

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Estudio geotécnico para la construcción de la  
represa de almacenaje de agua en Huayllumayo,  
Espinar - Cuzco**

Juan Carlos Crisologo Chirinos Gutierrez  
Medardo Alfaro Navinta

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# Estudio geotécnico para la construcción de represa

## INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

2%

2

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[minedocs.com](http://minedocs.com)

Fuente de Internet

<1%

4

[repositorio.urp.edu.pe](http://repositorio.urp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

5

[repositorioslatinoamericanos.uchile.cl](http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl)

Fuente de Internet

<1%

6

[repositorio.udh.edu.pe](http://repositorio.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[repositorio.undac.edu.pe](http://repositorio.undac.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

8

[1library.co](http://1library.co)

Fuente de Internet

<1%

9

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

<1%

10	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://repositorio.autonoma.edu.pe">repositorio.autonoma.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.tesis.unjbg.edu.pe">www.tesis.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.uaustral.edu.pe">repositorio.uaustral.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://www.iagua.es">www.iagua.es</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://docplayer.fi">docplayer.fi</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

22	<a href="http://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://repositorio.uisrael.edu.ec">repositorio.uisrael.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://acclaimbutterflies.tripod.com">acclaimbutterflies.tripod.com</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://uvadoc.uva.es">uvadoc.uva.es</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://www.caei.com.ar">www.caei.com.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://www.eclipse.cl">www.eclipse.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://www.rppnet.com.ar">www.rppnet.com.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://docplayer.com.br">docplayer.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://patents.google.com">patents.google.com</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://repositorio.upeu.edu.pe">repositorio.upeu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://trendsip.com">trendsip.com</a> Fuente de Internet	<1 %

34	<a href="http://cybertesis.uach.cl">cybertesis.uach.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://publications.lnu.edu.ua">publications.lnu.edu.ua</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://www.mef.gob.pe">www.mef.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://www.semanticscholar.org">www.semanticscholar.org</a> Fuente de Internet	<1 %
40	García, . "Outlet works", Dam Maintenance and Rehabilitation II, 2010. Publicación	<1 %
41	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://dspace.unach.edu.ec">dspace.unach.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://ikee.lib.auth.gr">ikee.lib.auth.gr</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://inba.info">inba.info</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="http://jomero-llc.jimdosite.com">jomero-llc.jimdosite.com</a>	

Fuente de Internet

<1 %

46

[map-amazonia.net](http://map-amazonia.net)

Fuente de Internet

<1 %

47

[renati.sunedu.gob.pe](http://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

48

[repositorio.unc.edu.pe](http://repositorio.unc.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

49

[revistas.inia.es](http://revistas.inia.es)

Fuente de Internet

<1 %

50

[tesis.usat.edu.pe](http://tesis.usat.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

51

[www.asc-aqua.org](http://www.asc-aqua.org)

Fuente de Internet

<1 %

52

[www.casaasia.es](http://www.casaasia.es)

Fuente de Internet

<1 %

53

[www.laquiacaconline.com.ar](http://www.laquiacaconline.com.ar)

Fuente de Internet

<1 %

54

[www.lumensoft.pe](http://www.lumensoft.pe)

Fuente de Internet

<1 %

55

[www.un.org](http://www.un.org)

Fuente de Internet

<1 %

56

[purl.org](http://purl.org)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

## **ASESOR**

**Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero queremos agradecer a Dios por sus bendiciones y poder cumplir con mis objetivos profesionales y personales.

A mi hijo Santiago a nuestros padres, hermanos, familiares y amigos por el apoyo total y absoluto para alcanzar nuestras metas y objetivos.

Un especial agradecimiento a nuestro asesor de tesis Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda, por su apoyo, consejos, experiencia y valioso tiempo ha colaborado para cumplir con la meta personal de ser Ingeniero de Minas.

## **DEDICATORIA**

Le dedico esta presente tesis con todo cariño y respeto a mi hijo Santiago, a mis padres y Abuelitos que desde el cielo me dan su bendición para seguir adelante. Para mis hermanas y todos los familiares por su apoyo constante para mi desarrollo personal y profesional.

*Juan Carlos Crisologo Chirinos Gutierrez*

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mis padres Aníbal y Úrsula que me apoyaron y estuvieron en los momentos buenos y en los menos malos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

*Alfaro Navinta, Medardo*

# ÍNDICE

ASESOR .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1.1 Problema general.....	3
1.1.2 Problemas específicos .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES.....	4
1.4.1 Hipótesis general.....	4
1.4.2 Hipótesis específicas .....	4
1.5 VARIABLES .....	4
1.5.1 Variable Dependiente.....	4
1.5.2 Variable Independiente .....	4
1.5.3 Operacionalización de Variables.....	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	6
2.1.1 Antecedentes Internacionales .....	6
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	6
2.1.3 Antecedentes Locales .....	7
2.2 BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1 Descripción de la zona de estudio .....	8
2.2.1.1 Ubicación y Accesibilidad.....	8
2.2.1.2 Geología .....	9

<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>38</b>
3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
3.1.1 Método de la investigación.....	38
3.1.2 Tipo de investigación .....	38
3.1.3 Nivel de investigación.....	38
3.1.4 Diseño de la investigación.....	38
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	39
3.2.1 Población.....	39
3.2.2 Muestra.....	39
3.3 TÉCNICAS Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	39
3.3.1 Trabajos de Gabinete.....	39
3.3.2 Trabajo de campo.....	39
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....</b>	<b>41</b>
4.1 LOGUEO GEOTÉCNICO DE LA PERFORACIÓN DIAMANTINA.....	41
4.2 MUESTREO DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN.....	44
4.3 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD .....	45
4.3.1 Ensayos de Permeabilidad Tipo Lugeon.....	45
4.3.2 Ensayos de permeabilidad tipo Lefranc .....	46
4.4 ESTUDIOS DE LA PERFORACIÓN DIAMANTINA .....	47
4.5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO DEL SUELO DE CIMENTACIÓN .....	49
4.5.1 Evaluación Geotécnica del Estribo Izquierdo .....	50
4.5.1.1 Evaluación de Perfiles Estratigráficos.....	50
4.5.1.2 Clasificación Geo-Mecánica de Bieniawski Estribo Izquierdo.....	51
4.5.1.3 Análisis de Permeabilidad Estribo Izquierdo.....	52
4.5.2 Evaluación Geotécnica del Estribo Derecho.....	52
4.5.2.1 Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.....	53
4.5.2.2 Análisis de Permeabilidad Estribo Derecho.....	55
4.5.3 Evaluación Geotécnica del Eje de Presa (Cauce de Río) .....	56
4.5.3.1 Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.....	57
4.5.3.2 Clasificación Geomecánica de Bieniawsky Eje de Presa (Cauce de Río).....	57
4.5.3.3 Análisis de Permeabilidad Eje de Presa (Cauce de Río).....	60
4.6 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL VASO DE LA PRESA.....	61
4.6.1 Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.....	63

CONCLUSIONES .....	70
RECOMENDACIONES .....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas del Proyecto .....	8
Tabla 2.	Cuadro Ubicación de sondajes de Perforación Diamantina .....	31
Tabla 3.	Cuadro Ubicación de calicatas en el vaso de presa Huayllumayo .....	33
Tabla 4.	Cuadro Clasificación de calidad de la roca según el RQD .....	35
Tabla 5.	Parámetros de Logueo .....	42
Tabla 6.	Cuadro Código de muestras y tipo de ensayo de los testigos de perforación	44
Tabla 7.	Cuadro Resultados de Nivel Freático y Permeabilidad realizada en eje de presa Huayllumayo .....	49
Tabla 8.	Cuadro Clasificación Geomecánica DHPH-01 .....	51
Tabla 9.	Cuadro Permeabilidad (Estribo Izquierdo) sondaje DHPH-01 .....	52
Tabla 10.	Cuadro Clasificación Geomecánica DHPH-04 (Estribo derecho) .....	54
Tabla 11.	Cuadro Clasificación Geomecánica DHPH-05 (Estribo derecho) .....	55
Tabla 12.	Cuadro Permeabilidad Lugeon (Estribo Derecho) sondaje DHPH-04 .....	56
Tabla 13.	Permeabilidad Lugeon (Estribo Derecho) sondaje DHPH-05 .....	56
Tabla 14.	Clasificación Geomecánica DHPH-02 (Cauce de Río) .....	58
Tabla 15.	Clasificación Geomecánica DHPH-03 (Cauce de Río) .....	59
Tabla 16.	Resumen de permeabilidad de pozo DHPH-02. ....	60
Tabla 17.	Resumen de permeabilidad de pozo DHPH-03. ....	60
Tabla 18.	Resumen de permeabilidad de pozo DHPH-03. ....	60
Tabla 19.	Ubicación de calicatas en el vaso de presa. ....	63
Tabla 20.	Clasificación de suelos SUCS, de las calicatas en la zona de vaso de presa	64
Tabla 21.	Rango de valores de permeabilidad según la clasificación de los suelos.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de la zona de estudio. ....	9
Figura 2.	Vista Panorámica. ....	10
Figura 3.	Vista en un segundo plano el cerro Huanusco. ....	11
Figura 4.	Zona de Altiplanicies. ....	11
Figura 5.	Valle formado por el río Huayllumayo. ....	12
Figura 6.	Cauce del río Chuchana. ....	13
Figura 7.	Mapa geológico local. ....	15
Figura 8.	Calizas de la formación Arcurquina carretera Negromayo. ....	16
Figura 9.	Afloramiento del grupo Tacaza en la zona de río Salado al sur este de la ciudad de Espinar. ....	17
Figura 10.	Afloramientos de tobas ingnimbríticas en el estribo derecho del eje de presa. ....	18
Figura 11.	Afloramientos de tobas ingnimbríticas en el estribo izquierdo a 50 m. del eje de presa. ....	19
Figura 12.	Depósitos Morrénicos formando Terrazas en el eje de presa. ....	21
Figura 13.	Disposición de los depósitos Morrénicos en todo el margen izquierdo del eje de presa. ....	21
Figura 14.	Disposición de los depósitos fluvioglaciares en la zona de cauce del río Huayllumayo, presenta intercalaciones con el depósito fluvial. ....	22
Figura 15.	Deposición de los depósitos aluviales en la zona de vaso de presa. (Marcado de amarillo). ....	22
Figura 16.	Depósitos fluviales en la zona de aguas debajo de la zona de presa. ....	23
Figura 17.	Principales sistemas estructurales. ....	25
Figura 18.	Zona de deslizamiento y caída de rocas, margen izquierdo del eje de presa Huayllumayo. ....	26
Figura 19.	Depósitos Morrenicos en la zona de talud del vaso de la presa. ....	28
Figura 20.	Zona de escarpas en el flanco izquierdo del vaso de presa. ....	29
Figura 21.	Zona de terrazas fluviales. ....	30
Figura 22.	Terraza morrenicas en el margen izquierdo eje de presa. ....	30
Figura 23.	Sondaje diamantino en el eje de presa. ....	32
Figura 24.	Sondajes en el eje de presa. ....	32
Figura 25.	Excavación realizada en el margen derecho del vaso de presa. ....	33
Figura 26.	Rock mass rating (RMR). ....	35

Figura 27. Vista panorámica de la zona de estudio. ....	36
Figura 28. Método de análisis de porcentaje del índice RQD. ....	42
Figura 29. Formato de logueo geotécnico.....	43
Figura 30. Forma de muestreo de core de perforación del sondaje DHPH-01.....	45
Figura 31. Esquema de la prueba de permeabilidad Lugeon.....	46
Figura 32. Esquema de la prueba de permeabilidad Lefranc.....	47
Figura 33. Distribución de los sondajes en la zona de cuerpo de la presa.....	48
Figura 34. Ubicación de calicatas en el Vaso de Presa. ....	62
Figura 35. Perfil estratigráfico de la calicata CPH-01.....	64
Figura 36. Perfil estratigráfico de la calicata CPH-02.....	65
Figura 37. Perfil estratigráfico de la calicata CPH-03.....	65
Figura 38. Perfil estratigráfico de la calicata CPH-04.....	65
Figura 39. Perfil estratigráfico de la calicata CPH-05.....	66
Figura 40. Perfil estratigráfico de la calicata CPH-06.....	66
Figura 41. Zonificación de materiales en la zona de vaso de presa.....	67
Figura 42. Pruebas de permeabilidad en las calicatas.....	69

## RESUMEN

El presente estudio geotécnico de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo – Espinar - Cuzco, está ubicado en la laguna Huayllumayo que se encuentra en la parte alta del distrito de la provincia de Espinar y departamento de Cuzco; el objetivo de esta investigación es determinar la geología local de la zona y las propiedades geotécnicas para el represamiento de agua.

El método aplicado en la investigación se desarrolló desde dos aspectos fundamentales: a) Búsqueda de Información. - Se realizó una revisión minuciosa de la documentación existente relacionada con la cuenca Huayllumayo e investigaciones geológico - geotécnicas realizadas por profesionales en la zona. b) Trabajos de Campo. - Se realizó la ejecución de los trabajos para la investigación de los estudios geotécnicos donde se consideraron los trabajos geológicos, sondeos directos de perforaciones diamantinas, excavaciones de calicatas y análisis en el área de trabajo; asimismo se realizaron los análisis correspondientes en laboratorio de suelos como: mecánica de suelos, mecánica de rocas y ensayos químicos para conocer la calidad de las aguas para utilizarla en la fabricación del concreto.

La investigación geotécnica en el área de Huayllumayo, está determinada por el levantamiento topográfico, levantamiento litológico, levantamiento geológico y levantamiento geodinámico, con la finalidad de analizar y evaluar los parámetros geotécnicos para determinar las características del macizo rocoso.

Para concretar con los estudios, se han confeccionado los planos geológicos nivel regional y local, los trabajos de investigación geotécnica de realizaron simultáneamente con el desarrollo de las siete perforaciones diamantinas y las calicatas.

Para concluir con la investigación geotécnica, se ha establecido los parámetros geotécnicos necesarios, con la finalidad de darle al especialista las herramientas necesarias para que pueda determinar el diseño de la presa.

**Palabras Claves:** Comportamiento Geológico, Condiciones Geotécnicas, Permeabilidad, Caracterización, Niveles Estratigráficos.

## ABSTRACT

The present geotechnical study for the construction of the water storage dam in Huayllumayo-Espinar-Cuzco, is located in the Huayllumayo lagoon that is located in the upper part of the district of, province of Espinar and department of Cuzco, the objective is to determine the local geology of the area and the geotechnical properties for damming water.

The method applied in the investigation was developed from two fundamental aspects: a) Information Search. - A thorough review of the existing documentation related to the Huayllumayo basin was carried out, as well as geological and geotechnical investigations carried out by professionals in the area. b) Field work. - The execution of the works for the investigation of the geotechnical studies was carried out, where the geological works, direct drilling of diamond drilling and pit excavations and analysis in the work area were considered; Likewise, the corresponding analyzes were carried out in the soil laboratory, such as: soil mechanics, rock mechanics and chemical tests to determine the quality of the water for the possibility of using it in concrete.

The geotechnical investigation in the Huayllumayo area is determined by the topographic survey, lithological survey, geological survey and geodynamic survey, in order to analyze and evaluate the geotechnical parameters to determine the characteristics of the rock mass.

To concretize with the studies, the regional and local geological plans have been prepared, the geotechnical research works were carried out simultaneously with the development of the seven diamond drillings and the test pits.

To conclude with the geotechnical investigation, the necessary geotechnical parameters have been established, in order to give the specialist, the necessary tools so that he can determine the design of the dam.

**Keywords:** Geological Behavior, Geotechnical Conditions, Permeability, Characterization, Stratigraphic Levels.

## INTRODUCCIÓN

El agua elemento vital para la población y para crecimiento tecnológico inclusive, tiene un impacto positivo para miles y millones de personas, el carecer de agua aumentará la pobreza en las comunidades, la disponibilidad de este recurso hídrico entre la población mundial es desigual y no hay que esperar a que se acabe para reaccionar y tomar medidas. El agua es vida y tenemos que tener una cultura del cuidado, solo trabajando en conjunto la población y el gobierno se va a lograr que este recurso hídrico sea sostenible

La exigencia de tener una infraestructura para el abastecimiento de agua potable, específicamente en el distrito de Espinar, para mejorar la calidad de vida de la comunidad que es dedicada a diferentes actividades económicas es necesaria, por ello se ha visto por conveniente la ejecución del presente Proyecto.

Existe la necesidad de realizar la caracterización geológica de los distintos componentes del proyecto y reconocer las diferentes formaciones geológicas del subsuelo, para proyectar la posible construcción de la presa Huayllumayo, es importante determinar las unidades geomorfológicas y reconocer los esfuerzos geodinámicos del área de trabajo, para establecer la caracterización estructural y establecer si presenta actividad.

Es importante desarrollar normas técnicas, opiniones científicas que permitan establecer diseños de construcción de presas que ofrezcan condiciones de seguridad, calidad y durabilidad y que se pueda optimizar los costos en el proceso de construcción. Las investigaciones geotécnicas desarrolladas en el proyecto tuvieron como objetivo principal realizar la confección del expediente técnico, donde describa las características mecánicas y físicas del sustrato de cimentación para la construcción de la presa de Huayllumayo y otras obras de construcción.

El presente estudio cuenta con el apoyo importante de otras especialidades científicas, con el fin de determinar la confiabilidad del estudio geotécnico para la construcción de la presa como: geología, prospección, sismicidad, estudio y análisis en función de perforaciones diamantinas, calicatas, excavaciones, ensayos en el lugar original, ensayos de laboratorio de mecánica de rocas, mecánica de suelos y análisis químicos, los cuales son minuciosamente correlacionados y evaluados, que nos permitieron obtener información objetiva y científica para la elaboración del informe técnico.

El subsuelo de cimentación en donde se construirá la presa, está constituido litológicamente por rocas volcánicas de composición tufáceas (ignimbritas), de baja densidad, porosa, frágiles, baja consistencia y susceptibles de perder resistencia por saturación del agua sin llegar a desintegrarse.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El agua es un elemento vital para el ecosistema y principalmente para la humanidad, ya que es utilizada en los diferentes modos de vida y procesos tecnológicos, actualmente este recurso natural está reduciendo su volumen por las diferentes contaminaciones ambientales; por lo tanto, es fundamental y prioritario su conservación para la sostenibilidad de la humanidad.

La superficie de la tierra tiene el 70 % de agua; pero el 0.025 % es agua utilizable para el consumo de la población humana. En la actualidad nuestro planeta enfrenta un doble reto: la sequía de agua en algunas zonas de nuestro planeta y la falta de agua tratada en otras zonas del mundo; asimismo se puede indicar que hay lugares donde el recurso hídrico no siempre escasea, pero las condiciones para su uso de los habitantes no son óptimas.

El Objetivo 6 de la Organización de las Naciones Unidas, propone que se debe dar condiciones óptimas del servicio de agua potable a las localidades más necesitadas de los países en desarrollo (ODS) de las Naciones Unidas (Igua, 2022)

La presente investigación tiene por finalidad realizar un estudio geotécnico, para determinar si la zona de estudio presenta las condiciones técnicas naturales para el almacenamiento de agua en la zona de Huayllinazo-Espinar -Cuzco, con el objetivo de realizar la construcción de una represa para el abastecimiento de agua potable y así mejorar la calidad de vida de la población dedicada a distintas actividades económicas, por lo que se ha visto por conveniente realizar el estudio geotécnico.

El estudio geotécnico para la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo, tendrá como necesidad realizar la caracterización geológica de los distintos componentes del proyecto, realizar el estudio de las diferentes formaciones geológicas del substrato donde se proyecta la presa Huayllumayo, reconocer los distintos grupos

geomorfológicos donde se proyecta la construcción de la presa y establecer los esfuerzos geodinámicos de la zona de trabajo para caracterizar la actividad estructural que permita conocer y analizar las fuerzas externas y/o internas que presenta el macizo rocoso.

### **1.1.1 Problema general**

¿El estudio determinará cuales son las condiciones geotécnicas de terreno de fundación para la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo-Espinar-Cuzco?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- ¿El estudio podrá determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso para la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo-Espinar-Cuzco?
- ¿El estudio podrá determinar las características geodinámicas y geológicas del terreno donde se ubicará la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo-Espinar-Cuzco?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Desarrollar el estudio geotécnico para la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo, Espinar - Cuzco.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Analizar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso de la zona de emplazamiento de la represa Huayllumayo – Espinar - Cuzco.
- Evaluar las características geodinámicas y geológicas del terreno donde se ubicará la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo – Espinar - Cuzco.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.**

La investigación se ha desarrollado debido a la falta de infraestructuras para que las poblaciones de esta zona puedan mejorar su calidad de vida y productividad, en este caso, la construcción de represas de agua que den solución las necesidades de la población.

El crecimiento poblacional en la actualidad es directamente proporcional a las necesidades de los habitantes de las ciudades, por lo tanto, existen demandas de necesidades de agua, tierras agrícolas, energía y alimentos; la investigación tiene como objetivo de realizar un estudio para contar con un área que cumpla con las especificaciones geográficas y técnicas para la construcción de una infraestructura para el almacenamiento de agua.

## **1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES.**

### **1.4.1 Hipótesis general**

Las condiciones geotécnicas de la zona donde se ha proyectado al construir la represa, cumplen con las especificaciones técnicas favorables para el almacenaje de agua en Huayllumayo- Espinar-Cuzco.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

El macizo rocoso cumple con la clasificación geomecánica estable para la construcción de la represa Huayllumayo-Espinar-Cuzco.

Las características geodinámicas y geológicas del terreno son favorables para la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo – Espinar - Cuzco.

## **1.5 VARIABLES**

### **1.5.1 Variable Dependiente**

Y: Represa de almacenaje de agua

### **1.5.2 Variable Independiente**

X: Estudio Geotécnico

### 1.5.3 Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	SUB-DIMENSIÓN	INDICADORES
<b>Variable Dependiente:</b> <b>REPRESA DE ALMACENAJE DE AGUA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topografía del área</li> <li>• Geología general</li> <li>• Topografía</li> <li>• Litología</li> <li>• Geología Estructural</li> <li>• Geomorfología</li> <li>• Geodinámica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permeabilidad del terreno</li> <li>• Clasificación del suelo</li> <li>• Clasificación del RMR</li> <li>• Angulo de Fricción</li> <li>• Cohesión</li> <li>• Parámetros de la cimentación</li> <li>• Perfil Geológico - Geotécnico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resultados de los mapeos geológicos</li> <li>• Resultados secciones longitudinales y Transversales</li> <li>• Resultados de laboratorio de mecánica de rocas.</li> </ul>
	<b>Variable Independiente:</b> <b>ESTUDIO GEOTÉCNICO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo de Campo</li> <li>• Trabajos de perforación</li> <li>• Estabilidad de taludes</li> <li>Principios de la ingeniería de taludes rocosos</li> <li>• Análisis de estabilidad en roca</li> <li>• Toma de datos estructurales superficiales</li> <li>• Logueo geotécnico de la perforación diamantina</li> <li>• Ensayos de permeabilidad</li> <li>• Trabajos de laboratorio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geología local</li> <li>• Calicatas</li> <li>• Perforaciones Geotécnicas</li> <li>• Logueo geotécnico</li> <li>• Pruebas de Permeabilidad</li> <li>• Prueba SPT</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración Propia

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

##### **2.1.1 Antecedentes Internacionales**

Mendoza (2019) en la tesis denominada “Estudio Geológico y Geotécnico para el diseño de embalse Catemu, región de Valparaíso, Chile”, considera una presa con 1.200 m. de largo, con una altura aproximada de 559 m.s.n.m., la construcción podrá tener una capacidad de 175 millones de metros cúbicos aproximadamente y como medida de seguridad de contención de agua área de 500 hectáreas, las cuales servirán para el abastecimiento del consumo y riego para el sector agrícola y ganadero. Para la construcción del proyecto Embalse Catemu, se necesita de una presa que sea excavada en los depósitos de origen fluvio-aluviales, que litológicamente están compuestos por gravas y bolonería con una matriz limo arcillosa, tiene una profundidad aproximada de 164,00 m., los cuales han sido determinados por los sondajes diamantinos ejecutados en el medio del valle. Se realizaron un total de 22 sondajes con recuperación de muestras de testigos de diámetro HQ3 (66,1 mm.), el total perforado fue 1 942,80 metros lineales; la finalidad fue determinar con mucha exactitud el horizonte roca-suelo en todo el valle que en este caso coincide con el eje de la presa

##### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

Pacompiá (2014) en la tesis “Evaluación Geológica y Geotécnico para la Construcción de la presa Chonta-Cajamarca”, el objetivo principal es determinar las características geológicas y geotécnicas del área donde se construirá la presa Chonta. En base a los estudios se determinó que el cuerpo de la presa y el embalse, se ubicará sobre los afloramientos rocosos del Cenozoico hasta el Mesozoico, cuyas formaciones están

caracterizadas por los volcánicos Huambo (Ts-vhu), formación Celendín (Ks-ce), formación Cajamarca (Ks-ca), formación Quilquiñan-Mujarrun (Ks-qm), que litológicamente están constituidos por rocas carbonatadas como calizas de cretáceo superior, asimismo supra yaciendo se encuentran depósitos cuaternarios. Los valores de la permeabilidad realizados según ensayos de Lefrank en la parte superficial y a profundidad de 10 metros de los suelos, los sondajes del estribo izquierdo (PRCH-01), estribo derecho (PRCH-06) y estribo derecho (PRCH-07), se registraron valores de permeabilidad entre media a baja están comprendidos entre  $1.15 \times 10^{-3}$  cm/s a  $9.59 \times 10^{-3}$  cm/s. Estos suelos presentan horizontes de arena limosas y arcillosas

Arellano (2014), en la tesis “Estudio Geotécnico para la Construcción de la presa TinKiccocha-Apurimac”, el principal objetivo es analizar y evaluar las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio, con el finalidad de realizar la construcción de la presa Tinkiccocha, se puede determinar que la geodinámica externa del área de trabajo, las condiciones para esfuerzos son estables, teniendo como litología depósitos cuaternarios; se ha establecido que los principales agentes geodinámicos están presentes en la laguna Tinkiccocha, ya que este depósito está litológicamente compuesto por morrenas que han sufrido bastante transporte por los hielos.

### **2.1.3 Antecedentes Locales**

Vega (2019), en la tesis “Evaluación geológica y Geotécnica para el estudio de factibilidad de la Construcción de la presa Totoraccocha” Presenta el proyecto para la construcción de una presa Totoraccocha, la cual se encuentra ubicada en el paraje denominado Tantaccato, perteneciente al distrito de Ascensión, esta presa almacenará las aguas del cauce de la Quebrada Totoraccocha, el objetivo principal es embalsar el agua para ser destinada a la agricultura y ganadería, mejorar la agricultura en las zonas adyacente al paraje de Pomacocha, Caja Espíritu y Acobamba; después de realizar el análisis y evaluación de la zona de trabajo, se llegó a la conclusión que la estabilidad de los taludes del vaso receptor es muy buena, debido a la conformación litológica con afloramientos de rocas, el área no presenta zona de deslizamientos y/o hundimientos que determinen poner en riesgo para almacena je de gua proyectado, la zona del vaso receptor está conformada principalmente por rocas sedimentarias como areniscas que son tan intercaladas con lutitas, en las laderas o flancos del vaso, existen afloramientos de rocas grupo Cabanillas, los cuales son tapados superficialmente por sedimentos tipo diluviales de arena- limosas, en la zona del vaso central afloran depósitos aluviales.

Castillo (2020), en su tesis “Modelos de Filtraciones, para el aseguramiento hídrico de presas”, el principal objetivo es establecer la filtración que pudiera observarse en la cimentación de presas para establecer los caudales de filtración, después del análisis correspondiente, se determinó las siguientes conclusiones, se establecieron las técnicas de redes de flujo, para determinar el cálculo de filtración en las zonas de cimentación de las presas con el fin de establecer una modelación hidrogeológica y/o hidráulica de origen subterráneo. Las condiciones para establecer los modelos de filtraciones se realizarán con la metodología del programa Seep/W, donde se determinará el factor de seguridad contra la tubificación que es de 4.06, la cual se considera como segura, debido a que el valor establecido como parámetro es de 3, según el criterio de Lane CL tiene un valor de 5.56 y el valor establecido como mínimo para la tubificación en arcilla suave es de 3; para el criterio específico de Chugaev la gradiente hidráulica calculada es de 0.105 y está por debajo del límite admisible de 0.70 para la arcilla.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Descripción de la zona de estudio

#### 2.2.1.1 Ubicación y Accesibilidad.

Se encuentra ubicado en las proximidades de la laguna de Huayllumayo en la parte alta del distrito de espinar, provincia de espinar y departamento del Cuzco, con una altura de 3 974.00 m.s.n.m.

**Tabla 1.**

*Coordenadas del Proyecto*

ITEM	ESTE	NORTE	COTA	DETALLE
1	240450	8363217	3919	Ciudad de Espinar
2	235830	8349656	4060	Captacion presa Huayllumayo
3	236095	8349392	4063	
4	235555	8348378	4063	
5	235351	8349076	4058	

**Fuente:** Elaboración Propia



detalle de las unidades litológicas, estructurales y geomorfológicos, se analizará la cerrada de la zona de presa y el vaso, dándonos un diagnóstico para la construcción desde el punto de vista geológico. A continuación, detallaremos las distintas características geológicas de la zona de presa: (INGEMMET, 2011)

### **A. Fisiografía**

La zona de trabajo presenta una diversidad de características físicas que están unidas a los fenómenos naturales y que se definen desde un análisis integral de la información topográfica para formar unidades relativamente homogéneas. (INGEMMET, 2011)



**Figura 2.** Vista Panorámica.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### **a. Cadena de cerros**

Se presentan estas superficies desde el cerro Ullocahua extendiéndose hacia el sur-oeste hasta el cerro Huanusco, hacia el sur el cerro Totayoc, principalmente esta agrupación de cerros está constituida principalmente por rocas volcánicas y depositadas en forma escarpada, la zona superior presenta una topografía plana que están relacionados por la actividad volcánica. Las geoformas actuales vienen siendo constantemente erosionadas y modeladas por el viento, agua, hielo, entre otros elementos erosionales. (INGEMMET, 2011)



**Figura 3.** Vista en un segundo plano el cerro Huanuscoa.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### **b. Zona de Altiplanicies**

Son mesetas que se encuentra a una altura muy elevada y que se caracterizan por contar con una extensión de importancia, en la zona de estudio se tienen relieves con alturas que están por encima los 4 300 m.s.n.m.; asimismo se han mapeado laderas muy escarpadas y las partes más elevadas a superan los 4 600 m.s.n.m., en el área de estudio prevalece esta unidad fisiográfica compuesta principalmente con colinas, escarpas y cerros, los cuales están siendo modeladas por la acción de los ríos principalmente en épocas de lluvias que incrementan su caudal. (INGEMMET, 2011)



**Figura 4.** Zona de Altiplanicies.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### **c. Zona de Cordilleras**

Las cordilleras de esta zona se encuentran ubicadas al lado noreste del cuadrángulo de Condoroma, presentan las siguientes unidades: a). La depresión de Yauri y b). Cadena de Cerros Cuparaya, la cual se encuentra en la zona noreste del cuadrángulo de Condoroma; asimismo, muestra relieves con grandes alturas que están por encima de los 4 300 m.s.n.m., los cuales están formando laderas con fuertes escarpadas de rumbo Norte - Sur, las partes más elevadas llegan a los 4 600 m.s.n.m., la unidad presenta litológicamente una sucesión de aglomerados intercalados con areniscas pertenecientes a la Formación Anta, cuyas potencias superan 2 000 metros. (INGEMMET, 2011)

Otra parte de la cordillera del cuadrángulo de Condoroma se extiende en la unidad Alto Condoroma – Caylloma, que limita por el Norte con el Altiplano en la Cordillera Occidental y al Sur con la Cordillera Occidental. La zona alta de Condoroma y Caylloma existen escasos afloramientos de rocas del mesozoico. (INGEMMET, 2011)

### **d. Zona de Valles**

Esta dentro de la zona de Condoroma hacia el noreste, la zona de proyecto está dentro del valle que forma el río Huayllumayo que es un valle maduro donde en las partes altas afloran rocas del complejo volcánico Caylloma, compuestos por rocas tobáceas que se extienden como un paquete predominante en toda la zona de estudio y alrededores. (INGEMMET, 2011)

Subyaciendo a esta formación hacia el noroeste presenta rocas carbonatadas como calizas de la formación Hualhuani. Otro valle que se resalta notoriamente es el valle que forma el río Chuchana al noreste de la zona de presa. (INGEMMET, 2011)



**Figura 5.** Valle formado por el río Huayllumayo.

**Fuente:** Elaboración propia.

## **B. Hidrografía.**

Hidrográficamente el río Huayllumayo nace en la quebrada Palcanta y Chuncucuta a 6 km al nor-oeste de la zona de trabajo, seguidamente que se une para formar el río Palcanta, que en su transcurso son alimentados por las quebradas Salía, asimismo a 500 metros aproximadamente de la zona de embalse el río Palcanta se une al río Chuchana, finalmente, formando el río Huayllumayo. (INGEMMET, 2011)



**Figura 6.** Cauce del río Chuchana.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## **C. Clima**

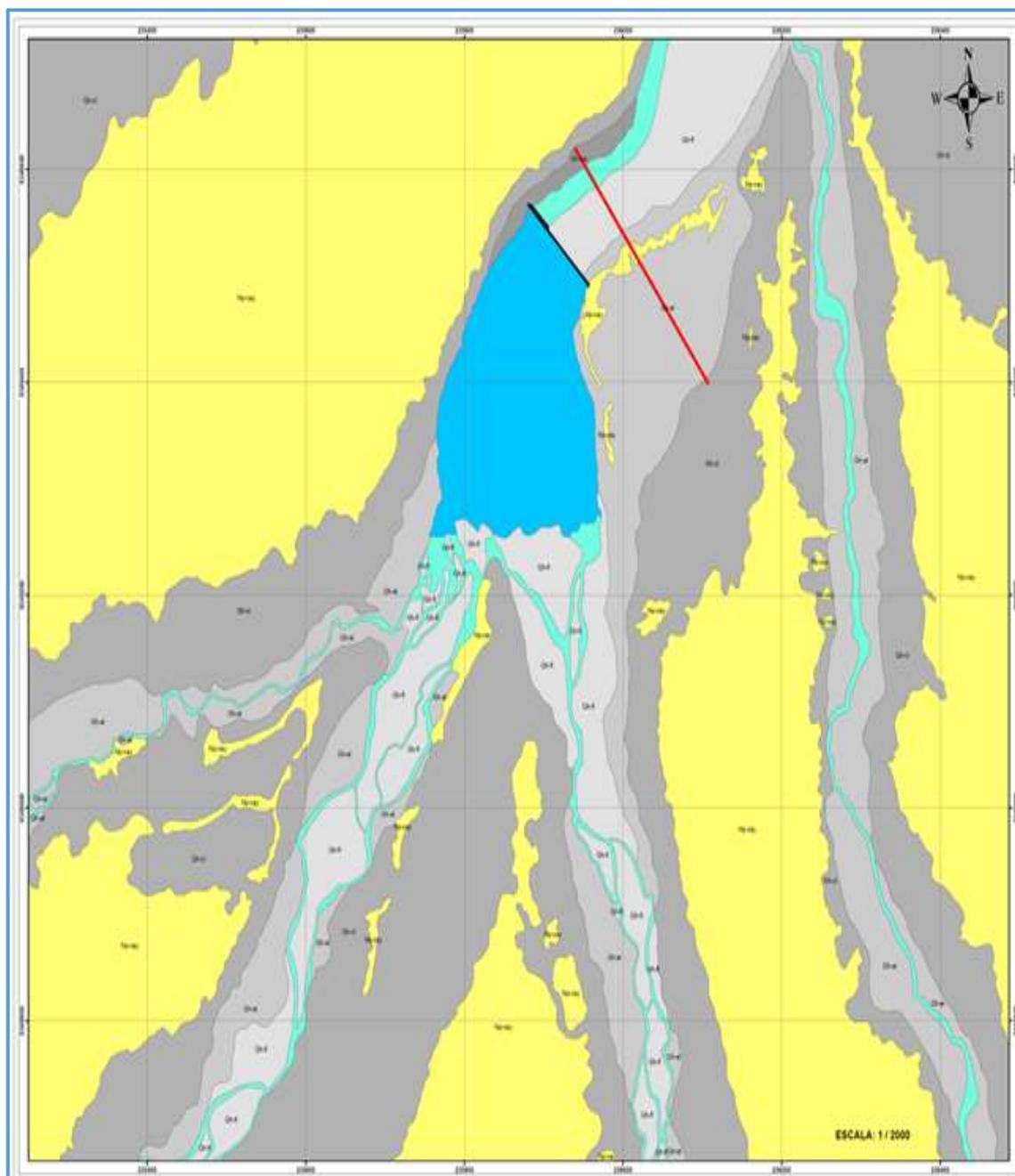
El clima de la zona es generalmente frígido el cual se presenta principalmente en las horas de la noche, presenta descensos muy fuertes de temperatura llegando  $-10^{\circ}\text{C}$ , los meses más fríos son de marzo a agosto, donde se presenta el fenómeno de las heladas y durante el día es soleado con temperaturas tibias. En los meses de marzo a diciembre se presentan fuertes precipitaciones con tempestades, nevada y granizo, y las temperaturas medias oscilan entre  $03^{\circ}\text{C}$  a  $12^{\circ}\text{C}$ . (INGEMMET, 2011)

## **D. Vegetación**

En gran parte de la extensión crece la paja ichu conocido como el pasto de la sierra, también se encuentran plantas de tallo corto, que están por encima de los 3 800 m.s.n.m., como los musgos y líquenes. En las zonas planas y las faldas de los cerros, los pobladores siembran productos de pan llevar como papa, quinua, avena, principalmente en los meses de noviembre a diciembre, la cosecha de estos productos es para el consumo de la propia población y para la crianza de ganados del altiplano. (INGEMMET, 2011)

### **E. Litoestratigrafía**

La geología regional de esta zona presenta litoestratigráficamente las formaciones de roca más antiguas, que están identificadas desde el Mesozoico – Cretáceo inferior con la formación Arcurquina, existen formaciones muy recientes de la era del Cenozoico Neógeno Plioceno al Cuaternario Pleistoceno y que litológicamente están compuestos por áreas extensas de tobas volcánicas de composición ignimbrítica, depósitos poco consolidados y materiales sueltos que predominan en las laderas de los cerros y depositados en el cauce del río Huayllumayo y las planicies de la zona de estudio, todas estas describiremos a continuación: (INGEMMET, 2011)



**Figura 7.** Mapa Geológico Local.  
**Fuente:** INGEMMET-Boletín A-143.

**a. Mesozoico-Cretácico-Alviano-Turoniano.**

En la cordillera occidental en el área central y al suroeste del cuadrángulo de Condoroma afloran rocas sedimentarias del Grupo Yura (formaciones Labra, Huallhuani y Arcurquina). (INGEMMET, 2011)

- Formación Hualhuani. (Ki-hu)

Presenta afloramientos ampliamente distribuidos en la zona de trabajo, se tiene exposiciones que están cubiertas por los afloramientos litoestratigráficos que son más recientes; los mayores afloramientos están en la zona de Yauri y están en poca extensión en la esquina noroccidental del cuadrángulo de Velille. (INGEMMET, 2011)

La litología está compuesta por la secuencia de areniscas cuarzosas de color blanquecino con grano de medio a grueso y clastos sub-redondeados de cuarcita, estructuralmente están cerrados, por lo general se presentan en las zonas externas rodeando al Batolito de Abancay con composición de granodiorítica a diorítica

Cercana a la zona de proyecto se aflora en el cerro Ccatunchoque al nor-oeste de la zona donde, se proyecta la presa, aflora perfectamente en la quebrada Chaca, también se tiene estas formaciones aflorantes al nor-este de la zona de presa cerro Llallahua y aflora en la quebrada Taca. (INGEMMET, 2011)

- Formación Arcurquina (Kis-ar).

La Formación Arcurquina aflora entre las progresivas 38+060 – 38+420 de la carretera Negromayo, esta formación presenta en una litología de calizas que se encuentran fuertemente plegadas, de color oscuro, en estratos de aproximadamente 20 a 50 cm. de potencia, también afloran calizas de color gris claro, tienen gran cantidad de fósiles, pero se encuentran mal conservados por los esfuerzos del plegamiento con nódulos de chert y bastantes venillas de calcita (INGEMMET, 2011)



**Figura 8.** Calizas de la formación Arcurquina carretera Negromayo.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### **b. Cenozoico - Paleógeno - Oligoceno.**

Están constituidos por una secuencia de rocas sedimentarias, rocas volcánicas y rocas vulcano-sedimentarias, y comprenden desde el Eoceno-Oligoceno hasta el Plioceno.

Los afloramientos de rocas sedimentarias, están constituidos por Aglomerados del Eoceno-Oligoceno inferior de las formaciones Anta y Ocoruro, con sedimentos fluvio-lacustres del Mioceno-Plioceno inferior, de las formaciones Condorama, Tisco, Tincopalca y Yauri que regionalmente son asignadas como Grupo Maure. (INGEMMET, 2011)

- Grupo Tacaza (PN-ta/an)

El grupo Tacaza en zona de trabajo se presenta principalmente al Sur de la hoja cartografiada Velille, en el límite de la hoja de Caylloma; presenta pequeños afloramientos de flujos de composición andesítica y andesítica-basáltica. Otros afloramientos lávicos se presentan en el corte del río Apurímac al nor-oeste de la hoja de Yauri, las cuales están constituidas por andesitas basálticas y dentro de su matriz están constituidas por plagioclasas y piroxenos, de colores que van desde el gris claro al gris oscuro, son de grano fino a grano medio y porfirítica, con matriz afanítica. En las partes bajas del río Apurímac afloran rocas volcánicas algo brechadas y con fracturamiento concoidal tipo anguloso, esto ha sido debido probablemente a incremento de temperaturas para la formación de la sílice. (INGEMMET, 2011)



**Figura 9.** Afloramiento del grupo Tacaza en la zona de río Salado al sur este de la ciudad de Espinar.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **c. Cenozoico-Paleógeno-Mioceno.**

- Grupo Barroso-Caldera Caylloma (Np-cay)

Esta formación constituida por tobas ignimbríticas, predomina en la zona de presa, corresponde netamente a los materiales aflorantes y subyacentes a los depósitos cuaternarios, se encuentra en forma masiva en forma de paquetes con niveles silicificados de mayor densidad y tonalidad rojiza, superficialmente se presentan un color blanquecino, a profundidad la coloración cambia a una tonalidad rojiza, el grado de alteración aumenta presentando mayor porosidad debido a la alteración de las micas y los parches de magnetita. (INGEMMET, 2011)

Esta formación presenta diferentes variaciones de acuerdo con la evolución, variando de nombre y correlacionándose con la formación Pampa de Garzas, que coincidentemente presenta la misma litología y descripción.

Esta formación corresponde a derrames lávicos del tipo ignimbrita, con un color gris blanquecino en la parte superficial, a partir de los 20 metros cambia de color a un gris más oscuro, presenta una textura afanítica y en su matriz se encuentra cristales de cuarzo y plagioclasas, con pequeños nódulos de magnetita, también se encuentra una moderada diseminación de micas, a profundidad y relacionada al nivel freático presenta una alteración más fuerte, presentando oquedades producto de la disolución y alteración de las micas y los parches de magnetita produciendo oquedades. Se ha reconocido niveles con rellenos de sericita en las fracturas, y niveles con limonita en las zonas más alteradas.

Presenta superficialmente se presenta compacidad media, a partir de los 15 a 20 metros aumenta los niveles de desclasamiento. La densidad de la roca es relativa a la alteración, presenta algunas fracturas con una apertura de mayor a 5 cm, sin relleno, la permeabilidad en superficie es baja a profundidad presenta mayor permeabilidad. (INGEMMET, 2011)



**Figura 10.** Afloramientos de tobas ignimbríticas en el estribo derecho del eje de presa.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 11.** Afloramientos de tobas ignimbríticas en el estribo izquierdo a 50 m. del eje de presa.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Complejo Volcánico Jañima Pirhua (Np-cay)

El volcánico Jañuma Pirhua está ubicado cerca de la laguna Quenquecocha a 16 km. al noreste del poblado de Cotacota. Los afloramientos de los volcánicos fueron depositados debido a seis eventos eruptivos: evento 1 Nm-ja/1, evento 2 Nm-ja/2, evento 3 Nm-ja/3, evento 4 Nm-ja/4, evento 5 Nm-ja/5 y evento 6 Nm-ja/6), los depósitos del oligoceno se presentan en el contacto fallado con los del centro volcánico Cotacota, estos depósitos suprayacen a los de los centros volcánicos Cotacota, Condorsayana y Ajopichaca y están por debajo de los afloramientos del Complejo Volcánico Caylloma. Este evento está compuesto por depósitos de flujos piroclásticos de cenizas, ricos en líticos y cristales de color gris, cubiertos en la zona superior por flujos de lava (Nm-ja/6), con una potencia promedio de 180 metros. (INGEMMET, 2011)

#### **d. Rocas Ígneas-Plutónicas- P-ch/d-gd**

Los depósitos se emplazan aproximadamente a 10 kilómetros al oeste de Yauri, litológicamente está compuesto por diorita que se encuentra meteorizada con colores amarillo ámbar a blanquecino producto del meteorismo, este compuesto principalmente por hornblenda con impregnaciones de cuarzo.

Parte de otra muestra tomada se encuentra emplazada a 17 Km. al oeste del pueblo de Yauri en la carretera Yauri-Velille, el cual corresponde a un cuerpo de pequeña extensión foliada y de color gris. Realizadas las secciones delgadas al microscopio, esta presenta fenocristales de hornblenda, biotita y plagioclasas (andesina), en una matriz de plagioclasas; la roca es una diorita porfírica con hornblenda y biotita. (INGEMMET, 2011)

#### **e. Cenozoico-Cuaternario-Pleistoceno**

- Depósitos Morrénicos Qp-mo

Las morrenas se distribuyen principalmente en Yauri, ocupan áreas muy reducidas que los depósitos de los aluviales y fluvio-glaciares.

Están constituidas litológicamente por partes de rocas volcánicas de los grupos Tacaza y Barroso se presentan en una deposición desordenada, tienen fragmentos de roca de tamaños polimícticos con una matriz limo arcillosa de color pardo oscuro, estos depósitos se concentran principalmente en los taludes formados naturalmente en las laderas de los cerros, también se distribuyen en las zonas bajas, algunos de estos depósitos sufrieron transporte hacia las zonas bajas, donde se encuentran las zonas de planicie.

En la zona de presa se encuentra distribuido en toda la zona de ladera seguido de las escarpas de las ignimbritas, presenta una composición monomíctica de tamaños heterométricos angulosos, con bloques de 3 a 7 metros a media ladera, presenta poca compacidad casi suelta, se forman terrazas en contacto con los materiales fluviales, principalmente está distribuida en todo el vaso de presa eje de presa y demás alrededores. (INGEMMET, 2011)



**Figura 12.** Depósitos Morrenicos formando Terrazas en el eje de presa.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 13.** Disposición de los depósitos Morrenicos en todo el margen izquierdo del eje de presa.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Depósitos Fluvioglaciares Qp-fg

Estos afloramientos al igual que los depósitos de los aluviales están distribuidos Regionalmente en Yauri y Condorama, distribuidos en terrazas amplias que se presentan en ambos lados de los ríos Salado y Occoruro.

La composición litológica está determinada por rocas ígneas, volcánicas y sedimentarias de diferentes extensiones y algunas presentan una matriz limo arcillosa y arenosa, se encuentran cubiertas en su mayoría por una capa de top soil húmico de 0.50 a 1 m. de grosor de composición arcillosa, estos depósitos forman extensas planicies con suave inclinación hacia los ejes de drenaje, en la zona de presa se presentan depositados en la zona de vaso de presa y aguas arriba, son de poca potencia 5 a 10 metros, en la zona de vaso de presa tiene poca predominancia. (INGEMMET, 2011)



**Figura 14.** Disposición de los depósitos fluvio-glaciares en la zona de cauce del río Huayllumayo, presenta intercalaciones con el depósito fluvial.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Depósitos Aluviales Qh-AI

Están formados por la acumulación de sedimentos de los lechos de los ríos y de las quebradas. Están emplazados a lo largo de los cursos de los ríos Occoruro y Salado; también se presentan a lo largo de las quebradas principales. Litológicamente están compuestos con materiales de diferentes tipos de roca y tamaño de arcillas con gravas, presentan moderada clasificación. (INGEMMET, 2011)



**Figura 15.** Deposición de los depósitos aluviales en la zona de vaso de presa. (Marcado de amarillo).

**Fuente:** Elaboración propia.

- Depósitos Fluviales Qh-fl.

Los depósitos están constituidos por materiales que han sido transportados por los ríos de la zona; cabe mencionar que en el área de la presa, se ha emplazado estos depósitos en el cauce principal río Huayllumayo, litológicamente están compuestos por gravas y arenas, predominantemente presenta fragmentos redondeados que han sido producto del largo transporte de los materiales por procesos pluviales con presencia de bolonería, estos depósitos tienen una acumulación muy importante, por los grandes volúmenes que presenta a largo del cauce principal, este material puede ser utilizado dándole el tratamiento correspondiente para la construcción de la presa. (INGEMMET, 2011)



**Figura 16.** Depósitos fluviales en la zona de aguas debajo de la zona de presa.

**Fuente:** Elaboración propia.

## **F. Geología Estructural**

El análisis de la geología estructural está basado en datos de micro tectónica partir de estrías de fallas, esquistosidades y flanco de pliegues, que afectan a las unidades estratigráficas de la zona de estudio.

### **a. Geodinámica Regional**

Es la actividad que ocurre de manera natural especialmente en los esfuerzos tensionales y distensionales que se producen en el interior de la corteza terrestre que genera el modelamiento superficial, denominados esfuerzos de geodinámicos y se clasifican en esfuerzos geodinámicos externos e internos:

- Unidades morfo estructurales

Ha sido dividido en dos dominios paleo geográficos:

- Límite Altiplano - Cordillera Occidental.
- Alto Condoroma - Caylloma

Los cuales se encuentran separados por un sistema de fallas de Yauri.

- Sistema de falla de Yauri

Está ubicada en la zona nor-este del cuadrángulo de Condoroma, y se prolonga hasta el cuadrángulo de Yauri, donde entra en contacto con los aglomerados que se tiene en la Formación Ocoruro, que son acumulaciones de material fluvio-lacustres que son de la formación Yauri con rumbo Nor-oeste - Sur-este, poseen una convergencia al sur-oeste, y que inverso, con rumbo de compresión Nor-este al Sur-oeste. Después del análisis de los datos de sedimentología, se puede llegar a la conclusión que el tercer evento se realizó durante la sedimentación, produciéndose la cuenca Descanso-Yauri, esta falla se desarrolló en su borde sur-oeste, la cual llegó a controlar la evolución geodinámica que se produjo durante el Mioceno superior. (BOLETIN 143- INGEMMET, 2011)



rocoso en taludes o pendientes fuertes, pudiendo provocar deslizamiento de todo el talud o parte del talud.

- Deslizamientos y derrumbes de rocas.

En el ámbito de estudio Huayllumayo se han podido identificar zonas de derrumbe, ya que están constituidas por zonas de escarpa de roca que se intemperizan fácilmente provocándose la caída de rocas, relacionado a la zona de presa se presenta en el margen derecho y zona circundante del vaso de la presa, también existe grandes depósitos de material morrenicos de baja compacidad en toda la zona circundante del vaso de la presa seguido de la zona de escarpa, pudiendo representar un peligro de deslizamiento por su baja compacidad y matriz limo arenosa.

En la zona de eje de presa, estos depósitos se encuentran en el margen izquierdo, formando una terraza que representa un peligro inminente de deslizamiento.



**Figura 18.** Zona de deslizamiento y caída de rocas, margen izquierdo del eje de presa Huayllumayo.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Agentes Supergenos.

Se pueden determinar que los causantes principales de los procesos geodinámicos contemporáneos son los factores naturales, como:

- Cambios climáticos bruscos, temperaturas bajo cero seguidos de altas temperaturas que durante el día se manifiestan en toda la cordillera central.
- Fuertes precipitaciones de lluvia, principalmente en los meses de agosto a marzo pluvial, es elemento natural que produce más inestabilidad en los taludes.

- Los sismos de gran intensidad contribuyen fuertemente a la desestabilización de taludes, produciendo la reactivación de deslizamientos o produciendo nuevos deslizamientos.
- Acumulación de grandes masas de suelo.
- Procesos de meteorización.
- Agentes y factores artificiales antrópicos.
  - Se citan los siguientes:
    - Construcción de carreteras, canales, presas y centros poblados sin controles técnicos de construcción que producen inestabilidad de las áreas de construcción y por consiguiente de los taludes/o laderas.
    - Construcción de canales para regadío sin la cubierta contra las filtraciones.
    - Desarrollo agrícola de la zona.
    - Pastoreo excesivo.
    - Desarrollo agrícola de la zona.
    - Destrucción de la cobertura vegetal.

## **G. Geomorfología**

La zona del vaso y eje de presa corresponde a un tipo de valle maduro, que por su extensión y geomorfológica representa una zona ideal para la acumulación del recurso hídrico.

En la margen derecha tenemos la conformación de depósitos de materiales poco consolidados compuestos por bloques de fragmentos de roca de tipo morrenicos, los bloques y gravas con matriz limo arenosa poco consolidados de origen fluvio glaciar desde el eje de la presa y contorno de vaso de la presa. El talud que conforma el margen izquierdo se encuentra entre 30° – 50° grados lo que corresponde a sistema de curso de unidad de deposición fluvio aluvial conformando laderas de pendiente moderada.



**Figura 19.** Depósitos Morrenicos en la zona de talud del vaso de la presa.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **a. Unidades geomorfológicas del eje y vaso receptor**

En el presente ítem se detalla las diferentes unidades geomorfológicas seguidas de sus sub unidades de la zona de presa.

- **Colinas.** Esta unidad presenta pendientes variadas que están conformadas por zonas de pendiente variada, situada predominantemente en los flancos del vaso de presa, estas geoformas son producto de la erosión laminar que sufre la superficie de los taludes de los cerros, presenta desarrollo de vegetación fuerte.
- **Escarpas.** Son afloramientos rocosos con pendientes casi verticales que van desde los 75° a 90°, están ubicadas en el estribo izquierdo y zona circundante del vaso de la presa, son conformadas por afloramientos de tobas ingnimbríticas que pertenecen al grupo barroso, que forman estas escarpas y que provoca la caída de rocas.



**Figura 20.** Zona de escarpas en el flanco izquierdo del vaso de presa.  
**Fuente:** Elaboración propia.

- **Ladera Moderadas.** esta unidad se presente en el estribo derecho del eje de presa así como en toda la circunferencia del vaso de la presa, y se encuentra ubicado por debajo de los 4 100 m.s.n.m., compuestos por laderas moderadas formadas por los depósitos morrenicos en las áreas de pie del talud de los cerros, en la zona del eje de la presa se presentan en el estribo izquierdo, en la zona de vaso de presa se tiene unidades de pendiente baja entre los 05° a 20° compuesto de principalmente por suelos limosos con gravas y tienen una pendiente suave de 30°-60°.
- **Ladera Bajas.** Unidad presente en las partes bajas del estribo izquierdo del área circundante del área de vaso de presa, donde existen gran cantidad de suelos sueltos (suelos) que están por debajo de los 4 015 m.s.n.m.,
- **Terrazas fluviales.** Esta geoforma se encuentra en las zonas de depresión, conformando deposición de material fluvial transportado y sedimentado que ha sido producto por los diferentes procesos fluviales, se encuentran ubicados en el flanco derecho del eje de la presa y del área de embalse de presa.



**Figura 21.** Zona de terrazas fluviales.  
**Fuente:** Elaboración propia.

- **Terrazas morrenicas.** Esta geoforma se encuentra en las zonas de depresión y está conformado por material aluvial, se encuentra compuesto por material transportado y sedimentado, se ubican en el flanco izquierdo del eje de la presa y de la zona de embalse de presa.



**Figura 22.** Terraza morrenicas en el margen izquierdo eje de presa.  
**Fuente:** Elaboración propia.

- **Planicie de inundación.** Son producto de los fuertes procesos fluviales que se producen en estas zonas, presentan relieves sub horizontales que se ubican en el cauce del río Huayllumayo, se presenta perpendicular al eje de presa.

Las planicies están en la base del embalse y se encuentran en toda el área de cauce del río, se extiende desde el inicio del embalse hasta el eje de presa con una crecida casi plana hacia el margen derecho.

## H. Geotecnia

### a. Investigaciones Geotécnicas realizadas.

Para la evaluación correcta de las características del macizo rocoso de cimentación de la presa, se realizó un programa de trabajos básicos donde se consideró esencialmente las exploraciones directas e indirectas, las cuales permitieron tener los elementos necesarios para la interpretación oportuna y acertada de las características geotécnicas del subsuelo de cimentación de la principal estructura del proyecto; asimismo de los parámetros geotécnicos que se pueden proyectar para el diseño y el tratamiento que se podrá dar a la cimentación de la presa.

Se han desarrollado diversos trabajos de campo y laboratorio, con la finalidad de conocer y analizar cuáles son las características geotecnicas de la zona de trabajo, para lo cual se programó los siguientes trabajos:

- Sondajes diamantinos.

Se realizaron 05 perforaciones diamantinas para determinar las características geotécnicas de los materiales constituyentes de la cimentación de la presa Huayllumayo, distribuidos de acuerdo con términos de referencia, modificados para obtener mayor información complementaria y de acuerdo con la permisibilidad del acceso.

- Eje de presa.

Se desarrollaron en el eje de presa 5 sondajes con 187.5 metros lineales de perforación diamantina, en el eje de la presa Huayllumayo. Según la siguiente tabla:

**Tabla 2.**

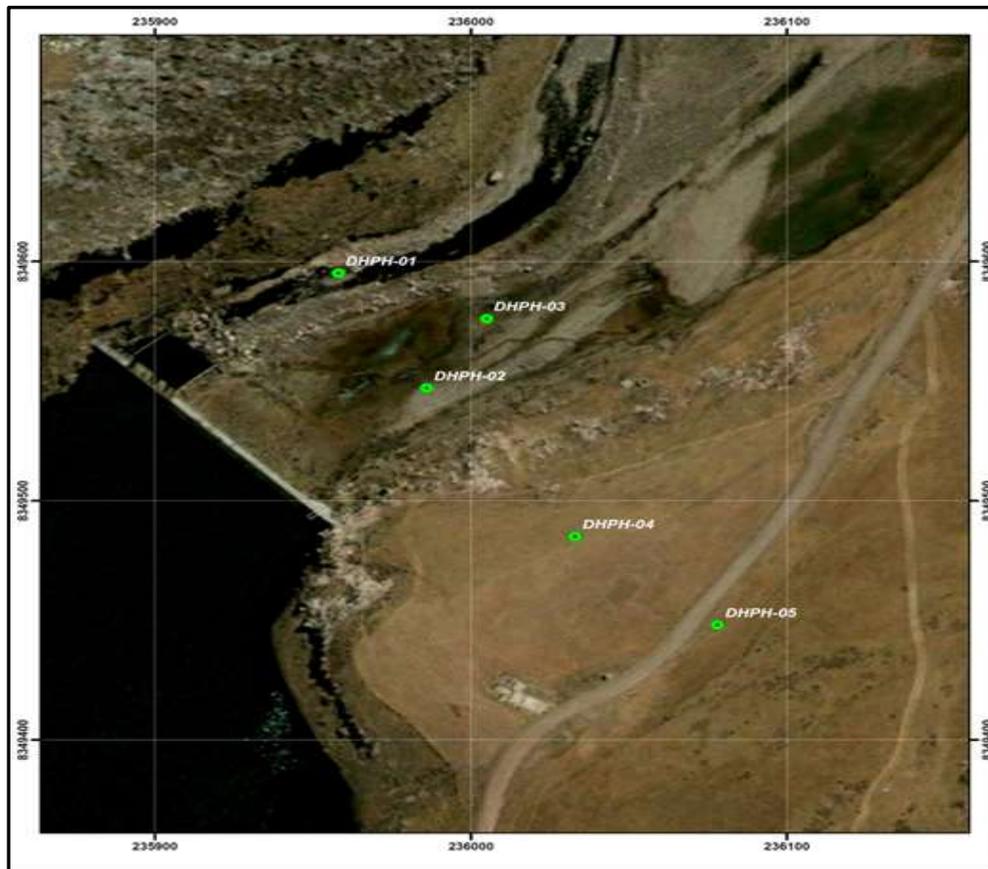
*Cuadro Ubicación de sondajes de Perforación Diamantina*

ÍTEM	CÓDIGO	ESTE	NORTE	COTA	PROFUNDIDAD	ANGULO
1	DHPH-01	235958	8349595	4015	45.2	_90
2	DHPH-02	235986	8349547	4017	46.2	_90
3	DHPH-03	236005	8349576	4018	40.1	_90
4	DHPH-04	236033	8349485	4031	28.8	_90
5	DHPH-05	236078	8349448	4035	27.2	_90

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 23.** Sondaje diamantino en el eje de presa.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 24.** Sondajes en el eje de presa.  
**Fuente:** Boletín 143-A Carta Geológica Nacional

- Calicatas en la presa Huayllumayo.

Se desarrollaron 06 calicatas distribuidas en la zona de vaso de presa, la ubicación de las calicatas se realizó de acuerdo con la accesibilidad, ya que se encontraban cercados

con malla de alambre en cual corresponde a terreno privado, la cual se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 3.**

*Ubicación de calicatas en el vaso de presa Huayllumayo*

ÍTEM	CÓDIGO	ESTE	NORTE	COTA	FECHA	UBICACIÓN
1	CPH-01	236034	8349441	4041	27/05/2018	Vaso de presa
2	CPH-02	235973	8349130,	4036	28/05/2018	Eje de presa
3	CPH-03	235955,	8349122	4035	28/05/2018	Vaso de presa
4	CPH-04	235871	8349201	4035	28/05/2018	Vaso de presa
5	CPH-05	235748	8349130	4035	28/05/2018	Vaso de presa
6	CPH-06	235995	8349399	4040	27/05/2018	Vaso de presa

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 25.** Excavación realizada en el margen derecho del vaso de presa.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Cantera de agregados

Denominado cantera Chisicata, esta cantera corresponde a un terreno privado donde se distribuye agregados a distintas granulometrías por el método de chancado, se realizó la verificación de estos materiales y se consideró apto para uso de material agregado, para las distintas estructuras en la presa y demás componentes del proyecto.

#### **b. Ensayos Geotécnicos**

- Ensayos de muestras en Laboratorio de Mecánica de Suelos vaso de presa
  - Granulometrías MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-88.

- Límites Líquidos MTC E-111 / ASTM D-4318 / AASHTO T-90, T-89.
- Límites plásticos MTC E-111 / ASTM D-4318 / AASHTO T-90, T-89.
- Permeabilidad Lefranc.
- Ensayos de muestras en Laboratorio de Mecánica de Rocas
  - Ensayos de Compresión Simple a rocas.
  - Ensayo triaxial en rocas.
  - Ensayos de Constantes Elásticas.
  - Peso específico verdadero.
  - Ensayos durabilidad.
  - Abrasión los Ángeles.

### **c. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso**

La evaluación de las características geotécnicas de los materiales de la cimentación, se han basado en los criterios para la evaluación Geomecánica de Bieniawsky (Bieniawski, 1989) está fundamentado sobre una secuencia de elementos de estudio directo de los testigos recuperados de la perforación diamantina. Asimismo, se han realizado ensayos de permeabilidad tipo Lefranc (a gravedad) en suelos y tipo Lugeon (A presión) áreas rocosas. Los conceptos y criterios de la evaluación Geomecánica de Bieniawsky se resumen a continuación de la siguiente manera.

#### • Evaluación Geomecánica del Macizo Rocoso de Bieniawsky

Sector de los estribos, se mapeó geológicamente una roca volcánica – toba, donde se determinó la capacidad portante según valoración RMR del tipo de roca del sistema de Bieniawski. Es fundamental conocer el comportamiento geomecánico de la masa rocosa, la cual está supeditada y de tres características fundamentales que se interrelacionados:

- La resistencia de la roca intacta. - El comportamiento de una roca intacta que no tiene discontinuidades y/o fisuras y cuya resistencia a los esfuerzos en el macizo rocoso, se puede determinar con los parámetros de rotura y el comportamiento geomecánico.
- Grado de fracturamiento. Se puede determinar con la cantidad de distribución de discontinuidades que pueden afectar al macizo rocoso, puede extenderse a una masa sólida continua, pudiendo extenderse hasta los extremos y tener tantas fisuras, están íntimamente unidas y que no tienen la resistencia en condiciones de no confinamiento.
- Esfuerzos activos que actúan en el macizo rocoso. Los esfuerzos están dados por las fuerzas tensionales que pueden ser producidos por las

presiones hidrostáticas de las aguas subterráneas en las discontinuidades; asimismo, por los esfuerzos que se producen por las cargas litostáticas y que pueden producir deformaciones en el macizo rocoso.

- Clasificación Geomecánica RMR. (Rock Mass Rating)

Los parámetros de que está determinado por el índice RMR y que nos indica las características del macizo rocoso desde el punto de vista de dominio estructural con los siguientes parámetros:

ROCK MASS RATING (RMR)	
Medición	Parámetro
1	Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
2	R.Q.D. Grado de fracturación del macizo rocoso.
3	Espaciado de las discontinuidades.
4	Condiciones de las discontinuidades, el cual consiste en considerar
	a) Abertura de las caras de la discontinuidad.
	b) Continuidad o persistencia de la discontinuidad.
	c) Rugosidad.
	d) Relleno de las discontinuidades.
e) Alteración de la discontinuidad.	
5	Presencia del Agua, en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, la descripción utilizada para este criterio es:
	a) Completamente seco
	b) Húmedo
	c) Agua a presión moderada
d) Agua a presión fuerte	
6	Orientación de las discontinuidades

**Figura 26.** Rock mass rating (RMR).

**Fuente:** Libro The ISRM Suggested Methods for Characterization.

**Tabla 4.**

*Clasificación de calidad de la roca según el RQD*

Clase	Calidad de roca	RMR
I	muy buena	81 – 100
II	buena	61 – 80
III	regular	41 – 60
IV	mala	21 – 40
V	muy mala	0 - 20

**Fuente:** Libro The ISRM Suggested Methods for Characterization.

### I. Hidrogeología de la zona de estudio.

El presente estudio hidrogeológico, se ha basado en el estudio realizado a las perforaciones diamantinas, geología y prospección geofísica realizada en el área de interés, en la siguiente imagen panorámica se muestra el área de embalse y eje de la Presa Proyectada Huayllumayo.



**Figura 27.** Vista panorámica de la Zona de Estudio.  
**Fuente:** Elaboración propia.

En la zona de cierre se han distinguido zonas donde afloran los acuíferos, que son concentraciones de materiales gravas arenosas sueltas saturadas de agua, por lo que son indicativos de zonas permeables.

Según los estudios de perforación diamantina en la zona de cauce, tienen una potencia de 10 a 12 metros de materiales sueltos, en el sondaje DPH-04, el nivel freático tiene una profundidad de 20 metros, la roca se muestra porosa y alterada a esta profundidad, en general toda la sección del subsuelo del nivel freático, tiene un acuífero de tipo fisurado y porosos con niveles de permeabilidad alta a partir de los 18 metros de profundidad, lo que hace presumir que requiere tratamiento de impermeabilización con pantallas en el eje de la presa.

En la zona del vaso de la presa, superficialmente se tienen materiales limosos con arenas con alto desarrollo orgánico, seguido de estratos arcillosos de 0.50 a 0.80 m. de potencia, además de materiales gravosos con arenas y bolonería, en algunos sectores bloques de roca de gran tamaño.

En la zona de cauce de río Huyallumayo en el sector de la planicie de inundación, se tienen materiales sueltos gravas arenosas con bolonería, donde predominan los bofedales; en el sector de colinas bajas se presentan zonas con abundante desarrollo orgánico, que son zonas húmedas compuestas por materiales areno limosos con una potencia de 0.30 a 0.50 m. seguido de gravas limosas con bolones distribuidos de forma homogénea en toda la planicie de inundación del vaso de presa.

Desarrollado el estudio y análisis del emplazamiento de las formaciones litológicas de la geología local en la zona de trabajo, se ha determinado que la permeabilidad está limitada a una porosidad secundaria del macizo rocoso presente, en toda la línea de

sección de la presa hacia el margen derecho, se muestran impermeables hasta los 18 metros seguido de ese metraje se presenta más porosa y fracturada, en la zona del cauce se tiene materiales sueltos hasta los 11 metros seguido de zonas impermeables, hacia el margen izquierdo la roca está a los 1.60 metros seguido de roca poco alterada semi permeable hasta los 20 metros, seguido de una zona impermeable de una potencia que se infiere de 10 metros.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1 Método de la investigación**

La presente investigación, utilizará como método general el Método Científico (Hernández-Sampieri, y otros, 2018)

##### **3.1.2 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, porque está orientada a lograr nuevos conocimientos con la finalidad de que se realice la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo, Espinar-Cuzco (VARA, 2012)

##### **3.1.3 Nivel de investigación**

El nivel de investigación es descriptivo, porque describirá los estudios realizados para el proyecto de mejoramiento y ampliación del Servicio de Agua Potable y Saneamiento de la Ciudad de Espinar, Distrito Espinar, Provincia Espinar – Cuzco, explicativo porque explicará el expediente técnico, las características físicas y mecánicas del subsuelo de cimentación en que se fundarán la presa de Huayllumayo y relacional porque medirá el grado de relación entre las variables (Hernández-Sampieri, y otros, 2018)

##### **3.1.4 Diseño de la investigación**

El diseño que se utilizará es la investigación será Experimental de enfoque cuantitativo-cuasi experimental.

## **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1 Población**

La población está constituida por los estudios geotécnicos realizados para el proyecto de mejoramiento y ampliación del Servicio de Agua Potable y Saneamiento de la Ciudad de Espinar, Distrito Espinar, Provincia Espinar – Cuzco.

### **3.2.2 Muestra**

La muestra está conformada por el expediente técnico, las características físicas y mecánicas del subsuelo de cimentación en que se fundaran la presa de Huayllumayo.

## **3.3 TÉCNICAS Y RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para la recolección de datos, se realizó los siguientes procesos:

### **3.3.1 Trabajos de Gabinete**

- Búsqueda de información sobre la zona de estudio.
- Revisión y evaluación de los estudios anteriores realizados por la entidad, y/u otras instituciones.
- Revisión y análisis de los estudios geológicos y geotécnicos del área de cimentación del eje de la presa Huayllumayo, así como del área del vaso y de las obras conexas.

### **3.3.2 Trabajo de campo.**

- Mapeo geológico local de la zona del eje y vaso de presa, mapeo geomorfológico de la zona de presa, caracterización de la actividad estructural de la zona de presa, en el ámbito geotécnico la ejecución de los trabajos de investigación geotécnica se ha realizado in situ (de campo) con la apertura y muestreo de calicatas, ejecución de los ensayos de campo como la densidad natural, humedad natural.
- Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, in situ y ensayos especiales en laboratorio central.
- Evaluación de resultados y tipificación de las características geotécnicas de los materiales de la cimentación del vaso, cuerpo de la presa, plinto, aliviadero, túnel de desvío, canal principal y otras obras conexas.



## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS**

#### **4.1 LOGUEO GEOTÉCNICO DE LA PERFORACIÓN DIAMANTINA**

Es una metodología de trabajo geológico que tiene como objetivo principal registrar la información de forma descriptiva y exacta sobre las características de la muestra extraída (testigos de perforación) del subsuelo, donde el especialista requiere la evaluación de las diferentes características del material rocoso extraído y de las fracturas que lo están atravesando (fallas, planos de estratificación, diaclasas, foliación, estructuras). Se tiene que tener en cuenta que el material rocoso que está en estado fresco puede cambiar desde el punto de vista de la resistencia desde extremadamente duro a extremadamente blando; asimismo la resistencia que se tiene a lo largo de las fracturas puede modificarse significativamente a partir del tipo de fractura. (CAYETANO, 2019)

Toda esta información obtenida del logueo tiene que ser registrada en un documento diseñado y estandarizada internacionalmente, donde se detallan los datos necesarios para estudiar y analizar las características esenciales del macizo rocoso para proceder a su clasificación desde la base de los esquemas geotécnicos, además nos proporciona el conocimiento de la litología de la zona, posibles mineralizaciones, alteraciones y otros datos que ayudan a tener un amplio conocimiento sobre el área de estudio.

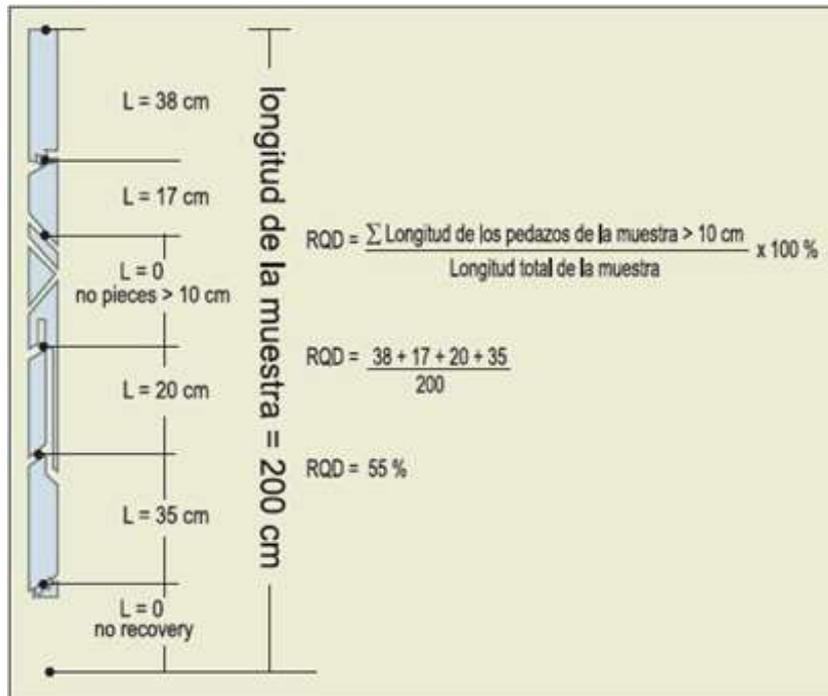
El estudio y análisis de los parámetros geotécnicos que se realizan en función de la medición de los núcleos de perforación diamantina, son importantes determinarlos de acuerdo con los parámetros que se necesita para un registro geotécnico de los testigos:

**Tabla 5.**

*Parámetros de Logeo*

ITEM	PARAMETRO
1	Tipo de Litología
2	Diámetro del testigo de perforación
3	Condiciones de Agua
4	Parámetros de recuperación del testigo
5	Parámetros de resistencia de la roca intacta y meteorización
6	Descripción de las discontinuidades (forma, rugosidad y relleno)
7	Condiciones de las fracturas
8	Orientación de ángulos

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 28.** Método de análisis de porcentaje del índice RQD.

**Fuente:** Libro The ISRM Suggested Methods for Characterization-.



## 4.2 MUESTREO DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN.

Se realizó el muestreo de los testigos de perforación diamantina, tomándose dos muestras de cada sondaje.

Las muestras son fragmentos de roca representativa de los sondajes, como regla general se considera la muestra como longitud dos veces del diámetro de la misma, en este caso se consideró como mínimo una longitud de 12 cm., las muestras fueron sometidas a pruebas de compresión simple, prueba de carga puntual y parámetros físicos como son densidad, absorción y porosidad; estos parámetros nos permiten caracterizar las cualidades resistentes de la roca.

**Tabla 6.**

*Cuadro Código de muestras y tipo de ensayo de los testigos de perforación*

ÍTEM	CÓDIGO DE SONDAJE	ESTE	NORTE	COTA	CÓDIGO DE MUESTRA	TIPO DE ENSAYO
1	DHPH-01	235958	8349595	4015	MNDH-01	COMPRESIÓN SIMPLE DENSIDAD PESO ESPECIFICO POROSIDAD
					TXDH-01	TRIAXIAL
2	DHPH-02	235986	8349547	4017	MNDH-02	COMPRESIÓN SIMPLE DENSIDAD PESO ESPECIFICO POROSIDAD
					TXDH-01	TRIAXIAL
3	DHPH-03	236005	8349576	4018	MNDH-03	COMPRESIÓN SIMPLE DENSIDAD PESO ESPECIFICO POROSIDAD
					TXDH-01	TRIAXIAL
4	DHPH-04	236033	8349485	4031	MNDH-04	COMPRESIÓN SIMPLE DENSIDAD PESO ESPECIFICO POROSIDAD
					TXDH-01	TRIAXIAL
5	DHPH-05	236078	8349448	4035	MNDH-05	COMPRESIÓN SIMPLE DENSIDAD PESO ESPECIFICO POROSIDAD
					TXDH-01	TRIAXIAL

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 30.** Forma de muestreo de core de perforación del sondaje DHPH-01.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

La realización de las pruebas de permeabilidad por tramos, fue tomada durante la ejecución de las perforaciones diamantinas en todo el tramo de la perforación, las cuales han sido registradas debidamente en las hojas de registro de las perforaciones ejecutadas.

Se han ejecutado tres perforaciones en los estribos y dos perforaciones en el cauce del río, realizando un total de cinco perforaciones en el eje de presa, los ensayos de permeabilidad nos permiten determinar los ensayos tipo Lefranc en los depósitos aluviales y tipo Lugeon en los tramos rocosos (ANGELONE, 2016)

Las pruebas de permeabilidad realizadas en la zona de trabajo, dependen de los siguientes factores:

- Litología de la zona.
- Nivel freático.
- Estratos de los suelos (Homogeneidad o heterogeneidad).

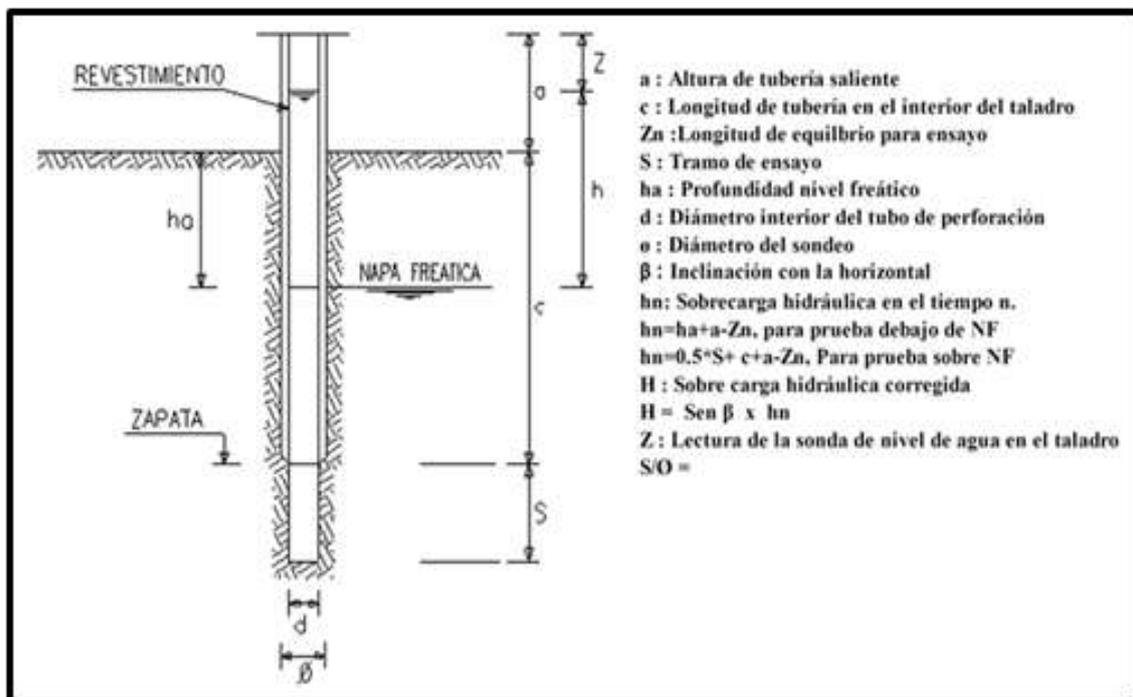
#### 4.3.1 Ensayos de Permeabilidad Tipo Lugeon.

Esta prueba nos permite evaluar la absorción en un tramo del macizo rocoso el cual ha sido sujeto a presiones de agua, para establecer la permeabilidad a traves de la filtración de la misma a través de las posibles fisuras, mediante la percolación. Este procedimiento está determinado con la metodología de inyectar agua en un tramo de la perforación en



pudiéndose prolongar a los 10 o 15 minutos, el nivel de caudal de agua debe ser constante durante toda la prueba para que sea efectiva.

Para determinar la permeabilidad para el ensayo de carga variable, se debe medir el valor del agua cuando está disminuyendo, esto debido a que llenamos la tubería hasta el ras y empezamos las medidas cuando está disminuyendo el volumen del agua de manera sincronizada con un cronómetro calibrado: mediciones Tiempo = 1 minuto, Tiempo = 2 minutos, Tiempo = 5 minutos, Tiempo = 10 minutos, Tiempo = 20 minutos, Tiempo = 30 minutos, Tiempo = 60 minutos y Tiempo = 90 minutos), las medidas de disminución de agua se realizan con una sonda de medición de nivel de agua.

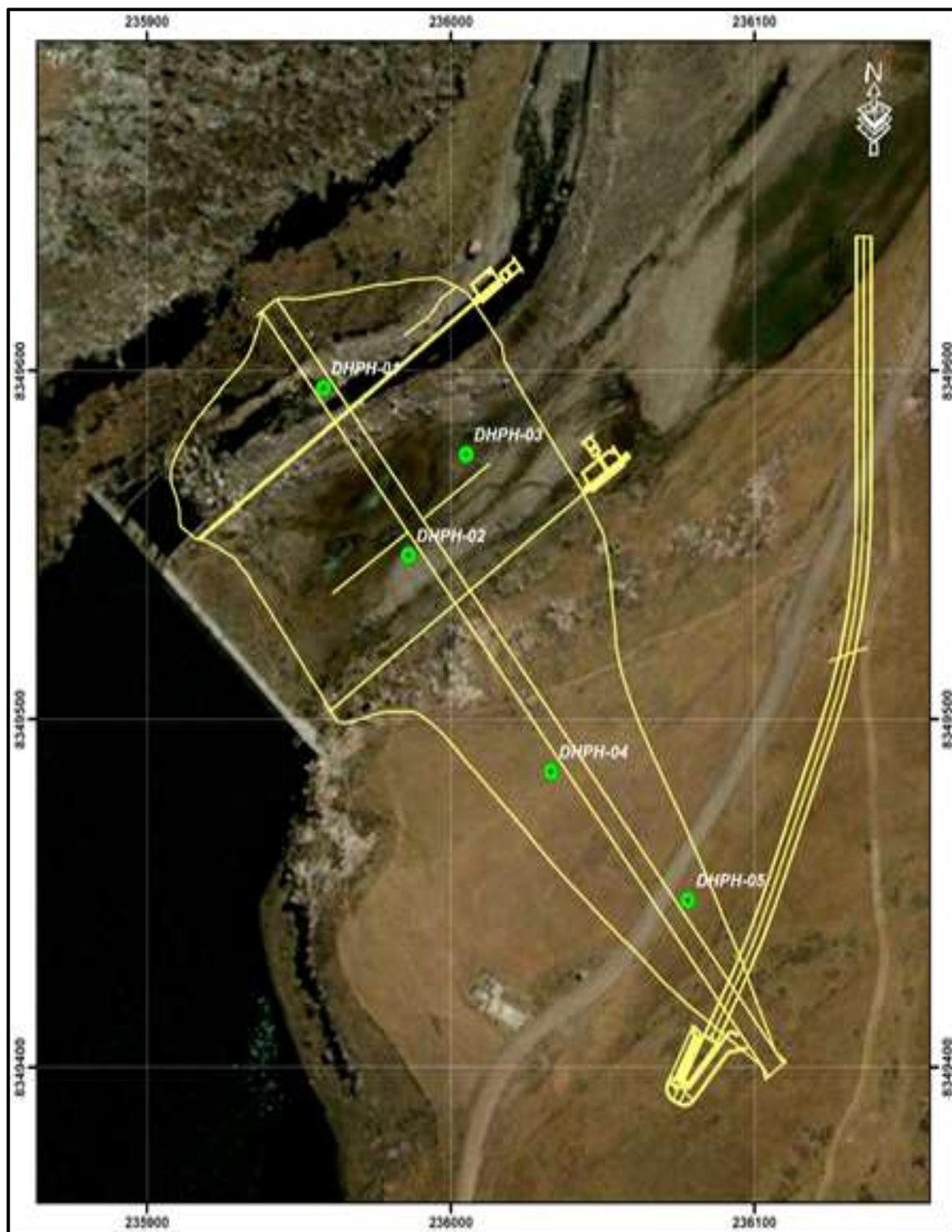


**Figura 32.** Esquema de la prueba de permeabilidad Lefranc

**Fuente:** Tesis Modelo de filtraciones para aseguramiento Hídrico de presas, Castillo

## ESTUDIOS DE LA PERFORACIÓN DIAMANTINA

Los trabajos de perforación diamantina, estuvieron enfocados en la evaluación geotécnica (permeabilidad, litología, resistencia) de los materiales de fundación para los distintos sectores de la Presa, como es el cuerpo de la Presa y eje de presa. En la siguiente imagen se muestra los puntos de perforación diamantina.



**Figura 33.** Distribución de los sondajes en la zona de cuerpo de la presa  
**Fuente:** Boletín 143-A Carta Geológica Nacional /Elaboración Propia

Durante la realización de las perforaciones diamantinas se realizó ensayos de permeabilidad en cada sondaje a 5 metros aproximadamente, en el siguiente cuadro se muestra la profundidad a la que se determinó el nivel freático.

**Tabla 7.**

*Cuadro Resultados de Nivel Freático y Permeabilidad realizada en eje de presa Huayllumayo*

Ítem	Código	Este	Norte	Cota	Prof. (m)	Incl. (°)	Suelo	Roca	Nivel freático	N° de ensayos de permeabilidad		Ubicación
										Lefran	Lugeon	
1	DHPH-01	235 958	8 349 595	4 015	45.2	_90			1.50		8	Estribo izquierdo
2	DHPH-02	235 986	8 349 547	4 017	46.2	_90			1.60		6	Cauce de río
3	DHPH-03	236 005	8 349 576	4 018	40.1	_90			1.60	3	6	Cauce de río
4	DHPH-04	236 033	8 349 485	4 031	28.8	_90			19.20		6	Margen derecho
5	DHPH-05	236 078	8 349 448	4 035	27.2	_90			19.40	2	2	Estribo derecho

**Fuente:** Elaboración propia.

Según el perfil presentado, el eje de presa el nivel freático en la zona del cauce se encuentra a partir de 0.00 m. a 1.50 m. de profundidad (esto se visualiza en los bofedales presentes), en la zona del margen derecho el nivel freático profundiza ya que se tiene mayor cota llegando hasta los 17.00 a 20.00 metros.

#### **4.4 ANÁLISIS GEOTÉCNICO DEL SUELO DE CIMENTACIÓN**

La zona de presa Huayllumayo está conformada por suelos con intercalaciones de afloramientos rocosos, en términos generales desde el margen izquierdo se tiene depósitos una zona de escarpas seguido de depósitos de material suelto, forman morrenas que incluso presentan compacidad baja que forman terrazas y que eventualmente se deslizan por la acción del intemperismo y la gravedad.

La zona cauce del río Huayllumayo presenta una zona de planicie de inundación que está conformada por materiales sueltos como gravas, arenas con bolonería y bloques de roca con bastante permeabilidad, actualmente se encuentran saturadas de ahí la presencia de bofedales en la zona.

Al límite de esta zona se tiene un afloramiento de rocas volcánicas, tobas ignimbríticas de tonalidad rosácea de calidad media, con fracturamiento moderado se encuentra en forma masiva formando una zona de escarpas, seguido de estas formaciones se tienen una zona de colina baja con inclinación de 5 a 10 grados, conformada por una capa de materiales aluviales que presentan materiales limos arenosos con gravas y bolonería, en la línea del eje de la presa se tiene una potencia de 1.60, subyaciendo a este

estrato se presentan formaciones rocosas volcánicas de la misma formación del entorno, tobas ingnimbríticas, siguiendo hacia el punto de perforación DPH-05, se tiene una zona de depósitos fluvio aluviales de una potencia de 19 metros conformado por materiales sueltos gravas arenosas con limos, además, se resalta la presencia de bolonería y bloques de roca, esta zona se trata de un cauce antiguo donde se fue erosionando la roca y depositándose materiales fluvio aluviales.

En general, la cerrada hacia el estribo izquierdo se muestra inestable, ya que presenta depósitos poco consolidados, estos materiales deben ser removidos y fundar la estructura en roca firme, hacia el cauce y margen derecho se muestra estable ya que la roca se muestra de forma masiva con fracturamiento moderado.

Para el desarrollo de los estudios de la cimentación de la presa Huayllumayo, se ha determinado realizarlo en tres secciones para un mejor análisis:

- a) El Estribo Izquierdo.
- b) El Estribo Derecho.
- c) El Cauce del Río.

#### **4.4.1 Evaluación Geotécnica del Estribo Izquierdo**

Para la evaluación del estribo izquierdo de la represa, se ha realizado la perforación diamantina DPH-01, los resultados de todos los trabajos realizados e indicados líneas arriba se muestran en el capítulo de anexos (perforación Diamantina) y adjuntos sus resultados de laboratorio, y su emplazamiento se muestra en el plano de ubicación.

Para una mejor evaluación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes del Estribo Izquierdo, se han considerado cinco aspectos fundamentales que son:

- a. Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.
- b. Clasificación Geomecánica de Bieniawsky.
- c. Análisis de Permeabilidad.

##### **4.4.1.1 Evaluación de Perfiles Estratigráficos**

En el estribo izquierdo se ha realizado la perforación diamantina N° DPH-01, en los cuales se han encontrado materiales con la siguiente descripción estratigráfica:

Perforación diamantina DPH-01 (Estribo Izquierdo): profundidad 45.20 m., la unidad estratigráfica perteneciente al Grupo Barroso, está constituida por roca volcánica toba ingnimbríticas, con fracturamiento moderado, se muestra masivo en todo el sondaje presenta porosidad alta, el nivel freático se encuentra a los 1.50 metros. En la evaluación

de los perfiles estratigráficos se ha encontrado que los materiales constituyentes del suelo y subsuelo una sola litología, es masiva y homogénea con fracturamiento moderado a fuerte, muy porosa se encuentra en estado saturado.

#### 4.4.1.2 Clasificación Geo-Mecánica de Bieniawski Estribo Izquierdo

Se ha obtenido las características geomecánicas de los materiales constituyentes del estribo izquierdo, aplicando el sistema de clasificación geomecánica de Bieniawski en el sondaje de perforación diamantina con los siguientes resultados:

**Tabla 8.**

*Cuadro Clasificación Geomecánica DPH-01*

CÓDIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA	TIPO Y DIAMETRO DE PERFORACION	LONGITUD CORRIDA DE PERFORACION (m)	LONGITUD DE RECUPERACION DE LA PERFORACION (m)	Nº CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R.M.R.	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)
DHPH_01	0.00	1.00	-90	CUATERNARIO	HQ	1.00	1.00	CAJAN° 01	100%	0%	0	SIN CLASIFICACION GEOMECAÁNICA
	1.00	2.20	-90		HQ	1.20	1.00	CAJAN° 01	83%	0%	0	
	2.20	3.30	-90		HQ	1.10	0.80	CAJAN° 01	73%	0%	0	
	3.30	4.50	-90	TOBA PIROCLASTICA	HQ	1.20	1.20	CAJAN° 02	100%	58%	57	III REGULAR
	4.50	5.90	-90		HQ	1.40	1.40	CAJAN° 02	100%	86%	70	II BUENA
	5.90	7.40	-90		HQ	1.50	0.70	CAJAN° 02	47%	64%	45	III REGULAR
	7.40	8.10	-90		HQ	0.70	0.40	CAJAN° 03	57%	75%	56	II BUENA
	8.10	9.70	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 03	100%	97%	78	II BUENA
	9.70	11.30	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 03	100%	84%	49	III REGULAR
	11.30	12.90	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 04	100%	91%	65	II BUENA
	12.90	14.50	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 04	100%	88%	62	II BUENA
	14.50	16.10	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 05	100%	91%	59	III REGULAR
	16.10	17.70	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 05	100%	94%	76	II BUENA
	17.70	19.30	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 06	100%	100%	80	II BUENA
	19.30	20.90	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 06	100%	84%	49	III REGULAR
	20.90	22.50	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 07	100%	100%	80	II BUENA
	22.50	24.00	-90		HQ	1.50	1.50	CAJAN° 07	100%	97%	57	III REGULAR
	24.00	25.60	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 08	100%	100%	80	II BUENA
	25.60	27.00	-90		HQ	1.40	1.40	CAJAN° 08	100%	100%	71	II BUENA
	27.00	28.60	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 09	100%	94%	55	III REGULAR
	28.60	29.10	-90		HQ	0.50	0.50	CAJAN° 09	100%	70%	51	III REGULAR
	29.10	30.60	-90		HQ	1.50	1.50	CAJAN° 10	100%	67%	80	II BUENA
	30.60	32.20	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 10	100%	100%	58	III REGULAR
	32.20	33.80	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 11	100%	100%	80	II BUENA
	33.80	35.40	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 11	100%	100%	80	II BUENA
	35.40	37.00	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 12	100%	97%	78	II BUENA
	37.00	38.20	-90		HQ	1.20	1.20	CAJAN° 13	100%	100%	78	II BUENA
	38.20	39.60	-90		HQ	1.40	1.40	CAJAN° 13	100%	100%	80	II BUENA
	39.60	41.20	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 14	100%	88%	54	III REGULAR
	41.20	42.70	-90		HQ	1.50	1.50	CAJAN° 14	100%	95%	54	III REGULAR
42.70	44.30	-90	HQ		1.60	1.60	CAJAN° 14	100%	75%	54	III REGULAR	
44.30	45.20	-90	HQ		0.90	0.90	CAJAN° 15	100%	100%	54	III REGULAR	

**Fuente:** Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los taladros ubicados en este estribo para los valores del RMR pertenecen en su mayor parte a materiales de clase II a IV decir buena a regular, de acuerdo con los términos de la Clasificación geomecánica de Bieniawski.

#### 4.4.1.3 Análisis de Permeabilidad Estribo Izquierdo.

Para el análisis correspondiente de permeabilidad, este fue ejecutado durante el transcurso del taladro diamantino, principalmente tipo Lugeon a presión en toda la longitud del taladro, obteniendo los resultados de la siguiente tabla:

**Tabla 9.**

*Cuadro Permeabilidad (Estribo Izquierdo) sondaje DPHP-01*

ITEM	SONDAJE	NORTE	ESTE	COTA	ANGULO	PROFUNDIDAD	LUGEON		ZONIFICACION UNIDADES LUGEON (OLIVEIRA 1985)		ZONIFICACION PERMEABILIDAD	
							INICIO	FIN	U.LUGEON	ZONA	PERMEABILIDAD	clasificacion del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)
1	DHPH-01	8349595	235958	4019	_90	45.2	7.10	8.10	95.2	Z I	2.29E-03 cm/s	Muy Desfavorable
2							11.50	12.50	0.8	Z III	1.97E-05 cm/s	Muy Favorable
3							16.70	17.70	4.1	Z I	9.87E-05 cm/s	Desfavorable
4							23.00	24.00	1.7	Z II	4.09E-05 cm/s	Favorable
5							28.10	29.10	17.3	Z I	4.16E-04 cm/s	Muy Favorable
6							32.80	33.80	1.0	Z II	2.52E-05 cm/s	Favorable
7							37.20	38.20	4.8	Z I	1.16E-04 cm/s	Desfavorable
8							44.20	45.20	33.0	Z I	7.94E-04 cm/s	Muy Favorable

**Fuente:** Elaboración Propia

Conforme se han realizado los ensayos de permeabilidad del sondaje DHPH-01 se tiene que los valores obtenidos de permeabilidad, conformado por roca masiva con fracturamiento moderado, en algunos sectores presenta compacto sin fracturamiento, en general se clasifica entre favorable a muy favorable, excepto en algunos sectores al inicio que se presenta un tanto desfavorable, se propone mejorar la zona crítica.

#### 4.4.2 Evaluación Geotécnica del Estribo Derecho.

Para la evaluación se han realizado las perforaciones diamantinas DHPH-04 y próximo a este sondaje el DHPH-05, cuyos resultados se muestran en los respectivos cuadros resumen expuestos:

- Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.
- Clasificación Geomecánica de Bieniawsky.
- Análisis de Permeabilidad.

#### **4.4.2.1 Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.**

En los sondajes diamantinos realizados: DHPH-04, DHPH-05, se han mapeado la siguiente litología con la siguiente descripción estratigráfica:

El sondaje DHPH-04, se ha perforado hasta una profundidad de 28.80, se tiene materiales conformado por suelos hasta los 1.60 metros seguido por roca masiva del grupo barroso, tobas ignimbríticas, se presentan de forma masiva, en todo el tramo de perforación; el nivel freático se ubica hasta los 19 metros, hasta los 15 metros se muestra masiva y hasta los 28.8 presenta fracturamiento moderado a fuerte, la porosidad aumenta, ya que se ha encontrado oquedades que por supuesto reduce la calidad de la roca,

En el sondaje DHPH-05, a 50 metros del sondaje DHPH-04 en dirección al eje más pegado al estribo derecho, se muestra de forma diferente, presentando materiales sueltos hasta los 19 metros, seguido de roca masiva y de la misma formación rocosa, se puede observar que el nivel freático también se encuentra a los 19 metros de profundidad; este estrato también se muestra masivo y con fracturamiento moderado a fuerte con menor alteración que el sondaje DHPH-04.

El material gravoso arenoso encontrado al inicio correspondería a un cauce antiguo. ya que los materiales sueltos correlacionan a este tipo de acumulaciones gravas arenosas con bolonería y bloques de roca.

#### **A. Resultados de la clasificación geomecánica Estribo Derecho.**

Se ha obtenido las características geomecánicas de los materiales constituyentes del estribo derecho, conformado principalmente por rocas volcánicas de composición ignimbríticas de coloración rosácea con los siguientes resultados:

**Tabla 10.**

**Cuadro Clasificación Geomecánica DHPH-04 (Estribo derecho)**

CÓDIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA	TIPO Y DIAMETRO DE PERFORACION	LONGITUD CORRIDA DE PERFORACION (m)	LONGITUD DE RECUPERACION DE LA PERFORACION (m)	Nº CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R.M.R.	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)
DHPH_04	0.00	0.60	-90	CUATERNARIO	HQ	0.45	0.45	CAJA N° 01	100%	0%	0	SIN CLS GEOMECAÁNICA
	0.60	1.60	-90		HQ	1.00	1.00	CAJA N° 01	100%	0%	0	
	1.60	2.10	-90	TOBA PIROCLASTICA	HQ	0.50	0.45	CAJA N° 01	90%	100%	54	III REGULAR
	2.10	3.40	-90		HQ	1.30	1.30	CAJA N° 01	100%	100%	88	I MUY BUENA
	3.40	4.90	-90		HQ	1.50	1.50	CAJA N° 02	100%	100%	83	I MUY BUENA
	4.90	6.10	-90		HQ	1.20	1.20	CAJA N° 02	100%	100%	83	I MUY BUENA
	6.10	7.70	-90		HQ	1.60	1.60	CAJA N° 03	100%	100%	88	I MUY BUENA
	7.70	9.30	-90		HQ	1.60	1.60	CAJA N° 03	100%	100%	88	I MUY BUENA
	9.30	10.80	-90		HQ	1.50	1.50	CAJA N° 04	100%	100%	88	I MUY BUENA
	10.80	12.40	-90		HQ	1.60	1.60	CAJA N° 04	100%	100%	88	I MUY BUENA
	12.40	14.00	-90		HQ	1.60	1.60	CAJA N° 05	100%	100%	88	I MUY BUENA
	14	15.00	-90		HQ	1.00	1.00	CAJA N° 05	100%	100%	80	II BUENA
	15	15.20	-90		HQ	0.20	0.20	CAJA N° 06	100%	100%	83	I MUY BUENA
	15.20	16.80	-90		HQ	1.60	1.60	CAJA N° 06	100%	100%	88	I MUY BUENA
	16.80	18.30	-90		HQ	1.50	1.50	CAJA N° 06	100%	100%	80	II BUENA
	18.30	19.90	-90		HQ	1.60	1.60	CAJA N° 07	100%	100%	80	II BUENA
	19.90	21.40	-90		HQ	1.50	1.50	CAJA N° 07	100%	100%	69	II BUENA
	21.40	23.00	-90		HQ	1.60	1.60	CAJA N° 08	100%	93%	67	II BUENA
	23.00	24.30	-90		HQ	1.30	1.30	CAJA N° 08	100%	95%	64	II BUENA
	24.30	25.00	-90		HQ	0.70	0.70	CAJA N° 09	100%	93%	69	II BUENA
	25.00	25.40	-90		HQ	0.40	0.40	CAJA N° 09	100%	30%	42	III REGULAR
	25.40	26.80	-90		HQ	1.40	1.40	CAJA N° 09	100%	57%	45	III REGULAR
	26.80	27.90	-90		HQ	1.10	1.10	CAJA N° 09	100%	82%	62	II BUENA
	27.90	28.80	-90		HQ	0.90	0.90	CAJA N° 10	100%	44%	37	IV MALA

**Fuente:** Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en la Tabla 10, determinan que los valores RMR para este estribo, corresponden a roca de clase I a IV que corresponde según la clasificación: clase buena a clase regular.

**Tabla 11.**

**Cuadro Clasificación Geomecánica DHPH-05 (Estribo derecho)**

CÓDIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA	TIPO Y DIAMETRO DE PERFORACION	LONGITUD CORRIDA DE PERFORACION (m)	LONGITUD DE RECUPERACION DE LA PERFORACION (m)	Nº CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R.M.R.	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)
DHPH_05	0.00	1.10	-90	CUATERNARIO	HQ	1.10	0.60	CAJAN° 01	55%	0%	0	SIN CLS GEOMECAÁNICA
	1.10	2.10	-90		HQ	1.00	0.60	CAJAN° 01	60%	0%	0	
	2.10	3.30	-90		HQ	1.20	0.80	CAJAN° 01	67%	0%	0	
	3.30	4.00	-90		HQ	0.70	0.60	CAJAN° 01	86%	0%	0	
	4.00	4.80	-90		HQ	0.80	0.40	CAJAN° 01	50%	0%	0	
	4.80	6.00	-90		HQ	1.20	0.60	CAJAN° 02	50%	0%	0	
	6.00	7.00	-90		HQ	1.00	0.90	CAJAN° 02	90%	0%	0	
	7.00	7.50	-90		HQ	0.50	0.40	CAJAN° 02	80%	0%	0	
	7.50	8.10	-90		HQ	0.60	0.60	CAJAN° 02	100%	0%	0	
	8.10	8.60	-90		HQ	0.50	0.50	CAJAN° 02	100%	0%	0	
	8.60	9.20	-90		HQ	0.60	0.20	CAJAN° 03	33%	0%	0	
	9.20	10.70	-90		HQ	1.50	1.00	CAJAN° 03	67%	0%	0	
	10.70	11.30	-90		HQ	0.60	0.30	CAJAN° 03	50%	0%	0	
	11.30	12.20	-90		HQ	0.90	0.90	CAJAN° 03	100%	0%	0	
	12.20	13.80	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 04	100%	0%	0	
	13.80	15.20	-90		HQ	1.40	1.20	CAJAN° 04	86%	0%	0	
	15.20	16.40	-90		HQ	1.20	0.70	CAJAN° 04	58%	0%	0	
	16.40	17.50	-90		HQ	1.10	0.90	CAJAN° 05	82%	0%	0	
	17.50	18.50	-90		HQ	1.00	0.90	CAJAN° 05	90%	0%	0	
	18.50	19.00	-90		HQ	0.50	0.50	CAJAN° 05	100%	0%	0	
19.00	20.20	-90	TOBA PIROCLASTICA	HQ	1.20	1.20	CAJAN° 05	100%	83%	66	II BUENA	
20.20	21.60	-90		HQ	1.40	1.40	CAJAN° 06	100%	100%	54	III REGULAR	
21.60	23.20	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 06	100%	100%	89	I MUY BUENA	
23.20	24.00	-90		HQ	0.80	0.80	CAJAN° 07	100%	100%	89	I MUY BUENA	
24.00	25.60	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 07	100%	100%	89	I MUY BUENA	
25.60	27.20	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 09	100%	100%	76	II BUENA	

**Fuente:** Elaboración Propia

Según la tabla 11, los valores del RMR corresponden a materiales sueltos en su gran mayoría como son las gravas arenosas, clasificado como suelos de tal forma le corresponde esta clasificación según la clasificación SUCS, le corresponde una clasificación de suelos tipo GS A GM; sin embargo, a partir de los 19 metros se tienen materiales rocosos el cual presenta una calidad buena a muy buena con clasificación de tipo I a III.

#### 4.4.2.2 Análisis de Permeabilidad Estribo Derecho

Durante el desarrollo de los taladros diamantinos se han realizado ensayos de permeabilidad principalmente Lugeon, el cual se realizó a presión de agua en toda la longitud del taladro, cuyos resultados se observan en la tabla 12.

**Tabla 12.***Cuadro Permeabilidad Lugeon (Estribo Derecho) sondaje DHPH-04*

ITEM	SONDAJE	NORTE	ESTE	COTA	ANGULO	PROFUNDIDAD	LUGEON		ZONIFICACION UNIDADES LUGEON		ZONIFICACION PERMEABILIDAD	
							INICIO	FIN	U.LUGEON	ZONA	PERMEABILIDAD	clasificacion del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)
1	DHP-04	8349485	236033	4042	_90	28.8	4.40	6.10	1.0	Z II	2.82E-05 cm/s	Muy Favorable
2							9.75	10.80	3.3	Z I	8.14E-05 cm/s	Desfavorable
3							12.90	14.10	0.7	Z III	1.73E-05 cm/s	Muy Favorable
4							18.90	19.90	0.3	Z III	6.82E-06 cm/s	Muy Favorable
5							24.00	25.00	-	Z I	>286.4 l/min	Muy Desfavorable
6							27.80	28.80	-	Z I	>353.5 l/min	Muy Desfavorable

**Fuente:** Elaboración propia.**Tabla 13.***Permeabilidad Lugeon (Estribo Derecho) sondaje DHPH-05*

ITEM	SONDAJE	NORTE	ESTE	COTA	ANGULO	PROFUNDIDAD	LUGEON		ZONIFICACION UNIDADES LUGEON		ZONIFICACION PERMEABILIDAD	
							INICIO	FIN	U.LUGEON	ZONA	PERMEABILIDAD	clasificacion del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)
27	DHP-05	8349448	236078	4045	_90	27.2	22.20	23.20	0.2	Z III	6.00E-06 cm/s	Muy Favorable
28							26.20	27.20	20.9	Z I	5.04E-04 cm/s	Muy Desfavorable

**Fuente:** Elaboración propia.

Conforme a los resultados para el estribo derecho en el sondaje DHPH-04, se tienen permeabilidades hasta los 19.90 metros, seguido de tramos fracturados y alterados con una permeabilidad alta, llegando a caudales de inyección de agua de hasta >353.5 l/min., siendo altamente permeable.

Para el sondaje DHPH-05, se tienen permeabilidades en zonas de materiales sueltos en el primer tramo de tipo lugeon realizado en macizo rocoso, siendo estas con permeabilidad moderada a buena.

#### 4.4.3 Evaluación Geotécnica del Eje de Presa (Cauce de Río)

Para la evaluación del cauce del río se han realizado los taladros diamantinos DHPH-02 y DHPD 03, cuyos resultados se han evaluado y adjuntado al presente estudio, para lo cual se realizaron los siguientes trabajos:

- Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.
- Clasificación Geomecánica de Bieniawsky.
- Análisis de Permeabilidad.

#### **4.4.3.1 Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.**

En el cauce del río se han realizado los taladros diamantinos N°: DHPH-02 y DHPH-03, en los cuales se ha encontrado las siguientes litologías estratigráficas:

- El sondaje DHPH-02, tiene una profundidad de 46.20 metros lineales, donde se tiene materiales sueltos de 10.65 m. conformado por gravas arenosas, con bolonería y bloques de roca de origen fluvial, totalmente saturado, seguido de roca volcánica masiva de origen toba ignimbrítica, correspondiente a la misma formación del área, presenta un grado de fracturamiento moderado a fuerte, se presenta compacto, es porosa y se encuentra saturado.
- El sondaje DHPH-03, tiene una profundidad de 40.10 metros conformado por materiales sueltos de hasta los 11.50 metros., conformado de gravas arenosas, con bolonería y bloques de roca de origen fluvial, totalmente saturado, seguido de roca volcánica masiva de origen toba ignimbrítica, correspondiente a la misma formación del área, presenta un grado de fracturamiento moderado a fuerte, se presenta compacto, es porosa y se encuentra saturado, de textura afanítica con cristales de cuarzo y micas en forma diseminada, en algunos niveles presenta óxidos de fierro y limonita.

#### **4.4.3.2 Clasificación Geomecánica de Bieniawsky Eje de Presa (Cauce de Río)**

Se han obtenido las características geomecánicas de los materiales constituyentes del cauce del río con los siguientes resultados:

**Tabla 14.**

**Clasificación Geomecánica DPHH-02 (Cauce de Río)**

CÓDIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA	TIPO Y DIAMETRO DE PERFORACION	LONGITUD CORRIDA DE PERFORACION (m)	LONGITUD DE RECUPERACION DE LA PERFORACION (m)	Nº CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R.M.R.	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)	
DPHH_02	0.00	0.60	-90	CUATERNARIO	HQ	0.60	0.45	CAJAN° 01	75%	0%	0	SIN CLASIFICACION GEOMECAÁNICA	
	0.60	1.20	-90		HQ	0.60	0.45	CAJAN° 01	75%	0%	0		
	1.20	1.50	-90		HQ	0.30	0.25	CAJAN° 01	83%	0%	0		
	1.50	1.90	-90		HQ	0.40	0.35	CAJAN° 01	88%	0%	0		
	1.90	2.20	-90		HQ	0.30	0.25	CAJAN° 01	83%	0%	0		
	2.20	2.50	-90		HQ	0.30	0.25	CAJAN° 01	83%	0%	0		
	2.50	2.80	-90		HQ	0.30	0.25	CAJAN° 01	83%	0%	0		
	2.80	3.10	-90		HQ	0.30	0.25	CAJAN° 01	83%	0%	0		
	3.10	3.50	-90		HQ	0.40	0.35	CAJAN° 02	88%	0%	0		
	3.50	3.90	-90		HQ	0.40	0.35	CAJAN° 02	88%	0%	0		
	3.90	4.20	-90		HQ	0.30	0.25	CAJAN° 02	83%	0%	0		
	4.20	4.40	-90		HQ	0.20	0.20	CAJAN° 02	100%	0%	0		
	4.40	4.80	-90		HQ	0.40	0.40	CAJAN° 02	100%	0%	0		
	4.80	5.10	-90		HQ	0.30	0.30	CAJAN° 02	100%	0%	0		
	5.10	5.50	-90		HQ	0.40	0.40	CAJAN° 02	100%	0%	0		
	5.50	6.10	-90		HQ	0.60	0.50	CAJAN° 02	83%	0%	0		
	6.10	6.40	-90		HQ	0.30	0.25	CAJAN° 02	83%	0%	0		
	6.40	6.80	-90		HQ	0.40	0.35	CAJAN° 03	88%	0%	0		
	6.80	7.30	-90		HQ	0.50	0.00	CAJAN° 03	0%	0%	0		
	7.30	7.80	-90		HQ	0.50	0.45	CAJAN° 03	90%	0%	0		
	7.80	8.30	-90		HQ	0.50	0.45	CAJAN° 03	90%	0%	0		
	8.30	8.70	-90		HQ	0.45	0.45	CAJAN° 03	100%	0%	0		
	8.70	8.80	-90		HQ	0.10	0.00	CAJAN° 03	0%	0%	0		
	8.80	9.40	-90		HQ	0.60	0.60	CAJAN° 03	100%	0%	0		
	10.00	10.40	-90		HQ	1.00	1.00	CAJAN° 03	100%	75%	47		III REGULAR
	10.40	11.00	-90		HQ	0.60	0.60	CAJAN° 04	100%	0%	0		SIN CLS GEOMECAÁNICA
	11.00	12.60	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 04	100%	50%	52		III REGULAR
	12.60	14.20	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 05	100%	91%	76		II BUENA
	14.20	15.80	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 05	100%	100%	76		II BUENA
	15.80	16.20	-90		HQ	0.40	0.35	CAJAN° 06	88%	457%	74		II BUENA
	16.20	17.60	-90		HQ	1.40	1.40	CAJAN° 06	100%	93%	81		I MUY BUENA
	17.60	19.20	-90		HQ	1.60	1.60	CAJAN° 06	100%	75%	76		II BUENA
	19.20	20.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 07	100%	94%	74	II BUENA		
	20.80	22.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 08	100%	86%	69	II BUENA		
	22.20	23.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 08	100%	56%	77	II BUENA		
	23.80	25.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 08	100%	86%	70	II BUENA		
	25.20	26.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 09	100%	88%	78	II BUENA		
	26.80	28.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 09	100%	79%	72	II BUENA		
	28.20	29.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 10	100%	28%	56	III REGULAR		
	29.80	31.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 10	100%	50%	50	III REGULAR		
	31.20	32.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 11	100%	69%	56	III REGULAR		
	32.80	34.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 11	100%	86%	73	II BUENA		
	34.20	35.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 12	100%	69%	80	II BUENA		
	35.80	37.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 13	100%	64%	73	II BUENA		
37.20	38.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 13	100%	88%	73	II BUENA			
38.80	40.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 13	100%	71%	79	II BUENA			
40.20	41.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 14	100%	94%	77	II BUENO			
41.80	43.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 15	100%	86%	77	II BUENO			
43.20	44.80	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 15	100%	88%	74	II BUENO			
44.80	46.20	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 16	100%	93%	69	II BUENO			

Fuente: Elaboración propia.

Según la clasificación geomecánica RMR, en la secuencia de materiales sueltos según la clasificación SUCS, se clasifican como suelos de tipo GW-GS, para el estrato rocoso está clasificado como roca de clase II a III, se clasifica como bueno a regular

**Tabla 15.**

*Clasificación Geomecánica DPHP-03 (Cauce de Río)*

CÓDIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA	TIPO Y DIAMETRO DE PERFORACION	LONGITUD CORRIDA DE PERFORACION (m)	LONGITUD DE RECUPERACION DE LA PERFORACION (m)	Nº CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R.M.R.	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)
DHPH_03	0.00	0.90	-90	CUATERNARIO	HQ	0.90	0.90	CAJAN° 01	100%	0%	0	SIN CLS GEOMECAÁNICA
	0.90	1.40	-90		HQ	0.50	0.50	CAJAN° 01	100%	0%	0	
	1.40	2.00	-90		HQ	0.60	0.60	CAJAN° 01	100%	0%	0	
	2.00	2.70	-90		HQ	0.70	0.70	CAJAN° 01	100%	0%	0	
	2.70	3.50	-90		HQ	0.80	0.60	CAJAN° 01	75%	0%	0	
	3.50	4.30	-90		HQ	0.80	0.80	CAJAN° 02	100%	0%	0	
	4.30	4.80	-90		HQ	0.50	0.50	CAJAN° 02	100%	0%	0	
	4.80	5.20	-90		HQ	0.40	0.40	CAJAN° 02	100%	0%	0	
	5.20	5.80	-90		HQ	0.60	0.60	CAJAN° 02	100%	0%	0	
	5.80	6.50	-90		HQ	0.70	0.70	CAJAN° 02	100%	0%	0	
	6.50	7.20	-90		HQ	0.70	0.70	CAJAN° 03	100%	0%	0	
	7.20	7.50	-90		HQ	0.30	0.30	CAJAN° 03	100%	0%	0	
	7.50	8.30	-90		HQ	0.80	0.70	CAJAN° 03	88%	0%	0	
	8.30	8.70	-90		HQ	0.40	0.40	CAJAN° 03	100%	0%	0	
	8.70	9.53	-90		HQ	0.70	0.60	CAJAN° 03	86%	0%	0	
	9.53	10.60	-90		HQ	1.10	1.10	CAJAN° 04	100%	0%	0	
	10.60	11.30	-90		HQ	0.70	0.70	CAJAN° 04	100%	0%	0	
	11.30	11.70	-90		HQ	0.40	0.40	CAJAN° 04	100%	0%	0	
	11.70	13.00	-90	HQ	1.30	1.30	CAJAN° 04	100%	23%	41	III REGULAR	
	13.00	14.60	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 05	100%	47%	121	III REGULAR	
	14.60	16.10	-90	HQ	1.60	1.60	CAJAN° 05	100%	19%	41	III REGULAR	
	16.10	17.70	-90	HQ	1.50	1.50	CAJAN° 06	100%	50%	64	II BUENA	
	17.70	19.10	-90	HQ	1.40	1.40	CAJAN° 06	100%	71%	64	II BUENA	
	19.10	20.70	-90	HQ	1.6	1.6	CAJAN° 07	100%	88%	80	II BUENA	
	20.70	22.10	-90	HQ	1.4	1.4	CAJAN° 07	100%	64%	70	II BUENA	
	22.10	23.50	-90	HQ	1.4	1.4	CAJAN° 08	100%	54%	63	II BUENA	
	23.50	25.10	-90	HQ	1.6	1.6	CAJAN° 09	100%	56%	53	III REGULAR	
	25.10	26.70	-90	HQ	1.6	1.6	CAJAN° 09	100%	28%	63	II BUENA	
	26.70	27.90	-90	HQ	1.2	1.2	CAJAN° 10	100%	79%	76	II BUENA	
	27.90	29.50	-90	HQ	1.6	1.6	CAJAN° 10	100%	75%	78	II BUENA	
	29.50	31.00	-90	HQ	1.5	1.5	CAJAN° 11	100%	93%	69	II BUENA	
	31.00	32.60	-90	HQ	1.6	1.6	CAJAN° 11	100%	75%	55	III REGULAR	
	32.60	34.10	-90	HQ	1.5	1.5	CAJAN° 12	100%	80%	71	II BUENA	
	34.10	35.70	-90	HQ	1.6	1.6	CAJAN° 12	100%	59%	57	III REGULAR	
	35.70	37.10	-90	HQ	1.4	1.4	CAJAN° 13	100%	68%	64	II BUENA	
	37.10	38.70	-90	HQ	1.6	1.6	CAJAN° 13	100%	81%	74	II BUENA	
	38.70	40.10	-90	HQ	1.4	1.4	CAJAN° 14	100%	86%	74	II BUENA	

**Fuente:** Elaboración propia.

Según la clasificación geomecánica RMR, en la secuencia de materiales sueltos según la clasificación SUCS, se clasifican como suelos de tipo GW-GS, para el estrato rocoso está clasificado como roca de clase II a III, se clasifica como bueno a regular.

#### 4.4.3.3 Análisis de Permeabilidad Eje de Presa (Cauce de Río)

En el cauce del río se han efectuado perforaciones tales como la DPHH-02 Y DPHH-03, donde se ha considerado realizar prueba de permeabilidad en tramos iniciales conformado por suelos pruebas de permeabilidad Lefran, y en tramos rocosos pruebas de permeabilidad Lugeon, aproximadamente a cada 5 metros, esta medida es variable a condición de los trabajos de perforación.

Se presenta los cuadros resumen de la permeabilidad de las perforaciones:

**Tabla 16.**

*Resumen de permeabilidad de pozo DPHH-02.*

ITEM	SONDAJE	NORTE	ESTE	COTA	ANGULO	PROFUNDIDAD	LUGEON		ZONIFICACION UNIDADES LUGEON (OLIVEIRA 1985)		ZONIFICACION PERMEABILIDAD	
							INICIO	FIN	U.LUGEON	ZONA	PERMEABILIDAD	clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)
1	DHPH-02	8349548	235986	4028	_90	46.2	16.60	17.60	6.3	Z I	1.51E-04 cm/s	Desfavorable
2							24.00	25.20	4.7	Z I	1.21E-04 cm/s	Desfavorable
3							30.00	31.20	943.3	Z I	2.42E-02 cm/s	Muy Desfavorable
4							34.80	35.80	0.6	Z III	1.33E-05 cm/s	Muy Favorable
5							39.20	40.20	3.1	Z I	7.36E-05 cm/s	Desfavorable
6							45.00	46.20	7.7	Z I	1.97E-04 cm/s	Desfavorable

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 17.**

*Resumen de permeabilidad de pozo DPHH-03.*

ITEM	SONDAJE	NORTE	ESTE	COTA	ANGULO	PROFUNDIDAD	PERMEABILIDAD (PROF.)		RESULTADOS DE
							LEFRAN CONSTANTE		LEFRAN CONSTANTE
							INICIO (m)	FIN (m)	
1	DHPH-03	8349576	236005	4028	_90	40.1	0.00	5.20	1.57E-01
2							0.00	9.20	1.59E-02
3							0.00	13.80	2.33E-02

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 18.**

*Resumen de permeabilidad de pozo DPHH-03.*

ITEM	SONDAJE	NORTE	ESTE	COTA	ANGULO	PROFUNDIDAD	LUGEON		ZONIFICACION UNIDADES LUGEON (OLIVEIRA 1985)		ZONIFICACION PERMEABILIDAD	
							INICIO	FIN	U.LUGEON	ZONA	PERMEABILIDAD	clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)
1	DHPH-03	8349576	236005	4028	_90	40.1	14.90	16.10	5.1	Z I	1.31E-04 cm/s	Desfavorable
2							20.90	22.10	274.0	Z I	7.02E-03 cm/s	Muy Desfavorable
3							25.50	26.10	0.7	Z III	1.77E-05 cm/s	Muy Favorable
4							29.80	31.00	5.7	Z I	1.47E-04 cm/s	Desfavorable
5							36.50	37.10	0.4	Z III	1.03E-05 cm/s	Muy Favorable
6							38.90	40.10	0.3	Z III	7.74E-06 cm/s	Muy Favorable

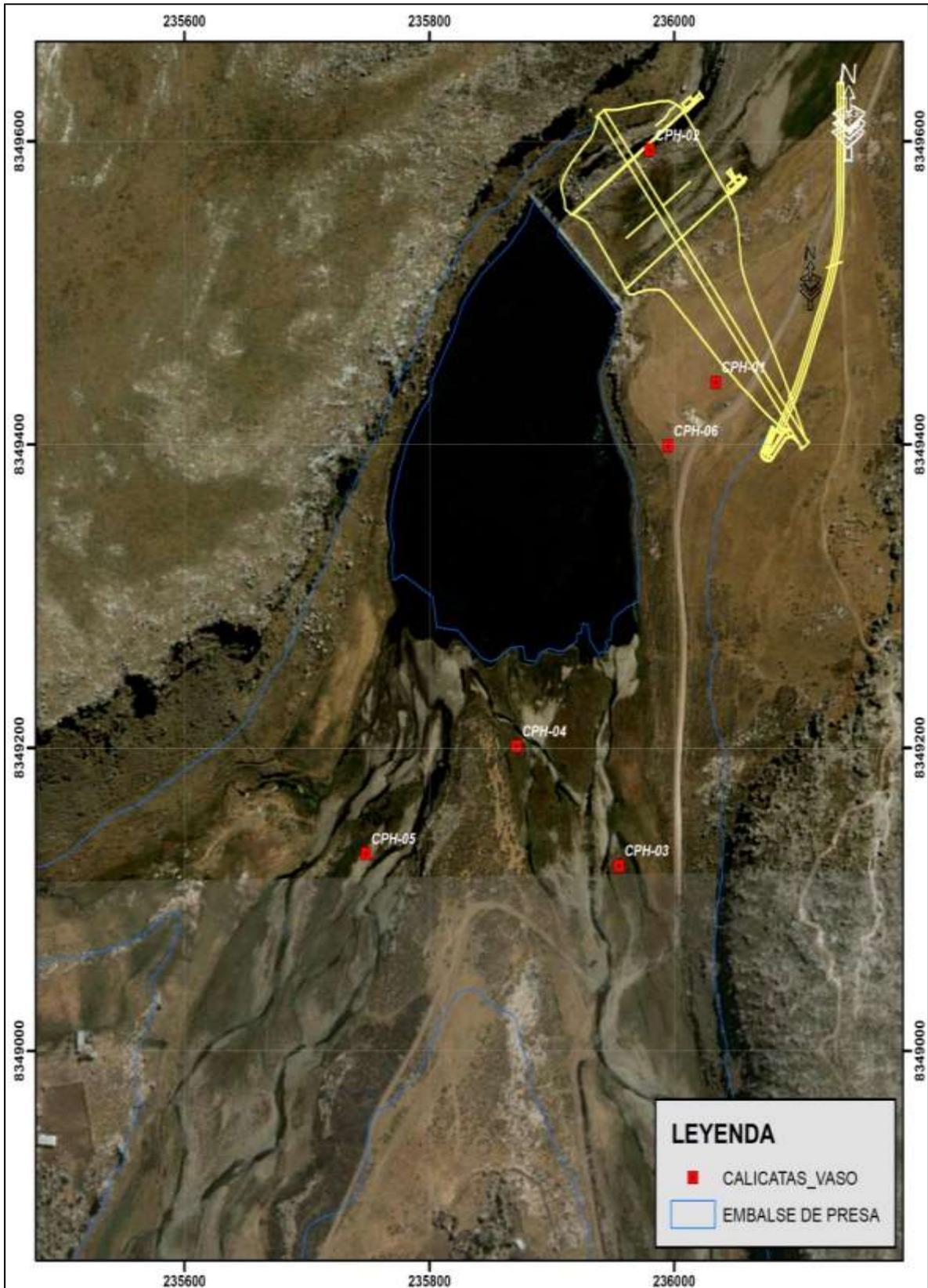
**Fuente:** Elaboración propia.

En los registros de la permeabilidad del sondaje DHPH-02, se realizaron pruebas de permeabilidad Lugeon, donde los valores de permeabilidad oscilan entre E-4 y E-5, es decir que presenta un zona casi impermeable, de acuerdo con la evaluación del sondaje DHPH-03, se realizaron dos tipos de pruebas, en la primera parte donde se tiene materiales sueltos se realizaron 03 pruebas de Lefran, en tramos donde se tienen materiales rocosos se realizaron 06 pruebas de permeabilidad donde las permeabilidades oscilan entre E-2 hasta los 13.80 metros de profundidad, también tenemos permeabilidades de E-3 a E-6 que se clasifican como impermeables a permeables.

#### **4.5 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL VASO DE LA PRESA.**

Para la evaluación del vaso de la presa se realizaron 06 calicatas distribuidos en la zona de vaso de presa, la distribución estuvo limitada por la accesibilidad a la zona del vaso de presa.

La evaluación de las calicatas se realizó principalmente para conocer las características de los suelos que conforman el vaso de la presa, así mismo la permeabilidad, realizándose pruebas de permeabilidad Lefran variable en los puntos CPH-01 y CPH-06 y pruebas de clasificación granulométrica, límites de consistencia y contenido de Humedad en las calicatas con códigos, CPH-01, CPH-02, CPH-03, CPH-04, CPH-05, CPH-06, estos trabajos se realizaron para la correlación del tipo de suelos con la permeabilidad.



**Figura 34.** Ubicación de calicatas en el Vaso de Presa.  
**Fuente:** Boletín 143-A Carta Geológica Nacional /Elaboración propia.

#### 4.5.1 Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.

En vaso de la presa se realizaron 06 calicatas de acuerdo al siguiente cuadro:

**Tabla 19.**

*Ubicación de calicatas en el vaso de presa.*

ÍTEM	CÓDIGO	ESTE	NORTE	COTA	PROFUNDIDAD (m)	FECHA	UBICACIÓN
1	CPH-01	236034	8349441	4041	1.50	27/05/2018	Vaso de presa
2	CPH-02	235980	8349594	4036	2.40	28/05/2018	Eje de presa
3	CPH-03	235955	8349122	4035	1.70	28/05/2018	Vaso de presa
4	CPH-04	235871	8349201	4035	1.40	28/05/2018	Vaso de presa
5	CPH-05	235748	8349130	4035	1.80	28/05/2018	Vaso de presa
6	CPH-06	235995	8349399	4040	1.30	27/05/2018	Vaso de presa

**Fuente:** Elaboración Propia

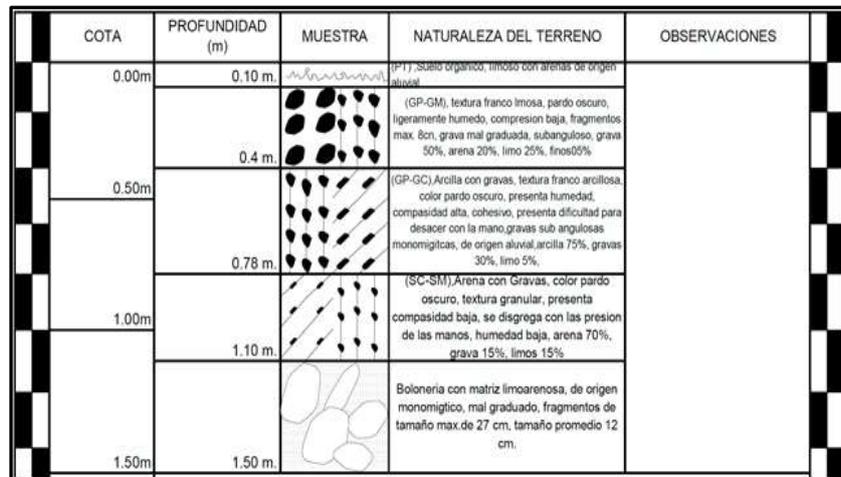
De acuerdo con los estudios, la descripción de campo y los análisis de laboratorio de suelos, se obtuvieron suelos de origen aluvial y fluvial, principalmente materiales de limo arenosos con gravas seguido de gravas arenosas de origen fluvial en la zona de cauce de río y a profundidad de entre 1.00 m. a 1.80 m., conformado por bolonería y bloques de roca, en la zona de cauce el nivel freático se presenta entre los 0.20 a 0.40 m., en la zona de margen derecho de vaso hasta los 1.50 m., no se encontró nivel freático, presentamos un cuadro con las características de los suelos por estrato:

**Tabla 20.**

*Clasificación de suelos SUCS, de las calicatas en la zona de vaso de presa.*

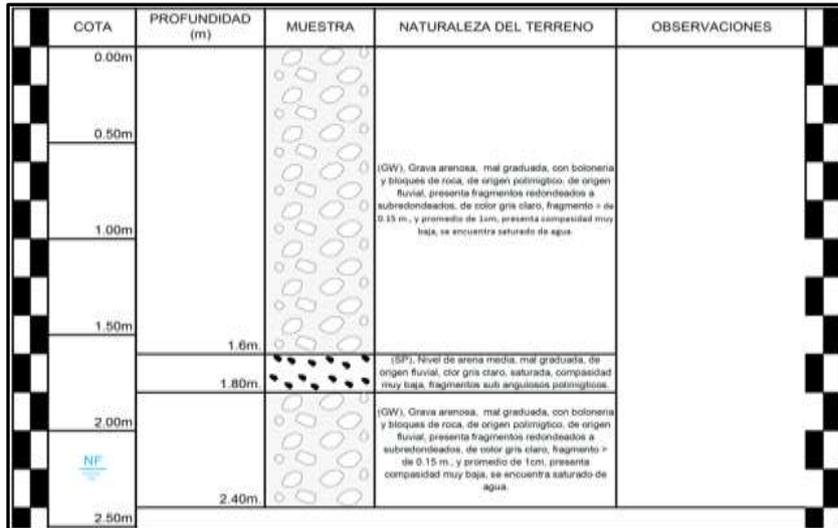
CODIGO	ESTE	NORTE	COTA	PROFUNDIDAD (m)	HORIZONTE	CLASIFICACION SUCS	POTENCIA DE ESTRATO		UBICACIÓN
							DESDE	HASTA	
CPH-01	236034	8349441	4041	1.50	A	PT	0.00	0.10	Vaso de presa
					B	GP-GC	0.10	0.40	
					C	SC-SM	0.40	0.78	
					D	BOLONERIA	0.78	1.50	
CPH-02	235980	8349594	4036	2.40	A	GW	0.00	1.60	Eje de presa
					B	SP	1.60	1.80	
					C	GW	1.80	2.40	
CPH-03	235955	8349122	4035	1.70	A	PT	0.00	0.20	Vaso de presa
					B	SP-SM	0.20	1.40	
					C	SP	1.40	1.70	
CPH-04	235871	8349201	4035	1.40	A	PT	0.00	0.10	Vaso de presa
					B	GP-GM	0.10	0.90	
					C	SP	0.90	1.40	
CPH-05	235748	8349130	4035	1.80	A	PT	0.00	0.10	Vaso de presa
					B	GP-GM	0.10	1.10	
					C	SP	1.10	1.50	
					D	GP	1.50	1.80	
CPH-06	235995	8349399	4040	1.30	A	PT	1.80	0.10	Vaso de presa
					B	GM-GC	0.10	0.60	
					C	GP-GC	0.60	1.10	
					D	BOLONERIA	1.10	1.30	

**Fuente:** Elaboración propia.

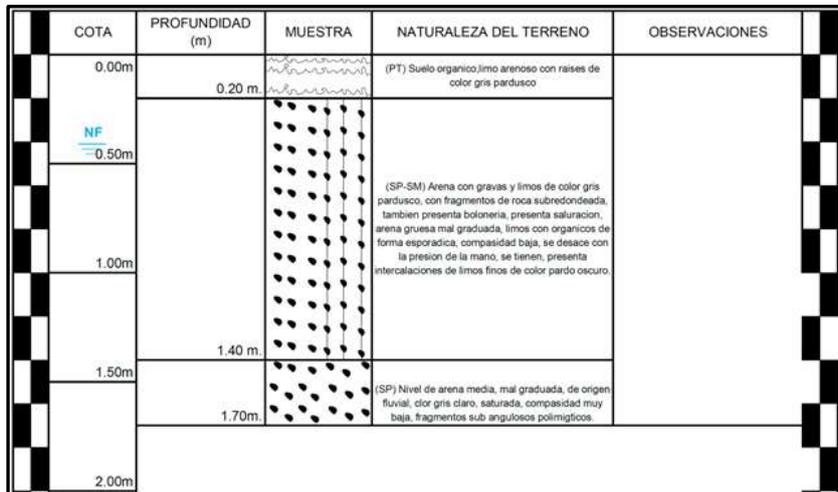


**Figura 35.** Perfil estratigráfico de la calicata CPH-01.

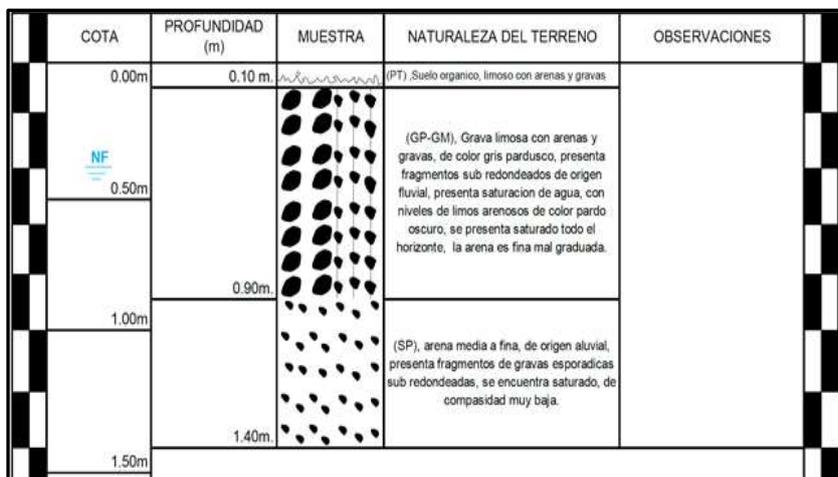
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 36.** Perfil estratigráfico de la calicata CPH-02.  
**Fuente:** Elaboración propia.

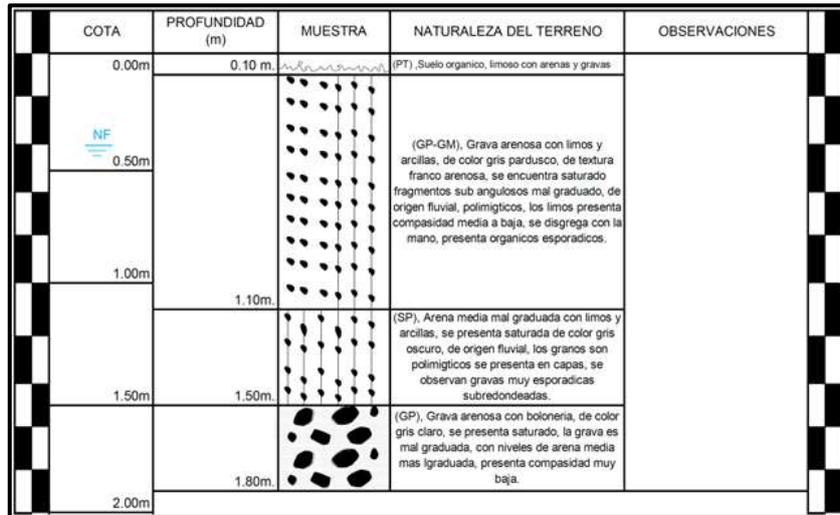


**Figura 37.** Perfil estratigráfico de la calicata CPH-03.  
**Fuente:** Elaboración propia.



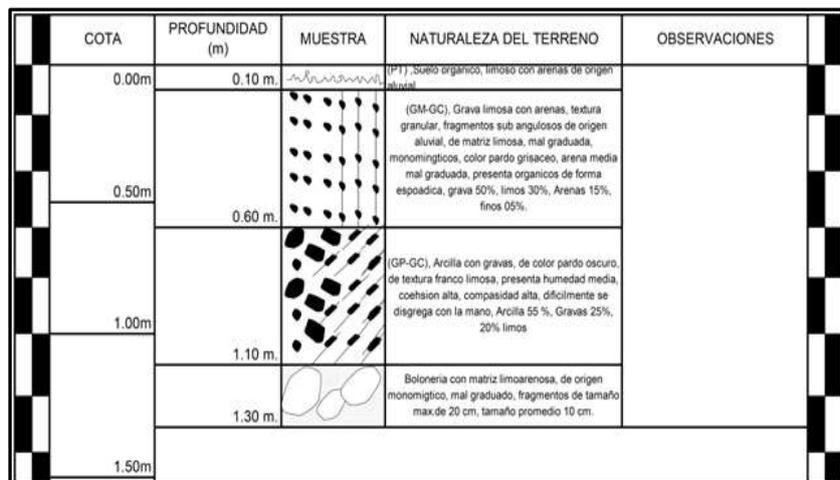
**Figura 38.** Perfil estratigráfico de la calicata CPH-04.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 39.** Perfil estratigráfico de la calicata CPH-05.

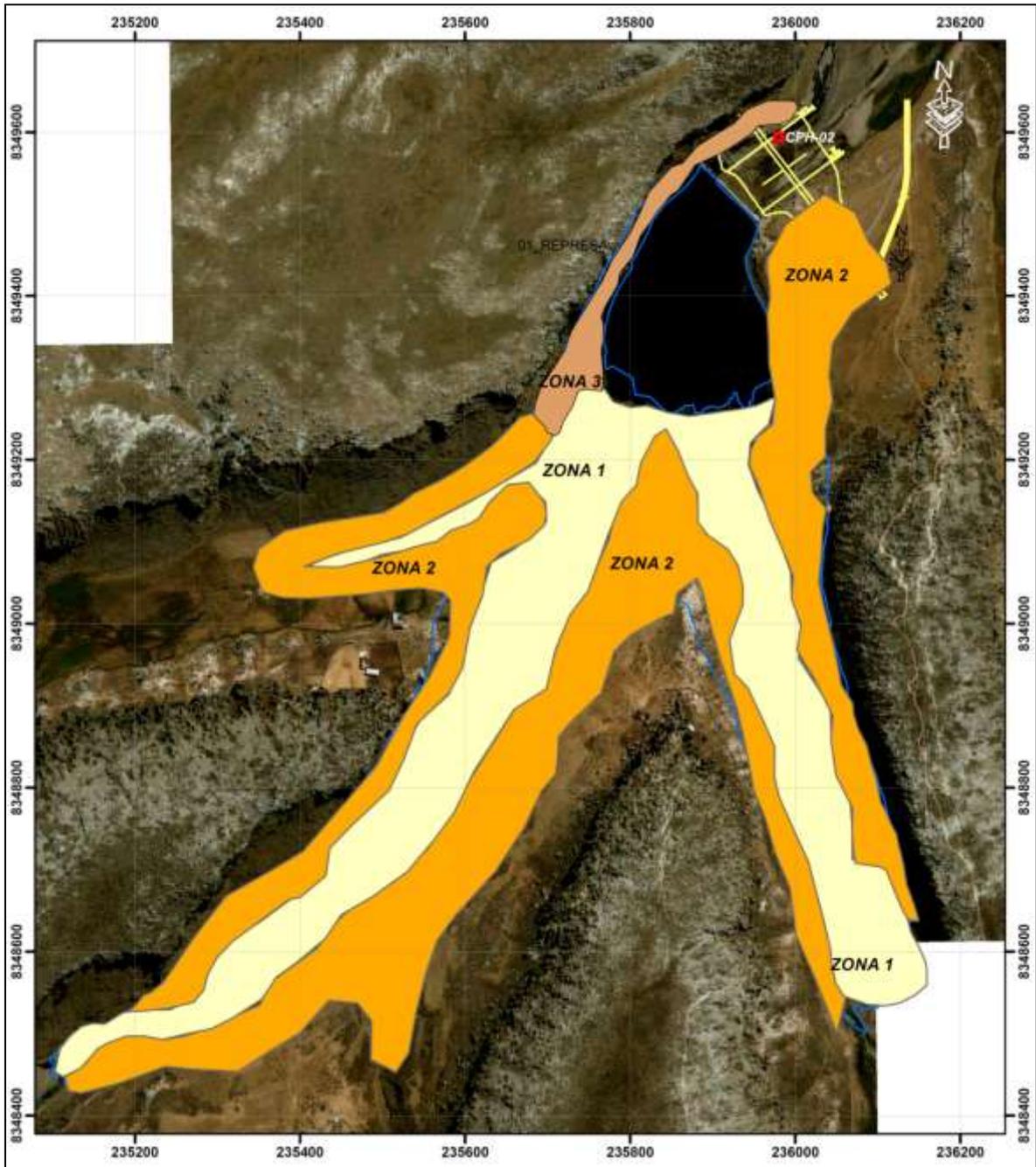
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 40.** Perfil estratigráfico de la calicata CPH-06.

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a los estudios y a la interpretación del área de trabajo, se han determinado 3 zonas específicas, donde la predominancia de los suelos está determinada en términos generales de acuerdo con la geología, la geomorfología y las investigaciones in situ de la zona del vaso de presa, teniendo las siguientes:



**Figura 41.** Zonificación de materiales en la zona de vaso de presa.  
**Fuente:** Boletín 143-A Carta Geológica Nacional / Elaboración propia.

**ZONA 1:** Corresponde a la zona de planicie de inundación, conformado por gravas arenosas predominantemente, a partir de los 1.50 m. se presentan mayor concentración de bolonería y bloques de roca, son materiales sueltos y de baja cohesión con compacidad nula o muy baja, se encuentran saturados de agua, con un coeficiente de permeabilidad aproximada de 0.05 a 0.3 k(cm/s).

**ZONA 2:** Corresponde a los depósitos de origen aluvial, conformado principalmente por limos arenosos con gravas en algunos casos, se presenta principalmente en la unidad geomorfológica de laderas bajas, colinas bajas y depósitos en planicies, en algunos sectores subyacen a estas formaciones con zonas de arcillas con gravas muy cohesivas de color pardo oscuro, seguido de bolonería y bloques de roca de origen coluvial; tiene un rango de permeabilidad de  $5 \times 10^{-5}$  a  $10^{-4}$ . k(cm/s).

**ZONA 3:** De acuerdo con la geología, esta zona corresponde a materiales conformados por bloques de roca y de matriz limo arenosa poco compactas, con una porosidad alta, los fragmentos son angulosos de origen morrenicos, con bloques de roca monomítica, con una permeabilidad muy baja, de acuerdo con la tabla de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos presentaría una permeabilidad de 0.2 a 1 k(cm/s).

Se realizó una clasificación de la permeabilidad de los materiales encontrados en las calicatas realizadas en zona de vaso de presa, realizados en función de la tabla de rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos.

**Tabla 21.**

*Rango de valores de permeabilidad según la clasificación de los suelos.*

CODIGO	ESTE	NORTE	COTA	PROFUNDIDAD (m)	HORIZONTE	CLASIFICACION SUCS	POTENCIA DE ESTRATO		COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K (CM/S)	UBICACIÓN
							DESDE	HASTA		
CPH-01	236034	8349441	4041	1.50	A	PT	0.00	0.10	10-4 - 10-3	Vaso de presa
					B	GP-GC	0.10	0.40	0.05-0.3	
					C	SC-SM	0.40	0.78	10-3 - 0.1	
					D	BOLONERIA	0.78	1.50	=	
CPH-02	235980	8349594	4036	2.40	A	GW	0.00	1.60	0.05-0.3	Eje de presa
					B	SP	1.60	1.80	10-3 - 0.1	
					C	GW	1.80	2.40	0.05-0.3	
CPH-03	235955	8349122	4035	1.70	A	PT	0.00	0.20	10-4 - 10-3	Vaso de presa
					B	SP-SM	0.20	1.40	$5 \times 10^{-5}$ - 0.2	
					C	SP	1.40	1.70	10-3 - 0.1	
CPH-04	235871	8349201	4035	1.40	A	PT	0.00	0.10	10-4 - 10-3	Vaso de presa
					B	GP-GM	0.10	0.90	0.05-0.3	
					C	SP	0.90	1.40	10-3 - 0.1	
CPH-05	235748	8349130	4035	1.80	A	PT	0.00	0.10	10-4 - 10-3	Vaso de presa
					B	GP-GM	0.10	1.10	0.05-0.3	
					C	SP	1.10	1.50	10-3 - 0.1	
					D	GP	1.50	1.80	0.2-1	
CPH-06	235995	8349399	4040	1.30	A	PT	1.80	0.10	10-4 - 10-3	Vaso de presa
					B	GM-GC	0.10	0.60	0.05-0.3	
					C	GP-GC	0.60	1.10	$\geq 1$	
					D	BOLONERIA	1.10	1.30	=	

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 42.** Pruebas de permeabilidad en las calicatas.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

- 1) Geológicamente la zona donde se emplaza la presa Huayllumayo, está conformada por rocas del cenozoico – paleógeno- mioceno del grupo Barroso, constituido por una litología de tobas ignimbríticas y suprayaciendo a esta formación, se emplazan secuencias de materiales sueltos gravas arenosas, gravas limosas que tienen una potencia de 1.60 hasta 19.20 metros
- 2) Estructuralmente no presenta fallas locales que puedan afectar la estabilidad de la presa, según los estudios están en una etapa de tranquilidad tectónica, la falla regional de mayor relevancia está ubicada es la falla Tiscoi que se encuentra ubicada al nor-este, de la zona de presa, se resalta la formación de abundantes completos volcánicos en el ámbito regional.
- 3) La geodinámica de la zona de estudio se presenta activa, en la zona de estudio se hace referencia al margen derecho del eje de presa donde está conformado por materiales morrenicos, coluviales de poca compacidad de fragmentos angulosos que representa caída de talud.
- 4) La zona del vaso y eje de presa corresponde a un tipo de valle maduro, lo que por su extensión y geomorfológica representa una zona ideal para la acumulación del recurso hídrico de esta forma, la tipología de presa planteada se ajusta con las condiciones geomorfológicas del cierre de presa.
- 5) Se realizaron 05 puntos de perforación diamantina haciendo un total de 187.5 metros lineales, dividiéndose en tres amplios sectores: estribo izquierdo, estribo derecho y eje de presa con los siguientes resultados: Litología o tipo de rocas donde predominan rocas volcánicas ignimbríticas masivas y homogéneas, con fracturamiento moderado a fuerte, con zonas de gravas arenosas y con bloques de roca; los índices de permeabilidad en la zona de estudio van desde desfavorables a muy favorables y según la clasificación geomecánica de Bieniawsky es de regular a muy buena.
- 6) Se realizaron 06 calicatas distribuidas en el vaso de presa y eje de presa para la caracterización de los materiales superficiales, para conocer la permeabilidad de la zona de presa, presentando una litología que va desde grava arenosa de baja cohesión con bastante pedronería ignimbríticas hasta limos arenosos; en cuanto a su permeabilidad, está dentro del rango de desfavorable y muy favorable.

## RECOMENDACIONES

- 1) En el proceso del diseño de la presa Huayllumayo se deberá considerar la posibilidad implementación de inyecciones de impermeabilización, teniendo en cuenta los últimos adelantos en materia de impermeabilización de cimentaciones.
- 2) De acuerdo con los estudios, se recomienda realizar una compactación del material que se presenta a profundidad (roca meteorizada) y de los suelos de constituidos principalmente por gravas arenosas con clastos rocosos englobados en matriz de finos limo-arcillosos, y adoptar medidas de impermeabilización en toda el área de influencia del eje proyectado.
- 3) Conforme se puede observar en los ensayos de permeabilidad de las perforaciones diamantina, en los sectores de la cimentación de la presa (estribos izquierdo y derecho y cauce del río) se presentan coeficientes que oscilan entre  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$  cm/seg., lo cual indica una elevada permeabilidad, constituyendo esta situación en un problema evidente de filtraciones e inestabilidad en la cimentación de la presa, motivo por el cual, se recomienda que en el proceso de diseño de la presa se generen estructuras de impermeabilización, así como de consolidación de la cimentación que contrarresten la presencia de los fenómenos desestabilizadores.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, J. El ensayo de Lugeon y su interpretación. Revista de la Universidad de La Salle, 1991, 18, 139-150. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls/vol1991/iss18/16/>
- ARELLANO, J. Estudio Geotécnico para la Construcción de la Presa Tinkiccocha – Apurímac. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2014. 194 pp. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/5405>
- BIENIAWSKI, Z. Clasificación R.M.R. (Rock Mass Rating). 13. s.l.: 1, 1989.
- CASTILLO, R. Modelos de filtraciones para el aseguramiento hídrico de Presas. Tesis (Maestro en Ciencias de la Tierra con Mención en Geotecnia). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2020. 158 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/11942>
- CAYETANO, A. Caracterización del macizo rocoso con sondaje diamantino en el proyecto del tajo norte de la Compañía Minera Buenaventura S.A.A. el Brocal. Colquijirca - Pasco, 2019. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019. 116 pp. Disponible en: [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1726/1/T026\\_46930724\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1726/1/T026_46930724_T.pdf)
- GONZÁLEZ, A. Estudio geológico y geotécnico para el diseño de Embalse Catemu, Región de Valparaíso, Chile. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Concepción: Universidad de Concepción. 2019, 88 pp. Disponible en: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/293>
- GUTIÉRREZ, I. Determinación de la permeabilidad de Roca para el control de flujo de aguas subterráneas de la relavera Huancapetí en la cuenca del río Sipchoc- Recuay Ancash". Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2016. 129 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3280>
- HERNÁNDEZ, R. y MENDOZA, C. Metodología De la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: Mc Graw Hill, 2018. 753 pp. ISBN 1456261983.
- INGEMMET. Geología del cuadrángulo de Condorama, hoja 31-t - [Boletín A 143]. Lima. 2011. Disponible en: <https://repositorio.ingemet.gob.pe/handle/20.500.12544/105>
- JENKS, W. Geología de la Hoja de Arequipa al 200,000. Geology of the Arequipa Quadrangle of the Carta Nacional del Peru. Ministerio de Fomento: Instituto de

- Geología del Perú. Boletín 9. Lima, 1948. 250 pp. Disponible en:  
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2807>.
- MENDOZA C. Estudio geológico y geotécnico para el diseño de Embalse Catemu, Región de Valparaíso, Chile. Disponible en  
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3293951>.
- NUJJOO, I. Cuánta agua hay en la tierra [En línea] 2022. [Citado el: 26 de Julio de 2022.] Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/sabias-que-solo-0025-agua-tierra-es-potable-infografia-fundacion-aquae>.
- PACOMPIA, J. Evaluación Geológica y Geotécnico para la construcción de la Presa Chonta – Cajamarca. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2014. 163 pp. Disponible en:  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2422>
- VEGA, D. Evaluación geológica y geotécnica para el estudio de factibilidad de la construcción de la presa Totoraccocha provincia de Acobamba, departamento de Huancavelica. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. 132 pp. Disponible en:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9725>
- VARA, A. Desde la idea hasta la sustentación: 7 pasos para una tesis exitosa: Lima: Universidad San Martín de Porres, 2012. 451 pp. Disponible en:  
<https://institutorambell.blogspot.com/2021/03/desde-la-idea-hasta-la-sustentacion.html>