

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO DE LA PRESA DE  
TIERRA COTACHACA DISTRITO CRUCERO – CARABAYA”**

**TESIS**

PRESENTADA POR EL BACHILLER:

**JULBER LLANOS NINA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO - PERÚ**

**2013**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**“ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO DE LA PRESA DE  
TIERRA COTACHACA DISTRITO CRUCERO - CARABAYA”****TESIS**

PRESENTADA POR BACHILLER:

**JULBER LLANOS NINA****PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO GEÓLOGO**

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

Presidente : M.Sc. HECTOR RAUL MACHACA CONDORI

Primer miembro : Ing. JUAN FREDY CALLA FERNANDEZ

Segundo miembro : Ing. RUTH LUCY QUISPE SANDOVAL

Asesor de Tesis : M.Sc. ERNESTO SAMUEL MACHACCA HANCCO

PUNO – PERU

2013

AREA: Planificación y estrategias para el desarrollo regional

TEMA. Estudio geotécnicos y geodinámicos

## INDICE

Dedicatoria	
Agradecimientos	
Lista de figuras	
Lista de cuadros	
Lista de siglas	
<b>CAPITULO I</b>	
INTRODUCCION.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. HIPÓTESIS.....	4
1.5. OBJETIVOS.....	4
1.6. METODOLOGIA.....	5
<b>CAPITULO II</b>	
MARCO TEORICO.....	6
2.1. ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS.....	6
2.2. MECANICA DE ROCAS.....	10
2.2.1. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso.....	10
2.2.2. Índice de Calidad de Roca.....	12
2.3. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD.....	13
2.3.1. Ensayo de Lefranc.....	13
2.3.2. Ensayo de Lugeon.....	13
2.4. CIMENTACIONES EN ARCILLAS EXPANSIVAS.....	14
2.5. CIMENTACIONES EN SUELOS COLAPSABLES.....	14
2.6. CIMENTACIONES EN RELLENOS.....	14
2.7. CIMENTACIONES EN ROCAS.....	14
2.8. CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO.....	15
2.9. PRESAS.....	15
2.9.1. Clasificación de presas.....	16
2.9.2. Emplazamiento.....	20
2.9.3. Utilidades de la presa.....	20
2.10. INTEMPERISMO.....	20
2.11. GEODINAMICA EXTERNA.....	21
2.11.1. Grado de Meteorización.....	21
2.11.2. Procesos de Meteorización.....	21
2.11.3. Meteorización de Matriz Rocosa.....	21
2.11.4. Grado de Fracturamiento.....	22
2.11.5. Grado de Alteración.....	22
2.11.6. Movimiento de Masas.....	23
2.12. MARCO CONCEPTUAL.....	23
<b>CAPITULO III</b>	
CARACTERIZACION DEL AREA DE INVESTIGACION.....	27
3.1. GENERALIDADES.....	27
3.1.1. Ubicación del Area de Estudio.....	27
3.1.2. Extension.....	28
3.1.3. Acceso.....	29
3.1.4. Temperatura.....	29
3.1.5. Precipitación.....	31
3.1.6. Velocidad del Viento.....	31
3.1.7. Hidrología.....	33

3.1.7.1.	Determinacion de la Oferta Hidrica Superficial .....	33
3.2.	GEOMORLOGIA REGIONAL .....	36
3.2.1.	Cordillera Oriental .....	36
3.2.2.	Pre Cordillera de Carabaya.....	36
3.2.3.	Depresion Longitudinal Crucero Ananea Cojata.....	37
3.3.	GEOLOGIA REGIONAL.....	37
	PALEOZOICO .....	37
3.3.1.	Formacion Ananea (SD-a) .....	37
3.3.2.	Grupo Ambo (Ci-a).....	38
3.3.3.	Grupo Tarma (Cs-t).....	38
3.3.4.	Grupo Copacabana (Pi-c) .....	39
3.3.5.	Grupo Mitu (Ps-m).....	39
3.3.6.	Cuaternario.....	40
	MEZOSOICO .....	41
3.3.7.	Rocas Intrusivas.....	41
3.3.7.1.	Intrusivo Microdioritico (Nm-md) .....	41
3.4.	GEOMORFOLOGIA LOCAL .....	41
3.4.1.	Agentes y Factores del Modelamiento Geomorfologico.....	41
3.4.1.1.	Tectonicos .....	41
3.4.1.2.	Intrusivos.....	42
3.4.1.3.	Hidroclimaticos .....	42
3.4.1.4.	Eolicos.....	43
3.4.1.5.	Antropomorficos .....	43
3.4.2.	Unidades Geomorfologicas .....	43
3.4.2.1.	Sistema Antropico .....	43
3.4.2.2.	Sistema Lagunar Fluvial.....	45
3.4.2.3.	Sistema Sedimentario Intrusivo .....	46
3.5.	GEOLOGIA LOCAL .....	47
	ESTRATIGRAFIA LOCAL .....	47
	PALEOZOICO.....	47
3.5.1.	Grupo Tarma (Cs-t).....	47
3.5.2.	Grupo Copacabana (Pi-c) .....	48
	MEZOSOICO.....	48
3.5.3.	Intrusivo Microdioritico (Nm-md) .....	48
3.5.4.	Depósitos Cuaternarios.....	48
3.6.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	50
3.7.	SISMICIDAD .....	50
3.7.1.	Sismología .....	50
3.7.2.	Sismicidad Regional .....	50
3.7.2.1.	Sismicidad Histórica .....	51
3.7.3.	Evaluación de riesgo Sísmico .....	52
3.8.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL CUERPO DE LA PRESA DE TIERRA .....	53
3.8.1.	Estribo Izquierdo Cotachaca .....	53
3.8.2.	Estribo Derecho Cotachaca .....	54
3.8.3.	Área entre Estribos Cotachaca .....	54
3.9.	GEOTECNIA – ÁREA DE EMBALSE .....	55
3.9.1.	Investigaciones Geotécnicas Ejecutadas.....	55
3.10.	ESTANQUEIDAD .....	57
3.10.1.	Estanqueidad de Laderas del Embalse .....	57
3.11.	PERFILES ESTRATIGRÁFICOS DEL EJE DE PRESA - LAGUNA COTACHACA .....	58
	CAPITULO IV	
	ANALISIS Y EXPOSICION DE RESULTADOS.....	65
4.1.	ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN EN EL EJE DE PRESA .....	65
4.2.	CONDICIONES HIDROGEOLOGÍCAS .....	66

4.3.	CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO .....	66
4.4.	CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN ROCA .....	68
4.5.	PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN.....	73
4.6.	PERMEABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO (CUERPO DE PRESA COTACHACA).....	74
4.7.	CONDICIONES INGENIERO – GEOLÓGICA DEL EJE DE PRESA.....	78
4.8.	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (CANTERAS) Y FUENTES DE AGUA .....	80
4.8.1.	Clasificación Geomecánica .....	81
4.8.2.	Nivel Freático .....	81
4.8.3.	Descripcion de Canteras .....	81
4.8.3.1.	Cantera de Material para Relleno Compactado.....	81
4.8.3.2.	Cantera de Roca .....	84
4.8.3.3.	Fuente de Agua.....	86
4.8.3.4.	Diseño de Filtros .....	86
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
	Bibliografía.....	90

**ANEXOS**

- ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE LA ROCA
- ANALISIS GRANULOMETRICO DEL EJE DE PRESA
- ANALISIS GRANULOMETRICO DE CANTERA DE MATERIAL DE PRESTAMO
- ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DEL MATERIAL IMPERMEABLE
- PERFILES ESTRATIGRAFICOS DE LAS CALICATAS DEL EJE DE PRESA
- CERTIFICADO DE DESGASTE DE ROCA ABRASION LOS ANGELES
- CERTIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA
- PLANO 01: UBICACIÓN
- PLANO 02: TOPOGRAFICO
- PLANO 03: GEOLOGICO LOCAL
- PLANO 04: VISTA EN PLANTA DE LA PRESA
- PLANO 05: PERFIL LONGITUDINAL DE LA PRESA
- PLANO 06: SECCION TRANSVERSAL DE LA PRESA





### **DEDICATORIA**

*A mi querido padre Javier que descansa en la gloria de Dios, a mi madre Agustina por su apoyo y comprensión, a mi esposa e hijos: Julmer Jesús y Grendy Josué, a mis hermanas y hermanos por su apoyo incondicional y estímulo.*

## AGRADECIMIENTO

A Dios, señor de mi vida.

Agradezco a mi asesor Profesor M.cs. E. Samuel Machacca Hanco por la paciencia que tuvo, principalmente por la orientación y apoyo en los momentos difíciles sin los cuales la realización de este estudio no sería posible.

A los Docentes de Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno mi Alma Mater, quienes han contribuido en mi formación profesional.

Al Ing. Romily D. Paredes Benítez Jefe de la Supervisión Consorcio Hydraulic, quien me ha permitido laborar en su empresa y haber compartido sus conocimientos para realizar esta investigación.

A todas las personas que directa e indirectamente contribuyeron de alguna manera para que este trabajo pudiera ser realizado.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N° 01:</b> Ubicación política del área de investigación .....	28
<b>Figura N° 02:</b> Variación mensual de la temperatura media .....	30
<b>Figura N° 03:</b> Variación mensual de la temperatura máxima promedio .....	30
<b>Figura N° 04:</b> Variación mensual de la temperatura mínima promedio .....	31
<b>Figura N° 05:</b> Variación mensual de la precipitación .....	32
<b>Figura N° 06:</b> Variación mensual de la velocidad del viento .....	32
<b>Figura N° 07:</b> Oferta hídrica en el punto de interés: presa de tierra Cotachaca .....	34
<b>Figura N° 08:</b> Puntos de interés identificados en la microcuenca Molienda .....	35
<b>Figura N° 09:</b> Representación simplificada, influencia de la escala en el comportamiento del macizo rocoso - diseño de cimentaciones superficiales .....	68
<b>Figura N° 10:</b> Definición geométrica para determinación de presiones admisibles en roca por métodos analíticos simplificados .....	69
<b>Figura N° 11:</b> Curva granulométrica para diseño de filtros .....	87

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla N° 01:</b> Evaluación geomecánica RMR .....	65
<b>Tabla N° 02:</b> Valores de la constante $m_i$ de la roca intacta para distintos tipos de roca .....	73
<b>Tabla N° 03:</b> Valores típicos de permeabilidad de macizo rocoso .....	75



## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro N° 01:</b> Clasificación de macizo rocoso según el total de valuación (RMR) .....	12
<b>Cuadro N° 02:</b> Calidad de roca .....	13
<b>Cuadro N° 03:</b> Número de fracturas por metro lineal .....	22
<b>Cuadro N° 04:</b> Grado de alteración matriz rocosa .....	22
<b>Cuadro N° 05:</b> Coordenadas UTM del área de estudio .....	28
<b>Cuadro N° 06:</b> Vías de acceso .....	29
<b>Cuadro N° 07:</b> Información utilizada para la generación de caudales .....	33
<b>Cuadro N° 08:</b> Caudal medio multianual y rendimiento hídrico estimados .....	33
<b>Cuadro N° 09:</b> Oferta hídrica en el punto de interés: presa de tierra Cotachaca .....	33
<b>Cuadro N° 10:</b> Unidades geomorfológicas .....	45
<b>Cuadro N° 11:</b> Parámetros sísmicos de diseño .....	52
<b>Cuadro N° 12:</b> Características geotécnicas estribo izquierdo .....	53
<b>Cuadro N° 13:</b> Características geotécnicas estribo derecho .....	54
<b>Cuadro N° 14:</b> Características geotécnicas área entre estribos .....	54
<b>Cuadro N° 15:</b> Clasificación geomecánica RMR estribo izquierdo .....	66
<b>Cuadro N° 16:</b> Clasificación geomecánica RMR estribo derecho .....	66
<b>Cuadro N° 17:</b> Clasificación geomecánica RMR de roca, parámetros y su valoración .....	67
<b>Cuadro N° 18:</b> Ensayo de compresión simple de la roca eje de presa Cotachaca .....	72
<b>Cuadro N° 19:</b> Condiciones Ingeniero Geológica Eje de Presa Cotachaca .....	79
<b>Cuadro N° 20:</b> Evaluación geotécnica de la cimentación eje de presa Cotachaca .....	80
<b>Cuadro N° 21:</b> Características físico mecánicas del material para relleno compactado .....	83
<b>Cuadro N° 22:</b> Parámetros hidráulicos de la presa de tierra Cotachaca .....	84

**LISTA DE SIGLAS**

<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials.
<b>SUCS</b>	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
<b>AASTHO</b>	: American Association of State Highway Officials.
<b>NPT</b>	: Norma Técnica Peruana.
<b>MTC</b>	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
<b>RMR</b>	: Rock Mass Rating.
<b>RQD</b>	: Rock Quality Designation.
<b>MMC</b>	: Millones de Metros Cúbicos.
<b>UTM</b>	: Unidad Transversal Mercator.
<b>PELT</b>	: Proyecto Especial Lago Titicaca.
<b>INGEMMET</b>	: Instituto Geológico Minero Metalúrgico.
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>CSIR</b>	: Congreso Internacional Sudafricano de Mecánica de Rocas.
<b>USBR</b>	: Department of the Interior del Bureau of Reclamation.
<b>SRF</b>	: Factor de Reducción por Tensiones.
<b>NAMO</b>	: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias.
<b>NAME</b>	: Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias.
<b>NAMIN</b>	: Nivel de Aguas Mínimas.
<b>Mpa</b>	: Megapaskales

## RESUMEN

El estudio Geológico Geotécnico para la construcción de la presa de tierra consiste esencialmente en la caracterización geológica geotécnica y el análisis de los materiales que constituirán para su construcción, esta ubicado en el Departamento de Puno, Provincia de Carabaya Distrito de Crucero con una variación altitudinal de 4,675 a 4,680 m.s.n.m. Las condiciones geológicas del área de estudio señalan: en el cuerpo de la presa presenta afloramientos rocosos del Grupo Copacabana conformado por calizas de color gris con presencia de óxidos de hierro y en la parte superficial compuesto por depósitos cuaternarios coluviales, fluvio-aluviales y bofedales, aguas arriba de la laguna Cotachaca se observa afloramientos del Grupo Tarma constituidos por areniscas, limoarcilitas y calizas micríticas de proporción muy variable y aguas abajo de la presa donde se va a ejecutar, se encuentra el Intrusivo Microdiorito compuesto por cristales de color verduzco además con una ligera cloritización, seritización, débil argilitización y una incipiente epidotización. Las condiciones geotécnicas tiene las siguientes valuaciones: en el estribo izquierdo se tiene una clasificación RMR 36, tipo de roca IV roca mala y para el estribo derecho se tiene una clasificación RMR 35, tipo de roca IV roca mala, por lo tanto se recomienda extraer toda la roca fracturada en ambos estribos hasta llegar a la roca intacta y conformar las cimentaciones de las diferentes estructuras hidráulicas que se van a construir en el cuerpo de la presa. El eje de la presa Cotachaca presenta de regular a buena las condiciones de sellado en el fondo de la cimentación. Los suelos predominantes en superficie del área del eje de la presa son: GM, GC (gravas bien gradadas con mezclas de gravas arcillosas). Mediante la evaluación geomecánica realizada se ha determinado que toda la estructura se cimentará sobre el basamento rocoso y la capacidad portante del área donde se va a fundar la cimentación ha sido calculada, basándose en el criterio de Mohr-Coulomb, en el estribo derecho tiene una capacidad portante de 4.32 Kg/cm<sup>2</sup> y en el estribo izquierdo la capacidad portante es 3.89 Kg/cm<sup>2</sup> según el método analítico desarrollado por Serrano y Olalla (2001). Las investigaciones geotécnicas de la cantera del material para relleno compactado del núcleo de presa presentan las siguientes características físico mecánicas: análisis granulométrico según clasificación SUCS; SC (arenas arcillosas), Límites de Consistencia; Límite Líquido 25.62, Límite Plástico 15.55 e Índice de Plasticidad 10.07 (plasticidad moderada), Proctor Modificado 1.92 gr/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 11.50 %, presenta un volumen de 17,000 m<sup>3</sup> para su explotación,

estos parámetros geotécnicos del material de relleno compactado para la conformación del núcleo de tierra y a su vez tendrá la función de impermeabilización del agua que va almacenar cumplen de acuerdo a las especificaciones técnicas para la construcción de presas de tierra, del mismo modo también se ha realizado la evaluación geomecánica de la cantera de roca donde presenta las siguientes características: su litología corresponde a una roca sedimentaria caliza de color gris con contenido de sílice en menor porcentaje que esta moderadamente meteorizadas con una clasificación geomecánica tipo III, calidad geomecánica Regular, presenta una pérdida inferior al 19.21 % de acuerdo al ensayo de Abrasión los Ángeles, tiene un volumen de 10.000 m<sup>3</sup> para explotar. Se plantea la construcción de una presa de tierra denominada Cotachaca ubicada a la salida de la laguna del mismo nombre, este punto tiene un área de 5.77 km<sup>2</sup> de cuenca colectora, tendrá la capacidad de almacenar un volumen muerto de 3.05 MMC y un volumen útil de 1.80 MMC, finalmente el volumen total que va almacenar será de 4.85 MMC. El caudal máximo de descarga por el vertedor es de 2.74 m<sup>3</sup>/s y el caudal máximo de descarga por la toma es de 0.136 m<sup>3</sup>/s. Con el presente proyecto se pretende atender la necesidad de abastecer agua de riego a 120 familias usuarias del sistema de riego Molienda, incorporando 148 hectáreas de terreno bajo riego, para un riego de 12 horas. Estos parámetros geotécnicos y características físico mecánicas de los suelos del área de estudio deben ser tomados en cuenta en los diseños de las obras civiles y que se sustentan con los resultados obtenidos In Situ con la finalidad de garantizar la estabilidad del cuerpo de la presa y estanqueidad de las aguas embalsadas en la presa de tierra.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

El ingeniero geotécnico se ocupa de estudiar los materiales naturales que se encuentran cerca de la superficie de la tierra. El suelo en el sentido ingenieril es un aglomerado de minerales, materia orgánica y sedimentos relativamente sin cohesión depositado sobre el lecho de roca. Los suelos se pueden romper o disgregar fácilmente, debido a sus constituyentes minerales o partículas orgánicas. Las rocas por el contrario tienen alta resistencia debido a la cohesión interna y fuerzas moleculares que mantienen unidos a sus granos y minerales constituyentes. Esto es cierto tanto si la roca constituye una estructura masiva firme como aquella que forma una partícula de grava embebida en un suelo arcilloso. En ingeniería se denomina presa a una barrera fabricada con piedra, concreto o materiales sueltos que se construye habitualmente en una quebrada o desfiladero sobre un río o arroyo con la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento, regadío, industria o para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego.

Para la construcción de la presa de tierra de la laguna Cotachaca se ha efectuado un estudio exhaustivo de la geología y geotecnia en el cual se determinan conclusiones y observaciones para tal efecto. El primer problema básico corresponde a las cimentaciones de las estructuras sin embargo en los diferentes casos, las condiciones de cimentación de las estructuras proyectadas están constituidas por afloramientos rocosos arenosos, limo-arcillitas y calcáreos micríticos. El segundo tema que surge es la elección de los posibles materiales que requieran las diferentes estructuras (materiales granulares, materiales impermeables y enrocado). Uno de los factores importantes aceptado en la práctica es que para que la solución sea viable, los materiales deben encontrarse a poca distancia y deben ser de buena calidad.

Las Investigaciones Geotécnicas han sido desarrolladas con el suficiente detalle que ha permitido establecer las condiciones actuales de la estratigrafía del suelo a lo largo del eje de presa y estructuras conexas, determinar los parámetros geotécnicos de la cimentación y las características físico mecánicas de los materiales de préstamo para relleno compactado del cuerpo de presa y las canteras de roca y filtros.

El presente estudio Geológico Geotécnico se centrará en el análisis de las propiedades relevantes de los materiales para la cimentaciones y préstamo, tratando de determinar los parámetros ó el rango de variabilidad de los mismos que sean determinantes, tanto en el diseño como en la construcción y funcionamiento de las diferentes estructuras.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las condiciones geotécnicas del material para la impermeabilización del núcleo de la presa de tierra y la determinación de las cargas admisibles de las estructuras hidráulicas junto a las condiciones geológicas del Grupo Tarma conformado litológicamente por contener una intercalación de areniscas, limoarcilitas y calizas micríticas, Grupo Copacabana conformada por calizas de color crema, gris oscuro y rojizo limoarcillitas calcáreas de color gris en las que se encuentran el basamento rocoso de la presa de tierra asociadas con fracturas y diaclasas del macizo rocoso; todos estos afloramientos están sujetos a alteraciones por las últimas glaciaciones que afectan la estabilidad del macizo rocoso, frente a estos álgidos problemas se plantea determinar soluciones eficientes mediante un mapeo geológico detallado en el área de estudio, determinar parámetros geotécnicos realizando ensayos de mecánica de suelos para evaluar sus propiedades físico mecánicas del material de impermeabilización y ensayos de mecánica de rocas para determinar la calidad y clasificación del macizo rocoso de esa forma solucionar las deficiencias como es el asentamiento diferencial del cuerpo de presa y las estructuras hidráulicas, se formula las siguientes preguntas.

1. ¿Cuáles son las condiciones geológicas y los parámetros geotécnicos para la construcción de la presa de tierra Cotachaca?
2. ¿Cuáles son las características físico mecánicas del material de cantera para la construcción del núcleo de la presa?

## 1.2. ANTECEDENTES

Como primera fase de elaboración del presente estudio se procedió a recopilar y evaluar la información existente para el desarrollo de la investigación. El 2012 el Proyecto Especial Lago Titicaca - PELT realiza el estudio denominado "Mejoramiento del Sistema de Riego Molienda" a nivel de ejecución, El 2008 la Municipalidad Distrital de Crucero formula el estudio a nivel de perfil del Proyecto: "Mejoramiento del Sistema de Riego Molienda, distrito de Crucero Carabaya Puno", el mismo que es declarado viable en fecha 11 de agosto de 2011.

En cuanto a estudios geológicos solo se puede mencionar el Boletín N° 84 a nivel regional que contiene el estudio del cuadrángulo de Limbani a escala 1:100,000 editado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico en el año 1996 (INGEMMET) no habiendo estudios geológicos a nivel local del ámbito de estudio.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

El mejoramiento de la estabilidad de los suelos y la impermeabilización del núcleo de la presa de tierra que va a represar agua de la laguna Cotachaca ha sido una problemática actual que atiende a diversos requerimientos tales como un estudio detallado de las formaciones geológicas existentes en la zona, como también un análisis certero de la mecánica de suelos del material impermeable para la construcción de la presa y mecánica de rocas para el cálculo de capacidad portante de la roca del terreno de fundación de las estructuras hidráulicas que se van a construir, todos estos componentes a desarrollar se deben a la escasa información y resultados técnicos, debido a ello este trabajo de investigación se propone a realizar estudios más detallados acerca de la geología y la geotecnia de la zona de embalse basándose en herramientas e instrumentos necesarios para satisfacer las inquietudes de parte del investigador y obtener resultados eficaces y veraces, con todos estos resultados obtenidos en campo se darán soluciones ingenieriles con datos técnicos para que no vuelva a repercutir los problemas de siempre como es el asentamiento diferencial de las estructuras hidráulicas que va a funcionar a lo largo del tiempo.

Con el presente proyecto se pretende atender la necesidad de abastecer agua de riego a 120 familias usuarias del sistema de riego, incorporando 148 hectáreas de terreno bajo riego y para garantizar la sostenibilidad del proyecto se plantea actividades de capacitación, las cuales aseguran la eficiencia y eficacia en cada una de las etapas de los procesos productivos, además permitirá una correcta operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.

La construcción de la presa de tierra Cotachaca permitirá almacenar un volumen total del embalse de 4.85 MMC, el volumen útil será de 1.80 MMC de agua, el caudal máximo de descarga por el vertedor es de  $2.74 \text{ m}^3/\text{s}$  y el caudal máximo de descarga por la toma es de  $0.136 \text{ m}^3/\text{s}$  para un riego de 12 horas, y ser utilizados en épocas de estiaje, con una adecuada conducción y distribución en la zona requerida.

En los siguientes capítulos se verán los procedimientos de cálculo desarrollados en la etapa de investigación con la finalidad de garantizar la parte técnica ingenieril. La planificación detallada y los planes de contingencia ante cualquier evento externo al proyecto hacen que se obtengan proyectos exitosos. Los problemas se pueden resolver en campo, pero tendrán una mejor y mayor respuesta si estos problemas han sido identificados en el transcurso del tiempo del proyecto de investigación.

## 1.4. HIPÓTESIS

### Hipótesis General

Es posible evaluar las condiciones geológicas y determinar los parámetros geotécnicos para la construcción de la presa de tierra Cotachaca – Crucero.

### Hipótesis Específicos

1. Es factible evaluar las condiciones geológicas del área de embalse de la laguna Cotachaca y el eje de la presa de tierra.
2. Sera probable determinar los parámetros geotécnicos del eje de la presa y de las canteras de suelo y roca para la construcción de la presa de tierra Cotachaca.

## 1.5. OBJETIVOS

### Objetivo General

Evaluar las condiciones geológicas y los parámetros geotécnicos para la construcción de la presa de tierra Cotachaca.

### Objetivos Específicos

1. Identificar las condiciones geológicas del área del embalse de la laguna Cotachaca y del eje de presa de tierra.
2. Determinar los parámetros geotécnicos del eje de la presa y de las canteras de suelo y roca para la construcción de la presa de tierra de la laguna Cotachaca.

Para este propósito se realizara siguientes trabajos en la zona de embalse:

- Recopilación de antecedentes del proyecto
- Información geológica
- Información de parámetros geotécnicos
- Información de trabajos e campo
- Interpretación de los ensayos de laboratorio
- Información de propiedades físico mecánicos de los suelos
- Descripción del perfil estratigráfico
- Elaboración de planos.



## 1.6. METODOLOGÍA

El desarrollo del presente trabajo de investigación es analítico, descriptivo y experimental en base a la información obtenida del trabajo de campo y laboratorio.

### a. Trabajo de campo

Para cumplir con el objetivo de esta investigación, se han efectuado las siguientes actividades:

- Recopilación, análisis y síntesis de la información existente.
- Reconocimiento de campo.
- Mapeo geológico del área de trabajo.
- Ejecución de calicatas donde se proyecta a construir la presa.
- Toma de muestras en las calicatas ejecutadas.
- Toma de muestra de roca para ensayo por compresión simple.
- Conteo de fracturas por metro lineal para calcular del RQD.
- Descripción de datos estratigráficos de las calicatas.

### b. Laboratorio

- Obtención de resultados de análisis granulométrico y límites de consistencia de los suelos muestreados.
- Obtención de la Densidad Natural y Densidad Húmeda de los suelos.
- Determinación del Proctor Modificado.
- Determinación cuantitativa de sulfatos solubles del agua.
- Determinación del ensayo por compresión simple de la roca.

### c. Trabajo de Gabinete

- Cálculo de resultados de análisis granulométrico y límites de consistencia.
- Cálculo de resultados del ensayo de Proctor Modificado.
- Análisis e interpretación de resultados obtenidos mediante laboratorio.
- Elaboración de perfiles estratigráficos.
- Descripción de las muestras de rocas.
- Elaboración de planos y mapas del área de estudio.
- Redacción del informe final.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

#### MARCO TEORICO

##### 2.1. ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

Los ensayos de laboratorio plantean el inconveniente de que tenemos que suponer que la muestra que ensayamos es representativo del total del suelo y que se encuentra todo el suelo en el mismo estado.

Los ensayos de laboratorio más comunes con el propósito de conseguir los objetivos indicados que se realizan en el reconocimiento geotécnico de un terreno donde se va a ubicar las estructuras hidráulicas son los siguientes:

##### Ensayos de Identificación

- Guía de muestreo de suelos y rocas	MTC E101-2000	
-Análisis Granulométrico por tamizado	ASTM-D-422	MTC E107-2000
-Limite Liquido	ASTM-D-423	MTC E110-2000
-Limite Plástico	ASTM-D-424	MTC E111-2000
-Contenido de Humedad	ASTM-D-2216	MTC E108-2000
-Ensayo de Proctor Modificado	ASTM-D-1557	MTC E115-2000
-Clasificación ASSTHO Y SUCS	ASTM-D-2487	

Los ensayos de identificación son aquellos que van a permitir caracterizar el suelo y su comportamiento en términos generales.

##### Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Según se indica en la norma (ASTM-D-422 MTC E107-200) este ensayo tiene por objeto determinar los diferentes tamaños de las partículas de un suelo y obtener la cantidad expresada en tanto por ciento de éstas que pasan por los tamices de la serie empleada en el ensayo hasta el 0.08 mm (tamiz N° 200 ASTM).

En cuanto a la cantidad de muestra necesaria para efectuar este ensayo la norma establece la cantidad mínima de muestra a ensayar para que sea representativa en función del tamaño máximo de partícula de la misma estando comprendida entre 0.5 y 5 Kg.

Mediante este ensayo se va a obtener la curva granulométrica del material ensayado para lo cual se procede a pasar la muestra previamente cuarteada por una serie de tamices con una luz de malla que puede ir desde los 100 hasta los 0.08 mm.

Tras el correspondiente vibrado que puede ser manual o automático se pesa la cantidad de material retenido en cada uno de los tamices calculándose así su tanto por ciento. Por último se dibuja la curva acumulada de lo que pasa por cada tamiz considerado, dando lugar a la curva granulométrica.

Para las partículas que pasan por el tamiz de luz 0.08 mm, lo que se suele denominar “finos” o “pasa”, no tiene sentido usar tamices con luces inferiores debido a que hace falta mucho tiempo para separar las partículas y a las dificultades de fabricación y mantenimiento de tamices tan finos. **(Terzaghi K. y Peck R.B. 1975).**

### **Límites de Consistencia**

Se trata en realidad de dos ensayos de laboratorio, el de “Determinación del Límite Líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande ASTM-D-423 MTC E110-2000” y el de “Determinación del Límite Plástico de un suelo ASTM-D-424 MTC E111-2000. Mediante estos dos ensayos se determinarán las propiedades plásticas del terreno permitiendo conocer su Límite Líquido, Límite Plástico y Índice de Plasticidad.

Estos ensayos se solicitan al laboratorio como uno solo bajo el nombre de “Límites de Consistencia” llevándose a cabo la realización de los dos. **(Terzaghi K. y Peck R.B. 1975).**

### **Humedad natural**

La realización de este ensayo viene regulada por la norma ASTM-D-2216 MTC E108-2000 “Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa”, según la cual tiene por objeto la determinación de la humedad de un suelo mediante secado en una estufa. **(Braja M. D. 2006).**

### **Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)**

Esta es la clasificación utilizada para agrupar los suelos en todos los trabajos geotécnicos y se basa en la granulometría del material y en su plasticidad. Es decir que para clasificar cualquier suelo, según esta clasificación necesitaremos haber efectuado los ensayos de Análisis Granulométrico y Límites de Consistencia para la clasificación del tipo suelo que se está ensayando.

La primera división que se realiza es la siguiente:

- Suelos de Grano Grueso: cuando pasa menos del 50 % en peso por el tamiz 200 (0.074 mm).
- Suelos de Grano Fino: cuando pasa más del 50 % en peso por el tamiz 200.
- Suelos de Estructura Orgánica: identificables por el olor, el color negrozco y el tacto esponjoso. Son suelos altamente compresibles (Pt)

Los suelos de grano grueso se dividen en:

- Gravas (G): cuando pasa menos del 50 % en peso por el tamiz N° 4 (5 mm).
- Arenas (S): cuando pasa más del 50 % en peso por el tamiz N° 4.

Además, las gravas y las arenas se pueden subdividir en más clases en función del contenido de finos:

Cuando el porcentaje en peso que pasa por el tamiz 200 es inferior al 5 % serán gravas o arenas limpias designándose con la segunda letra W o P (a continuación de G o S) en función de si están bien gradadas (W) o no (P). Para distinguir si se tratan de GW, SW o GP, SP se calcularán los siguientes índices:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Si  $Cu > 4$  y  $1 < Cc < 3$  es **GW** o **SW** mientras que si no se cumple alguna de las dos condiciones será **GP** o **SP**.

Cuando el porcentaje en peso que pasa por el tamiz 200 es superior al 12 % serán gravas o arenas con finos, designándose con la segunda letra M o C (a continuación de G o S) en función de la plasticidad de estos finos. Si su representación en la carta de Casagrande se sitúa por encima de la línea A o su índice de plasticidad es mayor que 7 serán **GC** o **SC**. Mientras que si cae por debajo de la línea A o bien su índice de plasticidad es menor que 4 serán **GM** o **SM**.

En el caso de que el porcentaje en peso de muestra que pasa por el tamiz 200 este será comprendido entre 5 y 12, se requiere doble símbolo sin posibilidad de definir entre uno u otro para su clasificación.

Para clasificar los suelos de grano fino se representan los resultados de la determinación de los Límites de Consistencia (Límite Líquido e Índice de Plasticidad) en la carta de

plasticidades de Casagrande. En dicho diagrama la muestra queda representada como un punto dentro de una de las zonas del diagrama. Estas zonas están identificadas por dos letras indicando la primera de ellas el tipo de material de que se trata:

- M: corresponde a limo inorgánico.
- C: corresponde a arcillas inorgánicas.
- O: corresponde a limos o arcillas de gran contenido orgánico.

La segunda letra hace referencia a su plasticidad de la siguiente manera:

- L: indica baja plasticidad cuando el límite líquido de la muestra es inferior a 50.
- H: indica alta plasticidad, cuando el límite líquido de la muestra es superior a 50.

Observando la carta de plasticidades de Casagrande, se puede observar una zona de indefinición entre los valores de índice de plasticidad 4 y 7, en los cuales se deja la nomenclatura doble CL-ML sin posibilidad de resolución. **(Terzaghi K. y Peck R.B. 1975).**

### **Proctor Modificado**

Actualmente existen muchos métodos para reproducir al menos teóricamente en laboratorio las condiciones dadas de compactación en terreno. Históricamente el primer método respecto a la técnica que se utiliza actualmente como Prueba Proctor Estándar. El mas empleado actualmente es la denominada prueba Proctor Modificado en el que se aplica mayor energía de compactación que el Estándar siendo el que esta más de acuerdo con las solicitaciones que las modernas estructuras imponen al suelo. También para algunas condiciones se utiliza el que se conoce como Proctor de 15 golpes.

Con este procedimiento de compactación Proctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial de agua de suelo. Observó que a contenidos de humedad crecientes a partir de valores bajos se obtenían más altos pesos específicos secos y por lo tanto mejores compactaciones de suelo, pero que esa tendencia no se mantenía indefinidamente, sino que al pasar la humedad de un cierto valor los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones en la muestra. Es decir que existe una humedad inicial denominada humedad optima que produce el máximo peso especifico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación y por consiguiente la mejor compactación del suelo. **(Terzaghi K. y Peck R.B. 1975).**

## 2.2. MECÁNICA DE ROCAS

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos y de sus respuestas ante la acción de las fuerzas aplicadas en su entorno físico.

El desarrollo de la mecánica de rocas se inició como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras superficiales y subterráneas; entre otros en la explotación de los recursos minerales. Los distintos ámbitos de aplicación de la mecánica de rocas se puede agrupar en aquellos en que la roca constituye la estructura principal (en excavaciones túneles, galerías, taludes, casas de máquina, etc.), aquellos en que la roca es el soporte de otras estructuras (cimentaciones de edificios, presas, etc.) y aquellos en los que las rocas se emplean como material de construcción (escolleras, terraplenes, rellenos, etc.).

La mecánica de rocas guarda una estrecha relación con otras disciplinas como la geología estructural, para el estudio de los procesos y estructuras tectónicas que afectan al basamento rocoso; mientras que la mecánica de suelos, para abordar el estudio de rocas alteradas y meteorización en superficie. **(Bieniawski Z.T. 1979).**

### 2.2.1. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosó

Las clasificaciones de los macizos rocosos están basadas en algunos o varios factores que determinan su comportamiento mecánico.

- Propiedad de la matriz rocosa.
- Frecuencia y tipo de discontinuidades, que definen el grado de fracturación, el tamaño y la forma de los bloques del macizo, propiedades hidrogeológicas, etc.
- Grado de meteorización o alteración
- Estado de tensiones in situ
- Presencia de agua.

La gran variabilidad de estos factores y el carácter discontinuo y anisótropo de los macizos rocosos implican la dificultad para establecer clasificaciones geotécnicas o geomecánicas generales válidas para los diferentes tipos de macizos.

Las clasificaciones más útiles en mecánica de rocas son las denominadas clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski (1979) y el índice Q de Barton (1974) son las más utilizadas. Establecen diferentes grados de calidad de macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades y proporcionan valores estimados de sus propiedades resistentes globales.

Existen otras clasificaciones basadas en diferentes parámetros más o menos representativos de las propiedades del conjunto del macizo rocoso. Así como el grado de fracturamiento; el índice de calidad de roca RQD y clasificación en diferentes grados de calidad.

La obtención de los parámetros geomecánico se hace mediante la investigación del comportamiento del macizo; para su empleo en el diseño y proyecto de las obras de ingeniería. Los macizos rocosos, como medios discontinuos presentan un comportamiento geomecánico complejo que de una forma simplificada, pueden ser estudiados y categorizados en función de su aptitud para distintas aplicaciones. Con este objetivo surgieron las clasificaciones geomecánicas que aportan mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos; índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente a la excavabilidad de las rocas y cimentaciones.

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, en las excavaciones subterráneas, se ha considerado utilizar los parámetros propuestos por Bieniawski (1989), sistema de valoración de macizo rocoso (Rock Mass Rating) comúnmente denominado RMR, cuyo procedimiento consta de los siguientes parámetros.

1. Resistencia a la compresión uniaxial del material rocoso
2. Índice de calidad de roca RQD
3. Espaciamiento de las juntas
4. Estado de las fisuras
5. Condiciones hidrogeológicas de las aguas subterráneas
6. Corrección por la orientación de las discontinuidades

La incidencia de los parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por el índice de calidad de RMR, Rock Mass Rating que varía de 0 – 100. Para la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presentan características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechos en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades. **(Bieniawski Z.T. 1979).**

Las clasificaciones geomecánicas constituyen un procedimiento para la caracterización de los macizos rocosos a partir de datos de afloramientos y sondeos, se aplican principalmente en los túneles, dado la dificultad del estudio de los macizos rocosos en profundidad. Pero igualmente se aplica a la caracterización de los macizos en forma general, como medio para clasificar geotécnicamente las rocas. El cálculo del índice RMR

permite estimar los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo (a partir de correlaciones empíricas) **ver cuadro N° 01**.

**Cuadro N° 01: Clasificación de macizo rocoso según el total de valuación (RMR)**

PARÁMETROS DE RMR	TIPO DE ROCA	CONDICIÓN
100 – 81	I	Muy buena roca
80 – 61	II	Buena roca
60 – 41	III	Roca regular
40 – 21	IV	Roca mala
< 20	V	Roca muy mala

**Fuente:** Rango de valores que son propuestos por Bieniawski (1979), en el CSIR.

Para su aplicación es necesario llevar a cabo una serie de observaciones y medidas en campo que constituyen la base y la sistemática práctica de los parámetros geomecánicos. Las clases de macizos que se obtienen se refieren a las condiciones previas a la excavación.

### 2.2.2. Índice de Calidad de Roca

El índice de calidad de roca, es un análisis de una ecuación diferencial; en vista que el grado de fracturamiento es medido por metro lineal en los afloramientos de la matriz rocosa. Los macizos rocosos se presentan en el medio de una manera no continua, no homogénea, ni isotrópica, y está afectado por discontinuidades tales como fallas, pliegues, juntas, agrietamientos motivo por cual se determinara sus propiedades mecánicas.

Para calcular el índice de calidad de roca RQD, se ha utilizado una ecuación diferencial propuesta por Priest y Hodsson 1976; en donde se considera el número de discontinuidades por metro lineal.

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

De donde:

$\lambda$  = Número de juntas por metro lineal

RQD permite dar un valor numérico a la calidad de roca, no es de sorprenderse que se haya tratado de relacionar el número con la clasificación cualitativa de Terzaghi y relacionar este valor modificando en valor de RQD. **(Deere 1964)**.



**Cuadro N° 02: Calidad de roca**

RQD	CALIDAD DE ROCA
25 %	muy mala
25 – 50 %	mala
50 – 75 %	regular
75 – 90 %	buena
90 – 100 %	muy buena.

**Fuente:** Clasificación de la Calidad de Roca según Deere 1964.

## 2.3. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

### 2.3.1. Ensayo de Lefranc

El ensayo consiste en medir el caudal inyectado o bien la subida o bajada del nivel de agua que se produce en el taladro a lo largo de un tiempo determinado de observación. Dependiendo del método, el caudal debe regularse con precisión del 3 %, las medidas 1 a 2 mm y el tiempo con un segundo. Las medidas iniciales no son representativas y no deben considerarse. Las lecturas más continuas, durante el proceso de inyección y saturación de agua, son los más representativos en suelos y roca muy fracturada.

El ensayo Lefranc se utiliza para medir la permeabilidad de suelos y roca fracturada, bajo débil gradiente y en régimen permanente. También se puede efectuarse en régimen transitorio, siendo su interpretación diferente. **(Comité Nacional Español de grandes presas, Madrid España 1999).**

### 2.3.2. Ensayo de Lugeon

El ensayo Lugeon consiste en inyectar agua a una determinada presión manométrica y de obturación en una determinada taladro de perforación diamantina en roca dura; resultado del proceso de saturación a presión se llega a conseguir la conductividad del macizo rocoso; para fines de construcción de obras de ingeniería, como presas, embalses, centrales hidroeléctricas, casas de máquinas, entre otros la estabilidad de talud de corte en roca. Otros consideran este ensayo como la fracturación hidráulica en roca. El ensayo Lugeon puede realizarse a medida que se perfora o una vez finalizada la perforación. Generalmente el primer modo es mejor y solo necesita el empleo de un obturador pero es un procedimiento lento y más costoso que puede alargar en exceso la investigación. En caso de llevarlo a cabo una vez concluida la perforación, se suelen efectuar de forma ascendente comenzando por el tramo más profundo del sondeo de perforación. **(Comité Nacional Español de grandes presas, Madrid España 1999).**

## 2.4. CIMENTACIONES EN ARCILLAS EXPANSIVAS

Se produce en suelos arcillosos debido a la reacción de determinados minerales de la arcilla al tener contacto con el agua. Estos minerales absorben agua y aumentan de volumen. Un ejemplo es la montmorillonita, que puede tener un aumento de volumen del 100 %. **(Braja M. D. 2006).**

## 2.5. CIMENTACIONES EN SUELOS COLAPSABLES

Se define colapso como el fenómeno de disminución de volumen que sufre un suelo parcialmente saturado bajo carga exterior cuando se incrementa su humedad.

Este fenómeno se produce cuando tenemos un suelo con una estructura en la cual existen grandes huecos. Esta estructura puede permanecer estable bajo la acción de una carga determinada si los enlaces entre las partículas son suficientemente resistentes (estado seco). **(Braja M. D. 2006).**

Si los enlaces se debilitan, por ejemplo por la saturación del suelo, la estructura se va a reorientar tendiendo a ser más compacta y por tanto se producirá una reducción de volumen que puede arruinar la estructura que tengamos allí apoyada.

## 2.6. CIMENTACIONES EN RELLENOS

La construcción en zonas urbanas cada día obliga más al reconocimiento de la presencia de los rellenos y al tratamiento de los mismos.

Los principales problemas que se plantean para las cimentaciones en estos horizontes son los siguientes:

- La heterogeneidad de los mismos.
- Grandes movimientos asociados con sobrecargas no excesivamente altas.
- Dificultad de predecir su comportamiento.
- La no validez de los supuestos para otro tipo de suelos.

La compacidad de estos rellenos suele ser muy baja con índices de poros muy altos, siendo en general estructuras muy abiertas. **(Braja M. D. 2006).**

## 2.7. CIMENTACIONES EN ROCAS

Los cimientos en roca, incluyendo las pizarras dura, no presentan ningún problema de resistencia para presas de tierra pequeñas. Los peligros principales que hay que tener en cuenta, son los debidos a la erosión por filtración y la excesiva pérdida de agua a través de las juntas, fisuras, grietas, estratos permeables, y planos de fractura. **(Deere 1964).**

## 2.8. CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO

Si sobre una cimentación se va aplicando una carga creciente con el tiempo, vertical y centrada, se observa un aumento del asiento de la cimentación en el terreno que puede ser representada en una gráfica. Mientras las cargas sobre el cimiento son pequeñas, el asiento crece de manera proporcional a la carga presentando un comportamiento elástico.

Si seguimos aumentando la carga la curva de asiento-carga se hace asintótica de tal manera que el terreno ya no admite más carga, pero el terreno sigue deformándose, se dice entonces que se ha alcanzado la presión de hundimiento, que en cada suelo depende de su resistencia al esfuerzo de corte, dimensiones de la cimentación, profundidad, etc. (Vesic A. 1973).

## 2.9. PRESAS

En ingeniería se denomina presa o represa a una barrera artificial fabricada con piedra, hormigón o materiales sueltos que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o una laguna. Tiene la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío para la agricultura para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego para laminación de avenidas (evitar inundaciones aguas abajo de la presa) o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética.

Una presa tiene los siguientes componentes:

- El embalse:** es el volumen de agua que queda retenido por la presa.
- El vaso:** es la parte del valle que inundándose contiene el agua embalsada.
- La cerrada o boquilla:** es el punto concreto del terreno donde se construye la presa.
- Pantalla o cortina:** propiamente dicha cuyas funciones básicas son, por un lado garantizar la estabilidad de toda la construcción soportando un empuje hidrostático del agua y por otro no permitir la filtración del agua. A su vez en la presa se distingue:
  - Los paramentos, caras o taludes:** son las dos superficies más o menos verticales principales que limitan el cuerpo de la presa el interior o de aguas arriba que está en contacto con el agua y el exterior o de aguas abajo.

-**La coronación:** es la superficie que delimita la presa superiormente.

-**Los estribos o empotramientos:** son los laterales del muro que están en contacto con la cerrada contra la que se apoya.

-**La cimentación:** es la parte de la estructura de la presa a través de la cual se transmiten las cargas al terreno tanto las producidas por la presión hidrostática como las del peso propio de la estructura.

-**El aliviadero o vertedero hidráulico:** es la estructura hidráulica por la que rebosa el agua excede cuando la presa ya está llena.

-**Las compuertas:** son los dispositivos mecánicos destinados a regular el caudal de agua a través de la presa.

-**El desagüe de fondo:** permite mantener el denominado caudal ecológico aguas abajo de la presa y vaciar la presa en caso de ser necesario.

-**Las tomas:** son también estructuras hidráulicas, pero de menor cantidad y son utilizadas para extraer agua de la presa para un cierto uso. (Ray L. Joseph B. F. 1978).

## 2.9.1. Clasificación de Presas

### a. Según su Función

- Para almacenamiento de agua.
- Para obtención de energía.
- Para derivar una corriente de agua.

### b. Según los Materiales que se Emplean en su Construcción

• **Presas de Tierra:** Es un terraplén bien compactado con un núcleo central impermeable. es importante tener en cuenta las filtraciones que es el pasaje del agua a través de los espacios vacíos del suelo y puede provocar lavado de suelo, como consecuencia sifonamiento y erosión interna en la presa.

• **Presas de Hormigón:** son las más utilizadas en los países desarrollados ya que con éste material se pueden elaborar construcciones más estables y duraderas; debido a que su cálculo es del todo fiable frente a las producidas en otros materiales. Normalmente todas las presas de tipo gravedad, arco y contrafuerte están hechas de este material.

Este tipo de presas tienen componentes muy permeables por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante. Además, estas estructuras resisten siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transmitir los empujes del agua al terreno. Este elemento puede ser arcilla (en cuyo caso siempre se ubica en el corazón del relleno) o bien una pantalla de hormigón la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas arriba. Estas presas tienen el inconveniente de que si son rebasadas por las aguas en una crecida corren el peligro de desmoronarse y arruinarse.

• **Presas de Enrocamiento:** con cara de hormigón: este tipo de presas en ocasiones es clasificada entre las de materiales sueltos; pero su forma de ejecución y su trabajo estructural son diferentes. El elemento de retención del agua es una cortina formada con fragmentos de roca de varios tamaños que soportan en el lado del embalse una cara de hormigón la cual es el elemento impermeable. La pantalla o cara está apoyada en el contacto con la cimentación por un elemento de transición llamado plinto que soporta a las losas de hormigón. (Ray L. Joseph B. F. 1978).

### c. Según su Estructura

• **Presa de Arco:** es aquella en la que su propia forma es la encargada de resistir el empuje del agua. Debido a que la presión se transfiere en forma muy concentrada hacia las laderas de la cerrada, se requiere que ésta sea de roca muy dura y resistente. Constituyen las represas más innovadoras en cuanto al diseño y que menor cantidad de hormigón se necesita para su construcción.

• **Presa de Bóveda o de Doble Arco:** cuando la presa tiene curvatura en el plano vertical y en el plano horizontal, también se denomina de bóveda. Para lograr sus complejas formas se construyen con hormigón y requieren gran habilidad y experiencia de sus constructores que deben recurrir a sistemas constructivos poco comunes.

• **Presa de Arco-Gravedad:** combina características de las presas de arco y las presas de gravedad y se considera una solución de compromiso entre los dos tipos. Tiene forma curva para dirigir la mayor parte del esfuerzo contra las paredes de un cañón o un valle que sirven de apoyo al arco de la presa. Además el muro de contención tiene más espesor en la base y el peso de la presa permite soportar parte del empuje del agua. Este tipo de presa precisa menor volumen de relleno que una presa de gravedad. (Ray L. Joseph B. F. 1978).

#### d. Según su Aplicación

- **Presas Filtrantes o Diques de Retención:** Son aquellos que tienen la función de retener sólidos desde material fino hasta rocas de gran tamaño transportadas por torrentes en áreas montañosas permitiendo sin embargo el paso del agua.
- **Presas de Control de Avenidas:** son aquellas cuya finalidad es la de laminar el caudal de las avenidas torrenciales con el fin de que no se cause daño a los terrenos situados aguas abajo de la presa en casos de fuerte tormenta.
- **Presas de Derivación:** el objetivo principal de estas es elevar la cota del agua para hacer factible su derivación controlando la sedimentación del cauce de forma que no se obstruyan las bocatomas de derivación. Este tipo de presas son en general de poca altura ya que el almacenamiento del agua es un objetivo secundario.
- **Presas de Almacenamiento:** el objetivo principal de estas es retener el agua para su uso regulado en irrigación, generación eléctrica, abastecimiento a poblaciones, recreación o navegación, formando grandes vasos o lagunas artificiales.
- **Presas de Relaves o Jales:** son estructuras de retención de sólidos sueltos y líquidos de desecho producto de la explotación minera los cuales son almacenados en vasos para su decantación. Por lo común son de menores dimensiones que las presas que retienen agua, pero en algunos casos corresponden a estructuras que contienen enormes volúmenes de estos materiales. Al igual que las presas hidráulicas tienen cortina (normalmente del mismo tipo de material), vertedero y en vez de tener una obra de toma o bocatoma poseen un sistema para extraer los líquidos. (Ray L. Joseph B. F. 1978).

#### e. Selección del Tipo de Presa de Tierra.

En algunos casos excepcionales la selección del tipo de presa más adecuada técnica o económica para un emplazamiento dado, podrá hacerse a simple vista. Sin embargo, normalmente se requieren de tanteos técnico-económicos para poder tomar decisiones correctas con el criterio apropiado.

La elección depende de la disponibilidad de mano de obra y maquinaria o de la facilidad de acceso al emplazamiento. Estas consideraciones cobran particular importancia cuando el tiempo para el desarrollo de una presa es un factor restrictivo.

El mejor tipo de presa para un determinado emplazamiento, se elige teniendo en cuenta las características de cada tipo y relacionándolas tanto con las características geológicas

del propio emplazamiento y adaptación a las necesidades que la presa trata de servir, como a las limitaciones impuestas por razones económicas o de seguridad.

La elección definitiva de un tipo de presa, se hace entonces luego de conocer todos estos factores. Normalmente el factor que más influye es el costo, también existen otros factores más importantes que intervienen en la elección del tipo de presa que se va a ejecutar teniendo en cuenta la geomorfología, pero muy a parte de esto los más resaltantes e importantes que hay que tener en cuenta son:

### **Topografía**

La topografía determina en muchos casos la elección del tipo de presa. Un valle estrecho, serpenteado entre laderas rocosas es el indicado para presas de concreto armado. En cambio una zona de terreno ondulado sugiere una presa de tierra, con aliviadero independiente. En condiciones intermedias, influirán otras consideraciones, pero se debe tener en cuenta que el principio general sugiere adaptarse a las condiciones naturales.

### **Geología y condiciones de cimientos**

Las condiciones de la cimentación, dependen de las características geológicas y del espesor de los estratos que han de soportar el peso de la presa, de su inclinación, permeabilidad y relación con los estratos subyacentes, fallas y fisuras existentes. Los cimientos limitan la elección del tipo hasta cierto punto, pues esta limitación se modifica frecuentemente variando la altura de la presa propuesta.

### **Materiales disponibles**

De acuerdo a la cantidad y calidad de los suelos necesarios para la fabricación de la presa hacen un factor determinante en la elección del tipo de presa a usarse. Los materiales de construcción de las presas que se pueden disponer junto a la misma pueden ser:

1. Tierra para terraplenes:
2. Roca para pedraplenes o revestimientos
3. Agregados para concreto.
4. Agregados para filtros.

La eliminación o disminución en el transporte de los materiales de construcción en especial de los empleados para la construcción de la presa, influirá considerablemente en el costo de la presa, lo cual influenciará directamente en la elección del tipo de presa.

### 2.9.2. Emplazamiento

Se deberá elegir según la topografía y geología del terreno. En el caso de las presas, según el tipo se deberá elegir un lugar con el suelo de cimentación adecuado. Por ejemplo, en presas de tierra se deberá evitar suelos de fundación permeables. Se debe tratar que los materiales necesarios para la construcción se encuentren en las cercanías del emplazamiento de la obra. **(Lambe W. 2002).**

### 2.9.3. Utilidades de Presas

**Riego:** para ello se utiliza una presa de derivación con un vertedero que regule los niveles de agua en épocas de crecida para que el agua excedente escape por el vertedero y no afecte a los cultivos.

**Suministro de Agua:** generalmente son de grandes dimensiones y cuando están alejadas de las ciudades se recurre a canales o tuberías para transportar las aguas hasta un determinado lugar.

En general la mayoría de las presas no tienen un solo objetivo, sino varios.

### 2.10. INTEMPERISMO

Se llama intemperismo o meteorización a la acción combinada de procesos (climáticos, biológicos, etc.) mediante los cuales la roca es descompuesta y desintegrada por la exposición continua a los agente atmosféricos, transformando a las rocas masivas y duras en un manto residual finamente fragmentado. Preparando a los materiales rocosos para ser transportados por los agentes de la erosión terrestre (agua corriente, hielo glacial, olas y viento) y también son acarreados por la influencia de la gravedad para acumularse en otros lugares. Sin embargo algunos productos del intemperismo permanecen en el mismo sitio donde se formaron y se incorporan a las rocas del lugar, ciertas menas como las del aluminio por ejemplo son en realidad antiguas zonas de intemperismo. La deformación en rocas, puede darse por fracturas, por fallas o estratificación, para el tratamiento de las rocas fracturadas se puede impermeabilizarse con inyecciones de lechada de cemento, deberá hacerse pruebas de infiltración con la presión de agua prevista para la altura de una estructura hidráulica como diques de concreto, bocatomas, represas de diferentes tipos todo dependiendo del clima y la altitud donde va afectar directamente el intemperismo, en los lechos de un río, afloramiento de rocas calcáreas con contenido de minerales como la limonita ( $\text{FeO}_2$ ), sílice, diferentes variedades de arcillas realzan su deformación. En el transcurso de su movimiento la permeabilidad también influye en los diferentes tipos de materiales donde determinan el grado de meteorización, la karstificación que se produce donde hay presencia de calizas. **(González D.V. 2002).**



## 2.11. GEODINÁMICA EXTERNA

### 2.11.1. Grado de Meteorización

Los procesos de meteorización que actúan sobre el macizo rocoso afectan tanto a los bloques de la matriz rocosa como a los planos de discontinuidades existentes. Como consecuencia de la meteorización mecánica o física de los macizos rocosos. Al romperse los contactos entre granos o producirse la ruptura de los minerales por la disolución o inyección de las aguas de la glaciación, que finalmente se convierten en hielo llegan a descomponerse y forman los planos de debilidad generándose la inestabilidad del macizo. Las discontinuidades son caminos o conductos por donde fluyen los flujos de aguas meteóricas contribuyendo a incrementar la meteorización física y química.

### 2.11.2. Procesos de Meteorización

Los procesos de meteorización están controlados por las condiciones climáticas y sus variables: temperatura, humedad, precipitación, régimen de vientos, etc. que determinan el tipo y la intensidad de las transformaciones físicas y químicas que afectan a los materiales rocosos en superficie. **(Tumilan P., Carrillo G.A. 1993).**

### 2.11.3. Meteorización de Matriz Rocosa

La meteorización física de la matriz rocosa da lugar a la exfoliación por planos de direcciones preferentes, apertura de micro discontinuidades por hielo o por crecimiento de sales, cambios de volumen por cambios de humedad o temperatura, etc. La meteorización química produce la disolución de minerales solubles y la formación de nuevos minerales por procesos de oxidación, reducción, hidratación, etc. Los resultados de la alteración química van desde la decoloración de la matriz rocosa a la descomposición de los silicatos y otros minerales, aunque algunos de ellos, como el cuarzo son resistentes a estas acciones.

La acción de los efectos de la meteorización será distinta dependiendo del tipo de roca, estando directamente relacionados con su composición mineralógica y propiedades estructurales. La reducción de la resistencia es el efecto más importante causado por la descomposición de la roca por meteorización química. Un pequeño incremento en el contenido en humedad o en la porosidad de la roca puede causar una reducción importante de la resistencia y el módulo de deformación dependiendo cual es la condición del medio donde se encuentra el macizo rocoso si se trata de cimentaciones el substrato rocoso. **(Gonzales de Vallejo L. 2002).**

#### 2.11.4. Grado de Fracturamiento

Condiciones de meteorización que consiste en el número de juntas o fracturas existentes por metro lineal de afloramiento del macizo, cuando está sometido a esfuerzos cortantes, la matriz rocosa está íntimamente ligada a los movimientos tectónicos.

**Cuadro N° 03: Número de fracturas por metro lineal**

ORDEN	SÍMBOLO	NÚMERO DE FRACTURAS/ m	GRADO DE FRACTURAMIENTO
1	F - 1	≤ 1	Poco fracturado
2	F - 2	1 - 5	Fracturado
3	F - 3	6 - 10	Muy fracturado
4	F - 4	11 - 20	Altamente fracturado
5	F - 5	≥ 20	Triturado

Fuente: Merino L. 2001, Lima Perú.

#### 2.11.5. Grado de Alteración

Proceso de desintegración y/o descomposición de los minerales constituyentes de la roca de caja que se presenta y se observan en los planos de fracturamientos o en la roca de basamento; el mismo que se mide de acuerdo a la consistencia, si son deleznable o no la matriz de la roca.

**Cuadro N° 04: Grado de alteración matriz rocosa**

CLASE	CARACTERÍSTICAS DE ALTERACIÓN	CONDICIÓN DE ROCA
A - 1	Ninguna seña visible de alteración o indicios leves de alteración en las superficies de discontinuidades.	Roca sana
A - 2	Las superficies de las discontinuidades principales están alteradas, pero la matriz sólo levemente.	Roca poco alterado
A - 3	La alteración se extiende a toda la masa rocosa, pero la roca no es friable, matriz poco alterado.	Roca alterada
A - 4	La alteración se extiende a toda la masa rocosa y la roca es gran parte friable, matriz profundamente alterada.	Roca muy alterada
A - 5	La matriz de la roca está totalmente descompuesta y es muy friable, sólo con vestigios de la estructura original.	Completamente descompuesta. Forman suelo residual.

Fuente: Tesis Prospección Geológica y Geotécnica Presa Macusani 1995, Ing. S. Machacca.

### 2.11.6. Movimiento de Masas

La remoción o movimiento de masas se refiere a procesos de movilización lenta o rápida de un determinado volumen de suelo, roca o ambos a la vez en diversas proporciones generando en la superficie terrestre principalmente por la acción directa de la gravedad terrestre y por muchos otros factores condicionantes, fenómenos geodinámicos.

La relación entre la ocurrencia de remociones en masas y períodos de intensa precipitación pluvial es bastante conocida en nuestro territorio, así lo atestiguan los numerosos procesos que ocurren cada año.

Entre las áreas más propensas a la inestabilidad bajo un punto de vista global, están las zonas montañosas y escarpadas; zonas de relieve con procesos erosivos y de meteorización intensos, laderas de valles, fluviales, eventos de glaciación, acantilados cordilleranos, zonas con materiales blandos y sueltos; con macizos rocosos arcillosos, esquistosos y alterados.

### 2.12. MARCO CONCEPTUAL

#### • Ensayos Químicos

Determinación cuantitativa de sulfatos solubles del agua.

#### • Carga Admisible

Carga que induce la máxima fatiga admisible en una sección crítica de un miembro estructural. (Vesic A. 1973).

#### • Cohesión

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide  $\text{kg/cm}^2$ . Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  a  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  o más. Los suelos limosos tienen muy poca y en las arenas la cohesión es prácticamente nula. (Terzaghi K. 2002).

#### • Fricción Interna

Es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares presentan una buena trabazón tendrán fricciones internas altas. En cambio los suelos finos las tendrán bajas puesto que no tienen partículas angulares ni uniformes.

La fricción interna de un suelo está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento a lo largo de un plano y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna" varían prácticamente de 0° para arcillas plásticas cuya consistencia este próxima a su límite líquido hasta 45° o más para gravas y arenas secas compactas y de partículas angulares. Generalmente el ángulo "f" para arenas es alrededor de 30° (**Terzaghi K. 2002**).

#### • Presión Admisible del Terreno

Presión máxima admisible por un terreno de cimentación que proporciona la seguridad necesaria para evitar la ruptura de la masa de terreno o el movimiento de los cimientos; esta presión se obtiene aplicando un coeficiente de seguridad impuesto por las normas de edificación a la carga de rotura del terreno. (**Vesic A. 1973**).

#### • Coeficiente de Seguridad

El coeficiente de seguridad (también conocido como factor de seguridad) es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

En este sentido, en ingeniería, arquitectura y otras ciencias aplicadas, es común y en algunos casos imprescindible que los cálculos de dimensionado de elementos o componentes de maquinaria, estructuras constructivas, instalaciones o dispositivos en general incluyen un coeficiente de seguridad que garantice que bajo desviaciones aleatorias de los requerimientos previstos exista un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas estrictamente necesarias.

Los coeficientes de seguridad se aplican en todos los campos de la ingeniería tanto eléctrica como mecánica o civil, etc. (**Bishop, 1955**).

#### • El Suelo como Material de Construcción

En el campo de mecánica de suelos es una ciencia responde las siguientes cuestiones:

1. Comportamiento del suelo cuando es sometido a una carga externa (resistencia del suelo) deformaciones que experimenta, distribución interna de las tensiones, etc.
2. Comportamiento y calidad del suelo para su uso como material de construcción (terraplenes de carreteras, presas de materiales sueltos, etc.)

3. Cálculo de las acciones que un suelo ejerce sobre una estructura (acciones sobreestructuras como muros de contención de tierras, pantallas, túneles, etc.)

4. Análisis de la estabilidad de taludes naturales o artificiales como los de presas de materiales sueltos.

#### • Origen y Formación de un Suelo

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre, constituida por fragmentos de roca de diferente tamaño. Esta capa puede tener hasta varios cientos de metros y se distinguen en capas: La capa más superficial presenta una intensa actividad biológica (contiene microorganismos, raíces, materia orgánica, etc., los suelos son la desintegración de los diferentes tipos de rocas que existe en la corteza terrestre se puede mencionar las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

#### • Factores que Influyen en el Comportamiento del Suelo

Existen tres factores que influyen en el comportamiento de un suelo:

##### 1. Naturaleza y Composición Mineralógica.

Los silicatos son los minerales más abundantes y forman los minerales de las arcillas. Éstas tienen una estructura laminar en capas y presentan un déficit de carga negativa en su superficie que es compensado por cationes positivos absorbidos que compensan el déficit creando una doble capa difusa. Entre un mineral de arcilla y otro existe una fuerza de repulsión aunque también puede ser de atracción (fuerzas de Van der Waals). Se pueden producir unión borde-cara.

Algunos minerales de arcilla por su estructura laminar pueden absorber mucha cantidad de agua y tienen un poder de retención de la misma. Esta agua produce un incremento de volumen en el mineral que disminuye drásticamente cuando se seca (retracción). Se trata por tanto de suelos expansivos muy perjudiciales para la construcción porque los incrementos de volumen no se producen de manera uniforme es decir se originan empujes relativos de una zona a otra y los procesos de retracción producen importantes asentamientos. De cualquier modo no todos los minerales de arcilla son igual de expansivos. Por otro lado cabe mencionar los sulfatos que son muy solubles pudiendo ser disueltos y arrastrados por los flujos de agua subterránea perdiéndose material y aumentando consecuentemente la porosidad. A veces se llega a formar oquedades pudiendo producir el colapso de una estructura. Los minerales laminares tenemos caolinita, esmectita y montmorillonita. **(Sowers G.B. 1972).**

## 2. Textura.

Se trata de la distribución por tamaños de las partículas de un suelo. Siguiendo la clasificación propuesta por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), éste se clasificará dependiendo de su textura en arcilla, limo, arena, grava y cantos rodados. La textura afecta al comportamiento del suelo porque al aumentar el tamaño de las partículas también aumenta la resistencia de éste. La textura también influye en la conductividad hidráulica; los materiales finos tienen baja conductividad hidráulica. A la fracción de arenas, gravas y cantos rodados se le suele denominar fracción gruesa y a la fracción de limo y arcilla se le denomina fracción fina.

## 3. Estructura.

Es la disposición relativa de unas partículas respecto a otras. En los suelos granulares la estructura viene determinada por la forma de las partículas, mientras que en los suelos de textura fina depende del tipo de fuerzas que predomina, la estructura de los suelos depende de la mineralogía de donde proviene, la estructura de los suelos depende del origen del tipo de roca (ígneas, sedimentaria y metamórfica), cada suelos desintegrado por diversos agentes de la naturaleza tiene diferente estructura. **(Terzaghi K. 2002).**



**Foto 01:** Conformación de plataforma de la presa de la laguna Cotachaca, se observa el proceso constructivo el Dren Vertical conformado por filtro grueso y fino.

## CAPITULO III

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

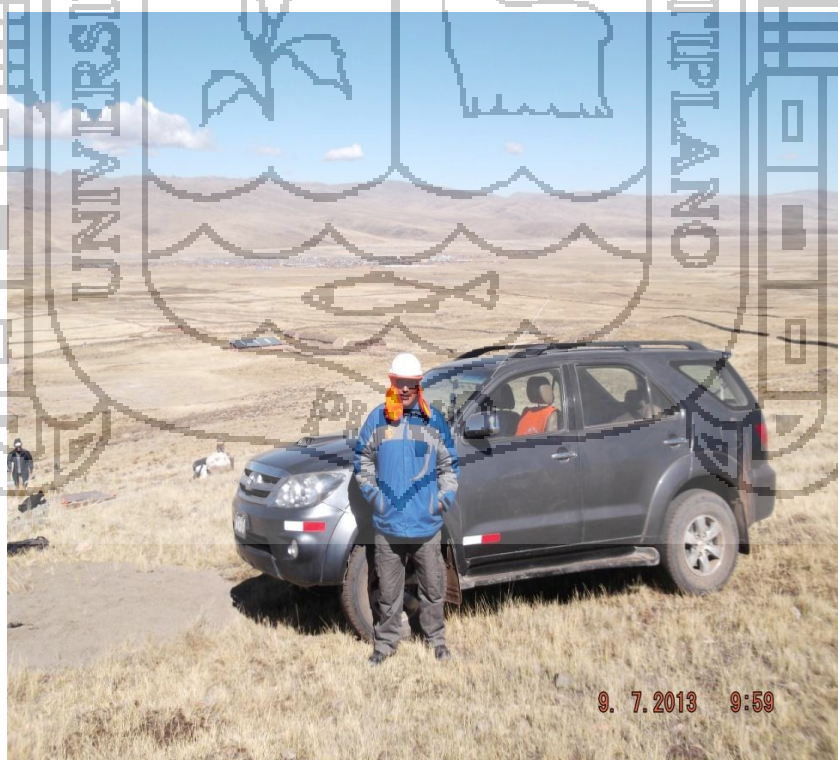
#### 3.1. GENERALIDADES

Las investigaciones geológicas geotécnicas, para la construcción de presa de tierra en el distrito de Crucero se realizan, en base a estudios detallados de ingeniería corroborando con las especificaciones técnicas propuestas de acuerdo a los trabajos de investigación de mecánica de suelos y rocas. Para la elaboración del diseño de la cortina de impermeabilización se consideraron los estudios previos de geología y geotecnia.

##### 3.1.1. Ubicación del Área de Estudio

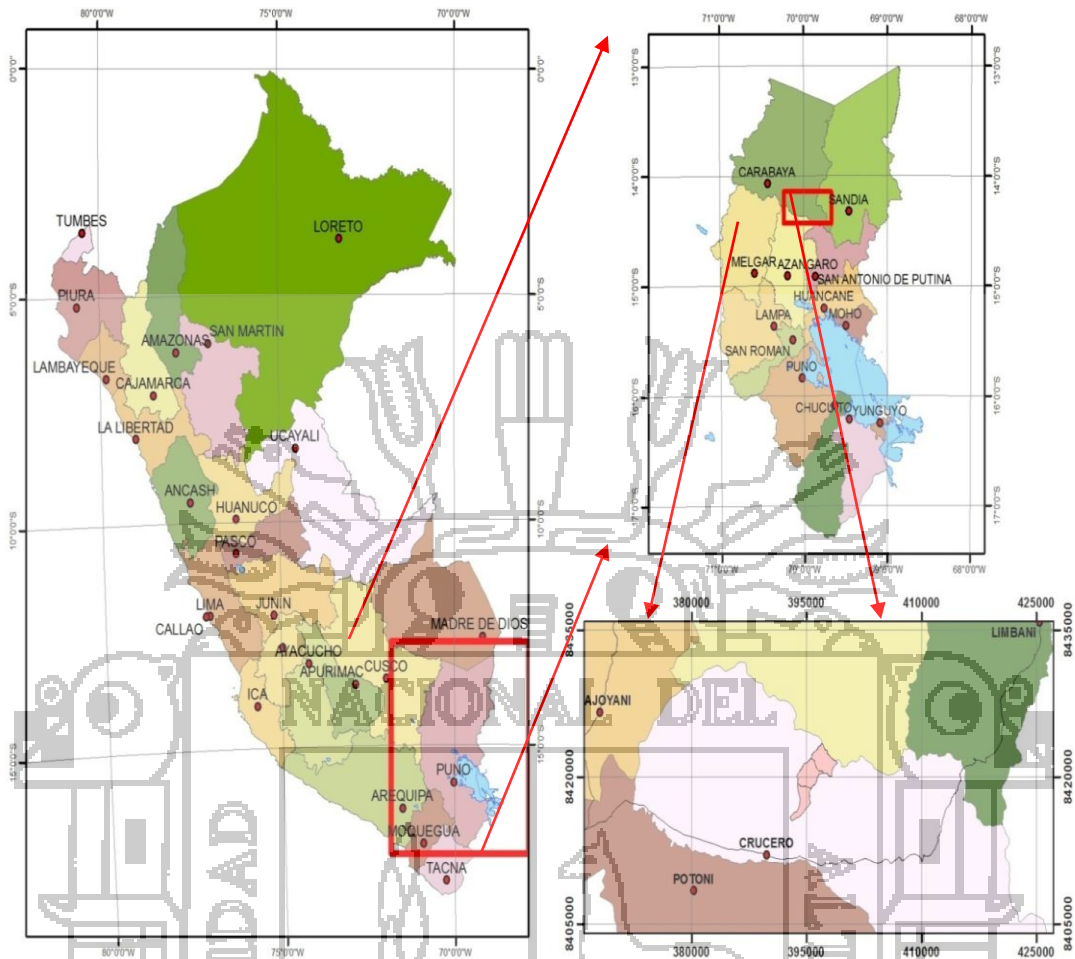
La ubicación geográfica del ámbito de estudio se encuentra en el centroide dentro de las coordenadas UTM; Este: 396400 y Norte 8 421400 se encuentra localizada en la parte noroccidental de la región Puno, en el extremo sureste del Perú, con una variación altitudinal de 4,675 a 4, 680 m.s.n.m. (Ver plano 01 Ubicación).

Departamento	:	Puno
Provincia	:	Carabaya
Distrito	:	Crucero



**Foto 02:** Vista panorámica del distrito de Crucero provincia de Carabaya.

**Figura N° 01: Ubicación política del área de investigación**



Fuente: Elaboración propia - Tesis 2013.

**3.1.2. Extensión**

Abarca un área de aproximadamente 35.00 Has. y geográficamente se enmarca entre las coordenadas UTM:

**Cuadro N° 05: Coordenadas UTM del área de estudio**

VÉRTICE	COORDENAS UTM		ÁREA TOTAL
	NORTE	ESTE	Hás
1	8 421 700	396 100	35.00
2	8 421 760	396 620	
3	8 421 146	396 802	
4	8 421 020	396 273	

Fuente: Elaboración propia - Tesis 2013.



### 3.1.3. Acceso

El acceso al área de investigación se realiza a través de diferentes carreteras, tal como se muestra en el cuadro N° 06.

**Cuadro N° 06: Vías de acceso**

Tramo	Dist. (Km)	Tiempo (minut.)	Tipo De Vía	Vía Principal
Puno – Juliaca	45	40	Asfaltada	Puno – Juliaca
Juliaca - Azángaro	72	60	Asfaltada	Interoceánica
Azángaro – San Antón	50	40	Asfaltada	Interoceánica
San Antón – Dv. Crucero	36	30	Asfaltada	Interoceánica
Dv. Crucero – Crucero	27	30	Afirmada	Crucero
Crucero – Laguna	11	20	Trocha	Sandia
Cotachaca				Crucero
				Laguna

Fuente: Elaboración propia - Tesis 2013.

### 3.1.4. Temperatura

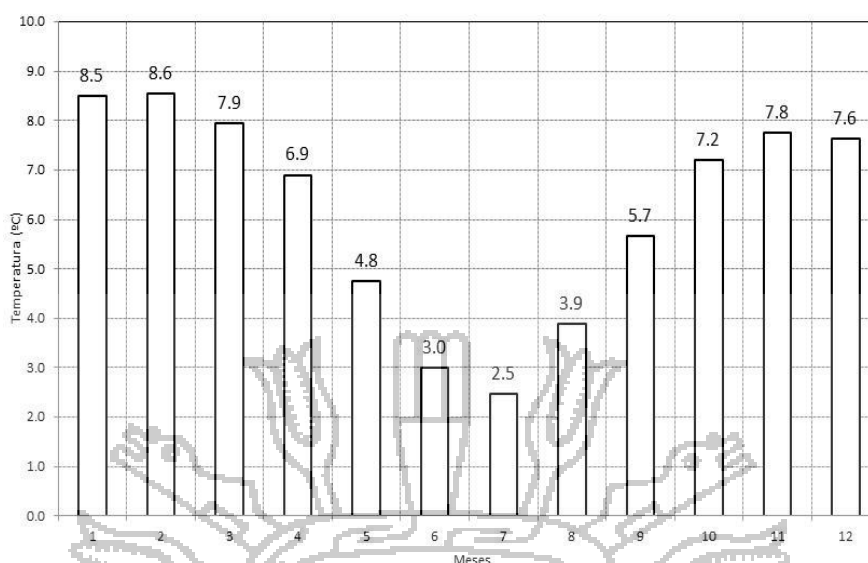
La temperatura es la medida del calor y el frío, esta juega un papel importante en todos los procesos, químicos, físicos y biológicos.

Como se aprecia en la figura 02 en la estación Crucero las mayores temperaturas medias se presentan entre los meses de octubre a abril y las menores temperaturas medias entre mayo a setiembre.

En relación a las temperaturas extremas, en las figuras 03 y 04 se muestra la representación gráfica de la variación mensual de las temperaturas máximas y mínimas, respectivamente de donde se puede concluir que en la estación Crucero el valor más significativo de la temperatura máxima (promedio multianual) se registra en noviembre en el orden de 15.7 °C y en el caso de la temperatura mínima (promedio multianual) esta se registra en julio con -9.3 °C. En la estación Crucero el periodo de heladas se presenta entre los meses de abril a octubre, tal como se aprecia en la figura 04.

El registro de las horas de sol alcanza una máxima de 8.69 hr/día en el mes de junio en la estación Crucero y un valor mínimo del orden de 3.97 hr/día durante el mes de enero debido a la excesiva cantidad de nubosidad en el espacio aéreo. El brillo solar corresponde al número de horas al día, llamado también fotoperiodo. El valor de este factor climático también radica en la importancia para el desarrollo de actividades como la construcción de diversas infraestructuras, turismo, movimiento comercial, crianza de animales y crecimiento de las plantas para todas estas actividades influye el clima y la temperatura.

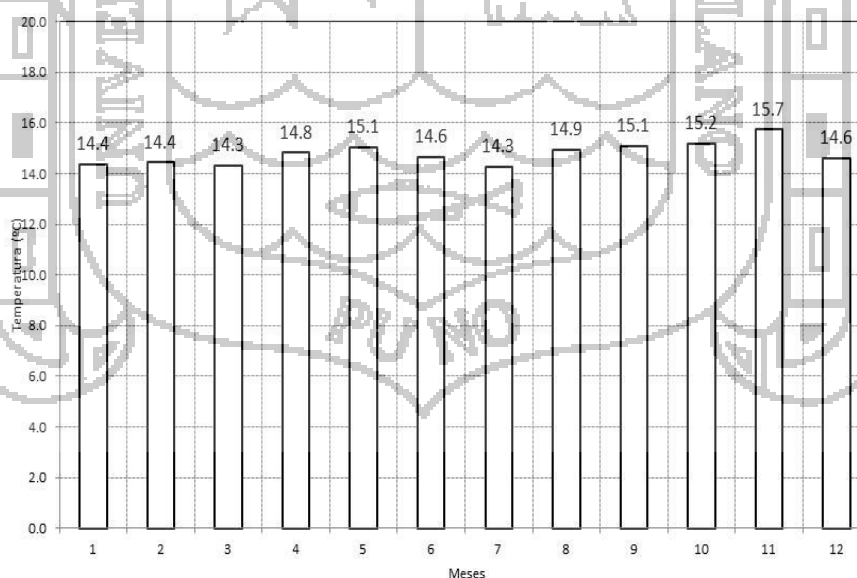
**Figura N° 02: Variación mensual de la temperatura media**



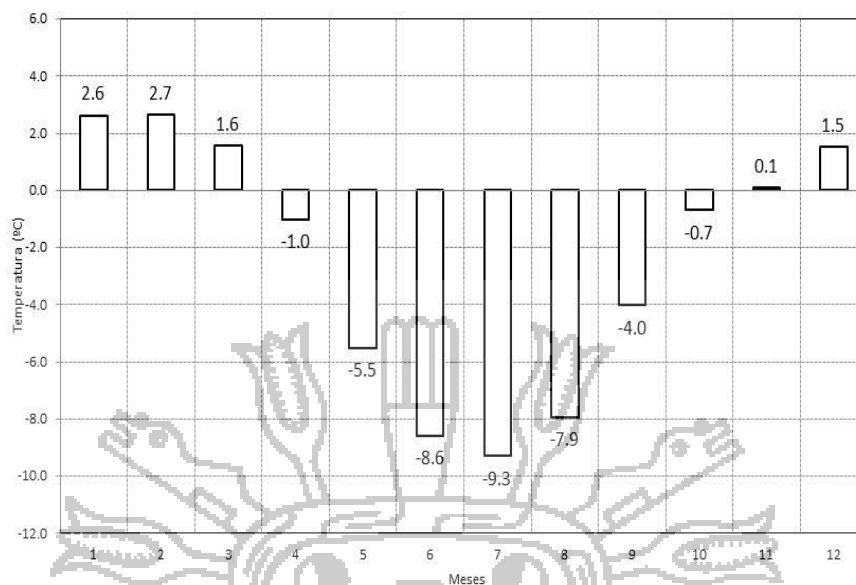
Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

La radiación del sol es uno de los constituyentes importantes que regulan la temperatura del medio ambiente en las diferentes estaciones del año, la insolación con mas incidencia se da en los meses de mayo a octubre y son menos frecuentes durante los meses de noviembre a abril y a su vez es una fuente que proporciona calor, la luz es de primordial importancia para los aspectos nutricionales y estructurales de la vida vegetal.

**Figura N° 03: Variación mensual de la temperatura máxima promedio**



Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

**Figura N° 04: Variación mensual de la temperatura mínima promedio**

Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

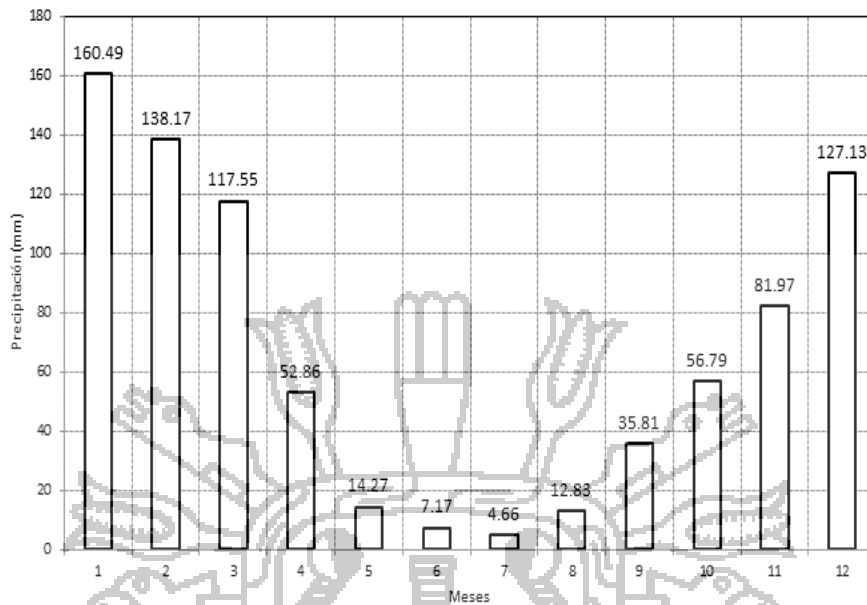
### 3.1.5. Precipitación

La precipitación es una de las variables climáticas más importantes que influyen en el embalse de la laguna Cotachaca, puesto que la precipitación pluvial es normalmente la única fuente que proporciona humedad al suelo. La humedad relativa es una variable climática de primera magnitud a través de diversos mecanismos físicos, con la nubosidad, la precipitación, la visibilidad y de forma muy especial con la temperatura. El agua se pierde de la superficie del suelo por la evaporación, bajo la influencia de una serie de factores como son la capacidad de la atmósfera para absorber el vapor de agua, la condición de la superficie del suelo, la cantidad de agua presente en las capas superficiales y que está sujeta a evaporación y la capacidad de retención de humedad. En la estación Crucero se registra una evaporación total anual (promedio multianual) de 799.7 mm. registrándose los valores más altos entre los meses de Setiembre a Enero, siendo Noviembre el de mayor significancia con 77.4 mm. Los registros de precipitación utilizados para este análisis corresponde a la estación Crucero, en la que se registra una precipitación promedio multianual del orden de 809.69 mm anuales: Ver figura 05.

### 3.1.6. Velocidad del Viento

En la estación Crucero para un año promedio la distribución de la velocidad media del viento presenta un valor máximo del orden de 1.88 m/s en el mes de setiembre y un valor mínimo de 1.10 m/s en el mes mayo. Esta variación anual se presenta en la figura 06.

**Figura N° 05: Variación mensual de la precipitación**



Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

El movimiento del aire resulta del calentamiento, enfriamiento, expansión y contracción ocasionados principalmente por diferencias en la temperatura y por la rotación de la Tierra. El movimiento general del aire con relación a su contenido de humedad y la temperatura, son de importancia geográfica.

**Figura N° 06: Variación mensual de la velocidad del viento**



Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

### 3.1.7. Hidrología

**3.1.7.1. Determinación de la Oferta Hídrica Superficial:** EL punto donde se efectuará la construcción de la presa denominada Cotachaca ubicada a la salida de la laguna del mismo nombre en este punto se tiene un área de 5.77 km<sup>2</sup> de cuenca colectora y la principal fuente de recurso hídrico lo constituye la laguna Cotachaca formada por los aportes de los distintos quebradas existentes en los alrededores del embalse de la laguna Cotachaca.

**Cuadro N° 07: Información utilizada para la generación de caudales en puntos de interés.**

Descripción	Unidad Hidrográfica (Cuenca)	ID	Punto de Interés	Área (km <sup>2</sup> )	Caudal Medio Multianual (m <sup>3</sup> /s)	Precipitación (mm)
Cuenca con Información	Azángaro		Puente Azángaro	8,236.37	46.43	701.44
Cuenca sin Información	Molienda	1	Bocatoma Molienda Actual	15.94		809.69
		2	Bocatoma Molienda Proyectado	11.71		809.69
		3	Presa Cotachaca	5.77		809.69

Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

**Cuadro N° 08: Caudal medio multianual y rendimiento hídrico estimados.**

Unidad Hidrográfica (Cuenca)	ID	Punto de Interés	Caudal Medio Multianual (m <sup>3</sup> /s)	Rendimiento Hídrico (l/s/km <sup>2</sup> )
Molienda	1	Bocatoma Molienda Actual	0.104	6.51
	2	Bocatoma Molienda Proyectado	0.076	6.51
	3	Presa Cotachaca	0.038	6.51

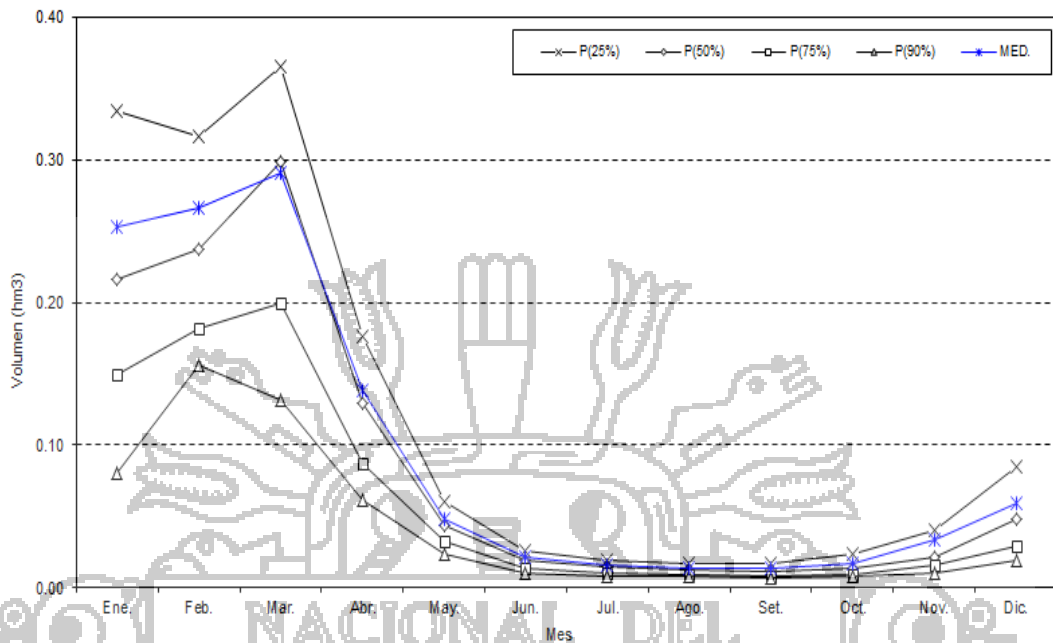
Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

**Cuadro N° 09: Oferta hídrica en el punto de interés: presa de tierra Cotachaca a distintos niveles de persistencia, periodo 1964-2011**

Parámetro	Unidad	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Medio	Total	Disponibilidad
Caudal	(m <sup>3</sup> /s)	0.125	0.131	0.137	0.068	0.022	0.010	0.007	0.007	0.006	0.009	0.016	0.032	0.047		P (25%)
		0.081	0.098	0.112	0.050	0.016	0.007	0.006	0.005	0.004	0.005	0.008	0.018	0.034		P (50%)
		0.056	0.075	0.075	0.034	0.012	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.006	0.011	0.024		P (75%)
		0.030	0.065	0.049	0.024	0.009	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.007	0.017		P (90%)
		0.094	0.110	0.108	0.053	0.018	0.008	0.006	0.005	0.005	0.007	0.013	0.022	0.038		Media
Volumen	(hm <sup>3</sup> )	0.334	0.316	0.366	0.177	0.060	0.025	0.019	0.018	0.017	0.024	0.041	0.085		1.481	P (25%)
		0.216	0.237	0.299	0.129	0.043	0.019	0.015	0.013	0.011	0.014	0.021	0.048		1.065	P (50%)
		0.150	0.182	0.200	0.088	0.032	0.013	0.010	0.010	0.008	0.010	0.016	0.029		0.747	P (75%)
		0.080	0.156	0.132	0.062	0.023	0.010	0.008	0.008	0.007	0.008	0.011	0.019		0.524	P (90%)
		0.253	0.267	0.291	0.138	0.048	0.022	0.016	0.014	0.013	0.018	0.034	0.059		1.172	Media

Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

**Figura N° 07: Oferta hídrica en punto de interés: presa de tierra Cotachaca a distintos niveles de persistencia, periodo 1964-2011**



Fuente: SENAMHI Crucero, 2012

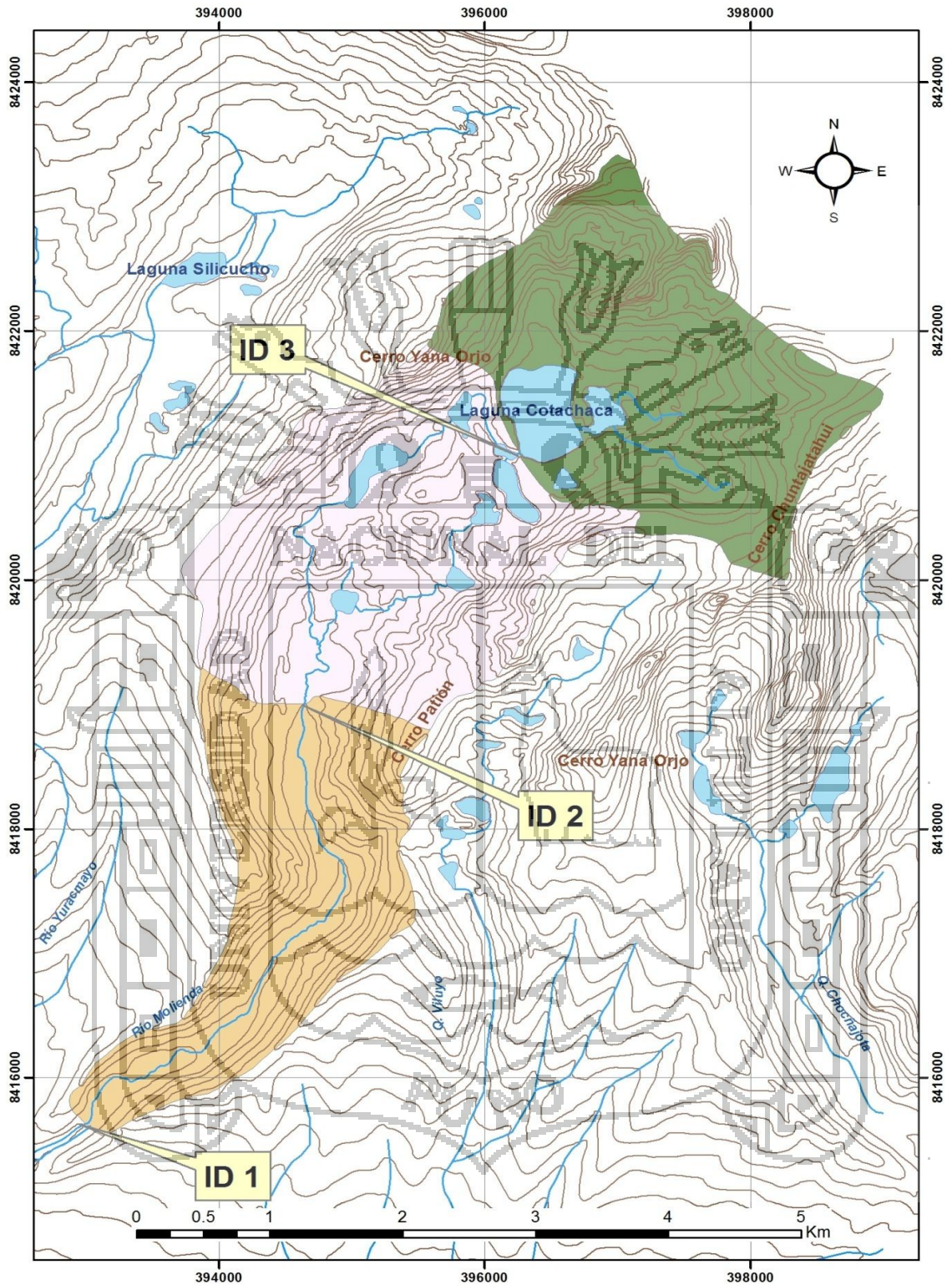
Del Cuadro 09 y Figura 07, puede decirse que en el punto de interés: Presa Cotachaca el caudal medio multianual para el periodo 1964 – 2011 es  $0.038 \text{ m}^3/\text{s}$  y su correspondiente equivalente en volumen igual a  $1.172 \text{ hm}^3$ , presentándose el valor más significativo en el mes de febrero con  $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$  y el menos significativo en el mes de agosto con  $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que confirma la marcada diferencia de la oferta hídrica entre las épocas seca y húmeda.

Los recursos hídricos totales medios regulables en la microcuenca del río Molienda para un rendimiento hídrico estimado o asumido de  $R = 6.51 \text{ l/s/km}^2$  lo constituyen los recursos propios de la microcuenca Molienda en el punto de interés: presa Cotachaca, provenientes de un área total de cuenca colectora de  $A = 5.77 \text{ km}^2$ , siendo entonces los caudales medios multianuales para el periodo 1964 – 2011 y su correspondiente equivalente en volumen igual a:

$$Q_{\text{Presa COTACHACA}} = 0.038 \text{ m}^3/\text{s}; \quad V_{\text{Presa COTACHACA}} = 1.172 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Como toda estimación los resultados obtenidos y presentados en los cuadros anteriores, estarían sujetos a validación (confirmar o ajustar), cuando se disponga de información hidrométrica, suficiente y confiable.

Figura N° 08: Puntos de interés identificados en la microcuenca Molienda.



Fuente: Estudio Hidrológico Sistema de Riego Molienda, 2012

**LEYENDA**

- ID 1 – ID 2 – ID 3: Puntos de interés identificados en la Microcuenca Molienda

## 3.2. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

### 3.2.1. Cordillera Oriental

Unidad geomorfológica que comprende entre 4800 – 6000 m.s.n.m., constituidos con nieves perpetuas, producto de las últimas glaciaciones más recientes en la zona, los mismos que son afectados por desplazamientos laterales, rupturas en los casquetes glaciares que ocasionan caída de bloques de pizarras, andesitas, granodioritas y detritos de roca descompuesta; tectónicamente están deformados por la tectónica Herciniana y Andina, en las partes altas del distrito Ñuñoa.

Regionalmente en el área de estudio en su mayor parte relieve accidentado, conformando una cadena de nevados y montañas, mientras que el área con relieve homogéneo solo se observa en la pampa de Crucero y áreas aledañas que se encuentran conformadas por colinas.

El principal accidente geográfico lo constituye la Cordillera Oriental sobre la cual se reconocen diversas unidades geomorfológicas las cuales son importantes para determinar la relación, morfología – litología; dado que gran parte de la Cordillera Oriental se encuentran mayormente conformada por rocas metamórficas de bajo grado, pizarras y cuarcitas que dan lugar a una cadena de montañas con superficie abrupta y heterogénea.

El desarrollo o evolución morfológica ha sido controlada esencialmente por factores estructurales como son fallas, levantamiento de bloques antiguos la litología de las rocas ígneas especialmente y la actividad denudacional como son la erosión de los glaciares y fluviales que han interactuado todos ellos para dar lugar al actual modelamiento de la superficie.

### 3.2.2. Pre Cordillera de Carabaya

Esta unidad esta al SO del valle de río Grande y sus limites se extienden fuera de la zona de estudio. La precordillera se orienta de SE-NO y se caracteriza porque las colinas tienen perfiles redondeados, cuyas crestas están entre 4,400 a 4,800 m.s.n.m. y algunos superan los 5,000 m.n.s.m (Cerro Yanaccacca llega hasta 5,143 m.s.n.m., esta cordillera esta modelada sobre rocas del Paleozoico y parcialmente sobre rocas Cretáceas.



### 3.2.3. Depresión Longitudinal Crucero Ananea Cojata

Esta unidad coincide con la cuenca superior del valle río Grande. Este relieve está orientado del SE-NO por su parte central discurre el río por un cauce muy amplio.

El valle tiene una superficie suavemente inclinada a plana pudiendo considerarse una llanura aluvial. Dentro de esta unidad los relieves planos son denominados pampas y entre los más importantes tenemos: Parinani, Baltimory, Limapampa, Chaypitanapampa, Islapampa y Pampablanca.

## 3.3. GEOLOGIA REGIONAL

### PALEOZOICO

#### 3.3.1. Formación Ananea (SD-a)

Toma su nombre de la localidad de Ananea en el departamento de Puno donde Laubacher 1978, la describe como una gruesa secuencia de pizarras y esquistos aflorantes a lo largo de la ruta entre Ananea a Cuyo – Cuyo. Esta unidad sobryace concordante sobre los niveles rítmicos de la Formación Sandia. En la región conforma los núcleos de los sinclinales a lo largo de los valles de Sandia y Tambopata. Consiste de esquistos grises oscuros afectados por una esquistosidad de flujo que en muchos casos impide observar la estratificación, estando plegada fuertemente en varios sectores. Sus niveles inferiores conservan láminas de areniscas finas en estructuras lenticulares. A partir de este punto, esta formación pierde paulatinamente su metamorfismo con dirección NE; es así que al norte de Camarón y río Lanza, esta unidad presenta la apariencia de lutitas y limoarcillitas micáceas, conservando una incipiente esquistosidad y de bajo ángulo con respecto a la estratificación. Entre Sandia y Huancaluque se midió un flanco del sinclinal donde aflora la Formación Ananea en dirección SO.

Las minas de la Rinconada, Pampa Blanca, Chaquiminas y otros están enmarcadas dentro de la Formación Ananea que representa a secuencias pelíticas depositadas en un ambiente marino algo profundo. Sus primeros niveles pueden corresponder a sedimentos turbidíticos y flysh, consecuencia de la inestabilidad tectónica a finales del Ordoviciano.

### 3.3.2. Grupo Ambo (Ci-a)

Nombre dado por Newell N. y otros (1949) a una secuencia samita-pelítica continental afloran en los alrededores de Ambo departamento de Huánuco.

En el altiplano de la región sur, la unidad ha sido descrita por Klinck B. y Palacios O. Y otros (1991) en el cuadrángulo de Puno y por de La Cruz N. (1995) en la formación Azángaro.

La unidad genera una morfología moderada a abrupta dependiendo de la estructura que esté formando.

En base a su posición estratigráfica, ya que sobreyace a la Formación Ananea del Siluro-Devoniano e infrayace al Grupo Tarma del Carbonífero Superior; así como por la presencia de restos fósiles encontrados en esta unidad se la puede considerar en edad como Carbonífero Inferior (Mississippiano).

La secuencia carbonífera presentes en el área se han depositado mayormente bajo ambientes continentales próximos a la línea de costa con un lento hundimiento del terreno y con pequeñas oscilaciones de mares transgresivos, favoreciendo el desarrollo de pantanos en los cuales se ha acumulado algo de material carbonoso.

### 3.3.3. Grupo Tarma (Cs-t)

Denominado así por Dumbar G. y Newell N. (1946) para referirse a una secuencia pelito-calcárea que aflora en el Perú central.

La unidad está conformada por una intercalación de areniscas, calizas y limoarcilitas, cuyas proporciones resultan ser variables según la aparente paleogeografía que tuvo durante su denostación.

La parte media de la secuencia se tiene una intercalación de areniscas, calizas, limoarcilitas abigarradas, en capas delgadas. Las areniscas son de grano fino y cemento calcáreo con algunas estructuras sedimentarias como flaser bedding, ripples y otros niveles con laminación horizontal paralela.

Al tope se tiene una serie de secuencias estratificadas más continuas con intercalaciones de areniscas feldespáticas de color gris verduzco en capas tabulares de grano medio con areniscas calcáreas, calizas con presencia de óxidos de fierro y algunos niveles con nódulos de chert las areniscas presentan niveles con estratificación sesgada de mediana y pequeña escala.

#### 3.3.4. Grupo Copacabana (Pi-c)

Douglas J. (1920), describe por primera vez una secuencia calcáreo-pelítica en la península de Copacabana en el Lago Titicaca Bolivia.

Su expresión morfológica es característica y generalmente abrupta, dado que genera grandes escarpas verticales en los que destacan nítidamente sus planos de estratificación. Estos afloramientos resultan fácilmente distinguibles a la distancia, debido al color blanquecino que presentan sus rocas componentes en superficie alterada. Estas características sumadas a su estratificación marcada facilitan su identificación.

El Grupo Copacabana tiene un grosor de 500 m. y está conformado por calizas micríticas, espáticas, caliza arenosa y limoarcilitas calcáreas, predominantemente se presentan en capas gruesas. El Grupo Copacabana suprayace concordantemente al Grupo Tarma, habiéndose colocado el contacto donde terminan las areniscas y comienza una sucesión enteramente calcárea, infrayace en algunas partes en discordancia angular suave y en otras en concordancia a las areniscas rojas y volcanitas del Grupo Mitu.

Existen muestras paleontológicas recolectadas que reportan la presencia de Neospirifer muestras paleontológicas recolectadas que han sido estudiadas por el INGEMMET en Limbani.

#### 3.3.5. Grupo Mitu (Ps-m)

El nombre fue introducido por Mc Laughlin D. (1924) para referirse a una secuencia de areniscas rojas permianas expuestas en el Perú central en el sur del país el Grupo Mitu tiene una gran extensión y desarrollo sobre todo a lo largo del frente de la cordillera oriental se han reconocido dos tipos de litofacies en la secuencia: una principalmente clástica y la otra mayoritariamente volcánica. Las volcanitas se van a encontrar indistintamente intercaladas con las areniscas (Newell N., Laubacher G., 1978; entre otros), están constituidas por lavas andesíticas de textura porfirítica, de naturaleza plagiofírica con una pasta micro a criptocristalina conteniendo una cantidad menor de feldspatos potásico, cuarzo, piroxenos y anfíboles, se intercalan algunas brechas con litoclastos volcánicos, además se encuentran areniscas arcósicas de grano fino, color rojo brunáceo en capas de 60 cm. o más.

El vulcanismo del Grupo Mitu pertenece al magmatismo del arco interno fue episódico y periódicamente con un dominio de la fuente de la corteza, el vulcanismo pudo haber estado ligeramente relacionado a los procesos de subducción son muy comunes las intercalaciones de areniscas arcósicas conglomerádicas que contienen elementos volcánicos, el grosor de la secuencia es estimada en 500 m. correspondiendo las mayores dimensiones.

El Grupo Mitu suprayace en discordancia erosional a las calizas del Grupo Copacabana no se han encontrado fósiles en los estratos de la unidad, pero basado en sus relaciones estratigráficas post-leonardino y pre-cretáceo su edad estaría entre el Permiano Superior y el Triásico Inferior.

### 3.3.6. Cuaternario

- **Depósitos Morrenicos (Qh-mo)**

Se considera a las acumulaciones sueltas que ocurren rellenando las laderas o flancos de los picos montañosos y colinas producto de la crioclastia y derrubiación de los paquetes sedimentarios expuestos favorecidos por la acción del intemperismo.

Estos tienen gran distribución en los alrededores del embalse constituyendo detritos de talud que cubren en gran parte las vertientes en sus laderas medias y bajas. Los materiales depositados por acción combinada de la gravedad y las lluvias son de naturaleza arcillo-arenosa, englobando bloques, piedras y gravas de composición calcárea.

- **Depósitos Fluvioglaciares (Qp-gf)**

La acción fluvial se limita al cauce de los riachuelos que conectan a las diferentes lagunas. El cauce fluvial es poco desarrollado con anchos de 2.0 a 3.0 m., el material de relleno proveniente de las laderas de los cerros aledaños a las lagunas existentes dentro del área de estudio está conformado por boleos, gravas subangulosas a subredondeadas de composición calcárea, arenosa y microdiorítica en su mayor parte con arena gruesa y algo de limo depositados y acumulados en los flancos de la Cordillera Oriental, regionalmente el área circundante se caracteriza por acumulaciones de materiales de rocas metamórficas en la parte norte del área de estudio.

## MESOZOICO

### 3.3.7. Rocas Intrusivas

#### 3.3.7.1. Intrusivo Microdiorítico (Nm-md)

Rocas intrusivas constituidas por minerales de plagioclasas, biotitas, hornblendas; con presencia de minerales de alteración como sercitas, caolinitas, esfena y cloritas. Entre los minerales accesorios, se tiene microgramos de cuarzo. La roca presenta una textura aplitica de cristales idiomorfos. Roca intrusiva que aflora en la parte alta de la Laguna Cotachaca.

### 3.4. GEOMORFOLOGIA LOCAL

Los caracteres geomorfológicos locales de la zona se deben a procesos exógenos de degradación y agradación o acumulación, cuya secuencia de conformación estaría dada a partir de la presencia de los depósitos del Grupo Copacabana, Grupo Tarma e intrusivos microdioríticos. A partir de este se produce una intensa erosión lineal dando lugar a valles en forma de “V”, como ejemplo se tiene la valle glacial del río Molienda ubicada aguas debajo de la laguna Cotachaca cuyos fondos alcanzaron las cotas de 4200 a 4500 m.s.n.m. Finalmente debido a procesos tectónicos y a fenómenos climáticos, se constituyeron los depósitos morrénicos y fluvio – aluviales del cuaternario reciente.

#### 3.4.1. Agentes y Factores de Modelamiento Geomorfológico

Los agentes y factores del modelamiento geomorfológico de la zona de estudio más importantes que han modelado el área en las diversas épocas geológicas son:

##### 3.4.1.1. Tectónicos

La tectónica de la zona con fallamientos y movimientos epirogenéticos; desarrollados antes de la efusión volcánica y la última glaciación ha modelado la superficie del área.

Actualmente existe una calma tectónica por lo que las estructuras geológicas funcionan como controladores pasivos en los procesos morfodinámicos actuales, en los alrededores de la zona de estudio no se evidencian estructuras geológicas de carácter regional solo se aprecia el contacto geológico entre la roca sedimentaria y la roca ígnea volcánica.

### 3.4.1.2. Intrusivos

La configuración morfológica del área se debe también a la presencia de rocas intrusivas microdioríticas que ha formado colinas antes de la última glaciación. Actualmente existe una calma tectónica.



*Foto 03: Intrusivo Microdiorítico ubicado al sur de la laguna Cotachaca*

### 3.4.1.3. Hidroclimáticos

Durante la última glaciación y la actual desglaciación se produjeron períodos climáticos de altas precipitaciones que son los principales agentes del desgaste y consiguiente modelado. Actualmente estos agentes son los más relevantes en los procesos morfodinámicos, las precipitaciones actuales con un promedio anual de 800 a 1,000 mm. desarrollan los actuales procesos erosivos más importantes en la zona.

En la definición de las unidades el clima es sólo indirecto pues constituye un factor muy importante porque condiciona la influencia de los factores del modelado y por lo tanto las formas del relieve.

El clima de la zona está influenciado principalmente por la orografía y la altitud, donde las precipitaciones son estacionales presentándose durante los meses de verano (enero – marzo), período en el cual ocurre alrededor del 80 al 85 % de la precipitación total anual.

Durante los meses restantes del año es frecuente observar la ausencia de lluvias manteniéndose la humedad relativa con valores altos de aproximadamente 90 % en el flanco Este de la Cordillera Oriental y teniendo valores muy bajos de humedad relativa en la pampa de Crucero y áreas adyacentes.

Las temperaturas presentan una fuerte variación entre el día y la noche, siendo más notorio durante los meses de invierno cuando el cielo está despejado de nubosidad; con frecuencia durante las noches la temperatura desciende por debajo de  $-9.3^{\circ}\text{C}$ .

Por lo tanto, el modelado de la zona actualmente está íntimamente ligado al factor climático, los procesos geodinámicos se dan con mayor énfasis en periodos de avenidas y el proceso de crioclastia en periodos invernales.

#### **3.4.1.4. Eólicos**

Estos son de importancia en la zona debido a la escasa cobertura vegetal, afloramientos líticos y la orientación topográfica que protege del desarrollo de las corrientes y trombas que ocurren en las planicies.

Sin embargo los vientos generados por las diferencias de presión durante el día y la noche son persistentes e influyen en la erosión laminar de laderas descubiertas.

#### **3.4.1.5. Antropomórficos**

Actualmente no existe desarrollo de infraestructura tan solo una carretera vecinal y viviendas bastante aisladas.

### **3.4.2. Unidades Geomorfológica**

En la zona de estudio durante los trabajos de campo se ha podido identificar tres sistemas (Antropico, Fluvial y Sedimentario), los mismos que contienen 8 sub unidades geomorfológicas las que se presentan en el cuadro N° 10.

#### **3.4.2.1. Sistema Antrópico**

Está constituido por las construcciones y/o modificaciones efectuadas en la superficie tales como:

- Vías de acceso local

Posteriormente se realizarán también:

- Excavación plataformas de cimentación de la presa.
- Áreas de excavaciones para explotación de canteras.
- Zonas de botaderos de escombros.
- Caminos de acceso.
- Explanaciones para áreas administrativas y campamentos.



**Foto 04:** Maquinarias pesadas modifican la superficie del área de trabajo.

**Cuadro N° 10: Unidades geomorfológicas**

SISTEMA	UNIDAD
Antrópico	Vías de acceso.
Fluvial – Lagunar	Río Lecho fluvial Laguna
Sedimentario – Intrusivo	Colinas altas Colinas bajas Escarpas Ladera de Montaña

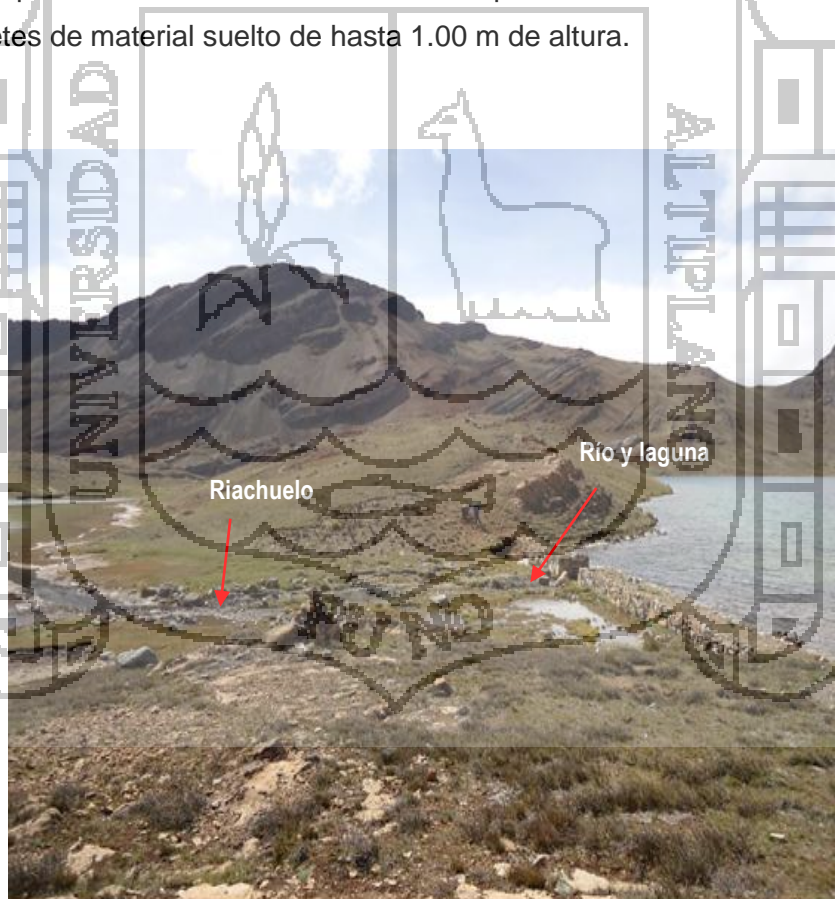
**Fuente:** Elaboración propia - Tesis 2013.



### 3.4.2.2. Sistema Lagunar - Fluvial

Este sistema contiene unidades que tienen relación directa con el escurrimiento superficial de las aguas, dichas unidades son:

- **Riachuelo:** la zona de estudio presenta un cauce de escurrimiento superficial de conexión desde la laguna Cotachaca hacia la laguna Murmuntacocha formando así otras lagunas adyacentes como Sagracocha y aguas abajo de la laguna Cotachaca se encuentra una de las lagunas de importancia hidrológica denominado laguna Naranjacocha, en el trayecto entre la presa de tierra hasta la ladera del cerro Pukina con dirección al pueblo de Crucero se encuentra el valle fluvial tipo U es hay donde se enmarca el riachuelo principal llamado Molienda.
- **Lecho Fluvial:** corresponde a la unidad que se emplaza a ambos márgenes del riachuelo, está compuesta de material fluvio-aluvial (gravas, arenas, y material fino) con cantos angulosos de naturaleza calcárea, esta unidad geomorfológica también esta representada en el flanco del valle tipo U llamado Molienda conformado por paquetes de material suelto de hasta 1.00 m de altura.

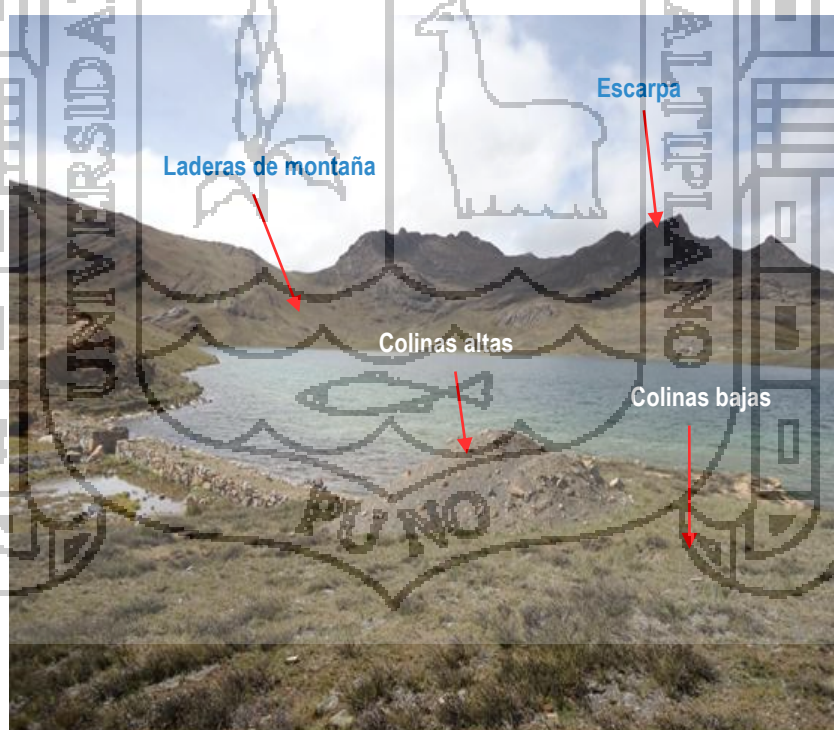


**Foto 05:** Unidades geomorfológicas del sistema lagunar.

### 3.4.2.3. Sistema Sedimentario - Intrusivo

Está constituido por geoformas originadas por edificación tectónica y sedimentaria; así como originadas por denudación muy relacionada con la composición litológica. Se pueden distinguir las siguientes unidades:

- **Colinas altas:** se encuentran principalmente en las zonas circundantes del área por el desgaste lento sobre las rocas sedimentarias de naturaleza calcárea y areniscas principalmente el modelado es abrupto.
- **Colinas bajas:** se han formado en las partes más bajas con laderas suaves que gradualmente pasan a las geoformas de aplanamiento.
- **Escarpas:** se ubican en las partes altas del embalse de la laguna Cotachaca. Están compuestas de areniscas del Grupo Tarma.
- **Laderas de Montaña:** se emplazan en los flancos de las montañas presentan pendientes variadas y cubiertas por material coluvial de relativa estabilidad. Es en ésta zona donde se aprecia con mayor énfasis la erosión laminar.



**Foto 06:** Unidades geomorfológicas del sistema sedimentario intrusivo.

### 3.5. GEOLOGÍA LOCAL

La geología en los alrededores de la presa de tierra consta principalmente de dos secuencias de rocas del Paleozoico; del Carbonífero, Pérmico Inferior y depósitos cuaternarios recientes. Las unidades Paleozoicas forman parte de la cadena herciniana del Sureste que afloran en largas secuencias alargadas orientadas en dirección andina (NNW – NSE), las que han controlado la sedimentación de los depósitos del Mesozoico.

En la zona de estudio se han podido reconocer rocas cuyo rango de edad van desde el Carbonífero Superior (Grupo Tarma), Pérmico Inferior (Grupo Copacabana) hasta el reciente.

#### ESTRATIGRAFÍA LOCAL

En el presente ítem se describen los principales afloramientos rocosos circundantes en un área de influencia del área de estudio. La descripción se efectúa en base a la información obtenida a partir de mapas regionales a escala 1:100 000 del INGEMMET y levantamiento del mapa geológico local para describir las secuencias estratigráficas del área.

#### PALEOZOICO

##### 3.5.1. Grupo Tarma (Cs - t)

Litológicamente se caracteriza por contener una intercalación de areniscas, limoarcilitas y calizas micríticas de proporción muy variable. La morfología que presenta es relativa dependiendo de la posición de las capas ya que puede mostrar morfología suave o abrupta, en el área del embalse Cotachaca la morfología es abrupta. Hacia el lado oeste de la laguna se observa la base de esta unidad que se encuentra concordante sobre las areniscas cuarzosas y limolitas carbonosas del Grupo Ambo.

La secuencia inferior del Grupo Tarma constituida principalmente de areniscas feldespáticas de color verde característico de grano medio a fino, se intercala con areniscas calcáreas de color beige y gris en capas medianas de 20 a 50 cm. de potencia, va acompañado de óxidos de hierro que dan una coloración rojizo, esta formación geológica abarca la laguna Silicucucho y la comunidad de Oskoroque pertenecientes al distrito de Crucero.

### 3.5.2. Grupo Copacabana (Pi - c)

En el área de estudio se localiza en toda el área de embalse y del eje, siendo una de las características más resaltantes es su expresión morfológica ya que se presenta escarpas verticales notorias y una posición bien definida que presenta buena estratificación de color gris claro, rojizo y beige claro, generando un suelo de color amarillento a rojizo. La litología esencialmente está dada por calizas de color crema, gris oscuro y rojizo, en muchos casos silicificadas y dolomitizadas, con intercalaciones de caliza dolomítica y limoarcillitas calcáreas de color gris con intercalaciones de óxido de hierro.

## MESOZOICO

### 3.5.3. Intrusivo Microdiorítico (Nm-sh/md)

Son cuerpos intrusivos microdioríticos, que afectan principalmente a rocas Paleozoicas tales como Grupo Ambo, Tarma y Grupo Copacabana. Su textura fina presenta pequeños cristales de color verdusco además muestra una ligera cloritización, sericitización, débil argilitización y una incipiente epidotización. El aspecto que presenta es macizo con un fuerte diaclazamiento perpendicular en la zona del proyecto este macizo forma parte de la laguna Naranjacochoa.

### 3.5.4. Depósitos Cuaternarios

- **Depósitos Coluviales (Qh - co)**

Se considera a las acumulaciones sueltas que ocurren rellenando las laderas o flancos de los picos montañosos y colinas producto de la crioclastia y derrubiación de los paquetes sedimentarios expuestos favorecidos por la acción del intemperismo.

Son depósitos diferenciados básicamente por su especial configuración conformados por taludes de escombros que son poco transportados y cuya formación virtualmente continúa hasta el presente.

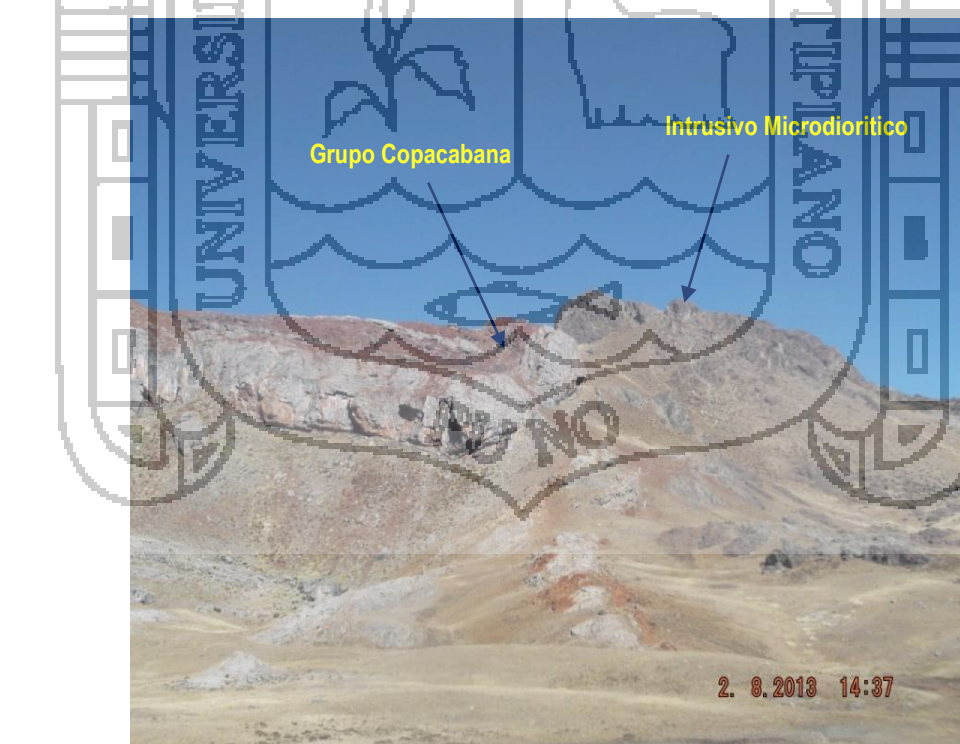
Estos tienen gran distribución en los alrededores del embalse constituyendo detritos de talud que cubren en gran parte las vertientes en sus laderas medias y bajas. Los materiales depositados por acción combinada de la gravedad y las lluvias son de naturaleza arcillo-arenosa englobando bloques, piedras y gravas de composición calcárea.

- **Depósitos Fluvio -Aluviales**

La acción fluvial se limita al cauce de los riachuelos que conectan a las diferentes lagunas empesando de la laguna Cotachaca, Murmuntacocha, Sagracocha y finalmente encausa a la laguna Naranjacochoa. El cauce fluvial es poco desarrollado con anchos de 2.0 a 3.0 m., el material de relleno que ha sido depositado en el trayecto de los riachuelos están conformados por boleos, gravas subangulosas a subredondeadas de composición calcárea, arenosa y microdiorítica en su mayor parte con arena gruesa y algo de limo.

- **Bofedal (Qh-bo)**

Compuesto por material hidromórfico, fango-arcilloso con materia orgánica vegetal en proceso inicial de turberización, en medio acuoso mal conservado que están ubicados al pie de las laderas de los cerros adyacentes a la laguna Cotachaca, también se encuentran en la salida del embalse de la presa, los suelos hidromorficos de limos y arcillas se notan con mas frecuencia en todo el trayecto del valle fluvial empesando desde la salida de la laguna Naranjacochoa hasta las laderas del cerro Pukina paralelo al canal principal Molienda. **(Ver plano 03 Geológico Local)**



**Foto 07:** Contacto geológico, Grupo Copacabana-Intrusivo Microdiorítico.

### **3.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

El desarrollo estructural en el área de estudio está íntimamente ligado al ciclo evolutivo de la Tectónica Hercíniana y Tectónica Andina; estos movimientos tectónicos han controlado la sedimentación y deformación de las unidades litológicas mayormente Paleozoicas y consecuentemente Mesozoicas las que evidencian una superposición de estas fases tectónicas.

La fase Tardihercínica de acción compresional corresponde a un medio superior que se evidencian en las unidades Carboníferas (Grupo Tarma), Permianas (Grupo Copacabana).

### **3.7. SISMICIDAD**

#### **3.7.1. Sismología**

El conocimiento probabilístico de que se produzca sismos la intensidad que tendría dentro del área de interés de la obra es de mucha importancia en el planeamiento de una vía por lo que permitirá realizar mejores diseños estructurales, estimar los daños que puedan causar éste en las obras que forman parte de la vía y calcular los posibles efectos en las poblaciones aledañas; por lo que es importante desde el punto de vista humano y pérdidas económicas.

El presente estudio tiene por objeto evaluar el riesgo sísmico de la zona donde se emplazará la obra. La primera etapa comprende una revisión de la actividad sísmica del pasado presentando la información de los datos históricos de sismos que afectaron la región las características de los terremotos en los últimos años se presentan en el catálogo sísmico también se resume la información macrotectónica.

#### **3.7.2. Sismicidad Regional**

La máxima sismicidad con que se espera que una determinada zona sea sacudida dentro de un cierto periodo de tiempo se basa en los movimientos ocurridos en el pasado; por lo tanto la mejor manera de establecer parámetros que permitan un cálculo probabilístico es tener en consideración toda la histórica sísmica instrumental y sismotectónica.

### 3.7.2.1. Sismicidad Histórica

Los sismos más importantes ocurridos en la región, cuya historia se menciona:

**-19 de Febrero de 1600.** A las 05:00. Fuerte sismo causado por la explosión del Volcán Huaynaputina (Omate), la lluvia de ceniza obscureció el cielo de la ciudad de Arequipa, según el relato del Padre Bartolomé Descaurt. Se desplomaron todos los edificios con excepción de los más pequeños, alcanzando una intensidad de XI en la Escala Modificada de Mercalli en la zona del volcán.

**-18 de Setiembre de 1833.** A las 05:45 violento movimiento sísmico que ocasionó la destrucción de Tacna y grandes daños en Moquegua, Arequipa, Sama, Arica, Torata, Locumba e Ilabaya, murieron 18 personas; fue sentido en La Paz y Cochabamba y provincias anexas en el país de Bolivia.

**-24 de Agosto de 1942.** A las 17:51 terremoto en la región limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, alcanzando intensidades de grado IX de la Escala Modificada de Mercalli, el epicentro fue situado entre los paralelos de 14° y 16° de latitud Sur. Causó gran destrucción en un área de 18,000 kilómetros cuadrados, murieron 30 personas por los desplomes de las casas y 25 heridos por diversas causas. Se sintió fuertemente en las poblaciones de Camaná, Chuquibamba, Aplao y Mollendo con menor intensidad en Moquegua, Huancayo, Cerro de Pasco, Ayacucho, Huancavelica, Cuzco, Cajatambo, Huaraz y Lima. Su posición geográfica fue -15° Lat. S. y -76° long. W. y una magnitud de 8.4, en Arequipa tuvo una intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli.

**-03 de Octubre de 1951.** A las 06:08 fuerte temblor en el Sur del país. En la ciudad de Tacna se cuartearon las paredes de un edificio moderno incluido las carreteras pertenecientes al departamento, alcanzó una intensidad del grado VI en la Escala Modificada de Mercalli. Se sintió fuertemente en las ciudades de Moquegua y Arica. La posición geográfica fue de -17° Lat. S. y -71° Long. W. y su profundidad de 100 Km.

**-15 de Enero de 1958.** A las 14:14:29. Terremoto en Arequipa que causó 28 muertos y 133 heridos. Alcanzó una intensidad del grado VII en la Escala Modificada de Mercalli y de grado VIII en la escala internacional de intensidad sísmica M.S.K.

(Medvedev, Sponheuer y Karnik), este movimiento causó daños de diversa magnitud en todas las viviendas construidas a base de sillar resistiendo sólo los inmuebles construidos después de 1940.

**-23 de Junio de 2001.** A las 15 horas 33 minutos terremoto destructor que afectó el Sur del Perú, particularmente los Departamentos de Moquegua, Tacna y Arequipa. Este sismo tuvo características importantes entre las que se destaca la complejidad de su registro y ocurrencia. El terremoto ha originado varios miles de post-sacudidas o réplicas.

### 3.7.3. Evaluación de riesgo Sísmico

Según la mapa de zonificación sísmica presentada por el IGP, el área de estudio se encuentra en la zona 2, en el cual la aceleración máxima varía entre el rango de 0.15 – 0.30, lo que indica sismos según la escala de Mercalli hasta de grado VI estando dentro de la categoría de sismos leves. Los parámetros necesarios para el análisis de aceleración máxima:

- Distancia Epicentral ( R )
- Magnitud del sismo (M)

Según A.G. (USGS 1977) Para terremotos peruanos:

$$A = 68.7 e^{0.80 (M) / (R - 25)}$$

El sismo de diseño, es el más grande que se espera que ocurra una vez en la vida útil del proyecto. En este caso se considera que la estructura tendrá una vida útil de 50 años con la probabilidad de ser excedida en un 10%, esto corresponde a un período de retorno de 475 años. El sismo extremo se define como el más intenso en una zona sísmogénica. La sismicidad histórica indica que en el área del proyecto se han producido intensidades de hasta VII en la escala Mercalli Modificada.

Los parámetros sísmicos de diseño se detallan en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 11: Parámetros sísmicos de diseño**

Fundación	Zonificación Sísmica	Coefficiente de Aceleración	Perfil de Suelo	Coefficiente de Sitio
Caliza Fracturada	Zona 2	0,26 g	Tipo S <sub>2</sub>	1,2

**Fuente:** Instituto Geofísico de Perú- PELT 2012.



### 3.8. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL CUERPO DE PRESA DE

#### TIERRA

Frente a la gran variedad de suelos, rocas y diversidad de agentes naturales que condicionan el estado físico y mecánico entre otras propiedades para efectuar la caracterización fue necesario recurrir a dichos patrones como criterios guía, debiendo dejar en claro que el uso de las tablas o patrones referenciales tiene como objetivo el de sistematizar los criterios mas no restringir otros criterios usados en ingeniería; en este sentido en los estribos derecho e izquierdo donde el macizo consta de afloramientos rocosos se realizaron pruebas simples de campo con el objetivo de aplicar las Tablas de Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos y la Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979) que definen las calidades de los macizos rocosos como material de fundación de las obras.

**3.8.1. Estribo Izquierdo Cotachaca:** conformado por afloramientos de calizas de color beige con un grado de fracturamiento estrecho los cuales presentan un azimut promedio de 145° NE y un buzamiento general de 25° SW. En la superficie del afloramiento se observa una incipiente karstificación.

**Cuadro N° 12: Características geotécnicas estribo izquierdo**

Parámetro	Características
Litología	Caliza beige
Pendiente (°)	12°
Peso específico (T/m <sup>3</sup> )	> 2.5
Tamaño de granos (mm)	0.02 a 0.06 mm.
Grado de alteración	Medianamente alterada (A-3)
Fracturamiento	F-3 (3): 6 - 10 fract/m
Factor de esponjamiento (%)	1.60
Dureza Mohs	(3) Medianamente dura
Resistencia a la compresión simple (MPa)	5 – 25
Clasificación Geomecánica	RMR: 36 Roca Clase IV (4) Mala calidad. <b>(Ver tabla 01)</b>

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) = 73\%$$

$\lambda = 10$ ; número de juntas por metro lineal

**3.8.2. Estribo Derecho Cotachaca:** este estribo está conformado por una cobertura de suelo coluvial de composición gravosa limo-arcillosa y clastos de roca angulosa como una transición hacia el macizo rocoso que se encuentra en profundidad.

**Cuadro N° 13: Características geotécnicas estribo derecho**

Parámetro	Características
Litología	Caliza beige
Pendiente (°)	05°
Peso específico (T/m <sup>3</sup> )	> 2.5
Tamaño de granos (mm)	0.02 a 0.06 mm.
Grado de alteración	Medianamente alterada (A-3)
Fracturamiento	F-3 (3): 1 - 11 fract/m
Factor de esponjamiento (%)	1.60
Dureza Mohs	(3) Medianamente dura
Resistencia a la compresión simple (MPa)	5 – 25
Clasificación Geomecánica	RMR: 35 Roca Clase IV (4) Mala calidad. (Ver tabla 01)

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) = 69\%$$

$\lambda = 11$ ; número de juntas por metro lineal

**3.8.3. Área entre Estribos Cotachaca:** conformado por acumulaciones de material fluvio – aluvial, en superficie se observa fragmentos de rocas de diámetro menores a 3” y en la base esta el macizo rocoso.

**Cuadro N° 14: Características geotécnicas área entre estribos**

Parámetro	Características
Litología	Caliza beige
Pendiente (°)	2°
Peso específico (T/m <sup>3</sup> )	> 2.5
Tamaño de granos (mm)	0.02 a 0.06 mm.
Grado de alteración	Medianamente alterada (A-3)
Fracturamiento	F-2 (2): 1 - 4 fract/m
Factor de esponjamiento (%)	1.60
Dureza Mohs	(3) Medianamente dura
Resistencia a la compresión simple (MPa)	5 – 25
Clasificación Geomecánica	RMR: 31 Roca Clase IV (4) Mala calidad. (Ver tabla 01)



*Foto 08: Vista panorámica de los estribos de la presa de tierra Cotachaca*

### 3.9. GEOTECNIA – ÁREA DE EMBALSE

#### 3.9.1. Investigaciones Geotécnicas Ejecutadas

Las investigaciones geotécnicas para cimentación se fundamentan con excavaciones exploratorias (calicatas, trincheras, barrenos), ensayos de mecánica de suelos orientadas a determinar los parámetros geotécnicos de los diferentes materiales de cimentación. Teniendo en cuenta las características geológicas se procedió a ejecutar:

- Excavaciones exploratorias (calicatas suelos)
- Muestreo de roca para determinar la resistencia por compresión simple.
- Muestreo para ejecutar los ensayos de laboratorio (suelos y rocas)

En el ítem Anexos se incluyen los resultados de los ensayos de mecánica de suelos y rocas ejecutados con las muestras representativas del área de estudio y procesadas en los laboratorios de Mecánica de Suelos de Universidad Andina de Juliaca y del contratista CROVISA.

### **a. Excavaciones Exploratorias**

Se ejecutaron un total de 9 excavaciones exploratorias (calicatas) y se alcanzaron profundidades de hasta 2.00 m. Llegando hasta el basamento rocoso; en algunos casos y cuando las condiciones del terreno lo permitían se complementaron con lecturas de los perfiles naturales acción que ha permitido verificar la estratigrafía del área.

Las excavaciones exploratorias se ubicaron en tramos puntuales dependiendo también de la geología del terreno de fundación del eje de la presa o en la ubicación de las principales estructuras hidráulicas, información que se ha utilizado para definir las características físico mecánicas del subsuelo:

- Secuencia estratigráfica
- Contactos geológicos
- Características físico y mecánicas de los suelos
- Suelos tipos con su correspondiente muestreo disturbado

Durante la ejecución de las excavaciones se realizaron las siguientes actividades: Registro estratigráfico, clasificación visual según el SUCS, muestreo representativo para los ensayos de laboratorio (Mecánica de suelos y roca). Los perfiles estratigráficos de las excavaciones de calicatas se adjuntan en el anexo respectivo.

### **b. Ensayos de Mecánica de Suelos para Cimentación**

Los ensayos de mecánica de suelos para la cimentación se orientaron para definir sus principales propiedades físico, mecánicas y así poder visualizar la condición real del subsuelo donde se va a desarrollar la zapatas de cimentación de la torre de las compuertas, aliviadero y pontón de aliviadero. Se ejecutaron los siguientes ensayos siguiendo las normas del U.S. Bureau of Reclamación (USBR) y del American Society for Testing Materiales (ASTM):

- Granulometría SUCS (ASTM-D-1422)
- Humedad natural (ASTM-D-216)
- Límite líquido (ASTM-D-4318)
- Límite plástico (ASTM-D-4318)

Los resultados de los ensayos estándar de mecánica de suelos se adjuntan en el ítem Anexos.

### 3.10. ESTANQUEIDAD

Una de las condiciones básicas que debe reunir un embalse es su estanqueidad. Sin embargo, dependiendo del uso del mismo las pérdidas de agua pueden ser más o menos tolerables. Así un embalse de regulación de avenidas no requiere la misma estanqueidad que para abastecimiento o riego. Por otro lado las condiciones de impermeabilidad también deben ser analizadas en función de las necesidades del aprovechamiento ya que en ocasiones puede ser económicamente rentable proceder a tratamientos de impermeabilización en zonas concretas.

La construcción de una presa supone un cambio importante en la hidrología e hidrogeología de la cuenca afectada por el embalse con la inundación de una parte del valle la elevación de los niveles freáticos y su oscilación periódica. Estas modificaciones afectan a la hidrodinámica de los acuíferos pudiendo producirse un flujo de agua desde el embalse hacia el exterior del vaso o bien una recarga del embalse desde los acuíferos que bordean al vaso. El análisis de estos factores corresponde al estudio hidrogeológico en la evaluación de los coeficientes de permeabilidad del área de embalse.

El área de embalse Cotachaca por sus características tendrán una estanqueidad relativamente buena.

#### 3.10.1. Estanqueidad de Laderas del Embalse

- Imposición de una carga en las laderas y fondo del valle equivalente a la altura de agua en cada punto del embalse.
- Elevación del nivel freático en las laderas del embalse.
- Cambios en las condiciones hidrogeológicas de los materiales afectados.
- Oscilación de los niveles freáticos en las laderas del embalse según las condiciones de explotación del aprovechamiento.

Como consecuencia de estos efectos se produce cambios tensionales cuyas consecuencias pueden dar lugar a inestabilidades en las laderas del embalse.

Ante el riesgo de que se puedan producir estas situaciones de inestabilidad fue necesario investigar la existencia de deslizamientos o zonas inestables las cuales luego de la evaluación no se observaron deslizamientos, por lo tanto no presentan riesgo de esta índole.

### 3.11. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS DEL EJE DE PRESA – LAGUNA

#### COTACHACA

##### C-01 Progresiva (0+000)

Profundidad (m.)	Descripción Litológica
00 a 0.10	Conformado por limos orgánicos de color gris oscuro a marrón regularmente húmeda, con presencia de raíces vegetales (OL)
0.10 a 0.35	Estrato de gravas calcáreas mayores a 2" mezclados con limos inorgánicos, de acuerdo a la clasificación SUCS es un suelo (GM) en la base de la calicata se encuentra el basamento rocosos <b>(Ver perfil estratigráfico)</b> .



Foto 09: Calicata 0+000 del estribo izquierdo conformado por limos orgánicos.

##### C-02 Progresiva (0+010)

Profundidad (m.)	Descripción Litológica
0.00 a 0.30	Estrato de limos orgánicos con presencia de raíces vegetales mezclados con fragmentas de rocas calcáreas mayores a 2" regularmente húmedas y en la base de la calicata se encuentra el basamento rocoso no existe presencia de nivel freático de acuerdo a la clasificación SUCS (OL) <b>(Ver perfil estratigráfico)</b>



**Foto 10:** La calicata 0+010, se observa el afloramiento de la roca caliza.

#### Tramo-03 Progresiva (0+020)



**Foto 11:** El tramo 0+020, se observa afloramiento de la roca caliza.

**C-04 Progresiva (0+030)**

Profundidad (m.)	Descripción Litológica
0.00 a 0.15	Estrato de material suelto conformado por gravas limosas constituidos por fragmentos de rocas calcáreas menores a 3", en la base de la calicata se encuentra el basamento rocoso de acuerdo al clasificación SUCS corresponde a un tipo e suelo (GM) <b>(Ver perfil estratigráfico)</b>



*Foto 12: Se observa material suelto conformado por fragmento de rocas calcáreas.*

**C-05 Progresiva (0+040)**

Profundidad (m.)	Descripción Litológica
0.00 a 0.15	Estrato de material suelto conformado por gravas con limos constituidos por fragmentos de rocas calcáreas menores a 3", en la base de la calicata se encuentra el basamento rocoso (GM) <b>(Ver perfil estratigráfico)</b>



**C-06 Progresiva (0+050)**

Profundidad (m.)	Descripción Litológica
0.00 a 0.38	Gravas constituidos por fragmentos calcáreos mayores a 2" con mezcla de limos y arcillas y inorgánicas, en la base de la calicata se encuentra el basamento rocoso y existe presencia de nivel freático, de acuerdo al clasificación SUCS corresponde a un tipo e suelo (GM) <b>(Ver perfil estratigráfico)</b>



*Foto 13: En la base de la calicata 0+050, se observa la presencia del nivel freático.*

**C-07 Progresiva (0+060)**

Profundidad (m.)	Descripción Litológica
0.00 a 0.10	Estrato conformado por limos orgánicos de color marrón a gris oscuro con presencia de raíces vegetales regularmente húmedas con una compacidad suave en la base de la calicata se encuentra el basamento rocoso, de acuerdo al clasificación SUCS corresponde a un tipo e suelo (OL) <b>(Ver perfil estratigráfico).</b>

**C-08 Progresiva (0+070)**

Profundidad (m.)	Descripción Litológica
0.00 a 0.20	Limos orgánicos de color marrón claro, con presencia de raíces vegetales de baja compacidad mezclados con fragmentos de rocas menores a 1" (OL).
0.20 a 1.50	Gravas arcillosas con presencia de limos inorgánicos existe fragmentos de rocas calcáreas subangulosos mayores a 3" de acuerdo al clasificación SUCS corresponde a un tipo e suelo (GM) en la base de la calicata se encuentra el basamento rocoso conformado por roca caliza ( <b>Ver perfil estratigráfico</b> ).



**Foto 14:** Se observa el área de embalse de la laguna Cotachaca.

La laguna de la presa de tierra Cotachaca tendrá la capacidad de almacenar un volumen muerto de 3.05 MMC y un volumen útil de 1.80 MMC, finalmente el volumen total que va almacenar será de 4.85 MMC. El caudal máximo de descarga por el vertedor es de 2.74 m<sup>3</sup>/s y el caudal máximo de descarga por la toma es de 0.136 m<sup>3</sup>/s. este proyecto atenderá la necesidad de abastecer agua de riego a 120 familias usuarias del sistema de riego Molienda, incorporando 148 hectáreas de terreno bajo riego, para un riego constante de 12 horas, las aguas almacenadas en la presa Cotachaca son provenientes de las quebradas de los alrededores de la laguna Cotachaca.

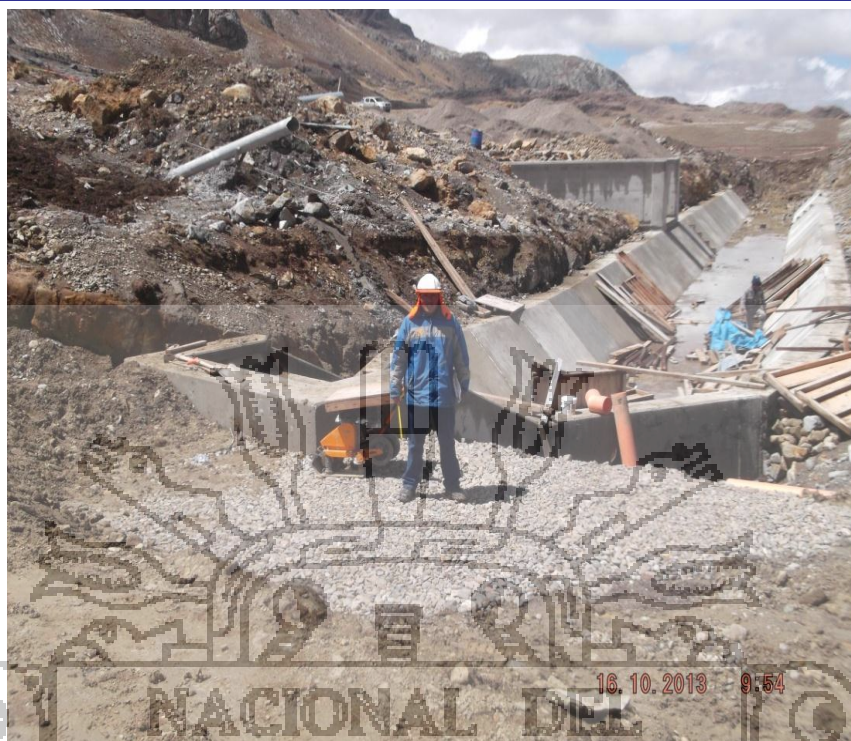
**C-09 Progresiva (0+080)**

Profundidad (m.)	Descripción Litológica
0.00 a 0.20	Limos orgánicos de color marrón claro, con presencia de raíces vegetales de baja compacidad (OL)
0.20 a 0.50	Gravas arcillosas con presencia de limos inorgánicos existe fragmentos de rocas calcáreas subangulosos mayores a 3" de acuerdo al clasificación SUCS corresponde a un tipo e suelo (GC)
0.50 a 2.00	Grava limosa de color marrón claro con presencia de oxido de fierro de compacidad suelta, con regular humedad, tiene presencia de fragmentos calcareos subangulosos en su mayor porcentaje. (GM), en la base de la calicata se encuentra el basamento rocoso conformado por roca caliza ( <b>Ver perfil estratigráfico</b> ).

Calicata ubicado en el estribo derecho de la presa, aguas debajo de la laguna Cotachaca de en este punto existe material suelto acumulado producto del arrastre glaciár.



**Foto 15:** Calicata del estribo derecho de la presa tiene una profundidad de 2.0 m. esta conformado por limos y arcillas inorgánicas en la parte superficial.



**Foto 16:** Se observa el colocado del filtro grueso en la etapa del proceso constructivo en la parte del talud aguas abajo.



**Foto 17:** Se observa la conformación y compactación de la plataforma de la presa con rodillo propulsor CAT 12 TM .

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN EN EL EJE DE PRESA

Teniendo en cuenta los resultados de las calicatas, que nos indica que a 2.00 m. es la máxima profundidad que llega hasta el basamento rocoso, en el estribo derecho se encuentra el macizo rocoso el cual será el terreno de fundación de la presa, se determinara las características geomecánicas del macizo rocoso que aflora en superficie a una distancia de 10 m del estribo derecho.

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, se ha considerado utilizar los parámetros propuestos por Bieniawski (1976), sistema de valoración de macizo rocoso (Rock Mass Rating) comúnmente denominado RMR, cuyo procedimiento consta de los siguientes parámetros.

**Tabla N°01: Evaluación geomecánica RMR.**

Parámetros RMR	Tipo	Condición
100 - 81	I	Muy buena roca
80 - 61	II	Buena roca
60 - 41	III	Roca regular
40 - 21	IV	Roca mala
< 20	V	Roca muy mala

**Fuente:** Basado en la clasificación CSIR, y propuesta por Bieniawsk

La cimentación se referirá al suelo que tenga contacto con el fondo y los estribos de la presa. Las condiciones esenciales que debe cumplir un cimiento para una presa de tierra son las de proporcionar un suelo estable para que todas las cargas (propias y del embalse de agua) se transmitan de los taludes y la estructura de la presa, al suelo y que este cuente con la resistencia suficiente para evitar que se fisure y se pierdan cantidades excesivas de agua. Para estas estructuras es más económico proyectar los cimientos, mediante estimación de sus características y usando amplios coeficientes de seguridad.

## 4.2. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

No se ha observado presencia de agua subterránea ni de escurrimiento superficial de acuerdo a las calicatas ejecutadas debido a que en todo el trayecto donde se va a cimentar las zapatas es roca, pero no se descarta la presencia de aguas meteóricas que se infiltran al macizo a través del fracturamiento pudiendo facilitar el deslizamiento de bloques.

## 4.3. CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

La zona presenta una alteración moderada y karstificación incipiente en las paredes de la roca.

**Cuadro N° 15: Clasificación geomecánica RMR estribo izquierdo**

Parámetro	Descripción	Valuación	
1	Resistencia a la compresión uniaxial	2	
2	Índice de calidad de roca RQD	13	73%
3	Espaciamiento de las discontinuidades	5	
4	Estado de las fisuras	<b>19</b>	
Condición de las Discontinuidades	Continuidad (Persistencia)	2	
	Abertura	5	
	Rugosidad	5	
	Relleno	2	
	Alteración	5	
5	Condiciones de las aguas subterráneas	4	
6	Orientación de las discontinuidades	-7	
<b>RMR</b>		<b>36</b>	

**Cuadro N° 16: Clasificación geomecánica RMR estribo derecho**

Parámetro	Descripción	Valuación	
1	Resistencia a la compresión uniaxial	2	
2	Índice de calidad de roca RQD	13	69%
3	Espaciamiento de las discontinuidades	5	
4	Estado de las fisuras	<b>18</b>	
Condición de las Discontinuidades	Continuidad (Persistencia)	2	
	Abertura	4	
	Rugosidad	5	
	Relleno	2	
	Alteración	5	
5	Condiciones de las aguas subterráneas	4	
6	Orientación de las discontinuidades	-7	
<b>RMR</b>		<b>35</b>	

Las valuaciones geomecánicas del macizo rocoso son como sigue:

**Estribo Izquierdo Presa Cotachaca:**

- Clasificación RMR = IV
- Descripción = Roca Mala
- Resistencia de la roca = 5.14 Mpa
- Angulo de fricción = 15° - 25° (Bieniawski)

**Estribo Derecho Presa Cotachaca:**

- Clasificación RMR = IV
- Descripción = Roca Mala
- Resistencia de la roca = 5.91 Mpa
- Angulo de fricción = 15° - 25° (Bieniawski)

**Cuadro N° 17: Clasificación geomecanica RMR de roca fisurada parámetros y su valoración**

Parámetros		Escala de valores							
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Índice de la carga puntual	≥ 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Resistencia baja		
		Compresión simple (MPa)	≥ 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	≤ 1
	<b>Valoración</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
2	Índice de calidad de roca (%)		100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	25 - 0		
	<b>Valoración</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		
3	Espaciamientos de juntas (m)		≥ 3	3 - 0.60	0.60 - 0.20	0.20 - 0.060	≤ 0.060		
	<b>Valoración</b>		<b>25</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
4	Estado de las juntas	Longitud de discontinuidad (m)	≤ 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	≥ 20		
		<b>Valoración</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Abertura (mm)	Sin apertura	≤ 0.10	0.10 - 1.00	1.00 - 5.00	≥ 5.00		
		<b>Valoración</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave		
		<b>Valoración</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Relleno (mm)	Ninguno	Relleno duro ≤ 5	Relleno duro ≥ 5	Relleno blando ≤ 5	Relleno blando ≥ 5		
		<b>Valoración</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>		
Alteración	Inalterada	Ligeramente	Moderadamente	Muy alterada	Descompuesta				
<b>Valoración</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>				
<b>Valoración total</b>			<b>30</b>	<b>25</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>0</b>		
5	Agua subterránea	Cantidad de filtración por 10 m de túnel	Ninguna	≤ 10 lit/min	10 - 25 lit/min	25 - 125 lit/min	≥ 125 lit/min		
		Presión de agua o en la fisura	Cero	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	≥ 0.5		
		Esfuerzo principal o mayor							
		Estado general	Totalmente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
<b>Valoración</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>				

Fuente: Bieniawski, 1979, Mecánica de rocas; tomada del libro de excavaciones subterráneas.

**Ajuste por orientación de discontinuidades**

Dirección y buzamiento de las fisuras	Muy favorables	Favorables	Regular	desfavorables	Muy desfavorables
Túneles	0	- 2	-5	-10	-12
Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski, 1979

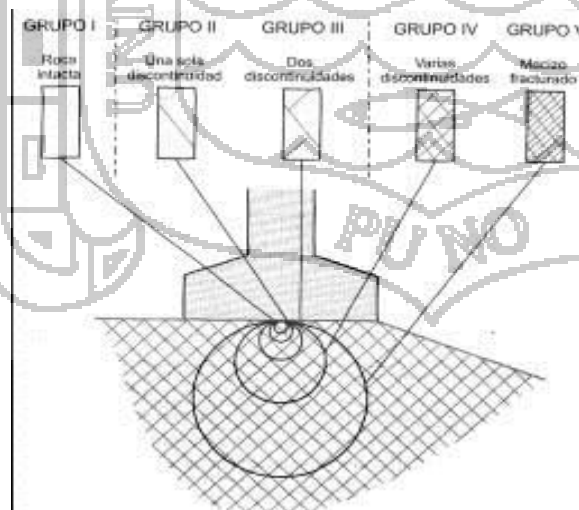
**Clasificación de rocas según el total de valoración**

Valoración	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	≤ 20
Clasificación	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Roca regular	Roca mala	Muy mala

Fuente: Bieniawski, 1979

**4.4. CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN ROCA**

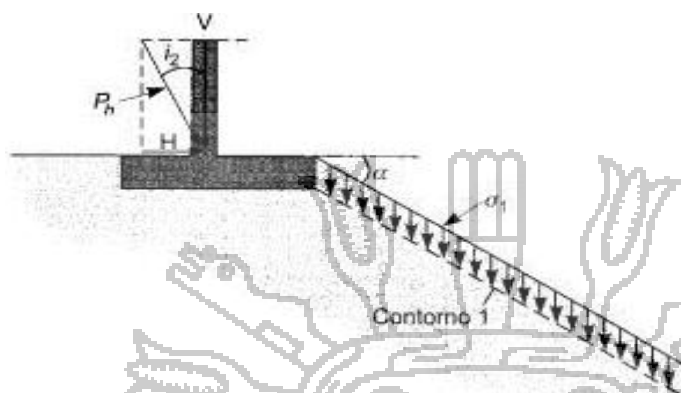
De la misma manera que en cimentaciones en suelos se calcula la carga de hundimiento utilizando el criterio de Mohr-Coulomb, se puede obtener la carga que produce deformaciones plásticas en un macizo rocoso según el método analítico desarrollado por Serrano y Olalla (2001), en aquellos casos en los que el medio rocoso es homogéneo e isótropo; es decir los grupos I, IV y V de Hoek y Brown mostrados en la figura 09, cuyo comportamiento sigue el criterio de rotura de estos autores.



**Figura N° 09:** Representación simplificada de la influencia de la escala en el comportamiento del macizo rocoso para el diseño de cimentaciones superficiales.



Para casos simplificados, el método analítico citado se encuentra resuelto mediante ábacos de entrada directa. La definición geométrica empleada se representa en la figura. 10 donde:



**Figura N° 10:** Definición geométrica para determinación de presiones admisibles en roca por métodos analíticos simplificados.

- $P_h$  = carga de hundimiento buscada.
- $i_2$  = inclinación de la carga con respecto a la vertical.
- $\sigma_1$  = presión vertical actuante en el "contorno 1", situado junto a la cimentación; corresponde en el caso simplificado a la sobrecarga de tierras por encima de la base de la zapata.
- $\alpha$  = inclinación de la superficie del terreno junto a la zapata (contorno1)

La expresión que proporciona la **carga de hundimiento**,  $P_h$ , es:

$$P_h = \beta(N_\beta - \zeta)$$

En donde:

$$\beta = \frac{m\sigma_{ci}}{8} = \frac{m_i\sigma_{ci}}{8} \exp \frac{RMR - 100}{28}$$

$$\zeta = \frac{8s}{m^2} = \frac{8}{m_i^2} \exp \frac{RMR - 100}{25,2}$$

Siendo  $m$ ,  $s$  y  $m_i$  los parámetros del criterio de Hoek y Brown y  $\sigma_{ci}$  el valor de la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa. El coeficiente de carga  $N_\beta$  es una generalización de los parámetros  $N_c$  y  $N_q$  de Prandtl. Uno de los principales problemas para la determinación de la capacidad admisible en el basamento rocoso es la estimación de las propiedades de resistencia y deformación del macizo rocoso, para fines del presente informe, se ha realizado ensayos en la roca intacta para determinar en base a estos los parámetros del macizo de manera confiable y realista.

Sin entrar en consideraciones respecto al análisis de asientos, que podrían determinar en algún caso singular el diseño de las cimentaciones en roca, es necesario establecer la carga admisible, dividiendo la carga de hundimiento,  $P_h$  por un coeficiente de seguridad global,  $F$ , que puede expresarse como producto de dos factores:

$$F = F_p F_m$$

El factor  $F_p$  considera las variaciones estadísticas de los parámetros de la roca y su magnitud está también vinculada a la probabilidad de rotura del cimiento. El factor  $F_m$  cubre la posibilidad de que la rotura por fragilidad, de una parte o de la totalidad del cimiento, no se ajuste al modelo de Hoek y Brown.

De acuerdo a las características asumidas en el campo, estas son las siguientes:

**Estribo Izquierdo Presa Cotachaca:**

• Roca	=	Caliza con RQD 73%.
• Clase de roca	=	IV (*)
• RMR	=	36 (*)
• $m$	=	0,595 (*)
• $s$	=	0,00047 (*)
• $m_i$	=	8 (**)
• $\sigma_{ci}$	=	5,14 Mpa (***)
• $N_\beta$	=	5
• $F_p$	=	1
• $F_m$	=	5
• $F$	=	5

(\*) Valor calculado

(\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1980)

(\*\*\*) Valor de ensayo de laboratorio

**Calculo de constantes m y s para el estribo izquierdo**

$$m = m_i \times \exp\left(\frac{RMR-100}{28}\right) = 0,595 \text{ y}$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR-100}{9}\right) = 0,00047$$

Calculando la **carga de hundimiento**,  $P_h$ , con las formulas establecidas, se tiene:

$$P_h = 1,91 \text{ MPa}$$

Calculando la **carga admisible** =  $P_h / F$

$$P_h / F : \quad P_h / 5 = 0,38 \text{ MPa} = 3,89 \text{ Kg/cm}^2$$

**Estribo Derecho Presa Cotachaca:**

- Roca = Caliza con RQD 69%.
- Clase de roca = IV (\*)
- RMR = 35 (\*)
- $m$  = 0,575 (\*)
- $s$  = 0,00042 (\*)
- $m_i$  = 8 (\*\*)
- $\sigma_{ci}$  = 5,91 Mpa (\*\*\*)
- $N_\beta$  = 5
- $F_p$  = 1
- $F_m$  = 5
- $F$  = 5

(\*) Valor calculado

(\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1980)

(\*\*\*) Valor de ensayo de laboratorio

**Calculo de constantes m y s para el estribo derecho**

$$m = m_i \times \exp\left(\frac{RMR-100}{28}\right) = 0,575 \text{ y}$$

$$S = \exp\left(\frac{RMR-100}{9}\right) = 0,00042$$

Calculando la **carga de hundimiento**,  $P_h$ , con las formulas establecidas, se tiene:

$$P_h = 2,12 \text{ MPa}$$

Calculando la **carga admisible**, entre el factor de seguridad.

$$P_h / F: \quad P_h / 5 = 0,42 \text{ MPa} = 4,32 \text{ Kg/cm}^2$$

**Cuadro N° 18: Ensayo de compresión simple de la roca del eje de presa laguna Cotachaca**

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Resistencia Kg/cm2	Resistencia Mpa
01	Caliza Fracturada Estribo Izquierdo	52.41	5.14
02	Caliza Fracturada Estribo Derecho	60.35	5.91

**Fuente:** Mejoramiento del sistema de Riego Molienda - PELT 2012



**Foto 18:** Construcción de la torre de compuertas y pontón de acceso de la presa.

**Tabla N° 02: Valores de la constante *mi* de la roca intacta para distintos tipos de roca (Los valores entre paréntesis corresponden a estimaciones)**

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
			←----- Grauwaca -----> (18)			
	No Clásticas	Orgánicas	←----- Creta -----> 7			
		Químicas	←----- Carbón -----> (8 - 21)			
	Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8		
			Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Quartzita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 - 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
	Oscuras		Diorita (26)		Andesita 19	
			Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)	
			Norita 22			
Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)		

Fuente: Constante de Hoek-Brown.

#### 4.5. PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

El terreno en general se presenta homogéneo en ambos estribos (Presa Cotachaca), constituido por material rocoso calcáreo Tipo IV, estable.

Sobre la base del análisis anterior se recomienda cimentar las estructuras a una profundidad media de 2.00 m. en el área entre estribos y 1.50 m. en los estribos (Empotramiento), con el objeto de cimentar las estructuras en el material rocoso más competente. Normalmente el cemento no se proyecta, sin embargo se hacen ciertas provisiones para que se cumplan las condiciones necesarias. No habrá dos cimientos iguales, cada uno se deberá tocar y ver de una manera independiente y analizar de acuerdo a las condiciones del terreno.

#### 4.6. PERMEABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO (CUERPO DE PRESA

##### COTACHACA)

El macizo rocoso con diferentes discontinuidades, la permeabilidad de estas depende de la abertura y tipo de relleno. El análisis de filtraciones se efectúa para calcular el volumen de pérdidas de agua en cada uno de los embalses a través del cuerpo de la presa y por la cimentación de la misma y obtener los gradientes hidráulicos respectivos, para la cimentación, filtros y drenes se utilizan los valores de permeabilidad equivalente de medios estratificados, para la determinación de las permeabilidades equivalentes se ha considerando el sentido del flujo y la correspondiente orientación de la estratificación.

La abertura está condicionada por el estado de esfuerzos del macizo; por tanto, la permeabilidad es también función de los esfuerzos *in situ*. Si se considera una discontinuidad plana y limpia, el valor  $k$  viene dado por:

$$k = a^2 g / 12 \eta$$

$$k = a^2 \gamma_w / 12 \mu$$

Donde:

$g$  = aceleración de la gravedad.

$a$  = abertura de las discontinuidades.

$\eta$  = coeficiente de viscosidad cinemática del agua (0.0101 cm<sup>2</sup>/s a 20°).

$\mu$  = coeficiente de viscosidad dinámica del agua (0.01005 g/s cm a 20°).

$\gamma_w$  = Peso específico del agua.

Si se considera una familia de discontinuidades la permeabilidad depende también del grado de espaciado entre los planos. El coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica de un sistema de discontinuidades planas y limpias, con espaciado  $b$  puede estimarse a partir de las expresiones empíricas:

$$k_f = a^3 g / 12 \eta b$$

$$k_f = a^3 \gamma_w / 12 \mu b$$

Si las discontinuidades aparecen rellenas el coeficiente de permeabilidad será menor y la permeabilidad de la matriz rocosa puede tener influencia en la permeabilidad global del macizo; en este caso la permeabilidad del macizo viene dada por:

$$k = a/bk_r + k_j$$

$k_r$  = coeficiente de permeabilidad del material de relleno.

$k_j$  = coeficiente de permeabilidad de la matriz rocosa.

**Tabla N° 03: Valores típicos de permeabilidad de macizo rocoso**

Roca	K (m/s)
Arenisca	$10^{-5}$ a $10^{-10}$
Caliza y dolomía	$10^{-6}$ a $10^{-12}$
Esquisto	$10^{-7}$ a $10^{-8}$
Pizarra	$10^{-11}$ a $10^{-13}$
Granito	$10^{-9}$ a $10^{-12}$
Lutita	$10^{-9}$ a $10^{-13}$
Rocas metamórficas	$10^{-9}$ a $10^{-12}$
Rocas volcánicas	$10^{-7}$ a $10^{-12}$
Sal	$< 10^{-11}$ a $10^{-13}$

Fuente: González de Vallejo (2002)

**a) Permeabilidad Afloramiento (1) lado Oeste del cuerpo de presa Cotachaca**

**Datos:**

- Abertura fracturas  $a = 0.006$  m.
- Gravedad  $g = 9.8$  m/seg<sup>2</sup>
- Viscosidad cinemática agua  $\eta = 1.01E-06$  m<sup>2</sup>/seg
- Espaciado aberturas  $b = 0.11$  m.
- P.e. del agua  $\gamma_w = 1000$  Kg/m<sup>3</sup>
- Viscosidad dinámica agua  $\mu = 0.01005$

**$k_f = 1.66145E - 05$  m/seg. (Permeabilidad media)**

**b) Permeabilidad Afloramiento (2) lado Oeste del cuerpo de presa Cotachaca**

**Datos:**

Abertura fracturas	a =	0.006 m.
Gravedad	g =	9.8 m/seg <sup>2</sup>
Viscosidad cinemática agua	$\eta$ =	1.01E-06 m <sup>2</sup> /seg
Espaciado aberturas	b =	0.16 m.
P.e. del agua	$\gamma_w$ =	1000 Kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica agua	$\mu$ =	0.01005

$k_f = 1.14225E-05$  m/seg. (Permeabilidad Media)

Entonces el caudal a filtrar a través de los afloramientos será:

$$Q = k \times i \times A$$

$$A = l \times h$$

Donde:

k = Coeficiente de permeabilidad.

i = Gradiente hidráulico.

l = Longitud de la sección

h = Altura de la sección

A = Área de la sección.

l = 14.3 m

h = 5 m

i = 0.01

A = 71.5 m<sup>2</sup>



$$Q= 1.1879E-05 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q= 1.02637831 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q= 374.628084 \text{ m}^3/\text{año Afloramiento (1)}$$

$$l= 41.2 \text{ M}$$

$$h= 5 \text{ M}$$

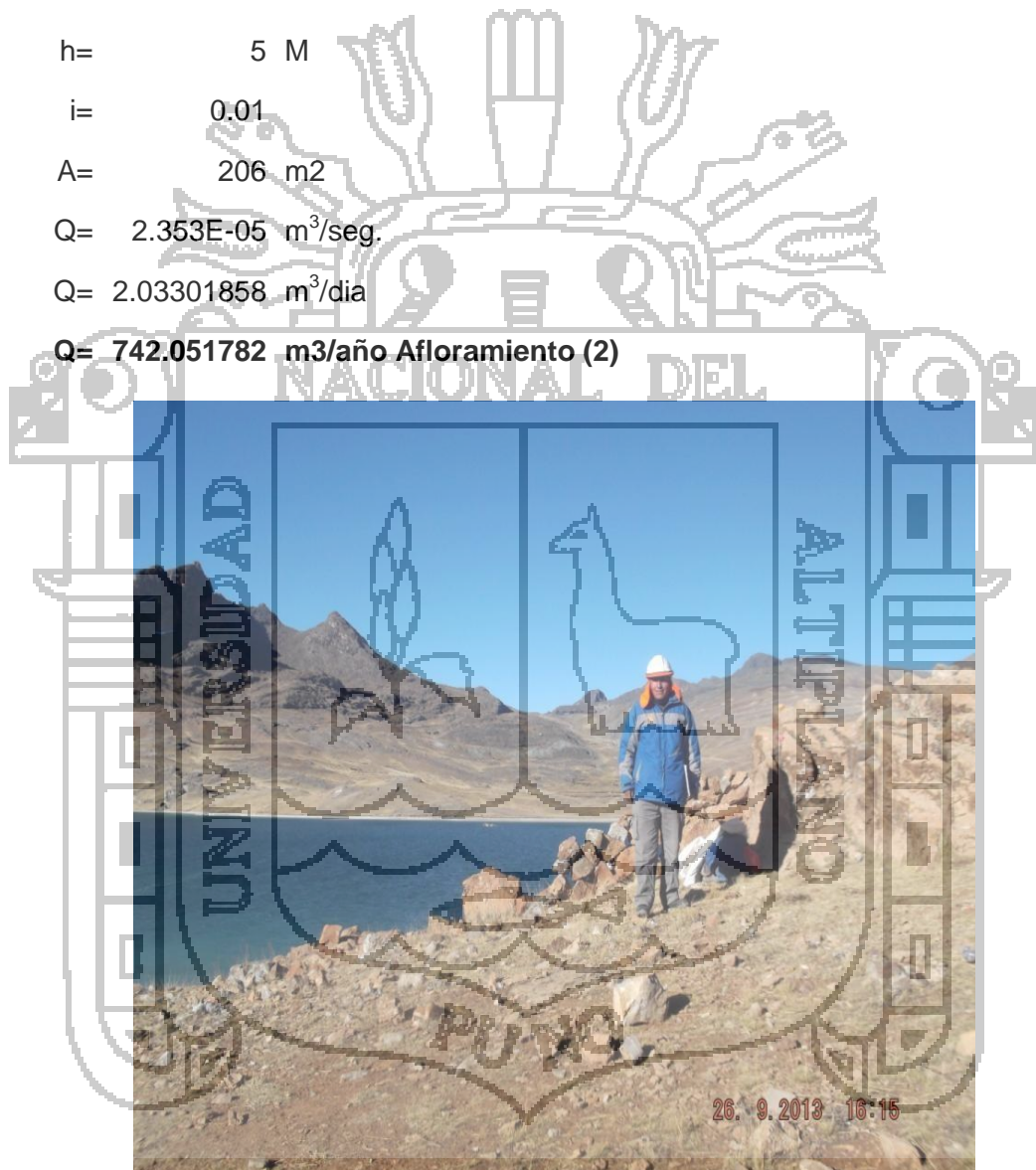
$$i= 0.01$$

$$A= 206 \text{ m}^2$$

$$Q= 2.353E-05 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q= 2.03301858 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q= 742.051782 \text{ m}^3/\text{año Afloramiento (2)}$$



**Foto 19:** Se observa el afloramiento 01 lado Este de la presa de tierra Cotachaca.

Los resultados del análisis de permeabilidad del afloramiento 1 y 2 indican que los caudales que atraviesan el cuerpo de la represa no son significativos.

#### 4.7. CONDICIONES INGENIERO – GEOLÓGICA DEL EJE DE PRESA

Para la caracterización de los materiales que componen el área de embalse de la laguna Cotachaca se suele utilizar parámetros de mecánica de suelos en los materiales sueltos y parámetros geomecánicos para la determinación del tipo de roca de acuerdo a su excavabilidad, para luego proceder a calificarlos como: Roca Fija o Roca Suelta según sea el caso para los afloramientos rocosos.

Las determinaciones Material Suelto (**MS**), Roca Suelta (**RS**) y Roca Fija (**RF**) de acuerdo a su excavabilidad de los materiales son subjetivos, pero de gran aproximación si se aplica convenientemente los parámetros de la Mecánica de Rocas pues en niveles inferiores es posible ubicar roca sana o roca suelta cuya variación será ajustada durante el proceso de excavación. A continuación se describe los parámetros que son de gran ayuda en la calificación de los materiales.

- **Excavación en Roca Fija (RF)**

Son materiales que no pueden ser removidos por pala mecánica o equipos de movimientos de tierra sin continuos y sistemáticos disparos o voladura utilizando explosivos. Durante el proceso constructivo se hará excavación de roca (voladura) hasta llegar a la cota de la rasante del dentellón y así conformar el cuerpo de la presa con material de relleno compactado. **Ver plano 05: Perfil longitudinal del cuerpo de la presa**

- **Excavación en Roca Fracturada, Blanda y Suelta (RS)**

Son las rocas fracturadas, intemperizadas, conglomerados o bolonería, cuyos fragmentos son menores a  $1 \text{ m}^3$  de volumen y mayor a  $0,5 \text{ m}^3$ . Estos materiales serán removidos con maquinaria con el uso mínimo o moderado de explosivos, con la finalidad de extraer toda la roca fracturada hasta llegar a la roca fija para la fundación de la cimentación del cuerpo de presa.

- **Excavación en Material Suelto (MS)**

Son los materiales que pueden ser removidos a mano, con excavadoras y con equipos de movimiento de tierras sin tener necesidad de utilizar explosivos. Se eliminara todo el material suelto hasta llegar a la roca fija o fracturada con la finalidad de llegar hasta la cota del dentellón (rasante). Esta calificación se observa en el cuadro de Condiciones Ingeniero-Geológica. **Ver plano 05: Perfil longitudinal del cuerpo de la presa**

**Cuadro N° 19: Condiciones Ingeniero Geológica Eje de Presa de la laguna Cotachaca**

TRAMO (Km)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL TRAMO	P.T.	N.F. (m)	CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL (%)			TALUD DE LA PRESA		OBSERVAC.
				R.F.	R.S.	M.S.	ROCA	SUELO	
0+000 a 0+010	Tramo inicial del estribo izquierdo conformado por gravas calcáreas mayores a 2" mezclados con limos inorgánicos, (GM) en la base de la calicata se encuentra el basamento rocoso.	55°	N:E	80	----	20	1:1	1:1	
0+010 a 0+020	En este tramo el material suelto es mínimo, en la progresiva 0+020 aflora roca caliza en todo el contorno del área, no existe rasgos de nivel freático.	60°	N:E	100	----	----	1:1	1:1	
0+020 a 0+030	Tramo de área de entre estribos, lecho del embalse conformado por gravas calcáreas de tamaño menores a 3" con regular humedad.	75°	N:E	80	----	20	1:1	1:1	
0+030 a 0+040	Tramo de área de entre estribos, suelos conformados por gravas calcáreas de tamaño menores a 3" con regular humedad.	03°	N:E	80	----	20	1:1	1:1	
0+040 a 0+050	Tramo conformado por materiales de gravas mezclados con arcillas inorgánicas de media a baja plasticidad en la base de la calicata se encuentra el nivel freático.	03°	S:E	70	----	30	1:1	1:1	
0+050 a 0+060	Tramo de estribo derecho cubierto por suelos de limos orgánicos en muy pocas cantidades.	45°	N:E	90	----	10	1:1	1:1	
0+060 a 0+070	Tramo constituidos por limos orgánicos con gravas calcáreas de tamaños mayores a 3", no existe nivel freático	75°	N:E	60	20	20	1:1	1:1	
0+070 a 0+080	Tramo final del estribo derecho conformado por limos orgánicos mezclados con gravas calcáreas de tamaño mayores a 3", no existe nivel freático.	70°	N:E	70	20	10	1:1	1:1	
<b>LEYENDA</b>	P.T. = Pendiente del Terreno			R.F. = Roca Fija			M.S. = Material Suelto		
	N.F. = Nivel Freático			R.S. = Roca Suelta			N.E. = No encontrado existe		S.E = Si

**Cuadro N° 20: Evaluación Geotécnica de la Cimentación del Eje de la Presa Cotachaca**

Ubicación	Progresivas	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Permeabilidad	Resistencia al Corte	Compresibilidad	Tratamiento	$q_a$ Kg/cm <sup>2</sup>
Eje de Presa	0+000 a 0+030 Estribo Izquierdo	0,00- 0.35 m	OL- GM	Semipermeable	Buena	Media	Ninguno	<b>3.89</b>
	0+050 a 0+080 Estribo Derecho	0,00- 2.00 m	GC- GM	Semipermeable	Buena	Baja	Ninguno	<b>4.32</b>

#### 4.8. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (CANTERAS) Y FUENTES DE AGUA

Siendo las canteras la fuente de aprovisionamiento de suelo y rocas necesarias para la construcción de las obras, se procedió a efectuar el reconocimiento de los depósitos existente para ver la calidad de las canteras, conocer si cumplirá con las condiciones de las especificaciones del material que se busca asimismo se deberá conocer la suficiente potencia rendimiento del mismo el estado de los accesos y su situación legal.

Se han realizado las investigaciones de campo y laboratorio, lo suficientemente conveniente como para determinar las características de los materiales de préstamos y canteras desde el punto de vista de su utilización en la construcción de las subestructuras, superestructuras, caminos de acceso y obras complementarias. La investigación geológica ha tratado el problema fundamental previo, consistente en la valorización de las disponibilidades de cada uno de estos materiales.

Las características de los materiales de préstamos y canteras, se han determinado con la ejecución de los ensayos de identificación de los materiales con las muestras representativas que definan sus propiedades físicas y mecánicas.

Las áreas se localizan a lo largo de vías existente y/o adyacentes a ella, lo que facilita las fases de: Explotación, carguío y transporte los que disminuyen los costos de

explotación y por consiguiente el de las obras. En un plano general se muestra la posición en planta de estos medios de explotación y los datos sobre sus ubicaciones e identificaciones.

La correlación, evaluación y análisis geotécnico de la información técnica existente con la obtenida en la presente fase de investigaciones complementarias han permitido caracterizar las principales propiedades ingenieriles de cada área. Las características de los materiales y según su utilización serán calificados de acuerdo a las Normas ASTM y del Manual del U.S Department of the Interior del Bureau of Reclamation.

#### **4.8.1. Clasificación Geomecánica**

En las canteras de roca se aplicaron las Tablas de Clasificación Geomecánica de Bieniawski y de Clasificación Ingeniero Geológica que sirven para definir las calidades de los macizos rocosos. Es conveniente indicar que en las valuaciones de los afloramientos rocosos se aplican factores de Corrección por: Grado de fracturamiento, meteorización, orientación de las superficies estructurales, condiciones de humedad, etc.

#### **4.8.2. Nivel Freático**

Durante la excavación de las 05 calicatas ejecutadas en la cantera del material impermeable para relleno compactado del núcleo de la presa de tierra de la laguna Cotachaca no existe nivel freático puesto que la cantera está ubicada al pie del cerro con pendiente aproximado de 45°.

#### **4.8.3. Descripción de Canteras**

##### **4.8.3.1. Cantera de Material para Relleno Compactado**

Constituidos por arenas arcillosas y gravas arcillosas con una coloración amarillo claro con presencia de limonita (Óxido de Hierro  $FeO_2$ ) con plasticidad moderada, proveniente de rocas sedimentarias. El área prospectada se localiza margen izquierdo de la laguna Cotachaca, reúne las siguientes características: **(Ver análisis granulométrico en el ítem Anexos).**

- Geología : Coluviales y suelos residuales, mezcla de arcillas, limos, arenas y de gravas.
- Clasificación SUCS : SC (Arenas arcillosas).

- Límite Líquido : 25.62
- Límite Plástico : 15.65
- Índice de Plasticidad : 10.07 (Moderada plasticidad)
- Densidad Proctor : 1,92 gr/cm<sup>3</sup>.
- Humedad Proctor : 11.50 %
- Utilización : Conformación del cuerpo de Presa.
- Distancias : A menos de 500 m. de la Obra
- Volumen : ± 17,000 m<sup>3</sup>

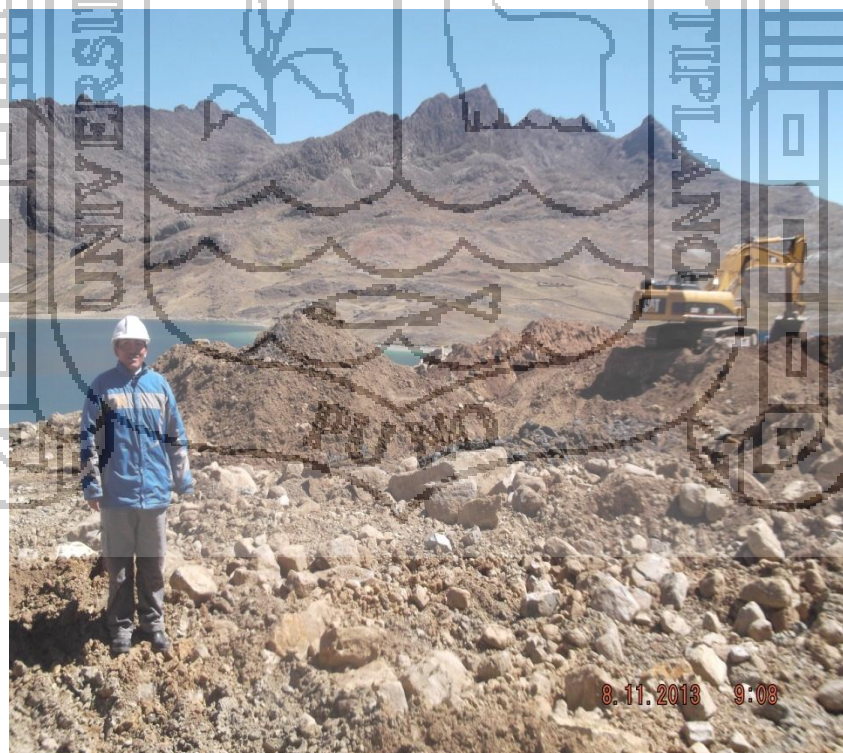
En la cantera del material para relleno compactado del núcleo de la presa de tierra de la laguna Cotachaca se ejecutaron 05 calicatas a cielo abierto en puntos estratégicos, se ha extraído una cantidad de 11 muestras empaquetadas en recipientes herméticos para que no se distorsione su estado natural y debidamente etiquetadas que han sido procesadas en el laboratorio de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca y para la obtención de la Densidad Máxima Seca y el contenido de la Humedad Óptima mediante el ensayo Proctor Modificado se realizó en el laboratorio de Mecánica de Suelos del Contratista – CROVISA, todos los ensayos obtenidos se presenta en el ítem Anexos.



**Foto 20:** Ensayo de Proctor Modificado-Laboratorio de Mecánica de Suelos CROVISA.

**Cuadro N° 21: Características físico mecánicas de las calicatas de la cantera del material impermeable para relleno compactado.**

N° CALIC.	TIPO DE SUELO	CONT. (W) %	L.L	L.P	I.P	OBSERVACIONES
C-01,M-1	GP-GC	8.54	32.63	20.23	<b>12.40</b>	Apto para su uso
C-01,M-2	SC	10.07	25.62	15.55	<b>10.07</b>	Apto para su uso
C-02,M-1	SC	16.20	31.41	19.70	<b>11.72</b>	Apto para su uso
C-02,M-2	SC	7.98	24.83	14.64	<b>10.18</b>	Apto para su uso
C-02,M-3	SW-SM	11.54	NP	NP	<b>NP</b>	No presenta plasticidad
C-03,M-1	GC	8.69	26.57	15.19	<b>11.38</b>	Apto para su uso
C-03,M-2	GC	8.00	29.11	16.38	<b>12.73</b>	Apto para su uso
C-04,M-1	SC	10.67	26.55	16.12	<b>10.43</b>	Apto para su uso
C-04,M-2	GP-GC	6.18	20.28	14.70	<b>5.59</b>	Dosificación con C-02
C-04,M-3	SC	8.70	18.32	13.39	<b>4.93</b>	Dosificación con C-03
C-05,M-1	GC	18.95	31.82	23.17	<b>8.64</b>	Dosificación con C-01



**Foto 21:** Cantera de material para relleno compactado ubicado al margen izquierdo aguas arriba de la laguna Cotachaca.

### Presa de Tierra

Se plantea la construcción de un presa de tierra denominada Cotachaca ubicada a la salida de la laguna del mismo nombre, este punto tiene un área de 5.77 km<sup>2</sup> de cuenca colectora, esta presa tendrá la capacidad de almacenar un volumen muerto de 3.05 MMC y un volumen útil de 1.80 MMC, finalmente el volumen total del embalse será de 4.85 MMC. **(Ver plano 06 sección transversal de la presa de tierra).**

**Cuadro N° 22: Parámetros hidráulicos de la presa de tierra Cotachaca.**

Descripción	Valor	Unidad
Nivel de Aguas Mínimas (NAMIN)	4,675.49	m.s.n.m.
Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO)	4,679.45	m.s.n.m.
Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME)	4,679.85	m.s.n.m.
Borde Líbre (BL)	1.00	m
Cota de Corona de la Presa	4,680.85	m.s.n.m.
Altura de la Presa (H)	5.37	m
Volumen Muerto (VM)	3.05	hm <sup>3</sup>
Volumen Útil del Embalse (VU)	1.80	hm <sup>3</sup>
Volumen Total del Embalse (VT)	4.85	hm <sup>3</sup>
Área del Espejo de Agua (NAMO)	51.91	ha
Área del Espejo de Agua (NAME)	52.94	ha
Longitud de la Cresta del Vertedor	6.00	m
Caudal Máximo de Descarga por el Vertedor	2.74	m <sup>3</sup> /s
Caudal Máximo de Descarga por la Toma de Fondo (12 horas de riego)	136.20	l/s

**Fuente:** Estudio hidrológico del Sistema de Riego Molienda Crucero 2012

#### 4.8.3.2. Cantera de Roca

Se ubica en el lado Noreste de la laguna, aguas arriba del eje de presa margen izquierda. **Ver certificado de Abrasión los Ángeles en el ítem Anexos.**

- Litología : Calizas de color gris, en bloques mayores a 1 m. de diámetro: (roca sedimentaria)
- Alteración : Roca con ligera a moderada meteorización (W2 a W3), potencia promedio entre 0,50 a 1,00 m.
- Fracturamiento : Ancho a estrecho (F2 a F4).
- Abrasión Los Ángeles : Pérdida inferior a 19.21 %.
- Clasificación geomecánica : Roca tipo III
- Calidad geomecánica : Regular
- Distancia : ± 0.3 Km. aguas abajo del eje de presa.
- Volumen : > 10,000 m<sup>3</sup>.
- Explotación : Explosivos / Tractor.



- Rendimiento : 70%
- Tratamiento : Selección



**Foto 22:** Cantera de roca ubicada aguas abajo de la Laguna Cotachaca.



**Foto 23:** Ensayo de densidad de campo, plataforma del cuerpo de presa de tierra.

#### 4.8.3.3. Fuente de Agua

La laguna Cotachaca será la fuente de abastecimiento de agua para la construcción de las diversas estructuras, teniéndose también el antecedente de haber utilizado esta agua en la construcción de otras obras existentes para ello se hizo el respectivo análisis químico. **Ver certificado de análisis de agua en el ítem Anexos.**

- **Análisis Físico Químico del Agua de la Laguna Cotachaca**

#### Características Físico Químicas

-pH	: 7.9
-cloruros como Cl	: 10.33 mg/l
-Sulfatos como SO <sub>4</sub>	: 8.00 mg/l
-Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	: 125.40 mg/l
-Aspecto	: Líquido
-Color	: Incoloro

#### 4.8.3.4. Diseño de Filtros

Los dos principales requisitos de un filtro satisfactorio son, que debe ser más permeable que el material por proteger, a fin de servirle de dren y que debe ser lo suficientemente fino como para evitar que el material por proteger pase a través de sus vacíos. Filtros convenientemente diseñados dan excelente protección contra la tubificación y contaminación de los materiales.

No hay un criterio definido para la adopción de normas únicas que conduzcan al diseño de un filtro; diferentes investigadores y constructores proponen reglas de diseño que si bien básicamente son similares, difieren en los detalles. A continuación se da un juego de recomendaciones de diseño que goza de amplia popularidad entre los constructores.

$$1. \quad 5 < \frac{D_{15} \text{ Filtro}}{D_{15} \text{ Material Protegido}} < 40$$

$$2. \quad \frac{D_{15} \text{ Filtro}}{D_{85} \text{ Material Protegido}} < 5$$

3. 
$$\frac{D_{50} \text{ Filtro}}{D_{50} \text{ Material Protegido}} < 25$$
4. 
$$\frac{D_{50} \text{ Filtro}}{\text{Abertura tubo de Drenaje}} > 2$$

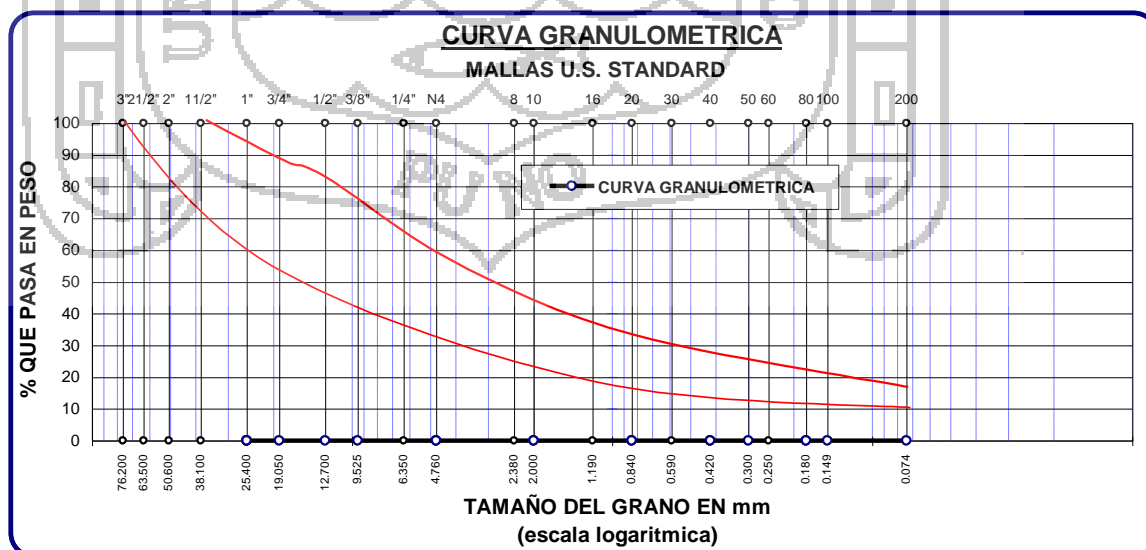
Cuando el material por proteger tiene un alto contenido de grava las reglas anteriores deben aplicarse a la porción del material menor que la malla de 1" (2,54 cm).

5. El material que constituye el filtro debe tener menos de un 5% en peso de partículas menores que la malla N° 200 y su curva granulométrica debe ser toscamente parecida a la del material por proteger siempre y cuando éste no sea muy uniforme.

La especificación N° 1 garantiza que la permeabilidad del filtro sea de un orden 100 veces mayor que la del suelo por proteger; la especificación N° 2 garantiza la imposibilidad de los arrastres de finos.

Se ha considerado en el diseño de la presa, la colocación de filtros y drenes del tipo chimenea a ambos lados del núcleo impermeable. Estos elementos tienen por objetivo evitar la tubificación o traslado de las fracciones del material que conforma el núcleo hacia aguas abajo. El diseño obedece fundamentalmente a las características granulométricas y propiedades plásticas del material del núcleo impermeable, así como a la granulometría de la zona de enrocado inmediatamente al lado del núcleo. Las curvas granulométricas del material para filtros deben estar dentro del rango mostrado en la figura siguiente:

Figura N° 11: Curva granulométrica para diseño de filtros.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. Las condiciones geológicas del área de estudio concluyen; en el cuerpo de la presa presenta afloramientos rocosos del Grupo Copacabana conformado por calizas de color gris y en la parte superficial compuesto por depósitos cuaternarios coluviales, fluvio-aluviales y bofedales, aguas arriba de la laguna Cotachaca se observa afloramientos del Grupo Tarma constituidos por areniscas, limoarcilitas y calizas micríticas y aguas abajo de la presa se encuentra el Intrusivo Microdiorito compuesto por cristales de color verdusco con una ligera cloritización, seritización, débil argilitización y una incipiente epidotización.
2. Los parámetros geotécnicos del área de estudio donde se va ejecutar el cuerpo de la presa presenta las siguientes valuaciones: En el estribo izquierdo se tiene una clasificación RMR 36, tipo de roca IV roca mala y para el estribo derecho se tiene una clasificación RMR 35, tipo de roca IV roca mala, por lo tanto esta roca será extraída de todo el área donde se va a ejecutar las cimentaciones debido a que técnicamente no es considerable.
3. Mediante la evaluación Geomecánica realizada se ha determinado que toda la estructura se cimentará en el macizo rocoso a 2,00 m de profundidad debajo del fondo del eje de presa y la capacidad portante del macizo rocoso de la presa, ha sido calculada, basándose en el criterio de Mohr-Coulomb, en el estribo derecho tiene una capacidad portante de 4.32 Kg/cm<sup>2</sup> y en el estribo izquierdo la capacidad portante es 3.89 Kg/cm<sup>2</sup> según el método analítico desarrollado por Serrano y Olalla (2001).
4. Debido a la existencia de afloramientos rocosos fracturados en ambos estribos que serán alcanzados por el espejo de agua embalsada, el caudal aproximado de agua que podría filtrar, ha sido calculado en  $\pm 1,116 \text{ m}^3$  por año en el embalse Cotachaca.
5. El material impermeable a utilizarse para construir el cuerpo de la presa reúne las condiciones necesarias de calidad y uso cuyos parámetros físico mecánicos son: tipo de suelo según clasificación SUCS: SC (arenas arcillosas), Índice de Plasticidad 10.07 con una Densidad Máxima Seca de 1.92 gr/ cm<sup>3</sup> y será extraída de la cantera ubicado a menos de 500 m. aguas arriba margen izquierdo de la presa donde se va ejecutar.
6. Se ha considerado en el diseño de la presa, la colocación de filtros y drenes del tipo chimenea a ambos lados del núcleo impermeable. Estos elementos tienen por objetivo evitar la tubificación o traslado de las fracciones del material que conforma el núcleo hacia aguas abajo.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda compactar como mínimo entre 95 % al 98 % en la fase del proceso constructivo para la conformación del núcleo de tierra, para la obtención de la Densidad Máxima Seca y el contenido de la Humedad Optima será calculada mediante el ensayo del Proctor Modificado debido a que mediante este método la energía de compactación es más eficiente.
2. Durante el proceso de explotación, se recomienda llevar un control de las variaciones del material de la cantera para relleno compactado tanto en profundidad como lateralmente, mediante ensayos de granulometría, cálculo de densidad, humedad y límites de consistencia.
3. Para utilizar estas canteras, se recomienda efectuar un desbroce promedio de 0,40 m. para eliminar la materia orgánica.
4. Las calicatas C-01, C-03 y c-05 no cumplan las condiciones geotécnicas para la conformación del cuerpo de la presa por lo tanto se recomienda realizar las dosificaciones respectivas en el momento de la preparación del material impermeable y monitorear en forma constante con los ensayos de análisis granulométrico y límites de consistencia.
5. Mediante la evaluación geomecánica del macizo rocoso de los estribos izquierdo y derecho se tiene una roca de mala calidad con una clasificación RMR de 31 y 30, se recomienda extraer toda la roca fracturada para conformar la cimentación del cuerpo de la presa de tierra.
6. Se recomienda utilizar zaranda metálica de  $\frac{3}{4}$  a 1" de diámetro para zarandear el material de relleno compactado puesto que presentan clastos de roca entre 3" a 10"
7. Se recomienda llevar el control granulométrico constante para la preparación de los filtros (fino y grueso) y zarandear debido a que el diámetro del material varía desde los 5" a 7".
8. Se recomienda realizar ensayos de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV- Geofísica), para determinar a qué profundidad se encuentra el nivel freático de las aguas subterráneas en el área del cuerpo de presa.
9. Se recomienda al Contratista que va a realizar la ejecución del proyecto que una vez utilizada las canteras ya sea de material de relleno compactado y roca ejecute planes de mitigación y remediación ambiental.

**BIBLIOGRAFIA**

1. Berry, Peter y Reid D. (1993) **Mecánica de Suelos** Bogotá, McGraw-Hill.
2. Bishop (1955) **Coeficiente de Seguridad** Vol. 2, 132-236 pp.
3. Braja M. D. (2006) **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica**.
4. Barton, N., Lien, R., Lunde J. (1974) **Engineering Classification of Roc Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics** Vol. 6, N° 4,189-236 pp.
5. Bieniawski Z.T. (1979) **Engineering Rock Mass Classifications** John Wiley & Sons, New York, 251 pp.
6. Boletín N° 84 (1996) **Estudio del Cuadrángulo de Limbani** Escala 1:100,000 editado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET.
7. Comité Nacional Español de grandes presas (1999), Madrid España.
8. De La Torre N. (1965) **Metodología de la Investigación** México, Mc Graw Hill
9. Dumba G. y Newell N. (1946) **Geología del Grupo Tarma**.
10. Douglas J. (1920) **Geología del Grupo Copacabana**.
11. Davila B.J. (1999) **Diccionario Geologico** Impreso INGEMMET, Lima Peru.
12. González D.V. (2002) **Ingeniería Geológica**.
13. Hernández Sampieri R., Fernández Collado C., Baptista L. (1998) **Metodología de la Investigación**. Mc Graw Hill. México.
14. Hoek E. Brown E.T. (1980) **Underground Excavations in Rock** MinMetall, London.
15. Juárez B., Eulalio R. (2001) **Mecánica de Suelos** Tomo I, II y III. Editorial, Limusa, S.A. Mexico.
16. Jiménez Salas J.A. (1975) **Geotecnia y Cimientos** Madrid Rueda.
17. Klinck B. y Palacios O. Y. (1991) **Geología del Grupo Ambo**.

18. Lambe T. W. (2002) **Mecánica de Suelos** Editorial Limusa Noriega.
19. Lambe T. W. y Whitman R. (1974) **Mecánica de Suelos** México: Limusa.
20. Laubacher (1978) **Geología de la Formación Ananea.**
21. Machacca S.E (1995), Tesis **Prospección Geológica y Geotécnica Presa Macusani.**
22. Merino L. (2001) **Número de Fracturas por Metro Lineal** Lima Perú.
23. Mc Laughlin D. (1924) **Geología del Grupo Mitu.**
24. Ray K.L. & Joseph B. F. (1978) **Engharia de Recursos Hídricos** Editora da Universidade de Sao Paulo e Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda.
25. Sowers G.B. (1972) **Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones** México, Limusa.
26. Serrano y Olalla (2001) **Deformaciones Plásticas en un Macizo Rocoso.**
27. SENAMHI (2012) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
28. Terzaghi K. y Peck R.B. (1975) **La Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica** Barcelona: Ateneo.
29. Terzaghi K. (2002) **Ingeniería y Geología** Diccionario Esencial de las Ciencias, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
30. Tumilan P., Carrillo G.A. (1993) **Procesos de Meteorización.**
31. Vesic A. (1973) **Análisis de la Capacidad de Carga de Cimentaciones Superficiales** JSMFD, ASCE, Vol. 99.
32. Ruiz V.M. y Gonzales H.S. (2002) **Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, III** reimpresión, Editorial Luminosa. S.A de C.V. México.

