia de discontinuidades): Número de discontinuidades por metro lineal.

**Tabla 5. Valores de RQD según la frecuencia de las discontinuidades**

$\lambda$	RQD										
1	100	11	70	21	38	31	18	41	8	51	3
2	98	12	66	22	35	32	17	42	8	52	3
3	96	13	63	23	33	33	16	43	7	53	3
4	94	14	59	24	31	34	15	44	7	54	3
5	91	15	56	25	29	35	14	45	6	55	3
6	88	16	52	26	27	36	13	46	6	56	2
7	84	17	49	27	25	37	12	47	5	57	2
8	81	18	46	28	23	38	11	48	5	58	2
9	77	19	43	29	21	39	10	49	4	59	2
10	74	20	41	30	20	40	9	50	4	60	2

**Tabla 6. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el Índice RQD.**

Calidad	RQD%	Valoración RMR
Muy buena	90 - 100	20
Buena	75 - 90	17
Media	50 - 75	13
Mala	25 - 50	8
Muy mala	< 25	3

*Fuente: Gonzáles, (2002)*

En síntesis, RQD deriva de su significado en inglés “Rock Quality Designation” que se define como el índice de calidad de roca, este parámetro

nos permite valorar en porcentaje la calidad del núcleo de roca de acuerdo a la disposición del espaciado entre las discontinuidades de una zona definida con el objetivo de caracterizar las condiciones del macizo rocoso.

### **Persistencia o continuidad de las estructuras**

Es la extensión superficial de un plano de discontinuidad, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia, pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente. La medida de la continuidad se realiza con una cinta métrica. Si el afloramiento permite la observación tridimensional de los planos de discontinuidad, deberán medirse las longitudes a lo largo de la dirección y del buzamiento. Las discontinuidades pueden o no terminar contra otra discontinuidad, debiendo indicarse en la descripción. Es importante destacar las familias más continuas, ya que por lo general serán éstas las que condicionen principalmente los planos de rotura del macizo rocoso.

Por lo general, las discontinuidades singulares, como las fallas y los diques, suelen ser muy continuas, y representan los mayores planos de debilidad en el macizo rocoso, por lo que deben ser caracterizadas y descritas con especial atención González de Vallejo, (2002).

**Tabla 7.** Descripción de la continuidad o persistencia.

Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	<1m
Baja continuidad	1-3 m
Continuidad media	3-10m
Alta continuidad	10-20 m
Muy alta continuidad	>20 m

Fuente: González de Vallejo, (2002)

Cabe señalar que la persistencia se define como un parámetro que analiza la continuidad de la traza o longitud de una discontinuidad según su dirección

del plano y su buzamiento; para dimensionar su influencia dentro del macizo rocoso.

### **Rugosidad de las estructuras**

La aspereza mide el grado de rugosidad de las juntas. Se deben definir macro y micro asperezas. Las macro asperezas u ondulaciones afectan esencialmente, la dirección del movimiento y producen cambio en el buzamiento dentro del talud. Las micro asperezas definen la resistencia al corte de la discontinuidad y la posibilidad o no de una falla. La medición de la rugosidad se realiza mediante el coeficiente de rugosidad de las juntas (JRC). Suárez, (2009).

La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos, que para discontinuidades sin cohesión puede ser estimada a partir de datos de campo y de expresiones empíricas. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y, por lo general, con el espesor de relleno.

El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos, definidas en ocasiones como de 1° y 2° orden respectivamente. La descripción de la rugosidad requiere, pues, dos escalas de observación:

-Escala decimétrica y métrica para la ondulación de las superficies: superficies planas, onduladas o escalonadas.

La rugosidad puede ser medida en campo con diversos métodos, dependiendo de la exactitud requerida, de la escala de medida o de la accesibilidad al afloramiento, incluyendo desde estimaciones cualitativas hasta medidas cuantitativas. El método más sencillo y rápido es la comparación visual de la discontinuidad con los perfiles estándar de rugosidad Gonzáles de Vallejo, (2002).

**Tabla 8.** Valoración RMR de la rugosidad

Descripción de rugosidad	Valoración RMR
Muy rugosa	6

Descripción de rugosidad	Valoración RMR
Rugosa	5
Ligeramente rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

Fuente: Bieniawski, (1989)

Se comprende por rugosidad a la aspereza o irregularidad natural presente en los planos o paredes de las discontinuidades siendo un importante parámetro para evaluar la resistencia al corte de dichas paredes; por lo tanto, entre mayor rugosidad tenga el plano de una discontinuidad, el macizo rocoso será catalogado como competente y viceversa.

### **Abertura de las estructuras**

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso, mientras que en superficie la abertura puede ser alta, ésta se reduce con la profundidad, pudiendo llegar a cerrarse. La influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es importante incluso en discontinuidades muy cerradas, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes.

El movimiento de agua, a lo largo de las juntas, tiende a producir por depósito o por meteorización, la presencia de rellenos o materiales blandos dentro de la junta. Gonzáles de Vallejo, (2002).

**Tabla 9.** Descripción de la abertura y valoración RMR

Abertura	Descripción	Valoración RMR
Cerrada	0 mm	6
Muy angosta	< 0.1 mm	5
Angosta	0.1 - 1.0 mm	3
Abierta	1.0 mm - 5.0 mm	1
Muy abierta	> 5.0 mm	0

Fuente: Bieniawski, (1989)

Entonces se define a la abertura de discontinuidades como la distancia perpendicular que existe entre los planos o paredes de una discontinuidad sin presencia de relleno. La variabilidad de este parámetro nos ayudará a definir las zonas con condiciones favorables de un mismo macizo rocoso.

### **Relleno en las discontinuidades**

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables.

La descripción del relleno incluye la identificación del material, descripción mineralógica y tamaño de grano. Si el relleno proviene de la descomposición y alteración del material de las paredes de la discontinuidad, deberá ser evaluado su grado de meteorización, que normalmente será descompuesto o desintegrado. Las propiedades más importantes del relleno son su grosor, tipo y resistencia. Gonzáles de Vallejo, (2002).

Tabla 10. Valoración RMR del relleno.

<b>Relleno</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración RMR</b>
Ninguno	0 mm	6
Relleno duro	< 5 mm	5
Relleno duro	> 5 mm	3
Relleno blando	< 5 mm	1
Relleno blando	>5 mm	0

Fuente: Bieniawski, (1989)

El relleno de las discontinuidades principalmente está compuesto por un material distinto al de las paredes de la discontinuidad. La presencia de relleno influye en el comportamiento de las discontinuidades, por lo que, es importante describir in-situ sus propiedades físicas (composición del material, espesor, resistencia y permeabilidad), con el objetivo de evaluar su efecto en la valoración del macizo rocoso.

### **Grado de Meteorización**

La evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso se realiza por observación directa del afloramiento. En ocasiones puede ser necesario

fragmentar un trozo de roca para observar la meteorización de la matriz rocosa González de Vallejo, (2002)..

**Tabla 11. Valoración RMR de la Meteorización**

Grado de Meteorización	Descripción	Valoración RMR
I	No meteorizada	6
II	Ligeramente	5
III	Moderadamente	3
IV	Altamente meteorizada	1
V-VI	Suelo residual	0

Fuente: Bieniawski, (1989)

Se concluye que la meteorización del macizo rocoso se define como el cambio de su composición o sus propiedades en consecuencia de la interacción con el ambiente exterior (agentes atmosféricos).

### **Agua en las discontinuidades**

El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones son a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) y pueden ser también importantes González de Vallejo, (2002).

**Tabla 12. Valoración RMR del estado general del agua**

Estado general	Valoración RMR
Seco	15
Ligeramente seco	10
Húmedo	7
Goteando	4
Agua fluyendo	0

Fuente: Bieniawski, (1989)

La presencia de agua en un macizo rocoso es condicionada en la mayoría de los casos por la presencia de discontinuidades (permeabilidad secundaria); es entonces que se concluye que cuando se identifica agua que fluye a través

de las discontinuidades, este parámetro reducirá la resistencia del macizo rocoso.

### **Clasificación Geological Strength Index (GSI)**

Con la aparición del criterio de rotura de Hoek y Brown, (2002) , el uso del RMR ya no es adecuado para el caso de rocas débiles o altamente meteorizadas, y se introduce de esta forma la clasificación geomecánica GSI (Hoek, 1994; Hoek et al. 1995).

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas de los afloramientos rocosos en el trazo a partir de una observación en campo, estas observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie.

Los valores del GSI varían desde 1 hasta 100; los valores cercanos a 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo.

Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión. Ros, (2008).

En síntesis, el GSI, es el método que permite estimar las características de analizar el comportamiento del macizo rocoso a través de una descripción directa de la condición superficial que se observa en campo y posteriormente se valoriza el macizo rocoso tomando en consideración la tabla adaptada de Hoek (2006).

### **Relaciones entre RMR y GSI**

Las relaciones existentes entre GSI y RMR, dependiendo del RMR utilizado, se detallan a continuación para el caso de RMR89:

$$\text{RMR89} > 23 \rightarrow \text{GSI} = \text{RMR89} - 5$$

RMR89 < 23 → No se puede utilizar el RMR89 para la obtención del GSI.  
Ros, (2008).

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES				
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
 <b>INTACTO O MASIVO</b> Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.	90			N/A	N/A
 <b>FORMADO POR BLOQUES</b> Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.	80				
 <b>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES</b> Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente.		70			
 <b>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO</b> Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.		60			
 <b>DESINTEGRADO</b> Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.		50			
 <b>LAMINADO Y CIZALLADO</b> Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.		40			
		30			
		20			
	N/A	N/A			10

Figura 19. Índice de resistencia geológica (GSI) para macizos rocosos fracturados.

### Compresión Uniaxial en Roca

Este ensayo sirve para determinar la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta, así mismo puede proporcionar también las constantes elásticas, es decir, su módulo de Young (E) y su coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). Es, por tanto, un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia y determinación de su deformabilidad. La relación entre los esfuerzos aplicados en el ensayo es:  $\sigma_1 \neq 0$ ;  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ . El diámetro del testigo debe ser mayor a 10 veces el tamaño del grano. Gonzáles de Vallejo, (2002)

Tabla 13. Clasificación de grado de dureza según la Compresión Uniaxial.

Grado	Descripción	Identificación del terreno	Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (MPa)
R1	Roca muy Débil	Se disgrega por un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por el cortaplumas.	(1.0 - 5.0 MPa)
2	Roca Débil	Puede ser escarbada por el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega por un fuerte golpe de la punta del martillo.	(5.0 - 25.0 MPa)
3	Roca media	No puede ser escarbada o disgregada por un cortaplumas, la muestra se fractura con un solo golpe firme del martillo geológico.	(25.0 - 50.0 MPa)
R4	Roca dura	La muestra requiere más de un golpe del martillo geológico para ser fracturada.	(50.0 - 100.0 MPa)
R5	Roca muy dura	La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada.	(100.0 - 250.0 MPa)
R6	Roca extremadamente dura	La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico.	(>250.0 MPa)

Fuente: ISRM, (1981)

## Mecánica de suelos

### Calicatas

Son excavaciones de formas diversas (pozos, zanjas, etc.) que nos permiten observar el terreno directamente, tomar muestra y eventualmente realizar ensayos in situ. Terrenos granulares en donde las perforaciones no serían representativas.

La sección mínima recomendada es de 0,80 m por 1,00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El material excavado deberá depositarse en la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Debe desecharse todo el material contaminado con suelos de estratos diferentes.

Se pueden emplear con:

Profundidades de reconocimiento menores a 3m.

Terrenos excavables de forma manual o con excavadora mecánica.

- Ausencia de nivel freático.
- Terrenos preferentemente cohesivos.
- Así también estas nos permiten:
- Una inspección visual del terreno «in situ».

### Toma de muestras

Realización de algún ensayo de campo.

En cada calicata se deberá realizar una descripción visual o registro de estratigrafía comprometida. Geoseismic Exploraciones, (2017).

### **Talud**

según Matteis, (2003) Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. El talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable.

### **Taludes en roca**

Bañón & Beviá, (2000) mencionan que “a diferencia de los suelos, la estructura que presentan las rocas es complicada, ya que bajo su apariencia sólida y homogénea se esconden anisotropías originadas por grietas, planos de fractura o estratificación, diaclasas y plegamientos que hacen que su comportamiento mecánico no sea el esperado a primera vista.

Los taludes naturales o los excavados en roca están sujetos de forma permanente a procesos de inestabilidad, provocados por la acción de agentes erosivos – el agua en sus diversos estados es el principal – en el caso de los primeros, a los que se une la propia geometría del talud artificial en el segundo caso. Otro factor que también influye en la estabilidad es la sismicidad natural o provocada por las voladuras realizadas para excavar dicho talud. Este tipo de taludes es característico de las zonas de desmonte, donde muchas veces es necesario cortar el relieve para ajustar la traza de la carretera, con la consiguiente ruptura del equilibrio natural existente en sus taludes (Bañón & Beviá, 2000).

### **Taludes en roca**

El factor de seguridad es a menudo definido como la ratio entre la resistencia al corte real (fuerzas resistentes), y los esfuerzos de corte críticos requeridos para producir la falla a lo largo de una superficie posible de falla. Se utiliza

para determinar el factor de riesgo de falla de taludes en las peores condiciones de comportamiento para las que se pueda diseñar.

Analizar la estabilidad de taludes es determinar el factor de seguridad. En general, el factor de seguridad se define como:

$$FS_S = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

(Ec. 2.7)

Donde:

$FS_S$  =Factor de seguridad con respecto a la resistencia

$\tau_f$  =Resistencia media del suelo al corte.

$\tau_d$  = Esfuerzo cortante promedio a lo largo de la superficie de falla.

Cuando FSS es igual a 1.0, el talud está en un estado de fallo inminente. En general, un valor de 1.5 para el factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable Braja, (2013).

### **Análisis cinemático**

Una vez que se ha identificado el tipo de falla del bloque, el mismo diagrama también puede ser se usa para examinar la dirección en la que un bloque se deslizará y dará una indicación de las condiciones de estabilidad, este procedimiento se conoce como análisis cinemático. Sin embargo, mientras que el análisis de los estereogramas da una buena indicación de las condiciones de estabilidad, no tiene en cuenta las fuerzas externas como el agua o presiones que pueden tener un efecto significativo en la estabilidad; el procedimiento de diseño habitual es utilizar el análisis cinemático para identificar bloques potencialmente inestables, seguido de un análisis detallado de la estabilidad de estos bloques, Wyllie & Mah, (2005).

Analizar la estabilidad de un talud en macizos rocosos fracturados, es parte de dos procesos. El primero es analizar la fábrica estructural del corte realizado para determinar si la orientación de las discontinuidades podría resultar en inestabilidad del talud bajo consideración, a lo cual conocemos como orientación desfavorable de éste con respecto a las discontinuidades.

Esta determinación es realizada por medio del análisis estereográfico de la fábrica estructural que se denomina Análisis Cinemático Piteau & Peckover, (1978)

Una vez que ha sido estudiada la cinemática en la cual se tiene la posibilidad de falla del talud, el segundo paso requiere un análisis de estabilidad por el método del Equilibrio Límite para comparar las fuerzas resistentes a la falla contra las fuerzas causantes de la falla del talud, el cual puede analizarse en condiciones estáticas como pseudoestáticas. La comparación entre estos dos sistemas de fuerzas se denomina Factor de Seguridad (FS).

### **Análisis Estereográfico**

El Análisis estereográfico es una representación gráfica de las disposiciones estructurales en el espacio interior de una esfera de diámetro cualquiera y debidamente orientada, para resumir toda la información geológica en un plano diametral horizontal.

El Análisis Estereográfico permite:

- Definir las estructuras geológicas predominantes.
- Determinar la dirección de los esfuerzos principales en el macizo rocoso.
- Identificar los mecanismos de fallas probables y análisis cinemático de bloques inestables.
- Cálculo de parámetros de corrección del método RMR de clasificación de macizos rocosos para su aplicación a taludes.

## **2.1 MARCO CONCEPTUAL**

**Ciclo geológico:** Según Mantilla, (2015) es la sucesión de procesos dinámicos endógenos y exógenos relacionados con el tiempo que actúa sobre los materiales que componen la corteza.

**Cuenca hidrográfica:** Según World vision, (2018) es un espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, integrado por un sistema hídrico que dirigen las aguas a un río principal, a un lago o al mar.

**Ciclo hidrológico:** Según Vasques, (2016) es una serie de cambios que sufre el agua en la hidrosfera, y que obedece a leyes físicas. El ciclo hidrológico no posee un principio ni fin, es un proceso continuo e importante para la hidrología.

**Precipitación:** Según Aparicio, (1989) esta es la principal fuente de agua en la superficie terrestre, siendo sus mediciones importantes para su control y uso en las actividades humanas.

**Cimentación:** Según Gonzáles de Vallejo, (2002) son estructuras que reparten y transmiten presiones al terreno las cuales esta pueda soportar.

**Suelo:** según Juárez & Rico, (2005) es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas con organizaciones definidas y propiedades que varían vectorialmente.

**Capacidad de carga del suelo:** Según Braja, (2013) es la resistencia que el suelo ofrece a cargas superiores y depende de la compactación del suelo.

**Calicata:** según Espinosa, (2010) son excavaciones que se realizan para conocer las características del terreno.

**Resistencia a la comprensión uniaxial:** Según es el máximo esfuerzo de que puede tolera el material antes de presentar fallas.

## CAPITULO III: CARACTERIZACION DEL AREA DE EMBALSE

### 3.1 GENERALIDADES

El trabajo de estudio realizado sirve como aporte ingenieril de las características geológicas y geotécnicas de la zona de la laguna Aruri, Chumbivilcas cuyo proyecto es el “Emplazamiento de la presa aruri”.

### 3.2 UBICACIÓN

#### 2.1.1 Ubicación de la zona de estudio

El área de estudio está ubicada en la comunidad de Uchucarcco – distrito de Chamaca, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco.

*Tabla 14. Ubicación política*

<b>Región :</b>	Cusco
<b>Provincia :</b>	Chumbivilcas
<b>Distrito :</b>	Chamaca
<b>Comunidad :</b>	Uchucarcco

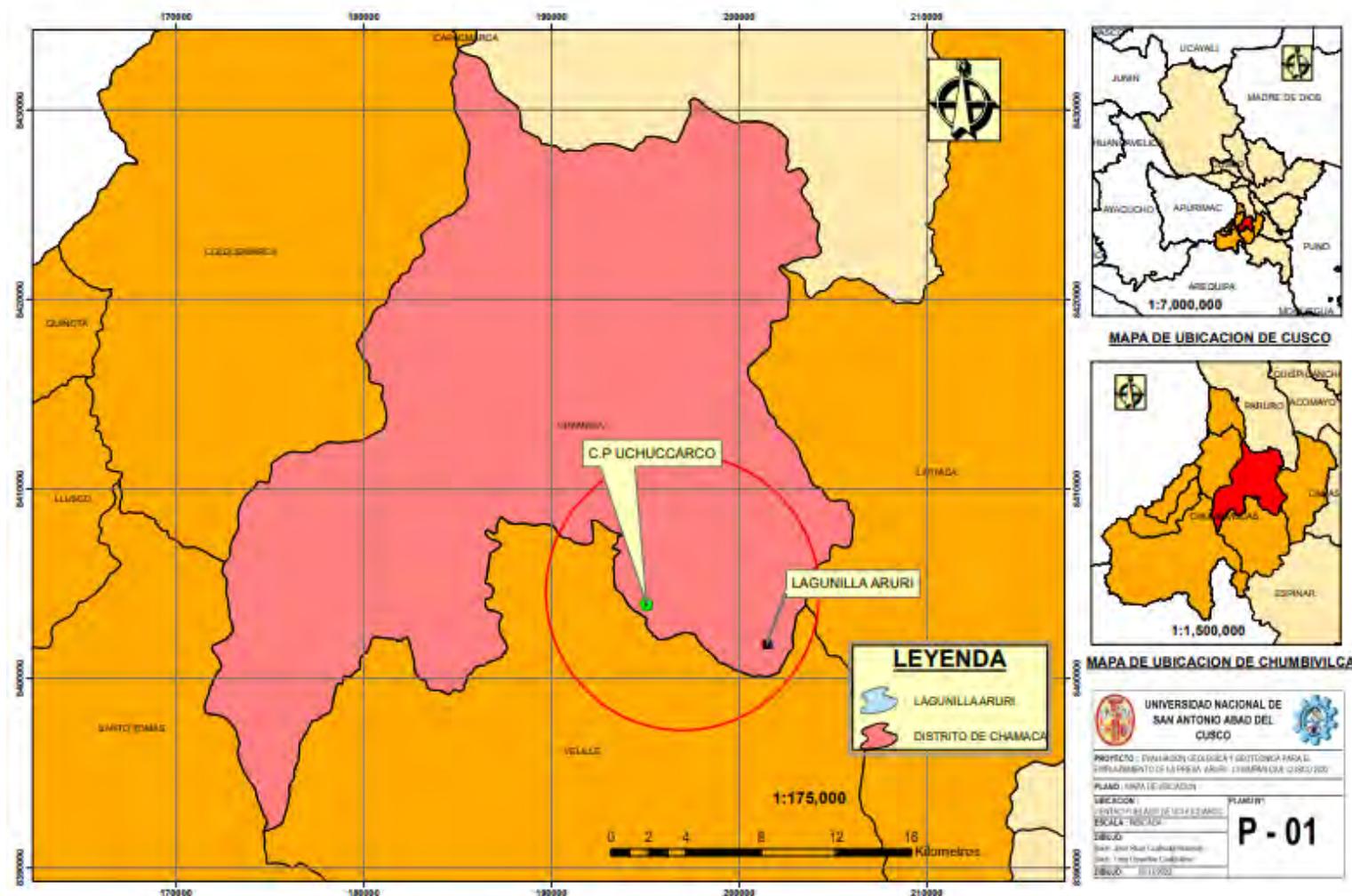
**Tabla 15.** Ubicación geográfica UTM (WGS84): UTM 19L

<b>Norte :</b>	8401941.00 m
<b>Este :</b>	201490.00 m
<b>Altura :</b>	4460 m



*Figura 20. Ubicación de la laguna Aruri*

Se elaboro el mapa de ubicación de la laguna Aruri de manera departamental, provincial y distrital. Como se muestra a continuación.



21. Mapa de ubicación distrital, provincial y regional

### **3.3 ACCESIBILIDAD**

El acceso a la región de estudio se puede hacer desde el Cusco por diferentes vías, Una por carretera asfaltada y bicapa por la vía Cusco-Sicuani-Espinar-Chilloroya –Uchucarcco y desde allí tomado el camino a las presas existentes de Japucocha, Queso cocha y Yanacocha por trocha carrozable, el tiempo de recorrido en camioneta es de 6 horas en promedio.

La otra vía es Cusco-Combapata –Yanaoca- Túpac Amaru- Livitaca – Uchucarcco y de allí por trocha carrozable de las presas Japucocha, Quesococha y Yanacocha. El tiempo de recorrido es de 5 horas en camioneta.

Otra vía es Cusco- Cusipata-Pomacanchi carretera asfaltada y de Mosoqllacta-Totora –Livitaca Uchucarcco carretera afirmada estrecha y de allí por trocha carrozable de las presas Japucocha, Quesococha y Yanacocha. El tiempo de recorrido es de 5 horas en camioneta.

### **3.4 CLIMA Y VEGETACION**

#### **3.4.1 Clima**

El clima de la región está determinado por las condiciones meteorológicas de una zona y la duración de una determinada estación, principalmente en dos estaciones: veranos lluviosos e inviernos helados, que determinan la actividad económica de los pobladores, dijo. Las características geomorfológicas y la elevación determinan el cambio climático; Las regiones bajas tienen un clima abrigado con humedad relativa, mientras que otras regiones tienen un clima riguroso donde la producción se limita al cultivo de papa y granos andinos como la cañihua y la quinua.

#### **Temperatura**

Tiene un clima predominantemente seco, con temperaturas que van desde 9.6°C a 12.9°C en la época de lluvias de noviembre a marzo y de 8.5°C en invierno de mayo a mayo 9. y menos 9.6 C°, hay años con extremos: Fuertes lluvias, nevadas y granizo. Años de sequía severa y heladas severas

### **3.4.2 Vegetación**

La flora es diversa, pero los pastizales naturales se utilizan para la alimentación del ganado, del cual la zona es el principal productor. En la parte inferior de la zona hay matorrales de arbustos, plantas silvestres, arbustos y en la zona superior hay muchas plantas medicinales poco desarrolladas..

## **3.5 TOPOGRAFIA**

La topografía del terreno es importante para la construcción de la presa Aruri, el objetivo de este estudio es determinar la altimetría y planimetría de los puntos del terreno. Estos datos nos permiten obtener la información verdadera de la zona de estudio para luego:

- Ubicar la zona de estudio y facilita dimensionar los elementos estructurales
- La elaboración de planos bases (topográficos) local y regional.
- Servir de información base para estudios posteriores (hidrología, geología, geotecnia, impacto ambiental) para el diseño de la Presa

### **3.5.1 Trabajo de campo**

#### **Trabajos de campo de la presa Aruri**

El trabajo de levantamiento topográfico se realizó con receptor de satélite 01 "GPS Navegador", marca Garmin, Estación Total, prismas, trípode, winchas, pintura entre otros accesorios.

- **Control planimétrico**

Para el control planimétrico se realizaron dos actividades: en el control planimétrico y en el Sistema de Coordenadas UTM, mediante la ejecución de poligonales electrónicas.

#### **Coordenadas y cota de partida**

Se ubicó dos puntos de control con el GPS para el control altimétrico y planimétrico de las cuales se obtuvo la coordenada de partida y el azimut. Se trabajo con los siguientes puntos GPS y se consideró la altura ortométrica:

*Tabla 16. Coordenadas de puntos de control*

Puntos GPS	Coordenadas UTM – WGS 84		Altura (ortométrica)
	E (Sur)	N (Norte)	
P1-GPS	201477.00 m	8401730.00 m	4453.00 m
P2-GPS	201451.00 m	8401754.00 m	4452.00 m

Se obtuvo como base de partida dos (02) puntos del GPS para el control horizontal que se desarrolló a lo largo de la zona de construcción de las estructuras con circuitos cerrado y abiertos de poligonal electrónica que cubre el área del presente estudio.

- **Control altimétrico**

Para el control altimétrico se dio por el circuito de nivelación geométrica teniendo de punto de partida el punto uno (01) del GPS ubicado margen derecho del río.

Se realizó el levantamiento topográfico detalladamente en la zona del eje de la presa tomando en consideración las partes más altas de la presa. Los levantamientos se relazaron a la escala de 1: 2500 con curvas de nivel principales a cada 10 m, secundarias que se separan a 1 m y la proyección vertical al sistema de coordenadas planas.

### **3.5.2 Trabajo de gabinete**

Con todo los puntos obtenidos en el campo con el equipo de GPS se realizó el procesamiento de este ordenamiento con el software Microsoft Excel para luego introducirlo al software ArcGIS donde se visualizan estos puntos para luego a partir de estos generar los DEM Y TIN para luego verlo en 3D seguidamente generar las curvas de nivel para realizar el plano topográfico de la zona con detalles específicos de la boca de la presa. (Ver anexo N°02: Plano topográfico)

## **CAPITULO IV: GEOMORFOLOGIA**

### **4.1 Generalidades**

Durante este capítulo se describe las características fisiográficas, procesos erosivos del área del Perfil de proyecto, en el cual se analizan las implicancias

geomorfológicas, referidos al relieve, pendiente, intensidad erosiva, orientado a la seguridad de infraestructuras hidráulicas.

Será motivo de análisis, la morfología dinámica de conformación de las diferentes geoformas, así como la actividad actual, en el que se evalúa la identificación de procesos dinámicos de riesgo para la infraestructura hidráulica, principalmente deslizamientos, derrumbes, y cárcavas, que se describirán de manera cualitativa.

## **4.2 Conjuntos estructurales y morfológicos**

La región de estudio morfológicamente se localiza en la denominada faja Intracordillerana, unidad que se ubica entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental. Posee una morfología agreste y a su vez también donde se hallan las partes más planas delimitadas por cadenas montañosas o por profundas depresiones. Específicamente la zona de estudio está situada en la vertiente oriental de la cordillera occidental o volcánica de los andes del sur, que corresponde al basamento cretácico y de plutones intrusivos y volcánicos cenozoicos. El drenaje en general es de sur a norte, con cambios progresivos a una orientación andina.

La superficie de la región es heterogénea y accidentada, hallándose sus desniveles comprendidos entre los 3925 m.s.n.m. en el poblado de Uchucarcco y 4,650 m.s.n.m. que alcanzan los cerros de Tacahui, Condormarca y Orcochiri con 4548msnm los mismos que bordean a cuatro lagunillas que se hallan alineadas en dirección nor oeste sur este, cuyos orígenes están asociadas a circos glaciares pleistocénicas entre ellas la laguna de Aruri que se proyecta como vaso de la Presa Aruri.

### **4.2.1 Faja Intracordillerana**

Unidad geográfica ubicada entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental. Tiene una morfología agreste y contrastada, formada por las zonas más planas, bordeadas por montañas o profundas depresiones. Mostró una altitud extrema.

Por las características mencionadas, la zona de estudio se encuentra dentro de esta unidad, ya que está situada entre las estribaciones orientales e la cordillera occidental y parte de occidental de la cordillera oriental.

#### 4.2.2 Cordillera Oriental:

Corresponde a sus partes más occidentales de este accidente geográfico y se presente al NE del cuadrángulo del Cuzco. Su topografía es más moderada en comparación con la anterior y sus altitudes extremas están comprendidas entre los 3,000 m.s.n.m. en el valle Vilcanota y 4,491 m.s.n.m., con la señal Acopia Grande. Valles: Dentro de esta unidad se encuentran valles y quebradas cuyos tramos respectivos corresponden a los denominados “valles transversales” (Apurímac y Velille) y “valles longitudinales” (Vilcanota).



*Figura 22. Ubicación geomorfología en el contexto regional (Faja Intracordillerana)*

#### 4.3 Morfología del área de estudio

El área de estudio se encuentra entre los 3900msnm y 4700msnm como y se indicó, dentro de la unidad de faja Intracordillerana, dado que se halla en la vertiente oriental de la cordillera occidental o volcánica con drenaje hacia la vertiente del Río Apurímac que confluye con el río Vilcanota que se halla en la cordillera oriental.

Se describen los siguientes conjuntos morfológicos y estructurales principales:

### **4.3.1 Cerros**

Corresponde a las alturas individuales de las formaciones rocosas con una pronunciada variación de altura y una pendiente más pronunciada de más del 40%, estas geoformas se hallan en toda el área del proyecto, de tal modo que desde el centro poblado de Uchucarcco existe una diferencia de nivel superior a los 550 m hasta el nivel de la laguna Aruri.

### **4.3.2 Valles glaciares**

Uno de los elementos morfológicos resaltantes del proyecto está representado por valles glaciares cortos, angostos, rectilíneos y paralelos y que tienen una dirección perpendicular a la dirección andina, es decir noreste-sur oeste, cuyas morrenas en la mayoría de los casos han sido erosionados o han tenido manifestaciones incipientes de formación de morrenas laterales han quedado en los bordes de estos valles en una longitud inferior a los 1500 m.

En el caso de la laguna de Aruri tienen dos salidas una por el sector sur este y otra por el lado con morrenas laterales que tienen un aproximado de 1400 m. estas se pueden evidenciar en las fotografías satelitales, tal como se muestra en la siguiente figura.

Se puede distinguir dos zonas de estos valles, una del tramo superior conformado por depósitos de morrenas y afloramientos rocosos, y el tramo inferior con algunas zonas con mayor amplitud donde se aprovechan para cultivos de pastos y pastoreo de ganado de la zona.



*Figura 23. Valles glaciares conforman la morfología de las lagunas en forma paralela*

#### **4.3.3 Circo glaciar**

El circo glaciar de la laguna de Aruri es una especie de cuenca rocosa con forma semicircular originado por el constante deslizamiento y fricción del glaciar en su zona de acumulación o alimentación. Tiene una forma de anfiteatro o de silla con unos costados más pronunciados o con crestas verticales que lo rodean. Está caracterizada por tener algunos rasgos morfológicos que permiten distinguir los de las cuencas de recepción de los torrentes de montaña; entre las características principales tenemos sus paredes superiores que no fueron erosionadas o destruidas por la abrasión del glaciar y el fondo del circo glaciar, tiene una pendiente muy inferior a la que tienen las paredes se presentan en este fondo diversas rocas aborregadas de roca intrusiva que han sido erosionadas por la dinámica del hielo. El fondo del circo lo constituye la laguna Aruri.



*Figura 24. Laguna Aruri es resultado de un circo glaciar cuyas morrenas laterales se observan al SO de la laguna*

#### **4.3.4 Quebradas.**

Son geoformas de formas estrechas y con flancos empinados con fondos muy cortos de manera que, si tienen cursos de agua permanentes el espacio es para este curso, y los cambios de pendiente a lo largo de estas geoformas.

Estas quebradas se encuentran en las zonas bajas de Uchucarcco con drenaje sub paralelo en dirección nor este sur oeste, estas geoformas en algunos casos tienen cursos de agua permanentes, y en otros son temporales.

#### **4.3.5 Colinas**

Son relieves de menor magnitud en altura cuyas elevaciones y pendientes son también menores que los cerros este se encuentra entre los 3800 msnm a 3900 msnm. El centro poblado de Uchucarcco se encuentra en una colina disectada por una quebrada profunda.

En general son superficies estables, con acciones erosivas poco significativas o localizadas. En su mayor parte corresponden a las zonas de altiplanicies y en menor medida a los fondos de valle, conformados a poca profundidad por el basamento rocoso.

#### **4.3.6 Lagunillas y humedales**

Estas geoformas son características en esta zona del proyecto, existen varias lagunillas de diferentes tamaños distribuidas en el curso de valles glaciares.

El origen de estas lagunillas al igual que la lagunilla de Aruri se hallan como resultado de circos glaciares formando pequeños valles glaciares paralelos.

Los humedales se encuentran en los alrededores de las lagunillas, como resultado de cambios de coeficientes de permeabilidad que mediante pequeños manantes que fluyen de acuíferos que lo constituyen los macizos rocosos fracturados del área.



*Figura 25. Laguna Aruri y humedales en alrededores de la laguna como resultado de acuíferos del macizo rocoso*

#### **4.3.7 Morrenas**

Son morfologías en forma de lomas alineadas en el alineamiento de los valles glaciares del área de estudio, específicamente en el valle glaciar de Aruri existen morrenas hacia la salida de la lagunilla en formas curvas con una longitud de 1300m aproximadamente y con una altura de 70 m. Estas morrenas forman elevaciones importantes en los bordes del valle glaciar.

#### **4.4 Morfogénesis**

La morfología genética y sus procesos asociados han pasado por diversos episodios geológicos, para tener una evaluación en el tiempo geológico y tener un diagnóstico más apropiado de lo que se presenta en la actualidad. Consideraremos el pre cuaternario y el cuaternario, por ser los más relevantes en la zona del proyecto.

##### **4.4.1 Morfogénesis del Pre Cuaternario**

La morfología genética del relieve en esta región está representada por rocas del cretácico inferior como las rocas más antiguas, estas pertenecen a rocas

del Jurásico al cretácico inferior que corresponden a la Formación Muni Formación Murco, del cretácico superior la formación Arcurquina.

En el Terciario inferior la orogenia andina hizo emerger los volúmenes andinos, junto a estos eventos se produjo las intrusiones magmáticas como el batolito de Apurímac; entre el Terciario y el mioceno ocurrió una etapa de erosión y aplanamiento generalizado del relieve, que afectó al territorio cordillerano dando lugar a una superficie llana a ondulada conocida como “superficie puna”, cuya morfología se observa actualmente como rasgos remanentes.

Luego del desarrollo de esta superficie sobrevino el gran levantamiento andino plio -Pleistocénico que elevó los Andes a sus niveles aproximadamente actuales, y dejó a la superficie de erosión puna a una altitud comprendida entre 3 800 y 5 000 msnm.

#### **4.4.2 Morfogénesis del Cuaternario**

Durante el cuaternario ocurre lo más relevante de la morfogénesis de la zona, en el cual sucedieron los cambios climáticos de las glaciaciones andinas, las cuales cubrieron gran parte del área por encima de 3 800 a 5 000 msnm, dejando relictos geomorfológicos como depresiones circos glaciarios, valles glaciares y lagunas, así como depósitos glaciares y fluvioglaciares.

Durante el Plioceno, al tiempo que se levantaba la Cordillera de los Andes se profundizaban los valles, siguiendo un control estructural delineado por las fallas longitudinales de rumbo NO-SE y las fallas transversales de rumbo NE-SO (Valles tributarios), siendo estas últimas marcadas líneas de debilidad por donde estos grandes ríos cortan a la Cordillera Oriental y a la faja Intracordillerana buscando su salida con dirección al llano Amazónico.

#### **4.4.3 Morfodinámica actual**

Los procesos dinámicos actuales tienen importancia en la comprensión de lo ocurrido en el pasado, siendo resaltante los tipos de fenómenos erosivos y de dinámicas de cambio que afectan la morfología actual, describimos de manera breve la morfología que expone en la región del proyecto:

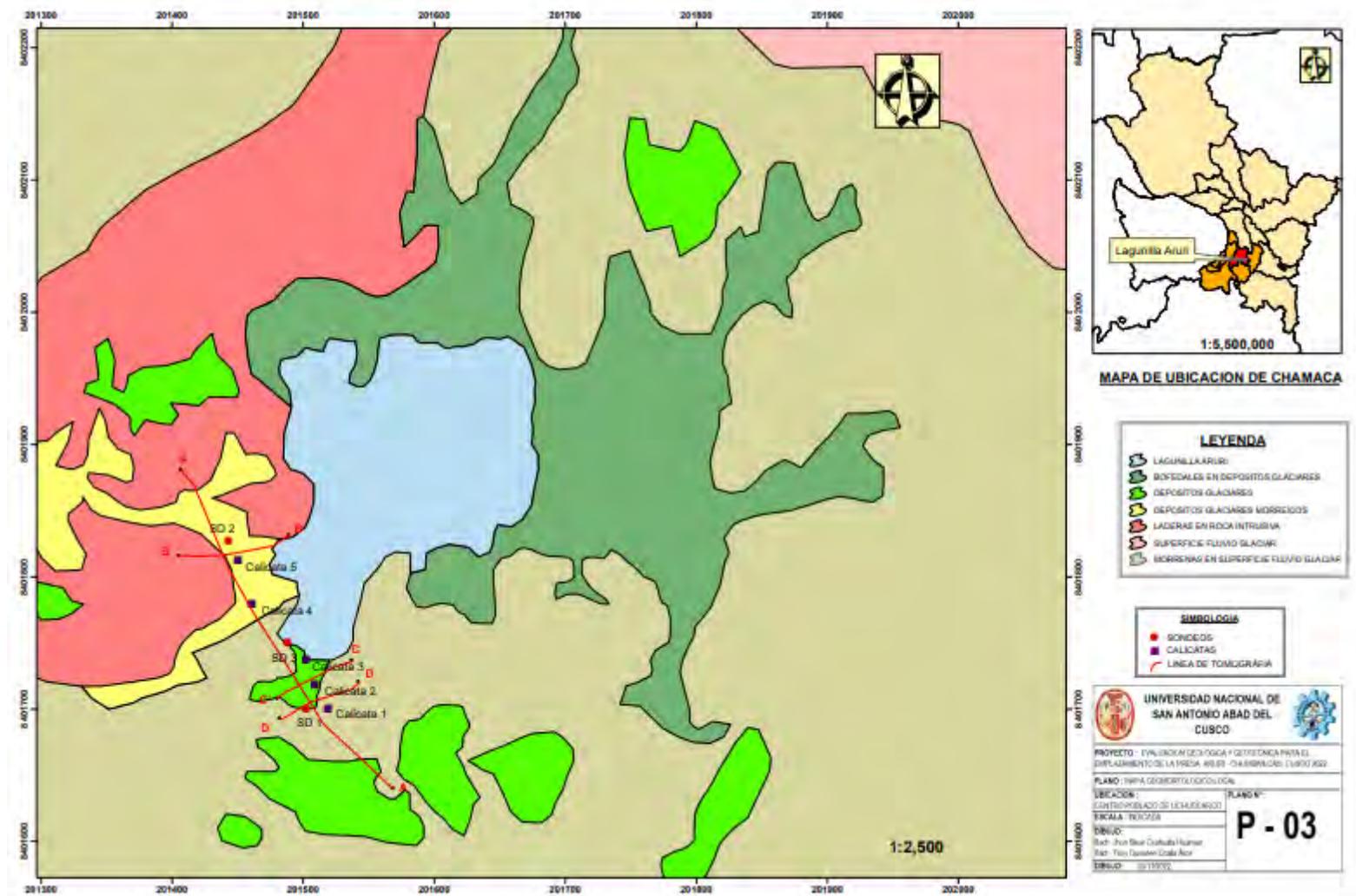
#### **4.4.3.1 Escurrimiento Superficial**

Esta acción erosiva comienza generalmente de manera difusa, cuando las lluvias caen e inician un lento descenso por la superficie. Si el terreno tiene poca pendiente, es permeable o tienen rugosidad y fracturamiento como en el caso de las rocas intrusivas del área del proyecto, el escurrimiento es más reducido que en zonas de mayor pendiente, menos rugosidad y menos fracturadas.

#### **4.4.4 Erosión en Surcos y Cárcavas**

Esta clase de erosión se evidencia en los sectores de depósitos cuaternarios donde los pequeños riachuelos temporales o permanentes incisionando en depósitos morrénicos y coluvio aluviales de manera constante y forman trincheras y barrancos que se profundizan y retroceden constantemente. Se forman bajo ciertas condiciones: los flujos superficiales se concentran primero en trincheras y luego en barrancos; La erosión se concentra en los taludes que han sido disecados, excavados en trincheras de un metro a varios metros de profundidad.

Esta morfología se observa en los sectores bajos y en las colinas del Centro poblado de Uchucarcco y en las laderas de los pequeños valles y quebradas.



26. Mapa geomorfológico

## CAPITULO V: GEOLOGIA

### 5.1 Generalidades

En el presente ítem se describe el reconocimiento de las primordiales formaciones rocosas, sus características físicas, químicas y estructurales de las rocas y zonas.

En términos generales, la geología del área en los alrededores de la Lagunilla Aruri, en el que se proyecta el emplazamiento de la presa Aruri, afloran formaciones rocosas de edad cretácica e intrusiones plutónicas cenozoicas. Se adjunta el plano geológico dentro de los anexos.

### 5.2 Estratigrafía

En la demarcación de estudio donde se realizará la construcción de las obras de regulación hídrica mediante el represamiento de las aguas de precipitación se identificaron las siguientes formaciones rocosas.

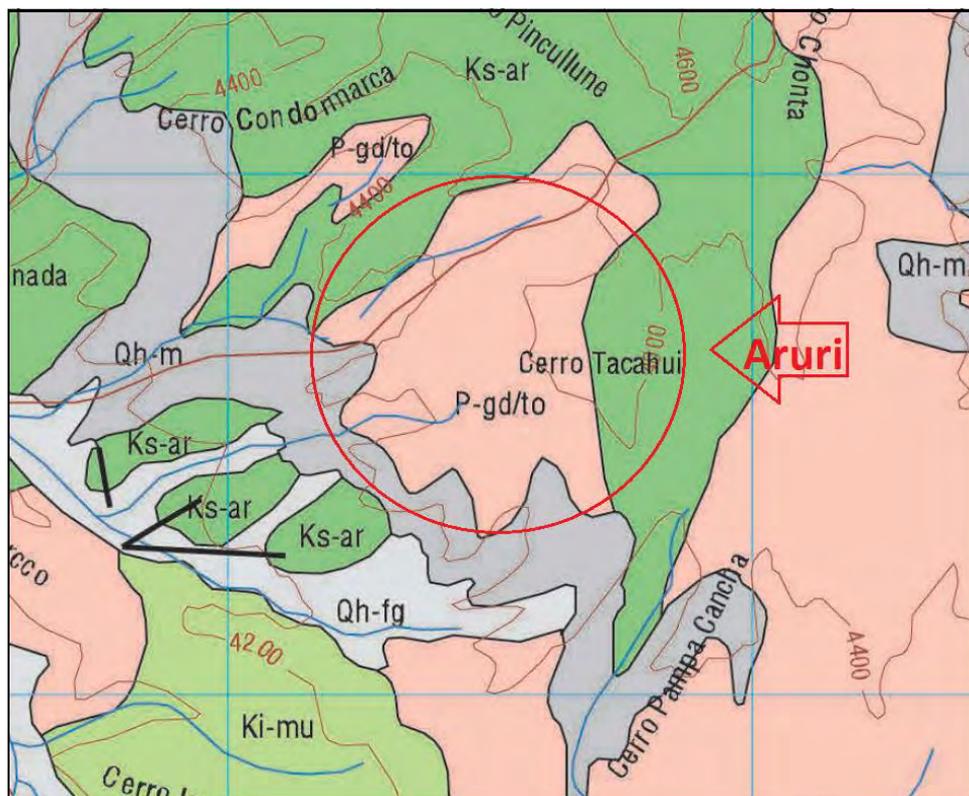


Figura 27. Mapa geológico regional

Fuente: INGEMMET

### **5.2.1 Formación Arcurquina**

Según el boletín N° 52 del INGEMMET, se indica precisiones sobre esta formación indicando:

Esta denominación fue establecida por Jenks W. (1948) y ratificada por Benavides V. (1962) para la secuencia calcárea que sobreyace a los clásticos Murco al noroeste de Arequipa, pero por Abancay Marocco R. (1975) y Pecho V. (1981) emplean el término Ferrobamba para la secuencia calcárea de posición estratigráfica similar a la Formación Arcurquina.

Posteriormente Mendivil S. (1978) usa el término de Arcurquina diferenciando tres miembros para el área de Livitaca, pero aclara que esta unidad debe ser reclasificada, puesto que puede ser dividida en varias unidades con la categoría de formación e integrantes de un grupo, no habiéndose efectuado tal modificación porque no se han realizado las observaciones correspondientes.

En el área de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca se han incluido a todos los afloramientos calcáreos del Cretáceo en una sola unidad litoestratigráfica, que por su igualdad litológica y similar secuencia estratigráfica; se le considera como la prolongación lateral de la Formación Arcurquina, razón por la cual se mantiene dicha denominación.

Los afloramientos cartografiados se hallan al oeste del valle de Apurímac más exactamente al Oeste de la línea conformada por los pueblos de Livitaca, Omacha y Accha, formando cuerpos alargados y unitarios de gran extensión o de reducida área.

Los principales y más representativos afloramientos se encuentran en la mina Katanga hacia el norte pasando por la señal Tiyuno y continúa hasta las cercanías de Accha. Todos los afloramientos citados están rodeados en su mayor parte por el intrusivo de Andahuaylas \_Yauri, razón por la cual las calizas se encuentran recristalizadas, aunque hay áreas en las que se observa la roca fresca como al norte de Capacmarca, o cuando están colindando en rocas sedimentarias.

Morfológicamente, ofrece un paisaje más agreste que las rocas colindantes, constituyendo los lugares de mayor altitud en el área, con frecuencia se han

formado escarpas abruptas y aristas agudas controladas por las capas de estratificación, también se puede apreciar superficies cársticas de aspecto rugoso debido a la acción de la meteorización que ha formado dolinas, cavernas, siendo la caverna de mayor amplitud aquella ubicada en las inmediaciones de Livitaca, con importancia espeleológica reconocida a nivel nacional.

La Formación Arcurquina es una secuencia calcárea de calizas gris a gris oscuras, dolomías en capas medianas, margas y lutitas en porcentaje reducido, constituyendo conjuntos afines que se caracterizan por su composición, textura y secuencia, razones por las cuales Mendivil S. (1978) diferenció tres unidades con categoría de miembros.

La Formación Arcurquina presenta relaciones estratigráficas propias para el área, ya que su posición espacio-temporal constituye un cambio litológico en sentido ecuatorial, así se tiene que en el área de Livitaca cubre a la Formación Chilloroya en contacto normal; mientras que el techo se presenta descubierto, conformando los picos más elevados.

En cuanto al espesor dada la conformación litológica-estructural se estima en unos 350 metros, disminuyendo hacia el Este.

La Formación Arcurquina se correlaciona con las unidades calcáreas del centro y norte del Perú, tales como Chulec, Pariatambo, Pulluicana, Quilquiñán y Cajamarca; a la vez es equivalente del Grupo Moho.

## **5.2.2 Depósitos cuaternarios**

Estos depósitos en las proximidades del área de estudio son mayormente de origen glaciar y escasas áreas de otros tipos de depósitos.

### **5.2.2.1 Depósitos morrenicos y fluvioglaciares**

Esta área que ha sido definida como la faja Intracordillerana ha tenido sus consecuencias en los resultados de los depósitos glaciares, es así que, respecto a este tipo de depósitos, su volumen no es tan considerable comparado con los de las áreas próximas de la cordillera oriental (Sicuani-Ocongate y aún más al Este). Según el INGEMMET resalta esta descripción de la siguiente forma.

Los depósitos glaciares no tienen una representación importante en cuanto a testigos se refiere, respecto a sus características geomorfológicas y paleo relieves pleistocénicos, o algo más antiguo mostrándose por el contrario algunas configuraciones constituidas, en su mayor parte, por restos o simplemente testigos de las acciones glaciares, no así las acumulaciones de sus productos propiamente dichos.

Los restos de glaciaciones cuaternarias han sido encontrados hasta los 3,600 m. de altitud aproximadamente por sus depósitos propiamente dichos o mayormente por las huellas de las acciones glaciares dejadas en diferentes afloramientos, aunque el mayor porcentaje se halla por encima de los 3,900 m. y más aún de los 4,000 m.: pudiéndose corregir un mayor descenso hacia las partes septentrionales con respecto a las meridionales debido posiblemente entre otros factores, a una alimentación ocasionada por variaciones meteorológicas en relación al relieve donde actuaron, jugando un papel muy importante la insolación; pero, de un modo general y en ámbito regional, se aprecia que más hacia el E-NO las huellas de acción glaciar descienden aún por debajo de los 3300 m.

Los depósitos de morrena están compuestos por fragmentos de diferentes dimensiones, dispuestos generalmente en una matriz areno-limo-arcillosa cuya naturaleza de dichos elementos varía de un lugar a otro según la roca madre, presentándose tanto como morrenas laterales, frontales y de fondo.

Los depósitos fluvioglaciares se ofrecen casi siempre caóticamente estratificados y provienen también de la remoción de las mismas morrenas, estando constituidos en forma muy similar a estas, aunque casi siempre con una textura más pequeña. Los glaciares que se considera que han existido y los que aún existen, aunque no en forma permanente en todos los casos, se han diferenciado tres tipos: glaciares de montaña (cerros Cóndor Sencca, Pillune y Tallhua), glaciares de pie de monte (inmediaciones de las lagunas en las faldas del cerro Pincullone) y calotas glaciáricas (de reducida extensión).

### **5.2.3 Rocas ígneas**

Las rocas ígneas constituyen un mayor porcentaje de afloramiento del área de estudio, por lo cual se hará hincapié de estas rocas y su estudio ha sido realizado básicamente en los afloramientos del batolito de Apurímac que se describe a continuación.

#### **5.2.3.1 Batolito de Apurímac**

La demarcación de estudio está conformada en gran parte por afloramientos de rocas intrusivas que corresponden al batolito de Apurímac. Según el INGEMMET sus afloramientos cubren casi el 50% del cuadrángulo de Livitaca y se prolonga por grandes extensiones hacia los cuadrángulos vecinos o aún fuera de ellos, tanto al occidente como hacia el sur.

Por sus componentes mineralógicos estas rocas intrusivas se pueden considerar como granodiorítico-tonalítico, por tener esta composición preponderante, sin embargo, existen lugares donde hay cambios graduales con mayor presencia o ausencia de cuarzo.

En muestras de roca fresca las rocas son leucócratas y con abundantes concentraciones de los minerales máficos en algunas partes, que destacan por su oscuridad. También, en ciertos lugares destacan las enclavas dioríticas con tamaños muy variables que puedan llegar hasta más de un metro. Una composición representativa de las facies más abundantes se ha clasificado como granodiorita leucócrata, de grano grueso, cuyos minerales observados son plagioclasas, ortosa, cuarzo, hornblenda y biotita en orden de abundancia. También existen magnetita y por alteración clorita y epidota. Sus texturas son faneríticas isotrópicas. Geometría y estructura de la roca:

Estructuralmente, en el área circundante a la lagunilla de Aruri, observadas de lejos semejan una pseudo estratificación por el fuerte grado de diaclasamiento.

Por la presencia de calizas de la formación Arcurquina en contacto con rocas intrusivas del batolito afloran zonas con alteraciones de mineralización y zonas de metamorfismo de contacto derivado de la acción de las intrusiones.

En algunos lugares se ha observado una aureola de contacto de varios cientos de metros, y en otros no se ha encontrado ningún vestigio. Los mayores efectos corresponden a las zonas de contacto del intrusivo con los estratos calcáreos de la Formación Arcurquina, donde se puede apreciar un “skarn” ligado a yacimientos de fierro.

Por las consideraciones estructurales en el cual la Intrusión corta a los grupos Murco y Arcurquina, relaciones de campo que permiten indicar una edad comprendida del Cretáceo superior – Oligoceno.

#### **5.2.3.1.1 Roca intacta**

Se trata de rocas intrusivas (granodiorita, tonalita, monzogranito) sin alteración, en el que se distingue claramente los minerales constitutivos, que se encuentra aflorando y en profundidad.

#### **5.2.3.1.2 Roca alterada**

Las rocas intactas con cierto grado de alteración superficial sin que haya perdido sus propiedades físicas mecánicas (resistencia, dureza), sin embargo, con cierto grado de fracturamiento, sin haber sido afectado por la meteorización química, sino solo mecánica de fracturamiento y disgregación. Estos se observan a decenas de centímetros de la roca intacta.

#### **5.2.3.1.3 Saprolito**

Saprolito alterado o suelo residual, corresponde a la alteración física mecánica y química, afectada por ambientes de temperaturas bajas y cambiantes y por lluvias abundantes, la meteorización de los materiales es muy fuerte, caracterizándose por la descomposición rápida de feldespatos y minerales ferromagnesianos, la concentración de óxidos de hierro y aluminio y la remoción de sílice y de las bases  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ , y  $\text{MgO}$  (Gidigasú, 1972). Haciendo que las rocas intactas pierdan sus propiedades físicas y mecánicas, muchas veces formando arcillas (caolín y montmorillonita), en pequeñas cantidades en la zona de la lagunas, sin embargo en los alrededores se tornan más intensas.

### **5.2.3.1.3 Suelo Residual**

Se considera al material de saprolito que va tomando características de un suelo orgánico, es decir puede tener dentro de su composición elementos orgánicos NPK, que permita el desarrollo de vegetación dentro de este suelo alterado.

### **5.2.3.2 Depósitos orgánicos perma húmedos**

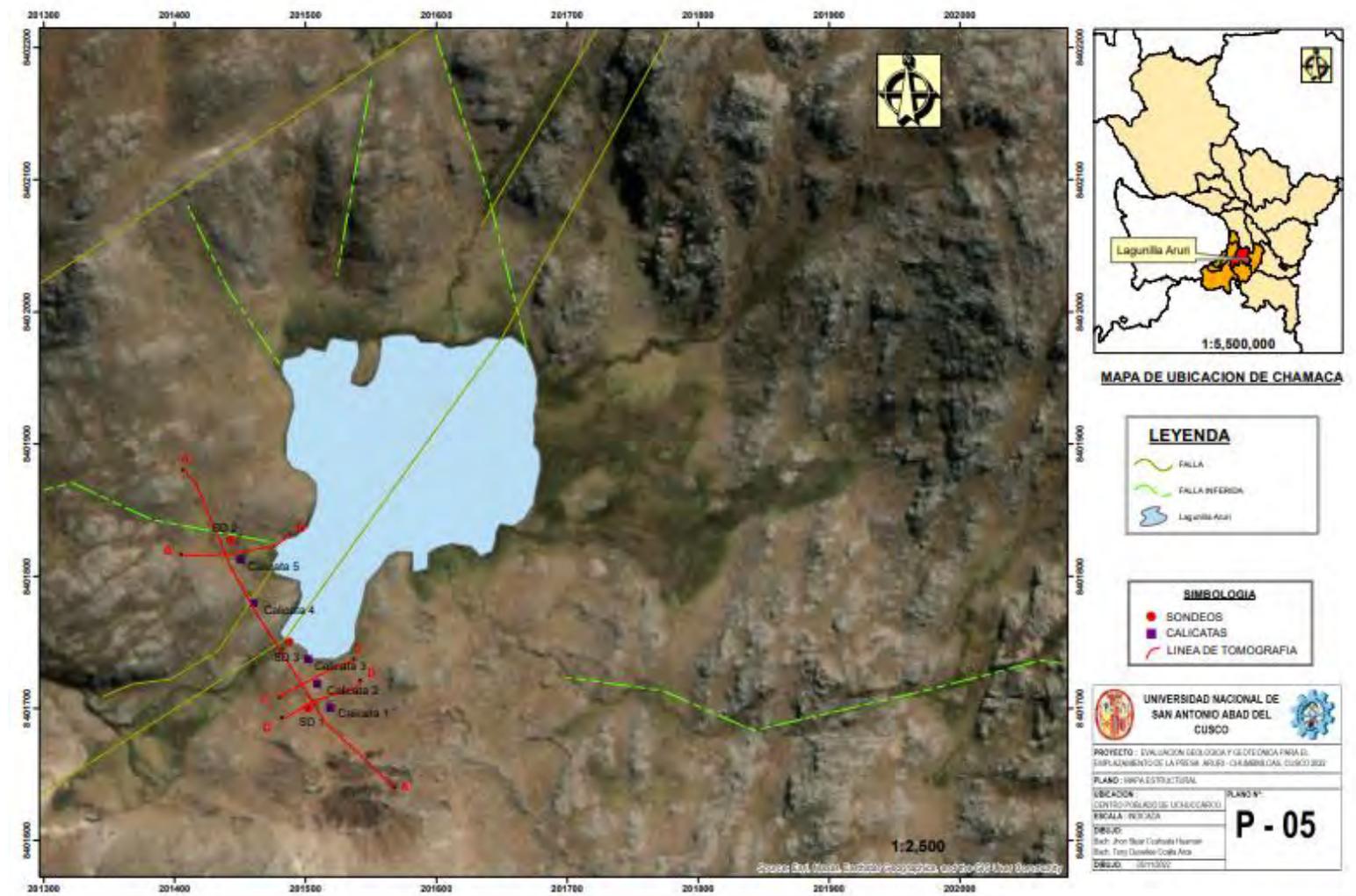
Son depósitos de materia orgánica que se han ido acumulando por la humedad constante y se encuentran en los alrededores de la lagunilla de Aruri y hacia las zonas más elevadas del nivel de la lagunilla, dado los sistemas de fallas locales y diaclasamiento existente en las rocas intrusivas. Estos depósitos tienen buena capacidad de retención de agua y buena conductividad hidráulica (al estado de semi descompuestos).

Se observan varios Niveles de depósitos orgánicos fibrosos con tonalidades negruzcas, castaño rojizo oscuro a negro se ha estimado en espesores de escala decimétrica a métrica, en estado seco liviano o "fofo" y más pesado en estado húmedo muy poroso con bastante raicillas (fibras).

### **5.2.3.3 Depósitos de caídas de piedras**

Consisten de bloques, bolones y fragmentos de roca de tamaño heterogéneo que se encuentran en las áreas de cambio de pendiente en las bases de los cerros, los bloques pueden alcanzar tamaños entre 1.5 a 2m entre los más grandes y entre 0.30m y 0.60 m de los de menor tamaño.

Este tipo de depósitos se encuentran en la zona sur este de la laguna Aruri.



28. Mapa estructural

## 5.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

### 5.3.1 Geología estructural

Estructuralmente en el área de estudio se ha realizado el cartografiado en base a observaciones de campo y observaciones de constatación en fotos satelitales de Google earth y SAS planet, así como mediciones de las estructuras lineales distribuidos en siete estaciones geomecánicas.

### 5.3.2 Sistema de diaclasas

Para determinar los sistemas de fallas y diaclasas se ha realizado mediciones del dip/ dip direction de estas estructuras, así como se ha observado sus características estructurales para determinar la valoración del macizo rocoso. En función a dichas mediciones se ha establecido los siguientes sistemas de fallas y diaclasas.

#### 5.3.2.1 Sistema NNE –SSW.

Sistema entre  $27^{\circ}$  NE A  $37^{\circ}$  NE, con buzamientos al Sur oeste, con ángulos desde los  $75^{\circ}$  hasta lo  $90^{\circ}$ , es decir se muestra una variabilidad de inclinaciones.

Este sistema se evidencia en las estaciones geomecánicas 2,3, y 7 como sistemas secundarios también tiene estas tendencias la estación geomecánica 6.

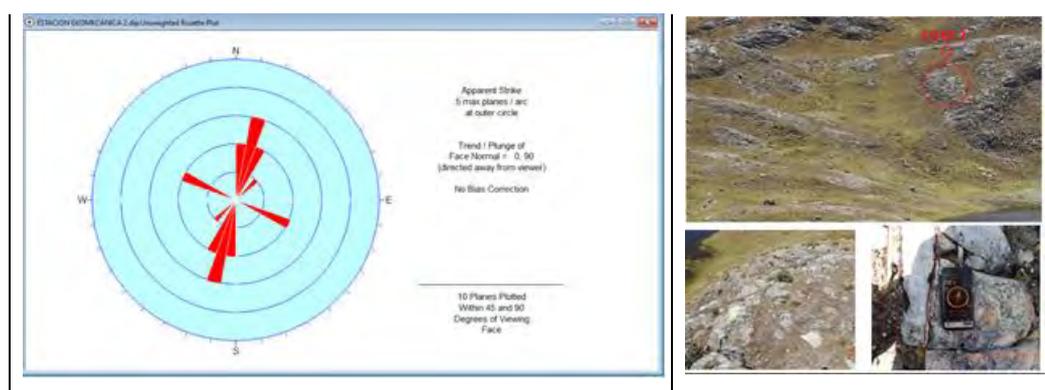


Figura 29. Sistema NNE-SSW en las estaciones 2, 3 y 7

#### 5.3.2.2 Sistema WNW –ESE.

Sistema  $100^{\circ}$  a  $120^{\circ}$  NE, con buzamientos hacia el sur-oeste, con ángulos entre  $68^{\circ}$  y  $88^{\circ}$ , es decir son de alto ángulo. Este sistema se evidencia en la estación geomecánica 4.

y como sistemas secundarios también tiene estas tendencias la estación geomecanica 2, 3, y 7.

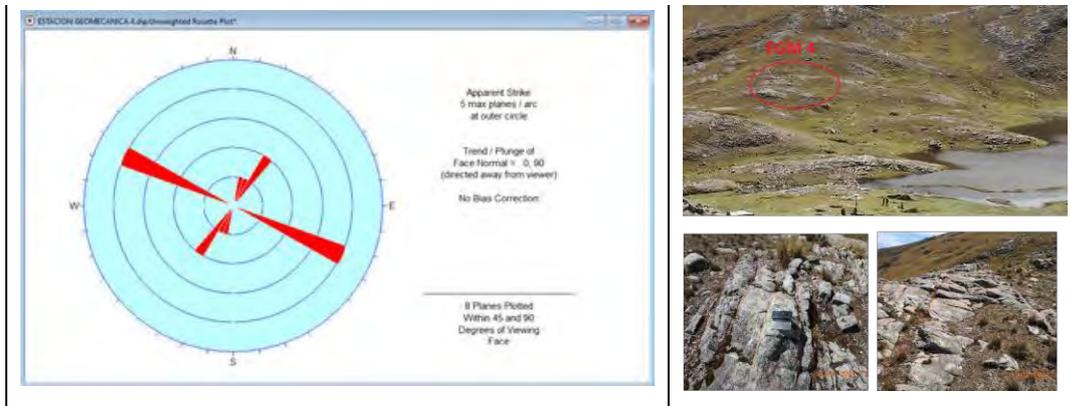


Figura 30. Sistema WNW-ESE en la estación 4

### 5.3.2.3 Sistema NNW –SSW

Sistema entre  $140^{\circ}$  NE a  $160^{\circ}$  NE, con buzamientos de  $80^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  hacia el sur oeste y a veces al nor este, con ángulos considerados de alto ángulo. y un sistema secundario WNW-ESE con ángulos de a baja a media inclinación.

Este sistema se evidencia en la estación geomecanica 5 y está asociado a otros sistemas de NE-SW.

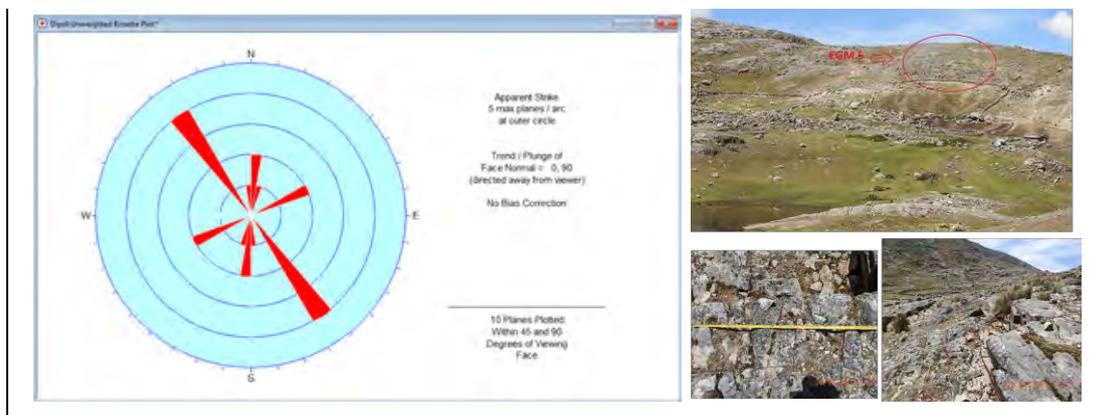


Figura 31. Sistema NNW-SSE en la estación 5

### 5.3.2.4 Sistema NE –SW

Sistema con medidas entre  $40^{\circ}$  y  $45^{\circ}$  NE con buzamientos de alto ángulo entre  $70^{\circ}$  y  $80^{\circ}$  al sur este y al nor oeste en algunos casos. Este sistema se evidencia en la estación geomecanica 1 y está asociado a otros sistemas de NNE-SSW.

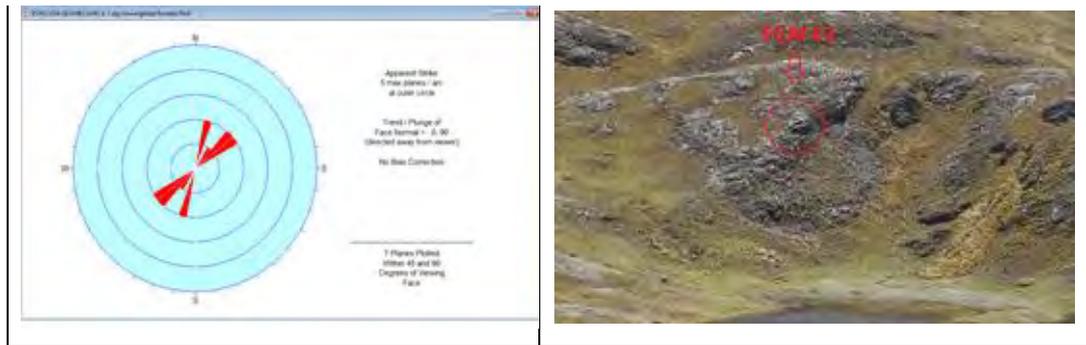


Figura 32. Sistema NE-SW en las estaciones 1

### 5.3.2.5 Sistema NW –SE

Sistema con medidas entre  $200^{\circ}$  y  $250^{\circ}$  NE con buzamientos de alto ángulo entre  $70$  y  $80^{\circ}$  al nor este y al sur oeste en algunos casos. Este sistema se evidencia en la estación geomecánica 6, es decir en la margen derecha del riachuelo a la altura del eje, y está asociado al sistema NNE-SSW.

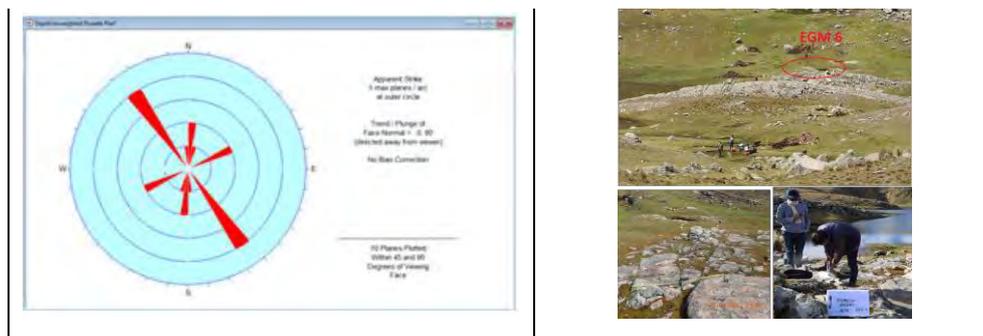


Figura 33. Sistema NW-SE en la estación 6.

### 5.3.3 Sistema de fallas

Las fallas están asociadas a los sistemas de diaclasas, por tanto, las fallas que han sido activas durante el cretácico superior y a inicios del cenozoico, e inactivas en la actualidad.



*Figura 34. El sistema de fallas asociado a sistema de diaclasas*

En la actualidad las fallas asociadas a sistemas de diaclasas han dejado diferentes grados de diaclasamiento en ciertos sectores de la laguna Aruri con una dirección preferente NNE a SSW y casi Norte sur, esta dirección ha favorecido a la erosión glacial y que sirve en la actualidad como acuíferos y con flujos subterráneos de los macizos rocosos laterales de la laguna Aruri.

## CAP VI: HIDROLOGIA Y GEOHIDROLOGIA

### 6.1 Generalidades

La siguiente información cartográfica se utiliza para la posterior identificación y definición de los límites de las cuencas hidrográficas, como la caracterización de parámetros físicos y geográficos, y para otros fines cartográficos:

- La Cartas Nacionales a escala 1/100,000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). INGEMMET (1994) Geología de los cuadrángulos de Cusco y Iquitos, Hojas: 28-S y 29-S.
- De igual forma se usó imagen RASTER extraídas de la NASA ASTGTM2\_S15G072\_DEM en formato TIF, imágenes satelitales extraídas de SASPLANET 2016 formato TIF; imágenes satelitales RAPID EYE \_ 2012 GOT; mapas de levantamiento topográfico en formato DWG del sector de ARURI.

#### 6.1.1 Ubicación Hidrográfica de la Cuenca Aruri

Por la posición hidrológica de la Cuenca de Aruri, denotada por el código, se ha seguido la metodología propuesta el Ing Otto Pfaffsterer del año 1989; cuya codificación es de carácter internacional. El Perú mediante Resolución Suprema N° 033-2008 del Ministerio de Agricultura, dando las atribuciones de su aplicación a nivel Nacional a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), oficializo su uso para la codificación de unidades hidrográficas, permitiendo jerarquizar las unidades de drenaje basados en la morfología de la superficie de la cuenca de drenaje.

**Tabla 17.** Ubicación hidrográfica de la Cuenca Aruri

Nivel	Código	Unidad Hidrográfica	Nombre
1	4	Cuenca	Río Amazonas
2	49	Intercuenca	Región Hidrográfica 49
3	499	Intercuenca	Río Ucayali
4	4999	Intercuenca	Alto Ucayali
5	49996	Cuenca	Río Santo Tomás
6	499968	Cuenca	Río Senjahuyajo
Cuenca Colectora			Huisillo

## 6.2 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

### 6.2.1 Elementos de área y superficie

#### 1. Área de cuenca (Ac):

Esta fue delimitada sobre un mosaico de imagen satélite, siguiendo las umbres de divortium aquarum, obteniendo el resultado de 0.55 km<sup>2</sup> de área.

#### 2. Perímetro de la cuenca (P):

El perímetro de la cuenca, fue medida automáticamente a través del sistema ArcGIS de todo del borde de área delimitada anteriormente, obteniendo una longitud de 3.33Km.

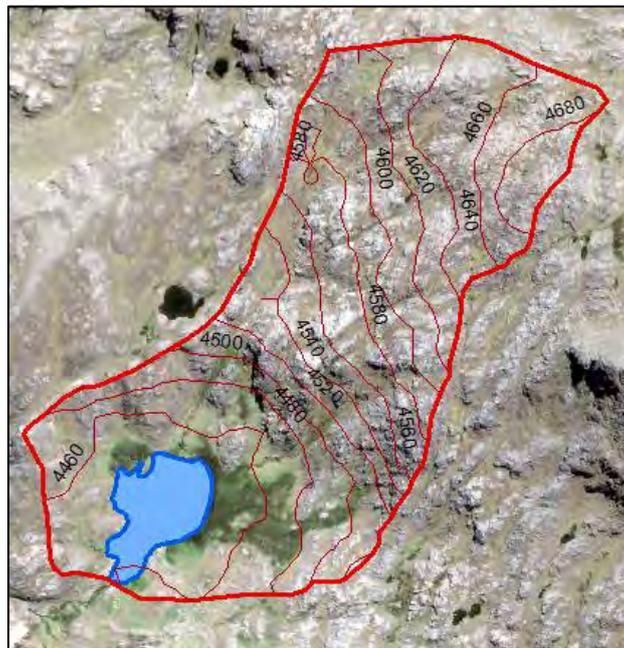


Figura 35. Laguna Aruri y Superficie de cuenca de aporte hídrico

### 6.1.3 Elementos de relieve

#### 1. Pendiente media de la cuenca (Ip)

De acuerdo al criterio de Alvord, la pendiente de la cuenca se calcula a base del cociente del producto de la longitud de las curvas de nivel que se encuentran dentro de la cuenca por el desnivel existente entre las mismas y el área de la cuenca; habiéndose obtenido un  $I_p = 214 \%$ , que muestra que la cuenca es un terreno con pendiente baja a moderada.

Según el método de áreas parciales, nos da un Índice de pendiente de  $I_p = 14 \%$

## 2. Altitud media de la cuenca

Este parámetro, se determina a través de dos métodos, el primero se calcula por el método de áreas parciales, el cual nos señala que la cuenca tiene una altitud media de 4549 msnm. El segundo se extrae de la curva hipsométrica denominada mediana de la altitud, el cual representa la altitud al 50 % de superficie, dándonos como resultados que la mediana de la altitud es de 4545 msnm. Ambos métodos casi son similares.

### 6.1.4 Elementos de Forma de la cuenca

Para determinar este parámetro, existen varios criterios, sin embargo, uno de los métodos más comúnmente utilizados es el de coeficiente de compacidad  $K_c$  o de Gravelius

#### 1. Coeficiente de compacidad ( $K_c$ )

Este método, compara la relación entre el perímetro de la cuenca  $P$  y la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca". A través de la formula siguiente:

$$K_c = 0.2821 * \frac{P}{\sqrt{Ac}}$$

Obteniendo para nuestra zona de estudio, un valor de  $KC = 1.28$ , de acuerdo a su interpretación, éste se encuentra entre el intervalo 1.25 a 1.5, que corresponde a una cuenca de forma oval redonda a oval oblonga, con susceptibilidad media a sufrir crecidas súbitas.

#### 2. Curva Hipsométrica

Representa el relieve medio de una cuenca a través de su grado de evolución (Mejía, 2006).

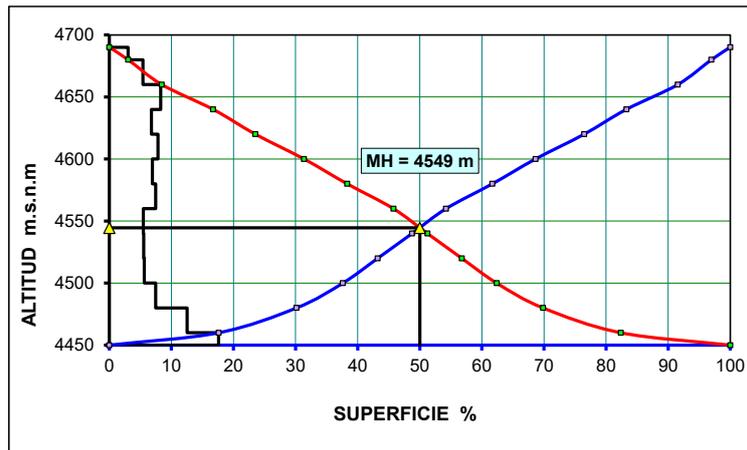


Figura 36. Curva Hipsométrica cuenca Aruri

Esta representación de curva Hipsométrica indica que la cuenca Aruri es una cuenca inmadura, en proceso de búsqueda de su estabilidad.

### 3. Polígono de frecuencia de altitudes.

Es una representación gráfica en el que nos indica las elevaciones que más prevalecen en área en la cuenca,

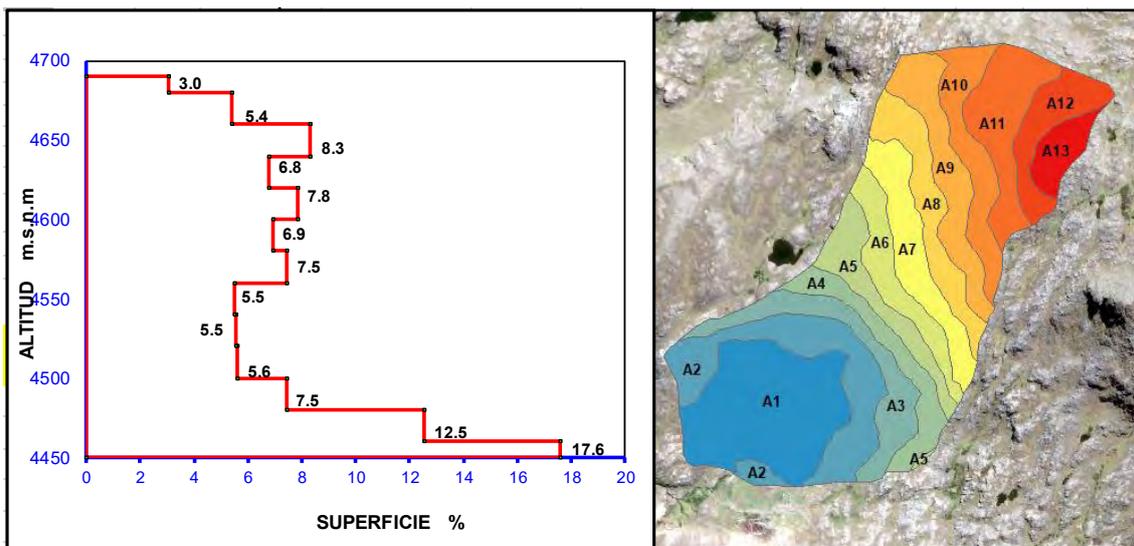


Figura 37. Polígono de frecuencia de altitudes y mapa orográfico

La superficie entre las cotas 4450 y 4460 msnm, ocupan el 17.6 % del área total de la cuenca, y es el sector en el cual se encuentra emplazado la laguna Aruri.

## 6.4 Parámetros hidro morfológicos

### 1. Sistema de drenaje:

Este muestra un patrón dendrítico sub paralelo, controlado por el nivel de competencia de la roca de basamento.

## **2. Longitud de drenaje Principal.**

De acuerdo al proceso de digitalización de la red de drenaje realizado sobre el mosaico de imagen satélite, esta indica una longitud de drenaje principal de LDP = 1000 m (drenaje D-1)

## **3. Número de Orden.**

señala el grado de ramificación de los drenajes en la cuenca; siguiendo el criterio de Strahler (1952), la cuenca de Aruri, posee un número de orden de drenaje de nivel 3.

## **4. Densidad de Drenaje (Dd)**

expresa como la relación entre la longitud total de canales o drenajes por unidad de área,. (Villón, 2002)

$$Dd = \frac{Ld}{Ac}$$

Reemplazando valores la cuenca Aruri tiene una densidad de drenaje de 3.82 km/km<sup>2</sup>, representa un área regularmente drenada con respuesta hidrológica relativamente rápida.

## **5. Pendiente del cauce principal**

A cerca de la pendiente del cauce principal (LCP), viene a ser el cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los puntos extremos del tramo del río principal, entre la longitud del tramo. (Villón, 2002)

$$S = \frac{(Cota\ max - Cota\ min)}{LCP}$$

De acuerdo a esta relación, se tiene que la pendiente del curso del río principal es de S = 20 %.

## **6.6 Hidrología superficial**

La cuenca de la laguna Aruri y alrededores, no presentan estación fija o móvil que registre información meteorológica, ni hidrométrica, razón por lo cual hemos recurrido a información meteorológica de estaciones relativamente cerca o con

cierto nivel de semejanza regional, para finalmente a través del uso de programas convencionales varios se procedió a determinar la consistencia o no de esta información, su corecico correspondiente, regionalizar la información a la zona de estudio, para finalmente obtener los caudales máximos que ingresan a la laguna Aruri desde su área de aporte hídrico.

### 6.6.1 Información hidrometeorológica.

La información hidrometeorológica empleada en este estudio corresponde a los registros de la red de estaciones Hidrológicas, Meteorológicas y pluviométricas a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), y la utilización del producto grillado Cusco, que registran los siguientes parámetros meteorológicos: Temperatura máxima, media y mínima , Precipitación, Humedad relativa, Evaporación, Horas y decimas de sol, velocidad del viento de estaciones vecinas como: Santo Tomas, Yauri, Sicuani y Tambobamba.

*Tabla 18. Información meteorológica utilizada.*

ESTACION	TIPO	UBICACIÓN			LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
		Dpto.	Provincia	Distrito	(°,')	(°,')	(msnm)
SANTO TOMAS	CO	CUSCO	CHUMBIVILCAS	SANTO TOMAS	14° 27' 00"	72° 6' 00"	3,658
TAMBOBAMBA	CO-884	APURIMAC	COTABAMBAS	TAMBOBAMBA	13° 56' 41.7"	72° 10' 30.8"	3,275
SICUANI	CO-684	CUSCO	CANCHIS	SICUANI	13°59' 21.24"	72° 17' 53.95"	3,500
YAURI		CUSCO	ESPINAR	YAURI			3,927
<b>AREA DE TRABAJO</b>							
LAGUNA ARURI		CUSCO	CUMBIVILCAS	CHAMACA	14° 26' 19.18"	71° 46' 6.56"	4,460

### 6.6.2 Precipitación.

El clima de la región de la cuenca alta del río Apurimac presenta variaciones de precipitación. En la tabla 20 se muestra el promedio multimensual de los años 2003 a 2018 de la precipitación total mensual de las estaciones pluviométricas y meteorológicas. En la figura 39 se presenta la variación de precipitación en las estaciones la cual nos muestra las características estacionales de la precipitación en la región.

Las estaciones muestran un comportamiento estacional con tiempos de lluvia, meses de transición e invierno los cuales se presentan.

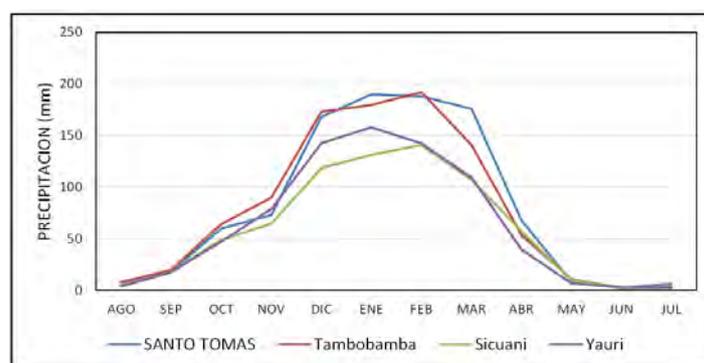
En los tiempos de lluvias de mayor cantidad de precipitación comienza en los mes de Diciembre a Marzo, en todo este periodo cae el 73.12% de la precipitación anual, por ello se considera el periodo húmedo.

Los meses transitorios o sub húmedo, corresponden a Abril y Noviembre, en ello cae el 15.60% de la precipitación anual.

Y el período seco (invierno), comprende los meses de mayo a octubre, las precipitaciones con sus mínimos valores llegan a ser del 11.28% en promedio de las estaciones, de las precipitaciones totales anuales.

**Tabla 19.** Variación mensual de la precipitación media.

ESTACION	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
Santo Tomas	8.15	17.67	59.97	72.92	168.08	189.85	188.05	176.01	67.59	8.45	2.27	6.47
Tambobamba	7.61	19.64	64.20	89.76	173.05	179.47	191.98	140.77	53.52	10.74	2.21	3.12
Sicuani	4.90	17.64	49.28	64.62	118.57	131.19	140.61	107.05	57.34	9.79	2.32	3.88
Yauri	3.80	17.33	47.32	78.90	142.63	157.97	142.45	109.43	39.61	6.73	2.99	2.68



**Figura 38.** Variación Anual de la precipitación promedio multimensual (2003 – 2018).

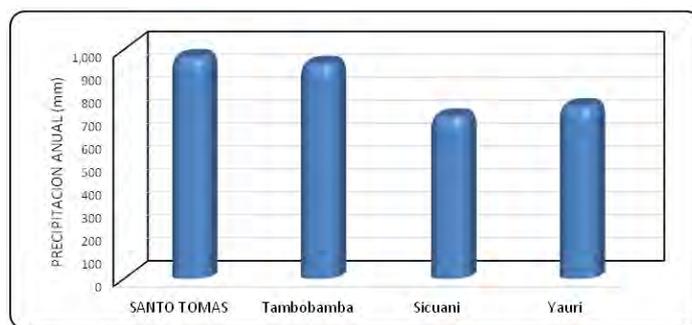


Figura 39. Variación Anual de la precipitación media red de estaciones

**Tabla 20. Registro De Datos Pluviométricos De La Estación Yauri, Libre De Saltos Y Tendencias**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2003	171.10	230.00	193.30	36.90	5.70	0.80	0.00	5.50	34.80	11.10	73.40	129.20	891.80
2004	215.70	166.50	84.50	48.40	0.00	1.80	10.70	17.70	25.60	25.70	56.70	105.40	758.70
2005	114.30	176.50	123.20	43.10	1.10	<b>1.51</b>	0.00	4.80	5.60	55.90	41.90	162.20	730.11
2006	295.00	119.90	175.60	45.80	1.40	5.40	0.00	9.70	18.60	59.10	64.10	122.60	917.20
2007	129.70	133.60	108.10	58.60	4.60	0.00	3.40	0.00	16.30	36.30	43.50	117.70	651.80
2008	197.90	107.50	72.50	1.20	4.90	5.80	0.00	0.00	0.20	43.40	24.80	103.30	561.50
2009	102.00	164.60	102.20	44.50	5.50	0.00	1.40	0.00	2.00	43.80	172.60	133.90	772.50
2010	172.60	165.70	114.90	32.00	13.60	0.00	0.00	0.00	1.70	16.20	36.00	176.70	729.40
2011	127.00	248.20	138.80	73.70	10.00	0.00	1.90	<b>3.09</b>	36.10	16.90	74.90	137.60	868.19
2012	171.50	266.10	191.40	76.40	11.40	0.00	0.10	0.00	13.70	31.30	76.20	<b>148.40</b>	986.50
2013	169.00	165.10	81.60	8.60	2.70	14.40	3.40	20.10	0.00	28.60	53.00	156.10	702.60
2014	142.80	113.10	92.30	21.20	9.10	0.00	5.50	3.50	41.40	99.70	22.20	189.20	740.00
2015	184.20	112.70	117.30	131.40	13.70	0.50	1.50	17.30	20.60	30.10	26.40	142.60	798.30
2016	112.10	168.20	64.60	112.00	1.70	0.10	9.20	3.20	4.70	40.90	20.50	91.60	628.80
2017	168.00	<b>162.86</b>	168.10	68.40	22.60	0.10	3.20	0.00	12.10	57.70	<b>53.03</b>	<b>135.52</b>	851.61
2018	160.70	194.60	161.80	41.10	4.20	5.60	0.00	12.70	6.20	78.50	26.80	167.80	860.00

Cabe indicar que de la misma forma como se ha analizado la información de la estación de Yauri, se ha hecho similarmente con la información de las demás estaciones (Santo Tomás, Sicuani y Tambobamba).

### Generación de la Precipitación Media De La Cuenca

Para generar información meteorológica a la zona de estudio, se ha utilizado la técnica de la determinación (exponencial, regresión lineal, logarítmico,

polinómica etc), entre dos variables (Precipitación y Altitud), el cual, nos ha permitido predecir sus valores de  $P=f(A)$  con una cierta probabilidad de aproximación. En el análisis de la precipitación en relación a la altitud nos dirige a generar precipitaciones en zonas y/o puntos deseados con una determinada altitud. En el cuadro y grafico siguiente se puede ver las estaciones utilizadas en el análisis regional, donde muestran las constantes y el coeficiente de correlación (r) obtenido.

**Tabla 21.** Las Estaciones Utilizadas Para El Proceso De Regionalización.

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD MEDIA	PRECIPITACION MEDIA ANUAL	PRECIPITACION MEDIA ANUAL CORREGIDA
	msnm	mm	mm
SANTO TOMAS	3658	965.5	819.01
TAMBOBAMBA	3275	936.1	889.25
SICUANI	3500	707.2	846.36
YAURI	3927	751.84	776.89
SUMA	14,360	3,360.6	3,331.51
n	4	4	4
PROMEDIO	3,590.00	840.1	832.88

A través de esta ecuación se obtiene la regionalización anual de la precipitación que para el caso nuestro se resume en la tabla siguiente:

**Tabla 22.** Regionalización De La Precipitación Anual Para El Sector De La Laguna Aruri

	ALTURA (msnm)	PRECIPITACIÓN (mm)
<b>ALTITUD MEDIA LAG, ARURI</b>	<b>4460</b>	<b>706.70</b>

Así mismo, en las gráficas siguientes se expresa el comportamiento regional de la precipitación de

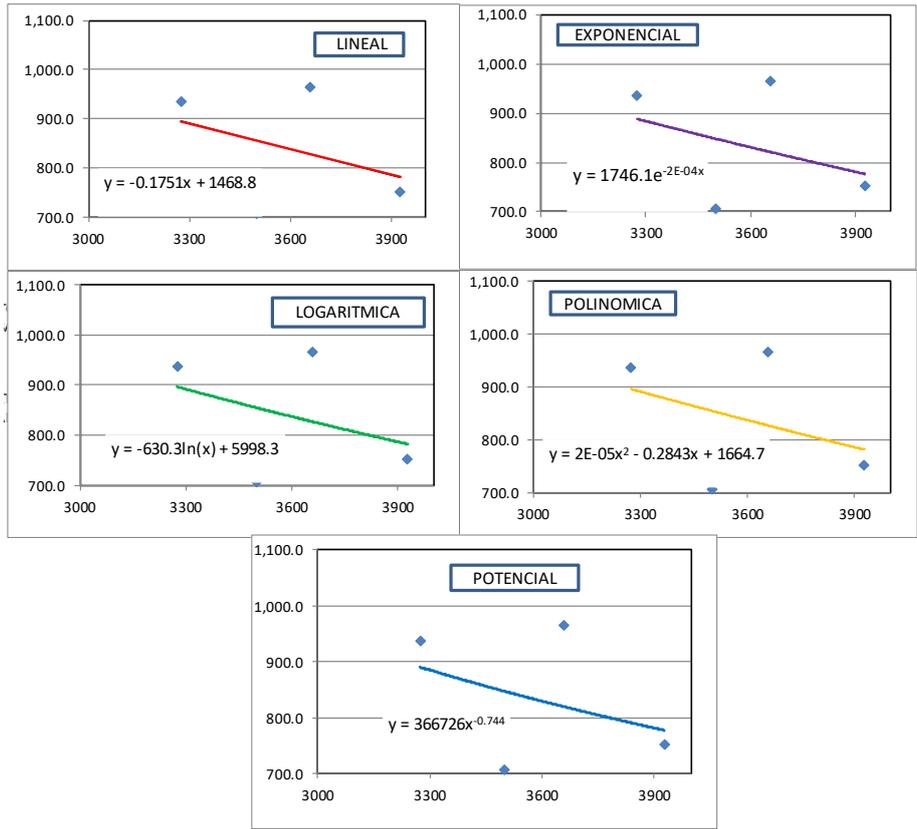


Figura 40. Líneas de tendencia regional precipitación anual

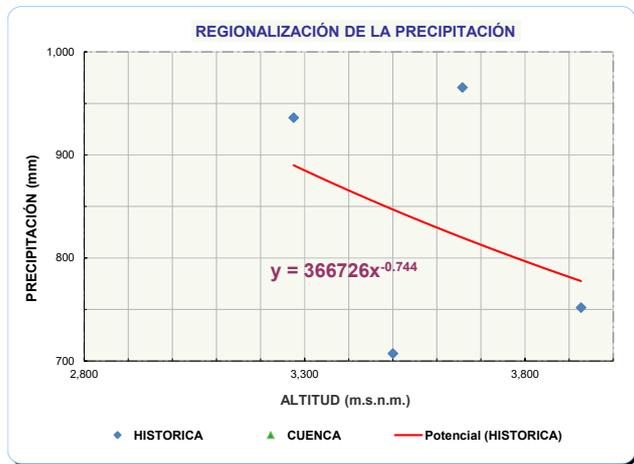


Figura 41. Comportamiento regional de la precipitación anual por regresión potencial

De la gráfica anterior analizada se puede advertir que la precipitación en esta zona a nivel regional tiene un comportamiento inversamente proporcional es decir a mayor altitud menos precipitación.

Tabla 23. Coeficientes para generación de precipitación mensual

ESTACION	ALTITUD	COORDENADAS UTM		PRECIPITACION HISTORICA (mm/año)	PRECIPITACION CORREGIDA (mm/año)	DIST. HORIZ. CUENCA- ESTACION d (m)	DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE PUNTO INTERES - ESTACIONES h <sub>im</sub>	FACTOR DE PROPORCIONALIDAD DE PRECIPITACION		FACTOR DE INFLUENCIA POR TRANSPORTE DE PRECIPITACION POR ALTITUD	FACTORES DE INFLUENCIA POR DISTANCIA Y ALTITUD DE ESTACIONES A PUNTO INTEREZ						FACTOR DE INFLUENCIA TOTAL F <sub>i</sub> = F <sub>d</sub> · F <sub>alt</sub>
		N° Ecuacion	5					Proporcion Inversa Distancia			Proporcion Inversa diferencia de alturas		FACTOR INFLUENCIA POR DIST. Y ALTITUD F <sub>alt</sub> = (F <sub>d</sub> + F <sub>alt</sub> )/2				
								F <sub>d</sub> = Σ(d <sub>i</sub> )/d	F <sub>alt</sub> = Σ(h <sub>i</sub> )/h <sub>i</sub>		F <sub>1</sub> = Σ(h <sub>i</sub> )/h <sub>i</sub>	F <sub>2</sub> = Σ(h <sub>i</sub> )/h <sub>i</sub>					
SANTO TOMAS	3,658.00	812,671.94	8,400,529.24	965.47	819.01	611,183.57	802.00			0.732	2.27	0.0608	4.3392	0.2489	0.1549	0.113	
TAMBOBAMBA	3,275.00	805,232.51	8,456,551.30	936.09	889.25	606,207.31	1,185.00	Constantes necesarias para extrapolar la precipitacion: a = 1,345.2 b = 0,00005 c =	ERR	0.755	2.29	0.0613	2.9367	0.1685	0.1149	0.087	
SICUANI	3,500.00	191,804.81	8,476,253.81	707.18	846.36	74,941.29	960.00			0.999	18.54	0.4961	3.6250	0.2080	0.3521	0.352	
YAURI	3,927.00	188,804.68	8,498,518.37	751.84	776.89	97,406.91	533.00			0.940	14.27	0.3817	6.5291	0.3746	0.3781	0.355	
					Σ	1,389,739.08	3,480.00					37.38	1.00	17.43	1.0000	1.0000	0.907

En base a estos cálculos se tiene la precipitación anual para la zona de la Laguna Aruri

**Tabla 24. Precipitación Anual Para La Zona De La Laguna Aruri**

	ALTITUD	COORDENADAS UTM		PRECIPITACIÓN HISTÓRICA
		X	Y	
<b>LAG. ARURI</b>	4460	201490	8,401,941	706.7

**Tabla 25. Registro De Precipitación Regionalizada De La Laguna Aruri**

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL - LAGUNA ARURI (mm)														
Sect. ARURI		Latitud :		14° 26' 19.18"		S		Departamento :		CUSCO				
		Longitud :		71° 46' 6.56"		W		Provincia :		CUMBIVILCAS				
		Altitud :		4,460		msnm		Distrito :		CHAMACA				
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	2,003	143.9	141.1	148.6	50.2	9.9	3.7	0.0	9.7	6.9	43.9	33.0	134.1	725.0
2	2,004	162.8	187.0	70.8	31.6	9.2	7.4	10.4	8.6	37.1	44.8	71.8	142.8	784.2
3	2,005	92.7	135.2	112.1	35.8	2.3	0.0	2.0	1.3	4.5	48.8	76.4	104.6	615.7
4	2,006	177.0	130.8	112.0	89.8	1.2	5.3	0.0	7.7	10.8	45.3	88.0	106.7	774.5
5	2,007	135.8	83.8	163.6	42.2	3.6	0.0	5.0	0.0	10.0	42.2	80.9	111.6	678.8
6	2,008	141.8	101.1	96.8	19.6	11.5	2.3	0.2	1.6	14.4	67.9	58.6	133.7	649.5
7	2,009	121.6	128.3	86.2	37.6	5.2	0.0	5.0	0.5	9.5	28.8	156.7	125.0	704.3
8	2,010	209.1	119.7	108.3	44.2	8.5	0.0	0.1	4.2	2.7	49.4	49.3	138.6	734.1
9	2,011	100.1	159.9	150.1	77.3	7.4	2.0	3.9	4.9	41.9	38.6	48.2	137.6	771.9
10	2,012	133.8	179.2	113.8	43.9	1.0	2.9	1.0	0.0	20.1	34.4	78.9	168.4	777.3
11	2,013	141.3	158.1	82.4	28.8	3.4	6.5	0.9	12.2	7.0	59.3	70.6	161.0	731.4
12	2,014	165.1	120.3	71.8	38.6	8.1	0.0	1.6	3.3	20.6	45.2	27.0	148.8	650.5
13	2,015	159.4	98.9	109.5	56.6	9.7	1.0	6.2	8.2	19.3	32.1	63.1	122.2	686.2
14	2,016	86.8	192.6	61.4	47.0	3.3	0.6	3.1	5.0	13.2	59.4	38.8	78.7	589.9
15	2,017	133.1	121.5	136.9	46.9	26.6	0.7	2.1	3.8	23.0	50.2	58.0	110.6	713.2

16	2,018	126.1	151.8	115.4	54.8	12.7	4.8	11.6	3.6	16.2	54.1	70.1	99.3	720.6
N° Datos	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
<b>Media</b>	<b>139.4</b>	<b>138.1</b>	<b>108.7</b>	<b>46.6</b>	<b>7.7</b>	<b>2.3</b>	<b>3.3</b>	<b>4.7</b>	<b>16.1</b>	<b>46.5</b>	<b>66.8</b>	<b>126.5</b>	<b>706.70</b>	
Desv. Estándar	31.61	31.69	30.08	17.43	6.26	2.51	3.59	3.70	10.96	10.43	29.81	23.78	58.51	
Coef. Variación	0.23	0.23	0.28	0.37	0.81	1.08	1.08	0.79	0.68	0.22	0.45	0.19	0.08	
Prec. Max.	209.1	192.6	163.6	89.8	26.6	7.4	11.6	12.2	41.9	67.9	156.7	168.4	784.2	
Prec. Min.	86.8	83.8	61.4	19.6	1.0	0.0	0.0	0.0	2.7	28.8	27.0	78.7	589.9	
<b>Prec. 75% perst</b>	<b>118.08</b>	<b>116.70</b>	<b>88.44</b>	<b>34.80</b>	<b>3.51</b>	<b>0.63</b>	<b>0.90</b>	<b>2.17</b>	<b>8.68</b>	<b>39.49</b>	<b>46.73</b>	<b>110.44</b>	<b>570.56</b>	

En el cuadro siguiente se resumen los valores de precipitación media mensual para la zona de estudio:

**Tabla 26. Resumen de precipitaciones media mensual**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Media	139.4	138.1	108.7	46.6	7.7	2.3	3.3	4.7	16.1	46.5	66.8	126.5	706.70

### 6.6.3 Temperatura media mensual

Para identificar la temperatura de la zona de estudio se ha recurrido al proceso de regionalización por el método de regresión lineal.

**Tabla 27. Temperatura Media Mensual °C**

ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / TEMPERATUA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
SANTOTOMAS	3658	13.4	13.3	13.0	12.9	11.5	10.2	10.0	11.2	12.8	13.8	14.7	13.8	<b>12.5</b>
TAMBOBAMBA	3279	14.6	14.8	14.1	13.8	12.8	12.0	12.7	13.4	14.8	15.6	15.4	16.3	<b>14.2</b>
SICUANI	3550	12.3	12.3	12.1	11.4	9.6	8.2	8.0	9.5	11.4	12.4	12.6	12.4	<b>11.0</b>
<b>YAURI</b>	<b>3927</b>	<b>9.0</b>	<b>8.8</b>	<b>8.8</b>	<b>7.8</b>	<b>5.5</b>	<b>3.4</b>	<b>3.4</b>	<b>4.3</b>	<b>6.6</b>	<b>8.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>7.0</b>
Promedio	3603.5	12.3	12.3	12.0	11.5	9.8	8.5	8.5	9.6	11.4	12.4	12.9	12.9	<b>11.2</b>
Desv. Estándar	268.2	2.4	2.5	2.3	2.7	3.2	3.7	3.9	3.9	3.5	3.2	2.9	3.0	3.1
Coefic.	<b>a</b>	41.1829	43.5535	40.1010	42.7673	47.4929	53.1585	56.9622	57.1198	54.1411	51.8164	45.3633	50.8640	<b>48.7102</b>
Coefic.	<b>b</b>	-0.0080	-0.0087	-0.0078	-0.0087	-0.0104	-0.0124	-0.0134	-0.0132	-0.0119	-0.0109	-0.0090	-0.0105	<b>-0.01042</b>
Coefic.	<b>r</b>	-0.905	-0.920	-0.910	-0.877	-0.880	-0.896	-0.921	-0.915	-0.916	-0.915	-0.843	-0.934	<b>-0.906</b>
CUENCA ARURI	<b>4,460</b>	<b>5.45</b>	<b>4.83</b>	<b>5.31</b>	<b>4.01</b>	<b>0.90</b>	<b>-2.17</b>	<b>-3.00</b>	<b>-1.66</b>	<b>1.25</b>	<b>3.06</b>	<b>5.23</b>	<b>3.85</b>	<b>2.25</b>

### 6.6.4 Evapotranspiración

Para la identificación de la Evapotranspiración de Referencia ETo, se ha tomado la metodología sugerida por la FAO, llamado método de Penman Monteith, y para ello se a utilizado el programa CropWat, obteniendo los resultados siguientes para estación de Santo Tomas, por estar cerca al ámbito del proyecto Aruri.

**Tabla 28. Evapotranspiración de Referencia de Penman Monteith - FAO**

ESTACIÓN:	Santo Tomas		Lat.:	14°33'58" S	Long.:	72°5'19" W	Alt.:	3253	msnm			
Parámetros	VALORES MENSUALES											
Variables	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Eto mm/día	3.48	3.92	4.38	4.64	5.14	5.22	5.16	5.29	5.02	4.66	4.31	3.59
Prec. Efec mm/día	4.58	5.04	4.20	2.07	0.33	0.10	0.19	0.27	0.70	2.01	2.66	4.35
Prec. Efec mm/mes	141.90	141.20	130.10	62.20	10.10	2.90	5.80	8.40	21.00	62.20	79.80	135.00

**Tabla 29. Calculo de Etp. proceso de hoja en programa CropWat - FAO.**

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	7.0	22.4	72	1.2	9.3	20.0	3.48
Febrero	7.4	22.9	74	1.4	9.6	21.9	3.92
Marzo	7.7	23.1	75	1.4	9.8	23.8	4.38
Abril	5.8	22.0	74	1.3	10.5	25.8	4.64
Mayo	1.0	22.3	70	1.1	13.4	29.8	5.14
Junio	-1.7	21.9	67	1.1	14.7	31.4	5.22
Julio	-2.0	21.4	65	1.3	14.7	31.4	5.16
Agosto	-0.7	22.9	61	1.2	14.5	31.6	5.29
Septiembre	2.4	23.5	60	1.3	13.0	28.8	5.02
Octubre	3.9	24.0	57	1.5	12.1	26.0	4.66
Noviembre	4.7	25.5	57	1.4	12.1	23.9	4.31
Diciembre	6.4	23.7	68	1.2	10.3	20.6	3.59
Promedio	3.5	23.0	67	1.3	12.0	26.3	4.57

**Tabla 30. Hoja de resultados Etp. proceso en CropWat - FAO**

Precipitación mensual - untitled

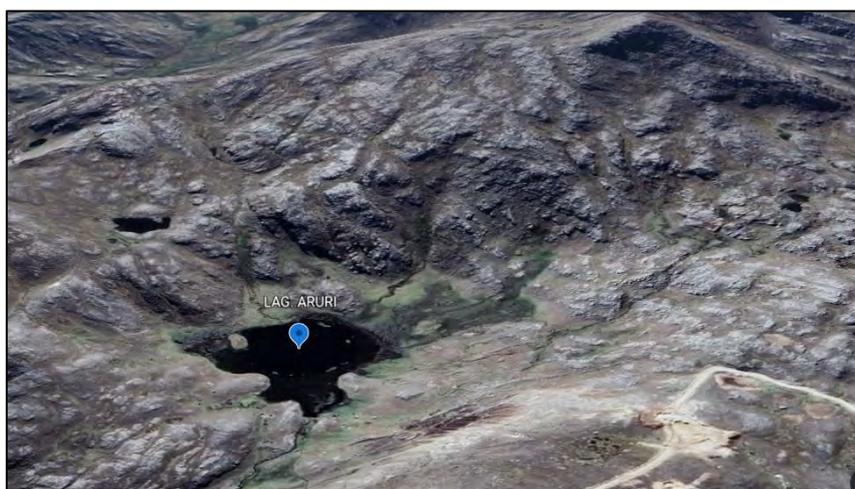
Estación **ARURI-Santo** Método Prec. Ef **Método USDA S.C.**

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	217.7	141.9
Febrero	215.6	141.2
Marzo	184.7	130.1
Abril	70.1	62.2
Mayo	10.3	10.1
Junio	2.9	2.9
Julio	5.9	5.8
Agosto	8.5	8.4
Septiembre	21.8	21.0
Octubre	70.0	62.2
Noviembre	93.9	79.8
Diciembre	197.3	135.0
<b>Total</b>	<b>1098.7</b>	<b>800.7</b>

## 6.5 Hidrología superficial

### 6.5.1 Laguna

Esta cuenca presenta una sola fuente de almacenamiento superficial denominada Laguna Aruri, que tiene una superficie de 2.725 ha. De régimen permanente.



*Figura 42. Vista panorámica de laguna Aruri*

*Tabla 31. Características hidráulicas de la laguna Aruri*

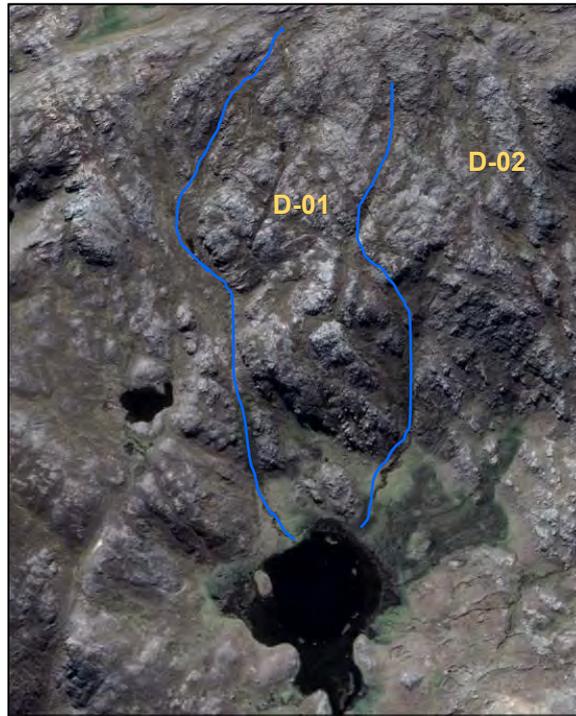
LAGUNA	AREA LAGUNA (m <sup>2</sup> )	PROFUNDIDAD (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	REGIMEN
ARURI	27252.54	2.3	62680.84	Permanente
TOTAL			<b>62680.84</b>	

### 6.5.2 Drenaje Superficial.

En el ámbito de la zona delimitada de interfluvio, se han identificado dos sistemas de drenaje principal de naturaleza temporal, que confluyen a la laguna Aruri de dirección de recorrido de NE a SW.

*Tabla 32. Punto de Aforo y Caudal de los drenajes*

DRENAJE	COORDENADAS UTM – WGS84		CAUDAL EPOCA DE LLUVIAS (l/s)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
D-01	799762	8367102	150
D-02	799762	8367102	42



*Figura 43. Drenajes principales de la laguna Aruri*

## **6.7 Oferta hídrica generada**

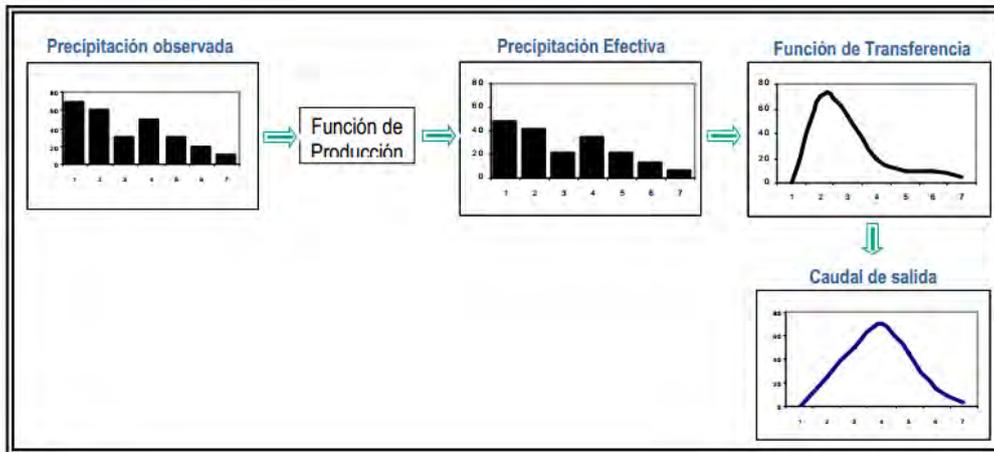
### **6.7.1 Generación De Caudales Medios Mensuales.**

Cuando evaluamos la disponibilidad hídrica para nuestro caso de la cuenca de la laguna Aruri, se presentan la ausencia o escasez de información del caudal. La información de los caudales se procesa con un análisis de frecuencia, por lo cual se requiere que los datos de registro de caudales este completos de la cuenca. Por el cual se utilizó el modelo hidrológico determinístico entre la precipitación y escorrentía de Lutz Scholz que es un modelo simple que permita realizar un modelamiento de caudales medios mensuales para lograr elaborar una serie histórica de caudales confiables y a su vez evaluar su disponibilidad en las zonas importantes.

Para este modelo, se requiere tener la información de precipitación y las temperaturas de la cuenca o regionalizados, así como por lo menos datos de caudales de salida de la laguna, mínimo dos datos en meses de lluvia, y estío, para calibrar el modelo.

### **6.7.2 Modelo Precipitación – escorrentía Lutz Scholz.**

Los modelos son elaborados con el procesamiento de los datos de precipitación y escurrentía para lo cual se aplica dos funciones: la primera de producción y la segunda de función transversal (Ver Figura 51).



*Figura 44. procesamiento de la precipitación a caudal*

La información en los que se basa del modelo son las siguientes:

Modelo Precipitación – escorrentía Lutz Scholz desarrollado en hoja de cálculo, para el punto de salida de la Laguna ARURI, se tiene:

**Tabla 33. Caudal Generado Cuenca ARURI.**

MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL								CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES MENSUALES		CAUDAL AFORADO
		TOTAL P mm/mes	PE I (mm/mes)	PE I mm/mes	PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE IV mm/mes	PE V mm/mes	PE mm/mes	GASTO		ABASTECIM.		GENERADOS		
										bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes	mm/mes	m3/s	
JUL	31	5.9	(0.1)	0.0	0.7	1.5	3.5	3.9	2.7	0.02	0.45	0.01	0.1	3.0	0.011	0.029
AGO	31	8.5	(0.1)	0.0	1.0	2.0	4.6	5.3	3.5	0.01	0.17	0.02	0.3	3.4	0.008	0.029
SET	30	21.8	0.0	0.0	2.3	4.6	8.0	9.9	8.1	0.00	0.08	0.04	0.6	7.7	0.006	0.029
OCT	31	70.0	3.0	3.0	10.9	18.7	26.4	34.7	30.7	0.00	0.02	0.08	1.1	29.6	0.009	0.028
NOV	30	93.9	7.1	7.1	20.9	34.8	48.0	54.5	56.2	0.00	0.00	0.03	0.3	55.9	0.012	
DIC	31	197.3	76.7	76.7	110.9	137.6	142.7	157.9	178.8	0.00	0.00	0.17	2.3	176.5	0.036	0.089
ENE	31	217.7	97.1	97.1	131.3	158.0	163.1	178.3	199.2	0.00	0.00	0.23	3.1	196.0	0.040	
FEB	28	215.6	95.0	95.0	129.2	155.9	161.0	176.2	197.1	0.00	0.00	0.24	3.3	193.7	0.043	
MAR	31	184.7	64.1	64.1	98.3	125.0	130.1	145.3	166.2	0.00	0.00	0.12	1.6	164.6	0.033	
ABR	30	70.1	3.0	3.0	10.9	18.8	26.5	34.8	31.0	0.39	8.69	0.06	0.8	38.8	0.020	
MAY	31	10.3	(0.1)	0.0	1.2	2.4	5.3	6.1	4.3	0.14	3.17	0.01	0.1	7.3	0.017	0.05
JUN	30	2.9	(0.1)	0.0	0.4	0.7	1.8	2.0	1.2	0.06	1.31	0.01	0.1	2.3	0.014	0.04
<b>TOTAL</b>		<b>1098.7</b>	<b>345.6</b>	<b>346.0</b>	<b>518.0</b>	<b>660.0</b>	<b>721.0</b>	<b>808.9</b>	<b>879.0</b>	<b>0.62</b>	<b>13.90</b>	<b>1.00</b>	<b>13.9</b>	<b>879.0</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>

Según los resultados obtenidos, podemos señalar que la cuenca Aruri con 0.54 km<sup>2</sup>, puede generar un aforo de 0.249 m<sup>3</sup>/s en todo el año, y presentar una media de 0.02 m<sup>3</sup>/s en el año. Teniendo en cuenta que en el mes de Febrero se genera un aforo medio mensual de 0.043 m<sup>3</sup>/s como el máximo aporte y el menor aporte hídrico se presenta en el mes de Setiembre con un aforo de 0.006 m<sup>3</sup>/s medio mensual, considerado el caudal base para el periodo de secas.

**Tabla 34.** Aforos Medios Mensuales Obtenidos De La Cuenca Aruri, Según Modelo Precipitación – Escorrentía Lutz Scholz

MES	l/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /mes
JUL	11.00	0.011	28,512.00
AGO	8.00	0.008	20,736.00
SET	6.00	0.006	15,552.00
OCT	9.00	0.009	23,328.00
NOV	12.00	0.012	31,104.00
DIC	36.00	0.036	93,312.00
ENE	40.00	0.040	103,680.00
FEB	43.00	0.043	111,456.00
MAR	33.00	0.033	85,536.00
ABR	20.00	0.020	51,840.00
MAY	17.00	0.017	44,064.00
JUN	14.00	0.014	36,288.00
TOTAL ANUAL			645,408.00

A través de este análisis, se observa que la cuenca Aruri, tiene la capacidad de generar un volumen de escurrimiento superficial en el periodo húmedo (diciembre, enero febrero marzo), de **393 984.00 m<sup>3</sup>**. Ello debido a que los demás meses son periodos irregulares y en algunos casos secos, con rangos de precipitación bajos que no regeneran el escurrimiento superficial adecuado para incorporar volumen a la presa Aruri.

## VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE LA REPRESA ARURI

**Volumen topográfico:** A través de la elaboración del plano topográfico en la zona del vaso donde se almacenará la presa Aruri y zona de ubicación de dique de represamiento, se puede determinar los volúmenes acumulados cada metro de desnivel, el cual podrá ser comparado con la generación del caudal medio mensual hidrológico (tabla anterior) y el volumen generado por el método de Manning. Para seleccionar la altura más adecuada de la presa Ariru.

**Tabla 35.** Cálculo De La Correlación De Altura Y Volumen De Almacenamiento Topográfico De La Presa Aruri

COTA BASE	COTA SUPERIOR	DESNIVEL (m)	ALTURA (m)	AREA (m2)	VOLUMEN (m3)	VOLUMEN ACUMULADO (M3)
4450	4451	1	1	32159	0	0
4451	4452	1	2	35795	33977.00	33977.00
4452	4453	1	3	38489	37142.00	71119.00
4453	4454	1	4	43897	41193.00	112312.00
4454	4455	1	5	48258	46077.50	158389.50
4455	4456	1	6	53489	50873.50	209263.00
4456	4457	1	7	56235	54862.00	264125.00
4457	4458	1	8	58142	57188.50	321313.50
4458	4459	1	9	61487	59814.50	381128.00
4459	4460	1	10	61987	61737.00	442865.00
4460	4461	1	11	65258	63622.50	506487.50

### Volumen hidrológico de Manning

Para lo cual Manning, plantea la ecuación matemática siguiente:

$$Vem = 1000 * Ac * PP * Ce$$

Siendo :

Vem = El volumen de escurrimiento de Manning (m3)

Ac = área de la cuenca de aporte (Km2)

PP = La precipitación anual (mm)

Ce = El coeficiente de escurrimiento (0.80)

1000 = La constante de conversión.

Reemplazando valores, esta indica que la cuenca Aruri va producir el volumen de escurrimiento de 310 948.00 m<sup>3</sup> en un año.

Según los resultados obtenidos para un volumen hidrológico generado empleando el Modelo Precipitación y escorrentía Lutz Scholz esta cuenca dentro de los meses de lluvia puede generar un volumen de escurrimiento de 393 984.00 m<sup>3</sup>, que comparado con la tabla de volúmenes topográficos, se necesitaría una altura de presa de **9.21 m** para albergar este volumen.

De igual manera, comparado con el volumen de escurrimiento según Manning de **310 948 m<sup>3</sup>**, y comparado con la tabla de volúmenes topográficos, se necesitaría una altura de presa de **7.80 m** para albergar este volumen.

Bajo estas condiciones, considerando un factor de seguridad para llenado de la presa Aruri, consideramos una altura de presa de 7.80 m para un volumen de almacenamiento de 310 948 m<sup>3</sup>.

## **6.8 Balance hídrico**

En el balance hídrico se consideran dos factores los cuales son la oferta de agua y la demanda de agua.

### **6.8.1 Demanda De Agua**

#### *Demanda Agrícola*

La presa Aruri, está destinada únicamente para uso agrícola, pues es la actividad que mayor demanda genera de la disponibilidad. Si bien la oferta agrícola es bastante grande de 274 ha, sin embargo a través de los cálculos de la oferta, solo es posible regar 83.50 ha, hacia la parte baja de la cuenca, con un tiempo de riego de 18 horas, un módulo de riego máximo de 0.10 l/s/ha (Agosto).

*Tabla 36. demanda de agua agrícola con su cedula de cultivo*

N°	Descripción	Cálculo	Unidad	Meses												Total
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
a	Eto	Dato	mm/día	3.48	3.92	4.38	4.64	5.14	5.22	5.16	5.29	5.02	4.66	4.31	3.59	
b	Kc Ponderado	Dato		0.79	0.89	0.73	0.48	0.84	0.76	0.77	0.76	0.72	0.61	0.71	0.73	
f	Uso Consultivo o Evaporación Real	(a x b)	mm/día	2.76	3.50	3.18	2.24	4.34	3.96	3.99	4.03	3.60	2.82	3.05	2.61	
g	Precipitación Efectiva	Dato	mm/día	4.58	5.04	4.20	2.07	0.33	0.10	0.19	0.27	0.70	2.01	2.66	4.35	
h	Necesidades Netas del Cultivo	(c - d)	mm/día	0.00	0.00	0.00	0.16	4.01	3.86	3.80	3.76	2.90	0.81	0.39	0.00	19.70
i	Eficiencia de Riego	Dato	%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
j	Necesidades Totales del Cultivo	(e / f)	mm/día	0.00	0.00	0.00	0.22	5.33	5.13	5.05	4.99	3.85	1.08	0.52	0.00	26.15
k		(e / f) x 10	m3-ha/día	0.00	0.00	0.00	2.16	53.26	51.26	50.46	49.92	38.47	10.81	5.16	0.00	261.48
l	N° de Días del Mes	Dato		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
m	Demanda Total Unitaria - Mensual	(h x i)	m3/ha/mes	0	0	0	65	1,651	1,538	1,564	1,548	1,154	335	155	0	8,009
n	Área de Riego	Dato	ha	60.50	60.50	60.50	41.50	9.00	11.00	12.00	12.00	12.00	31.00	40.50	60.50	
o	Demanda Total - Mensual	(j x k)	m3/mes	0	0	0	2,691	14,858	16,914	18,771	18,570	13,848	10,389	6,264	0	102,306
p	Demanda Total - Diaria	(l / i)	m3/día	0	0	0	90	479	564	606	599	462	335	209	0	3,343

CÁLCULO DEL VOLUMEN DEMANDADO

TIEMPO DE OPERACIÓN DIARIO  HORAS

N°	Descripción	Cálculo	Unidad	Meses												Total
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
m	Módulo de Riego		l/s / ha	0.00	0.00	0.00	0.03	0.82	0.79	0.78	0.77	0.59	0.17	0.08	0.00	
n	Demanda Total Diaria		m3/día	0	0	0	120	639	752	807	799	615	447	278	0	4,457
o	Demanda Total Mensual		m3/mes	0	0	0	3,588	19,811	22,552	25,028	24,760	18,464	13,852	8,353	0	136,408

### La oferta hídrica de la cuenca Aruri.

Esta se desarrolló con modelo de *Lutz Scholz para su* generación de caudales medios mensuales

### El balance hídrico con proyecto:

En la tabla se hará la comparación del balance hídrico con la oferta y demanda de la cuenca.

**Tabla 37. La Oferta Y Demanda De La Cuenca Aruri**

N°	Descripción	Cálculo	Unidad	Meses											
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	Oferta	Dato de Oferta	(m3)	103,680	111,456	85,536	51,840	44,064	36,288	28,512	20,736	15,552	23,328	31,104	93,312
b			(m3/ha)	1,714	1,842	1,414	1,249	4,896	3,299	2,376	1,728	1,296	753	768	1,542
c	Demanda	Dato de Demanda	(m3)	0	0	0	2,691	14,858	16,914	18,771	18,570	13,848	10,389	6,264	0
d			(m3/ha)	0	0	0	65	1,651	1,538	1,564	1,548	1,154	335	155	0
e	Balace Hidrico	(a - c)	(m3)	103,680	111,456	85,536	49,149	29,206	19,374	9,741	2,166	1,704	12,939	24,840	93,312
f		(b - d)	(m3/ha)	1,713.72	1,842.25	1,413.82	1,184.32	3,245.06	1,761.26	811.74	180.49	142.01	417.39	613.32	1,542.35
			(L/ha)	1.71	1.84	1.41	1.18	3.25	1.76	0.81	0.18	0.14	0.42	0.61	1.54

**Tabla 38. El Balance Hídrico De La Cuenca Aruri**

PARA METROS	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
Oferta	(m3)	103,680	111,456	85,536	51,840	44,064	36,288	28,512	20,736	15,552	23,328	31,104	93,312
Demanda	(m3)	0	0	0	34,886	19,769	32,695	28,510	19,438	13,848	12,581	2,075	0

Balanc e	(m3)	103,680. 00	111,456. 00	85,536. 00	51,805. 11	24,295. 48	3,593. 03	2.30	1,297. 74	1,704. 13	10,747. 13	29,029. 33	93,312. 00
Hídrico													

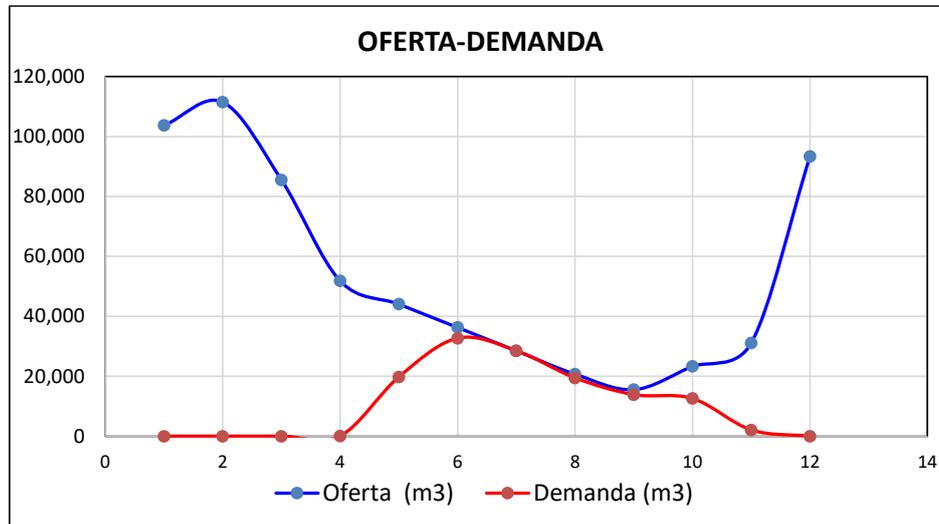


Figura 45. Balance hídrico de la cuenca Aruri con proyección de represamiento

## 6.9 Análisis de eventos extremos

### 6.9.1 Caudales Máximos

Los caudales máximos se calculan en base al cálculo del diseño para diferentes tiempos de retorno, modelamiento de datos para las estructuras hidráulicas.

La base de datos dentro de la zona de estudio es limitada ya que no se cuenta con los eventos extremos máximos de la precipitación se desarrollo con precipitación de 24 horas para efectuar el análisis de frecuencias utilizando el método racional, el aforo máximo se diseño para diferentes tiempos de retorno.

Para calcular las máximas avenidas se procesara con la información de topografía, registros de precipitación en 24 horas de la estación de Santo Tomas, puesto que la zona de estudia se encuentra cerca correspondiente al periodo variable entre 1986 – 2016, ver tabla.

**Tabla 39. Información de la precipitación máxima dentro de 24 Horas en la estación Santo Tomas**

Estación Meteorológica : SANTOTOMAS

Región: Cusco Prov: CHUMBIVILCAS Código: CO  
 Latitud: 14° 27' 00" Long: 72° 06' 00" Altitud: 3658

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁX
1986										8.0		16.0	16.00
1987	44.0	10.0		18.3		2.0	10.0	11.0	4.0	5.0			44.00
1988										24.0	5.0	9.0	24.00
1999					0.3	0.0	0.0	0.0	20.5	17.1	0.0	10.5	20.50
2000	30.1	23.2	17.2	12.5	3.4	5.8		0.0	12.5	11.7	0.0	29.8	30.10
2001	19.5	29.2	28.7	29.8	8.9	0.0	0.0	0.0	7.9	13.5	1.3	27.0	29.80
2002	21.8	32.3	35.6	7.8	7.4	3.8	10.2	0.0	10.2	15.7	13.8	26.0	35.60
2003	21.4	25.5	24.6	12.8	0.0	2.4	0.0	9.4	8.4	18.1	23.3	17.8	25.50
2004	25.0	25.2	26.2	7.5	0.0	0.0	19.0	18.4	15.6	21.4	37.6	37.8	37.80
2005	33.8	16.2	24.5	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	12.6	14.4	19.7	33.80
2006	42.5	34.6	36.3	17.6	0.0	2.6	0.0	3.9	5.9	30.3	20.7	36.1	42.50
2007	19.1	28.8	20.5	12.8	3.2	0.0	8.3	0.0	2.9	10.8	14.7	41.5	41.50
2008	22.1	26.4	17.8	5.5	8.2	1.8	0.0	0.0	4.3	22.1	5.2	33.6	33.60
2009	20.2	19.8	20.9	22.6	2.6	0.0	3.0	0.0	0.0	7.4	21.5	20.9	22.60
2010	23.5	45.0	28.7	32.0	10.5	0.0	0.7	0.0	2.8	16.8	29.5	21.0	45.00
2011	23.3	28.5	26.0	26.0	5.8	0.4	4.8	11.7	11.1	15.2	25.5	19.9	28.50
2012	23.0	28.9	32.2	30.2	0.8	0.0	0.9	0.0	9.0				32.20
2013		37.7	21.5	34.0	2.9	7.2	1.7	14.5	2.8	15.6	17.0	32.6	37.70
2014	29.1	25.9	22.1	8.7	2.7	0.0	0.4	3.3	19.6	51.5	13.5	25.7	51.50
2015	26.3	22.3	42.9	17.8	10.1	0.0	2.4	8.3	3.0	15.6	11.6		42.90
2016	19.1	25.2	35.2	27.0	4.3	3.0	5.6	9.4	3.2	7.9	12.9		35.20

Fuente: SENAMHI.

<b>MEDIA</b>	26.1	26.9	27.1	18.7	4.0	1.5	3.7	4.7	7.8	17.0	14.9	25.0	33.8
<b>DESV STD</b>	7.6	7.8	7.3	9.2	3.7	2.2	5.2	6.0	5.9	10.2	10.4	9.4	9.1
<b>P. MÁXIMA</b>	44.0	45.0	42.9	34.0	10.5	7.2	19.0	18.4	20.5	51.5	37.6	41.5	51.5
<b>P. MÍNIMA</b>	19.1	10.0	17.2	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	9.0	16.0

Esta se extrapola a la zona del proyecto a través de un factor de corrección estimada para la zona de  $F_c = 0.8629$ .

**Tabla 40. Información de la precipitación máxima dentro de 24 horas en la presa Aruri**

Estación Meteorológica :Aruri

Región: Cusco Prov: CHUMBIVILCAS Código: CO  
 Latitud: 14° 20' 56.71" Long: 72° 01' 30" Altitud: 4460

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁX	
1986										6.9		13.8	13.81	DIC
1987	38.0	8.6		15.8		1.7	8.6	9.5	3.5	4.3			37.97	ENE
1988										20.7	4.3	7.8	20.71	OCT
1999					0.3	0.0	0.0	0.0	17.7	14.8	0.0	9.1	17.69	SEP
2000	26.0	20.0	14.8	10.8	2.9	5.0		0.0	10.8	10.1	0.0	25.7	25.97	ENE
2001	16.8	25.2	24.8	25.7	7.7	0.0	0.0	0.0	6.8	11.6	1.1	23.3	25.71	ABR
2002	18.8	27.9	30.7	6.7	6.4	3.3	8.8	0.0	8.8	13.5	11.9	22.4	30.72	MAR
2003	18.5	22.0	21.2	11.0	0.0	2.1	0.0	8.1	7.2	15.6	20.1	15.4	22.00	FEB
2004	21.6	21.7	22.6	6.5	0.0	0.0	16.4	15.9	13.5	18.5	32.4	32.6	32.62	DIC
2005	29.2	14.0	21.1	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	10.9	12.4	17.0	29.17	ENE
2006	36.7	29.9	31.3	15.2	0.0	2.2	0.0	3.4	5.1	26.1	17.9	31.1	36.67	ENE
2007	16.5	24.9	17.7	11.0	2.8	0.0	7.2	0.0	2.5	9.3	12.7	35.8	35.81	DIC
2008	19.1	22.8	15.4	4.7	7.1	1.6	0.0	0.0	3.7	19.1	4.5	29.0	28.99	DIC
2009	17.4	17.1	18.0	19.5	2.2	0.0	2.6	0.0	0.0	6.4	18.6	18.0	19.50	ABR
2010	20.3	38.8	24.8	27.6	9.1	0.0	0.6	0.0	2.4	14.5	25.5	18.1	38.83	FEB
2011	20.1	24.6	22.4	22.4	5.0	0.3	4.1	10.1	9.6	13.1	22.0	17.2	24.59	FEB
2012	19.8	24.9	27.8	26.1	0.7	0.0	0.8	0.0	7.8				27.78	MAR
2013		32.5	18.6	29.3	2.5	6.2	1.5	12.5	2.4	13.5	14.7	28.1	32.53	FEB
2014	25.1	22.3	19.1	7.5	2.3	0.0	0.3	2.8	16.9	44.4	11.6	22.2	44.44	OCT
2015	22.7	19.2	37.0	15.4	8.7	0.0	2.1	7.2	2.6	13.5	10.0		37.02	MAR
2016	16.5	21.7	30.4	23.3	3.7	2.6	4.8	8.1	2.8	6.8	11.1		30.37	MAR

Fuente: SENAMHI.

<b>MEDIA</b>	22.5	23.2	23.4	16.2	3.4	1.3	3.2	4.1	6.8	14.7	12.8	21.6	29.2
<b>DESV STD</b>	6.6	6.8	6.3	8.0	3.2	1.9	4.5	5.2	5.1	8.8	9.0	8.1	7.8
<b>P. MÁXIMA</b>	38.0	38.8	37.0	29.3	9.1	6.2	16.4	15.9	17.7	44.4	32.4	35.8	44.4
<b>P. MÍNIMA</b>	16.5	8.6	14.8	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	7.8	13.8

Fuente: propia

Utilizando la metodología de GUMBELL, se ha procedido a determinar la distribución de las probabilidad de precipitación para diferentes tiempos de retorno, como se evidencia en la tabla.



$$I = \frac{P(\text{mm})}{t_{\text{duración}}(\text{hr})}$$

$$I = \frac{154.918 * T^{0.146}}{t^{0.6188}}$$

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	1.314	1.639	1.854	2.126	2.328	2.529	2.992
18 hr	1080	1.594	1.989	2.250	2.268	2.825	3.068	3.630
12 hr	720	2.102	2.622	2.967	3.402	3.725	4.046	4.787
8 hr	480	2.680	3.343	3.783	4.338	4.750	5.158	6.103
6 hr	360	3.205	3.999	4.524	5.188	5.681	6.170	7.300
5 hr	300	3.594	4.484	5.073	5.818	6.370	6.918	8.185
4 hr	240	4.099	5.114	5.785	6.634	7.264	7.889	9.334
3 hr	180	4.834	6.031	6.824	7.825	8.568	9.305	11.009
2 hr	120	6.148	7.670	8.678	9.952	10.896	11.834	14.001
1 hr	60	9.459	11.800	13.351	15.310	16.763	18.206	21.540

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Parametros de la Regresion Multiple

B0 = 2.06991                      K = 117.465  
 B1 = 0.14574                      m = 0.146  
 B2 = -0.61885                      n = 0.6188

Finalmente se ha realizado las curvas de frecuencia, intensidad y duración en la cuenca Aruri IDF, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 44. Intensidad Duración Y Frecuencia Y Ecuación Correspondiente.**

$$I = \frac{117.471 * T^{0.146}}{t^{0.619}}$$

Donde:  
 I = intensidad de precipitación (mm/hr)  
 T = Periodo de Retorno (años)  
 t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	48.00	31.26	24.32	20.35	17.73	15.84	14.40	13.25	12.32	11.54	10.88	10.31
5	54.86	35.72	27.79	23.26	20.26	18.10	16.45	15.15	14.08	13.19	12.44	11.79
10	60.69	39.52	30.75	25.73	22.42	20.02	18.20	16.76	15.58	14.60	13.76	13.04
25	69.36	45.16	35.14	29.41	25.62	22.88	20.80	19.15	17.81	16.68	15.73	14.90
50	76.73	49.96	38.88	32.54	28.34	25.32	23.01	21.19	19.70	18.45	17.40	16.49
100	84.88	55.27	43.01	35.99	31.35	28.01	25.46	23.44	21.79	20.42	19.25	18.24
500	107.32	69.88	54.38	45.51	39.64	35.41	32.19	29.63	27.55	25.81	24.33	23.06

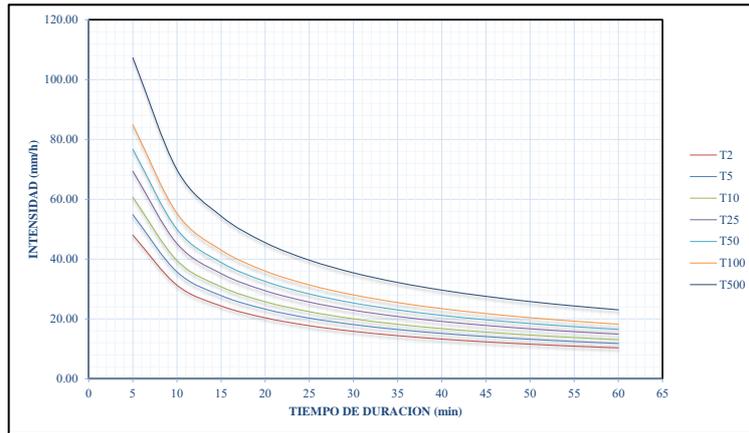


Figura 46. Relación entre las curvas de intensidad duración y frecuencia

**Caudal de diseño.**

Teniendo ya los datos de intensidad de lluvia a diversos tiempos de retorno, la cuenca tiene características morfométricas como Área, pendiente, tiempo de concentración,

**Tabla 45. Tiempo De Concentración TC**

Kirpich	Bransby Williams	Promedio
0.24	0.26	0.25

**Tabla 46. Ecuación de intensidad de precipitación en un tiempo de retorno de 50 años y para un tiempo de concentración de 15 min**

<b>0.146</b>	<b>Donde:</b>
<b>I =</b>	I = intensidad de precipitación (mm/hr)
$\frac{117.471 * T}{0.6188 t}$	T = Periodo de Retorno (años)
	t = Tiempo de duración de precipitación (min)

<b>T = 50 años</b>
--------------------

**Tabla 47. Cálculo De Aforo Máximo Según Método Racional**

Área (has)	Características del Cause (msnm)			Desnivel (m)	Pendiente (m/m)	T. C. (horas)	C	Intensidad mm/hr	Qmáx (m3/s)
	Long. (m)	Cota Máx.	Cota Mín.						
54.300	1000.0	4660	4460	100	0.100	0.250	0.27	38.88	1.583

*Ecuación del método Racional:*

$$Q = \frac{(Ac * I * Ce)}{360}$$

Siendo :

Q = Caudal m3/s

Ac = Área de la cuenca ha

I = Intensidad de precipitación mm/hr.

Ce = coeficiente de escurrimiento

360 = constante de conversión.

La cuenca Aruri es capaz de generar un caudal extraordinario de 1.583 m3/s a una tormenta extraordinaria.

## **CAPITULO VII: NEOTECTONICA Y SISMICIDAD**

### **7.1 Neo tectónica**

Se ha considerado describir los eventos neo tectónicos en este ítem, dado que los peligros geológicos están asociados principalmente a la neo tectónica y esta a su vez la sismicidad.

La cuenca donde se ubica el proyecto han sido estudiados y discutidas ampliamente en documentos y el boletín 55 serie C Geodinámica e ingeniería geológica del INGEMMET, del cual se extracta la información necesaria.

En 1982, sobre la base del Mapa Geológico del Perú, 1:1000000 (INGEMMET, 1978), y el Mapa Tectónico del Perú a escala 1:2000000 (INGEMMET, 1981), se trazó el primer Mapa Neo tectónico del Perú 1:2000000. Estos trabajos fueron realizados por Sébrier et al. (1982), en el marco del proyecto Sismicidad y Riesgos Sísmicos de la Región Andina (SISRA) promovido por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS). En 1991, Macharé & Leureyro trabajaron en la actualización del mapa de 1982, incluyendo información generada durante las investigaciones efectuadas para las tesis doctorales de Blanc (1984), Huamán (1985), Macharé (1987), Cabrera (1988) y Bonnot (1988).

### **7.2 Implicancias geodinámicas**

El origen y desarrollo de las grandes cadenas montañosas como los Andes ha sido el interés de muchos estudios, donde podemos retroceder en el pasado para ver las características del relieve ocasionados por las actividades magmáticas y tectónica por la convergencia de las placas.

Se tiene como relieves de montaña mas grandes al altiplano y el himalayas las cuales poseen una tectónica de extensión y tiene una deformación en las zonas altas de planicies andinas. Dentro de los andes peruanos se localizan muchos sistemas de fallas activas del tipo normal como el sistema de falla de la Cordillera Blanca estudiada por Dalmayrac, 1974; Megard & Philip, 1976; Sébrier et al., 1982, 1988; Bonnot & Sébrier, 1985), falla Quiches (Bellier et al., 1991), el sistema de falla del arco volcánico del Perú estudiada por Benavente et al., 2010

y Benavente et al., 2012), y los sistemas de fallas del Cusco (Suárez et al., 1983; Cabrera, 1988; Sébrier et al., 1985; Mercier et al., 1992; Benavente et al., 2010).

### 7.3 Marco sismo tectónicos

El marco sismo-tectónico de la zona del estudio donde el causante de todo es la subducción de la placa oceánica de Nazca por debajo de la placa Sudamericana. Esta zona de subducción se desarrollan sobre las longitudes de la foas de Chile y Perú donde la placa de subducción de Nazca se desarrolló hacia el este por debajo del borde continental de la placa sudamericana. Esta subducción se producido durante los 100 millones años y la reducción cortical y incremento de magma volcanico de arco que se desarrollo en de manera paralela en el interior de la placa que se emerge dando lugar a una corteza gruesa continental y el desarrollo de la cordillera de los andes (Jordán et al. 1983).

#### 7.3.1 Eventos de subducción

Para la caracterización de fuentes sísmicas se estimaron las magnitudes utilizando datos históricos, poniendo enfoque en la parte central y sur del Perú. En este análisis se consideró eventos históricos significativos que se enumeran en la siguiente tabla.

**Tabla 48. Eventos de subducción en la parte central del Perú**

Año	M(1)	Estilo	Profundidad (km) (2)	Longitud de Ruptura Mínima (km)(3)	Referencias
<b>Sismos de Interfase en la Zona de Subducción</b>					
<b>Segmento Central</b>					
1586	8.1-8.5	Inverso (Thrust)	60	175	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1664	7.5-7.8	Inverso (Thrust)	15	75	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1678	7.7-8.0	Inverso (Thrust)	40	100-150	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1687	8.4-9.0	Inverso (Thrust)	30	300	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; NGDC; Silgado 1985
1746	8.6-8.8	Inverso (Thrust)	30	350	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1986
1940	8.1-8.2	Inverso (Thrust)	60	180	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1942	8.2	Inverso (Thrust)	60	200	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1966	8.1	Inverso (Thrust)	38	100	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1974	8.1	Inverso (Thrust)	Set-22	140	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977; Langer y Spence 1995
1996	7.7-7.9	Inverso (Thrust)	33	<200	Chatelein <i>et al.</i> 1997
<b>Sismos de Intraplaca en la Zona de Subducción</b>					
1970	7.8-8.0	Normal	43-64	130	Abe 1972; Kanamori 1977; Lomnitz 1971; Silgado 1985
1994	8.2	Inverso (Reverse)	631	90	C. Jimenez 2014

*(<sup>1</sup>) Los estimados de magnitud derivan de diversas escalas de magnitud que incluyen la magnitud de onda superficial ( $M_s$ ) y la magnitud de momento ( $M_w$ ). En algunos casos, la  $M_w$  fue estimada a partir de la liberación del momento sísmico al comparar las alturas del recorrido del tsunami (Beck y Nishenko, 1990).*

*(<sup>2</sup>) Profundidades focales estimadas a partir de la base de datos de sismicidad histórica del Centro Geodésico. En lugar de utilizar datos de solución de planos de falla, se empleó profundidades focales para inferir los mecanismos de fuentes de sismos históricos que se produjeron previamente a los inicios del Siglo XX cuando se recopiló datos instrumentales de sismicidad en primer lugar.*

*(<sup>3</sup>) Longitud de ruptura mínima basada en la intensidad de las vibraciones documentadas para sismos históricos (Dorbath et al. 1990). Los estimados de la longitud de ruptura para los eventos de interfase e intraplaca se basaron en el momento sísmico.*

### **7.3.2 La sismicidad de interfase – Segmento Central - Sur**

Se debe indicar que seis grandes sismos ( $M_w$  7.7 a 8.2) ocurrieron en el segmento central en el periodo entre 1940 y 1966. Estos sismos, que ocurrieron a lapsos de 14 años en promedio, fueron precedidos por cerca de 200 años de inactividad sísmica. Una serie previa de 14 sismos ( $M_w$  7.5 a 9.0+) ocurrió entre 1550 y 1750 con intervalo de recurrencia promedio de aproximadamente 14 años. Las series más tempranas de sismos incluyeron grandes sismos en 1687 ( $M_w$  8.4 a 9.0) y 1746 ( $M_w$  8.6 a 8.8), que son los más grandes eventos documentados de haber ocurrido en el segmento central (Beck y Nishenko 1990; Dorbath et al. 1990). Este intervalo irregular de recurrencia sugiere que la recurrencia de grandes y amplios sismos de interfase en el segmento central puede agruparse en el tiempo. Por ejemplo, el intervalo entre grandes sismos históricos es de alrededor de 60 años (1687 a 1796), pero 260 años han pasado desde el evento de 1746, el evento más grande registrado. El evento más reciente que ha ocurrido en este segmento fue el del 15 de agosto de 2007 con  $M_w$  7.9.

#### **7.3.2.1 Sismicidad de interplaca**

El evento intraplaca de 1970 listado en la tabla.

#### ***Tabla 49. Eventos De Sismicidad De Interplaca***

Año	M(1)	Estilo	Profundidad (km) (2)	Longitud de Ruptura Mínima (km)(3)	Referencias
<b>Sismos de Interfase en la Zona de Subducción</b>					
<b>Segmento Central</b>					
1586	8.1-8.5	Inverso (Thrust)	60	175	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1664	7.5-7.8	Inverso (Thrust)	15	75	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1678	7.7-8.0	Inverso (Thrust)	40	100-150	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1687	8.4-9.0	Inverso (Thrust)	30	300	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; NGDC; Silgado 1985
1746	8.6-8.8	Inverso (Thrust)	30	350	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1986
1940	8.1-8.2	Inverso (Thrust)	60	180	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1942	8.2	Inverso (Thrust)	60	200	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1966	8.1	Inverso (Thrust)	38	100	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1974	8.1	Inverso (Thrust)	Set-22	140	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977; Langer y Spence 1995
1996	7.7-7.9	Inverso (Thrust)	33	<200	Chatelein <i>et al.</i> 1997
<b>Sismos de Intraplaca en la Zona de Subducción</b>					
1970	7.8-8.0	Normal	43-64	130	Abe 1972; Kanamori 1977; Lomnitz 1971; Silgado 1985
1994	8.2	Inverso (Reverse)	631	90	C. Jimenez 2014

**Tabla 50. Eventos de sismicidad de interplaca**

Año	M(1)	Estilo	Profundidad (km) (2)	Longitud de Ruptura Mínima (km)(3)	Referencias
<b>Sismos de Interfase en la Zona de Subducción</b>					
<b>Segmento Central</b>					
1586	8.1-8.5	Inverso (Thrust)	60	175	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1664	7.5-7.8	Inverso (Thrust)	15	75	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1678	7.7-8.0	Inverso (Thrust)	40	100-150	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1687	8.4-9.0	Inverso (Thrust)	30	300	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; NGDC; Silgado 1985
1746	8.6-8.8	Inverso (Thrust)	30	350	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1986
1940	8.1-8.2	Inverso (Thrust)	60	180	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1942	8.2	Inverso (Thrust)	60	200	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1966	8.1	Inverso (Thrust)	38	100	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1974	8.1	Inverso (Thrust)	Set-22	140	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977; Langer y Spence 1995
1996	7.7-7.9	Inverso (Thrust)	33	<200	Chatelein <i>et al.</i> 1997
<b>Sismos de Intraplaca en la Zona de Subducción</b>					
1970	7.8-8.0	Normal	43-64	130	Abe 1972; Kanamori 1977; Lomnitz 1971; Silgado 1985
1994	8.2	Inverso (Reverse)	631	90	C. Jimenez 2014

Los sismo de interplaca son poco profundos y tienen una mayor magnitud que nunca se registro, por ende se que son poco profundas y considera eventos máximos para eventos interplaca. Asi tenemos la magnitud del



Siendo:

Z : Factor de Zona

S : Factor de suelo

Sa : Aceleración espectral

U : Factor de uso e importancia

V : Fuerza cortante en la base de la estructura

C : Coeficiente de amplificación sísmica

P : Peso total de la estructura

G : Aceleración de la gravedad

Ts : periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo.

	Aceleración	Velocidad	Desplazamiento
Período de retorno	30 50 100	30 50 100	30 50 100
Parámetros	0.14 0.17 .21	5.8 7.0 9.5	2.1 2.4 3.3

El mayor valor que se asume pal suelo predominante es estimar con variación del 25% en incremento para la determinación del coeficiente sísmico y su clasificación correspondiente. Presenta parámetros sísmicos en la zona de estudio y la fuerza horizontal en el terreno se determina con la siguiente formula.

$$H = \frac{Z * U * S * C * P}{Rd}$$

(Ec. 2.9)

### 7.3.2.2 Mapa de aceleraciones sísmicas

Los parámetros de aceleración sísmica en el lugar de estudio tienen 0.28g a 0.29g como valores, los cuales se indican en la gráfica donde se recomendando utilizar para el proyecto 0.29g.

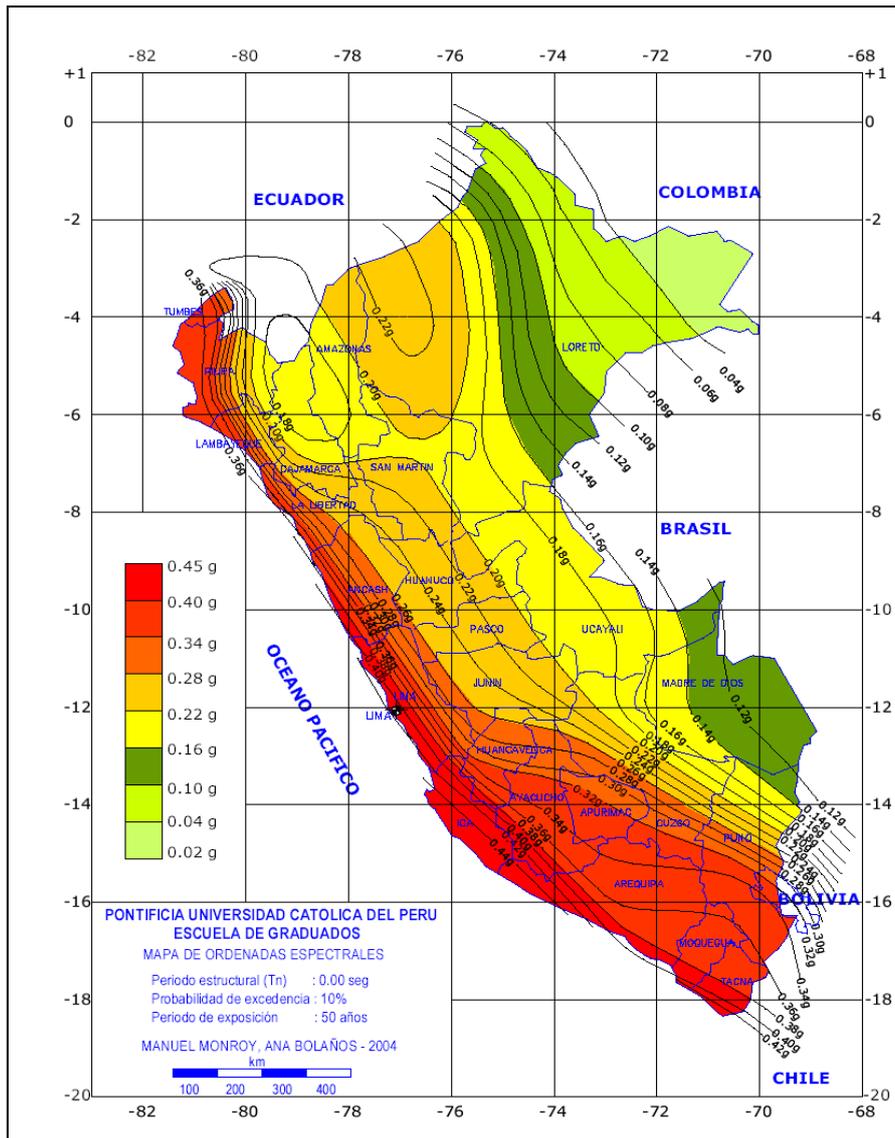


Figura 48. Mapa de ordenadas espectrales en el Perú

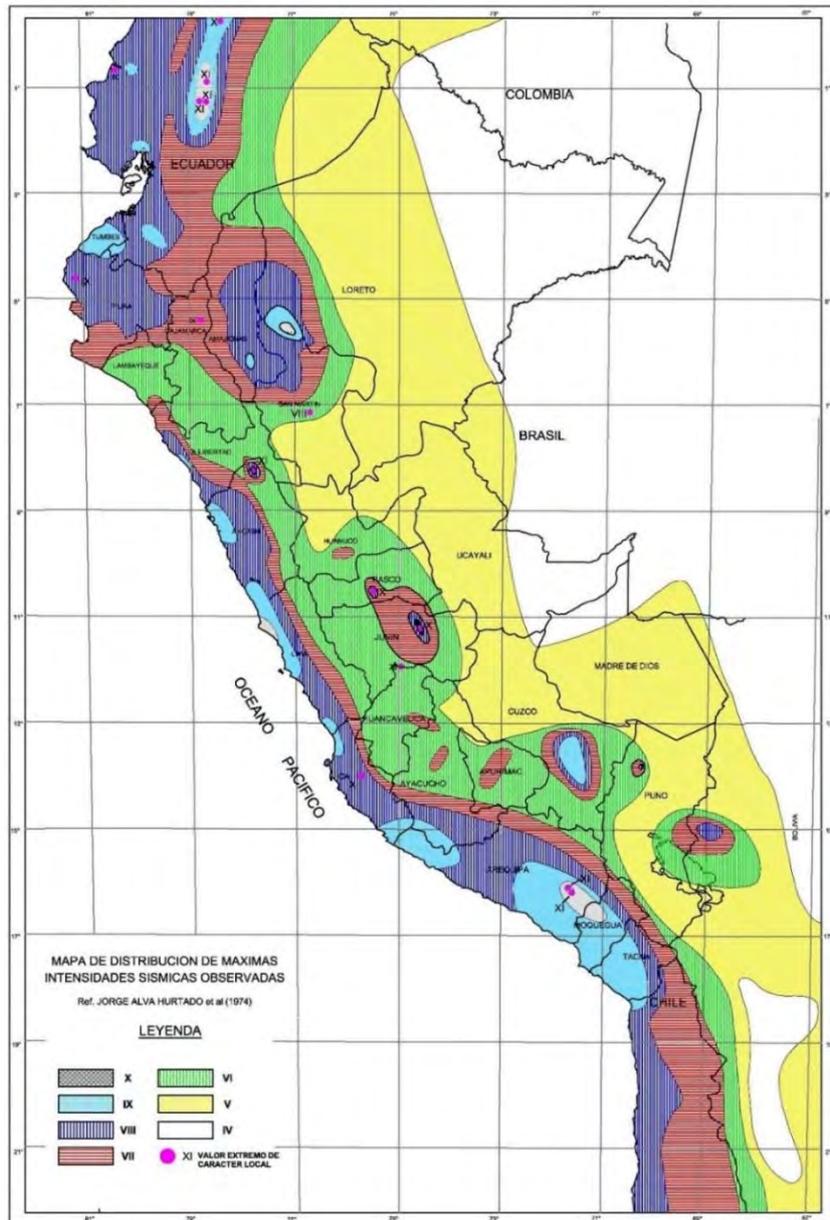


Figura 49. Mapa de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú

Fuente: Alva Hurtado J. E., Meneses J. y Guzmán V. (1984)

### 7.3.2.3 Mapa sísmico en la zona de estudio

La curva de intensidad máxima según la escala de Mercalli a la zona de estudio se encuentra en zonas de sismos de poca profundidad de magnitud 4Mw y 5Mw, por lo que se considerara estos efectos dentro de los cálculos correspondientes.

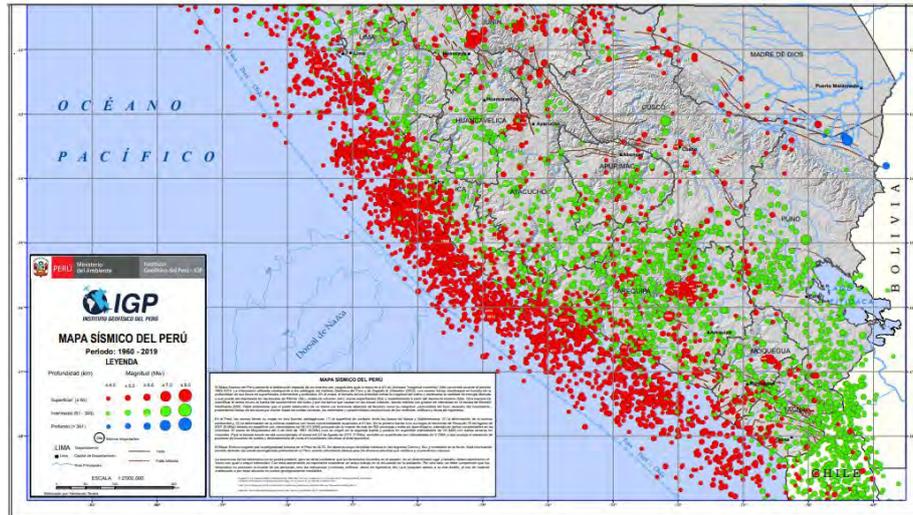


Figura 50. Mapa sísmico en el área del Proyecto

### 7.3.2.4 Mapa de zonas de sismicidad en el área del Proyecto

Corresponde según la zonificación sísmica del Perú a la zona 2, catalogada como zona de sismicidad media. Que si bien es cierto tiene fallas regionales, estas están el límite de la zona de Cusco, ya que hacia el Llano amazónico estas no tienen actividad tectónica reciente.



Figura 51. Mapa de zonificación sísmica.

Según (E.030-RNE, 2018) a cada zona se le estima un factor  $Z$ . Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal del suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor  $Z$  es expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, según indica la Tabla siguiente:

**Tabla 51. Tabla De Zonificación Sísmica**

<b>Factores de Zona.</b>	
<i>Zona</i>	<i>Z</i>
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: NTP (E.070)

## **CAPITULO VIII: GEOTECNICA**

### **8.1 Campaña de campo**

Se ha desarrollado durante 15 días en compañía de la supervisión del proyecto que ha consistido en los estudios geo mecánicos, de mecánica de suelos, geofísicos y de perforación diamantina.

El registro de las estaciones geomecánicas con apoyo de equipos como brújula, esclerómetro Rock info, cinta métrica, GPS Garmin, martillo de geólogo, plano topográfico y cámara fotográfica.

La excavación de calicatas con una retroexcavadora, cinta métrica, lampa y pico para el muestreo, bolsas y etiquetas.

Para los estudios geofísicos de sondaje eléctrico vertical y tomografía eléctrica resistiva, se ha utilizado el tomógrafo DUK 2D, con 60 electrodos, sus baterías y cables de hasta 300 m de longitud.

La perforación diamantina ha estado a cargo de la empresa consultora y constructora JELM SRL .

### **8.2 Caracterización Geomecánica.**

Para determinar las características geotécnicas del macizo rocoso del Batolito de Apurímac, se ha realizado la valoración del macizo rocoso mediante el método de RMR de Bieniawski, para lo cual ha sido necesario la ubicación de siete estaciones geomecánicas de manera que con esta información se pueda realizar una interpretación de la dinámica estructural concurrente y que pueda tener influencia en la infraestructura proyectada.

#### **8.2.1 Estaciones geomecánicas.**

Se han realizado siete estaciones geomecánicas los cuales han sido elegido los afloramientos del macizo rocosos de manera sistemática, de los que se han obtenido información importante para determinación la valoración del macizo rocoso.

Se han realizado tres estaciones las laderas de la laguna Aruri, tres en el eje de la presa y 1 que es parte de la ladera y también en la dirección del eje de presa propuesta.

Los resultados de estas estaciones han permitido establecer la tendencia general de las diaclasas cuy dirección dominante es noreste - suroeste a norte sur, lo que implica que tienen relación con la dirección de salida del riachuelo y la forma de la lagunilla, lo que sugiere que la dirección de las diaclasas está íntimamente asociada a la dirección de las fallas regionales y por cuyas zonas de debilidad han recorrido los bloques glaciares que han erosionado zonas más débiles.

#### **8.2.1.1 Ensayo de resistencia de la matriz rocosa.**

Se han realizado cuatro ensayos de resistencia de la matriz rocosa mediante el ensayo de compresión simple (UCS) mediante el Martillo de Smith o esclerómetro en el eje de la presa propuesta, con la finalidad de utilizar estos valores en la valoración del macizo rocoso mediante el método de RMR de Bieniawski, cuyos resultados promedios permite ser ha utilizado en la valoración del macizo rocoso. Para dicho cálculo se ha utilizado la metodología normalizada.

En los siguientes ensayos de laboratorio fueron realizados por profesionales del Laboratorio de Geotecnia y Laboratorios Cusco EIRL con un esclerómetro de rocas debidamente calibrado y certificado.



*Figura 52. Esclerómetro de rocas utilizado en los ensayos*

**Tabla 52. Resultados De Ensayos De Resistencia De La Matriz Rocosa**

ENSAYO UCS 1		ENSAYO UCS 2		ENSAYO UCS 3		ENSAYO UCS 4	
Nro de ensayo	DATOS	DATOS ENSAYO	DATOS VALIDOS	DATOS ENSAYO	DATOS VALIDOS	DATOS ENSAYO	DATOS VALIDOS
1	31	30	30	40		45	45
2	32	29		36		40	
3	30	31	31	46	46	40	
4	30	29		44		45	45
5	31	30		45	45	42	
6	30	28		41		46	46
7	30	22		50	50	40	
8	24	34	34	46		40	
9	24	38	38	52	52	43	43
10	31	35	35	52	52	46	46
Nro de Valores Máx	32	38		52		46	
Nro de valores Mín	24	22	30	36	45	40	43
Promedio	31	33.6	33.6	45.2	49	42.7	45
SD	2.87	4.38	3.21	5.25	3.32	2.63	1.22



Para hallar el valor de compresión simple a partir de los 10 ensayos en cada uno de los puntos, se ha tomado como dato de la densidad de la roca obtenida (27kN/m<sup>2</sup>) a partir de su masa y volumen de los testigos de perforación obtenidos, con valores promedio se tiene valores entre 125Mpa y 130Mpa, valores que han sido utilizados en la valoración del macizo rocoso.

### 8.2.2 Valoración del macizo rocoso.

Mediante la metodología del RMR de Bieniawski desarrollada ampliamente en el marco teórico se ha obtenido valores del macizo rocoso en los afloramientos de las siete estaciones registradas los siguientes valores, cuyas hojas de cálculo se encuentran en anexos.

**Tabla 53. Resultados De Valoración Del Macizo Rocoso**

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO EN LAS ESTACIONES GEOMECAICAS REGISTRADAS						
ESTACION	VALORACION RMR	PUNTUACION	CALIDAD	CLASE	COHESION Kg/cm <sup>2</sup>	ANGULO DE FRICCION(°)
EGM1	RMR 1	67	Buena	II	3 a 4	35 a 45
EGM2	RMR 2	60	Media	III	2 a 3	25 A 35
EGM3	RMR 3	59	Media	III	2 a 3	26 A 35
EGM4	RMR 4	69	Buena	II	3 a 4	35 a 45
EGM5	RMR 5	59	Media	III	2 a 3	26 A 35
EGM6	RMR 6	69	Buena	II	3 a 4	35 a 45
EGM7	RMR 7	71	Buena	II	3 a 4	35 a 45

Los valores obtenidos en el eje de presa en la zona del riachuelo son de calidad buena, que tienen valores entre 69 y 71 puntos, cuyos valores de

cohesión y ángulo de fricción se encuentran entre 3 a 4 kg/cm<sup>2</sup> y ángulos de fricción entre 35 a 45°.

### 8.2.2.1 Descripción Macroscópica de las rocas

Se realizó de manera visual con la muestra, así también con una lupa de aumento, rayador y agua, para posteriormente realizar su descripción determinando el color, tamaño de grano, textura, estructura y definir el tipo de roca.

Se trata de una granodiorita a tonalita leucócrata con minerales máficos bien cristalizados.

### 8.2.2.2 Peso específico de la Roca

Para obtener el peso específico se ha tomado como muestras dos testigos de perforación del SD -2 de la zona central del eje de presa propuesto, cuyos resultados son los siguientes:

**Tabla 54. Identificación De La Roca**

RESUMEN DE DATOS DE LA ROCA EVALUADA	
TIPO DE ROCA	Roca ignea intrusiva
RQD	Granodiorita-tonalita
RMR	71
CLASE	II
PESO ESPECIFICO	2.70 gr/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.3 Absorción

El porcentaje de absorción de la granodiorita –tonalita en muestra de testigo de perforación del sondaje SD 3, es bastante bajo, tal como se incluye en el cuadro:

**Tabla 55. Resultado De Absorción**

	Peso con humedad natural	Peso despues de 24 de sumergido en agua	% de absorcion
Muestra SD-3	1307.7	1308.7	0.0765

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.4 Humedad natural

Se ha obtenido la humedad natural de dos muestras de los sondaje SD-2 SD-3 , con los siguientes resultados.

**Tabla 56. Resultados De Humedad Natural.**

	Peso con humedad natural	Peso despues de 24 de secado a 110° C	% de humedad
Muestra SD-2	463.3	435.2	6.46
Muestra SD-3	1233.7	1230.5	0.26

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados con valores distintos permiten indicar que el contenido de humedad está relacionado a la cantidad de tiempo que han estado sometidos a niveles de flujo de agua, es decir la muestra del SD-2 ha estado en una zona con un nivel acuífero el que ha absorbido mayor cantidad de agua que el de la zona de la muestra SD-3 que se halla a mayor profundidad.

### 8.2.3 Capacidad portante admisible para los macizos rocosos.

La capacidad portante admisible de los macizos rocosos del eje de presa propuesta en la laguna Aruri ha sido obtenido mediante ensayos de esclerómetro in situ en los afloramientos y en los cores de perforación de los tres sondajes SD 1, SD2, Y SD 3.

Se ha utilizado la metodología utilizada por los códigos americanos, inglés y el del ISRM, cuyo resumen se extracta en el siguiente cuadro.

**Tabla 57. Resultados De Capacidad Portante Del Macizo Rocoso**

CAPACIDAD PORTANTE EN AFLORAMIENTO Y SONDAJES EN EJE DE PRESA PROPUESTA ARURI							
UBICACIÓN	RESITENCIA A LA COMPRESION			Capacidad portante Adm(kg/cm2)			
	Codigo americano	codigo Ingles (DIN 1054)	ISRM	Codigo americano	codigo Ingles (DIN 1054) Roca diaclasada	codigo Ingles (DIN 1054) Roca sana	ISRM
SONDAJE SD-1	128.00	No considera	128.00	5.12	20.00	40.00	64.0
SONDAJE SD-2	130.00	No considera	130.00	5.20	20.00	40.00	65.0
SONDAJE SD-3	130.00	No considera	130.00	5.20	20.00	40.00	65.0
PROMEDIO AFLORAMIENTO	135.00	No considera	135.00	5.40	20.00	40.00	67.5

Fuente: Elaboración propia

En base a estos resultados es recomendable utilizar el valor del código inglés DIN (1054) Para roca diaclasada, dado que no es una roca homogénea lateral como verticalmente.

Por las consideraciones expuestas y teniendo en cuenta, que estos macizos deben soportar no solamente de cargas estáticas, sino dinámicas, es recomendable considerar valores del código ingles cuyo valor es de 20 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 8.2.4 Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad estático del Granito es 1.7 a 7.7 x 10E5 kg/cm<sup>2</sup>. y el Coeficiente de Poisson 0.1 a 0.4 tal como se aprecia en el siguiente cuadro, así mismo los coeficientes de la diorita 0.2-1.7 x1.0E5 kg/cm<sup>2</sup> del módulo estático de elasticidad y 2.5-4.4x 10E11 kg/cm<sup>2</sup>. Que se muestran en el cuadro siguiente:

*Tabla 58. Resumen De Módulo De Elasticidad Y De Poisson.*

<b>ROCA INTACTA</b>	Modulo de elasticidad estatico(E kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo de elasticidad dinamico Ed Kg/cm <sup>2</sup>	Coeficiente de Poisson
Granito	(1,7-7,7)*10E5	(1,0-8,4)x1,0E5	0,1 -0,4
Diorita	(0,2-1,7) x 1,0E5	(2,5-4,4)X10E11	0.28

Fuente: Elaboración propia

### 8.3 Caracterización de mecánica de suelos

los ensayos de mecánica de suelos se determinaron con las muestras extraídas en cinco calicatas excavadas con esta finalidad, así como los registros estratigráficos respectivo de acuerdo normatividad.

Para la excavación se ha utilizado una retroexcavadora CAT 416D, que ha permitido profundizar de mejor manera, ya que manualmente era muy difícil realizar la excavación por la presencia de boloneria muy entrabada en el nivel inferior y la presencia del nivel freático.

#### 8.3.1 Ubicación de las calicatas de prospección-

La prospección mediante calicatas, para la caracterización los suelos se han realizado en la zona del probable eje de la represa Aruri, distribuidas en la margen izquierda y derecha del riachuelo de salida de las aguas de la lagunilla Aruri.

*Tabla 59. Ubicación De Las Calicatas*

CALICATAS		
N°	ESTE	NORTE
C -1	201519.00 m	8401700.00 m
C -2	201509.00 m	8401718.00 m
C -3	201502.00 m	8401737.00 m
C -4	201461.00 m	8401779.00 m
C -5	201450.00 m	8401813.00 m



*Figura 53. Proceso de excavación con retroexcavadora CAT 416D y ubicación de calicatas*

### 8.3.2 El perfil estratigráfico C-1:

Se ha excavado 2.20 m de profundidad con tres niveles de estratos no muy bien definidos y no se registra nivel freático. Está ubicado en la margen izquierda del riachuelo tal como se parecía en la figura de ubicación.

**Nivel superior.** 10 cm de turbas limo arcillosas de color marrón rojizo, con raíces de ichu y pasto y 30 cm de suelos orgánicos negros debajo de la cobertura marrón rojiza.

**Nivel medio:** 60 cm de arenas limosas con gravas de color anaranjado rojizo compacto con bolones sub angulosos de 10 cm de tamaño medio con algunos sub redondeados.

**Nivel inferior.** Este nivel se ha logrado excavar 1.00m corresponde a arenas limosas con gravas en matriz arcillosa limosa de color amarillo con bolones más angulosos de 12 cm de tamaño en promedio, se observa alteración del

basamento marrón rojizo, los bolones son de rocas intrusivas alteradas, parece corresponder a morrenas de fondo.

### **8.3.3 El perfil estratigráfico C-2:**

Se ha excavado 2.30 m de profundidad con dos niveles de estratos muy bien definidos, con nivel freático a los 2.10m de profundidad. Está ubicado en la margen izquierda del riachuelo tal como se parecía en la figura de ubicación.

**Nivel superior.** 60 cm de turbas limo arcillosas de color marrón rojizo, con raíces de ichu y pasto y 90 cm de suelos orgánicos negros debajo de la cobertura marrón rojiza, haciendo 1.50 m de espesor.

**Nivel inferior.** Este nivel se ha logrado excavar 0.70m debajo del nivel orgánico y corresponde a arenas limosas de color amarillo por la limonita, con bolones de hasta 30 cm de tamaño mayor y un promedio de 5 cm, con buena compacidad.

### **8.3.4 El perfil estratigráfico C-3:**

Se ha excavado 1.80 m de profundidad con dos niveles de estratos muy bien definidos, con nivel freático a los 1.00 m de profundidad. Está ubicado en la margen izquierda del riachuelo tal como se parecía en la figura de ubicación.

**Nivel superior.** 0.40 cm de turbas limo arcillosas de color marrón rojizo, con raíces de ichu y pasto y 40 cm de suelos orgánicos negros debajo de la cobertura marrón rojiza, haciendo 0.80 m de espesor.

**Nivel inferior.** Este nivel se ha logrado excavar 1.00 m debajo del nivel orgánico y corresponde a arenas limosas con gravas de color amarillo por la limonita, con bolones de hasta 60 cm de tamaño mayor y un promedio de 15 cm, con buena compacidad cuyos bloques y bolones se hallan fuertemente entrelazados que dificulta la excavación con la retroexcavadora.

### **8.3.5 El perfil estratigráfico C-4:**

Se ha excavado 2.50 m de profundidad con dos niveles de estratos muy bien definidos, con nivel freático a los 1.20 m de profundidad. Está ubicado en la margen derecha del riachuelo tal como se parecía en la figura de ubicación.

**Nivel superior.** 0.15 m de turbas limo arcillosas de color marrón rojizo, con raíces de ichu y pasto y 30 cm de suelos orgánicos negros debajo de la cobertura marrón rojiza, haciendo 0.45 m de espesor.

**Nivel medio:** 10 cm de limo arenoso de color marrón rojizo debajo del cual se halla un estrato de 0.70 m de arenas limosas con gravas de color anaranjado rojizo compacto con bolones sub redondeados de hasta 0.60 m y 20 cm de tamaño medio en estado semi suelto.

**Nivel inferior.** Este nivel se ha logrado excavar 1.25 m debajo del nivel intermedio y corresponde a arenas limosas con gravas de color beige, con bolones angulosos de hasta 30 cm de tamaño mayor y un promedio de 10 cm, con buena compacidad cuyos bloques y bolones se hallan fuertemente entrelazados que dificulta la excavación con la retroexcavadora.

#### **8.3.6 El perfil estratigráfico C-5:**

Se ha excavado 2.40 m de profundidad con dos niveles de estratos muy bien definidos, con nivel freático a los 0.95 m de profundidad. Está ubicado en la margen derecha del riachuelo tal como se parecía en la figura de ubicación.

**Nivel superior.** 0.10 m de turbas limo arcillosas de color marrón rojizo, con raíces de ichu y pasto y 70 cm de suelos orgánicos negros debajo de la cobertura marrón rojiza, haciendo 0.45 m de espesor.

**Nivel medio:** 75 cm de limo arenoso de color amarillo con gis negruzco en estado semi compacto.

**Nivel inferior.** Este nivel se ha logrado excavar 0.85 m debajo del nivel intermedio y corresponde a arenas limosas con gravas de color beige amarillo, con bolones angulosos de hasta 30 cm de tamaño mayor y un promedio de 15 cm, con buena compacidad cuyos bloques y bolones se hallan fuertemente entrelazados que dificulta la excavación con la retroexcavadora.

#### **8.3.7 Discusión**

Las calicatas en todos los casos, presentan el suelo orgánico con dos niveles, uno superior de color marrón rojizo por el nivel de oxidación superficial y otro nivel de color gris a negro, el superior explica el contenido anómalo de

minerales que se oxida con el contacto agua y aire por lo que estos espesores varían entre 10 a 20 cm.

Los niveles de arenas limosas con gravas corresponden a las morrenas de fondo con clastos semi esféricos y sub angulosos a subred ondeadas cuyas dimensiones hacia los bordes laterales son inferiores a 30 cm de tamaño, mientras que en la zona central estos pueden llegar a ser hasta de 0.60m de tamaño, que explica precisamente el arrastre y mayor depositación morrénicas por la zona central y más erosión y menos depositación hacia los bordes laterales del valle glaciar.

### 8.3.7.1 Clasificación de suelos

El muestreo ha sido realizado en el estrato más profundo de la calicata, en el caso de la calicata 5 donde se presentó dos estratos distintos se hizo el muestreo en cada nivel, mientras que en los demás se hicieron en el nivel inferior.

*Tabla 60. Resumen De Clasificación De Suelos*

UBICACIÓN		GRANULOMETRIA			LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIF.
		GRAVA ( %)	ARENAS (%)	FINOS (%)	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLAST.	SUCS
PROSPECCION	COD MUESTRA							
C-01	M-01	34.1	57.43	13.47	NP	NP	NP	SM
C-02	M-02	27.92	56.76	15.32	NP	NP	NP	SM
C-03	M-03	19.19	51.7	29.12	NP	NP	NP	SM
C-04	M-04	39.9	34.14	25.95	NP	NP	NP	GM
C-05	M-05	28.38	56.26	15.35	NP	NP	NP	SM
C-05 E-3	M-06	19.71	45.35	34.94	45.89	39.54	6.36	SM-SC
SD-01	M-07	0	86.04	13.96	NP	NP	NP	SM

Los resultados corresponden mayormente a arenas limosas con gravas y una grava limosa, con los cuales se ha realizado la sección geotécnica correspondiente.

### 8.3.7.2 Capacidad portante admisible

Para estas muestras se ha realizado ensayos in situ con el penetró metro de Pocket en el nivel de suelos, cuyos resultados están en el rango de 1.00 a 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, considerando que la altura de la presa será mayor a los 8 m de altura los ensayos de capacidad portante deberán ser considerados a los 6 m de profundidad, lo cual se obtiene en el basamento

rocoso, sin embargo, este valor obtenido es referencial para el área del proyecto en lo que a suelos cuaternarios morrénicos se refiere.



*Figura 54. Capacidad portante admisible en nivel de delgados estratos de suelos arenoso de las morrenas mediante el penetró metro de Pocket.*

## **8.4 PROSPECCION GEOFISICA.**

### **8.4.1 Generalidades.**

En el campo de la prospección geofísica se ha basado en la realización de tomografía eléctrica resistiva y sondaje eléctrico Vertical (SEV), con el equipo descrito en el ítem de metodología.

Se han realizado cuatro líneas de tomografía eléctrica resistiva, y dos sondajes eléctricos verticales. Para tal caso, se ha coordinado y consensuado con el equipo formulador el número de líneas y la profundidad objetivo en función a parámetros hidrológicos y tamaño de cuenca.

### **8.4.1 Tomografía eléctrica resistiva**

Se han realizado cuatro secciones tomográficas en total con un aproximado de 510 m lineales en total. Una de 300 m, una de 90 m y dos de 60m cada uno ubicados sistemáticamente en el eje de la presa propuesta Aruri.

### **8.4.3 Ubicación de las líneas**

Las líneas están ubicadas en el plano de ubicación de secciones, cuyo extracto se muestra en la siguiente figura: una en la dirección del eje de presa, dos en la margen izquierda dado que el macizo rocoso no es observable y se requiere tener mayor informar en profundidad, uno en la margen derecha donde se tienen los afloramientos del macizo rocos expuestos y visibles.

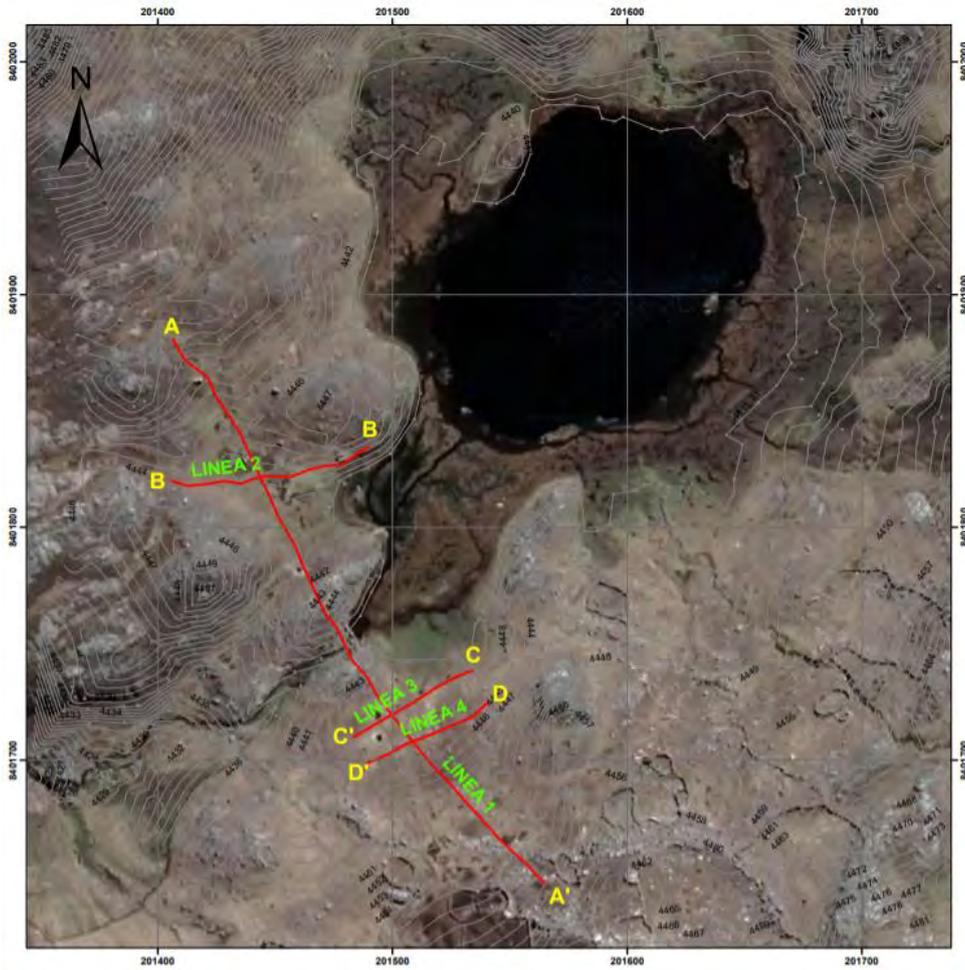


Figura 55. Ubicación de las líneas de tomografía eléctrica

#### 8.4.3.1 Línea de la sección A-A'

Es la línea principal de 300 m de longitud con una separación de electrodos de 5 m de equidistancia que inicia en margen derecha del riachuelo de la laguna Aruri, a 4556 msnm aproximadamente, pasando por el eje del río hasta la margen izquierda en que termina a 4552 msnm aproximadamente.



*Figura 56. Línea de tomografía eléctrica de la sección A-A' en proceso de instalación de los electrodos y registro*

#### **8.4.3.2 Línea de la sección tomográfica B-B'**

Es la línea Transversal a la línea principal A-A', está ubicada en la margen derecha, inicia a la altura de la lagunilla Aruri y termina en la ladera de salida del circo glaciar, tiene una longitud de 90 m.



*Figura 57. Línea de tomografía eléctrica de la sección B-B' en proceso de instalación de los electrodos y registro*

#### **8.4.3.3 Línea de la sección tomográfica C-C'**

Es la línea Transversal en la margen izquierda, más próxima al riachuelo, que se inicia aguas arriba, en el borde del macizo rocoso aflorante y termina en la dirección de aguas debajo de riachuelo, tiene una longitud de 60 m.



*Figura 58. Línea de tomografía eléctrica de la sección C-C' en proceso de instalación de los electrodos y registro.*

#### 8.4.3.4 Línea de la sección tomográfica D-D'

Es la línea Transversal a la línea principal y es paralela a la línea C-C', en la margen izquierda a 20 m hacia la ladera muy próximo al punto de perforación programado, con la finalidad de realizar las respectivas correlaciones y tiene una longitud de 60 m.



*Figura 59. Línea de tomografía eléctrica de la sección D-D' en proceso de instalación de los electrodos y registro*

#### 8.4.4 Descripción de resistividades de secciones

En base a las cuatro líneas tomográficas, después de las iteraciones respectivas, así como las interpretaciones correspondientes se ha procedido a describir cada una de las secciones tomográficas. Previamente se ha realizado la adaptación a la topografía superficial del terreno sobre el cual se han realizado los ensayos, para cuyo efecto se ha hecho uso de la ubicación de los electrodos en las líneas de tomografía de resistividad eléctrica. Estas cuatro secciones que se describen representan los modelos geo eléctricos, después de la inversión de las resistividades aparentes registradas en campo para cada una de las secciones.

Como se conoce, Los valores de resistividad en las rocas están determinados por la composición mineral, el agua que contienen y principalmente su porosidad y el grado de fracturamiento y por la salinidad del agua lo que indica mayor conductividad. Todo esto indica que la resistividad del tipo de roca tiene gran heterogeneidad, incluso siendo el mismo tipo de roca. Sin embargo, una vez ya conocida la geología existente de un área, los mas resaltantes diferencias relativas de resistividad medidas durante una prospección de TME, está dada a la concordancia por lo general a la mayor

o menor existencia de agua en el macizo rocoso, por tanto, la cartografía geológica y el comportamiento estructural superficial es otro elemento importante en la interpretación realizada.

Los valores de la resistividad de un material geológico varían en distintos límites debido a la conductividad eléctrica de estos, y la resistividad presenta dos componentes: uno la conductividad electrónica que se origina por movimiento de electrones en la masa del material, y la conductividad electrolítica se produce por movimiento de iones en los fluidos que llenan los intersticios del material. De esta manera, la interpretación de la información generada en la tomografía eléctrica resistiva, lo más dificultoso es procesar del modelo teórico de combinaciones de rocas y resistividades al modelo físico de estratos y materiales. Por tanto, se ha adaptado una tabla de resistividades y de colores en base a información incluida en el marco teórico.

#### 8.4.4.1 Sección A-A'

Corresponde a la línea longitudinal de 300 que inicia a lado derecho del riachuelo y que corresponde a la línea principal paralela al eje de presa propuesto. Se puede observar resistividades que van desde los 25  $\Omega$  m a 5200  $\Omega$  m con un espesor de 80 m en promedio.

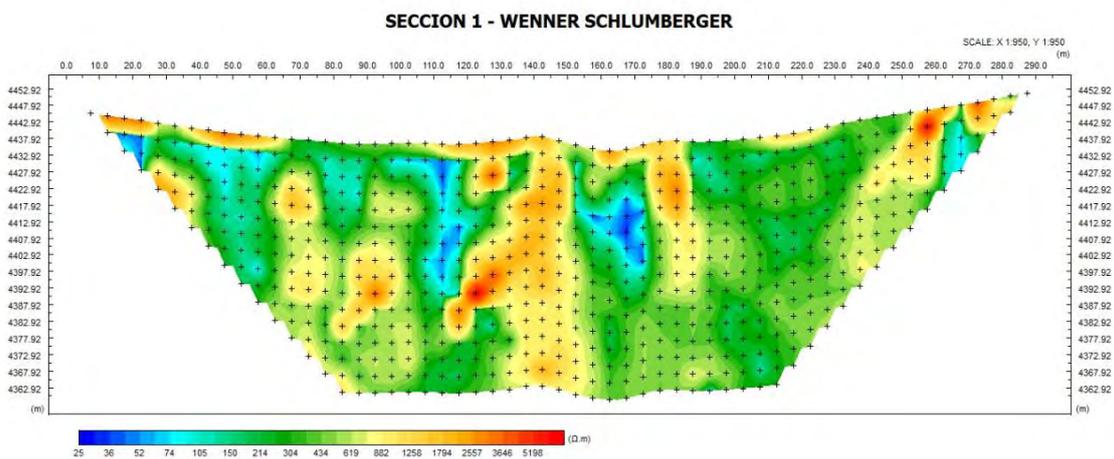


Figura 60. Sección tomográfica A-A

#### Zona de muy baja resistividad

Las demarcaciones de muy baja resistividad en la sección se observan en tres sectores de la sección cuyos valores están en el rango 25  $\Omega$  m a 50  $\Omega$  m.

Estos tienen incidencia a 5 m debajo del nivel de la laguna a 110m de la sección en forma de un embudo que profundiza hasta los 40 m debajo del nivel de la laguna actual (4440nsnm),

El otro se observa debajo del riachuelo también a 5m debajo del nivel de la laguna con una delgada fractura que a los 20 m se ensancha en forma de embudo.

Estas bajas resistividades corresponden a zonas del basamento rocoso fracturado y saturado con flujos de agua corriente probablemente agua con contenido mineral.

### **Zona de baja resistividad**

Las demarcaciones de baja resistividad en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 50  $\Omega$  m a 200  $\Omega$  m. corresponde al basamento rocoso fracturado.

Estos tienen incidencia en los alrededores de las zonas de muy baja resistividad a modo de aureolas, lo que implica disminución de los contenidos de agua respecto a las de muy baja resistividad.

### **Zona de resistividad media**

Las demarcaciones de resistividad media en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 200  $\Omega$  m a 700  $\Omega$  m.

Estos corresponden a las zonas de transición entre los de resistividad baja y los de alta resistividad. Corresponde al basamento rocoso con fracturas en grado menor que las zonas de muy baja y baja resistividad.

### **Zona de resistividad alta**

Las demarcaciones de resistividad alta en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 700  $\Omega$  m a mayores de 5200  $\Omega$  m.

Corresponden al macizo rocoso con escaso grado de fracturamiento y ausente de saturación de agua.

#### 8.4.4.2 Sección B-B'

Corresponde a la línea longitudinal de 90 que inicia a la altura de la lagunilla de Aruri y se extiende hacia la ladera (salida del circo glaciar) en forma transversal a la línea principal. Se puede observar resistividades que van desde los 24  $\Omega$  m a 6900  $\Omega$  m con un espesor de 24 m en promedio.

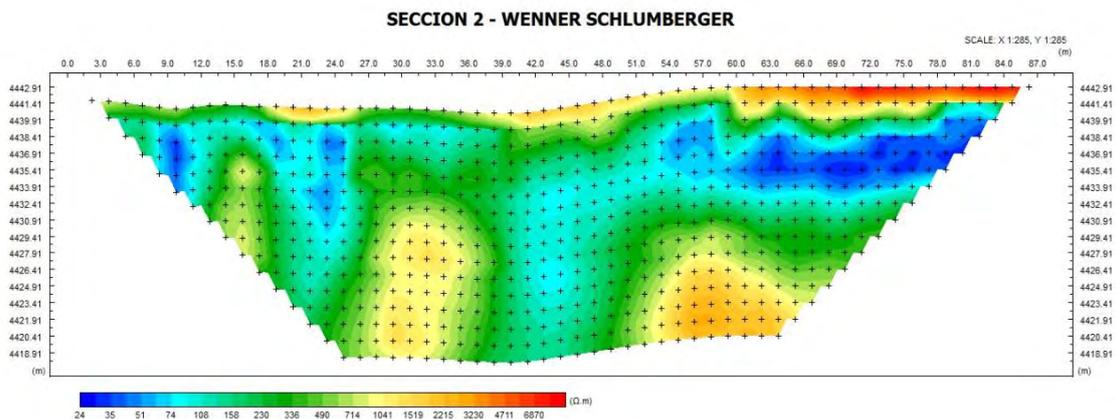


Figura 61. Sección tomográfica B-B

#### Zona de muy baja resistividad

Las demarcaciones de muy baja resistividad en la sección se observan en tres sectores de la sección cuyos valores están en el rango 24  $\Omega$  m a 50  $\Omega$  m.

Estos tienen incidencia a 3 m debajo del nivel de la laguna a 10 m hasta los 24 m de la sección que profundizan en forma de embudos y profundiza hasta los 12 m debajo del nivel de la laguna actual (4440nsnm),

El otro se observa debajo de la ladera de salida del circo glaciar a una profundidad de 9 m debajo de la superficie, pero que es a 1 m debajo del nivel de laguna. Esta tiene una forma lobular alargada por 30 m que probablemente continúe hacia la zona de salida de la pequeña abra.

Estas bajas resistividades corresponden a zonas del basamento rocoso fracturado y saturado con flujos de agua corriente probablemente agua con contenido mineral.

#### Zona de baja resistividad

Las demarcaciones de baja resistividad en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 50  $\Omega$  m a 200  $\Omega$  m. corresponde al basamento rocoso fracturado.

Estos tienen incidencia en los alrededores de las zonas de muy baja resistividad a modo de aureolas, lo que implica disminución de los contenidos de agua respecto a las de muy baja resistividad en las fracturas del macizo rocoso.

#### **Zona de resistividad media**

Las demarcaciones de resistividad media en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 200  $\Omega$  m a 700  $\Omega$  m.

Estos corresponden a las zonas de transición entre los de resistividad baja y los de alta resistividad. Corresponde al basamento rocoso con fracturas en grado menor que las zonas de muy baja y baja resistividad.

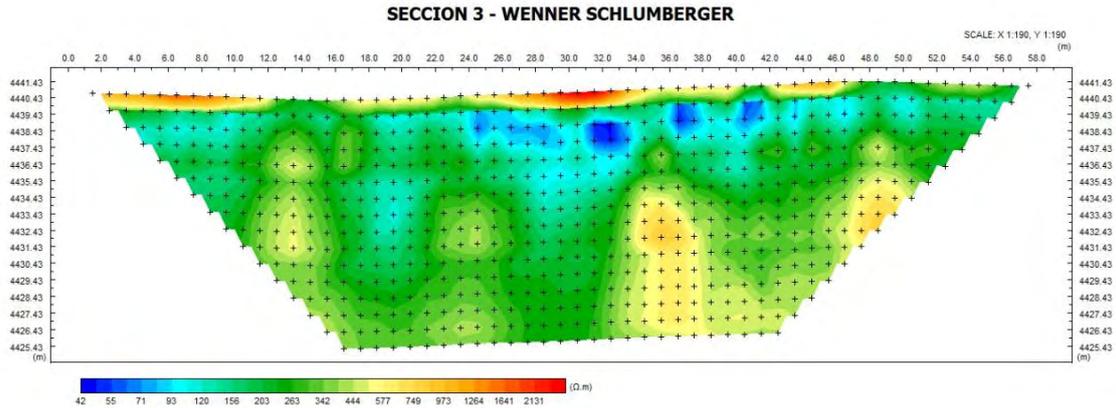
#### **Zona de resistividad alta**

Las demarcaciones de resistividad alta en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 700  $\Omega$  m a mayores de 5200  $\Omega$  m.

Corresponden al macizo rocoso con escaso grado de fracturamiento y ausente de saturación de agua.

#### **8.4.4.3 Sección C-C'**

Corresponde a la línea longitudinal de 60 que inicia a la altura del macizo rocoso de la margen izquierda y se extiende hacia la planicie existente (salida del valle glaciar) en forma transversal a la línea principal. Se puede observar resistividades que van desde los 42  $\Omega$  m a 2200  $\Omega$  m con un espesor de 13 m en promedio.



*Figura 62. Sección tomográfica C-C*

### **Zona de baja resistividad**

Las demarcaciones de baja resistividad en la sección se observan en tres sectores de la sección cuyos valores están en el rango 42  $\Omega$  m a 120  $\Omega$  m.

Estos tienen incidencia a la altura del eje de presa propuesta, es decir a los 24 m, a 2 m debajo de la superficie de la sección y a 1 m debajo del nivel de la laguna hasta una profundidad de 4 m en una longitud de 20 m de la sección.

Corresponden a gravas arenosas y Saprolitos saturados, con un límite de rocas fracturadas por debajo.

### **Zona de resistividad media**

Las demarcaciones de resistividad media en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 120  $\Omega$  m a 500  $\Omega$  m.

Estos corresponden a las zonas de transición entre los de resistividad baja y los de alta resistividad. Corresponde al basamento rocoso fracturado con cierto grado de saturación.

### **Zona de resistividad alta**

Las demarcaciones de resistividad alta en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 500  $\Omega$  m a mayores de 2200  $\Omega$  m.

Corresponden al macizo rocoso con escaso grado de fracturamiento y ausente de saturación de agua.

#### 8.4.4.4 Sección D-D'

Corresponde a la línea longitudinal paralela a la línea C-C', de 60m que inicia a la altura del macizo rocoso de la margen izquierda y se extiende hacia la planicie existente (salida del valle glaciar) en forma transversal a la línea principal. Se puede observar resistividades que van desde los 50  $\Omega$  m a 14900  $\Omega$  m con un espesor de 13 m en promedio.

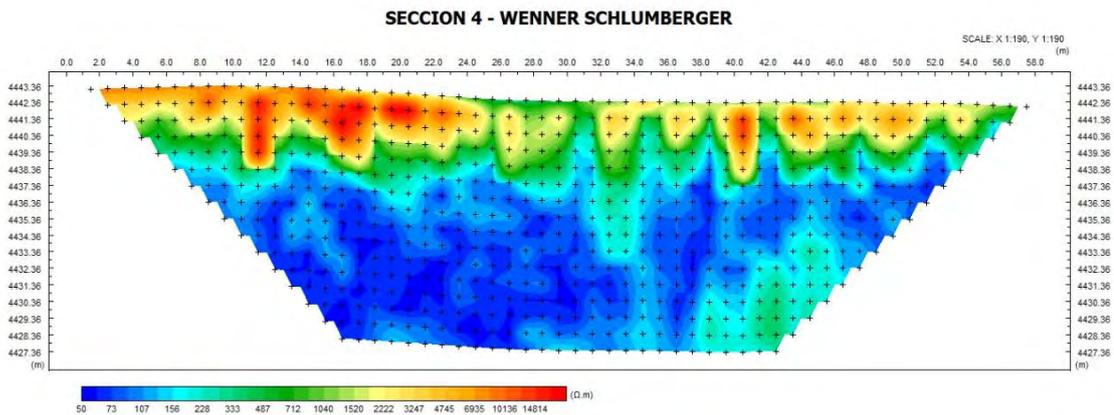


Figura 63. Sección tomográfica D-D'

#### Zona de baja resistividad

Las demarcaciones de baja resistividad en la sección se observan en tres sectores de la sección cuyos valores están en el rango 50  $\Omega$  m a 120  $\Omega$  m.

Estos tienen incidencia a lo largo de toda la sección, entre 5 y 6 m debajo de la superficie de la sección y a 2 m debajo del nivel de la laguna hasta una profundidad de 12 m y con profundización.

Estas bajas resistividades corresponden a zonas del basamento rocoso fracturado y saturado con flujos de agua corriente probablemente agua con contenido mineral.

#### Zona de resistividad media

Las demarcaciones de resistividad media en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 120  $\Omega$  m a 1200  $\Omega$  m.

Estos corresponden a las zonas de transición entre los de resistividad baja y los de alta resistividad. Corresponde al basamento rocoso fracturado con cierto grado de saturación.

### **Zona de resistividad alta**

Las demarcaciones de resistividad alta en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 1200  $\Omega$  m a mayores de 2200  $\Omega$  m.

Corresponden al macizo rocoso fracturado y ausente de saturación de agua en el momento actual, sin embargo, puede ser que al llenarse pueda saturarse, por lo que se debe prever más perforaciones en este sector.

### **Zona de resistividad muy alta**

Las demarcaciones de muy alta resistividad en la sección se observan en varios sectores cuyos valores están en el rango 2200  $\Omega$  m a mayores de 14900  $\Omega$  m.

Corresponden a bloques de grandes dimensiones con espacios amplios que corresponde a un deslizamiento antiguo o a morrenas que dejaron estos bloques sin rellenos. Estas se encuentran desde los niveles superficiales a lo largo de toda la sección con espesores entre 4m y 6 m.

## **8.5 Sondajes eléctrico verticales**

Con la finalidad de obtener resultados óptimos y adecuados, en este caso, se han realizado 02 SEVs, en la margen izquierda del riachuelo de la Laguna Aruri. Ubicación de Sondajes eléctricos Verticales.

Un SEV brindar darnos los datos en 1D del terreno donde se aplicara un pulso de corriente eléctrica para estimular y de la misma manera se registrara la variación de potencial dada por el terreno como reacción. Empleando la ecuación de Laplace podemos realizar un perfil estratigráfico con los datos obtenidos "Estímulo / Respuesta" del terreno. El SEV presenta las características que se presentan:

### **8.5.1 Interpretación y resultados de los SEVs**

Un Sondaje Eléctrico Vertical es la acumulación de datos obtenidos en un punto de la superficie considerando las diferentes profundidades y a la vez distintos datos de resistividad aparente. Indirectamente de los arreglo de electrones, el cual se centra en un punto donde se realiza el SEV y tiene una

profundidad el cual se aleja entre los electrones . Para procesar los datos de un SEV se tiene en cuenta un modelo de capas del terreno (Modelo Unidimensional), la resistividad varía debido a la profundidad y no en las zonas laterales. Se considera que la resistividad aparente son el resultado del promedio de las resistividades reales del material , por lo que se concluye que un dato mayor de resistividad aparente corresponde al valor de resistividad real.

Los datos que obtenemos en el SEV es la variación de resistividad del terreno que se refleja en medidas de resistividad aparente, donde la inversión de valores genera información confiable de profundidad donde cambia. Al invertir los datos de resistividad aparente es muy laborioso desarrollo matemático donde se halla el modelo de resistividad real del terreno.

La información de campo ha sido procesada en un programa adecuado; seguidamente se ajustó los valores de resistividad calculada para cada horizonte resistivo, y finalmente estos datos fueron correlacionados con la geología del lugar del proyecto.

### **8.5.2 Ubicación de los sondajes eléctricos verticales.**

Para profundizar la prospección geofísica en el área donde se han realizado lineales de tomografía con profundidades menores a 20 m se ha profundizado mediante los sondajes eléctrico verticales.



*Figura 64. Ubicación de los SEV s*

### 8.5.3 Sondaje eléctrico vertical N° 01

Los datos de resistividad obtenidos en campo para le sondaje eléctrico vertical N° 1 son los siguientes:

**Tabla 61. Resultados Del SEV N°01**

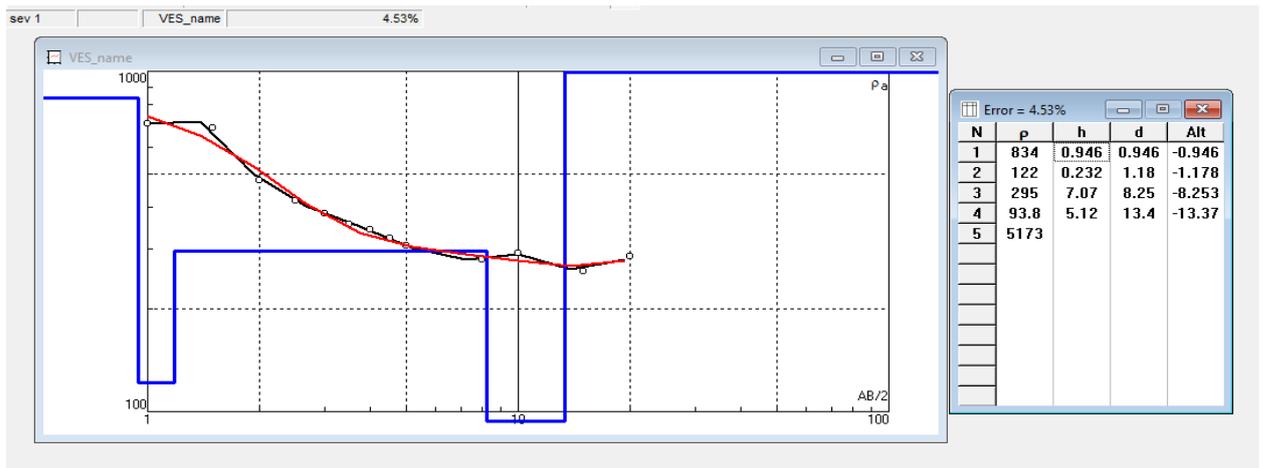
DEPART.:	CUSCO	PROVINCIA	CHUMBIVILCAS	DISTRITO	CHAMACA	UBICACIÓN	PRESA ARURI
OPERADOR:	CWHS						
ARREGLO	SCHLUMBERGER	FECHA:	28/04/2021				
SIST. CORD.	WGS 84	ESTE	NORTE <th colspan="3">ELEVACION</th>		ELEVACION		
	19S	201509.48	8401716.38		4442.5		
RUMBO:		SEV N°	1				
HORA INIC:		HORA FINAL					
AB/2	MN/2	K	V(mV)	I(mA)	R (ohm-m)	OBS:	
1	0.5				700.64		
1.5	0.5				680.29		
2	0.5				476.21		
2.5	0.5				415.62		
3	0.5				380.57		
3.5	0.5				355.08		
4	0.5				341.79		
4.5	0.5				322.03		
5	0.5				306.8		
8	0.5				279.94		
10	0.5				291.22		
15	0.5				257.84		
20	0.5				285.17		

Los espesores de los cambios de resistividad se indican en el siguiente cuadro, el mismo que nos permite establecer los horizontes de resistividad distintos.

**Tabla 62. Resumen De Resultados Del SEV N°01**

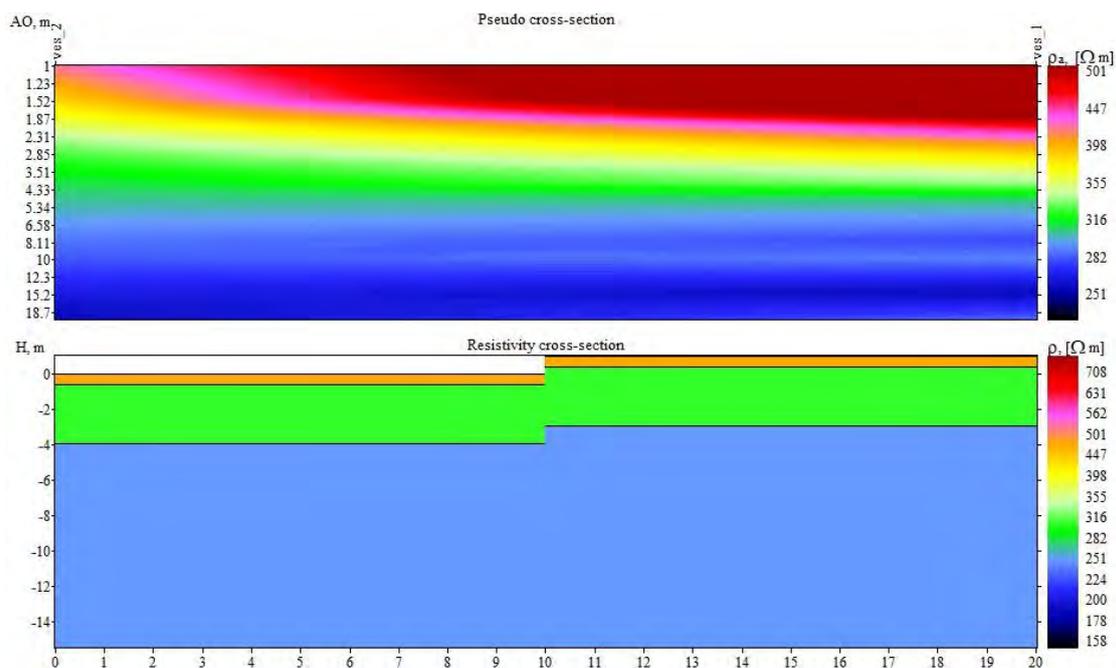
TRAMO	RESISTIVIDAD ohm-m	ESPESOR (m)	PROFUNDID AD
E1	834	0.946	-0.946
E2	122	1.18	-1.178
E3	295	8.25	-8.253
E4	93.8	13.4	-13.37

La interpretación graficas del sondaje eléctrico vertical se indica en la siguiente figura, cuyo patrón de la curva es precisada por el programa de resistividad con este fin.



*Figura 65. Interpretación gráfica del SEV N°01*

Los horizontes resistivos mostrados en la sección de resistividad, después de ser invertida la pseudo sección se tiene dos niveles de resistividad que tienen un rango de resistividad media, tal como lo descrito en los valores de tomografía eléctrica resistiva.



*Figura 66. Tomografía eléctrica del SEV N°01*

#### 8.5.4 Sondaje eléctrico vertical N° 02

Los datos de resistividad obtenidos en campo para le sondaje eléctrico vertical N° 2 son los siguientes:

**Tabla 63. Resultados del SEV N°02**

DEPART.:	CUSCO	PROVINCIA	DISTRITO	UBICACIÓN			
		CHUMBIVILCAS	CHAMACA	PRESA ARURI			
OPERADOR:	CWHS						
ARREGLO	SCHLUMBERGER	FECHA:	28/04/2021				
SIST. CORD.	WGS 84	ESTE	NORTE		ELEVACION		
	19S	201502.24	8401734.68		4441.2		
RUMBO:	SEV N°		2				
HORA INIC:			HORA FINAL				
AB/2	MN/2	K	V(mV)	I(mA)	R (ohm-m)	OBS:	
1	0.5				417.41		
1.5	0.5				396.77		
2	0.5				345.65		
2.5	0.5				345.36		
3	0.5				335.32		
3.5	0.5				325.04		
4	0.5				288.38		
4.5	0.5				310.35		
5	0.5				315.58		
8	0.5				275.84		
10	0.5				290.56		
15	0.5				261.57		
20	0.5				259.89		

Los espesores de los cambios de resistividad se indican en el siguiente cuadro, el mismo que nos permite establecer los horizontes de resistividad distintos.

**Tabla 64.** Resumen De Resultados Del SEV N°02

TRAMO	RESISTIVIDAD ohm-m	ESPESOR (m)	PROFUNDI DAD
E1	451	0.955	-0.955
E2	171	1.51	-1.508
E3	593	2.4	-2.397
E4	136	3.88	-3.882
E5	617	6.8	-6.801
E6	73	13.3	-13.25

La interpretación graficas del sondaje eléctrico vertical se indica en la siguiente figura, cuyo patrón de la curva es precisada por el programa de resistividad con este fin.

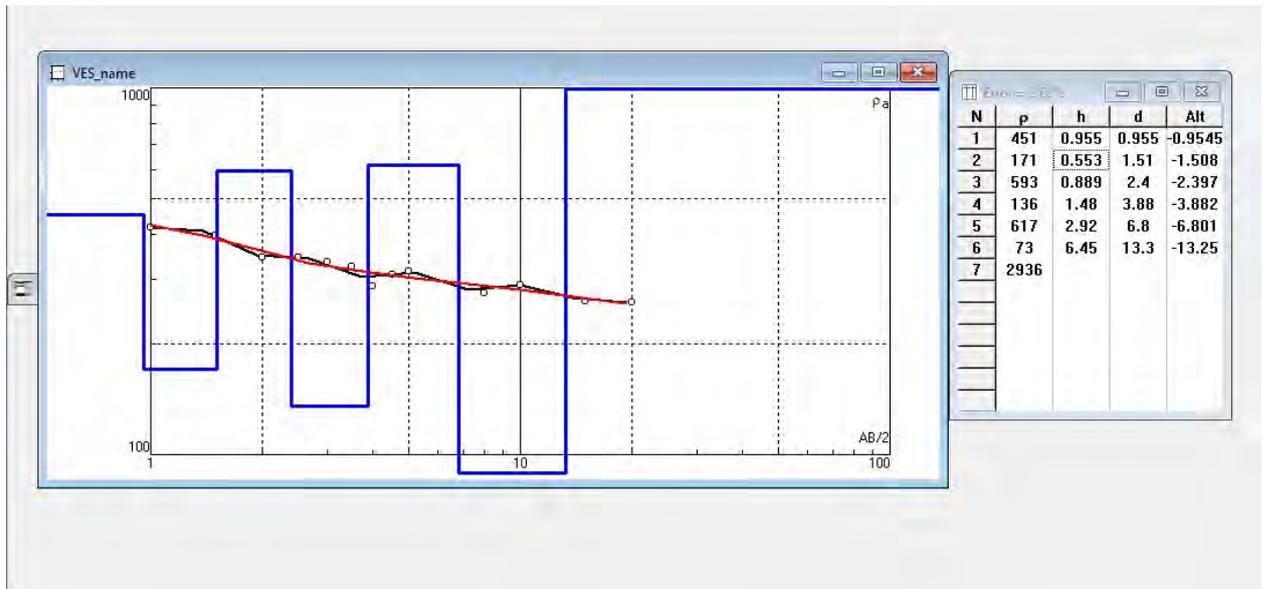


Figura 67. Interpretación gráfica del SEV N°02

Los horizontes resistivos mostrados en la sección de resistividad, después de ser invertida la pseudo sección muestra dos niveles de resistividad, de manera similar al SEV 1, que tienen un rango de resistividad media, tal como lo descrito en los valores de tomografía eléctrica resistiva.

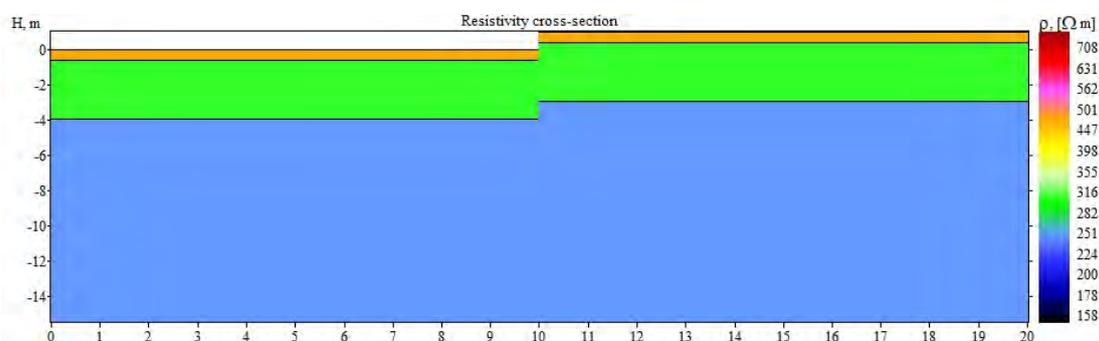


Figura 68. Tomografía eléctrica del SEV N°01

## 8.6 Perforación diamantina

El informe de perforación ha sido realizado por la empresa consultora y constructora JELM SRL, el mismo que ha sido revisado y supervisados durante la etapa de campo.

La supervisión de las perforaciones ha consistido en definir los puntos de perforación previamente se ha realizado las respectivas coordinaciones con el equipo de estudio.

Durante la supervisión por parte de GEO CUSCO EIRL, ha realizado el logueo de las perforaciones, así como ha obtenido la información respecto a los ensayos de permeabilidad, QUE EN todos los caos han sido por el método de Lugeon, dado que la perforación se ha realizado en rocas intrusivas.

### 8.6.1 Ubicación de los sondajes diamantinos.

Se ha perforado tres pozos de profundidades entre 1.5m y 17.5 m en la zona central y en ambos márgenes del riachuelo en alineamiento de la propuesta del eje de presa.

Estas han sido ubicadas considerando investigar el espesor del material cuaternaria existente en ambos márgenes, dado que la zona central se halla en una zona con aforamiento de roca.



*Figura 69. Proceso de perforación y ubicación de sondajes diamantinos*

### 8.6.2 Logueo de perforación SD 1.

Se ha registrado el logueo de la perforación en el pozo 1 en el que se observa que el macizo rocoso se halla a partir de los 5.5m de profundidad, con un RQD entre 20 y 60% y solo en el tramo de los 14 m este mejora entre 80 y 100% , lo que indica que la mayoría de tramos tienen roca fracturada.

PROYECTO:		COORDENADAS:					
"CREACIÓN DEL SISTEMA DE REGIO ARURI, EN LA COMUNIDAD DE UCHUACARCO - DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO"		NORTE:	8401700.6				
		ESTE:	201505.4				
CÓDIGO DE SONDAJE:		ALTIMETRIA:	4432				
UBICACIÓN:		PROFUNDIDAD PROYECTADA:	12.5 m				
TIPO Y DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN:		PROFUNDIDAD EJECUTADA:	15.5 m				
INCLINACIÓN DEL SONDEO:		FECHA INICIO:	28/04/2021				
		FECHA FIN:	2/05/2021				
FECHA:	INTERVALO (m):	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	% DE RECUPERACIÓN	% DE R.Q.D.	Tramos > 30 cm	Grupos de bloques de roca	Empuje de Perforabilidad
28/04/2021	0.00 - 0.60	Grava limosa color marrón claro (proyecto) GM					
29/04/2021	0.60 - 1.00	Bolsones arenosa color gris					
30/04/2021	1.00 - 2.00	Arena limosa de grano grueso a medio con bloques de hasta 30 cm de diámetro (proyecto) de la alteración de roca monzonita					
01/05/2021	2.00 - 3.00	Arena limosa de grano grueso a medio con bloques de hasta 30 cm de diámetro					
02/05/2021	3.00 - 3.40	Bolsones arenosa color gris de 20 cm de diámetro					
03/05/2021	3.40 - 4.00	Arena limosa SM de grano medio color gris					
04/05/2021	4.00 - 4.80	Monzonita color gris muy fracturada con niveles de limo gris					
05/05/2021	4.80 - 5.00	Arena limosa SM color gris					
06/05/2021	5.00 - 5.40	Arena limosa color gris con presencia de bolsones de 20 cm de diámetro					
07/05/2021	5.40 - 5.50	Diorita color gris verdoso muy fracturada					

Figura 70. Logueo del sondaje de perforación diamantina en el Pozo 01

### 8.6.3 Logueo de perforación SD 2.

Se ha registrado el logueo de la perforación en el pozo 2 en el que se observa que el macizo rocoso se halla a partir de los 2.3m de profundidad, con un RQD de 20% en cuatro tramos, lo cual indica rocas muy fracturadas, en los demás tramos entre 40 y 60% y solo en el tramo de los 5 m esta mejora entre 80 y 100%, lo que indica que la mayoría de tramos tienen roca fracturada.

PROYECTO:		COORDENADAS:					
"CREACIÓN DEL SISTEMA DE REGIO ARURI, EN LA COMUNIDAD DE UCHUACARCO - DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO"		NORTE:	8401700.6				
		ESTE:	201505.4				
CÓDIGO DE SONDAJE:		ALTIMETRIA:	4432				
UBICACIÓN:		PROFUNDIDAD PROYECTADA:	12.5 m				
TIPO Y DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN:		PROFUNDIDAD EJECUTADA:	15.5 m				
INCLINACIÓN DEL SONDEO:		FECHA INICIO:	28/04/2021				
		FECHA FIN:	2/05/2021				
FECHA:	INTERVALO (m):	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	% DE RECUPERACIÓN	% DE R.Q.D.	Tramos > 30 cm	Grupos de bloques de roca	Empuje de Perforabilidad
30/04/2021	0.00 - 0.60	Grava limosa color amarillo (proyecto) GM					
01/05/2021	0.60 - 1.00	Arena limosa SM color gris con bolsones 10%					
02/05/2021	1.00 - 2.00	Arena limosa de grano medio color gris SM con bolsones 10% de roca monzonita					
03/05/2021	2.00 - 3.00	Grava limosa color gris					
04/05/2021	3.00 - 3.00	Monzonita color gris extremadamente fracturada con alteración blanquecina en fracturas					
05/05/2021	3.00 - 4.00	Monzonita color gris muy fracturada con epoxidación color verde oscuro en fracturas RQD = 40%					
06/05/2021	4.00 - 5.00	Monzonita color gris extremadamente fracturada con epoxidación color verde oscuro en fracturas RQD = 20%					
07/05/2021	5.00 - 3.00	Diorita color gris verdoso con presencia de oxidación amarillenta en fracturas RQD = 100%					
08/05/2021	5.00 - 5.60	Diorita color gris verdoso extremadamente fracturada					

Figura 71. Logueo del sondaje de perforación diamantina en el Pozo 02

### 8.6.4 Logueo de perforación SD 3.

Se ha registrado el logueo de la perforación en el pozo 3 en el que se observa que el macizo rocoso se halla desde la superficie, con un RQD entre 60% y

80% y solo en el tramo de los 4 a 5 m esta mejora entre 80 y 100%, lo que indica que la mayoría de tramos tienen una buena calidad de roca.

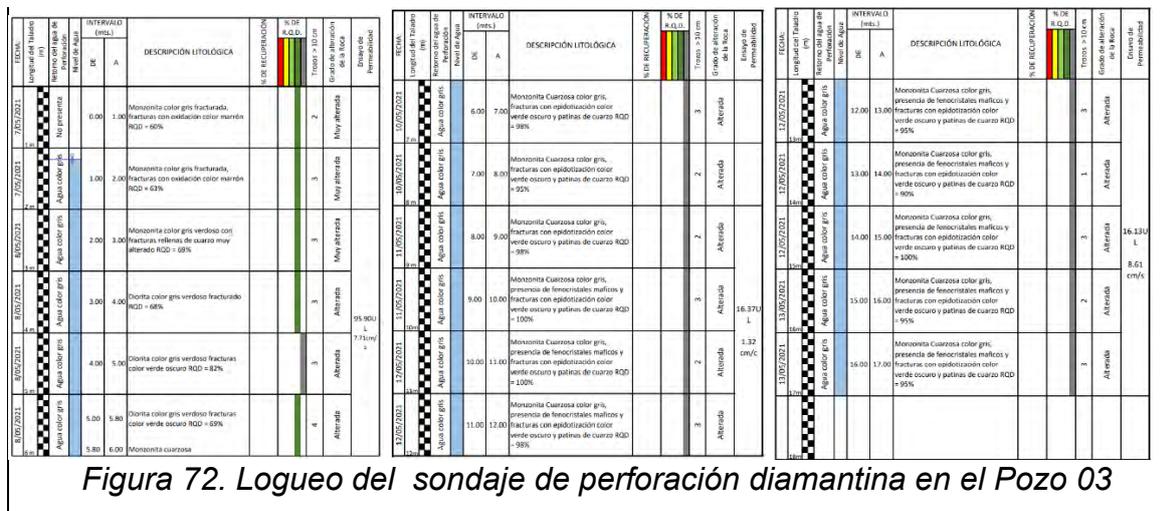


Figura 72. Logeo del sondaje de perforación diamantina en el Pozo 03

### 8.6.6 Permeabilidad Lugeon.

Los ensayos de permeabilidad realizados permiten indicar el comportamiento variable de las permeabilidades, es así que se puede observar diferentes tipos de flujos desde el laminar hasta el turbulento, en algunos casos con taponamiento y en otros con erosión.

Lo cual nos hace sugerir el comportamiento heterogéneo frente a presiones del agua que existen a diferentes profundidades del macizo rocoso.

Se tiene en siguiente cuadro el extracto de los registros de permeabilidad y sus características que se encuentran en anexos.

Tabla 65. Resumen De Ensayos De Permeabilidad De Lugeon

RESUMEN DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LUGEON							
SONDAJE N°	N° de Ensayo	Profundidad (m) tramo de		Unidad Lugeon seleccionada	Permeabilidad K (cm/s) Gonzales de Vallejo	Permeabilidad K (cm/s) Custidio y Lamas	OBSERVACIONES
		de	a				
SONDAJE N° 01	1	12	17	3.86	3.86E-05	5.34E-05	Flujo de taponamiento de fracturas con altas presiones
SONDAJE N° 02	2	3	7	195.4	1.95E-03	1.19E-03	Apertura de fracturas por presiones elevadas.
SONDAJE N° 02	3	7.5	12	209.92	2.10E-03	1.22E-03	Ligeramente con tendencias a taponamiento y sensiblemente laminar.
SONDAJE N° 03	4	2	7	95.9	9.59E-04	7.71E-04	Flujo laminar, valores cercanos de Lugeon en cada estadio.
SONDAJE N° 03	5	8	12.5	16.37	1.65E-04	1.32E-04	Flujo turbulento, la unidad lugeon en la máxima presión es menor que en los estadios medios y mínimos, por fracturamiento heterogéneo.
SONDAJE N° 03	6	12.5	17	16.13	1.61E-04	8.61E-05	Flujo de erosión, el valor se incrementa en cada estadio

## 8.6 Análisis e interpretación

### 8.6.1 Interpretación geológica de secciones tomográficas.

En base a la descripción de las resistividades, cartografía superficial, excavación de calicatas y perforaciones diamantinas, se ha realizado la interpretación y diseño de las secciones geológicas y geotécnicas en el área de la presa Aruri.

#### 8.6.1.1 Sección A-A'

Corresponde a la línea longitudinal de 300 m, que se ha interpretado en la superficie con cobertura cuaternaria, debajo con las diferentes calidades del macizo rocoso, tal como se grafica en la siguiente figura.

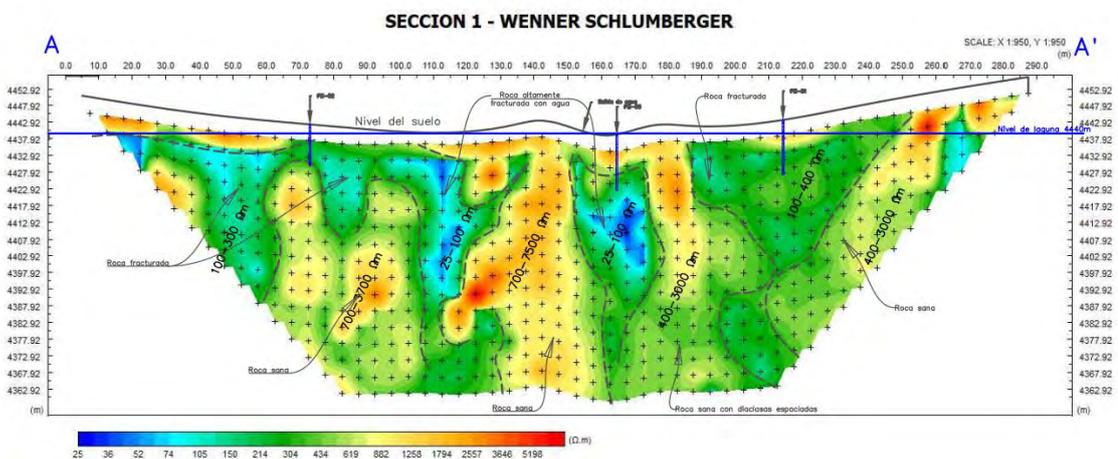


Figura 73. Interpretación geológica de la sección tomografía A'-A'

#### 8.6.1.2 Sección B-B'

Corresponde a la línea longitudinal de 90 m, que se ha interpretado en la superficie con cobertura cuaternaria, debajo con las diferentes calidades del macizo rocoso, tal como se grafica en la siguiente figura.

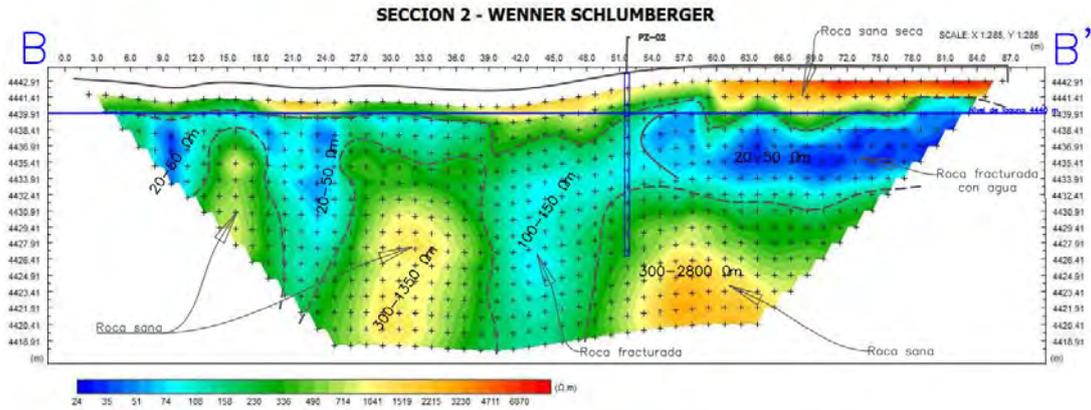


Figura 74. Interpretación geológica de la sección tomografía B'-B'

### 8.6.1.3 Sección C-C'

Corresponde a la línea longitudinal de 60m, que se ha interpretado en la superficie con cobertura cuaternaria, debajo con las diferentes calidades del macizo rocoso, tal como se grafica en la siguiente figura que se encuentra en anexos.

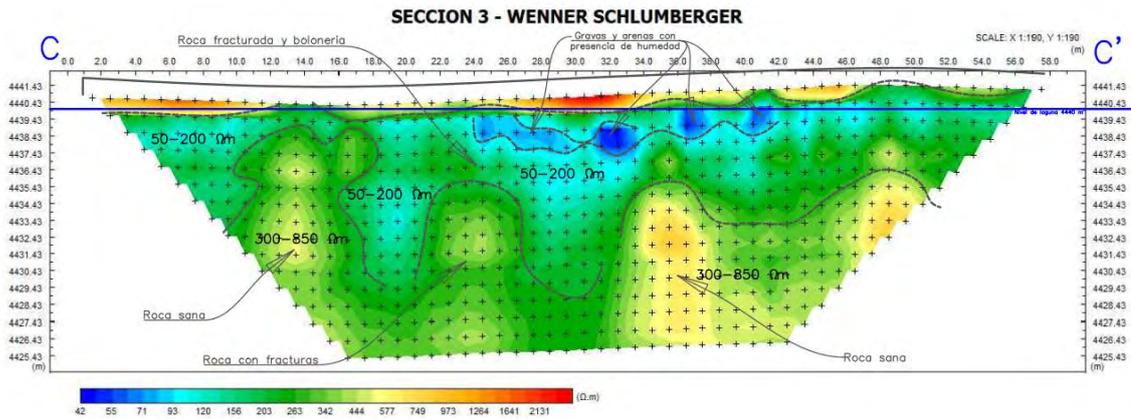


Figura 75. Interpretación geológica de la sección tomografía C'-C'

### 8.6.1.4 Sección D-D'

Corresponde a la línea longitudinal de 60m, que se ha interpretado en la superficie con cobertura cuaternaria, debajo con las diferentes calidades del macizo rocoso, tal como se grafica en la siguiente figura.

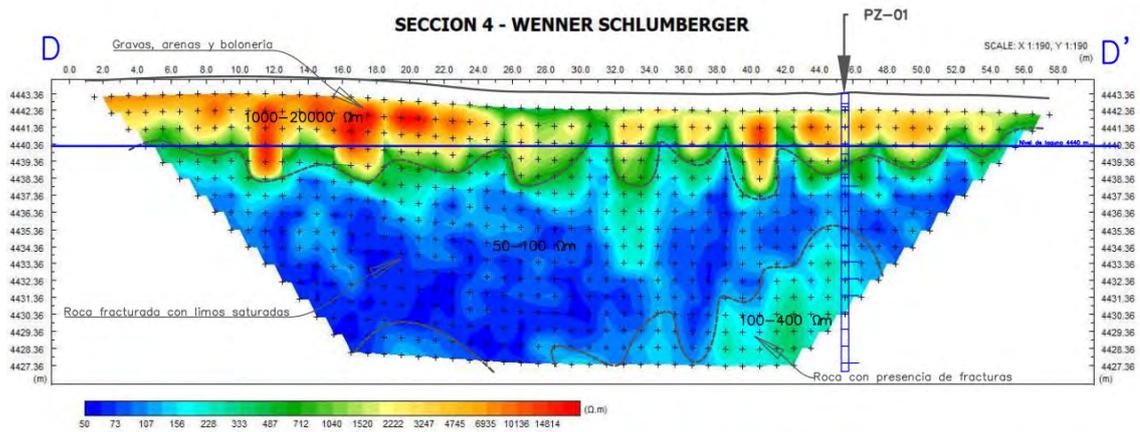
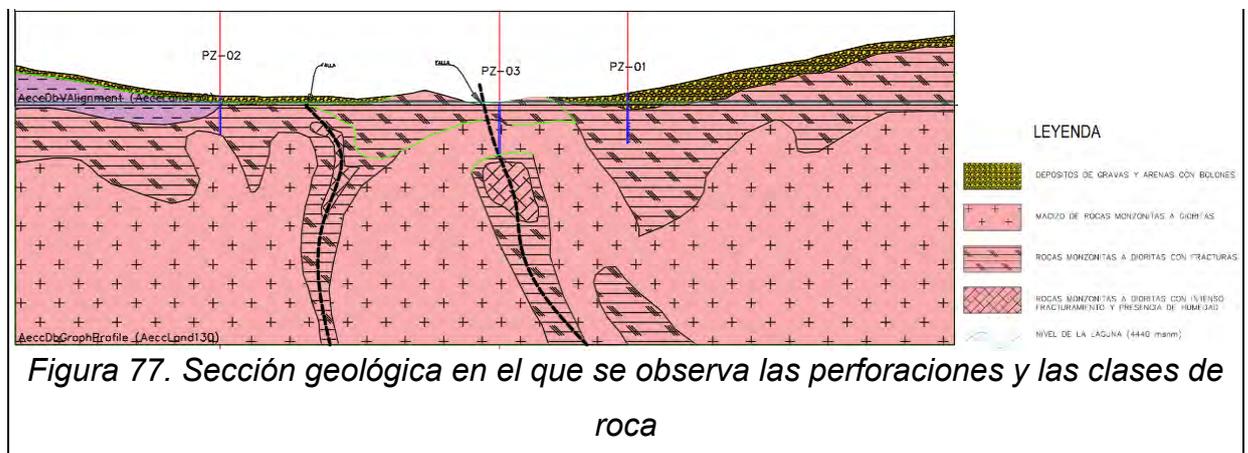


Figura 76. Interpretación geológica de la sección tomografía D'-D'

### 8.6.2 Sección geológica en el eje de presa.

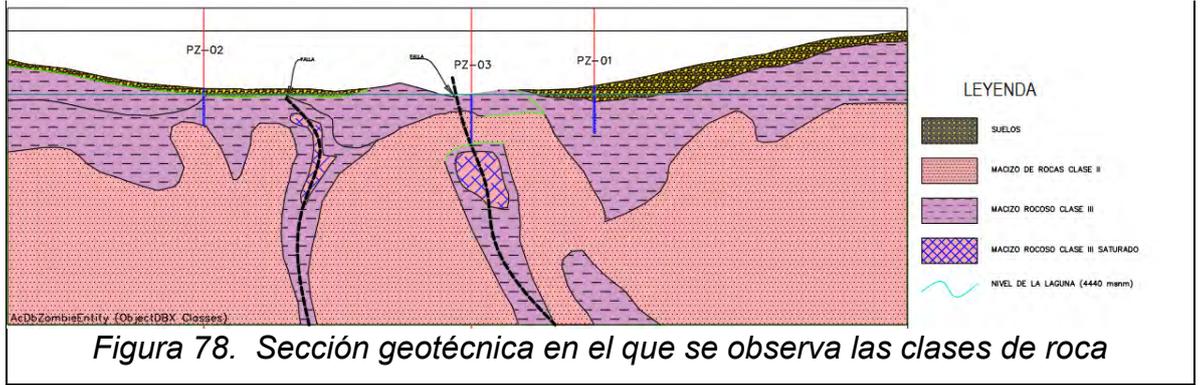
En base a las interpretaciones geológicas de secciones tomográficas, prospección de calicatas y perforaciones diamantinas se ha diseñado la sección geológica y geotécnica que se halla en la siguiente figura como extracto de las láminas que se encuentran en los anexos.

En él se puede observar los diferentes tipos de rocas y el nivel de la laguna proyectado en la sección.



### 8.6.3 Sección geotécnica en el eje de presa.

En esta sección se ha clasificado los diferentes tipos de roca que se hallan en el subsuelo y que tienen diferentes comportamientos respecto los ensayos de permeabilidad Lugeon.



## CAPITULO IX: CANTERAS

Para el material para la conformación del dique de la presa se ha identificado canteras de rocas y agregados.

### 9.1 Cantera de rocas.

La cantera de piedra que se ha identificado se halla en el área de la lagunilla de Aruri, en el que se tienen rocas sueltas en volúmenes suficientes para el dique de presa. La piedra suelta se encuentra en los cercos de piedra que serán inundados y por tanto utilizables en el dique de presa; se ha medido más de 1300 m de cercos con una altura de 1.20 m promedio con el que se obtiene un aproximado de 780 m<sup>3</sup> y en el macizo rocoso supera los 39 000m<sup>3</sup>, el que se recomienda el uso de voladura.

**Tabla 66. Canteras De Rocas**

<i>Cantera de piedra suelta en cercos construidos</i>			
<i>Longitud (m)</i>	<i>ESPESOR (m)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>VOLUMEN(m3)</i>
1300	0.5	1.2	780

<i>Cantera de piedra en el afloramiento de la zona este del vaso</i>		
<i>AREA (m2)</i>	<i>Altura de explotación ( m)</i>	<i>VOLUMEN (m3)</i>
26000	1.5	39000

Esta cantera se ubica en la margen izquierda de la lagunilla de Aruri, tal cómo se puede mostrar en la siguiente fotografía. Se trata de rocas ígneas intrusivas en roca intacta se encuentran en un rango entre 1250-1400 kg/cm<sup>2</sup>, con una densidad entre 2.6g/cm<sup>3</sup> y 2.7 g/cm<sup>3</sup>, por tanto, es recomendable el uso de la cantera de la lagunilla de Aruri, el mismo que se halla a menos de 500 m del eje de dique.



*Figura 79. Ubicación de las canteras de piedras al sur de la laguna Aruri*



*Figura 80. Ubicación de las canteras de piedra suelta que se hallan en cercos que serán inundados*

La cantera está ubicada a menos de 500 m de distancia, para lo cual deberá ser habilitada una trocha carrosable.

## **9.2 Canteras de agregados**

### **9.2.1 Cantera de agregados para concreto**

Se han realizado muestreos en el río Rio Qqero, a la altura del puente Coporaque en el que existen playas de gravas y arenas y que han sido explotadas por diferentes entidades para distintas obras de construcción, y es la mejor zona en el que se halla expuesto y tiene facilidad de acceso. Los ensayos de laboratorio se durabilidad se encuentran en anexos, los mismos que cumplen con valores exigidos por norma para construcción, sin embargo se debe precisar que la cantera provee los diversos tamaños de agregados , por lo que estos ensayos se han obviado.

Los volúmenes existentes superan los 20 000 m<sup>3</sup> en una campaña de 1 mes según información de los propietarios de la cantera, por lo cual es recomendable el traslado de este material para la construcción de la presa.



*Figura 81. Cantera del puente Coporaque en el que se producen agregados para concreto*

## **CONCLUSIONES**

### **Conclusión 1.**

La geología de la laguna Aruri presenta una conformación simple, formado por dos clases de formaciones geológicas las morrenas cuaternarias en la zona de la superficie que tienen una profundidad de hasta 5 m en las zonas prospectadas y las rocas intrusivas del batolito de Apurímac como basamento rocoso, existe presencia de afloramientos de calizas de formación Arcurquina y lutitas con areniscas del grupo Murco las cuales no tienen influencia directa en el área de la presa.

### **Conclusión 2.**

La geomorfología de la laguna Aruri está ubicado en un circo glaciar que ha dejado como relicto a esta, la cual se proyecta a ser utilizada como el vaso de la presa, la cual está emplazada en rocas de composición granodioríticas, monzonitas y tonalitas.

### **Conclusión 3.**

La geodinámica de la laguna Aruri presenta parámetros de aceleración sísmica con valores entre 0.22g a 0.28g, de acuerdo a los mapas de aceleración de PUCP y el IGP que se mostraron anteriormente. Para lo cual es recomendable utilizar el valor de 0.26g en este proyecto. La geodinámica externa no se presenta así como tampoco se evidencia reportes de Defensa civil o CENEPRED.

### **Conclusión 4.**

Los parámetros geotécnicos de la laguna Aruri son: permeabilidad de cimentación de la presa que varía de 3.86 UL a 209.92 UL, capacidad portante de cimentación del dique de la presa es de 20 kg/cm<sup>2</sup>, La capacidad portante de cimentación del suelo varía de 1.0 a 1.5 kg/cm<sup>2</sup> y las características de las canteras de piedras con resistencias entre 1250 – 1400 kg/cm<sup>2</sup> y densidad de 2.6 a 2.7 gr/cm<sup>3</sup> y la de agregados cumplen con los requisitos de la norma y tiene 22.1 % de desgaste según el ensayo de abrasión de los ángeles.

### **Conclusión 5.**

Las condiciones geológicas en un contexto general son las adecuadas para el emplazamiento de la presa Aruri donde geológicamente se encuentra con dos formaciones morrenas cuaternarias y el batolito de Apurímac, geomorfológicamente se ubica en un circo glaciar de rocas granodioríticas, monzonitas y tonalitas, geodinámica para el diseño es recomendable utilizar el balos de 0.26g de aceleración y no influencia de la geodinámica externa es nula en la zona, los parámetros geotécnicos son idóneos con permeabilidad de 3.86 UL a 209.92 UL y la capacidad portante de 20 kg/cm<sup>2</sup> en el dique de la presa.

## **RECOMENDACIONES**

### **Recomendación 1.**

Se recomienda realizar el emplazamiento de una presa de concreto de 8 m de alto y una longitud 150 m, para aprovechar las condiciones de la cimentación en roca intrusiva .

### **Recomendación 2.**

Se recomienda realizar los ensayos con asesoramiento de un ingeniero geólogo para optimizar el tiempo y viabilizar el estudio.

### **Recomendación 3.**

Se recomienda la utilización del material de cantera ya que cumple con las condiciones del estudio.

### **Recomendación 4.**

Se recomienda realizar un estudio ambiental para ver el impacto que ocasiona este proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aguirre, E., & De la torre, C. (2019). *Metodologia de la investigacion*. San martin de porres, Lima: MOSHERA S.R.L.
2. Alvarez, M. (2003). Instituto Mexicano del Transporte SCT. *Geofísica Aplicada en los Proyectos Básicos de Ingeniería Civil*. Sanfandila, México: Área de Geotecnia Ambiental y Aplicada de la División Laboratorios de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado el 10 de Junio de 2020
3. Aparicio, F. (1989). *Fundamentos de hidrologia de superficie*. Mexico.
4. Auge, M. (2008).
5. Bañón, B., & Beviá, G. (2000). *Manual de carreteras* (Vol. 2). (S. Contrastista de Obras, & e. Ortiz, Edits.) Alicante, España: ontrastista de Obras, S.A. Recuperado el 2 de Junio de 2020
6. Bateman, A. (2007). *HIDROLOGIA BASICA Y APLICADA* . (G. d. Sedimentos, Ed.) Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. Recuperado el 9 de Junio de 2020
7. Bazán, O. (2013). *Tectonica andina y su componente cizallante: alusivo al norte del peru*. Cajamarca, Peru.
8. Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: a complete manual for engineers and geologist in mining, civil, and petroleum engineering*. Pennsylvania, USA.
9. Braja, M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Cuarta ed.). (G. R. Cervantes, Ed.) México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. Recuperado el 2 de Junio de 2020

10. Calla, F. (2014). Geotecnia I-Estabilidad de Taludes. *Manual de Estabilidad de Taludes*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado el 2 de Junio de 2020
11. Carlos, J. (2022). *Evaluacion geotécnica para la construccion de la presa I, Huancayo - Junín*. Cerro de pasco, Peru.
12. CIGB. (2007). *Las presas y el agua en el mundo*. España.
13. CISMID. (Febrero de 2002). Centro peruano Japonés de Invesstigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. *Seminario Taller de Mecánica de Suelos y Exploración Geotecnica*. (G. Minaya, Ed.) Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado el 10 de Junio de 2020
14. Dahlin, T. (2001). *The development of electrical imaging techniques*. Malmo, Suecia.
15. De Matteis, F. (2003). Geología y Geotecnia-Estabilidad de Taludes. *Tesis*. Universidad Nacional de Rosario. Recuperado el 2 de Junio de 2020
16. Dorbath, L., Cisternas, A., & Dorbath, C. (1990). *Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru*.
17. Escobar, P. E., & Duque-Escobar, G. (2017). *Geotecnia para el trópico andino*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 2 de Junio de 2020
18. Espinosa, M. (2010). *Ingeniería de presa de escollera*. Argentina.
19. Farfán , M. (2011). Metodología para el Estudio Geotécnico en fase de proyecto de grandes desmontes en roca alterada de Obras Lineales. (*Tesis Doctoral*). UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, Ávila. Recuperado el 7 de Junio de 2020

20. García, M. (1968). *Boletín N°19-Geología de los cuadrangulos de Mollendo y la Joya*. (S. d. Minería, Ed.) Lima, Perú: Ministerio de Fomento y O.P.  
Recuperado el 20 de Noviembre de 2019
21. Geoseismic Exploraciones. (20 de Setiembre de 2017). *Geoseismic* . Recuperado el 10 de Junio de 2020, de Calicatas: <http://www.geoseismic.cl/calicatas/>
22. Gonzáles de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: PEARSON EDUCACION. Recuperado el 7 de Junio de 2020
23. González de Celis, G. &. (2014). Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción Interna ( $\phi$ ) y su relación con los parámetros densidad relativa (Dr) y relación de vacíos (e) en suelos granulares. *Ciencia e Ingeniería*.  
Recuperado el 2020 de Julio de 2, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=5075/507550626003>
24. Goodman, R. (1989). *Introduction to Rock Mechanics*. California, United States : John Wiley & Sons Limited. Recuperado el 10 de Junio de 2020
25. Griffiths, D., & Barker, R. (1993). *Two-Dimensional Resistivity Imaging and Modeling in areas of Complex Geology*. *Journal of Applied Geophysics*. EEUU.
26. Harvey, J. (1987). *Geología para Ingenieros Geotécnicos*. México, D.F., México: EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V. Recuperado el 7 de Junio de 2020
27. Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigacion*. Santa fe, Mexico: McGRAW - HILL.
28. Hoek, E., Carranza, C., & Corkum, B. (2002). *El criterio de rotura de Hoek-Brown*. Minnesota, EEUU.
29. Ibadango, E., & Pico, O. (2015). *Estudio geológico, geotécnico y geofísico de la presa bufay, provincia de Guayas*. Quito, Ecuador.

30. INGEMMET. (2008 - 2018). *Instituto geológico, minero y metalúrgico*. Lima: Peru.
31. Jordan, T., Isacks, B., Allmendinger, R., Brewer, J., Ramos, V., & Ando, C. (1983). *Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate*. Geological Society of New York, EEUU.
32. Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos*. Mexico.
33. Kosaka, M., Macedo, F., & Diaz, U. (2000). Mapa de Peligro Potencial del Volcán Misti. *Estudio*. (U. N. Arequipa, Ed.) Arequipa, Arequipa, Perú: UNSA. Recuperado el 22 de Julio de 2020
34. Llanos, J. (2013). *Estudio geológico y geotécnico de la presa de tierra Cotachaca distrito de Crucero - Carabaya*. Puno, Peru.
35. Mantilla, H. (2015). *Geología general*. Lima, Peru.
36. Martínez-Alvarez, O. J. (1980). *Mapas Geológicos explicación e interpretación*. Madrid, Magallanes, España: PARANINFO S.A. Recuperado el 7 de Junio de 2020
37. Muñoz, J. (1995). *Geomorfología general*. Madrid, España: SINTESIS.
38. Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente". (2016). Diario Oficial El Peruano. *Decreto Supremo N°003-2016-VIVIENDA*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018
39. Norma Técnica Peruana NTP339.159. (2001). Diario Oficial el Peruano. *SUELOS. Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL)*. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI. Recuperado el 10 de Junio de 2020

40. Ordoñez, G. J. (2011). *Cartilla Técnica: Balance Hídrico Superficial*. (G. Novoa, Ed.) Lima, Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima. Recuperado el 8 de Junio de 2020
41. Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas* (Vols. Volumen I Hidrología - De la medición a la información hidrológica). Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial (OMM). Recuperado el 8 de Junio de 2020
42. Piteau, D., & Peckover, F. (1978). *Engineering of rock slopes*. Washington, EEUU.
43. Pozo, R., Gonzáles, Y., & Giner, R. (2003). *GEOLOGÍA PRÁCTICA Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas*. Madrid, España: PEARSON EDUCACION. Recuperado el 7 de Junio de 2020
44. Priest, S., & Hudson, J. (1976). *Discontinuity spacings in rock*. EEUU.
45. Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid, España.
46. Rivera, M. H. (2011). *Geología General* (Vol. Tercera Edición). Lima, Lima, Perú: Grupo Editorial Megabyte S.A.C. Recuperado el 7 de Junio de 2020
47. Ros, A. (2008). Análisis comparativo de los criterios de rotura de Hoek&Brown y Mohr-Coulomb en el estudio de estabilidad en macizos rocosos. *Minor thesis*. Universitat Politècnica de Catalunya, Cataluña, España. Recuperado el 9 de Junio de 2020
48. Sarmiento, V., & Castiblanco, P. (2019).
49. Stead, D., Eberhardt, E., & Coggan, J. (2005). Developments in the characterization of complex rock slope deformation and failure using numerical

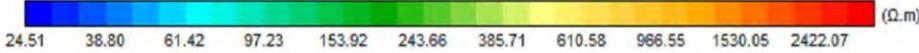
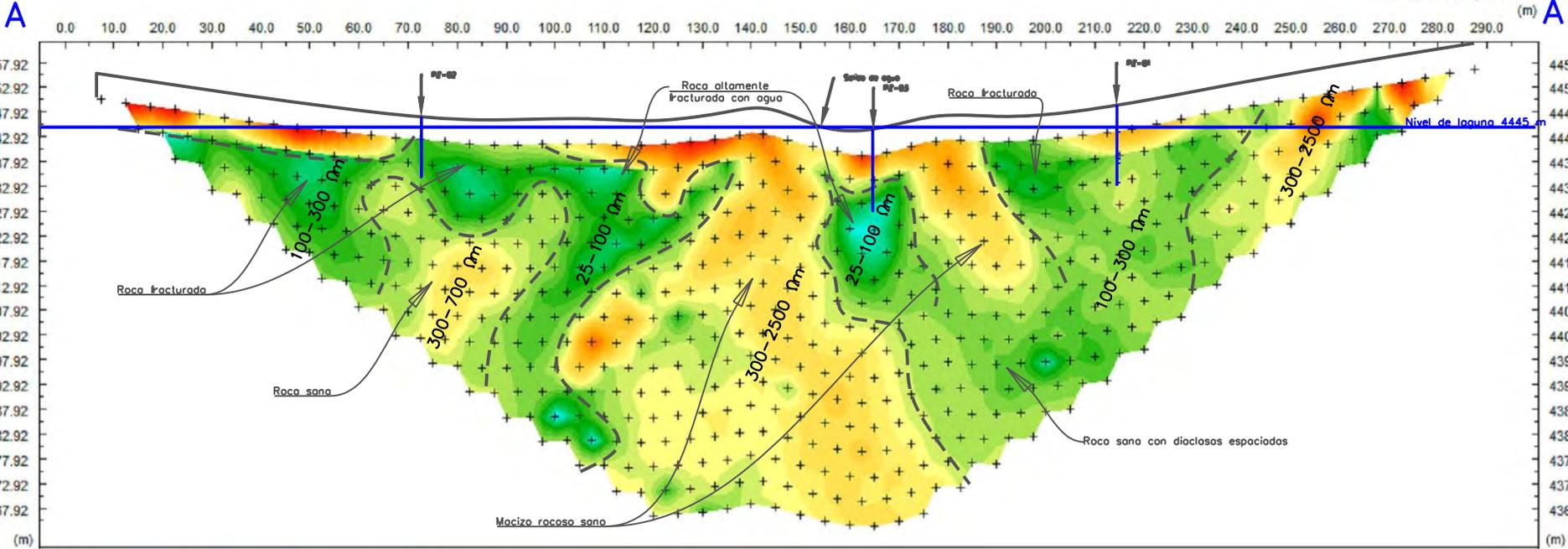
- modelling techniques. *Papper*. Simon Fraser University, Ámsterdam, Países Bajos. Recuperado el 2 de Junio de 2020
50. Suárez, J. (2009). *Deslizamientos Volumen I. Análisis Geotécnico*. Colombia: Editorial Universidad industrial de Santander. Recuperado el 7 de Junio de 2020
51. Tassara, A. (2013). *Ciclo andino*. Concepcion, Chile.
52. UGR. (20 de Enero de 2011). *Universidad de Granada*. Recuperado el 7 de Junio de 2020, de Petrología Descripciones petrográficas:  
[https://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/secciones/petro/pet\\_petrograf.htm](https://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/secciones/petro/pet_petrograf.htm)
53. Vasques, A. (2016). *Manejo y gestion de cuencas hidrograficas*.
54. Woodcok, N., & Schubert, C. (1994). *Continental Strike-Slip tectonics in Continental Deformation*. New York, EEUU.
55. World vision. (2018). *Manual de manejo de cuencas*. El salvador.
56. Wyllie, C., & Mah, W. (2005). *Rock Slope Engineering Civil and Mining*. New York, USA: Taylor & Francis e-Library. Recuperado el 7 de Junio de 2020

## ANEXOS



# SECCION 1 - WENNER

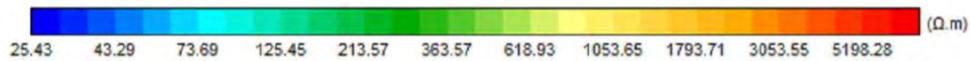
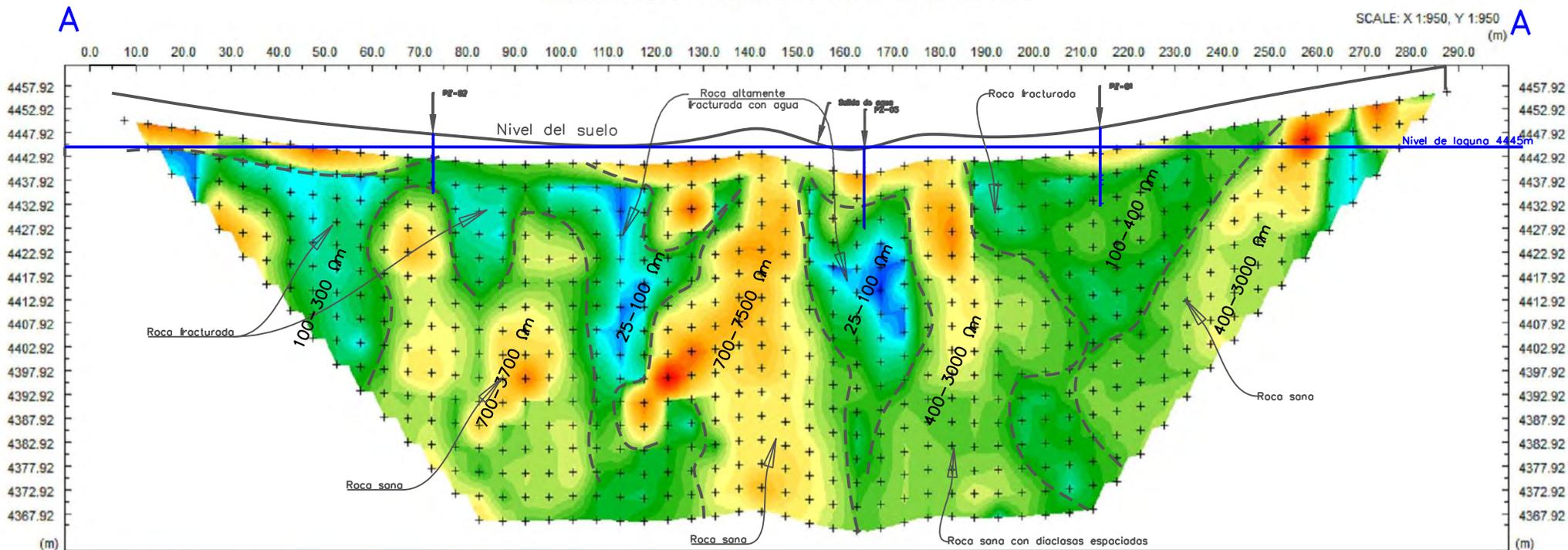
SCALE: X 1:950, Y 1:950



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 	
<b>PROYECTO :</b> EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022	
<b>PLANO :</b> TOMOGRAFIA ELECTRICA A A'	
<b>UBICACION :</b> CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCO	<b>PLANO N°:</b>
<b>ESCALA :</b> INDICADA	<b>P - 05</b>
<b>DIBUJO:</b> Bach. Jhon Suard Ccahuata Huaman Bach. Tony Duverlee Ccalla Arco	
<b>DIBUJO:</b> 05/11/2022	

# SECCION 1 - WENNER SCHLUMBERGER

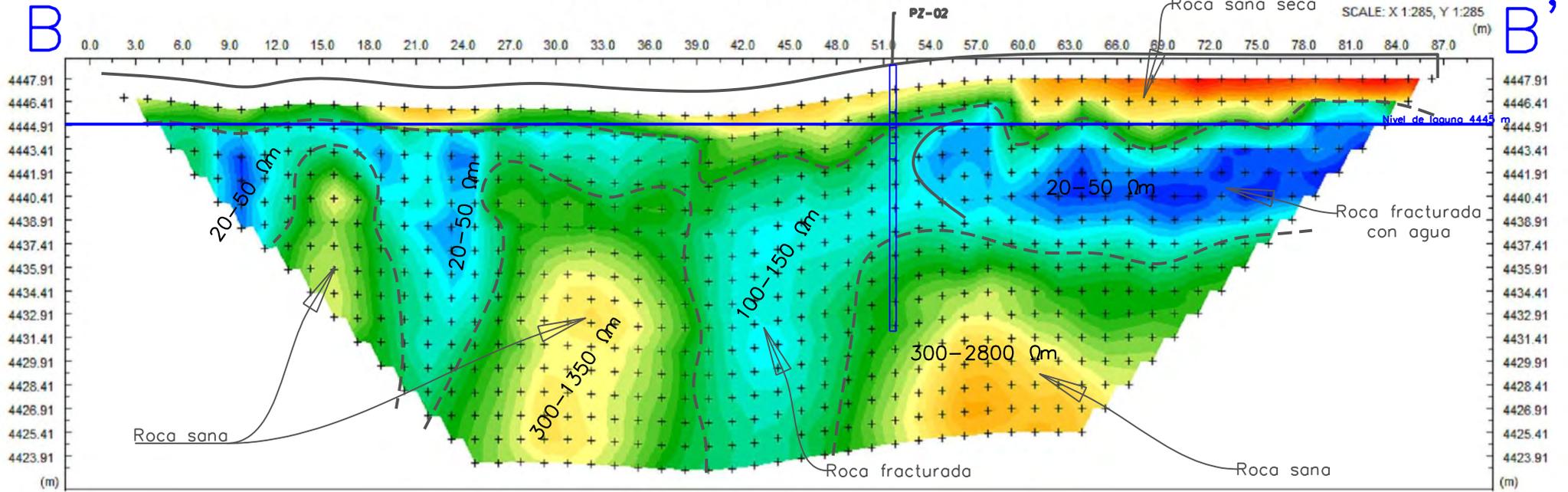
SCALE: X 1:950, Y 1:950



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 	
<b>PROYECTO :</b> EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022	
<b>PLANO :</b> TOMOGRAFIA ELECTRICA A A'	
<b>UBICACION :</b> CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCO	<b>PLANO N°:</b>
<b>ESCALA :</b> INDICADA	P - 06
<b>DIBUJO:</b> Bach. Jhon Sluar Coahuata Huaman Bach. Tony Duverlee Ccalla Arco	<b>DIBUJO:</b> 05/11/2022

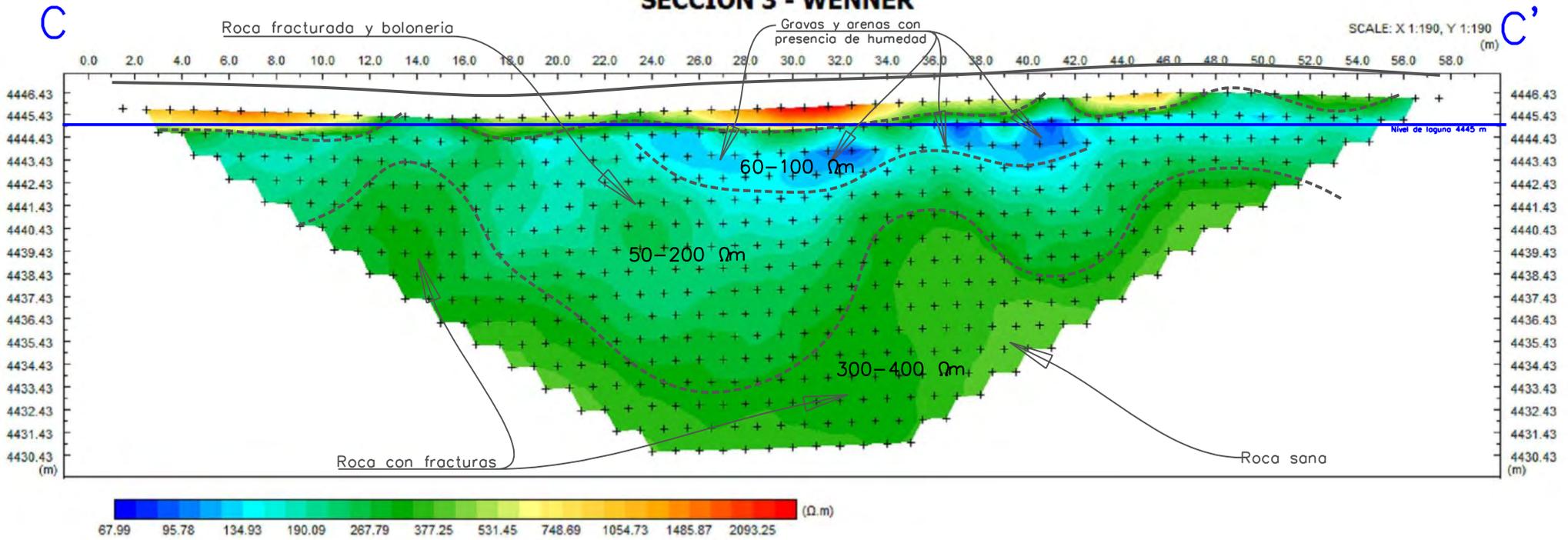


## SECCION 2 - WENNER SCHLUMBERGER



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>	
<b>PROYECTO :</b> EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBILCAS, CUSCO 2022		
<b>PLANO :</b> TOMOGRAFIA ELECTRICA B B'		
<b>UBICACION :</b> CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCO		<h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">P - 08</h1>
<b>ESCALA :</b> INDICADA		
<b>DIBUJO :</b> Bach. Jhon Sivar Ccahuata Huaman Bach. Tony Duverlee Csalta Aros		
<b>DIBUJO :</b> 05/11/2022		

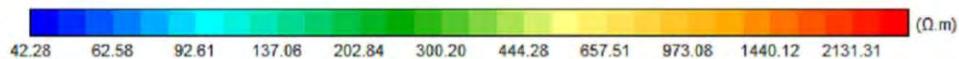
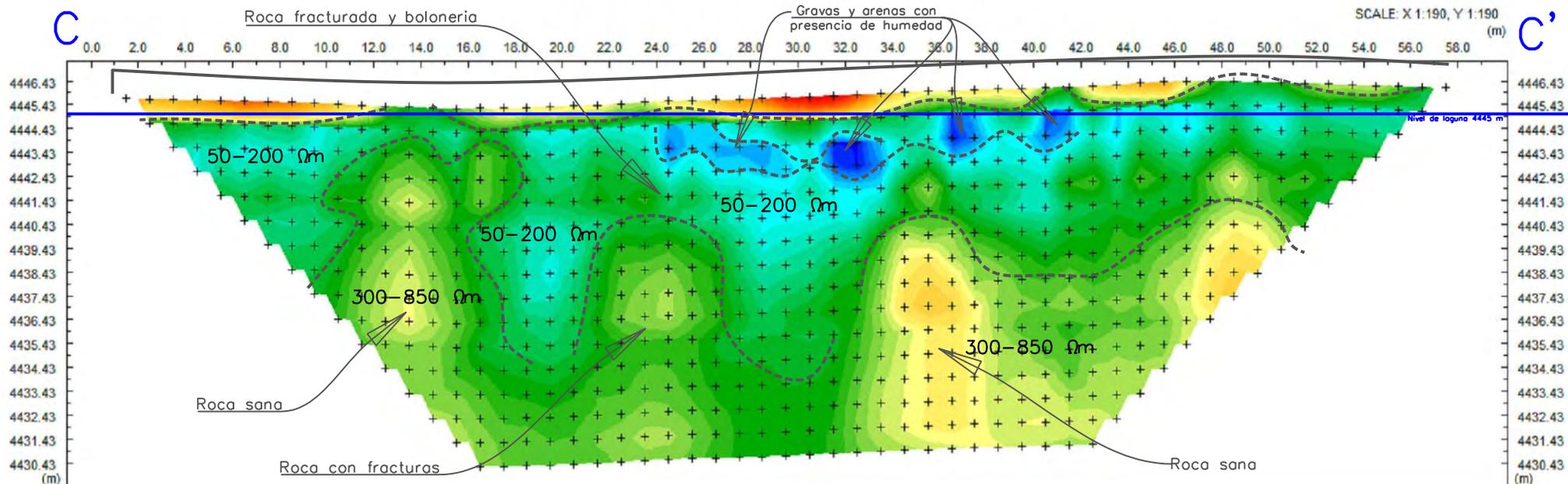
### SECCION 3 - WENNER



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 	
PROYECTO : EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022	
PLANO : TOMOGRAFIA ELECTRICA C C'	
UBICACION : CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCO	PLANO N°: <b>P - 09</b>
ESCALA : INDICADA	
DIBUJO: Bach. Jhon Stuar Ccahuata Huaman Bach. Tony Duverlee Ccaila Arce	
DIBUJO: 05/11/2022	

### SECCION 3 - WENNER SCHLUMBERGER

SCALE: X 1:190, Y 1:190 (m)

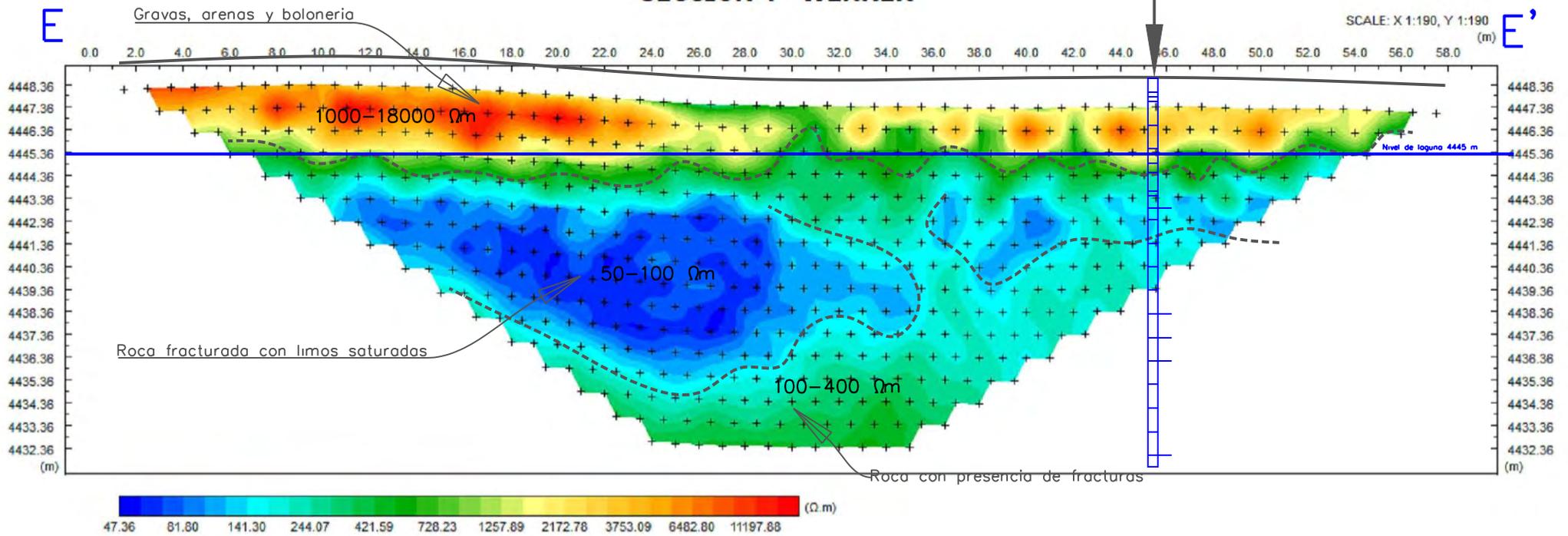


 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 	
<b>PROYECTO :</b> EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBILCAS, CUSCO 2022	
<b>PLANO :</b> TOMOGRAFIA ELECTRICA C C'	
<b>UBICACION :</b> CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCO	<b>PLANO N°:</b>
<b>ESCALA :</b> INDICADA	
<h1>P - 10</h1>	
<b>DIBUJO:</b> Bach. Jhon Stuar Cahuata Huaman Bach. Tony Duverloo Cealla Arco	
<b>DIBUJO:</b> 05/11/2022	

### SECCION 4 - WENNER

PZ-01

SCALE: X 1:190, Y 1:190 (m)

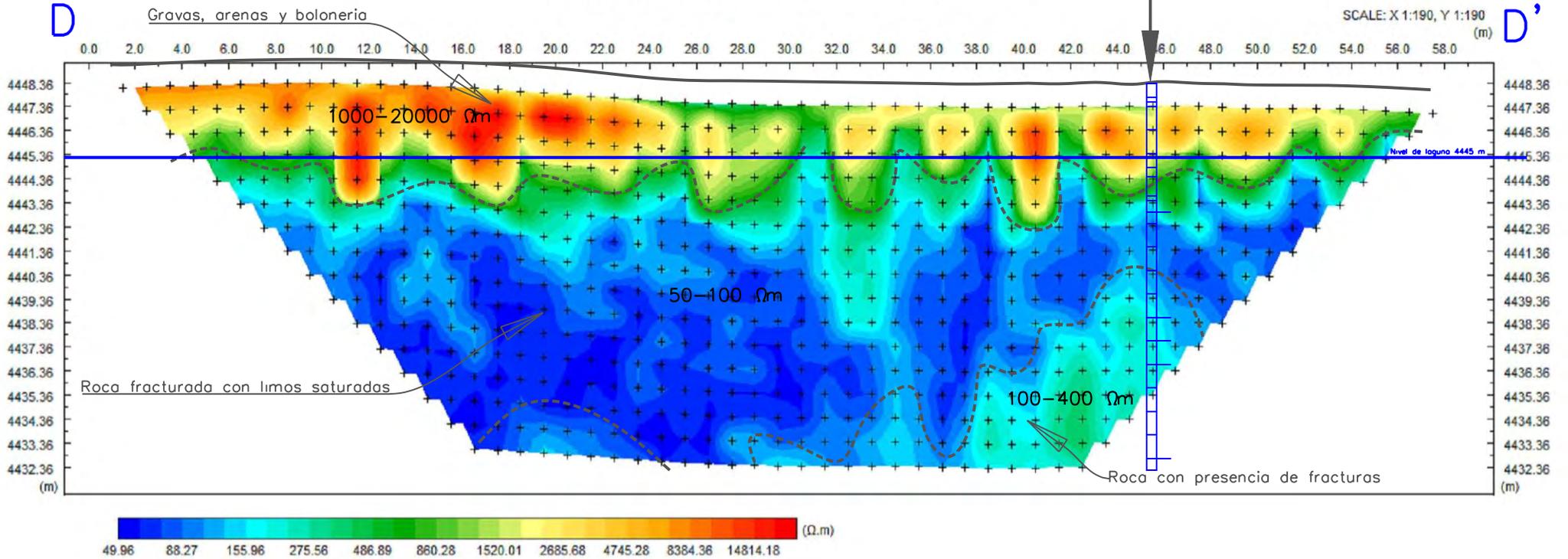


 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 	
<b>PROYECTO :</b> EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022	
<b>PLANO :</b> TOMOGRAFIA ELECTRICA D D'	
<b>UBICACION :</b> CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCO	<b>PLANO N°:</b>
<h1>P - 11</h1>	
<b>DIBUJO:</b> Bach. Jhon Slluar Coahuata Huanan Bach. Tony Duverlee Coalla Arce	
<b>DIBUJO:</b> 05/11/2022	

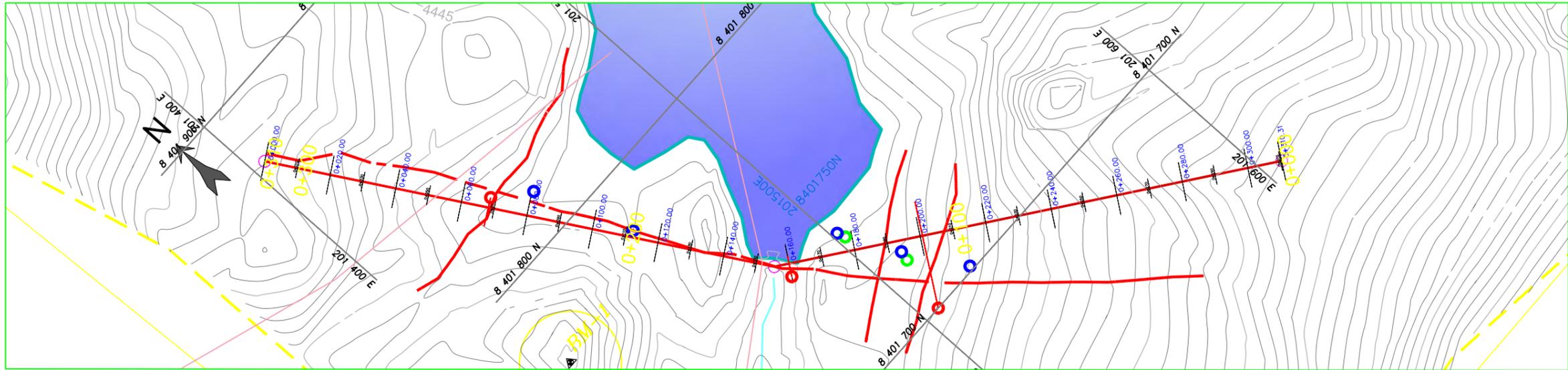
## SECCION 4 - WENNER SCHLUMBERGER

PZ-01

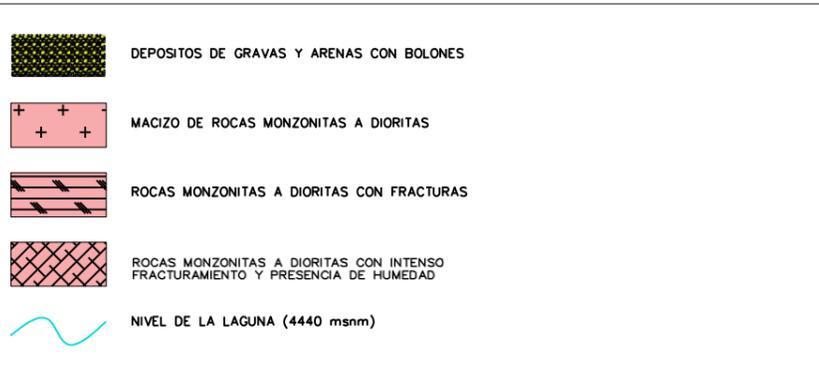
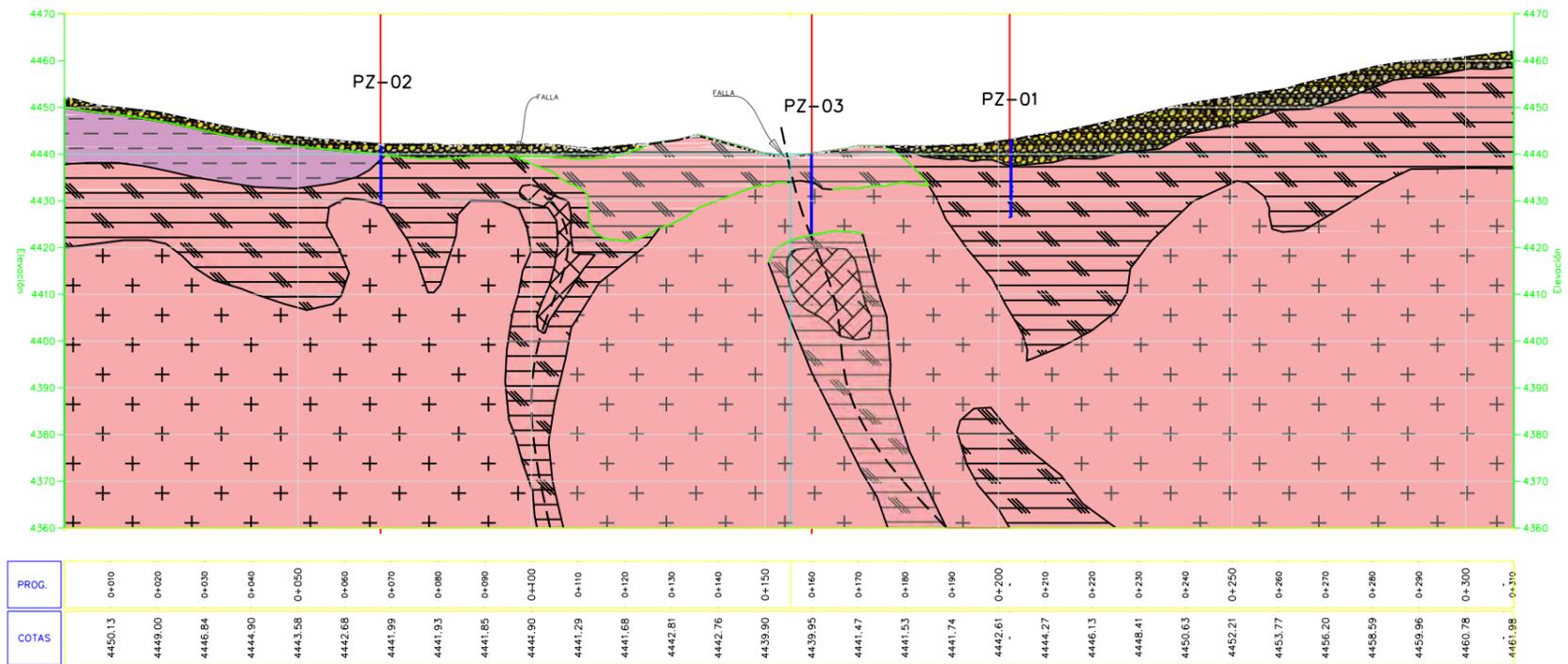
SCALE: X 1:190, Y 1:190



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 	
<b>PROYECTO :</b> EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBILCAS, CUSCO 2022	
<b>PLANO :</b> TOMOGRAFIA ELECTRICA D D'	
<b>UBICACION :</b> CENTRO POBLADO DE UCHUCCARGO	<b>PLANO N°:</b>  <h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">P - 12</h1>
<b>ESCALA :</b> INDICADA	
<b>DIBUJO:</b> Bach. Jhon Sltuar Ccshusala Huaman Bach. Tony Duverlee Ccalta Arce	
<b>DIBUJO:</b> 05/11/2022	



Visualización del perfil de EJE DE PRESA

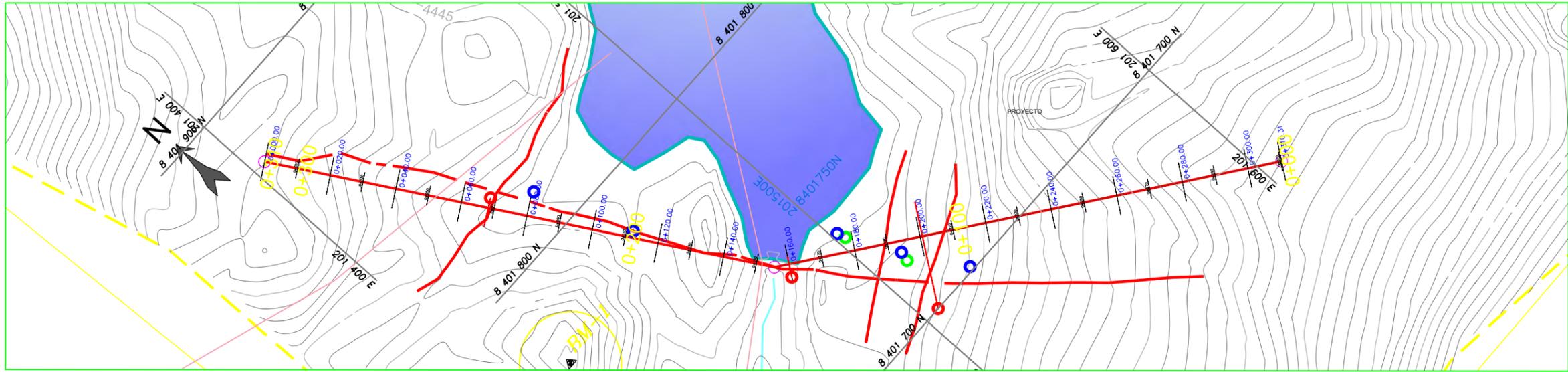


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

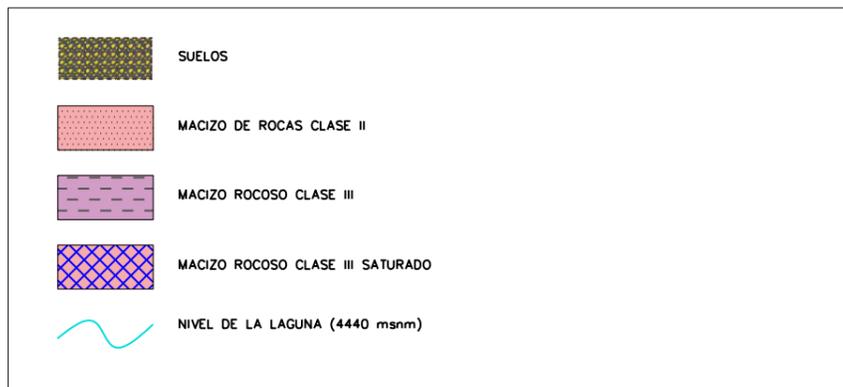
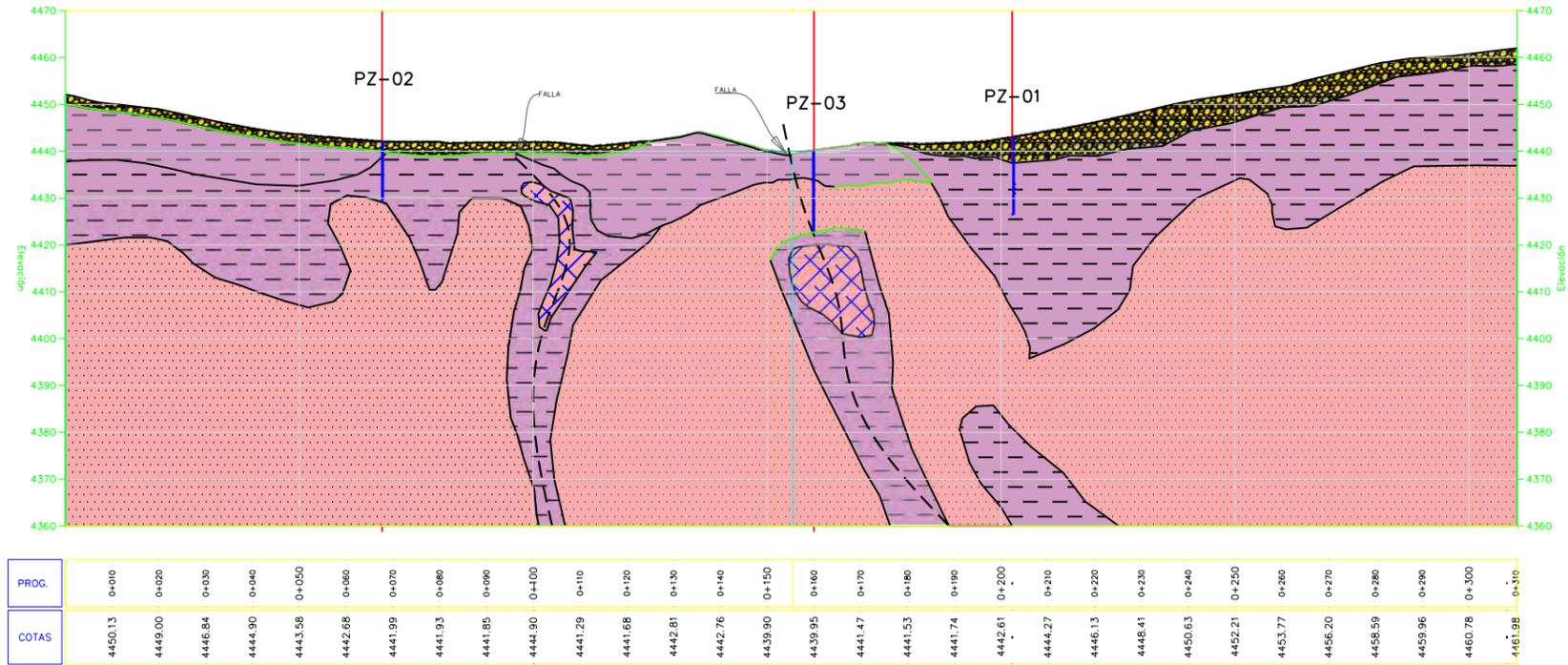
**PROYECTO :** EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022

**PLANO :** SECCION LITOLOGICA

<b>UBICACION :</b> CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCO	<b>PLANO N°:</b> <b>P - 12</b>
<b>ESCALA :</b> INDICADA	
<b>DIBUJO:</b> Bach. Jhon Stuar Ccahuata Huaman Bach. Tony Duverlee Ccaita Arce	
<b>DIBUJO:</b> 05/11/2022	



Visualización del perfil de EJE DE PRESA



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

PROYECTO : EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBVILCAS, CUSCO 2022

PLANO : SECCION GEOTECNICA

UBICACION : CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCO	PLANO N°:
ESCALA : INDICADA	<h1>P - 14</h1>
DIBUJO: Bach. Jhon Stuar Ccahuata Huaman Bach. Tony Duverlee Ccalla Arce	
DIBUJO: 05/11/2022	







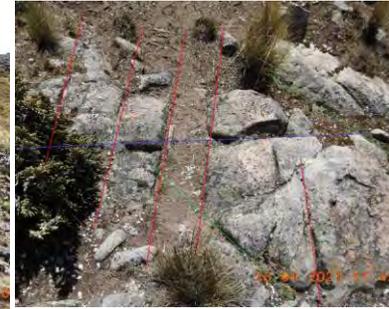








UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO				
<b>PROYECTO :</b>	<b>EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022</b>			
<b>ESTUDIO :</b>	<b>ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO</b>			
UBICACIÓN				
DISTRITO	CHAMACA	ESTACION GEOMECANICA N°	1	FECHA:
PROVINCIA :	CHUMBIVILCAS	COORDENADAS 19 L		20/05/2021
DEPARTAMENTO:	CUSCO	E	N	
<b>VALORACION DEL MACIZO ROCOSO RMR BIENIAWSKI 1989</b>		<b>FOTO DE ESTACION GEOMECANICA</b>		
<b>Pámetros de clasificación</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Puntuación</b>		
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>				
Ensayo de carga puntual	No aplica	0		
Compresión simple	250-100	12		
<b>2 Índice RQD de la roca</b>				
RQD (%)	90-100	20		
<b>3 Separación entre diaclasas</b>				
Separación entre diaclasas (m)	0,5-2	15		
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>				
Longitud de la discontinuidad (m)	10-20	1		
Abertura (mm)	1-5	1		
Rugosidad	Rugosa	5		
Relleno	Relleno blando > 5 mm.	0		
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5		
<b>5 Agua freática</b>				
Caudal por 10 m de tunel	Nulo	15		
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15		
Estado general	Ligeramente húmedo	10		
<b>Corrección por discontinuidades</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Puntuación</b>		
Túneles	Medias	-5		
Cimentaciones	Favorable	-2		
Taludes	Medias	-25		
<b>VALORACION RMR</b>	<b>Puntuación</b>	<b>67</b>		
	<b>Calidad</b>	<b>Clase</b>	<b>Tiempo/Longitud de sostenimiento</b>	<b>Cohesión [Kg/cm<sup>2</sup>]</b>
	Buena	II	6 meses con 8 m de vano	3-4
				<b>Angulo de rozamiento [°]</b>
				35-45



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO									
PROYECTO :		EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022							
ESTUDIO :		ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO							
UBICACIÓN									
DISTRITO	CHAMACA	ESTACION GEOMECANICA N°	2		FECHA:				
PROVINCIA :	CHUMBIVILCAS	COORDENADAS 19 L			20/05/2021				
DEPARTAMENTO:	CUSCO	E	N						
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO RMR BIENIAWSKI 1989				FOTO DE ESTACION GEOMECANICA					
Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación							
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>									
Ensayo de carga puntual	No aplica	0							
Compresión simple	250-100	12							
<b>2 Índice RQD de la roca</b>									
RQD (%)	75-90	17							
<b>3 Separación entre diaclasas</b>									
Separación entre diaclasas (m)	0,6-2	15							
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>									
Longitud de la discontinuidad (m)	3-10	2							
Abertura (mm)	1-5	1							
Rugosidad	Rugosa	5							
Relleno	Relleno bitálico, > 5 mm.	0							
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5							
<b>5 Agua freática</b>									
Caudal por 10 m de tunel	Nulo	15							
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15							
Estado general	Ligeramente húmedo	10							
Corrección por discontinuidades	Clasificación	Puntuación							
Túneles	Medias	-5							
Cimentaciones	Medias	-7							
Taludes	Medias	-25							
VALORACION RMR	<b>Puntuación</b>	<b>60</b>		<b>Calidad</b>	<b>Clase</b>	<b>Tiempo/Longitud de sostenimiento</b>			
				<b>Media</b>	<b>III</b>	<b>1 semana con 5 m de vano</b>			
						<b>Cohesión [Kg/cm<sup>2</sup>]</b>			
						<b>2-3</b>			
						<b>Angulo de rozamiento [°]</b>			
						<b>25-35</b>			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																
EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA																
ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022																
ESTUDIO : ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO																
UBICACIÓN																
DISTRITO	CHAMACA	ESTACION GEOMECANICA N°	3	FECHA:												
PROVINCIA :	CHUMBIVILCAS	COORDENADAS 19 L		20/05/2021												
DEPARTAMENTO:	CUSCO	E	N													
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO RMR BIENIAWSKI 1989				FOTO DE ESTACION GEOMECANICA												
Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación														
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>																
Ensayo de carga puntual	No aplica	0														
Compresión simple	250-100	12														
<b>2 Índice RQD de la roca</b>																
RQD (%)	75-90	17														
<b>3 Separación entre diaclasas</b>																
Separación entre diaclasas (m)	0.6-2	15														
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>																
Longitud de la discontinuidad (m)	10-20	1														
Abertura (mm)	1-5	1														
Rugosidad	Regosa	5														
Relleno	Refrío húmedo > 5 mm	0														
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5														
<b>5 Agua freática</b>																
Caudal por 10 m de tunel	Nulo	15														
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15														
Estado general	Ligeramente húmedo	10														
Corrección por discontinuidades	Clasificación	Puntuación		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Calidad</th> <th>Clase</th> <th>Tiempo/Longitud de sostenimiento</th> <th>Cohesión [Kg/cm<sup>2</sup>]</th> <th>Angulo de rozamiento [°]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>III</td> <td>1 semana con 5 m de vano</td> <td>2-3</td> <td>25-35</td> </tr> </tbody> </table>			Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Angulo de rozamiento [°]	Media	III	1 semana con 5 m de vano	2-3	25-35
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]				Angulo de rozamiento [°]									
Media	III	1 semana con 5 m de vano	2-3				25-35									
Túneles	Medias	-5														
Cimentaciones	Medias	-7														
Taludes	Medias	-25														
VALORACION RMR	<b>Puntuación</b>	<b>59</b>														

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																
PROYECTO :		EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022														
ESTUDIO :		ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO														
UBICACIÓN																
DISTRITO	CHAMACA	ESTACION GEOMECANICA N°	4		FECHA:											
PROVINCIA :	CHUMBIVILCAS	COORDENADAS 19 L			20/05/2021											
DEPARTAMENTO:	CUSCO	E	N													
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO RMR BIENIAWSKI 1989				FOTO DE ESTACION GEOMECANICA												
Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación														
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>																
Ensayo de carga puntual	No aplica	0														
Compresión simple	250-100	12														
<b>2 Índice RQD de la roca</b>																
RQD (%)	90-100	20														
<b>3 Separación entre diaclasas</b>																
Separación entre diaclasas (m)	0.6-2	15														
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>																
Longitud de la discontinuidad (m)	10-20	1														
Abertura (mm)	1-5	1														
Rugosidad	Rugosa	5														
Relleno	Relleno bitáxico < 5 mm	2														
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5														
<b>5 Agua freática</b>																
Caudal por 10 m de tunel	Nulo	15														
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15														
Estado general	Ligeramente Húmedo	10														
Corrección por discontinuidades	Clasificación	Puntuación		<table border="1"> <tr> <th>Calidad</th> <th>Clase</th> <th>Tiempo/Longitud de sostenimiento</th> <th>Cohesión [Kg/cm<sup>2</sup>]</th> <th>Angulo de rozamiento [°]</th> </tr> <tr> <td>Buena</td> <td>II</td> <td>6 meses con 8 m de vano</td> <td>3-4</td> <td>35-45</td> </tr> </table>			Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Angulo de rozamiento [°]	Buena	II	6 meses con 8 m de vano	3-4	35-45
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]				Angulo de rozamiento [°]									
Buena	II	6 meses con 8 m de vano	3-4				35-45									
Túneles	Medias	-5														
Cimentaciones	Favorable	-2														
Taludes	Medias	-25														
VALORACION RMR	<b>Puntuación</b>	<b>69</b>														



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO						
EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA						
ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022						
PROYECTO :		ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO				
ESTUDIO :		ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO				
UBICACIÓN						
DISTRITO	CHAMACA	ESTACION GEOMECANICA N°	6	FECHA:		
PROVINCIA :	CHUMBIVILCAS	COORDENADAS 19 L		20/05/2021		
DEPARTAMENTO:	CUSCO	E	N			
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO RMR BIENIAWSKI 1989				FOTO DE ESTACION GEOMECANICA		
<b>Pámetros de clasificación</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Puntuación</b>				
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>						
Ensayo de carga puntual	No aplica	0				
Compresión simple	250-100	12				
<b>2 Índice RQD de la roca</b>						
RQD (%)	90-100	20				
<b>3 Separación entre diaclasas</b>						
Separación entre diaclasas (m)	0.6-2	15				
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>						
Longitud de la discontinuidad (m)	1-3	4				
Abertura (mm)	1-5	1				
Rugosidad	Rugosa	5				
Relleno	Relleno bitáxico < 5 mm	2				
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5				
<b>5 Agua freática</b>						
Caudal por 10 m de tunel	Nulo	15				
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15				
Estado general	Húmedo	7				
<b>Corrección por discontinuidades</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Puntuación</b>				
Túneles	Medias	-5				
Cimentaciones	Favorable	-2				
Taludes	Medias	-25				
VALORACION RMR	<b>Puntuación</b>	<b>69</b>				
<b>Calidad</b>	<b>Clase</b>	<b>Tiempo/Longitud de sostenimiento</b>	<b>Cohesión [Kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Angulo de rozamiento [°]</b>		
Buena	II	6 meses con 8 m de vano	3-4	35-45		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO								
PROYECTO :		EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022						
ESTUDIO :		ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO						
UBICACIÓN								
DISTRITO	CHAMACA	ESTACION GEOMECANICA N°	7		FECHA:			
PROVINCIA :	CHUMBIVILCAS	COORDENADAS 19 L			20/05/2021			
DEPARTAMENTO:	CUSCO	E	N					
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO RMR BIENIAWSKI 1989				FOTO DE ESTACION GEOMECANICA				
Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación		  				
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>								
Ensayo de carga puntual	No aplica	0						
Compresión simple	250-100	12						
<b>2 Índice RQD de la roca</b>								
RQD (%)	90-100	20						
<b>3 Separación entre diaclasas</b>								
Separación entre diaclasas (m)	0.6-2	15						
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>								
Longitud de la discontinuidad (m)	1-3	4						
Abertura (mm)	0.1 - 1.0	3						
Rugosidad	Rugosa	5						
Relleno	Relleno bitáxico < 5 mm	2						
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5						
<b>5 Agua freática</b>								
Caudal por 10 m de tunel	Nulo	15						
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15						
Estado general	Húmedo	7						
Corrección por discontinuidades	Clasificación	Puntuación						
Túneles	Medias	-5						
Cimentaciones	Favorable	-2						
Taludes	Medias	-25						
VALORACION RMR	<b>Puntuación</b>	<b>71</b>		<b>Calidad</b>	<b>Clase</b>	<b>Tiempo/Longitud de sostenimiento</b>	<b>Cohesión [Kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Angulo de rozamiento [°]</b>
				<b>Buena</b>	<b>II</b>	<b>6 meses con 8 m de vano</b>	<b>3-4</b>	<b>35-45</b>

REGISTRO DE SONDEO  
PERFORACION DIAMANTINA

<b>PROYECTO:</b>	<b>EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022</b>	<b>COORDENADAS:</b>	
		<b>NORTE:</b>	8401700.6
		<b>ESTE:</b>	201505.4
<b>CÓDIGO DE SONDAJE:</b>	<b>PZ-01</b>	<b>ALTURA:</b>	4452
<b>UBICACIÓN:</b>	Uchucarco - Chamaca - Chumbivilcas - Cusco	<b>PROFUNDIDAD PROYECTADA:</b>	12.5 m
<b>TIPO Y DIAMETRO DE LA PERFORACIÓN:</b>	NQ	<b>PROFUNDIDAD EJECUTADA:</b>	16.5 m
<b>INCLINACIÓN DEL SONDEO:</b>	90°	<b>FECHA INICIO:</b>	28/04/2021
		<b>FECHA FIN:</b>	02/05/2021

FECHA:	Longitud del Taladro (m)	Retorno del agua de Perforación	Nivel de Agua	INTERVALO (mts.)		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	% DE RECUPERACIÓN	% DE R.Q.D.				Trozos > 10 cm	Grado de alteración de la Roca	Ensayo de Permeabilidad
				DE	A									
29/04/2021	7 m	Agua color gris		6.00	7.00	Monzonita color gris claro extremadamente fracturada RQD = 11%						1		
29/04/2021	8 m	Agua incolora		7.00	8.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con alteración blanquecina RQD = 46%						2		
29/04/2021	9 m	Agua color gris		8.00	9.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con alteración blanquecina RQD = 37%						2		
30/04/2021	10m	Agua color gris		9.00	10.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con alteración blanquecina RQD = 49%						3		
30/04/2021	11m	Agua color gris		10.00	11.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con alteración blanquecina RQD = 60%						3		
30/04/2021	12m	Agua color gris		11.00	12.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con epidotización en fracturas RQD = 30%						2		

REGISTRO DE SONDEO  
PERFORACION DIAMANTINA

<b>PROYECTO:</b>	<b>EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022</b>	<b>COORDENADAS:</b>	
		<b>NORTE:</b>	8401700.6
		<b>ESTE:</b>	201505.4
<b>CÓDIGO DE SONDAJE:</b>	<b>PZ-01</b>	<b>ALTURA:</b>	4452
<b>UBICACIÓN:</b>	Uchucarco - Chamaca - Chumbivilcas - Cusco	<b>PROFUNDIDAD PROYECTADA:</b>	12.5 m
<b>TIPO Y DIAMETRO DE LA PERFORACIÓN:</b>	NQ	<b>PROFUNDIDAD EJECUTADA:</b>	16.5 m
<b>INCLINACIÓN DEL SONDEO:</b>	90°	<b>FECHA INICIO:</b>	28/04/2021
		<b>FECHA FIN:</b>	02/05/2021

FECHA:	Longitud del Taladro (m)	Retorno del agua de Perforación	Nivel de Agua	INTERVALO (mts.)		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	% DE RECUPERACIÓN	% DE R.Q.D.				Trozos > 10 cm	Grado de alteración de la Roca	Ensayo de Permeabilidad
				DE	A									
29/04/2021	7 m	Agua color gris		6.00	7.00	Monzonita color gris claro extremadamente fracturada RQD = 11%						1		
29/04/2021	8 m	Agua incolora		7.00	8.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con alteración blanquecina RQD = 46%						2		
29/04/2021	9 m	Agua color gris		8.00	9.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con alteración blanquecina RQD = 37%						2		
30/04/2021	10m	Agua color gris		9.00	10.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con alteración blanquecina RQD = 49%						3		
30/04/2021	11m	Agua color gris		10.00	11.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con alteración blanquecina RQD = 60%						3		
30/04/2021	12m	Agua color gris		11.00	12.00	Diorita color verde grisáceo muy fracturada con epidotización en fracturas RQD = 30%						2		

PROYECTO	EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA	COORDENADAS	
		NORTE:	8401700.6
		ESTE:	201505.4
CODIGO DE SONDAJE	PZ_01	ALTURA:	4452
UBICACIÓN:	UCHURCCARCO_CHAMACA_ CHUMBIVILCAS_CUSCO	PROFUNDIDAD PROYECTADA:	12.5 m
TIPO Y DIAMETRO DE LA PERFORACION	NQ	PROFUNDIDAD EJECUTADA	16.5m
INCLINACION DEL SONDAJE	90°	FECHA INICIO:	28/04/2021
		FECHA FIN:	2/05/2021

FECHA	Longitud del taladro (m)	retorno del agua de	nivel de agua	INTERVALO (mts)		DESCRIPCION LITOLOGICA	% DE RECUPERACION	% DE R.Q.D		TROZOS >10 m	Grado de alteracion de la Roca	Ensayo de Permeabilidad
				DE	A							
30/04/2021	13m		agua color gris	12.00	13.00	Diorita color gris verdoso conepidotización en fracturas RQD = 62%				4		3.8 L 5.84E- 5cm/s
14/05/2021	14m		agua color gris	13.00	14.00	Diorita color gris verdoso con epidotización en fracturas RQD = 75%				3		
14/05/2021	15m		agua color gris	14.00	15.00	Diorita/monzonita color gris verdoso con epidotización en fracturas RQD =82%				4		
14/05/2021	16m		agua color gris	15.00	16.00	Diorita/monzonita color gris verdoso con epidotización en fracturas RQD = 71%				4		
				16.00	16.50	Diorita color gris verdoso con epidotización en fracturas muy fracturada RQD = 15%				1		

REGISTRO DE SONDE  
PERFORACIONES DIAMANTINAS

PROYECTO:	EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022	COORDENADAS:	
		NORTE:	8401822.2
CÓDIGO DE SONDAJE:	PZ-02	ESTE:	201441.6
UBICACIÓN:	Uchucarco - Chamaca - Chumbivilcas - Cusco	ALTURA:	4451 m
TIPO Y DIAMETRO DE LA PERFORACIÓN:	NQ	PROFUNDIDAD PROYECTADA:	12.5 m
INCLINACIÓN DEL SONDEO:	90°	PROFUNDIDAD EJECUTADA:	12.5 m
		FECHA INICIO:	03/05/2021
		FECHA FIN:	06/05/2021

FECHA:	Longitud del Taladro (m)	Retorno del agua de Perforación	Nivel de Agua	INTERVALO (mts.)		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	% DE RECUPERACIÓN	% DE R.Q.D.	Trozos > 10 cm	Grado de alteración de la Roca	Ensayo de Permeabilidad
				DE	A						
03/05/2021	1 m	No presenta		0.00	0.60	Grava limosa color amarillo (morrenas) GM					
				0.60	1.00	Arena limosa SM color gris con boloneria 10%					
03/05/2021	2 m	No presenta		1.00	2.00	Arena limosa de grano medio color gris SM con boloneria 10 % de roca monzonita					
03/05/2021	3 m	Agua color chocolate		2.00	3.00	Grava limosa color gris  Monzonita color gris extremadamente fracturada con alteración blanquecina en fracturas			0		
04/05/2021	4 m	Agua color chocolate		3.00	4.00	Monzonita color gris muy fracturada con epidotizacion color verde oscuro en fracturas RQD = 48%			3		
04/05/2021	5 m	Agua color chocolate		4.00	5.00	Monzonita color gris extremadamente fracturada con epidotización color verde oscuro en fracturas RQD =12%			1		
04/05/2021	6 m	Agua color chocolate		5.00	5.60	Diorita color gris verdoso con presencia de oxidacion amarillenta en fracturas RQD = 100%			1		
				5.60	6.00	Diorita color gris verdoso extremadamente fracturada			0		

195.46L  
1.19E-3  
cm/s

REGISTRO DE SONDEO  
PERFORACIONES DIAMANTINAS

PROYECTO:	EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022	COORDENADAS:	
		NORTE:	8401822.2
CÓDIGO DE SONDAJE:	PZ-02	ESTE:	201441.6
		ALTURA:	4451 m
UBICACIÓN:	Uchuccarco - Chamaca - Chumbivilcas - Cusco	PROFUNDIDAD PROYECTADA:	12.5 m
TIPO Y DIAMETRO DE LA PERFORACIÓN:	NQ	PROFUNDIDAD EJECUTADA:	12.5 m
INCLINACIÓN DEL SONDEO:	90°	FECHA INICIO:	03/05/2021
		FECHA FIN:	06/05/2021

FECHA:	Longitud del Taladro (m)	Retorno del agua de Perforación	Nivel de Agua	INTERVALO (mts.)		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	% DE RECUPERACIÓN	% DE R.Q.D.				Trozos > 10 cm	Grado de alteración de la Roca	Ensayo de Permeabilidad
				DE	A									
05/05/2021	7 m	Agua color chocolate		6.00	7.00	Diorita color gris verdoso, fracturas con oxidación amarillenta y epidotización en fracturas frescas RQD=59%					2			
05/05/2021	8 m	Agua color chocolate		7.00	8.00	Diorita color gris verdoso, fracturas con oxidación amarillenta y epidotización en fracturas frescas RQD=65%					2			
05/05/2021	9 m	Agua color chocolate		8.00	9.00	Diorita color gris verdoso, fracturas con oxidación amarillenta, roca extremadamente fracturada RQD =0%					0			
05/05/2021	10m	Agua color chocolate		9.00	10.00	Diorita color gris verdoso, fracturas con oxidación amarillenta, roca extremadamente fracturada RQD =12%					3		95 UL 7.71E-4 cm/s	
06/05/2021	11m	Agua color gris		10.00	11.00	Diorita color gris verdoso, fracturas con oxidación amarillenta y epidotización en fracturas frescas RQD=64%					3			
06/05/2021	12m	Agua color gris		11.00	12.00	Diorita color gris verdoso, fracturas con oxidación amarillenta y epidotización en fracturas frescas RQD=75%					3			



PROYECTO:	EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022	COORDENADAS:	
		NORTE:	8401739.8
		ESTE:	201483.2
CÓDIGO DE SONDAJE:	PZ-03	ALTURA:	4447 m
UBICACIÓN:	Uchuccarco - Chamaca - Chumbivilcas - Cusco	PROFUNDIDAD PROYECTADA:	22 m
TIPO Y DIAMETRO DE LA PERFORACIÓN:	NQ	PROFUNDIDAD EJECUTADA:	17 m
INCLINACIÓN DEL SONDEO:	90°	FECHA INICIO:	07/05/2021
		FECHA FIN:	13/05/2021

FECHA:	Longitud del Taladro (m)	Retorno del agua de Perforación	Nivel de Agua	INTERVALO (mts.)		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	% DE RECUPERACIÓN	% DE R.Q.D.	Trozos > 10 cm	Grado de alteración de la Roca	Ensayo de Permeabilidad
				DE	A						
07/05/2021	1 m	No presenta		0.00	1.00	Monzonita color gris fracturada, fracturas con oxidación color marrón RQD = 60%			2	Muy alterada	
07/05/2021	2 m	Agua color gris		1.00	2.00	Monzonita color gris fracturada, fracturas con oxidación color marrón RQD = 63%			3	Muy alterada	
08/05/2021	3 m	Agua color gris		2.00	3.00	Monzonita color gris verdoso con fracturas rellenas de cuarzo muy alterado RQD = 69%			3	Muy alterada	
08/05/2021	4 m	Agua color gris		3.00	4.00	Diorita color gris verdoso fracturado RQD = 68%			3	Alterada	95.90U L 7.71cm/ s
08/05/2021	5 m	Agua color gris		4.00	5.00	Diorita color gris verdoso fracturas color verde oscuro RQD = 82%			3	Alterada	
08/05/2021	6 m	Agua color gris		5.00	5.80	Diorita color gris verdoso fracturas color verde oscuro RQD = 69%			4	Alterada	
				5.80	6.00	Monzonita cuarzosa					

PROYECTO:	EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI - CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022	COORDENADAS:	
		NORTE:	8401739.8
		ESTE:	201483.2
CÓDIGO DE SONDAJE:	PZ-03	ALTURA:	4447 m
UBICACIÓN:	Uchuccarco - Chamaca - Chumbivilcas - Cusco	PROFUNDIDAD PROYECTADA:	22 m
TIPO Y DIAMETRO DE LA PERFORACIÓN:	NQ	PROFUNDIDAD EJECUTADA:	17 m
INCLINACIÓN DEL SONDEO:	90°	FECHA INICIO:	07/05/2021
		FECHA FIN:	13/05/2021

FECHA:	Longitud del Taladro (m)	Retorno del agua de Perforación	Nivel de Agua	INTERVALO (mts.)		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	% DE RECUPERACIÓN	% DE R.Q.D.	Trozos > 10 cm	Grado de alteración de la Roca	Ensayo de Permeabilidad
				DE	A						
07/05/2021	1 m	No presenta		0.00	1.00	Monzonita color gris fracturada, fracturas con oxidación color marrón RQD = 60%			2	Muy alterada	
07/05/2021	2 m	Agua color gris		1.00	2.00	Monzonita color gris fracturada, fracturas con oxidación color marrón RQD = 63%			3	Muy alterada	
08/05/2021	3 m	Agua color gris		2.00	3.00	Monzonita color gris verdoso con fracturas rellenas de cuarzo muy alterado RQD = 69%			3	Muy alterada	
08/05/2021	4 m	Agua color gris		3.00	4.00	Diorita color gris verdoso fracturado RQD = 68%			3	Alterada	95.90U L 7.71cm/ s
08/05/2021	5 m	Agua color gris		4.00	5.00	Diorita color gris verdoso fracturas color verde oscuro RQD = 82%			3	Alterada	
08/05/2021	6 m	Agua color gris		5.00	5.80	Diorita color gris verdoso fracturas color verde oscuro RQD = 69%			4	Alterada	
				5.80	6.00	Monzonita cuarzosa					



## CORTE DIRECTO

ASIM DU3080

PROYECTO :	<b>“CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO”</b>
------------	--

UBICACIÓN: UCHUCCARCO-CHAMACA -CHUMBIVILCAS

SOLICITA: HUSBAY - MUNICIPALIDAD DISTRITLA DE CHAMACA

FECHA: OCTUBRE DEL 2021

ESTADO : Remodeado a su densidad natural

CODIGO MUESTRA:

C-7

LUGAR

ZONA: Magen derecha del Cauce del riachuelo

CONTENIDO DE HUMEDAD

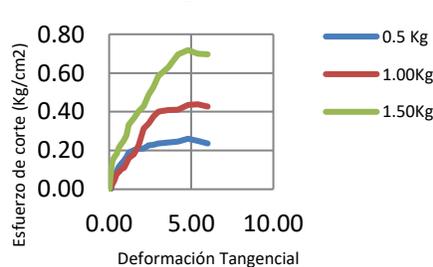
DATOS DEL ESPECIMEN

Capsula N°	pp-16	Ancho de la seccion	6.0
Suelo Humedo +capsula	321.56	Altura (cm)	3.6
Suelo seco +capsula	299.6	Area de la seccion (cm)	36.0
Peso del agua	21.96	Volumen (cm3)	128.9
Peso de la capsula	70.5	Peso humedo (gr)	251.06
Peso del suelo seco	229.1	Densidad remoldeada humeda (gr/cm3)	1.95
Porcentaje de Humedad	9.59%	Densidad remoldeada seca (gr/cm3)	1.76

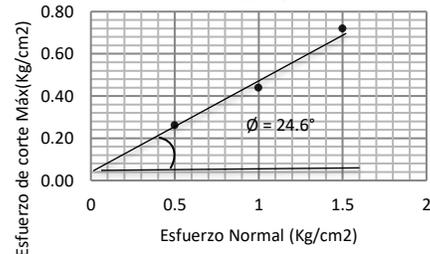
### CARGA NORMAL:

Carga :	0.50	kg	Carga :	1.00	kg	Carga :	1.50	kg
Deformación Horizontal x 0.01mm	Esfuerzo de deformación horizontal (mm)	Esfuerzo de corte (kg/cm2)	Deformación Horizontal x 0.01mm	Esfuerzo de deformación horizontal (mm)	Esfuerzo de corte (kg/cm2)	Deformación Horizontal x 0.01mm	Esfuerzo de deformación horizontal (mm)	Esfuerzo de corte (kg/cm2)
0.00	0.0	0.00000	0.00	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.00000
0.03	0.1	0.00088	0.03	0.10	0.00088	0.03	1.00	0.00875
0.06	0.2	0.00175	0.06	0.60	0.00525	0.06	6.00	0.05250
0.12	0.4	0.00350	0.12	1.50	0.01313	0.12	12.00	0.10500
0.21	6.0	0.05250	0.21	3.10	0.02713	0.21	16.90	0.14788
0.30	8.8	0.07700	0.30	4.90	0.04288	0.30	18.70	0.16363
0.45	10.6	0.09275	0.45	8.90	0.07788	0.45	20.80	0.18200
0.60	13.4	0.11725	0.60	10.10	0.08838	0.60	24.60	0.21525
0.75	15.2	0.13300	0.75	11.90	0.10413	0.75	26.80	0.23450
0.90	16.8	0.14700	0.90	12.60	0.11025	0.90	28.90	0.25288
1.05	19.2	0.16800	1.05	15.60	0.13650	1.05	31.90	0.27913
1.20	21.6	0.18900	1.20	18.30	0.16013	1.20	38.00	0.33250
1.50	23.0	0.20125	1.50	20.60	0.18025	1.50	41.80	0.36575
1.80	23.8	0.20825	1.80	25.80	0.22575	1.80	45.90	0.40163
2.10	24.1	0.21088	2.10	35.80	0.31325	2.10	48.90	0.42788
2.40	25.9	0.22663	2.40	38.60	0.33775	2.40	56.60	0.48650
2.70	26.2	0.22925	2.70	42.90	0.37538	2.70	60.50	0.52938
3.00	27.0	0.23625	3.00	45.80	0.40075	3.00	66.80	0.58450
3.60	27.6	0.24150	3.60	46.80	0.40950	3.60	71.80	0.62825
4.20	28.1	0.24588	4.20	47.00	0.41125	4.20	79.60	0.69650
4.80	29.8	0.26075	4.80	49.70	0.43488	4.80	82.10	0.71838
5.40	28.6	0.25025	5.40	50.10	0.43838	5.40	80.00	0.70000
6.00	27.0	0.23625	6.00	48.70	0.42613	6.00	79.60	0.69650

Deformación Tangencial vs Esfuerzo de corte



Esfuerzo normal vs esfuerzo de corte máximo



### RESULTADOS:

Angulo de fricción

**24.6 °**

Cohesión =

**0.03 Kg/cm2**

GEO TECNIA Y LABORATORIO CUSCO E.I.R.L.  
*Ronald L. Lopez Zapana*  
GERENTE



**SOLICITANTE:** MUNICIPALIDAD DE CHAMACA - EMPRESA MINERA HUBBAY

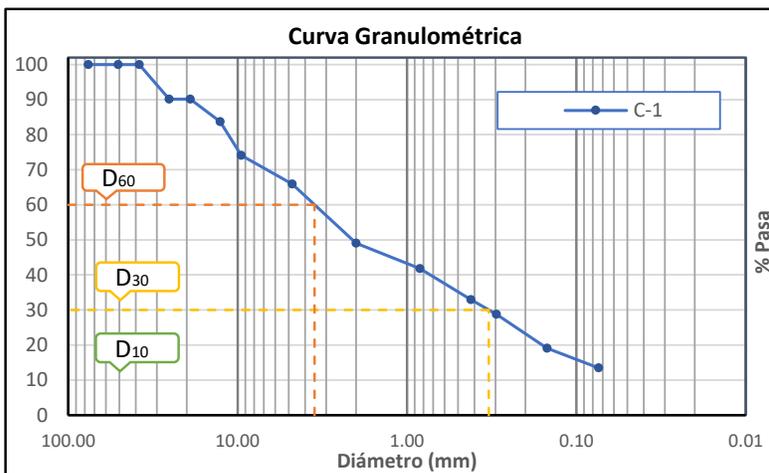
**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO"

**UBICACIÓN:** Distrito: Chamaca Provincia: Chumbivilcas Región: Cusco Zona: Uchucarco

**FECHA:** Mayo del 2021

Código de muestra: **C-1** Tipo de prospección: Calicata  
 Peso Inicial Seco: 576.05 Progresiva: -  
 Peso Lavado Seco: 499.50 Infra. Proyectada: Represa

	%	Malla / Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr) Retenido	Retenido Parcial %	% Acumulados		Propiedades Físicas	
						Retenido	Pasa		
<b>Cantos</b>	0.00	3"	76.200	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>60</sub> =	3.51
<b>Grava</b>	Gruesa 9.82	2"	50.800	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>30</sub> =	0.33
		1 1/2"	38.100	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>10</sub> =	#N/A
		1"	25.400	<b>56.57</b>	9.82	9.82	90.18	Cu =	#N/A
		3/4"	19.050	<b>0.00</b>	0.00	9.82	90.18	Cc =	#N/A
	Fina 24.28	1/2"	12.700	<b>37.43</b>	6.50	16.32	83.68	<b>Distribución Granulométrica</b>	
		3/8"	9.525	<b>54.94</b>	9.54	25.86	74.14	% Gravas:	34.10%
<b>Arena</b>	Gruesa 16.85	Nº 4	4.760	<b>47.50</b>	8.25	34.10	65.90	% Arenas:	52.43%
		Nº 10	2.000	<b>97.06</b>	16.85	50.95	49.05	% Finos:	13.47%
		Nº 20	0.840	<b>41.70</b>	7.24	58.19	41.81	<b>Límites de consistencia</b>	
	Media 16.14	Nº 40	0.420	<b>51.29</b>	8.90	67.09	32.91	Lim. Líquido	<b>0.00</b>
		Nº 50	0.297	<b>23.77</b>	4.13	71.22	28.78	Lim. Plástico	<b>0.00</b>
		Fina 19.44	Nº 100	0.149	<b>55.80</b>	9.69	80.91	19.09	Índice de Plasticidad
Nº 200	0.074		<b>32.40</b>	5.62	86.53	13.47			
<b>Limos y arcillas</b>	13.47	Casuela + Lavado	-	<b>77.59</b>	13.47	100.00	0.00		
<b>Σ =</b>				<b>576.05</b>					



<b>Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)</b>
<b>SM</b>
<b>Descripción:</b>
Suelo de grano grueso: Arena Limosa con Grava



**SOLICITANTE:** MUNICIPALIDAD DE CHAMACA - EMPRESA MINERA HUBBAY

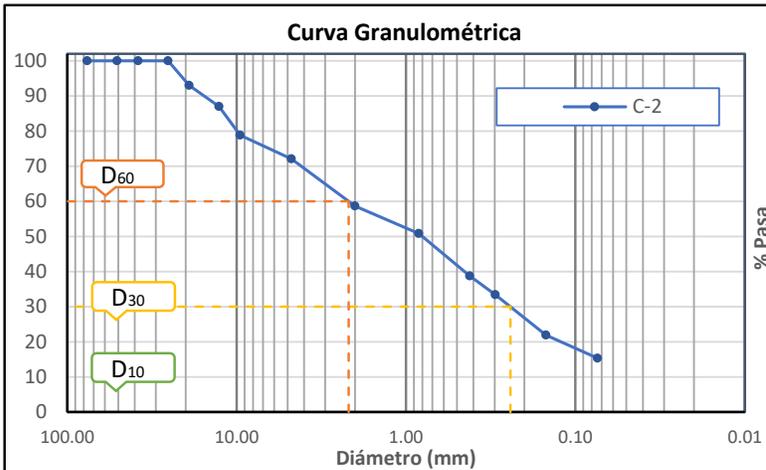
**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO"

**UBICACIÓN:** Distrito: Chamaca Provincia: Chumbivilcas Región: Cusco Zona: Uchucarco

**FECHA:** Mayo del 2021

Código de muestra: **C-2** Tipo de prospección: Calicata  
 Peso Inicial Seco: 568.00 Progresiva: -  
 Peso Lavado Seco: 485.45 Infra. Proyectada: Represa

	%	Malla / Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr) Retenido	Retenido Parcial %	% Acumulados		Propiedades Físicas	
						Retenido	Pasa		
<b>Cantos</b>	0.00	3"	76.200	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>60</sub> =	2.18
<b>Grava</b>	7.04	2"	50.800	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>30</sub> =	0.24
		1 1/2"	38.100	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>10</sub> =	#N/A
		1"	25.400	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	Cu =	#N/A
		3/4"	19.050	<b>39.99</b>	7.04	7.04	92.96	Cc =	#N/A
		1/2"	12.700	<b>33.75</b>	5.94	12.98	87.02	<b>Distribución Granulométrica</b>	
<b>Arena</b>	20.88	3/8"	9.525	<b>46.47</b>	8.18	21.16	78.84		
		Nº 4	4.760	<b>38.35</b>	6.75	27.92	72.08	% Gravas:	27.92%
		Nº 10	2.000	<b>76.33</b>	13.44	41.35	58.65	% Arenas:	56.76%
		Nº 20	0.840	<b>44.42</b>	7.82	49.17	50.83	% Finos:	15.32%
		Nº 40	0.420	<b>68.70</b>	12.10	61.27	38.73	<b>Límites de consistencia</b>	
<b>Finas</b>	23.41	Nº 50	0.297	<b>30.17</b>	5.31	66.58	33.42		
		Nº 100	0.149	<b>65.42</b>	11.52	78.10	21.90	Lim. Líquido	<b>0.00</b>
		Nº 200	0.074	<b>37.37</b>	6.58	84.68	15.32	Lim. Plástico	<b>0.00</b>
<b>Limos y arcillas</b>	15.32	Casuela + Lavado	-	<b>87.03</b>	15.32	100.00	0.00	Índice de Plasticidad	<b>NP</b>
<b>Σ =</b>				<b>568.00</b>					



<b>Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)</b>
<b>SM</b>
<b>Descripción:</b>
Suelo de grano grueso: Arena Limoso con Grava



**SOLICITANTE:** MUNICIPALIDAD DE CHAMACA - EMPRESA MINERA HUBBAY

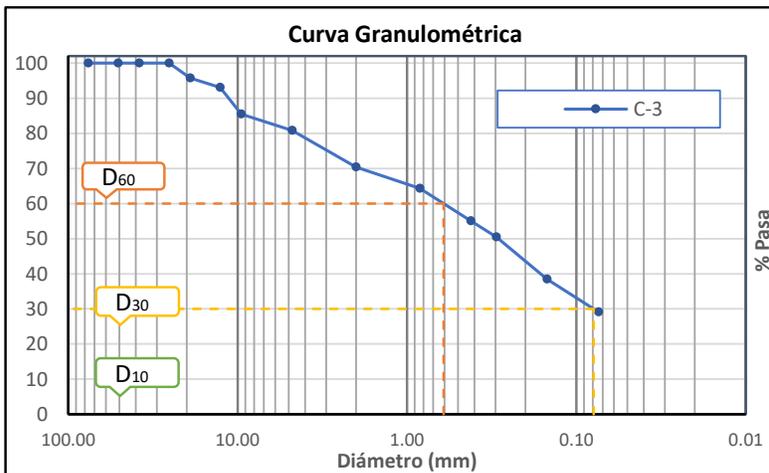
**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO"

**UBICACIÓN:** Distrito: Chamaca Provincia: Chumbivilcas Región: Cusco Zona: Uchucarco

**FECHA:** Mayo del 2021

Código de muestra: **C-3** Tipo de prospección: Calicata  
 Peso Inicial Seco: 588.53 Progresiva: -  
 Peso Lavado Seco: 421.58 Infra. Proyectada: Represa

	%	Malla / Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr) Retenido	Retenido Parcial %	% Acumulados		Propiedades Físicas	
						Retenido	Pasa		
<b>Cantos</b>	0.00	3"	76.200	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>60</sub> =	0.61
<b>Grava</b>	Gruesa	2"	50.800	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>30</sub> =	0.08
		1 1/2"	38.100	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>10</sub> =	#N/A
		1"	25.400	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	Cu =	#N/A
	Fina	3/4"	19.050	<b>25.00</b>	4.25	4.25	95.75	Cc =	#N/A
		1/2"	12.700	<b>15.78</b>	2.68	6.93	93.07	<b>Distribución Granulométrica</b>	
		3/8"	9.525	<b>44.72</b>	7.60	14.53	85.47	% Gravas:	19.19%
<b>Arena</b>	Gruesa	Nº 4	4.760	<b>27.41</b>	4.66	19.19	80.81	% Arenas:	51.70%
		Nº 10	2.000	<b>61.40</b>	10.43	29.62	70.38	% Finos:	29.12%
	Media	Nº 20	0.840	<b>35.60</b>	6.05	35.67	64.33	<b>Límites de consistencia</b>	
		Nº 40	0.420	<b>54.80</b>	9.31	44.98	55.02	Lim. Líquido	<b>0.00</b>
	Fina	Nº 50	0.297	<b>26.74</b>	4.54	49.52	50.48	Lim. Plástico	<b>0.00</b>
<b>Limos y arcillas</b>	29.12	Nº 100	0.149	<b>70.89</b>	12.05	61.57	38.43	Indice de Plasticidad	<b>NP</b>
		Nº 200	0.074	<b>54.83</b>	9.32	70.88	29.12		
				<b>171.36</b>	29.12	100.00	0.00		
				<b>Σ = 588.53</b>					



<b>Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)</b>
<b>SM</b>
<b>Descripción:</b>
Suelo de grano grueso: Arena Limosa con Grava



**SOLICITANTE:** MUNICIPALIDAD DE CHAMACA - EMPRESA MINERA HUBBAY

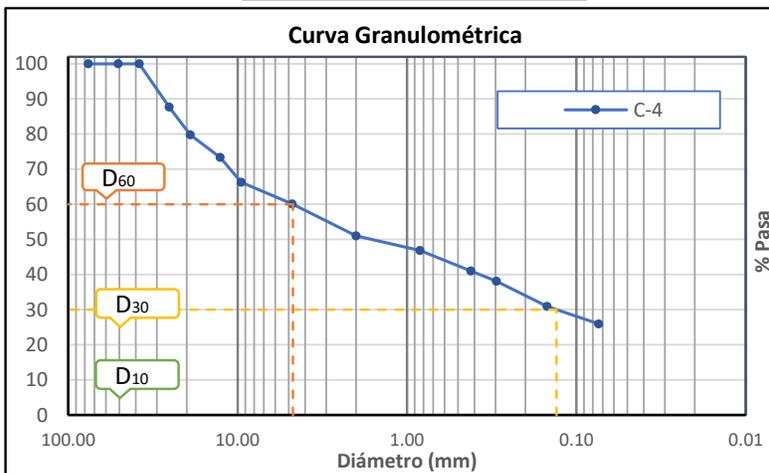
**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO"

**UBICACIÓN:** Distrito: Chamaca Provincia: Chumbivilcas Región: Cusco Zona: Uchucarco

**FECHA:** Mayo del 2021

Código de muestra: **C-4** Tipo de prospección: Calicata  
 Peso Inicial Seco: 732.88 Progresiva: -  
 Peso Lavado Seco: 544.94 Infra. Proyectada: Represa

	%	Malla / Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr) Retenido	Retenido Parcial %	% Acumulados		Propiedades Físicas	
						Retenido	Pasa		
<b>Cantos</b>	0.00	3"	76.200	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>60</sub> =	4.72
<b>Grava</b>	Gruesa 20.22	2"	50.800	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>30</sub> =	0.13
		1 1/2"	38.100	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>10</sub> =	#N/A
		1"	25.400	<b>90.32</b>	12.32	12.32	87.68	Cu =	#N/A
	Fina 19.68	3/4"	19.050	<b>57.89</b>	7.90	20.22	79.78	Cc =	#N/A
		1/2"	12.700	<b>47.28</b>	6.45	26.67	73.33	<b>Distribución Granulométrica</b>	
		3/8"	9.525	<b>51.47</b>	7.02	33.70	66.30	% Gravas:	39.90%
<b>Arena</b>	Gruesa 9.07	Nº 4	4.760	<b>45.49</b>	6.21	39.90	60.10	% Arenas:	34.14%
		Nº 10	2.000	<b>66.46</b>	9.07	48.97	51.03	% Finos:	25.95%
	Media 10.02	Nº 20	0.840	<b>30.51</b>	4.16	53.14	46.86	<b>Límites de consistencia</b>	
		Nº 40	0.420	<b>42.93</b>	5.86	58.99	41.01	Lim. Líquido	-
		Nº 50	0.297	<b>21.16</b>	2.89	61.88	38.12	Lim. Plástico	-
Fina 15.05	Nº 100	0.149	<b>52.80</b>	7.20	69.08	30.92	Indice de Plasticidad	<b>NP</b>	
	Nº 200	0.074	<b>36.36</b>	4.96	74.05	25.95			
<b>Limos y arcillas</b>	25.95	Casuela + Lavado	-	<b>190.21</b>	25.95	100.00	0.00		
				<b>Σ =</b>	<b>732.88</b>				



**Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)**

**GM**

**Descripción:**

Suelo de grano grueso: Grava limosa



**SOLICITANTE:** MUNICIPALIDAD DE CHAMACA - EMPRESA MINERA HUBBAY

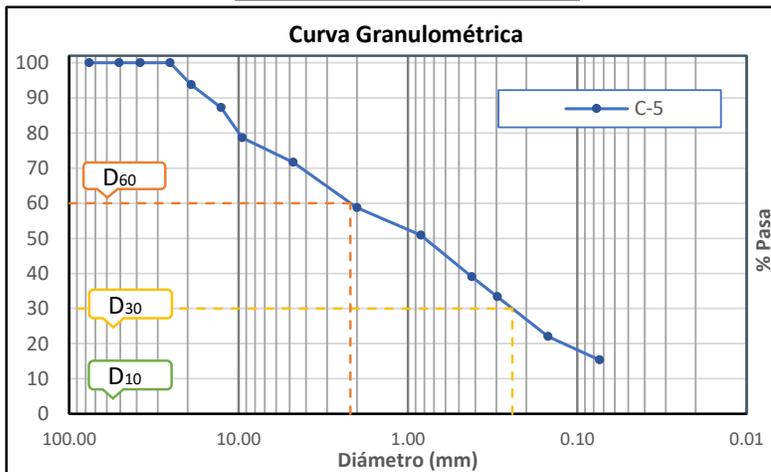
**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO"

**UBICACIÓN:** Distrito: Chamaca Provincia: Chumbivilcas Región: Cusco Zona: Uchucarco

**FECHA:** Mayo del 2021

Código de muestra: C-5 Tipo de prospección: Calicata  
 Peso Inicial Seco: 565.00 Progresiva: -  
 Peso Lavado Seco: 482.73 Infra. Proyectada: Represa

	%	Malla / Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr) Retenido	Retenido Parcial %	% Acumulados		Propiedades Físicas	
						Retenido	Pasa		
<b>Cantos</b>	0.00	3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	D <sub>60</sub> =	2.19
<b>Grava</b>	6.27	2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	D <sub>30</sub> =	0.24
		1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	D <sub>10</sub> =	#N/A
		1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	Cu =	#N/A
		3/4"	19.050	35.40	6.27	6.27	93.73	Cc =	#N/A
		1/2"	12.700	36.54	6.47	12.73	87.27	<b>Distribución Granulométrica</b>	
<b>Arena</b>	12.94	3/8"	9.525	48.78	8.63	21.37	78.63		
		Nº 4	4.760	39.64	7.02	28.38	71.62	% Gravas:	28.38%
	19.62	Nº 10	2.000	73.12	12.94	41.32	58.68	% Arenas:	56.26%
		Nº 20	0.840	43.96	7.78	49.10	50.90	% Finos:	15.35%
		Nº 40	0.420	66.89	11.84	60.94	39.06	<b>Límites de consistencia</b>	
23.70	Nº 50	0.297	32.14	5.69	66.63	33.37			
	Nº 100	0.149	63.94	11.32	77.95	22.05	Lim. Líquido	-	
	Nº 200	0.074	37.84	6.70	84.65	15.35	Lim. Plástico	-	
<b>Limos y arcillas</b>	15.35	Casuela + Lavado	-	86.75	15.35	100.00	0.00	Índice de Plasticidad	NP
<b>Σ =</b>				565.00					



**Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)**

**SM**

**Descripción:**

Suelo de grano grueso: Arena  
 Limosa con grava



**SOLICITANTE:**

**PROYECTO:**

“CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO”

**UBICACIÓN:**

Distrito: Chamaca      Provincia: Chumbivilcas      Región: Cusco      Zona: Uchucarcco

**FECHA:**

Mayo del 2021

Código de muestra:

**C-5 E-3**

Tipo de prospección:

Calicata

Peso Inicial Seco:

791.28

Progresiva:

-

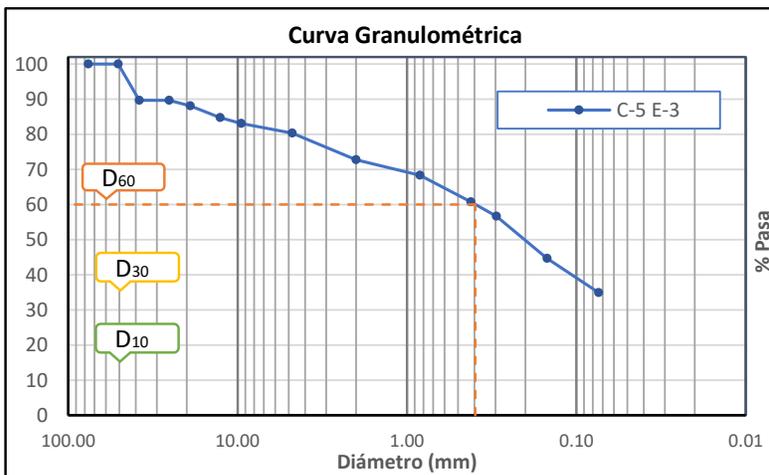
Peso Lavado Seco:

521.22

Infra. Proyectada:

Represa

	%	Malla / Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr) Retenido	Retenido Parcial %	% Acumulados		Propiedades Físicas	
						Retenido	Pasa		
<b>Cantos</b>	0.00	3"	76.200	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>60</sub> =	0.40
<b>Grava</b>	Gruesa	2"	50.800	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>30</sub> =	#N/A
		1 1/2"	38.100	<b>82.09</b>	10.37	10.37	89.63	D <sub>10</sub> =	#N/A
		1"	25.400	<b>0.00</b>	0.00	10.37	89.63	Cu =	#N/A
	Fina	3/4"	19.050	<b>12.13</b>	1.53	11.91	88.09	Cc =	#N/A
		1/2"	12.700	<b>26.19</b>	3.31	15.22	84.78	<b>Distribución Granulométrica</b>	
		3/8"	9.525	<b>13.43</b>	1.70	16.91	83.09	% Gravas:	19.71%
<b>Arena</b>	Gruesa	Nº 4	4.760	<b>22.15</b>	2.80	19.71	80.29	% Arenas:	45.35%
		Nº 10	2.000	<b>59.61</b>	7.53	27.25	72.75	% Finos:	34.94%
	Media	Nº 20	0.840	<b>34.75</b>	4.39	31.64	68.36	<b>Límites de consistencia</b>	
		Nº 40	0.420	<b>60.52</b>	7.65	39.29	60.71	Lim. Líquido	<b>45.89</b>
	Fina	Nº 50	0.297	<b>32.31</b>	4.08	43.37	56.63	Lim. Plástico	<b>39.54</b>
Nº 100		0.149	<b>94.48</b>	11.94	55.31	44.69	Indice de Plasticidad	<b>6.36</b>	
<b>Limos y arcillas</b>	34.94	Casuela + Lavado	-	<b>276.45</b>	34.94	100.00	0.00		
<b>Σ =</b>				<b>791.28</b>					



**Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)**

**SM-SC**

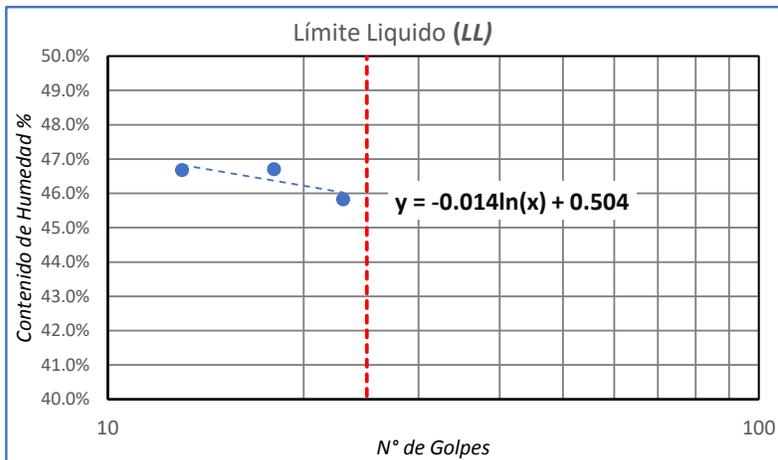
**Descripción:**

Suelo de grano grueso: Arena  
Limo arcillosa con Grava



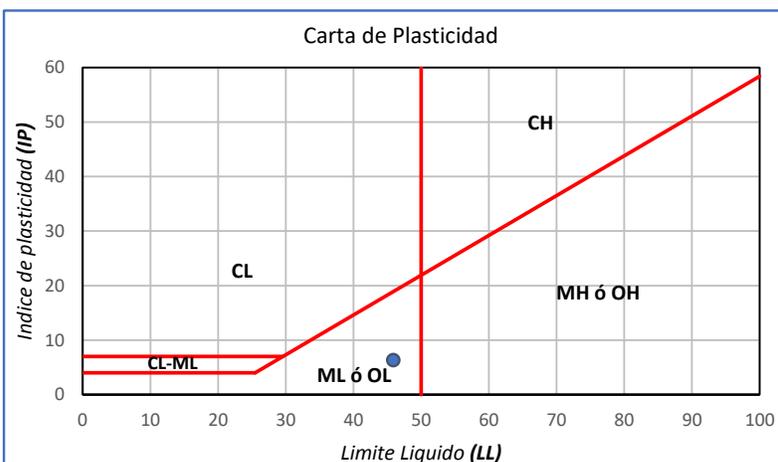
<b>SOLICITANTE:</b>	<b>MUNICIPALIDAD DE CHAMACA - EMPRESA MINERA HUBBAY</b>			
<b>PROYECTO:</b>	<b>“CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO”</b>			
<b>UBICACIÓN:</b>	Distrito: <b>Chamaca</b>	Provincia: <b>Chumbivilcas</b>	Región: <b>Cusco</b>	Zona <b>Uchucarco</b>
<b>FECHA:</b>	Mayo del 2021			
<b>MUESTRA:</b>	<b>C-5 E-3</b>			

Descripción	Límite Líquido <b>LL</b>			Límite Plástico <b>LP</b>		
	1	2	3	1	2	3
Número de ensayo						
Peso de la capsula	31.00	30.86	30.78	30.95	31.15	30.95
Peso de cápsula + suelo humedo	59.31	59.38	70.33	34.50	35.37	35.32
Peso de cápsula + suelo seco	50.30	50.30	57.90	33.50	34.15	34.10
Peso del suelo seco	19.30	19.44	27.12	2.55	3.00	3.15
Peso del agua	9.01	9.08	12.43	1.00	1.22	1.22
Contenido de Humedad (%)	46.68%	46.71%	45.83%	39.22%	40.67%	38.73%
Número de golpes	13	18	23			



**Límite Líquido (LL)**  
 LL = Promedio de la ecuación del gráfico a 25 golpes  
**LL = 45.89**

**Límite Plástico (LP)**  
 LP = Prom. del contenido de humedad  
**LP = 39.54**



**Índice de Plasticidad (IP)**  
 IP = LL - LP  
**IP = 6.36**



**SOLICITANTE:** MUNICIPALIDAD DE CHAMACA - EMPRESA MINERA HUBBAY

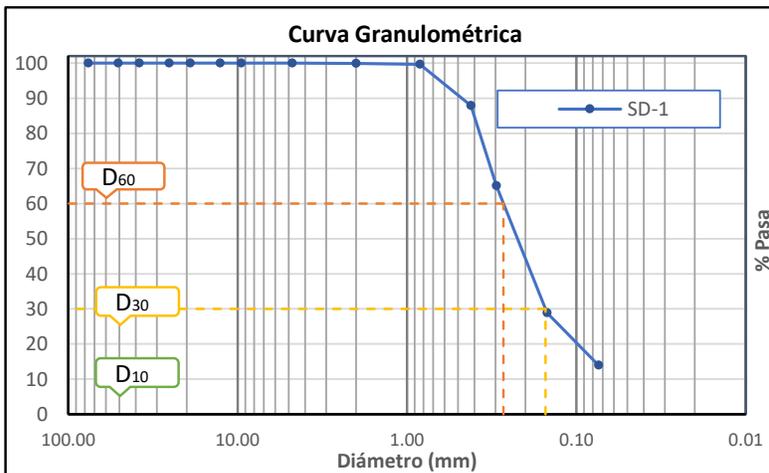
**PROYECTO:** "CREACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LOS SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCHUCCARCCO ALTO – DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - CUSCO"

**UBICACIÓN:** Distrito: Chamaca Provincia: Chumbivilcas Región: Cusco Zona: Uchucarco

**FECHA:** Mayo del 2021

Código de muestra: **SD-1** Tipo de prospección: Calicata  
 Peso Inicial Seco: 392.04 Progresiva: -  
 Peso Lavado Seco: 388.45 Infra. Proyectada: Represa

	%	Malla / Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr) Retenido	Retenido Parcial %	% Acumulados		Propiedades Físicas	
						Retenido	Pasa		
<b>Cantos</b>	0.00	3"	76.200	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>60</sub> =	0.27
<b>Grava</b>	Gruesa	2"	50.800	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>30</sub> =	0.15
		1 1/2"	38.100	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	D <sub>10</sub> =	#N/A
		1"	25.400	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	Cu =	#N/A
	Fina	3/4"	19.050	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	Cc =	#N/A
		1/2"	12.700	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	<b>Distribución Granulométrica</b>	
		3/8"	9.525	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	% Gravas:	0.00%
<b>Arena</b>	Gruesa	Nº 4	4.760	<b>0.00</b>	0.00	0.00	100.00	% Arenas:	86.04%
		Nº 10	2.000	<b>0.49</b>	0.12	0.12	99.88	% Finos:	13.96%
	Media	Nº 20	0.840	<b>0.77</b>	0.20	0.32	99.68	<b>Límites de consistencia</b>	
		Nº 40	0.420	<b>46.19</b>	11.78	12.10	87.90	Lim. Líquido	-
	Fina	Nº 50	0.297	<b>89.46</b>	22.82	34.92	65.08	Lim. Plástico	-
Nº 100		0.149	<b>141.77</b>	36.16	71.08	28.92	Indice de Plasticidad	<b>NP</b>	
<b>Limos y arcillas</b>	13.96	Casuela + Lavado	-	<b>54.72</b>	13.96	100.00	0.00		
				<b>Σ =</b>	<b>392.04</b>				



<b>Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)</b>
<b>SM</b>
<b>Descripción:</b>
Suelo de grano grueso: Arena Limosa



# INGENIERIA, GEOTECNIA & CONSTRUCCION

## ESTUDIO GEOTECNICO Y MECANICA DE SUELOS

### ENSAYO DE ABRASION ( MAQUINA DE LOS ANGELES )

MTC E 207 (ASTM C 535)

**PROYECTO** : ICREACION DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO EN LO SECTORES DE KIBIOPAMPA Y SAJARANI DEL CENTRO POBLADO DE UCCHUCARCO DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCA, DEPARTAMNETO DEL CUSCO"

**CERTIFICADO** : 1  
**HECHO POR** : A.A.Y.  
**REVISADO** : M.B.E.  
**FECHA** : 05/01/2022

#### DATOS DE LA MUESTRA

**MATERIAL** : M-01

**COORDENADAS**

**NORTE**

**SUR**

#### GRADACIONES

TAMIZ	GRADACIONES			
	A	B	C	D
1 1/2"				
1"	1249.4			
3/4"	1252.1			
1/2"	1251.2			
3/8"	1248.0			
1/4"				
N° 4				
PESO TOTAL	5000.7			
Retenido en la malla N° 12	3896.4			
Que pasa en la malla N° 12	1,104.3			
N° de Esferas	12			
% Desgate	22.1%			

**OBSERVACIONES** :La muestra fue proporcionado por el solicitante

INGEO ANDES E.I.R.L.  
  
Ing. Elara Mendoza Bejar  
GERENTE GENERAL  
CIP N° 143385