

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



**TESIS**

---

**ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA LAGUNA QUELLHUACocha, DISTRITO DE MARANGANI, PROVINCIA DE CANCHIS-CUSCO, 2020**

---

**PRESENTADO POR:**

**BACH: DARWIN ROJAS LAURA**

**BACH: DIEGO ARMANDO MAMANI CONDORI**

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

**ASESOR:**

**MGS. ING. VICTOR VIDAL GARATE GONGORA**

**CUSCO – PERU**

**2025**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Estudio Geológico, Geotécnico e Hidrológico para la Estabilidad y Estanqueidad del represamiento de La Laguna Quellhuacocha, Distrito de Marangani, Provincia de Cuzco - Cusco, 2020.

Presentado por: Darwin Rojas Laura DNI N° 43076742

presentado por: Diego Armando Mamani Condori DNI N°: 73971309

Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Geólogo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

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

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 08 de Mayo de 2025

Firma

Post firma Julio Sergio Saenz

Nro. de DNI 29390015

ORCID del Asesor 0000-0002-4296-6482

**Se adjunta:**

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:457117015

# Rojas,D.-Mamani,D.

## Estudio Geológico, Geotécnico e Hidrológico para la estabilidad y estanqueidad del represamiento

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:457117015

Fecha de entrega

8 may 2025, 6:25 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

8 may 2025, 6:41 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Tesis Rojas,D.-Mamani,D.pdf

Tamaño de archivo

14.2 MB

209 Páginas

49.271 Palabras

239.711 Caracteres

# 10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Filtered from the Report

- Small Matches (less than 25 words)
- Internet sources
- Crossref database
- Crossref posted content database

## Exclusions

- 21 Excluded Matches

---

## Top Sources

- 0%  Internet sources
- 0%  Publications
- 10%  Submitted works (Student Papers)

---

## Integrity Flags

### 2 Integrity Flags for Review

-  **Replaced Characters**  
44 suspect characters on 13 pages  
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.
-  **Hidden Text**  
17 suspect characters on 2 pages  
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por siempre guiar nuestro camino, a mi padre Oswaldo por sus consejos y por su confianza en mí, a mi madre Mariza por todo el apoyo incondicional que siempre me brindó, a mis hermanos German y Julio por acompañarme y alentarme a seguir adelante.

**Diego Armando Mamani Condori**

Dedico este trabajo a lo nuevo y la duda metódica de la investigación

A Raymundo Rojas y Leonor Laura, mis brillantes y hermosos padres, quienes incansablemente me brindaron su apoyo incondicional.

A mis hermanos quienes me dieron un motivo más de superación.

A mis sobrinos a quienes les dejare el legado más hermoso de lo maravilloso que es tener objetivos claros y firmes.

A mis abuelos que desde lo lejos me cuidan y guían mis pasos.

**Darwin Rojas Laura**

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer a nuestra alma mater, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Geológica, a los docentes de mi facultad por la enseñanza y el apoyo brindado hacia nosotros.

También agradecemos a nuestro asesor, MGS. ING. GÁRATE GONGORA Víctor Vidal por habernos apoyado en nuestra tesis incondicionalmente.

## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
INDICE DE CONTENIDO.....	4
INDICE DE FIGURAS .....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	16
INDICE DE GRAFICOS .....	21
RESUMEN .....	22
INTRODUCCIÓN .....	24
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	25
1.1 Ubicación.....	25
1.1.1 Ubicación Política.....	25
1.1.2 Ubicación Geográfica .....	25
1.1.3 Ubicación Hidrográfica.....	26
1.2 Accesibilidad.....	27
1.3 Vegetación.....	29
1.4 Planteamiento del Problema.....	29
1.4.1 Descripción del problema .....	29
1.4.2 Formulación del Problema.....	30
1.4.2.1.Problema General .....	30
1.4.2.2.Problemas Específicos.....	30
1.5 Formulación de las Variables de la Investigación .....	30
1.5.1 Variables Independientes .....	30
1.5.2 Variables Dependientes.....	30
1.6 Objetivos.....	31
1.6.1 Objetivo General.....	31
1.6.2 Objetivos Específicos .....	31
1.7 Justificación e Importancia.....	31
1.8 Hipótesis.....	32

1.8.1 Hipótesis General .....	32
1.8.2 Hipótesis Específico.....	32
1.9 Investigación y etapas de Trabajo. ....	33
1.9.1 Etapa De Gabinete I .....	33
1.9.2 Etapa de campo.....	33
1.9.3 Etapa de Gabinete II.....	36
1.10 Marco Teórico.....	38
1.10.1 Antecedentes de la Investigación .....	38
1.10.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....	38
1.10.1.2. Antecedentes a nivel local.....	39
1.10.2 Bases Teóricas .....	40
1.10.2.1. Geomorfología.....	40
1.10.2.2. Geología.....	41
1.10.2.3. Hidrología .....	41
1.10.2.4. Geodinámica .....	43
1.10.2.5. Geofísica .....	43
1.10.2.6. Geotecnia .....	45
1.10.3 Conceptos Básicos .....	50
1.10.3.1. Tipos de Presas .....	50
1.10.3.2. Estanqueidad.....	53
CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA .....	54
2.1. Generalidades .....	54
2.2. Geomorfología Regional.....	54
2.3. Geomorfología Local .....	55
2.4. Clasificación de Pendientes.....	56
2.5. Descripción del Relieve por su Pendiente .....	57
2.6. Morfogénesis evolutiva del vaso de represamiento .....	63
CAPITULO III: .....	GEOLOGÍA
3.1. Geología Regional .....	65

3.2. Geología Local.....	65
3.2.1. Geología histórica y evolución tectónica de la zona de estudio.....	65
3.2.2. Descripción de unidades geológicas área de estudio.....	67
CAPITULO IV: GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	76
4.1. Generalidades .....	76
4.2. Geología Estructural Regional .....	76
4.2.1. Dominios Tectónicos y Estilos Estructurales .....	78
4.3. Geología Estructural Local.....	79
4.3.1. Pliegues.....	80
4.3.2. Fallas .....	80
4.3.3. Fracturas .....	86
CAPITULO V: HIDROLOGIA .....	89
5.1. Aspectos Generales .....	89
5.2. Parámetros Geomorfológicos .....	89
5.2.1. Parámetros Relacionados al Relieve de la Cuenca.....	90
5.2.2. Parámetros asociados al relieve.....	91
5.2.3. Parámetros relativos al drenaje .....	93
5.3. Hidrología Superficial.....	94
5.3.1. Potencial hídrico superficial: .....	95
5.4. Hidrometeorología .....	97
5.4.1. Información hidrometereológica.....	97
5.4.2. Análisis exploratorio de datos.....	99
5.4.3. Regionalización de la información pluviométrica. ....	110
5.4.4. Regionalización mensual de la precipitación: .....	114
5.4.5. Regionalización de la Temperatura. ....	116
5.4.6. Regionalización de la Humedad relativa.....	120
5.4.7. Regionalización de la Evaporación.....	120
5.5. Clasificación Climática.....	121
5.6. Generación de Máximas Avenidas. ....	122
5.6.1. Información de Precipitación .....	122

5.6.2. Prueba de Outliers o Datos Dudosos. ....	124
5.6.3. Distribuciones Teóricas .....	126
5.6.4. Análisis de Tormentas .....	130
5.6.5. Caudal Máximo De Diseño. ....	136
5.7. Hidrogeología .....	139
5.7.1. Identificación De Unidades Hidrogeológicas .....	140
5.7.2. Clasificación Hidrogeológica.....	141
CAPITULO VI: GEODINAMICA .....	152
6.1. Geodinámica Interna .....	152
6.1.1.Amenaza Por Sismicidad .....	152
6.1.2.Escalas Macrosísmicas.....	152
6.1.3.Efecto del Sismo .....	160
6.2. Geodinámica Externa .....	163
6.2.1.Procesos de remoción en masa .....	163
6.2.2.Procesos de Erosión de laderas .....	164
CAPITULO VII: GEOFISICA .....	167
7.1. Generalidades.....	167
7.1.1. Equipo e instrumentación utilizada .....	167
7.2. Ensayos geofísicos método eléctrico.....	168
7.2.1. Ubicación de las líneas tomográficas .....	168
7.2.2. Toma y registro de la información tomográfica.....	169
7.2.3. Procesamiento de datos .....	171
7.2.4. Interpretación de resultados .....	173
7.3. Ensayos geofísico método sísmico.....	177
7.3.1. Ubicación de ensayo MASW 1D.....	177
7.3.2. Toma y registro de la información MASW 1D.....	178
7.3.3. Procesamiento de datos .....	178
7.3.4. Interpretación de resultados .....	180
CAPITULO VIII: GEOTECNIA.....	183
8.1. Generalidades. ....	183

8.2. Auscultación De Calicatas .....	183
8.3. Datos generales del área de emplazamiento de la estructura: .....	184
8.3.1. Ensayos Realizados “In Situ” .....	189
8.4. Ensayos de Laboratorio .....	192
8.4.1. Ensayo de Contenido de Humedad.....	192
8.4.2. Ensayo de Análisis Granulométrico.....	193
8.4.3. Ensayo de Límite Líquido.....	193
8.4.4. Ensayo de Límite Plástico. ....	194
8.5. Resultados Obtenidos. ....	194
8.5.1. Ensayos de caracterización.....	194
8.5.2. Resumen de las Condiciones de Cimentación .....	195
8.5.3. Parámetros de diseño para la cimentación.....	196
8.5.4. Agresividad del suelo a la cimentación.....	197
8.6. Estudio De Cantera .....	198
8.6.1. Ubicación Y Accesibilidad.....	198
8.6.2. Explotación y muestreo .....	199
8.6.3. Características para material de cantera .....	200
8.6.4. Resultados de las Propiedades físicas y mecánicas del material de la cantera.....	203
CONCLUSIONES.....	205
RECOMENDACIONES .....	207
BIBLIOGRAFÍA .....	208
ANEXO.....	210

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista de ubicación de la laguna de Quellhuacocha.....	25
Figura 2 Vista de la laguna de Quellhuacocha.....	26
Figura 3 Mapa de ubicación política y geográfica de la cuenca Quellhuacocha. ....	26
Figura 5 Formas de acceso a la laguna de Quellhuacocha. ....	28
Figura 6 Vista de cobertura vegetal en la zona de estudio.....	29
Figura 7 Trabajos de campo realizados en la cuenca Quellhuacocha, geológico estructural, geofísico, hidrogeológico.....	35
Figura 8 Trabajos de campo geotécnico .....	35
Figura 9 Trabajos de campo topográfico.....	36
Figura 10 Trabajos de procesamiento de las muestras de suelo en laboratorio .....	37
Figura 11 Esquema simple de representación de un ensayo de tomografía eléctrica para un arreglo dipolo-dipolo. (Chávez et al.2011).....	44
Figura 12 Esquema simple de un ensayo MASW. ....	45
Fuente: Adaptado de Reynolds, 2011 .....	45
Figura 13 Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS).....	49
Figura 14 Imagen de una presa de tierra .....	50
Figura 15 Partes de una presa de tierra.....	51
Figura 16 Presas de tierra homogénea .....	51
Figura 17 Presa de tierra homogénea con filtros horizontales .....	52
Figura 18 Presa de tierra con núcleo central.....	52
Figura 19 Ubicación regional de la zona de estudio.....	54
Figura 20 Vista aérea de la ubicación de la laguna Quellhuacocha.....	55
Figura 21 Mapa de clasificación de pendientes .....	57

Figura 22 Vista hacia el Norte, de la configuración del relieve con pendientes entre 5° a 15° .....	58
Figura 23 Vista hacia al Sur, hacia la salida de la cuenca, con relieve ondulado pendientes entre 5° a 15 .....	59
Figura 24 Vista hacia al Sur y Oeste de la laguna, con relieve ondulado pendientes ... fuertes 15° a 25° .....	60
Figura 25 Vista hacia al Este, de la laguna, con relieve de muy fuerte pendiente 25° a 45° .....	61
Figura 26 Vista hacia al Noreste de la laguna, con relieve de pendiente abrupta 45° a 75° .....	62
Figura 27 Vista hacia al Oeste de la laguna, con relieve de pendiente abrupta 45° a 75° .....	62
Figura 28 Vista hacia al Norte, de la laguna, con relieve en Acantilado 75° a 90° .....	63
Figura 29 Vista hacia al Norte, de la laguna, con relieve en Acantilado 75° a 90° .....	63
Figura 30 Morfogénesis evolutiva de la laguna Quellhuacocha en un relieve de circo glacial .....	64
Figura 31 Afloramientos de la formación Ananea. lado oeste de la cuenca Quellhuacocha .....	68
Figura 32 Afloramiento de rocoso de la formación Pisac volcánico sedimentario extremo Norte .....	69
Figura 33 detalle de afloramiento de rocoso form. Pisac, volcánico sedimentario extremo Norte .....	69
Figura 34 Vista panorámica de afloramiento de rocoso de la formación Pisac, volcánico sedimentario extremo Norte .....	70
Figura 35 Formación Pisac en todo el borde Norte alto de la cuenca Quellhuacocha. .	70
Figura 36 detalle de afloramiento de rocoso de la formación Muni areniscas compactas extremo Norte .....	72

Figura 37 Afloramiento de rocoso de la formación Muni, areniscas con lutitas compactas extremo Norte .....	72
Figura 38 Vista de los depósitos morrénicos alrededor de la laguna de Quellhuacocha .....	73
Figura 39 Constitución litológica de los depósitos morrénicos alrededor de la laguna de Quellhuacocha .....	73
Figura 40 Capa de horizonte biogénico en la parte baja de la cuenca, en zona de desfogue .....	74
Figura 41 Capa de horizonte biogénico alrededor de la laguna Quellhuacocha .....	74
Figura 42 Depósitos biogénicos en zonas de ladera.....	74
Figura 43 Mapa Geológico .....	75
Figura 44 Dominios tectónicos en el Altiplano y borde oeste de la Cordillera Oriental	76
Figura 45 Evolución estratigráfica de la región Sicuani - Marangani -Ayaviri.....	77
Figura 46 Evolución estratigráfica de la región Sicuani - Marangani -Ayaviri.....	77
Figura 47 Dominios tectónicos y distribución de estilos estructurales en el Altiplano y en Borde Oeste de la Cordillera Oriental del sur del Perú.....	79
Figura 48 pliegue de propagación de fallas en sinclinal y anticlinal .....	80
Figura 49 Falla local (FL1). Espejo de Falla Normal (Este:274635, Norte: 8417292 ....	81
Figura 50 Vista panorámica de la proyección de la falla (FL1). (Este: 274635, Norte: 8417292) .....	81
Figura 51 Vista panorámica de la proyección de la falla (FL2). (Este: 275253, Norte: 8417151) .....	82
Figura 52 Falla local (FL2). Espejo de Falla Normal (Este: 275253, Norte: 8417151) ...	82
Figura 53 Vista panorámica de la proyección de la falla (FL3). Espejo de Falla Normal (Este:255879, Norte: 8416463) .....	83
Figura 54 Falla local (FL4). Espejo de Falla Normal (Este: 275804, Norte:8417158) ...	83

Figura 55 Presencia De Fallas a nivel Local .....	84
Figura 56 Mapa Estructural .....	85
Fuente: Propia De Los Tesisistas .....	85
Figura 57 Sección geológica .....	86
Figura 58 Medición de diaclasas .....	86
Figura 59 Medición de aperturas de fracturas .....	88
Figura 60 Forma de la cuenca y su relación con las crecidas máximas.....	90
Figura 61 Mapa orográfico de distribución areal de la altitud .....	92
Figura 62 Orden de drenaje cuenca Quellhuacocha dendrítico sub paralelo.....	93
Figura 63 Vista de la laguna de Quellhuacocha único cuerpo de agua de carácter permanente.....	95
Figura 64 Aforo y Registro de cursos de agua riachuelos que confluyen en la laguna Quellhuacocha .....	96
Figura 65 Ubicación de riachuelos de aporte hídrico .....	97
Figura 66 Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	98
Figura 67 Mapa De Isohietas .....	113
Figura 68 Mapa De Isotermas.....	119
Figura 69 Captura de pantalla de hoja de Hidroesta, procesando información para Distribución Gamma 3 Parámetros o Pearson tipo III .....	128
Figura 70 Su función de densidad de probabilidad es:.....	129
Figura 71 La función de distribución acumulada de la distribución gamma de 3 parámetros es: .....	130
Figura 72 Mapa Hidrogeológico .....	140
Figura 73 Materiales utilizados para la prueba de permeabilidad .....	142

Figura 74 : Ejemplo de prueba de infiltración realizadas en la cuenca Quellhuacocha .....	142
Figura 75 Ubicación de las pruebas de infiltración .....	143
Figura 76 Prueba de infiltración de depósitos morrénicos sector derecho del dique ..	146
Figura 77 Curva isosista al sismo de 01/12/2016.....	154
Figura 78 Curva isosista al sismo de 24/11/2015.....	154
Figura 79 Curva isosista al sismo del 25/09/2013.....	155
Figura 80 Curva isosista al sismo del 15/08/2008.....	155
Figura 81 Curva isosista al sismo del 23/06/2001 .....	156
Figura 82 Curva isosista al sismo del 12/11/1996.....	156
Figura 83 Curva isosista al sismo del 01/11/1947 .....	157
Figura 84 : Curva isosista al sismo del 06/08/1913.....	157
Figura 85 Curva isosista al sismo del 29/10/1746.....	158
Figura 86 Curva isosista al sismo del 24/11/1604.....	158
Figura 87 Mapa estructural: Presencia de fallas inversas y normales inactivas cerca de la zona de estudio .....	159
Figura 88 Mapa de Zonas Sísmicas.....	160
Figura 89 Caída de bloques de roca .....	164
Figura 90 Caída de bloques de roca .....	164
Figura 91 Erosión de laderas .....	165
Figura 92 Fotografía 45: Erosión de laderas .....	165
Figura 93 : Se muestra la línea roja, corresponde al eje de presa. Adaptado de Google earth.....	168
Figura 94 Se muestra la línea amarilla, corresponde al vaso de la presa. Adaptado de Google earth. ....	169

Figura 95 Fotografía 46: toma de datos de parámetros .....	170
Figura 96 Fotografía 47: toma de datos de parámetros .....	171
Figura 97 Se muestra el procesamiento de la línea tomográfica TRE-01. (Elaboración propia).....	172
Figura 98 Perfil final de tomografía eléctrica de la línea TRE-01 (elaboración propia)	172
Figura 99 Se muestra el procesamiento de la línea tomográfica TRE-02. (Elaboración propia).....	173
Figura 100 Perfil final de tomografía eléctrica de la línea TRE-02 (elaboración propia) .....	173
Figura 101 Perfil de tomografía eléctrica TRE-01, se muestra la delimitación de capas posibles. (elaboración propia). .....	174
Figura 102 Se muestra el perfil con la interpretación de los materiales existentes según la disposición del perfil tomográfico.....	175
Según la tomografía eléctrica TRE-01, se puede determinar tres capas: .....	175
Figura 103 Perfil de tomografía eléctrica TRE-02, se muestra la delimitación de capas posibles. (elaboración propia). .....	176
Figura 104 Se muestra el perfil con la interpretación de los materiales existentes según la disposición del perfil tomográfico.....	176
Figura 106 Instalación de equipos, para la toma de datos .....	178
Figura 107 Se muestra la imagen de la velocidad de fase y la frecuencia. (Elaboración propia).....	179
Figura 108 Se muestra el perfil final del ensayo MASW-01 (elaboración propia). .....	179
Figura 109 Topografía.....	184
Figura 110 Lugar donde se proyecta la ubicación de los diques.....	185
Figura 111 Inexistencia de restos arqueológicos .....	185
Figura 112 Pozos a Cielo abierto .....	187

Figura 113 Vista de ubicación de la calicata 01 .....	188
Figura 114 Vista de ubicación de la calicata 02 .....	189
Figura 115 Vista de ubicación de la calicata 03 .....	189
Figura 116 Trabajos de campo realizados en la cuenca Quellhuacocha .....	190
Figura 117 Trabajos de campo realizados en la cuenca Quellhuacocha .....	190
Figura 118 Trabajos de campo realizados en la cuenca Quellhuacocha .....	191
Figura 119 muestra de suelo seleccionado .....	191
Figura 120 horno para contenido de humedad .....	192
Figura 121 Preparación de las mallas para lavado de muestra .....	193
Figura 122 Análisis de límites de consistencia .....	194
Figura 123 Ubicación de la cantera.....	198
Figura 124 Corte de talud de cantera para el relleno del dique.....	199
Figura 125 Acopio de muestra de material de cantera para laboratorio.....	199

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación Geográfica y UTM del área de Estudio.....	25
Tabla 2: Ubicación Geográfica de la microcuenca Quellhuacocha .....	27
Tabla 3: Origen y Destino.....	28
Tabla 4 Cumbres más relevantes que constituye la Cordillera de La Raya .....	55
Tabla 5 Clasificación y distribución areal de la pendiente .....	56
Tabla 6 Distribución areal pendiente Moderada .....	58
Tabla 7 Distribución areal pendiente Fuerte.....	59
Tabla 8 Distribución areal pendiente Muy Fuerte .....	60
Tabla 9 Distribución areal pendiente Abrupta .....	61
Tabla 10: Distribución areal pendiente Abrupta .....	62
Tabla 10 Columna estratigráfica local de cuenca Quellhuacocha.....	66
Tabla 11 Distribución areal de las unidades geológicas en la cuenca de Quellhuacocha .....	67
Tabla 12: Resumen de Rumbo y buzamiento de fallas a nivel local .....	84
Tabla 13 Datos de buzamientos, dirección de buzamiento y abertura, tomados en campo .....	87
Tabla 14 Parámetros asociados al relieve de la cuenca .....	90
Tabla 15 Parámetros asociados al relieve .....	91
Tabla 16 Parámetros asociados al drenaje .....	93
Tabla 17 Sección de pendientes .....	94
Tabla 18 Sección de pendientes .....	94
Tabla 19 Fuentes de recuso hídrico superficial que alimentan la laguna Quellhuacocha .....	96

Tabla 20 Ubicación de las estaciones meteorológicas usadas para el estudio hidrológico .....	98
Tabla 21 Registro de precipitación mensual original de la estación de Sicuani .....	99
Tabla 22 Variables estadísticas para estimación de parámetros de la recta de regresión .....	101
Tabla 23 Registro de precipitación estación Sicuani restituido y extendido .....	102
Tabla 24 Selección, y cuantificación de los periodos a analizar.....	105
Tabla 25 Datos obtenidos para el Criterio de decisión, consistencia en la media .....	108
Tabla 26 Paso 1: Tendencia en la media .....	109
Tabla 27 Paso 2: Tendencia en la desviación estándar .....	109
Tabla 28 Registro corregido por tendencias de la estación Sicuani.....	110
Tabla 29 Información básica de las estaciones en estudio para regionalizar.....	111
Tabla 30 Ecuaciones de regresión que mejor se ajusta a la zona de estudio.....	112
Tabla 31 Relación precipitación altitud (isohietas) .....	113
Tabla 32 Parámetros de regionalización precipitación, altitud – distancia .....	114
Tabla 33 Registro de precipitación media mensual para la cuenca Quellhuacocha ...	115
Tabla 34 Resumen de precipitación media mensual para la cuenca de Quellhuacocha .....	116
Tabla 35 Temperatura máxima media mensual cuenca Quellhuacocha.....	117
Tabla 36 Temperatura mínima media mensual cuenca Quellhuacocha .....	118
Tabla 37 Temperatura media mensual cuenca Quellhuacocha .....	118
Tabla 38 Humedad relativa, cuenca Quellhuacocha .....	120
Tabla 39 Humedad relativa, cuenca Quellhuacocha.....	120
Tabla 40 Clasificación de la Zona de Vida, cuenca Quellhuacocha.....	121
Tabla 41 Registro de precipitación máxima de 24 horas estación Sicuani.....	123

Tabla 42 Registro de precipitación máxima de 24 horas para Quellhuacocha.....	124
Tabla 43 Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.....	125
Tabla 44 Parámetros estadísticos de registro de 24 horas .....	125
Tabla 45 Prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov para las diversas distribuciones teóricas.....	127
Tabla 46 cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov .....	129
Tabla 47 Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno .....	131
Tabla 48 Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno corregido .....	131
Tabla 49 coeficientes de reducción para las relaciones lluvia y tiempo de duración...	132
Tabla 50 Precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes tiempos de duración de lluvias .....	132
Tabla 51 Tabla de Intensidades – Tiempo de duración .....	133
Tabla 52 Coeficientes de regresión lineal múltiple .....	133
Tabla 53 Logaritmos.....	134
Tabla 54 Valores de intensidad de lluvia VS período de retorno.....	136
Tabla 55 Periodos de retorno en función a las estructuras .....	137
Tabla 56 Coeficientes de escorrentía, según Benítez et al. (1980), citado por Lemus y Navarro (2003) .....	137
Tabla 57 parámetros para el programa .....	138
Tabla 58 Comparación del HU Sintético Triangular SCS y HU Sintético Adimensional SCS.....	138
Tabla 59 Clasificación de unidades hidrogeológicas.....	140
Tabla 60 Clasificación de terrenos por la permeabilidad.....	141
Tabla 61 Ubicación de las pruebas de infiltración .....	143
Tabla 62 Prueba N° 05: Método de Carga constante según Lefranc .....	144

Tabla 63 Prueba N° 05: Método de Carga constante según Gilg Gavard.....	144
Tabla 64 Velocidad de infiltración de la formación Pisac .....	144
Tabla 65 Cuadro matriz de Infiltración Básica (Ib, cm/h), estribo derecho, Dep. Morrénicos .....	146
Tabla 66 Calculo en función de la lámina infiltrada acumulada.....	146
Tabla 67 Calculo en función de la velocidad de infiltración instantánea .....	147
Tabla 68 Calculo en función de la velocidad de infiltración promedio .....	147
Tabla 69 Resultados de Infiltración Básica (Ib, cm/h), depósitos morrénicos estribo derecho .....	148
Tabla 70 Valores de Conductividad Hidráulica (K), Calificación por Permeabilidad y Clasificación Hidrogeológica de macizos rocosos.....	149
Tabla 71 Valores de Conductividad Hidráulica (K), Calificación por Permeabilidad y Clasificación Hidrogeológica de depósitos morrénicos .....	150
Tabla 72 de la Norma de Diseño Sismo Resistente .....	160
Tabla 73 Factores de Zona .....	161
Tabla 74 de la Norma de Diseño Sismo Resistente .....	162
Tabla 75 de la Norma de Diseño Sismo Resistente .....	162
Tabla 76 de la Norma de Diseño Sismo Resistente .....	163
Tabla 78 Ubicación de la línea tomográfica TRE-01.....	168
Tabla 79 Ubicación de la línea tomográfica TRE-02.....	169
Tabla 80 Parámetros de adquisición de TRE-01.....	170
Tabla 81 Parámetros de adquisición de TRE-02.....	170
Tabla 82 Características del terreno según su resistencia.....	173
Tabla 83 Ubicación del ensayo MASW .....	177
Tabla 84 Parámetros de adquisición del ensayo MASW.....	178

Tabla 85 Tipo de suelo.....	180
Tabla 86 Parámetros elásticos de suelo .....	181
Tabla 88: Reglamento Nacional de Edificaciones .....	186
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones .....	186
Tabla 89 Reglamento Nacional de Edificaciones .....	187
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones .....	187
Tabla 90 del Reglamento Nacional de Edificaciones .....	192
Tabla 91 Ensayos de caracterización.....	194
Tabla 92 Ensayos de Clasificación.....	195
Tabla 93 Perfil de Suelos .....	196
Tabla 94 Caracterización de estratos.....	196
Tabla 95: Análisis granulométrico de la cantera.....	201
Tabla 96 Propiedades físicas y mecánicas de la cantera.....	202
Tabla 97 Resultado de las propiedades físicas y mecánicas de la cantera .....	203

## INDICE DE GRAFICOS

<b>Gráfico 1</b> Distribución estadística de la pendiente .....	56
<b>Gráfico 2</b> Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes.....	92
<b>Gráfico 3</b> Histograma de precipitación para la estación Sicuani .....	103
<b>Gráfico 4</b> Histograma de precipitación para la estación Yauri.....	104
<b>Gráfico 5</b> Histograma de precipitación para la estación Pomacanchi.....	104
<b>Gráfico 6</b> Histograma de precipitación para la estación La Raya .....	104
<b>Gráfico 7</b> Comportamiento regional de la precipitación en área de influencia de las estaciones en estudio.....	112
<b>Gráfico 8</b> Precipitación mensual en la cuenca de Quellhuacocha.....	116
<b>Gráfico 9</b> Comportamiento de la temperatura cuenca Quellhuacocha .....	119
<b>Gráfico 10</b> Variación de la temperatura, cuenca Quellhuacocha .....	120
<b>Gráfico 11</b> Variación de la evaporación, cuenca Quellhuacocha .....	121
<b>Gráfico 12</b> Curva Intensidad Duración y Frecuencia .....	136
<b>Gráfico 13</b> HU Sintético Triangular SCS y HU Sintético Adimensional SCS .....	139
<b>Gráfico 14</b> Comportamiento de la infiltración Lefranc y Gilg Gavard respectivamente .....	145
<b>Gráfico 15</b> Tiempo base (min) VS, Velocidad de infiltración (cm/h) y Lamina de infiltración (cm).....	148

## RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo de tesis titulada **“ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA LAGUNA QUELLHUACocha, DISTRITO DE MARANGANI, PROVINCIA DE CANCHIS-CUSCO, 2020”**, tiene como área de investigación el sector de Quellhuacocha, perteneciente a la comunidad de Ccuyo, a una altura de 4600 msnm, con presencia constante de precipitaciones sólidas y nevadas, temperaturas extremas bajo cero, por estar cerca a la cadena montañosa del nevado de la Raya.

Morfológicamente el sector de Quellhuacocha, constituye una depresión natural correspondiente a un antiguo circo glaciar, con afloramientos rocoso alto y de fuerte pendiente hacia el borde Norte de la laguna, con material morrénico y fluvio-glaciar hacia el frente de esta laguna, originando un confinamiento y cierre natural de esta área. La historia geológica de esta zona, se remonta al paleozoico, dejando como vestigio de estos eventos, unidades geológicas que van desde el paleozoico inferior, hasta incluso el cuaternario.

Para la evaluación Hidrológica se ha tomado los parámetros morfológicos de la cuenca e información meteorológica secundaria obtenida de la data de SENAMHI, relacionados al balance hídrico de la cuenca, necesarios para obtener variables cualitativas como cuantitativas para la etapa del perfil del proyecto. Como parte del estudio se determinó, las variables hidro-meteorológicas como: La precipitación (832.5 mm/año), temperatura (2.26 °C), área de escurrimiento (2.24 km<sup>2</sup>), coeficiente de escurrimiento (0.60).

A nivel de la tectónica regional, la zona de estudio se encuentra cerca de grandes estructuras mayores como son la falla Urcos-Sicuni -Ayaviri y localmente fallas de corte de tipo normal. El área de estudio en general muestra una fuerte deformación estructural y tectónica en dirección NW – SE, evidenciada por grandes fallas

inversas con dirección NW – SE a nivel regional y más localmente sistemas de fallas con direcciones NW – SE y NE - SW, resultantes de los diferentes eventos tectónicos que afectaron a la región y a la cordillera de los Andes en general.

Se ha realizado ensayos geofísicos mediante el método eléctrico y sísmico con el objetivo de conocer las características geológicas del subsuelo donde se emplazará el eje y vaso de la presa proyectada, los mismos que han servido para recomendar la ubicación de los sondajes con perforación rotatoria y establecer el espesor de los suelos cuaternarios en el eje y el vaso de la presa.

A nivel de geotecnia se ha realizado 06 calicatas de exploración, dividido en 03 sectores derecho, medio e izquierdo, obteniendo valores de LL (19.57 a 39.91%), LP (7.38 a 27.06%), y IP (2.98 a 20.49).

Palabras clave: Geotécnico, Hidrológico, Estabilidad y Estanqueidad.

## INTRODUCCIÓN

Frente a la demanda de agua y escasas de fuentes hídricas de almacenamiento como lagunas que naturalmente provean la cantidad necesaria de agua que satisfaga la demanda de agua para el desarrollo de las actividades económicas como son la agricultura y otros en el ámbito de las comunidades campesinas, el gobierno nacional, regional y local, vienen impulsando diversos estudios y proyectos con diversos nombres pero todos con un propósito común, el de aumentar la oferta hídrica, y con ello garantizar una mayor demanda de agua, ampliación del área agrícola, diversificación productiva y con ello aumentar el poder adquisitivo de la población.

Por todo ello, dentro de las muchas actividades tendientes a aumentar la oferta hídrica (represamientos, forestaciones, zanjas de infiltración, galerías filtrantes, etc), los represamientos son actividades de mayor eficiencia, a la hora de almacenar agua de esorrentía superficial, y por estar en zonas altas, su aprovechamiento se hace por gravedad, facilitando la conducción uniforme de agua a las zonas de distribución, para lo cual la laguna de Quellhuacocha tiene una proyección para un volumen de almacenamiento de 510000 metros cúbicos para una altura de embalse de 3 metros aproximadamente, con una longitud de dique de represamiento de 80 metros de longitud. Así mismo hidrológicamente el área de escurrimiento hídrico de la laguna de Quellhuacocha tiene 2.24 kilómetros cuadrados, con un coeficiente de escurrimiento de 0.60 (según las condiciones de tipo de material, pendiente y cobertura vegetal), asumiendo una precipitación total anual al 75% de persistencia de 750mm/año, garantiza un volumen total de escurrimiento 1007738 metros cúbicos, garantizando en demasia el volumen propuesto para el represamiento de 510000 metros cúbicos. Todos estos beneficios y bondades que ofrecen los proyectos de represamientos, hace que aún más los estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos desde nuestro campo de acción geológica sea de rigurosa evaluación y estimación, cumpliendo las especificaciones técnicas dadas en el reglamento nacional de edificaciones, así como por recomendación de especialistas en geotecnia, hidrología, etc.

## CAPITULO I: GENERALIDADES

### 1.1 Ubicación

#### 1.1.1 Ubicación Política.

Políticamente el área de estudio, se encuentra ubicada en el sector de Quellhuacocha, perteneciente a la Comunidad Campesina de Ccuayo, Distrito de Marangani, Provincia de Canchis, Región Cusco -Perú. Que abarca una extensión de cuenca de aporte hídrico de 216.54 ha, y un espejo de agua de la laguna de 18.64 ha.

*Figura 1 Vista de ubicación de la laguna de Quellhuacocha*



Fuente: Propia de los tesisistas

#### 1.1.2 Ubicación Geográfica

La microcuenca de Quellhuacocha, se encuentra ubicada en la cordillera de la Raya, a una altitud de 4600 msnm, entre las coordenadas geográficas y UTM siguientes:

**Tabla 1: Ubicación Geográfica y UTM del área de Estudio**

COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS UTM WGS 1984 - ZONA 29T		
Latitud Sur	Longitud Oeste	Este	Norte	Altitud
14°18' 50"	71°05'17"	274755	8416525	4600

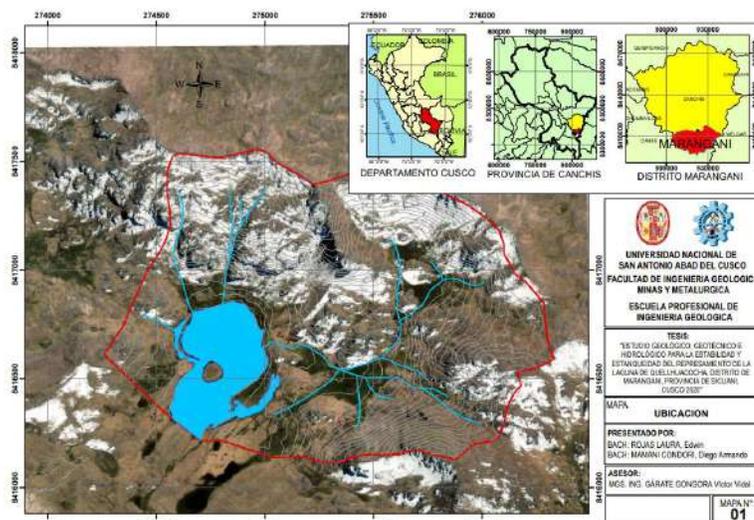
Fuente: Elaborado por los tesisistas.

Figura 2 Vista de la laguna de Quellhuacochoa



Fuente: Propia de los tesisistas.

Figura 3 Mapa de ubicación política y geográfica de la cuenca Quellhuacochoa.



Fuente: Elaborado por los tesisistas.

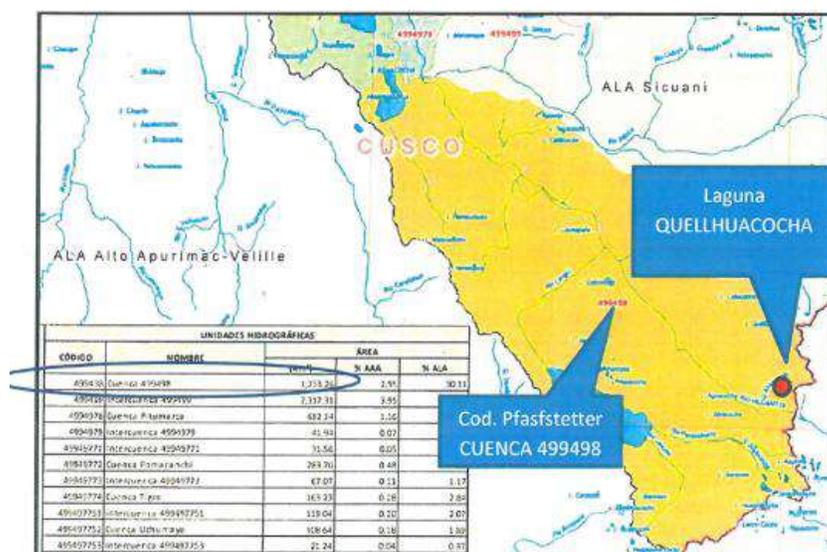
### 1.1.3 Ubicación Hidrográfica

La zona de estudio tiene como colector mayor al Rio Vilcanota, que nace en la cordillera de la Raya, según a la metodología desarrollada por el Ing. Otto Pfafstetter, hidrográficamente la red hídrica desde que desagua en el mar del Atlántico hasta que nace por este sector Cordillera de la Raya, se clasifica en:

**Tabla 2: Ubicación Geográfica de la microcuenca Quellhuacochoa**

NIVEL	CÓDIGO	UNIDAD HIDROGRÁFICA	NOMBRE	ÁREA
				km <sup>2</sup>
1	4	Vertiente Hidrográfica	Río Amazonas	6028376.02
2	49	Intercuenca	Región	2233009.75
3	499	Intercuenca	Río Ucayali	348094.14
4	4994	Cuenca	Río Urubamba	2446.4
5	499949	Cuenca	Río Urubamba	2446.4
6	4999498	Cuenca	Langui - Sicuani	330
Microcuenca			Quellhuacochoa	57.47

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

**Figura 4 Ubicación hidrográfica de la zona de estudio**

Fuente: ALA Sicuani.

## 1.2 Accesibilidad

Para llegar a laguna Quellhuacochoa, se accede por la carretera asfaltada Cusco – Sicuani, para luego continuar con dirección a la Comunidad Campesina Ccuyo, por un

tiempo de 45 minutos, luego seguir por trocha para luego por caminos de herradura llegar hasta la zona de estudio.

En la siguiente tabla Origen-Destino, se muestra la forma de acceso a la zona de estudio:

*Figura 5 Formas de acceso a la laguna de Quellhuacocha.*



Fuente: Propia de los tesisistas.

**Tabla 3: Origen y Destino**

		DESTINO			
		Cusco	Sicuani	C.C Cuyo	Laguna Quellhuacocha
ORIGEN	Cusco		Tiempo = 3 hr, Vía asfaltada, conservación buena		
	Sicuani	Tiempo = 3 hr, Vía asfaltada, conservación buena		Tiempo = 45 min, carretera afirmada	
	C.C Cuyo		Tiempo = 45 min, carretera afirmada		Tiempo = 25 min, Trocha y camino herradura
	Laguna Quellhuacocha			Tiempo = 25 min, Trocha y camino herradura	

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

### 1.3 Vegetación

Como se sabe la zona de estudio se encuentra por encima de los 4600 msnm, por lo tanto su vegetación es característico de herbazales altoandinos (pajonal, bofedal), dominado mayoritariamente por el Ichu (*Stipa ichu*) y Chiliwa (*Festuca dolichophylla*), y arbustos como la tola, los humedales están cubiertos por especies tipo cojín espinosos como la *Distichia acicularis*.

*Figura 6 Vista de cobertura vegetal en la zona de estudio.*



Fuente: Propia de los tesisistas.

### 1.4 Planteamiento del Problema

#### 1.4.1 Descripción del problema

Con el pasar del tiempo, las civilizaciones, se han desarrollado en superficies donde se puedan cultivar y satisfacer las necesidades como la alimentación y su subsistencia, de esta manera, aumentan la densidad demográfica, acrecentando el consumo del recurso hídrico tanto para uso agrícola, como también para consumo, con el tiempo y los cambios climáticos que presenta el mundo, la oferta hídrica ha disminuido, la Comunidad de Cuyo no es ajena a esta realidad que se presenta a nivel mundial, que para satisfacer la demanda hídrica se plantea determinar la capacidad de la estabilidad y la estanqueidad del represamiento de la laguna Quellhuacocha, para ello desarrollaremos el estudio geológico, para saber si el basamento bajo el cual está emplazada la laguna, tiene las condiciones litoestratigráficas adecuadas; el estudio, geotécnico para saber el terreno de fundación y sus características que nos permitan emplazar la estructura del

dique; el estudio hidrológico que nos brindara información de si la laguna será capaz o no de almacenar grandes volúmenes de agua.

## **1.4.2 Formulación del Problema**

### **1.4.2.1. Problema General**

¿Qué características geológicas, geotécnicas e hidrológicas garantizará la estabilidad y estanqueidad del represamiento de la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020?

### **1.4.2.2. Problemas Específicos**

1. ¿Qué características geológicas garantizaran la estabilidad y estanqueidad de la presa en la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020?
2. ¿Qué propiedades geotécnicas garantizaran la estabilidad y estanqueidad de la presa en la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020?
3. ¿Qué parámetros hidrológicos garantizaran la estabilidad y estanqueidad de la presa en la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020?

## **1.5 Formulación de las Variables de la Investigación**

### **1.5.1 Variables Independientes**

- Geología
- Geotecnia
- Hidrología

### **1.5.2 Variables Dependientes**

- Estabilidad
- Estanqueidad

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Determinar las características geológicas, geotécnicas e hidrológicas para garantizar la estabilidad y estanqueidad del represamiento de la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

Para lograr el objetivo planteado, nos hemos propuesto desarrollar los objetivos siguientes:

1. Determinar las características geológicas para garantizar la estabilidad y estanqueidad de la presa en la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020.
2. Determinar las propiedades geotécnicas para garantizar la estabilidad y estanqueidad de la presa en la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020.
3. Determinar los parámetros hidrológicos para garantizar la estabilidad y estanqueidad de la presa en la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020.

## **1.7 Justificación e Importancia**

### **Conveniencia**

Este trabajo de investigación se realizará para dar solución a los escasos recursos hídricos que carece la población de Quellhuacocha así como un estudio previo que se tomaría como base para la correspondiente realización de un expediente técnico por parte de la entidad pública.

### **Relevancia social**

Con el represamiento de la laguna de Quellhuacocha la población de Cuyo mejorará la calidad de vida debido al uso del recurso hídrico, usando como atractivo turístico, en la

producción de piscigranja, agricultura y ganadería, mejorando sus ingresos económicos provenientes de la intensificación de uso del agua.

### **Implicancias practicas**

El represamiento de la laguna de Quellhuacocha, ayudaría a solucionar los escasos del recurso hídrico que carece las poblaciones próximas a dicha laguna, así como el beneficio directo a la población de Ccuayo.

### **Valor teórico**

Con este proyecto de investigación se logrará tener un antecedente para un próximo estudio, o un estudio definitivo de un expediente técnico y su posterior ejecución, así como el método utilizado de prospección geofísica.

### **Valor metodológico**

La metodología que se utiliza ayudara a que muchos proyectos posteriores se utilice la aplicación del método geofísico ya que el tipo de investigación utilizada es de tipo experimental y descriptivo.

## **1.8 Hipótesis**

### **1.8.1 Hipótesis General**

Las características Geológicas, Geotécnicas e hidrológicas serán favorables para garantizar la estabilidad y estanqueidad del represamiento de la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020.

### **1.8.2 Hipótesis Especifico**

1. Las características geológicas serán adecuadas para el represamiento de la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020.
2. Las propiedades geotécnicas garantizarán la estabilidad y estanqueidad de la presa, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020.

3. Los parámetros hidrológicos serán favorables para garantizar la estabilidad y la estanqueidad del represamiento de la laguna de Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis – Cusco-2020.

## **1.9 Investigación y etapas de Trabajo.**

Para el desarrollo de la presente tesis, se ha procedido según los objetivos planteados, el tipo de investigación es del tipo cualitativo y cuantitativo, con un diseño de tipo seccional descriptiva.

### **1.9.1 Etapa De Gabinete I**

Como primera etapa, básicamente se constituye en la búsqueda de la información preliminar, preparación de los mapas preliminares de campo, planeamiento y cronograma de los trabajos de campo y gabinete, como información principal base se tiene:

- Boletín geológico del cuadrángulo de Sicuani, hoja 29t del INGEMMET.
- Preparación y adecuación del mosaico satelital de fuente del SASPLANET.
- Delimitación del área de estudio
- Planeamiento del plan de viaje y preparación de los instrumentos, materiales y equipos a utilizar, incluido la movilidad.
- Instalación de los programas geológicos, hidrológicos, hidrogeológico, geotécnicos y geofísicos a utilizar para el procesamiento de la información.

### **1.9.2 Etapa de campo.**

Esta se divide en:

#### **Etapas de Campo I.**

En esta etapa se ha efectuado la visita preliminar al área de trabajo, con la finalidad de verificar el estado de accesibilidad, el personal que se pueda utilizar, y lo que es más importante la coordinación con los directivos de la comunidad de Ccuyo para que nos

permitan su autorización a ingresar a la zona de la laguna de Quellhuacocha para los trabajos de campo con fines netamente de investigación de tesis.

## **Etapa de Campo II**

Netamente está dedicada a los trabajos de campo en el que se realizaron las actividades siguientes.

- Cartografiado de unidades geológicas, identificación de unidades fisiográficas y geomorfológicas; identificación de deformaciones estructurales, reconocimiento de peligros geológicos, con sus correspondientes mapas temáticos.
- Levantamiento topográfico de vaso de almacenamiento y zona de ubicación del dique de represamiento,
- Apertura de calicatas de exploración para la caracterización geotécnica del subsuelo.
- Acopio de muestras de suelos de cada calicata para diferentes ensayos de laboratorio.
- Pruebas de infiltración.
- Aforo y muestreo de fuentes de agua.
- Ubicación de secciones geoeléctricas

*Figura 7 Trabajos de campo realizados en la cuenca Quellhuacocha, geológico estructural, geofísico, hidrogeológico*



Fuente: Propia de los tesisistas.

*Figura 8 Trabajos de campo geotécnico*



Fuente: Propia de los tesisistas.

*Figura 9 Trabajos de campo topográfico*



Fuente: Propia de los tesisistas.

### **1.9.3 Etapa de Gabinete II**

En esta etapa se ha realizado el procesamiento de la información de campo, interpretación, diseño de los mapas especializados, los cálculos hidrológicos, procesamiento e interpretación de las secciones geofísicas, y trabajos de laboratorio de suelos, en el que se obtuvo información de:

- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422)      MTC E 107
- Determinación del límite líquido (ASTM D 4318)      MTC E 110
- Determinación del límite plástico      MTC E 111
- Clasificación: SUCS      ASTM D 2487
- Contenido de humedad      MTC - E108
- Densidad Natural      ASTM D 1556
- Capacidad admisible de los suelos

*Figura 10 Trabajos de procesamiento de las muestras de suelo en laboratorio*



Fuente: Propia de los tesisistas.

Finalmente, en esta etapa se ha procedido a la redacción del informe final de tesis de investigación.

## 1.10 Marco Teórico

### 1.10.1 Antecedentes de la Investigación

#### 1.10.1.1. Antecedentes a nivel nacional

- Perez y Huaranga (2018) en la tesis de investigación titulada: *“Estudio hidrológico, topografía y geotecnia para el diseño de la represa de Autisha - Lima”* investigación para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad de San Martín de Porres, cuyas conclusiones son:

Este estudio permite empezar el modelo del reservorio confirmando que las demandas son abastecidas aún en la fase hidrológica más crítica debido a las características topográficas e hidrológicas que presenta dicha zona de estudio.

Realizar un levantamiento topográfico del vaso para ratificar la información empleada en la presente tesis ya que garantiza mediante la diferencia de cotas el volumen de almacenamiento del recurso hídrico.

Realizar el diseño hidrológico en WEAP de todo el proceso hidráulico presente y proyectado. El cual permite optimizar el proceso de los múltiples reservorios de la parte media y alta de la cuenca.

Este proyecto de investigación es relevante debido a que se trata de obtener la topografía requerida, así como el tipo de material que debería presentar una presa para ello se utilizó la cota más alta de la cuenca de cabecera y la cota más baja para el adecuado desemboque, también el tipo de suelo que presenta que es de tipo arcilla inorgánica de mediana plasticidad como la arcilla orgánica de baja a lata plasticidad.

- Manrique,E (2020) en su trabajo de investigación titulada : “Diseño hidráulico del represamiento ancestral de la laguna de Cachu Cachu,distrito de San Pedro de Casta, provincia de Huarochiri ” investigación para obtener el título profesional de ingeniería agrícola en la Universidad Nacional Agraria la Molina. Realizando el diseño hidráulico para la micro represa de la laguna Cachu Cachu y las obras conexas que la conforman llegando a las siguientes conclusiones: Para el diseño se consideró las estaciones pluviométricas del Río Blanco, Carampoma y Milloc, ubicadas en un radio no mayor de 50 km y altitudes de 3500 a 4300 msnm, similares al área de estudio. Como resultado del análisis de distribución se concluye que la distribución Log normal es la que mejor se ajusta al modelo. Además, por el método racional se obtuvo un valor de caudal máximo de 0,78 ms<sup>-1</sup>, para un coeficiente de escorrentía de 0,2 y una intensidad de 41.98 mmh<sup>-1</sup>, en un periodo de retorno de 50 años.

Este proyecto de investigación nos aportó de manera relevante ya que para el requerimiento de almacenamiento de recurso hídrico requerido se toma datos del caudal máximo requerido, el coeficiente de escorrentía y la intensidad requerida así como el periodo de retorno ya que son los parámetros necesarios para el volumen requerido de almacenamiento.

#### **1.10.1.2. Antecedentes a nivel local**

- La municipalidad distrital de Sicuani ha venido realizando los estudios de reinversión y expediente técnico, llegando incluso a efectuar parte de la infraestructura en lo referente a los canales principales; sin embargo, actualmente esta obra ha quedado inconclusa debido a problemas de financiamiento para estudios de detalle y problemas de conflicto con otras comunidades. (2006).
- Por interés de la comunidad de Ccuyo ha venido por su cuenta contratando profesionales para estudios particulares de diseño de una presa rustica de tierra, con lo cual falto estudios de geología y geotecnia los cuales fueron observados por la municipalidad distrital de Marangani, el cual hasta hoy día no

se ha levantado esta observación, por lo cual, a iniciativa de la misma comunidad, es que se ha retomado estos estudios a través de la presente tesis de investigación.

- La inauguración de la Presa Quilca Canta Marangani por el Gobierno Regional de Cusco, beneficiando a más de 800 familias. Menciones sobre el "Perfil de Marangani", el cual aborda aspectos como el mejoramiento genético brindado por el Gobierno Local de Marangani para hacer los cultivos más eficientes. Información sobre el proyecto de la Presa Yanacocha Casuira-Marangani en Cusco, que forma parte de los esfuerzos de represamiento en la zona.

## **1.10.2 Bases Teóricas**

### **1.10.2.1. Geomorfología**

#### **La Geomorfología**

La geomorfología es la disciplina que estudia las formas de relieve de la Tierra, su origen y evolución a lo largo del tiempo. Para ello, integra conocimientos de diversas áreas como la geología, la climatología y la biología. Se enfoca en entender los procesos que modelan el paisaje terrestre, clasificándolos en geográficos, bióticos, geológicos y antrópicos.

El objeto de estudio de la geomorfología son las formas de relieve y los factores que las moldean, incluyendo elementos climáticos, hidrográficos, geológicos y humanos. Tiene varias ramas especializadas, como la geomorfología climática, fluvial, eólica, glacial y estructural, cada una centrada en un aspecto específico de la formación del relieve.

La importancia de la geomorfología radica en su capacidad para explicar la configuración de la superficie terrestre y sus procesos históricos, así como para comprender el impacto humano en el medio ambiente. (William Morris Davis)

#### **Circo Glaciar**

Los circos glaciares son depresiones con forma semicircular y paredes muy inclinadas, que se desarrollan en la zona de acumulación. Su forma se debe a la suma de la erosión basal, el arrastre de fondo y la gelifración de las rocas de las paredes.

Cuando la masa de hielo ya no existe, quedan los circos en las zonas altas de las montañas, en los cuales es habitual que se formen lagos. (Gutiérrez Elorza, 2008)

### **1.10.2.2. Geología**

#### **Geología Estructural**

La geología estructural incluye a todos los procesos y elementos cuales están relacionados a las fuerzas tectónicas presentes en la corteza terrestre. En la geología estructural se analiza estructuras geológicas especialmente tectónicas para aclarar la acción de fuerzas dirigidas durante la historia geológica. (Hobbs, B., Means, W. & Williams, P.,1981).

#### **Fallas**

Fallas son roturas en las rocas a lo largo de la cual ha tenido lugar movimiento. Este movimiento se llama desplazamiento. Origen de estos movimientos son fuerzas tectónicas en la corteza terrestre, cuales provocan roturas en la litosfera. Las fuerzas tectónicas tienen su origen en el movimiento de los continentes. (Hobbs, B., Means, W. & Williams, P. 1981).

#### **Pliegues**

Las fuerzas tectónicas de la litosfera no solamente provocan una rotura de las masas rocosas, tal vez las rocas se deforman en una manera plástica (como plastilina, plastecina o mantequilla). Las rocas muestran pliegues o plegamiento. (Hobbs, B., Means, W. & Williams, P. 1981).

### **1.10.2.3. Hidrología**

#### **Hidrología**

“Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas, así como físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos”. (Villon, B. M. 2011)

#### **Ciclo hidrológico.**

“El ciclo hidrológico es la sucesión de cambios que sufre el agua en la hidrosfera y que obedece a leyes físicas. El ciclo hidrológico no tiene ni principio ni fin y es un proceso continuo. Es el aspecto más importante de la hidrología y de su conocimiento depende la correcta aplicación de las técnicas hidrológicas en la solución de los problemas de ingeniería hidráulica. Para una mejor comprensión de los fenómenos del ciclo hidrológico se asume que este comienza con la evapotranspiración.

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

### **Sistema hidrológico**

Guevara y Cartaya, 1991: los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema. (Ordoñez Galvez , 2011)

### **Agua Subterránea**

Es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales. (Ordoñez Galvez , 2011)

### **Permeabilidad (K)**

Es la propiedad de las rocas de permitir o no el flujo del agua; es decir, un estrato geológico siendo poroso puede contener agua, pero si los espacios vacíos no se interconectan, el agua no circula.

Esta libertad de movimiento depende de: Tamaño y forma de las partículas, gradación del material y viscosidad del agua. El coeficiente de permeabilidad de un material, se define como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una sección de acuífero de área unitaria ( $1 \text{ m}^2$ ), cuando el gradiente hidráulico es unitario y la temperatura este en promedio de  $15^\circ\text{C}$ . (Ordoñez Galvez , 2011)

## **Poros**

Se refiere a los espacios abiertos en los diferentes tipos de rocas: En las Rocas Duras: Los espacios corresponden a fracturas, diaclasas, planos de estratificación y cavidades producto de la disolución. Estos espacios no tienen una distribución uniforme y se consideran como fenómenos localizados. Este tipo de porosidad se denomina “porosidad secundaria”. En las Rocas Blandas los poros están presentes entre los granos individuales y los minerales. La distribución de estos poros es mucho más homogénea que en las rocas consolidadas. Este tipo de porosidad se denomina Porosidad Primaria o Porosidad Intergranular. (Ordoñez Galvez , 2011)

## **Porosidad**

La porosidad de un material representa un porcentaje que relaciona el volumen que ocupan los poros en un volumen unitario de roca; esto es si la porosidad es del 50 % significa que la mitad de la roca está constituida por poros y la otra mitad por partículas sólidas.

Se representa a las partículas del suelo (círculos amarillos) y subterráneas (azul flechas). Es de esta manera como llega el agua superficial hacer parte del agua subterránea, que se almacena en suelo y forman los acuíferos. (Ordoñez Galvez , 2011)

### **1.10.2.4. Geodinámica**

#### **Estabilidad de taludes:**

La estabilidad es tener resultados óptimos en los desplazamientos y esfuerzos que podrían poner en peligro su inestabilidad y su funcionalidad de la presa. Para ello tiene que diseñarse cumpliendo criterios de seguridad contra inestabilidad de taludes, flujos de agua incontrolados, erosión interna y externa que pueden poner en peligro su integridad física o mal funcionamiento. (Raul Flores Berrones)

### **1.10.2.5. Geofísica**

#### **Descripción de los métodos geofísicos**

La prospección geofísica presenta una variedad de métodos que complementan la información geotécnica-geológica a partir de ensayos indirectos (no destructivos).

## Descripción del método de tomografía eléctrica

La tomografía de resistividad eléctrica es un método de ensayo de resistividad multielectrodica, obteniendo un modelo 2D del perfil del subsuelo, mediante el empleo de técnicas numéricas (elementos finitos o diferencias finitas).

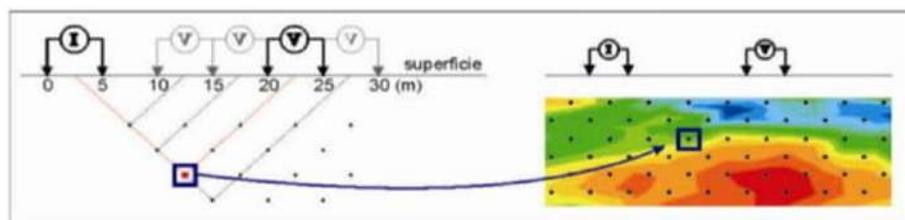
La metodología de tomografía de resistividad eléctrica, se realiza a través de la inyección de una corriente eléctrica que presenta una intensidad conocida, posteriormente se realiza la medición de la diferencia de potencial que se genera. (Moller et al. 1995).

La resistividad eléctrica es la medición de la dificultad que presenta la corriente eléctrica cuando atraviesa un material. (Orellana, 1982.).

### Dispositivo dipolo-dipolo

Aplicando el método Dipolo-Dipolo se garantiza en primera medida una gran sensibilidad a los cambios horizontales en la resistividad del subsuelo, no tan así para los cambios verticales, de forma tal que resulta siendo muy útil para estructuras verticales identificando fallas y fracturas principalmente, además de tener ventajas en la búsqueda de muros enterrados y cavidades o plumas contaminantes. Como desventaja se puede mencionar su poca resolución para estructuras horizontales, ejemplo: capas sedimentarias. (Toledo Baca, 2016)

*Figura 11 Esquema simple de representación de un ensayo de tomografía eléctrica para un arreglo dipolo-dipolo. (Chávez et al.2011)*



Fuente: Elaboración propia.

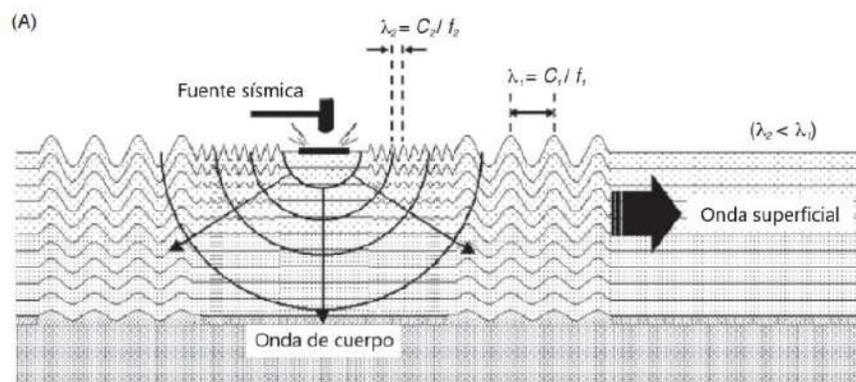
### Descripción del método de ensayo MASW 1D

El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), es un método no destructivo, se usa para evaluar la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ), vinculado al mismo módulo de corte ( $G$ ). Este método analiza las propiedades de dispersión de los modos fundamentales de

las ondas Rayleigh, las cuales se propagan a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores (Park et al., 1999).

El método MASW es una medición del tipo activa, donde la fuente generadora de las perturbaciones corresponde a una fuente impulsiva como el golpe de un martillo en el suelo. Como dice su nombre, el arreglo de geófonos es de múltiples canales con al menos 12 geófonos (Roma, 2006), estos se disponen linealmente, equidistantes entre ellos en distancias cortas (1-2 m) y largas (50-100 m) (Linares, 2005).

*Figura 12 Esquema simple de un ensayo MASW.*



*Fuente: Adaptado de Reynolds, 2011*

### 1.10.2.6. Geotecnia

#### Cimentaciones

La mejor cimentación sobre la que podría asentar una presa de tierra es la rocosa, muy común en río de montaña, ya que este material presenta resistencias al corte mucho mayores que los del terraplén, por lo que no se dan problemas de inestabilidad. En este tipo de fundaciones simplemente se hace una excavación del material aluviones superficial para descubrir la roca.

Otro tipo de materiales que se presentan en los ríos son los suelos de material granular como grava, arena, cantos rodados. Estos son adecuados para fundar una presa de tierra, ya que presentan parámetros de resistencia al corte, permeabilidad y compresibilidad similares a los del terraplén en la presa. Para fundar la presa sobre este

tipo de material solo basta remover la capa superficial menos densa y todo tipo de material compresible y orgánico.

También podrían presentarse fundaciones de material limoso o arcilloso poco densos (OL, OH, MH, CH). Para estos se hace necesaria la intervención de especialistas en el campo para que realicen ensayos, y con los resultados obtenidos de laboratorio y de campo, realizar un diseño seguro de la obra.

Los suelos con alto contenido orgánico, como la turba (Pt), no son adecuados para la cimentación de presas a causa de su elevada compresibilidad y baja resistencia al corte. Estos suelos deben ser removidos completamente de la cimentación o, de lo contrario, el sitio de presa debe ser descartado. (BRAJA M. DAS)

En cuanto a la permeabilidad de la cimentación, siguiendo los mismos parámetros de los materiales para la presa, se consideran adecuados materiales con una permeabilidad igual o inferior a  $10^{-3}$  cm/seg, no obstante, con estos valores no amerita tratamiento alguno de la cimentación. Si existen valores inferiores a  $10^{-3}$  cm/seg se debe recurrir a ciertos métodos de mejoramiento de la cimentación como inyecciones de cemento o sustancias químicas, tablestacas, pilotes secantes, etc., pero este tipo de soluciones encarecerían mucho la obra hasta el punto de poder convertirla en no factible económicamente. En la práctica las soluciones más económicas que se usan son:

- La construcción de un dentellón relleno con materiales poco permeables y con una profundidad máxima inferior al 30-40% de la altura de la presa.
- La prolongación hacia aguas arriba del material impermeable o semipermeable de la presa, en forma de una carpeta sobre la fundación, la cual aumenta el recorrido de las filtraciones y disminuye el gradiente de las mismas.

### **Estudios a realizar para construir las presas**

- 1.- Estudio Hidrogeológico.
- 2.- Estudio topográfico.
- 3.- Estudio geológico.
- 4.- Estudios geotécnicos.

5.- Estudios económicos.

6.- Estudios de Impacto ambiental

### **Protección del talud aguas arriba**

Generalmente, este tipo de talud no necesita ninguna protección, solo en los casos en que el período de llenado del embalse es relativamente largo y cuando el talud esté conformado por materiales muy erosionables, como arenas finas, limos o arenas limosas, o cuando la obra se encuentre en una zona muy lluviosa, se recomienda colocar una capa de material grueso (3" max.) con un espesor entre 15 y 20 cm. Este dará una protección adecuada contra la erosión y evitará la desecación y agrietamiento superficial de aquellos terraplenes construidos con suelos cohesivos. (Ordoñez Galvez , 2011)

### **Protección del talud aguas abajo**

El talud aguas abajo de la presa puede ser protegido de los efectos erosivos de la lluvia, la desecación y el agrietamiento superficial mediante la colocación de una capa de grava. También este talud puede ser protegido mediante la siembra de hierba. (Ordoñez Galvez , 2011)

### **Cresta de la presa**

El ancho de la corona depende principalmente de los materiales que se utilicen, de la altura del terraplén, de la posible necesidad de utilizarla como una vía de circulación y por supuesto, de su factibilidad para construirla y de la maquinaria disponible. Se sugiere en forma empírica que el ancho de la corona, para presas de tierra, sea como mínimo:

$$w = \frac{z}{5} + 10$$

*w = ancho de la corona en pies.*

*z = altura maxima de la presa en pies media desde el fondo.*

Generalmente y por aspectos de facilidad constructiva se manejan anchos de cresta mayores a 4m, con una pendiente hacia el talud aguas arriba del 2% para favorecer el drenaje de la cresta.

Igual que en los taludes, la cresta también se puede recubrir con una capa de grava para evitar la erosión, la desecación y el agrietamiento del terraplén o del núcleo de la presa, cuando él esté constituido por materiales cohesivos. (Ordoñez Galvez , 2011)

### **Sistema unificado de clasificación de suelo**

La forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1948 para su uso en los trabajos de construcción del aeródromo realizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En colaboración con el U.S. Bureau of Reclamation, este sistema fue revisado en 1952. En la actualidad, es ampliamente utilizado por los ingenieros (Norma ASTM D-2487). El Sistema Unificado de Clasificación se presenta en la figura 16 y clasifica los suelos en dos grandes categorías:

1. Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava o grava, y S para la arena o suelo arenoso.
2. Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez)

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- W: bien clasificado
- P: mal clasificado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

Figura 13 Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)

Divisiones principales		Símbolo del grupo	Nombre clásico	Método de identificación en campo excluyendo partículas mayores de 75 mm	Clasificación de laboratorio	
1	2	3	4	5	6	
Suelos de grano grueso Más de la mitad del material es mayor que el t. n°200	GRAVAS Más de la mitad de los gruesos es > 5mm  Para clasificación visual el tamiz n°4 equivale a 5 mm	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino	Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos	Determinar los % de grava y arena después de la curva granulométrica y después el % de finos (fracción menor que el tamiz n°200)	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
		GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino	Predomina un tamaño o una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios		
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Finos no plásticos o con baja plasticidad (para procedimiento de identificación ver grupo ML)		
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Finos plásticos (para procedimiento de identificación ver grupo CL)		
		SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino	Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos		
		SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino	Predomina un tamaño o una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios		
	ARENAS Más de la mitad de los gruesos es < 5 mm	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Finos no plásticos o con baja plasticidad (para procedimiento de identificación ver grupo ML)	Usar la curva granulométrica para identificar las fracciones	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
		SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Finos plásticos (para procedimiento de identificación ver grupo CL)		
		Método de identificación en la fracción menor de tamiz n°40 (0.4 mm)				
		Resistencia a la rotura	Dilatación	Plasticidad		
Suelos de grano fino Más de la mitad del material es menor que el t. n°200	Limos y arcillas. Límite líquido mayor que 50	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad	Ninguna a ligera	Rápida a lenta	Ninguna
		CL	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas	Media a alta	Ninguna a muy lenta	Media
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad	Ligera a media	Lenta	Ligera
		MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad	Ligera a media	Lenta a ninguna	Ligera a media
		CH	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad	Alta a muy alta	Ninguna	Alta
		OH	Arcillas y limos orgánicos de media a alta compresibilidad	Media a alta	Ninguna a muy lenta	Ligera a media
Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificable por el color, olor, tacto esponjoso y a menudo textura fibrosa		

INDICE DE PLASTICIDAD

LÍMITE LÍQUIDO

CARTA DE PLASTICIDAD

Usar la curva granulométrica para identificar las fracciones

Determinar los % de grava y arena después de la curva granulométrica y después el % de finos (fracción menor que el tamiz n°200)

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez (Fundamentos de la Mecánica de Suelos TI)

### 1.10.3 Conceptos Básicos

#### 1.10.3.1. Tipos de Presas

##### Presas De Tierra

Las presas de tierra constituyen el tipo de presas más común, principalmente por su construcción ya que intervienen materiales en su estado natural que requieren el mínimo de tratamiento. Además, los requisitos para sus cimentaciones son menos exigentes que para los otros tipos.

Este tipo de presas presentan ciertas ventajas con respecto a las de concreto, ya que los materiales utilizados en su construcción se pueden conseguir de la zona y también pueden mezclarse con otros materiales para mejorar sus propiedades.

Este tipo de presas se pueden construir sobre suelos con poca capacidad de carga ya que las cargas que se transmiten a la cimentación se distribuyen sobre un área mayor que en otros tipos de presas. (Flores Berrones Raul, Hristaov Vassilev Vangeel y Li Liu Xiangyue)

*Figura 14 Imagen de una presa de tierra*

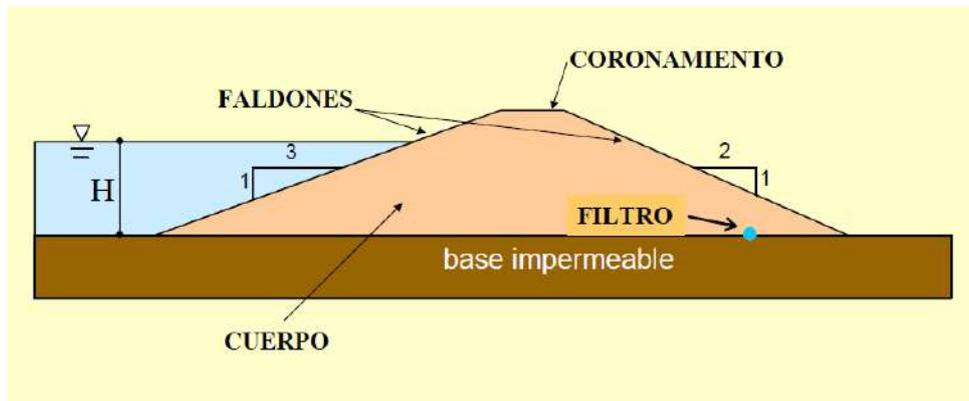


Fuente: Flores Berrones Raul, Hristaov Vassilev Vangeel y Li Liu Xiangyue

##### Partes de una presa de tierra

Las partes principales de una presa de tierra son las siguientes, conforme se indican en el gráfico.

Figura 15 Partes de una presa de tierra



Fuente: Flores Berrones Raul, Hristaov Vassilev Vangeel y Li Liu Xiangyue

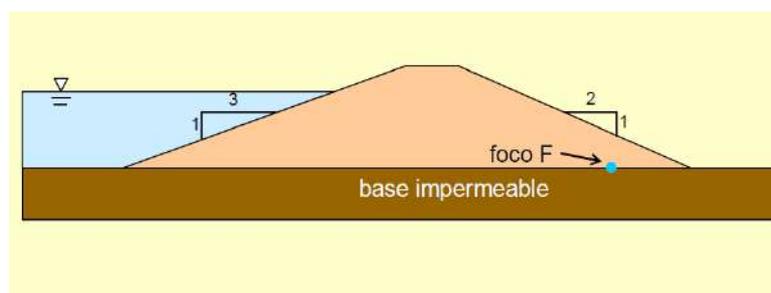
## Tipos de presas de tierra

### Presas homogéneas

Su estructura está formada en su totalidad o en gran medida de un solo material, compactado y de baja permeabilidad.

Tiene por lo menos una protección contra el oleaje en el talud aguas arriba.

Figura 16 Presas de tierra homogénea



Fuente: Flores Berrones Raul, Hristaov Vassilev Vangeel y Li Liu Xiangyue

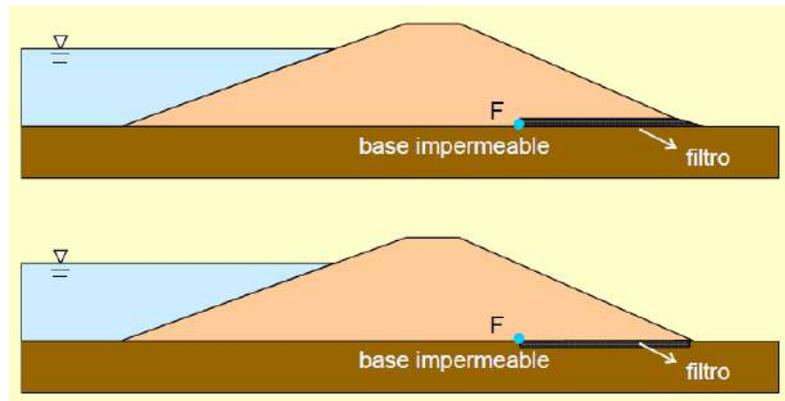
### Presa homogénea con filtros

Tiene en la base del terraplén un filtro formado con arena bien graduada, el espesor y la longitud de este son susceptibles de diseño mediante estudios del flujo en la masa de tierra. Cuando los materiales que se usan en la cortina son sensibles al agrietamiento y se cimienta sobre suelos compresibles se ha incluido en él un dren

vertical o chimenea que se conecta a un filtro horizontal o bien un sistema de drenes alojados en la cimentación.

Una condición de trabajo importante en las presas homogéneas es el vaciado rápido la acción tiene lugar en el talud aguas arriba.

*Figura 17 Presa de tierra homogénea con filtros horizontales*



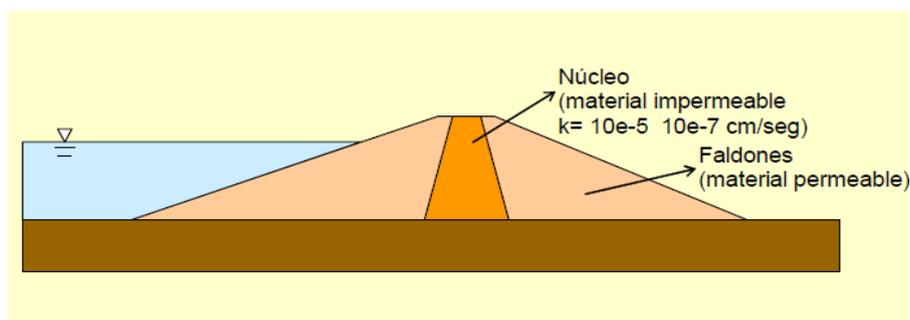
Fuente: Flores Berrones Raul, Hristaov Vassilev Vangeel y Li Liu Xiangyue

### **Presas heterogéneas (Zonificadas)**

Están formadas por un núcleo central de material relativamente impermeable constituido por algún suelo arcilloso confinado entre dos espaldones de materiales granulares permeables como grava y arena.

Los suelos del núcleo impermeable presentan menor resistencia al corte y son los que evitan las filtraciones al dique, los de los espaldones son permeables y resistentes a la fricción por los que se pueden utilizar taludes más inclinados.

*Figura 18 Presa de tierra con núcleo central*



Fuente: Flores Berrones Raul, Hristaov Vassilev Vangeel y Li Liu Xiangyue

Los materiales a utilizar en la presa deben cumplir con cierto grado de permeabilidad, evitando grandes pérdidas de agua que pongan en riesgo la factibilidad del proyecto. Las filtraciones se originan en la parte inferior del talud aguas abajo cuando toda la presa está en un estado saturado, por lo que se debe tratar de que estas filtraciones sean mínimas y no haya erosión o arrastre del material de la presa. Con el fin de evitar que las filtraciones se den y florezcan por la parte baja del talud, se construyen drenes internos formados por materiales permeables (gravas y arenas), que interceptan el flujo dentro del espaldón.

Para que los drenes sean efectivos deben tener una permeabilidad al menos de 10 a 100 veces superior al del material predominante en el terraplén. (Flores Berrones Raul, Hristaov Vassilev Vangeel y Li Liu Xiangyue)

#### **1.10.3.2. Estanqueidad**

Es una propiedad que se caracteriza por la capacidad de evitar pérdidas de volumen de agua en un represamiento. Está condicionada por el uso del embalse, por la impermeabilidad. Donde los criterios generales para el análisis de estanqueidad se basan en factores: hidrogeológicos, litológicos y estructurales. (Flores Berrones Raul, Hristaov Vassilev Vangeel y Li Liu Xiangyue)

## CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA

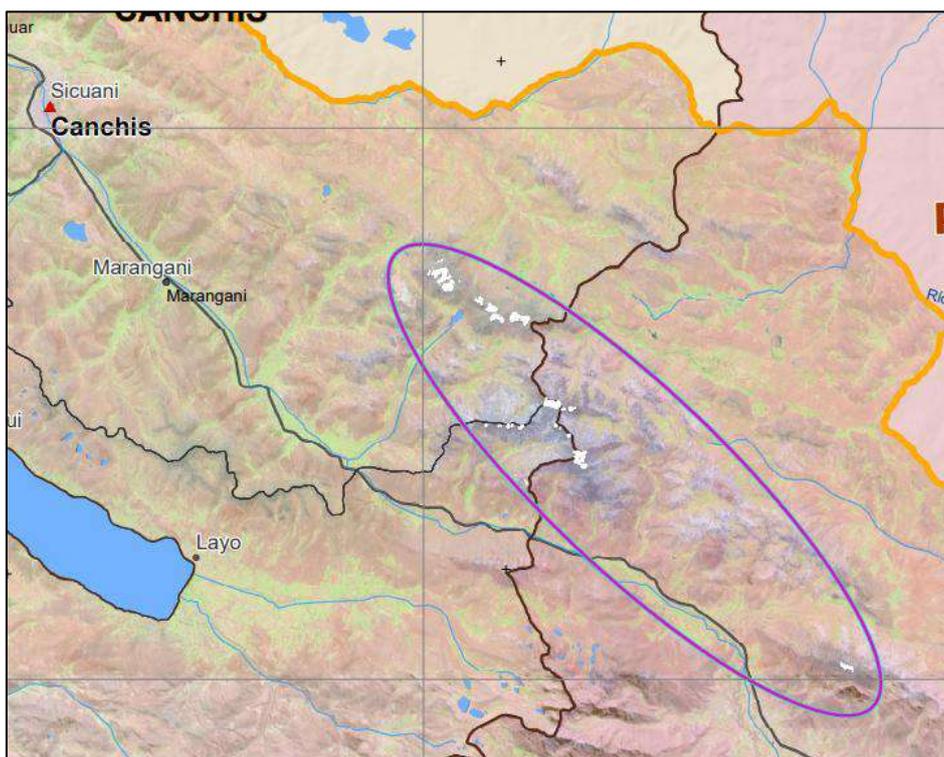
### 2.1. Generalidades

El sector de Quellhuacocha, se encuentra en una depresión natural de origen glaciar, del Pleistoceno, que forma parte de la Cordillera de la Raya (limite Cusco - Puno), Altiplanicie de la Cordillera Occidental del sur del Perú, se ubica entre los 4400 a 5200 msnm.

### 2.2. Geomorfología Regional

Regionalmente el área de estudio, se encuentra emplazado en la unidad geomorfológica regional denominada Cordillera Occidental del Sur de los Andes Peruanos, con formada por una cadena de picos nevados que constituye la Cordillera de La Raya, que tiene un área de 5,998 km<sup>2</sup> y una longitud aproximada de 117 km. Que se encuentra entre los límites de Cusco y Puno.

*Figura 19 Ubicación regional de la zona de estudio*



Fuente: INGEMMET

Uno de los picos más altos de la Cordillera de la Raya es el cerro Chimboya (5489 metros). Otras montañas se enumeran a continuación

**Tabla 4** Cumbres más relevantes que constituye la Cordillera de La Raya

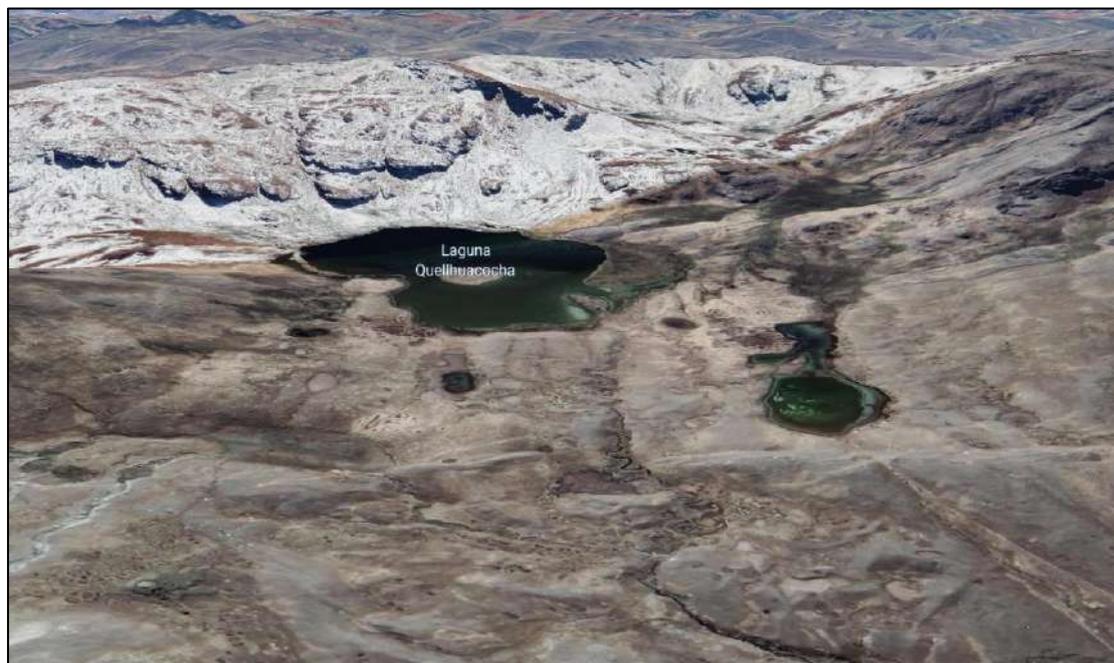
Montaña	Elevación
Yana Khuchilla	5472
Chinchina	5463
Muskaya	5414
Kuntur Quta	5425
Qillqa	5360
Awkar Utaña	5310
Huch'uy K'uchu	5346

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3. Geomorfología Local

Geomorfológicamente la laguna de Quellhuacocha se encuentra en una depresión natural de un antiguo circo glaciar, confinado por cumbres altas hacia el extremo Norte constituida por roca volcánico sedimentaria y areniscas, y hacia el frente conformada por geformas en lomadas bajas de origen morrénico.

*Figura 20 Vista aérea de la ubicación de la laguna Quellhuacocha.*



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

Para una descripción de la geomorfología local, hemos seguido las directivas metodológicas indicadas por el MINAN, empezando para ello por la identificación de

los cambios de pendiente del territorio en estudio, plasmados en un mapa denominado de pendientes.

#### 2.4. Clasificación de Pendientes

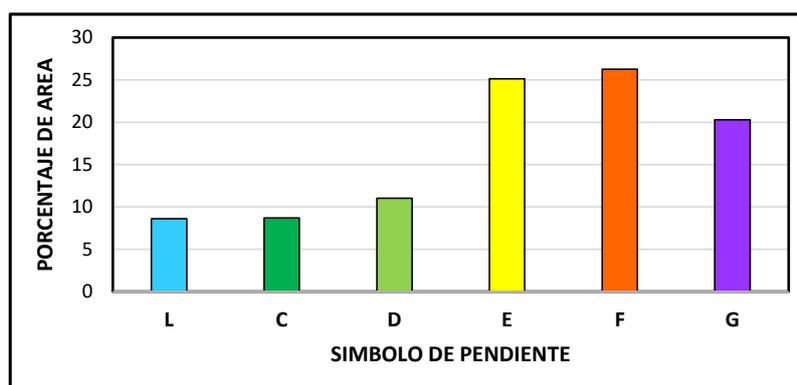
Esta actividad, busca identificar los diferentes grados de inclinación del relieve, más aun teniendo en cuenta que en esta zona, se planea la ubicación de una estructura de represamiento. Estos rangos de pendiente, es tomada de estudios ambientales y de riesgos geológicos realizados por el INGEMMET, de cuyo análisis se tiene la descripción siguiente:

**Tabla 5** *Clasificación y distribución areal de la pendiente*

Símbolo	Gradiente de	Descripción	Área	Área	Porcentaje
	Pendiente (°)		(ha)	(Km2)	de Área
L	LAGUNA	LAGUNA	18.64	0.186	8.61
C	5° - 15°	Moderada	18.80	0.188	8.68
D	15° - 25°	Fuerte	23.87	0.239	11.02
E	25° - 45°	Muy Fuerte	54.42	0.544	25.13
F	45° - 75°	Abrupta	56.88	0.569	26.27
G	75° - 90°	Acantilado	43.93	0.439	20.29
<b>Total</b>			216.54	2.165	100.00

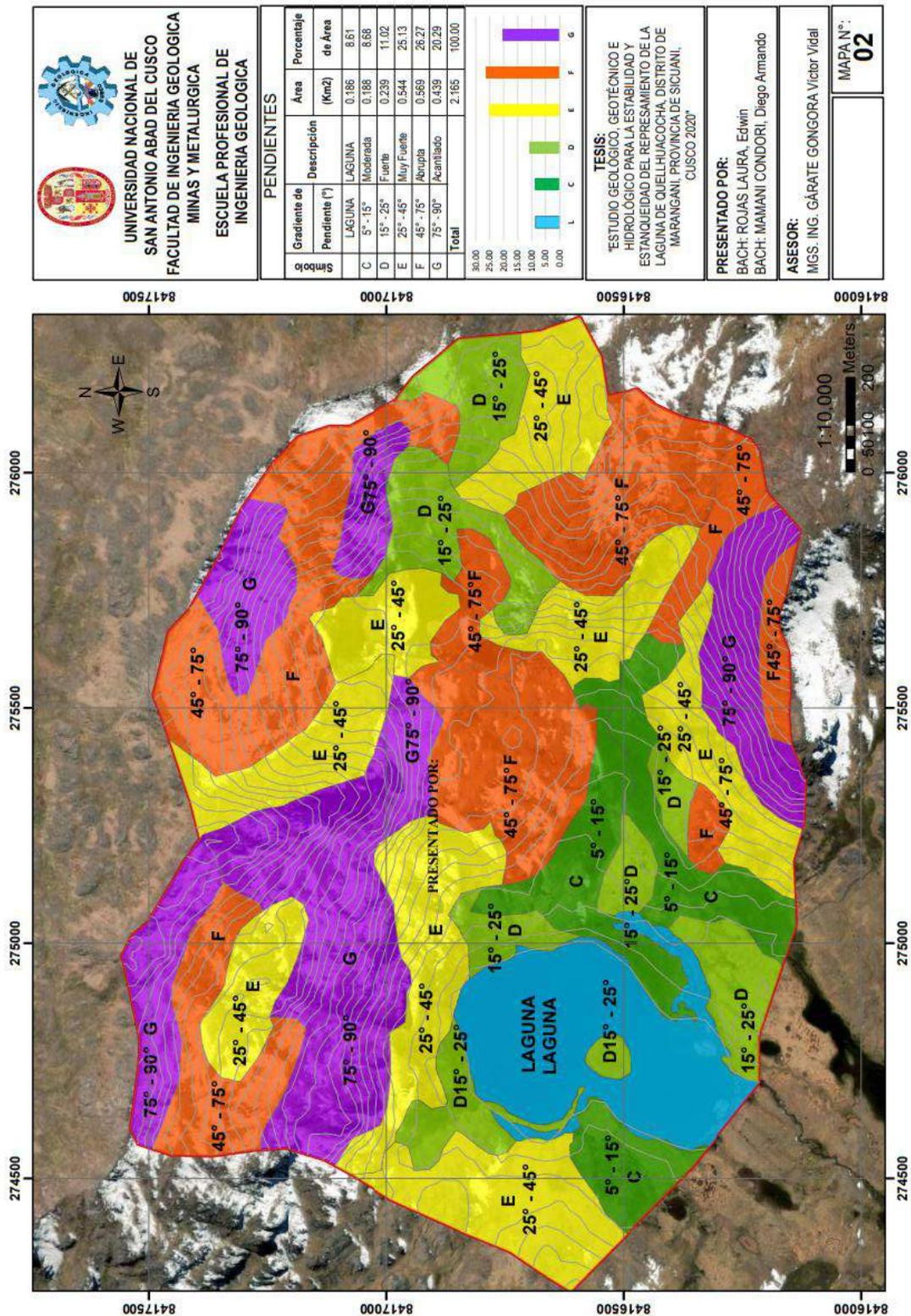
Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 1** *Distribución estadística de la pendiente*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21 Mapa de clasificación de pendientes



Fuente: Elaboración propia.

2.5. Descripción del Relieve por su Pendiente

### Vertientes de Ladera de Moderada pendiente (5° - 15°)

El relieve de esta geoforma, está conformada por terrenos de moderada pendiente y con un área de 18.80 ha, conformando laderas de pie de monte de suave pendiente que rodea el extremo Sur de su cuenca hacia el punto de salida del drenaje principal, en el que existe una combinación de lomadas onduladas de poca altura y lagunetas pequeñas.

**Tabla 6** Distribución areal pendiente Moderada

Símbolo	Gradiente de	Descripción	Área	Área	Porcentaje
	Pendiente (°)		(ha)	(Km2)	de Área
C	5° - 15°	Moderada	18.80	0.188	8.68

Fuente: Elaboración propia.

*Figura 22 Vista hacia el Norte, de la configuración del relieve con pendientes entre 5° a 15°.*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 23 Vista hacia al Sur, hacia la salida de la cuenca, con relieve ondulado pendientes entre 5° a 15*



Fuente: Propia de los tesistas

### **Vertiente de Laderas de Fuerte pendiente (15° - 25°)**

Son superficies que conforman las laderas de pie de monte, que se encuentran mayormente concentrados hacia los lados Este y Oeste de la Laguna de Quellhuacocha, constituye zonas de transición entre relieve de pie de monte y las vertientes de ladera más elevada, su formación se da como consecuencia de la actividad erosiva de los agentes relacionados a la meteorización e intemperismo, conformando laderas de suave pendiente de relleno morrénico.

**Tabla 7** *Distribución areal pendiente Fuerte*

Símbolo	Gradiente de Pendiente (°)	Descripción	Área (ha)	Área (Km2)	Porcentaje de Área
D	15° - 25°	Fuerte	23.87	0.239	11.02
<b>Total cuenca</b>			216.54	2.165	100.00

Fuente: Elaborado por los tesistas.

*Figura 24 Vista hacia al Sur y Oeste de la laguna, con relieve ondulado pendientes fuertes 15° a 25°*



Fuente: Propia de los tesistas

### **Vertiente de laderas de Muy Fuerte pendiente (25° - 45°)**

Son superficies que conforman las laderas que se encuentran mayormente concentrados por encima del pie de monte, presentan un cambio brusco de pendiente, esculpida sobre el macizo rocoso de la formación Ananea e incluso sobre material cuaternario. Ocupa un área de 54.42 ha.

**Tabla 8 Distribución areal pendiente Muy Fuerte**

Símbolo	Gradiente de	Descripción	Área	Área	Porcentaje
	Pendiente (°)		(ha)	(Km2)	de Área
E	25° - 45°	Muy Fuerte	54.42	0.544	25.13
<b>Total área de la Cuenca</b>			216.54	2.165	100.00

Fuente: Elaborado por los tesistas.

*Figura 25 Vista hacia al Este, de la laguna, con relieve de muy fuerte pendiente 25° a 45°*



Fuente: Propia de los tesistas

### ***Vertiente de ladera de Abrupta pendiente (45° - 75°)***

Son superficies que conforman las laderas que se encuentran mayormente concentrados hacia la parte Norte y Oeste de la cuenca, esculpida sobre material rocoso de la formación Muni y Pisac. Areálmente ocupa 56.88 ha, que viene a ser la pendiente predominante de la cuenca Quellhuacochoa.

**Tabla 9 Distribución areal pendiente Abrupta**

Símbolo	Gradiente de	Descripción	Área	Área	Porcentaje de Área
	Pendiente (°)		(ha)	(Km2)	
F	45° - 75°	Abrupta	56.88	0.569	26.27
<b>Total</b>			216.54	2.165	100.00

Fuente: Elaborado por los tesistas.

*Figura 26 Vista hacia al Noreste de la laguna, con relieve de pendiente abrupta 45° a 75°*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 27 Vista hacia al Oeste de la laguna, con relieve de pendiente abrupta 45° a 75°*



Fuente: Propia de los tesistas

### ***Laderas de pendiente Acantilado (75° a 90°)***

Son geofomas esculpidas en macizo rocoso de la formación Pisac, que conforman las laderas que se encuentran casi verticales (90°), Ocupa un área de 43.93 ha.

**Tabla 10: Distribución areal pendiente Abrupta**

Símbolo	Gradiente de	Descripción	Área	Área	Porcentaje
	Pendiente (°)		(ha)	(Km2)	de Área
G	75° - 90°	Acantilado	43.93	0.439	20.29
<b>Total</b>			216.54	2.165	100.00

Fuente: Elaborado por los tesistas.

*Figura 28 Vista hacia al Norte, de la laguna, con relieve en Acantilado 75° a 90°*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 29 Vista hacia al Norte, de la laguna, con relieve en Acantilado 75° a 90°*



Fuente: Propia de los tesistas

## **2.6. Morfogénesis evolutiva del vaso de represamiento**

Por su ubicación y cercanía a los picos nevados de la cordillera de la Raya, y los depósitos de material cuaternario que se extiende hacia al piso de valle y frente de la laguna Quellhuacocha, se puede decir que, ésta tuvo una evolución siguiente.

Simultáneamente al levantamiento de esta cadena de montañas, de la cordillera de la Raya, de alta altitud 5489 msnm. Se genera un proceso denudacional por acción de retroceso glaciar del hielo, formando una geoforma de circo glaciar a manera de cuenca circular o semi circular producida por la acción del hielo de un glaciar en su zona de acumulación o de alimentación. La masa de hielo comprimido al empezar a moverse por deslizamiento genera una acción de abrasión combinada, una en

concauidad rocosa circular o de circo glaciar y otra en forma de silla o anfiteatro, con flancos abruptos o casi verticales rodeados de cimas allanadas.

*Figura 30 Morfogénesis evolutiva de la laguna Quellhuacocha en un relieve de circo glaciar*



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

### **Condiciones Geomorfológicas para el represamiento de la laguna de Quellhuacocha**

Las condiciones geomorfológicas del vaso de almacenamiento y el área de escurrimiento superficial son favorables para garantizar el represamiento de la laguna de Quellhuacocha, debido a que se encuentra en un antiguo circo glaciar, con cumbres de pendiente de tipo acantilado, abrupta y muy fuerte de  $75^\circ$  a  $90^\circ$ , a los extremos norte este y oeste respectivamente y morrenas de pendiente moderada  $5^\circ$  a  $15^\circ$  hacia el sur, conformando laderas de pie de monte de suave pendiente que rodea el extremo Sur de la cuenca hacia el punto de salida del drenaje principal, en el que existe una combinación de lomadas onduladas de poca altura y lagunetas pequeñas.

## CAPITULO III: GEOLOGÍA

### 3.1. Geología Regional

Regionalmente el área de estudio está conformada por rocas que van desde el paleozoico inferior, de origen metamórfico, seguido de material volcánico sedimentario y una capa de sedimentación continental de areniscas con lutitas, todas ellas cubiertas por depósitos morrénicos y biogénicos de potencia variable.

### 3.2. Geología Local

#### 3.2.1. Geología histórica y evolución tectónica de la zona de estudio.

Dentro de la zona del área de estudio, y alrededores, se distinguen rocas con orígenes metamórficos, volcánicos sedimentarios, y sedimentarios, con distinta edad de formación todos en contactos discordantes, que va desde el Paleozoico representado por la formación Ananea e inicios de la depositación del grupo Mitu, pasando por el Mesozoico con finalización del vulcanismo sedimentario del grupo Mitu y dando paso a una sedimentación de areniscas cuarzo feldespáticas representadas por la formación Muni. finalmente llegan al Cenozoico donde se hallan los grandes depósitos morrénicos y acumulaciones biogénicas.

#### **Paleozoico**

**Silúrico/Devónico:** Luego de la salida del mar al término del ordovícico, se produce una nueva regresión del mar pero abarcando menor superficie que en el ordovícico, la gran cuenca silúrica recibe aportes de sedimentos de la cordillera de la costa y sedimentos finos del escudo Brasileiro, ya que este último, no presentaba altas pendientes, llamándolo Caffro Malvino (de aguas frías), continua siendo profunda la parte noroeste de la cuenca hacia el sector del Titicaca, sedimentando así, la Formación Ananea que contiene **pizarras y esquistos de cuarzo y muscovita**.

**Pérmico:** La cuenca marina del pérmico, ocupa los territorios de Perú, Bolivia, Ecuador y Brasil y en este periodo las secuencias depositacionales son carbonáticas (Grupo Copacabana, caliza micrítica espírica con niveles de dolomías), también se observa una quietud tectónica, logrando así una peneplanización a lo largo de este período. También se produce de forma paulatina un levantamiento y dejando sobre las rocas carbonatadas sedimentos de origen continental (Grupo Mitú, lavas brechas porfíricas y yeso en algunos niveles), para luego plegarse por la fase compresiva de

la tectónica tardiherciniana. Luego de fase distensiva de la tectónica Finiherciniana se produjo eventos volcánicos que son representados por el Grupo Iscay y parte del Grupo Mitu, la litología son flujos de lava de tonos pálidos tobas con intercalaciones con areniscas arcósicas en matriz de limolita.

### Mesozoico

**Triásico:** Continúa la erosión de las partes continentales, con secuencias de sedimentación y vulcanismo. Aquí se ubica parte del Grupo Mitu con areniscas arcósicas, grawackas intercaladas con limolitas verdes y niveles andesíticos. Existen también intrusivos ubicados en esta edad compuestos por monzogranitos y cuarzo monzonitas.

**Cretáceo:** La sedimentación de la gran cuenca Jurásico - Cretáceo, era similar a la del Jurásico superior, en el cual, la gran cuenca, inicia su relleno de sedimentos de forma paulatina, debido a, movimientos de subsidencia, quedando la parte de la cuenca en un ambiente semicontinental, teniendo aportes arenáceos de las zonas positivas o emergidas de la cordillera oriental. El cretáceo inferior es representado por las formación Muni, y otras, compuestas mayoritariamente por areniscas cuarzosas, areniscas feldespáticas, calizas, lodolitas y yesos.

### Cenozoico

**Cuaternario:** Continúa el levantamiento progresivo de los andes, acompañado por actividad volcánica andesítica, se siguen profundizando los valles y depositándose sedimentos glaciares (Pleistoceno), fluvioglaciares y aluviales. Sigue también la actividad volcánica con abundantes explosiones para que así en el Holoceno quede la fisiografía actual de la cuenca alta del Vilcanota y por ende de la zona de estudio.

**Tabla 10** Columna estratigráfica local de cuenca Quellhuacocha

Eono Eón	Era	Sistema	Serie	Piso	Unidad Litoestratigráfica	Símbolo
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno		Depósito Biogénico	Qh-bi
			Pleistoceno		Depósito Murrénico	Qp-mo

	Mesozoico	Cretácico	Inferior		Formación Muni		JsKi-mu	
		Jurásico	Superior					
	Paleozoico	Superior	Pérmico	Superior	Woltcampiano	Grupo Mitu	Form. Pisac	Ps-mi/pi
			Devónico	Inferior		Formación Ananea		SD-an
		Inferio	Silúrico	Superior medio				
	Medio							

Fuente: Elaborado por los tesistas.

### 3.2.2. Descripción de unidades geológicas área de estudio.

De acuerdo al mapa geológico elaborado de la cuenca de Quellhuacocha se ha podido conocer la distribución areal de cada unidad geológica en la cuenca correspondiente tal como se aprecia en el cuadro siguiente:

**Tabla 11** Distribución areal de las unidades geológicas en la cuenca de Quellhuacocha

SIMBOLO	FORMACION GEOLOGICA	AREA (KM2)	AREA (%)
Laguna	Laguna	0.186	8.61
Qp-bio	Depósitos Biogénicos	0.307	14.18
Qp-mo	Depósitos Morrénicos	0.255	11.79
JsKi-mu	Formación Muni	0.439	20.28
PsTi-mi/pi	Grupo Mitu - Formación Pisac	0.920	42.47
SD-a	Formación Ananea	0.058	2.67
		2.165	100.00

Fuente: Elaborado por los tesistas.

#### Paleozoico

##### Siluro – Devoniano.

##### Formación Ananea (SD-an)

Descrita por LAUBACHER (1978) en la Cordillera Oriental. La litología de esta formación corresponde a una homogénea y monótona sucesión de esquistos pizarrosos negros en paquetes de 20 hasta 80 cm, sin estratificación visible, con

intercalaciones de cuarcitas y rocas sedimentarias de areniscas cuarzosas, adhieren a la litología a esquistos de cuarzo-muscovita-clorita gris oscuros azulados laminares y foliados. Afloran al lado Oeste de la laguna, y ocupan el 2.67 % de la cuenca de aporte hídrico.

*Figura 31 Afloramientos de la formación Ananea. lado oeste de la cuenca Quellhuacocha*



Fuente: Propia de los tesistas

## **Pérmico**

### **Grupo Mitu (PsTi-mi)**

El Grupo Mitu, Aflora ampliamente en la cuenca del Quellhuacocha, Ocupa del 42.41 % del área de la cuenca, en la zona aflora la formación Pisac.

### **Formación Pisac (Ti-pi)**

El termino Mitu fue aplicado originalmente por MC LAUGHLIN (1924) y posteriormente NEWELL et. al, (1953) y PALACIOS et. Al, (1993) menciona que las litologías más típicas del Grupo Mitu son brechas o aglomerados de areniscas arcósicas a sub

arcósicas de grano fino a medio, así como grawackas. Estas rocas ocurren en capas de 30 cm de grosor con una laminación fina, estando intercalada con limolitas abigarradas rojas a verdes mostrando una fisilidad muy pobre. Las arenitas pueden presentar estructuras de sobrecarga dentro de unidades de fangolitas subyacentes.

SANCHEZ, A & ZAPATA, A (2001a), incrementan la información sobre la litología de esta unidad, describiendo areniscas arcósicas, grawackas en estratos delgado y medianos intercaladas con limolitas rojizas y verdes y niveles lávicos de composición andesítica.

*Figura 32 Afloramiento de rocoso de la formación Pisac volcánico sedimentario extremo Norte*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 33 detalle de afloramiento de rocoso form. Pisac, volcánico sedimentario extremo Norte*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 34 Vista panorámica de afloramiento de rocoso de la formación Pisac, volcánico sedimentario extremo Norte*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 35 Formación Pisac en todo el borde Norte alto de la cuenca Quellhuacocha.*



Fuente: Propia de los tesistas

## **Mesozoico**

### **Jurásico**

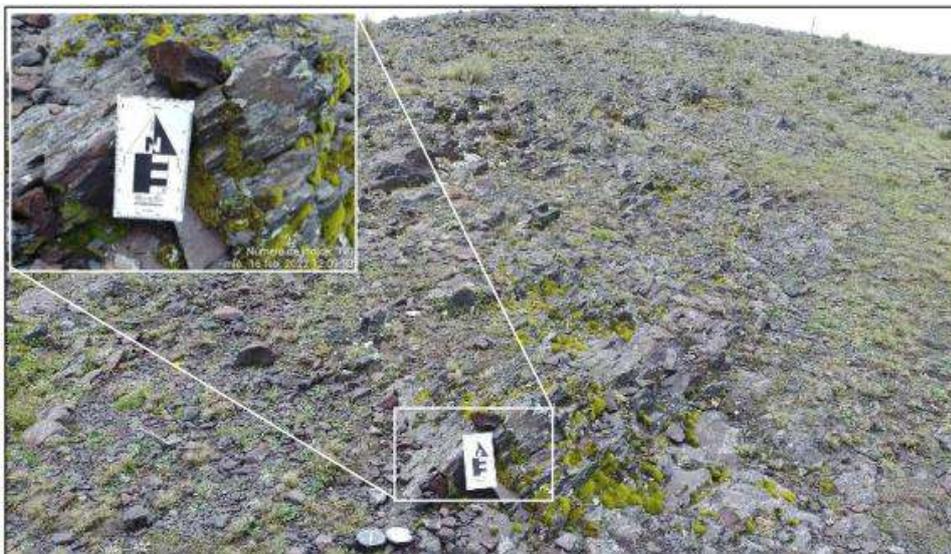
#### **Formación Muni (JsKi-mu, JsKi-mu1, JsKi-mu2)**

Fue mencionada por primera vez por NEWELL (1945). Su litología consta de capas de color lila (cerca de 10 cm. de grosor) están generalmente endurecidas y con cimentación calcárea; caliza colorante, intemperizada cristalizada con clastos angulosos de limolita marrón rojizo; lutita abigarrada, principalmente colorante y gris; caliza gris, cristaliza de grano fino masiva, parcialmente descalcificada intemperizada en algunas partes; lutita abigarrada de color gris; caliza gris cristalina de grano fino descalcificada e intemperizada en algunas partes; lutita; caliza gris masiva, porcelánica en partes ligeramente nodulares con una matriz argilacea de color amarillo ocre; lutitas y calizas finamente intercaladas, las calizas son de grano fino de color gris porcelánica; calizas color de ante, argilacea en parte de grano fino descalcificada con bivalvos; limolita marrón rojiza bien estratificada por exposiciones pobre; caliza gris de grano fino areniscosa; limolita marrón rojiza maciza con areniscas de grano fino a grueso, cuarzosas gris bien estratificadas en capas de 30 a 50 cm. Con laminación de onduladas en areniscas marrón rojizo de grano fino a medio, areniscas de grano grueso de 15 m. de grosor, algunos nódulos de yeso se tienen en capas fangolíticas masivas de color marrón rojizo; areniscas colorantes y color gris claro con 50% de intercalaciones de lutitas y limolitas, las areniscas tienen hasta 8 m. de grosor con estratificación cruzada. En el cuadrángulo de Moho, PALACIOS et. al, (1993) menciona que hay mayor proporción de areniscas y capas rojas dentro de la secuencia.

Parte de la Formación Muni que aflora solamente en el Cuadrángulo de Huancané (Cerro Pichacane) y se caracteriza por que está compuesta de yeso con niveles de lodolitas rojas (MONGE, R. & MONTOYA, C; 2001d) la cual forma colinas estructurales sedimentarias altamente degradables.

Al norte de la Ciudad de Vilquechico se describió una litología que consta de conglomerados polimícticos con clastos de caliza y cuarcita, areniscas arcósicas tobáceas, limolitas rojizas a brunaceas en capas delgadas con niveles de areniscas cuarzosas (MONGE, R. & MONTOYA, C; 2001d). Al igual que la facie mencionada en el párrafo anterior forma anchos cuerpos alargados hacia el noroeste

*Figura 36 detalle de afloramiento de rocoso de la formación Muni areniscas compactas extremo Norte*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 37 Afloramiento de rocoso de la formación Muni, areniscas con lutitas compactas extremo Norte*



Fuente: Propia de los tesistas

### **Depósitos Cuaternarios**

Las unidades litoestratigráficas antes descritas están cubiertas por depósitos recientes de origen glaciar, eluvial y aluvial, que presentan espesores superficiales a profundos.

#### ***Depósito Morrenico (Qp-mo)***

Esta unidad litoestratigráfica aflora en forma disgregada en el sector, estos depósitos no presentan estratificación o muy pobremente clasificados los cuales consisten

principalmente de bloques dispersos que derivaron después de una actividad glacial, tiene una matriz de arena guijarrosa o grava arenosa.

En estos depósitos existen variaciones en la composición litológica de los clastos, dependiendo de su lugar de origen; así las morrenas que bordean la Cordillera Oriental tienen clastos de cuarcitas, pizarras, cuarzo de veta y algunos granitos, y las morrenas que bordean la precordillera del Carabaya contienen clastos de areniscas, calizas, chert y a veces ignimbritas. Estos depósitos morrénicos muestran varias etapas de glaciación (FORNARI et. al, 1981), etapas que se extenderían del Plioceno superior al Pleistoceno.

GUILLEN (2010) describe que estas geoformas son depósitos porosos que retienen el agua y alimentan manantiales.

*Figura 38 Vista de los depósitos morrénicos alrededor de la laguna de Quellhuacocha*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 39 Constitución litológica de los depósitos morrénicos alrededor de la laguna de Quellhuacocha*



Fuente: Propia de los tesistas

### ***Depósito Biogénico (Qh-bi)***

Los depósitos palustres denominados comúnmente como suelos hidromórficos de composición pelítica y mayormente orgánica de color gris, se distribuyen ampliamente

en la parte baja de la cuenca, alrededor de la orilla de la laguna y en zonas de ladera en especial aquellas que están alimentadas por la presencia de manantes permanentes.

*Figura 40 Capa de horizonte biogénico en la parte baja de la cuenca, en zona de desfogue*



Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 41 Capa de horizonte biogénico alrededor de la laguna Quellhuacocha*



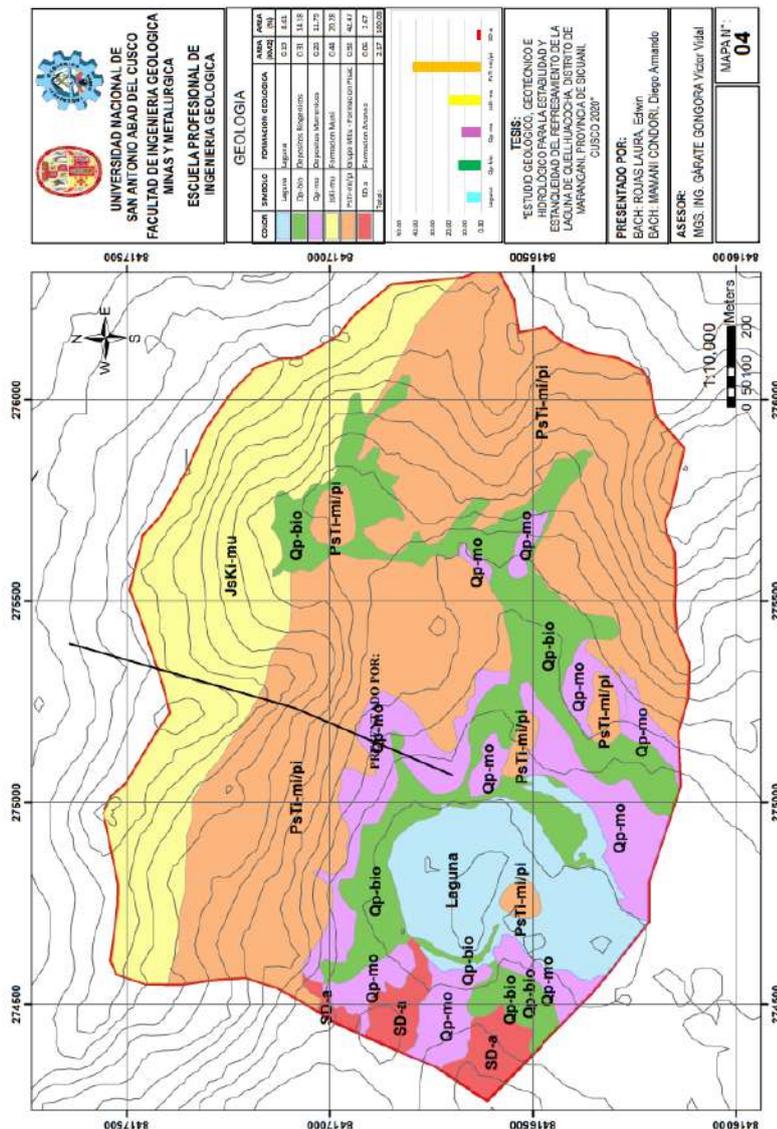
Fuente: Propia de los tesistas

*Figura 42 Depósitos biogénicos en zonas de ladera*



Fuente: Propia de los tesistas

Figura 43 Mapa Geológico



Fuente: Propia de los tesisistas

### Condiciones Geológicas para el represamiento de la laguna de Quellhuacocha

Las unidades geológicas y litológicas en el vaso de almacenamiento y zona de emplazamiento del dique de represamiento garantiza que el volumen de almacenamiento sea constante y no haya perdida por infiltraciones, porque encontramos material volcánico sedimentario (brechas de areniscas arcósicas a sub arcósicas de grano fino a medio, así como grawackas), pertenecientes a la formación Pisac en el embalse de la laguna, y en la parte de la zona de emplazamiento del dique tenemos material morrenico y biogénico.

## CAPITULO IV: GEOLOGIA ESTRUCTURAL

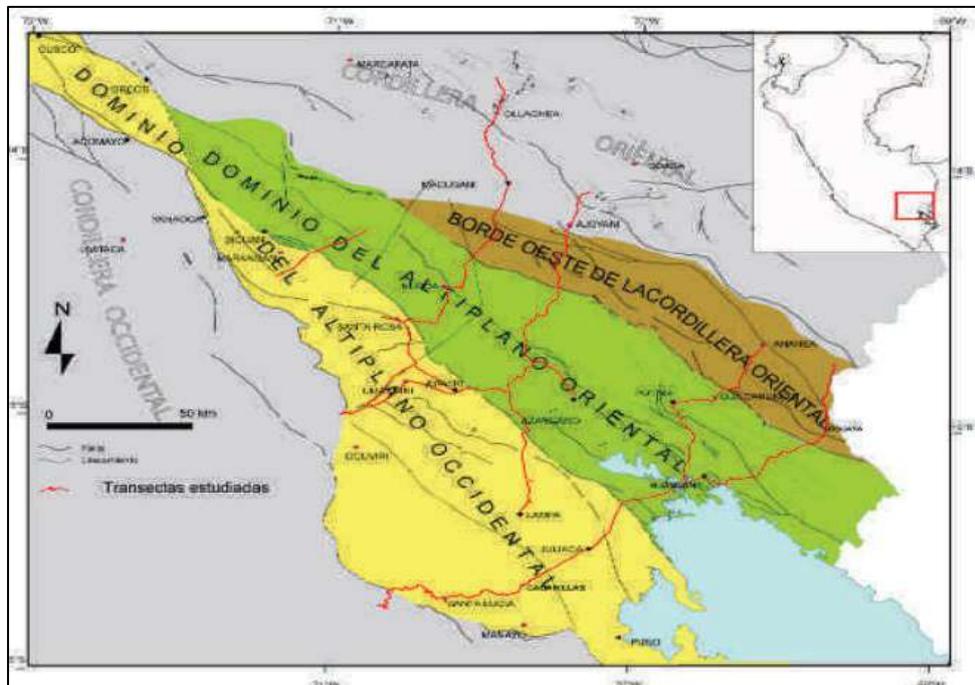
### 4.1. Generalidades

A nivel regional, en el boletín 29t Sicuani, indica la presencia de rasgos estructurales relacionadas a la tectónica andina. En primer lugar, se ha desarrollado un proceso compresivo originando el levantamiento de los andes, seguido de un proceso de fallamiento profundo de alto ángulo casi vertical; para finalmente hacia el Terciario superior nuevamente una fase de fallamiento tensional originando un proceso de vulcanismo fisural.

### 4.2. Geología Estructural Regional

A nivel regional, la zona de estudio se encuentre encajonada por la presencia de fallas regionales de dirección NO-SE, que controlan la evolución de los Andes, y que a su vez caracterizaron la presencia de dominios tectónicos con diferentes estilos estructurales. La zona de estudio, se encuentra casi entre los dominios de Altiplano Occidental y del Altiplano Oriental, con mayor influencia de este último.

*Figura 44 Dominios tectónicos en el Altiplano y borde oeste de la Cordillera Oriental*

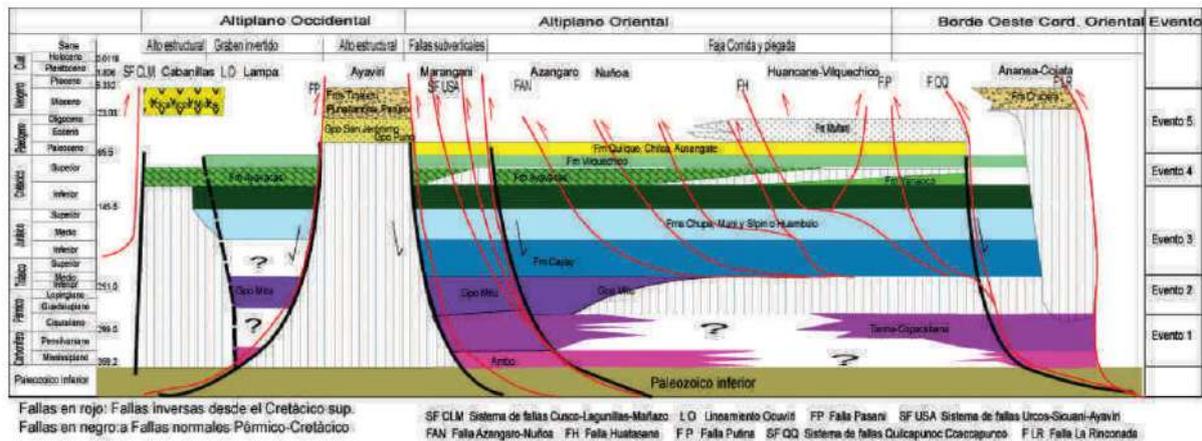


Fuente: INGEMET

La evolución estratigráfica del Altiplano y el borde oeste de la Cordillera Oriental, a nivel regional, fue definida por primera vez por Newell (1949) y redefinida por

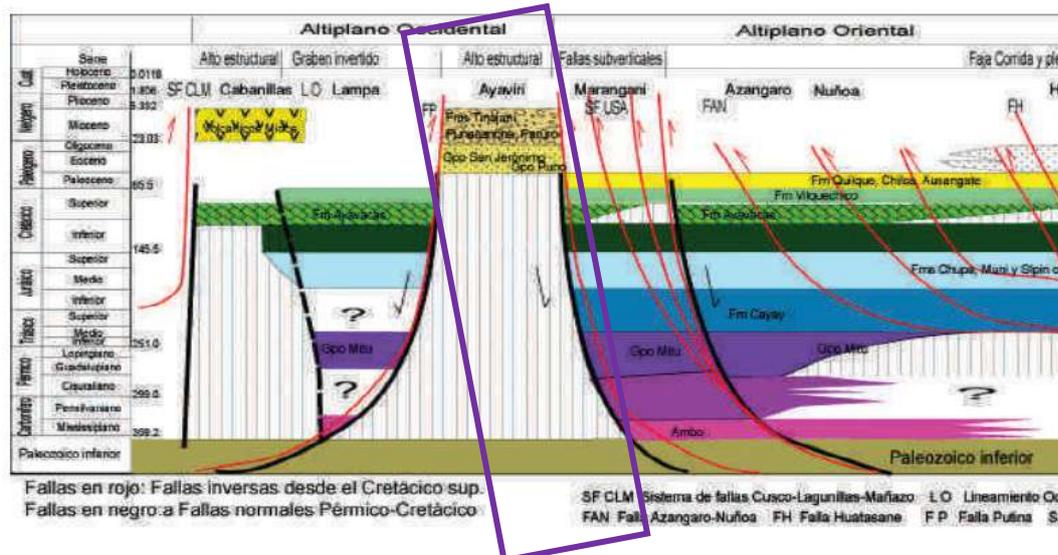
Sempere et al. (2000) y Acosta (2001) en la parte sur y por Carlotto (1998) en la parte norte. (XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos 2010). Para estos autores, la evolución estratigráfica regional de esta zona, es tratada desde el Carbonífero y separada en 5 eventos, de los cuales para nuestra zona le corresponde desde el evento 2, correspondiente desde el Permo-Triásico-Jurásico. Compuesto por secuencias volcano-sedimentarias del Grupo Mitu, seguidas de una serie discontinua de conglomerados, areniscas y calizas de las formaciones Chupa, Muni, Sipin y Huambutio.

Figura 45 Evolución estratigráfica de la región Sicuani - Marangani -Ayaviri.



Fuente: Rildo Rodríguez, Harmuth Acosta, Eber Cueva, Víctor Carlotto. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos.(2010)

Figura 46 Evolución estratigráfica de la región Sicuani - Marangani -Ayaviri



Fuente: Rildo Rodríguez, Harmuth Acosta, Eber Cueva, Víctor Carlotto. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos.(2010)

#### **4.2.1. Dominios Tectónicos y Estilos Estructurales**

Las características estratigráficas y el comportamiento de las fallas regionales, han llevado a determinar tres dominios tectónicos, cada uno con diferentes estilos estructurales (Fig. 45).

##### **Dominio del Altiplano Occidental**

El Dominio del Altiplano Occidental está limitado al oeste y sureste por el sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo, la falla Puca Puca y el sistema de fallas Langui-Layo-Acomayo, estas fallas tienen dirección NO-SE con cambios de direcciones a E-O y buzan al SO. Al noreste está limitado por el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri, que es el principal sistema de fallas del Altiplano, ya que lo divide en Altiplano Occidental y Altiplano Oriental. Este sistema de fallas, corresponde a fallas profundas que dividen dos tipos de mantos determinados geoquímicamente como: manto Iherzolítico hacia el oeste y manto hartzburgítico hacia el este (Carlier et al., 2005).

En el Dominio del Altiplano Occidental se encuentran estructuras romboédricas (Fig.3). En las estructuras de Lampa y Sicuani, sobre el Paleozoico inferior, se encuentran secuencias del Carbonífero al Terciario. Mientras que en las de Ayaviri, Cabanillas y probablemente la de Cusco, sobre el Paleozoico inferior, se encuentran directamente las secuencias del Cretácico medio al Terciario. Los lugares donde se encuentran preservados los grupos Ambo y/o Tarma-Copacabana, sugieren que durante el Pérmico-Cretácico han existido grábenes o zonas subsidentes. En cambio, en lugares donde el Cretácico medio-Terciario se encuentra directamente sobre el Paleozoico inferior sugiere que encontraban horts o altos estructurales. En consecuencia, durante el Pérmico al Cretácico el Altiplano Occidental estuvo conformado por grábenes y horts controlados por fallas normales. Luego, desde el Cretácico superior, estas fallas se invierten y sobre los horts se originan cuencas continentales terciarias. Por ejemplo, en la estructura romboédrica de Ayaviri (limitado al noreste por el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri y al sureste por la falla Pasani, las secuencias de las formaciones Ayaviri (Grupo Puno) y Tinajani se encuentran sobre rocas del Paleozoico inferior (Flores y Rodríguez 1999).

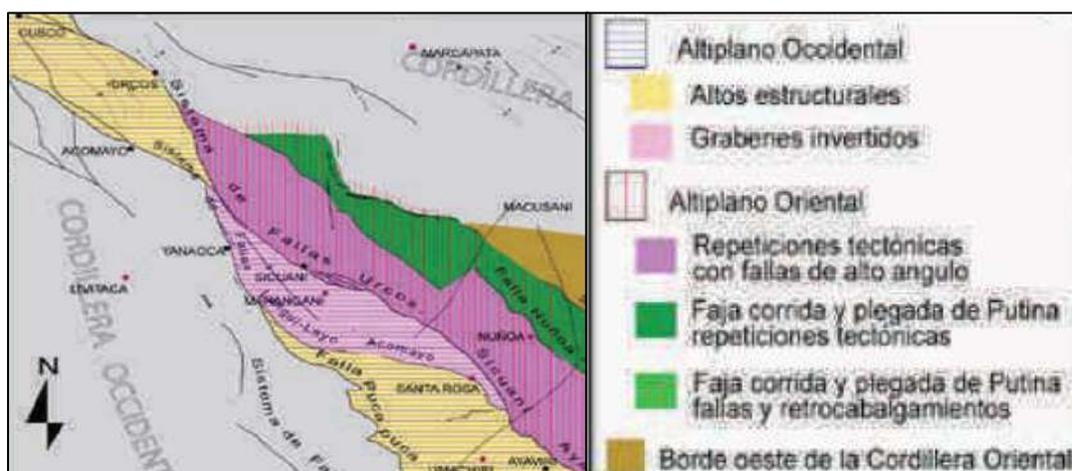
##### **Dominio del Altiplano Oriental**

El Dominio del Altiplano Oriental está limitado al oeste y suroeste por el sistema de fallas Urcos-SicuaniAyaviri, y al este y noreste por el sistema de fallas Quilcapunco-Ccaccapunco de dirección NO-SE y buzamiento al NE. El Altiplano Oriental tiene forma triangular con su lado más estrecho al noroeste. Las fallas principales del Altiplano Oriental, han originado 2 estilos estructurales:

**Repeticiones tectónicas con fallas de alto ángulo** y Faja corrida y plegada de Putina. Repeticiones tectónicas con fallas de alto ángulo, se encuentran entre el sistema de fallas Urcos-Sicuani- Ayaviri y la falla Nuñoa-Azángaro. Está conformado por repeticiones tectónicas y anticlinales que afectan a rocas del Paleozoico inferior hasta el Cretácico, que fueron originadas por fallas inversas de alto ángulo convergentes al SE, las cuales tienen su nivel de despegue en las secuencias pizarrosas del Paleozoico inferior. En la parte norte, al este de Marangani, el Grupo Mitu se encuentra sobre el Grupo Copacabana, pero también puede estar directamente sobre unidades más antiguas e incluso sobre el Paleozoico inferior; esto sugiere que a la época del Permo-Triásico esta zona estuvo formada por fallas normales que daban lugar a un basculamiento de bloques en un régimen distensivo y que luego en el Terciario se convirtieron en fallas inversas en régimen compresivo.

#### 4.3. Geología Estructural Local

*Figura 47 Dominios tectónicos y distribución de estilos estructurales en el Altiplano y en Borde Oeste de la Cordillera Oriental del sur del Perú*



Fuente: Cuadrángulo de Cusco

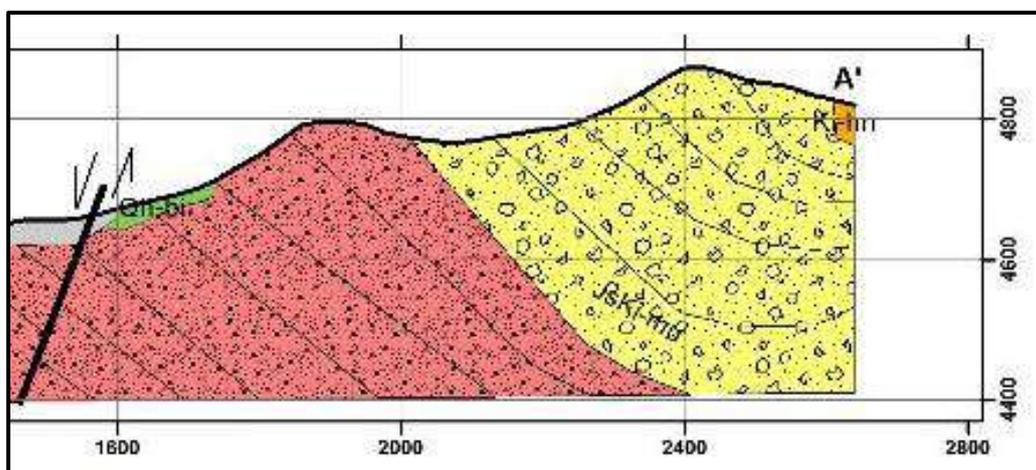
A nivel local, la zona de estudio evidencia la presencia de fuerte actividad tectónica, con la presencia de deformaciones tectónicas en forma de Gravens, pliegues

(anticlinal y sinclinal) y la presencia de fallas inversas y normales, los cuales son evidenciadas por la presencia de secuencias estratificadas inclinadas, espejo de fallas y fracturas.

#### 4.3.1. Pliegues

Al Norte del límite de la cuenca, existe un eje de pliegue de dirección E-W, en anticlinal, del Sicuani, seguido de una deflexión corta en sinclinal, la cual influye en la dirección del buzamiento de las capas de la formación Ananea, Mitu y Muni, esta deformación es la responsable del buzamiento casi general de 40° a 25° al NE de las formaciones del ámbito de estudio.

*Figura 48 pliegue de propagación de fallas en sinclinal y anticlinal*



Fuente: cuadrángulo de cusco

#### 4.3.2. Fallas

**Falla regional:** Al sur de la cuenca se evidencia la presencia del sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri, que es el principal sistema de fallas del Altiplano, ya que lo divide en Altiplano Occidental y Altiplano Oriental, es una falla de tipo inverso, de dirección NO-SE, Este sistema de fallas, corresponde a fallas profundas, esta falla coloca a unidades del Paleozoico inferior (Formación Ananea), sobre las secuencias del permo-triásico-jurásico (Grupo Mitu. Muni).

**Fallas locales:** estas son de carácter local de pequeña extensión, que se evidencia mejor en los afloramientos de la formación Pisac y Muni al Norte y Noroeste de la cuenca,

**FL1.**

Se encuentra al extremo NO de la cuenca, sobre la unidad geológica de la formación Pisac; esta falla, de es de tipo Normal dextral, de alto ángulo con dirección N-290° y buzamiento 60°NE, que corta la formación Pisac volcánico sedimentario.

*Figura 49 Falla local (FL1). Espejo de Falla Normal (Este:274635, Norte: 8417292*



*Fuente: Propia de los tesistas*

*Figura 50 Vista panorámica de la proyección de la falla (FL1). (Este: 274635, Norte: 8417292)*



*Fuente: Propia de los tesistas*

### **FL2.**

Se encuentra al norte de la cuenca, sobre la unidad geológica de la formación Pisac; esta falla, de es de tipo Normal, de alto ángulo de dirección N-355° y buzamiento 54°E, que atraviesa la formación Pisac en dirección de prolongación cerca a la laguna de Quellhuacocha.

Figura 51 Vista panorámica de la proyección de la falla (FL2). (Este: 275253, Norte: 8417151)



Fuente: Propia de los tesistas

Figura 52 Falla local (FL2). Espejo de Falla Normal (Este: 275253, Norte: 8417151)

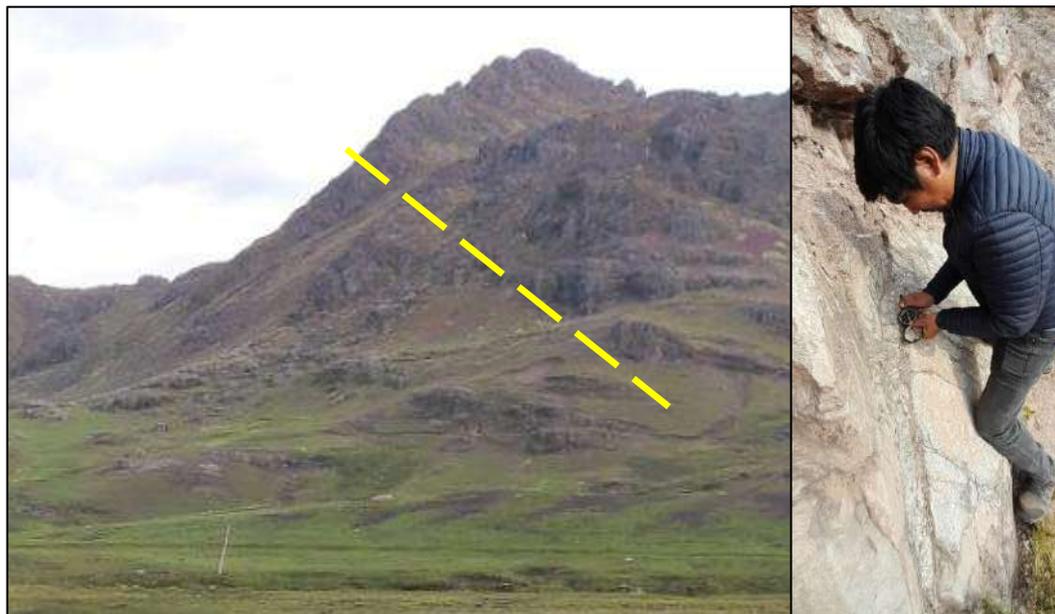


Fuente: Propia de los tesistas

### **FL3.**

Se encuentra al noreste de la cuenca, sobre la unidad geológica de la formación Pisac; esta falla, de es de tipo Normal, de alto ángulo, de dirección N 320° y buzamiento 61°NE, que atraviesa la formación Pisac.

*Figura 53 Vista panorámica de la proyección de la falla (FL3). Espejo de Falla Normal (Este:255879, Norte: 8416463)*

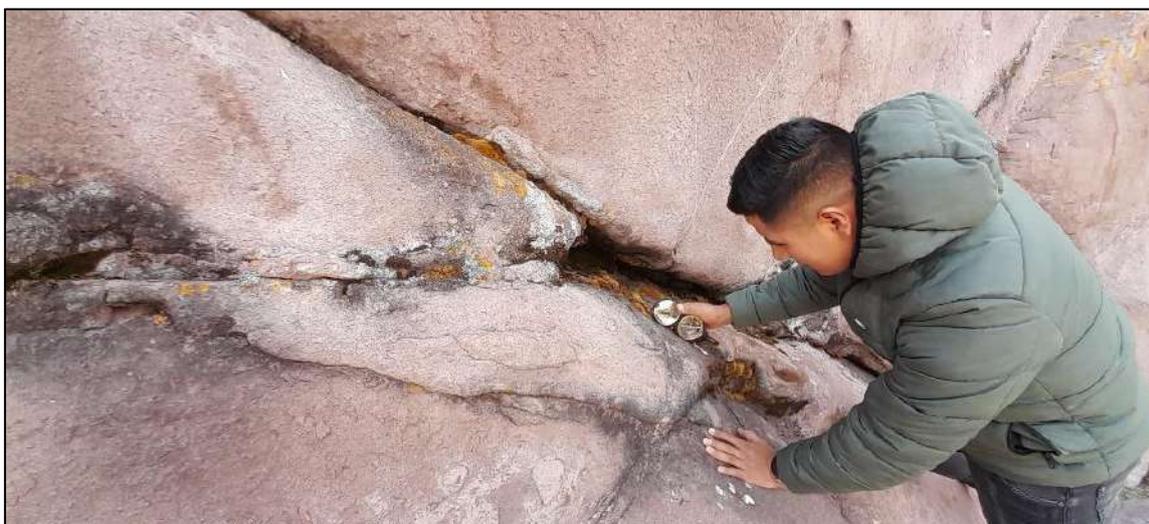


*Fuente: Propia de los tesistas*

#### **FL4 MUNI.**

Se encuentra al Norte, en el extremo del divortium de la cuenca, sobre la unidad geológica de la formación Muni areniscas compactas; es de tipo Normal, de alto ángulo, de dirección N-60° y buzamiento 43° SE, que atraviesa la formación Muni.

*Figura 54 Falla local (FL4). Espejo de Falla Normal (Este: 275804, Norte:8417158)*



*Fuente: Propia de los tesistas*

**Tabla 12: Resumen de Rumbo y buzamiento de fallas a nivel local**

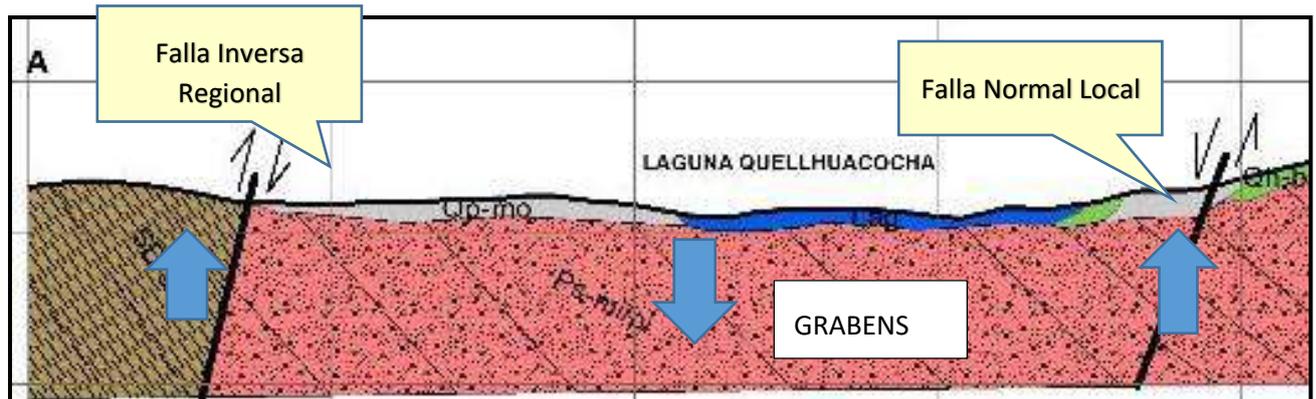
COD	ESTE	NORTE	ALTITUD	AZIMUT	BUZAMIENTO	TIPO DE FALLA
FL1	274635	8417292	4765	20°	65° SE	Normal
FL2	275253	8417151	4839	30°	40° SE	Normal
FL3	255879	8416463	4773	60°	68° NW	Normal
FL4	275804	8417158	4786	43°	68° SE	Normal

Fuente: Elaborado por los tesistas.

### Grabens de Quellhuacocha.

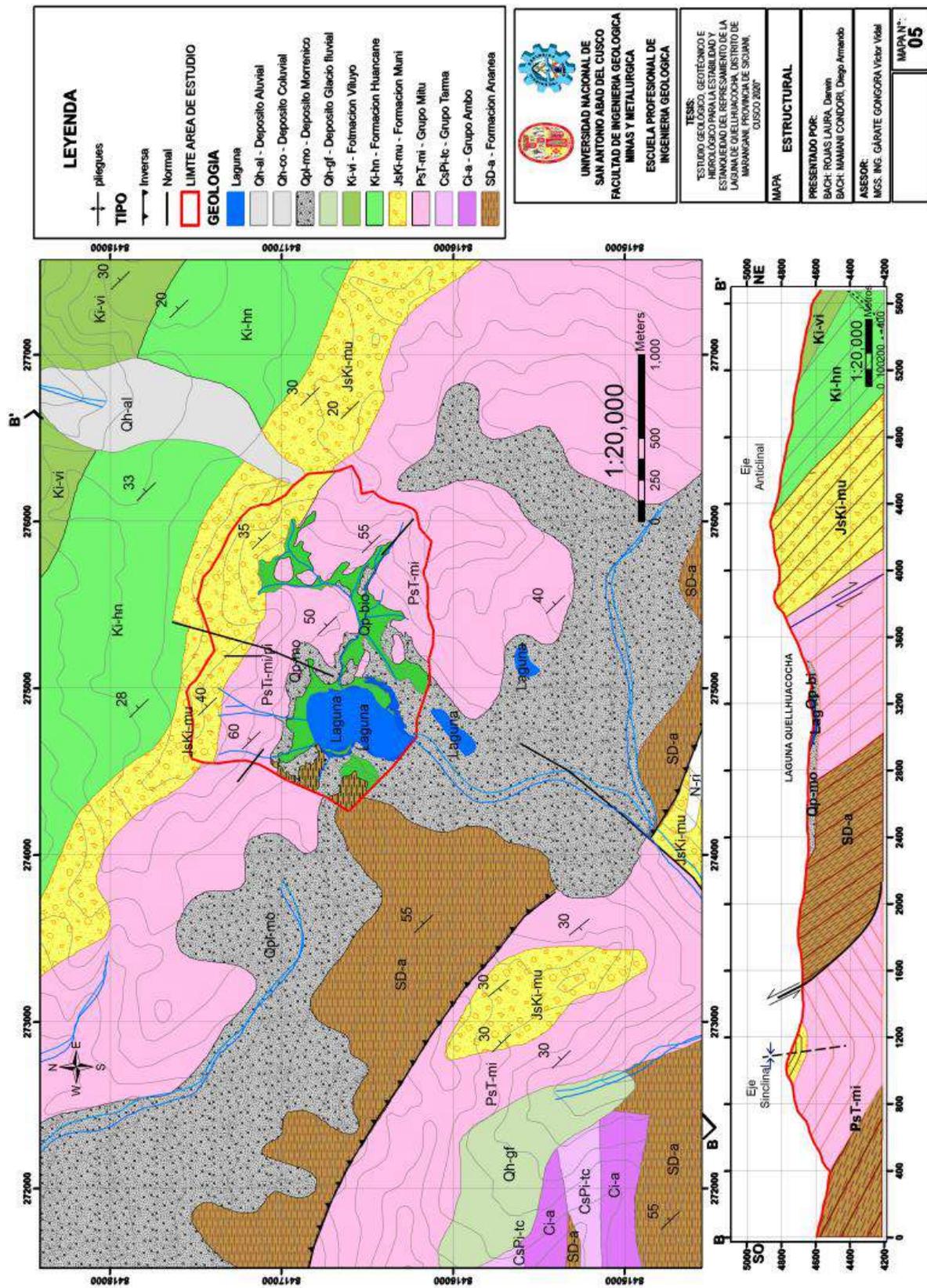
La cuenca del Quellhuacocha, está afectada por este tipo de estructura tectónica, controlada por la presencia de fallas, una de carácter regional (al sur de la cuenca) y otra por una falla local de tipo Normal, cerca al extremo norte de la cuenca; este proceso, juego de fallas ha provocado que las unidades del Cretácico medio-Terciario se encuentren directamente con el Paleozoico inferior. Durante el Pérmico al Cretácico, el Altiplano estuvo conformado por estructuras de grábenes y Horts, controlados por fallas normales. Luego, desde el Cretácico superior, estas fallas se invierten y sobre los horts se originan cuencas continentales terciarias. Por ejemplo, en la estructura romboédrica de Ayaviri (limitado al noreste por el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri y al sureste por la falla Pasani. Las secuencias de las formaciones Mitu o Muni, se encuentran sobre rocas del Paleozoico inferior Ananea.

Figura 55 Presencia De Fallas a nivel Local



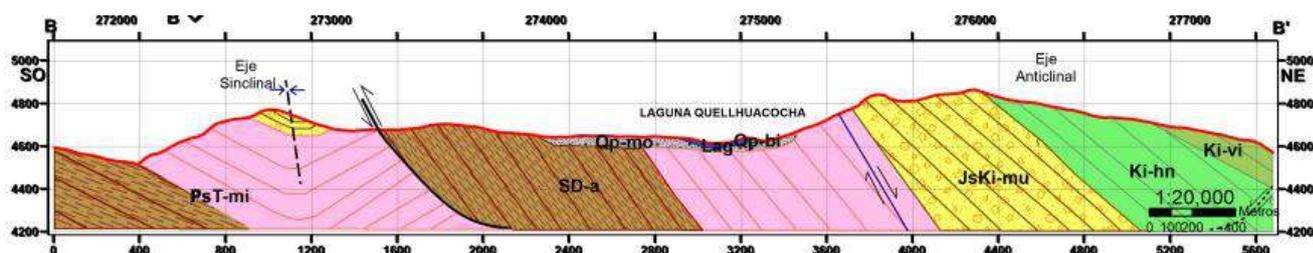
Fuente: INGEMMET

Figura 56 Mapa Estructural



Fuente: Propia De Los Tesis

Figura 57 Sección geológica



Fuente: Propia De Los Tesistas

### 4.3.3. Fracturas

Son estructuras que están asociadas a esfuerzos regionales relacionados con el levantamiento tectónico de los andes, y el posterior proceso de sedimentación de las unidades geológicas producto del juego regional de las fallas inversas en su primera etapa y normales al termino de sus procesos de sedimentación. Estos juegos de movimiento de fallas regionales han influido en las unidades geológicas del ámbito de estudio, tal es así que, en la formación Mitu (por estar más en contacto con el cuerpo de embalse), la cuenca puede percibir el régimen frágil en que se desarrollan estas estructuras. predominan los sistemas con dirección **NW, SE y NE**, verticales a inclinados de buzamiento y casi perpendicular al sistema de fallas locales.

Figura 58 Medición de diaclasas



Fuente: Propia De Los Tesistas

En el cuadro siguiente se presenta un resumen del inventario de dirección y buzamiento de estas fracturas predominantes.

**Tabla 13** Datos de buzamientos, dirección de buzamiento y abertura, tomados en campo

Unidad Geológica: Form. PISAC (Grp. Mitu)						
Estación	Sistema	COORDENADAS UTM		Altitud	RUMBO	BUZAMIENTO
		Este	Norte			
1	s1	275180	8416337	4700	162	65°NE
				4750	164	63°NE
				4680	150	60°NE
	S2			4700	270	55°SSW
				4750	141	53°SW
				4680	140	53°SW
				4680	120	55SW
				4890	137	54°SW
2	S1	274734	8417006	4750	79	83°NW
				4769	81	75°NW
				4698	67	80°NW
				4675	79	87°NW
				4771	88	85°NW
				4700	70	78°NW
	S2			4750	25	62°SE
				4769	41	64°SE
				4698	46	66°SE
				4675	44	65°SE
				4771	38	69°SE
				4700	44	60°SE
				3	s1	275178
4790	141	50°NE				
4762	133	54°NE				
s2	4623	67	58°NW			
	4790	122	60°NW			

Fuente: Elaborado Propio De Los Tesistas

Esta información ha sido procesada en el programa DIP 05, obteniendo los diagramas respectivos de proyección estereográfica para esta unidad geológica.

#### Apertura de las fracturas:

Es la separación entre cada fractura que pertenece a una familia en específico, para este caso estas medidas varían desde cerradas hasta 2 cm, en especial en la formación Pisac, perteneciente al grupo Mitu.



*Fuente Propia De Los Tesistas*

### **Condiciones de la geología estructural para el represamiento de la laguna de Quellhuacocha**

La zona de estudio evidencia la presencia de actividad tectónica, con la presencia de deformaciones tectónicas en forma de Gravens, pliegues (anticlinal y sinclinal) y la presencia a de fallas inversas y normales, los cuales son evidenciadas por la presencia de secuencias estratificadas inclinadas, espejo de fallas y fracturas. Donde la cuenca del Quellhuacocha, está afectada por estos tipos de estructuras tectónicas, controlada por la presencia de fallas, una de carácter regional (al sur de la cuenca) y otra por una falla local de tipo Normal, cerca al extremo norte de la cuenca; este proceso, juego de fallas ha provocado que las unidades del Cretácico medio-Terciario se encuentren directamente con el Paleozoico inferior.

## CAPITULO V: HIDROLOGIA

### 5.1. Aspectos Generales

Este acápite es de mucha importancia para el planteamiento de acciones de represamientos, pues a través de ello podremos averiguar las condiciones climáticas de la zona de estudio, la capacidad de volumen de agua que la cuenca de aporte puede generar en toda la época de lluvia, la altura de represamiento, las máximas avenidas de diseño, el tránsito de sedimentos que las cuencas de aporte pueden trasladar a las zonas de embalse, el balance hídrico entre oferta y demanda de la obra, etc. Para ello es importante conocer en orden de prioridad los siguientes estudios:

**Materiales:**

Para el desarrollo de este acápite, se ha contado con materiales, herramientas y equipos siguientes:

**Materiales:** Bibliografía amplia de hidrología superficial y estadística, imagen Satélite, cartas nacionales del IGN, etc.

**Equipos:** GPS, brújula, equipo de topografía, equipo de cómputo.

**Herramientas:** para aforos (balde de 4 l, retazo de tubo pvc, cronómetro, cinta métrica) **Programas:** varios programas en hoja de cálculo Excel, HidroEsta, HecHMS, Easifit, etc.

### 5.2. Parámetros Geomorfológicos

El funcionamiento de la cuenca Quellhuacocha, se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y la convierte en escurrimiento superficial o sub superficial; esta transformación depende de las condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca. Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje: las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta como el orden de corriente, la pendiente, la sección transversal, etc.

Por lo tanto, el objetivo de este acápite, será el de presentar los parámetros básicos más importantes de la cuenca:

### 5.2.1. Parámetros Relacionados al Relieve de la Cuenca

La forma de la cuenca, interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de las corrientes que llegan a la laguna Quellhuacocha, particularmente en los eventos de avenidas máximas. Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de sus parámetros y las características de la red de drenaje. La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial.

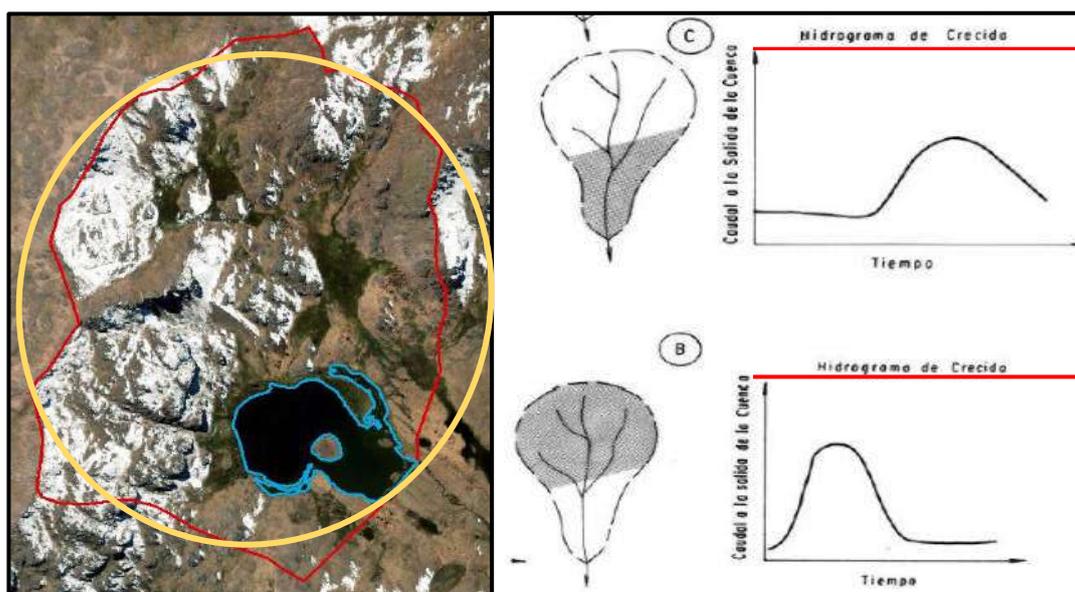
**Tabla 14** *Parámetros asociados al relieve de la cuenca*

Parámetro morfométrico	Símbolo	Valor	Unidad
Área de la Cuenca	Ac	2.17	Km <sup>2</sup>
Perímetro	Pc	5.87	Km
Longitud Axial	L.a	1.80	Km
Ancho Promedio	Ap	1.21	Km
Coeficiente de Compacidad	Kc	1.12	---

Fuente: Propia De Los Tesis

La cuenca expresa una relación de 1.5 entre la longitud y el ancho promedio, indicando una cuenca tipo casi circular, más aún que, de acuerdo al  $Kc = 1.12$ , indica una cuenca de clase III, Oval – Redonda (Campos 1992).

*Figura 60 Forma de la cuenca y su relación con las crecidas máximas*



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

La cuenca de Quellhuacocha, es casi proporcional a un círculo, poseyendo mayor susceptibilidad a generar crecidas, ya que el tiempo de recorrido del agua a través de la cuenca se hace mucho más corto que en cuencas alargadas, en otras palabras la cuenca del Quellhuacocha, ensanchada hacia la cabecera, tendrían menor tiempo de concentración y por ende mayor rapidez para la concentración de los flujos de aguas superficiales, generando mayor violencia en sus crecidas propagadas aguas abajo más aun que el canal de transporte aguas debajo de la misma laguna, es de tipo caño, y de alta pendiente.

### 5.2.2. Parámetros asociados al relieve

A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal, (Navarrete, 2004). Algunos parámetros destacan.

**Tabla 15** *Parámetros asociados al relieve*

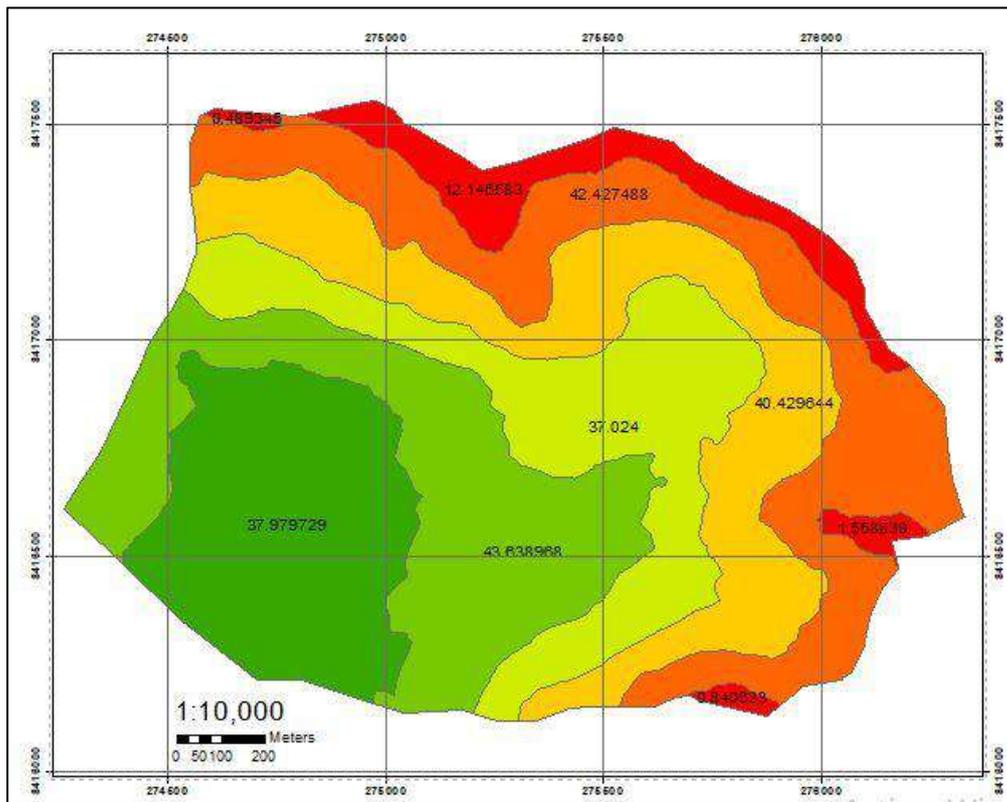
Parámetro morfométrico	Símbolo	Valor	Unidad
Altitud media de la cuenca	Hm	4695	msnm
Curva Hipsométrica (fig. 8)	Fase de desequilibrio (etapa juvenil)		
Pendiente media de la Cuenca	Pmc	6.37	%
Altitud máxima	Hmax.	4890	msnm
Altitud mínima	Hmin.	4600	msnm
Desnivel	H	190	msnm

Fuente: Propia De Los Tesisistas

Según el modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión (Senciales y Ferre, 1999) la cuenca de la laguna de Quellhuacocha, se encuentra en fase de desequilibrio, relacionado a su etapa juvenil de evolución.

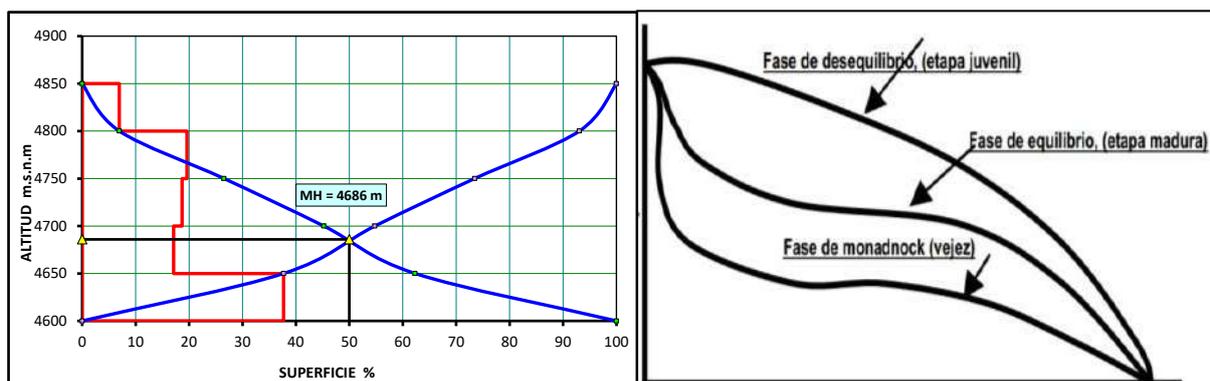
Así mismo tomando como base la elaboración del mapa orográfico (distribución areal de la altitud), tal como se observa en la imagen siguiente, se ha la curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes siguiente:

Figura 61 Mapa orográfico de distribución areal de la altitud



Fuente: Propia De Los Tesistas

Gráfico 2 Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes



Fuente: Propia De Los Tesistas

De acuerdo al polígono de frecuencia de altitudes, la superficie emplazada entre las altitudes de 4600 a 4650 msnm, ocupan el 37.69 % del área total de la cuenca, con probabilidades de ocurrencia alta, a precipitaciones intensas, granizadas frecuentes e incluso nevadas a esta altitud.

### 5.2.3. Parámetros relativos al drenaje

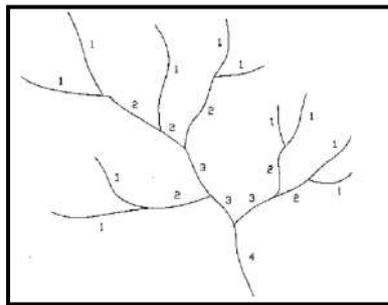
Sobre el mosaico de imagen satélite y visita de campo, a la cuenca de Quellhuacocha, nos muestra el patrón de drenaje siguiente:

**Tabla 16** *Parámetros asociados al drenaje*

Parámetro morfométrico	Símbolo	Valor	Unidad
Orden de los cauces (Horton)	Oc	3	grd
Relación de bifurcación	Rb	3.21	%
Longitud de cauce principal	Lcp	1.84	km
Pendiente del cauce principal	Pcp	18.82	%
Tiempo de concentración (Kirpch)	Tc	21.34	min.
Densidad de drenaje	Dd	3.09	Km/km <sup>2</sup>

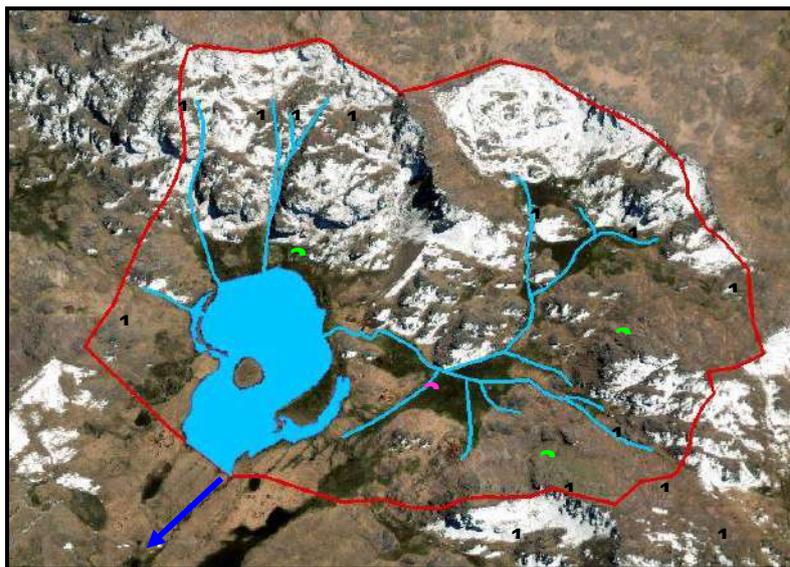
Fuente: Propia De Los Tesisistas

**Figura 26:** Fuente: Horton R.E., 1945



Fuente: Horton R.E., 1945

**Figura 62** Orden de drenaje cuenca Quellhuacocha dendrítico sub paralelo.



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

Para la pendiente del eje principal del drenaje, se ha utilizado el método de intervalos móviles de Dennies 1978, en que se extra cada fracción que es intersecado entre curvas de nivel, obteniendo el cuadro siguiente:

**Tabla 17 Sección de pendientes**

<b>Cota Inf</b>	<b>Cota Sup</b>	<b>DES. m</b>	<b>DI m</b>	<b>DH m</b>	<b>PENDIENTE %</b>	<b>GRADO (°)</b>
4600	4650	50	688.00	686.18	7.29	3.28
4650	4700	50	553.00	550.73	9.08	4.09
4700	4750	50	420.00	417.01	11.99	5.40
4750	4800	50	139.00	129.70	38.55	17.35
4800	4850	50	151.00	142.48	35.09	15.79
4850	4890	40	71.00	58.66	68.19	30.69

Fuente: Propia De Los Tesis

De este cuadro se concluye que el drenaje principal, tiene una pendiente promedio de  $S = 21\%$  Así mismo se ha elaborado el perfil de drenaje que sería también de la cuenca, tal como se aprecia en la gráfica siguiente:

**Tabla 18 Sección de pendientes**

<b>Cota Inf</b>	<b>Cota Sup</b>	<b>DES. m</b>	<b>DI m</b>	<b>DH m</b>	<b>PENDIENTE %</b>	<b>GRADO (°)</b>
4600	4650	50	688.00	686.18	7.29	3.28
4650	4700	50	553.00	550.73	9.08	4.09
4700	4750	50	420.00	417.01	11.99	5.40
4750	4800	50	139.00	129.70	38.55	17.35
4800	4850	50	151.00	142.48	35.09	15.79
4850	4890	40	71.00	58.66	68.19	30.69

Fuente: Propia De Los Tesis

### 5.3. Hidrología Superficial

La hidrología superficial, estudia la ocurrencia, distribución movimiento y características del agua en la tierra y su relación con el medio ambiente. Desde sus inicios hasta la fecha, la hidrología ha evolucionados de una curiosidad meramente filosófica hasta convertirse en una disciplina científica que forma parte de las llamadas ciencias de la tierra como lo son la geología, la climatología, la meteorología y la oceanografía. Desde 1950 a la fecha, los avances en el conocimiento científico han permitido un mejor entendimiento de los principios físicos de las relaciones hidrológicas y el desarrollo de herramientas poderosas de cálculo han hecho posible

el desarrollo de modelos sofisticados de simulación. Extensas manipulaciones numéricas que en el pasado eran prácticamente imposibles de realizar, ahora se llevan a cabo en cuestión de milésimas de segundos en poderosas computadoras digitales y programas avanzados.

### 5.3.1. Potencial hídrico superficial:

#### A. Cuerpos de agua.

A nivel de la cuenca Quellhuacocha, el único cuerpo de agua de carácter permanente que se encuentra es la Laguna de Quellhuacocha, que tiene un área de espejo de agua de 18.64 ha, que se encuentra a 4600 msnm, y que tiene un volumen base de aproximadamente 279,646.5 m<sup>3</sup> (batimetría realizado por la Municipalidad Distrital de Marangani – 2004).

*Figura 63 Vista de la laguna de Quellhuacocha único cuerpo de agua de carácter permanente.*



Fuente: Propia De Los Tesis

#### B. Riachuelos:

Hacia el sector Noreste y Este de la laguna Quellhuacocha, existen cursos de agua de carácter permanente que alimentan la laguna durante todo el año, y que provienen de manantes y depósitos biogénicos (humedal), que en total aportan a compensar la pérdida por evaporación e infiltración de 5.48 l/s.

Figura 64 Aforo y Registro de cursos de agua riachuelos que confluyen en la laguna Quellhuacocha



Fuente: Propia De Los Tesis

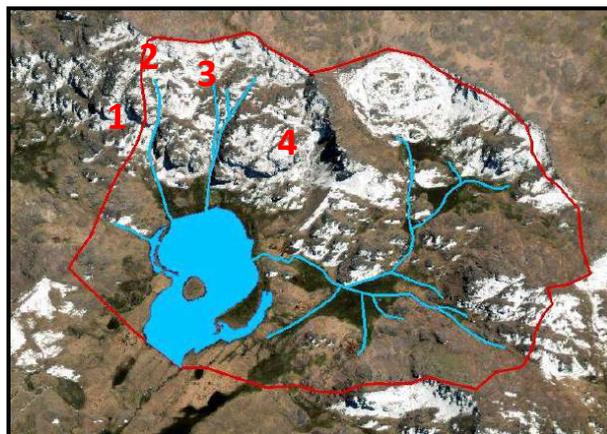
De la campaña de campo se tiene los resultados siguientes:

**Tabla 19** Fuentes de recuso hídrico superficial que alimentan la laguna Quellhuacocha

COD	Ubicación del drenaje de aporte	COORDENADAS UTM – WGS84		FECHA	CAUDAL (l/s)
		ESTE (m)	NORTE (m)		
1	Riachuelo lado Noroeste	275186	8416384	30/10/2021	0.48
2	Riachuelo lado Norte	274721	8417012	30/10/2021	0.81
3	Riachuelo lado Noreste	275178	8416798	30/10/2021	1.78
4	Riachuelo lado Este	275103	8416699	30/10/2021	2.41

Fuente: Propia De Los Tesis

*Figura 65 Ubicación de riachuelos de aporte hídrico*



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

#### **5.4. Hidrometeorología**

La Hidrometeorología es la ciencia (estrechamente ligada a la meteorología, la hidrología y la climatología) que estudia el ciclo del agua en la naturaleza. Abarca el estudio de las fases atmosférica (precipitación, evaporación y condensación) y terrestre (intercepción de la lluvia, infiltración y escurrimiento superficial) del ciclo hidrológico y especialmente de sus interrelaciones. Comprende la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos, fundamentalmente las descargas de los ríos y los volúmenes almacenados en embalses naturales y artificiales, así como de los factores meteorológicos (Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo- julio 2022). Cada una de las variables hidrometeorológicas que intervienen en el ciclo hidrológico tiene múltiples aspectos y están todas relacionadas entre sí, las principales son: precipitación, temperatura, evaporación, etc.

##### **5.4.1. Información hidrometeorológica**

La data original para este análisis, proviene del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), desde al año 1964 al 2017, con una extensión de registro de 54 años, que es más que suficiente para estudios hidrológicos de represamiento, que según OMM, recomienda hasta 30 años de información. Entendiendo que la zona de estudio no cuenta con una estación propia, caso común en los andes del Perú, se utilizara información de otras estaciones que cumplan las condiciones siguientes: estén cerca al ámbito de estudio, que geográficamente se asemejen a sus

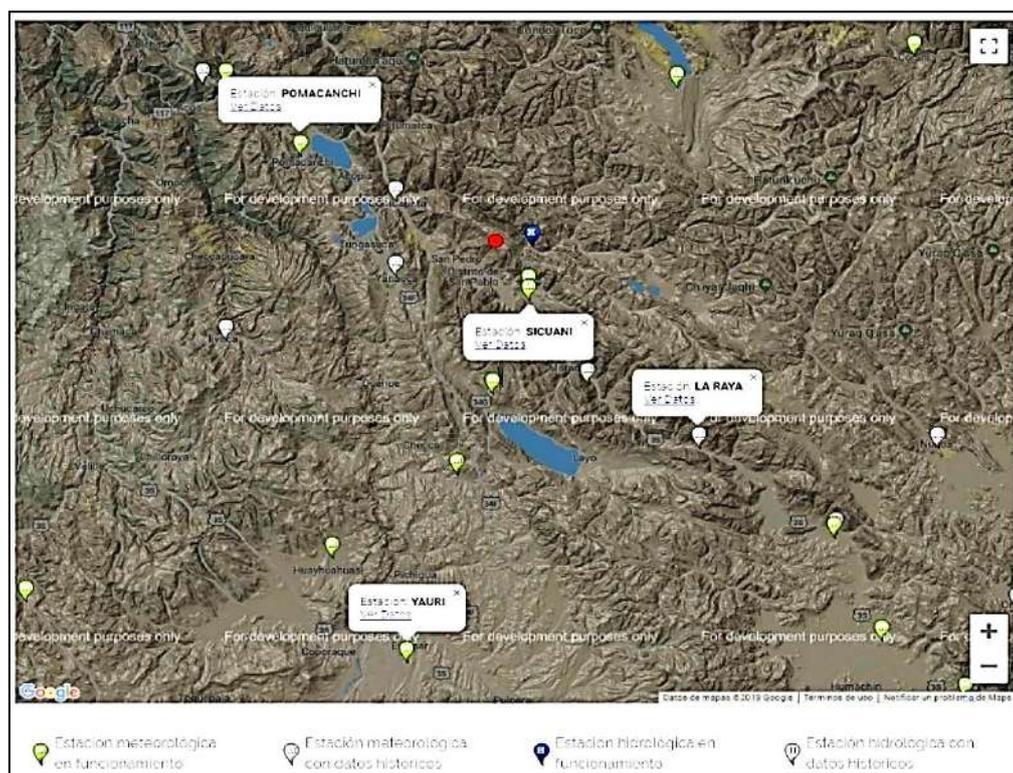
condiciones naturales y que en lo posible estén en la misma cuenca mayor. Tomando en cuenta este criterio, hemos seleccionado las estaciones meteorológicas de Kayra, Sicuani, Yauri, Pomacanchi y La Raya. En el cuadro siguiente, se detalla la ubicación de cada estación meteorológicas usadas para el acápite de hidrología:

**Tabla 20** Ubicación de las estaciones meteorológicas usadas para el estudio hidrologico

CODIGO	NOMBRE	TIPO	UBICACIÓN			LATITUD (°,')	LONGITUD (°,')	ALTITUD (msnm)
			Dpto.	Provincia	Distrito			
1	KAYRA	CO-607	CUSCO	CUSCO	SAN JERONIMO	13° 33' 25"	71° 52' 31"	3,219
2	SICUANI	CO-884	CUSCO	CANCHIS	SICUANI	14° 15' 13"	71° 14' 14"	3,574
3	YAURI		CUSCO	ESPINAR	YAURI	14° 49' 01"	71° 25' 01"	3,927
4	POMACANCHI	CO	CUSCO	ACOMAYO	POMACANCHI	14° 01' 41"	71° 34' 22"	3,686
5	LA RAYA		CUSCO	CANCHIS	MARANGANI	14°28' 00	71° 3' 00"	4,120

Fuente SENAMHI

*Figura 66* Ubicación de las estaciones meteorológicas



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

### 5.4.2. Análisis exploratorio de datos.

El uso de información de un registro meteorológico, como el de precipitación, requiere de un correcto análisis para poder determinar con cierto grado de confiabilidad, las condiciones de la zona de estudio, debido que la precipitación y otros, están relacionados a la ley de variables estocásticas aleatorias, por ser un fenómeno producido por la naturaleza. Por lo cual, ésta debe pasar por varios procesos que permitan tener un registro completo, consistente y libre de saltos y tendencias.

#### A. Proceso de completado y extendido de datos.

Para este propósito, se ha utilizado el método de la Recta de Regresión, el procesamiento de este método se ha realizado en hoja de cálculo, tomando como ejemplo el procedimiento hecho para la estación de Sicuani, en el cual se observa la existencia de información en algunos meses, e incluso el año completo. Según Villon (2002), indica que, el completado y extensión de información, es el proceso de transferencia de información desde una estación con “largo” registro histórico, a otra con “corto” e incompleto registro.

**Tabla 21** Registro de precipitación mensual original de la estación de Sicuani

Estacion : SICUANI		PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETA										Departamento : CUSCO		
		Longitud 71° 14' 14" W										Provincia : CANCHIS		
Tipo: CO-884		Altitud 3,574 msnm										Distrito : SICUANI		
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	95.4	101	112	50	31.8	0	2.5	3.2	32.2	25.8	85.1	50	589.00
2	1965	43.2	89.7	119	51.7	2.1	0	2.4	3.7	52.5	66.1	61	179.7	671.10
3	1966	81.6	118.2	94.2	6	35	0	0	2.3	38.9	148.8	106	121	752.00
4	1967	63.4	117.2	155.9	33	8.2	1.4	21.4	28.7	40.4	49	46.8	129.5	694.90
5	1968	118.2	171.3	272.9	55.6	0	0	16	28.2	21.4	62.1	149.3	64.2	959.20
6	1969	132.5	127	140.4	67	3.6	2.8	8	1.6	18	78.2	76.2	80.8	736.10
7	1970	172.3	139.5	141.3	60.3	5.6	0	0	0	20.4	48.3	46.6	185.4	809.70
8	1971	189.5	162	66.1	66.9	6	0	0	0	0	0	3.8	71.6	565.90
9	1972	154.2	76.5	95.6	58.1	6.3	0	15.9	29.6	0	8	35.2	94.4	573.80
10	1973	140.7	136.2	168	82.5	3.1	0	2	11.8	5.9	27	47.6	96.2	721.00
11	1974	168.5	223.3	91.1	25.1	0.8	6.5	0	16	24.5	13	51.5	77	697.30
12	1975	157	103.9	134.9	39.4	20.3	0.7	0	8.4	32.1	24.4	62.4	154.2	737.70
13	1976	161.9	68.7	130.4	27.5	11.4	6.7	5.1	9.6	17.9	9.3	29	86.3	563.80
14	1977	70.5	179.9	87	33.9	7.2	0	0.8	0	11	30.7	87.3	88.1	596.40
15	1978	214.6	71.3	183.4	83	0	0	0	0	25.5	24.2	73.4	37.9	713.30
16	1979	66.8	50.5	64.8	31.8	4.4	0	0.9	19.8	27.6	0.8	14.3	31.7	313.40
17	1980	86.6	49.3	26.1	0	15.6	18.6	19.9	21.6	1.6	65.9	60.2	82.6	448.00
18	1981	130.1	110.9	102.8	0.8	0	0	6.9	0	19.2	0	6	8.6	428.60
19	1982	66.3	26.3	48.4	0	0	0	0.9	0	24	58.1	34	8.6	266.60
20	1983	41.2	0	31.6	0	0	0	0	0	14.8	1	0	63.1	151.70
21	1984	131.2	52.1	45.3	3	0								
22	1985													
23	1986													
24	1987				49.8	2.9	1.3	11.2	0.5	2.5	24.9	132.1	155.3	
25	1988	143.8	94.9	120.6	87.4	4	0	0	0	3.4	17	18.7	57.2	547.00
26	1989	183.4	108.2	168.5	76.5	16.1	10.2	0	12	50.3	51.7	46.9	130.8	854.60
27	1990	127.1	104.6	71.2	33.8	1.5	25.2	0	9	11.2	128.8	90.5	130.3	733.40
28	1991	93.3	76.3	87.5	59.3	18.1	14.4	0	0	12.7	44.9	43.7	70.4	520.60
29	1992	99.2	61.4						19.5	19.1	62.8	96.8	53.6	
30	1993	163	87.1	116.2	57.4	0	1.2	2	8.8	26.7	66	136.4	114.1	779.80
31	1994	127.5	143.8	128.4	74.9	18.8	0.3	0	1.2	9.3	50.5	81	127.4	763.10
32	1995	107.4	105.2	131.3	64.4	3.1	1.2	2.8	0	16.6	36	92.3	117	677.30
33	1996	121.3	112	155.5	42.7	16.3	0	0	12	24.5	54.2	61.6	115.7	715.80
34	1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0	5.2	15.2	8.9	45.5	135.5	64.6	905.70
35	1998	102.3	131	97.8	15.5	0	0	0	5.6	1.7	92.2	73.6	92.7	612.40
36	1999	133.3	148.4	83.4	85.7	17.8	3.2	0.3	0	44.1	24.4	38.5	127.2	703.10
37	2000	110.4	180	121.9	15.6	7.2	6	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6	660.00
38	2001	213	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	34.7	48.3	76.2	134.4	948.40
39	2002	154.7	205.2	145.7	126.4	32.9	0	26.1	4.7	37.4	75.9	87.3	141.5	1037.80
40	2003	129.2	131.8	160	59.6	18.7	6.6	0	8	1.6	37.5	27.2	125.5	705.70
41	2004	162.6	191	80.4	47	7.6	8.2	4.2	12	51.6	28.9	92.4	98.4	794.30
42	2005	66.3	178.8	120.3	44.9	4.5	0	2.7	0	7.6	48.3	75	93.4	641.80
43	2006	151.2	120.8	92.8	99	3.3	5.7	0	10.3	23.3	45.4	111.3	102	765.10
44	2007	115.8	86.9	174.4	45.1	5.3	0	9	0	15.2	80.7	77	73.7	663.10
45	2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149	716.50
46	2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0	6.2	0	11.1	32.2	129	121.1	659.10
47	2010	161	95.8	118	48.4	2.6	0	0	5.7	2.4	62.8	46.6	125.1	668.40
48	2011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4		51.9	25.3	29	131.9	
49	2012	155.2	184.8	103	49	0.5	3.2	0.8	0	14.2	36.4	36.7	149.5	735.60
50	2013	167	157.7	78.9	23.5	7.2	7.1	0	11.2	1.9	38.1	66.2	162.7	721.40
51	2014	146.9	134.3	55.4	36.7	9.5	0	0.2	6.3	24.5	49.2	31.2	156.4	650.60
52	2015	142	95.9	106.9	55.2	8.4	2.7	12.6	7	10.1	52.5	74.6	136.5	704.40
53	2016	131.4	260	53.8	82.8	3.2	0	0.3	6.9	19.9	79		77	
54	2017	162.3	119.1	126.9	60.8	40.8	0	2.2		22.7	72.9			

Fuente: Senamhi

En el cuadro siguiente se muestra, en resumen, el procedimiento hecho en el programa SOLVER, correspondiente, cuyo valor de las variables estadísticas para la recta de regresión para la estación de Sicuani, se tiene:

**Tabla 22 Variables estadísticas para estimación de parámetros de la recta de regresión**

VARIABLES ESTADISTICAS ESTACION SICUANI													
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$\bar{X}$ Sicuani	<b>y =</b>	129.76	121.79	114.48	49.1	9.18	2.9	4.1	7.62	19.43	47.05	64.78	103.46
$Sd^2_{SICUANI}$	<b>S<sup>2</sup>(y) =</b>	1817.07	2530.23	2119.62	886.3	100.39	26.33	41.18	69.16	223.91	896.13	1319.59	1602.63
$Sd_{SICUANI}$	<b>S (y) =</b>	42.63	50.3	46.04	29.77	10.02	5.13	6.42	8.32	14.96	29.94	36.33	40.03
VARIABLES ESTADISTICAS ESTACION KAYRA													
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$\bar{X}$ Kayra	<b>x1 =</b>	145.06	123.74	98.3	41.37	6.6	3.25	4.03	6.06	17.87	47.16	70.27	110.89
$Sd^2_{KAYRA}$	<b>S<sup>2</sup>(x1)=</b>	3016.3	1759.08	1779.55	607.94	36.5	30.14	41.54	53.87	155.77	594.63	1475.42	2030.48
$Sd_{KAYRA}$	<b>S (x1) =</b>	44.78	31.57	34.56	23.4	6.02	5.64	6.61	7.48	12.13	22.46	34.09	35.59
N° de Datos		51	51	50	51	51	50	50	49	51	51	49	50
r		0.38	0.4	0.26	0.16	0.48	0.69	0.73	0.66	0.42	0.33	0.36	0.48
Sxy		732.75	633.1	411.03	111.38	28.79	19.99	31.02	40.8	75.99	224.19	451.93	679.15
PARAMETROS DE ECUACION DE LA RECTA DE REGRESION													
a =		94.52	77.26	91.77	41.52	3.97	0.74	1.09	3.03	10.71	29.27	43.26	66.37
b =		0.243	0.36	0.231	0.183	0.789	0.663	0.747	0.757	0.488	0.377	0.306	0.334

Fuente: Procesado por los tesisas

Donde se tiene que:  $\bar{X}$ : Promedio de datos;  $Sd^2$ : Varianza; Sd: Desviación estándar; R: Coeficiente de correlación; Sxy: Covarianza.

La representación matemática de la ecuación de recta de regresión se tiene:

$$y = a + bx$$

**Tabla 23 Registro de precipitación estación Sicuani restituido y extendido**

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETA (mm)														
Estacion : SICUANI		Latitud 14° 15' 13" S			Departamento : CUSCO			Longitud 71° 14' 14" W			Provincia : CANCHIS			
Tipo: CO-884		Altitud 3,574 msnm			Distrito : SICUANI									
N° REG	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	95.40	101.00	112.00	50.00	31.80	0.00	2.50	3.20	32.20	25.80	85.10	50.00	589.00
2	1965	43.20	89.70	119.00	51.70	2.10	0.00	2.40	3.70	52.50	66.10	61.00	179.70	671.10
3	1966	81.60	118.20	94.20	6.00	35.00	0.00	0.00	2.30	38.90	148.80	106.00	121.00	752.00
4	1967	63.40	117.20	155.90	33.00	8.20	1.40	21.40	28.70	40.40	49.00	46.80	129.50	694.90
5	1968	118.20	171.30	272.90	55.60	0.00	0.00	16.00	28.20	21.40	62.10	149.30	64.20	959.20
6	1969	132.50	127.00	140.40	67.00	3.60	2.80	8.00	1.60	18.00	78.20	76.20	80.80	736.10
7	1970	172.30	139.50	141.30	50.30	5.60	0.00	0.00	0.00	20.40	48.30	46.60	185.40	809.70
8	1971	189.50	162.00	66.10	66.90	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	71.60	565.90
9	1972	154.20	76.50	95.60	58.10	6.30	0.00	15.90	29.60	0.00	8.00	35.20	94.40	573.80
10	1973	140.70	136.20	168.00	82.50	3.10	0.00	2.00	11.80	5.90	27.00	47.60	96.20	721.00
11	1974	168.50	223.30	91.10	25.10	0.80	6.50	0.00	16.00	24.50	13.00	51.50	77.00	697.30
12	1975	157.00	103.90	134.90	39.40	20.30	0.70	0.00	8.40	32.10	24.40	62.40	154.20	737.70
13	1976	161.90	68.70	130.40	27.50	11.40	6.70	5.10	9.60	17.90	9.30	29.00	86.30	563.80
14	1977	70.50	179.90	87.00	33.90	7.20	0.00	0.80	0.00	11.00	30.70	87.30	88.10	596.40
15	1978	214.60	71.30	183.40	83.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.50	24.20	73.40	37.90	713.30
16	1979	66.80	50.50	64.80	31.80	4.40	0.00	0.90	19.80	27.60	0.80	14.30	31.70	313.40
17	1980	86.60	49.30	26.10	0.00	15.60	18.60	19.90	21.60	1.60	65.90	60.20	82.60	448.00
18	1981	130.10	110.90	102.80	0.80	0.00	6.90	0.00	19.20	0.00	6.00	8.60	43.30	428.60
19	1982	66.30	26.30	48.40	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	24.00	58.10	34.00	8.60	266.60
20	1983	41.20	0.00	31.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.80	1.00	0.00	63.10	151.70
21	1984	131.20	52.10	45.30	3.00	0.00	2.07	2.06	11.66	12.76	72.48	64.52	100.75	497.89
22	1985	125.88	120.23	108.91	47.60	16.28	8.43	1.76	3.03	31.83	52.68	78.95	107.31	702.89
23	1986	113.08	110.44	120.81	53.52	8.86	0.74	2.43	6.21	14.37	35.79	64.58	100.72	631.55
24	1987	149.01	108.89	103.00	49.80	2.90	1.30	11.20	0.50	2.50	24.90	132.10	155.30	741.40
25	1988	143.80	94.90	120.60	87.40	4.00	0.00	0.00	0.00	3.40	17.00	18.70	57.20	547.00
26	1989	183.40	108.20	168.50	76.50	16.10	10.20	0.00	12.00	50.30	51.70	46.90	130.80	854.60
27	1990	127.10	104.80	71.20	33.80	1.50	25.20	0.00	9.00	11.20	128.80	90.50	130.30	733.40
28	1991	93.30	76.30	87.50	59.30	18.10	14.40	0.00	0.00	12.70	44.90	43.70	70.40	520.60
29	1992	99.20	61.40	115.80	44.25	3.97	13.60	1.09	19.50	19.10	62.80	96.80	53.60	591.11
30	1993	163.00	87.10	116.20	57.40	0.00	1.20	2.00	9.80	26.70	66.00	136.40	114.10	779.90
31	1994	127.50	143.80	128.40	74.90	18.80	0.30	0.00	1.20	9.30	50.50	81.00	127.40	763.10
32	1995	107.40	105.20	131.30	64.40	3.10	1.20	2.80	0.00	16.60	36.00	92.30	117.00	677.30
33	1996	121.30	112.00	155.50	42.70	16.30	0.00	0.00	12.00	24.50	54.20	61.60	115.70	715.80
34	1997	226.70	173.80	176.90	49.90	3.50	0.00	5.20	15.20	8.90	45.50	135.50	64.60	905.70
35	1998	102.30	131.00	97.80	15.50	0.00	0.00	0.00	5.60	1.70	92.20	73.60	92.70	612.40
36	1999	133.30	145.40	83.40	85.70	17.60	3.20	0.30	0.00	44.10	24.40	38.50	127.20	703.10
37	2000	110.40	180.00	121.90	15.60	7.20	6.00	4.40	1.70	18.60	76.40	25.20	92.60	660.00
38	2001	213.00	158.10	176.90	55.30	25.90	1.20	13.90	10.50	34.70	48.30	76.20	134.40	948.40
39	2002	154.70	205.20	145.70	126.40	32.90	0.00	26.10	4.70	37.40	75.90	87.30	141.50	1037.80
40	2003	129.20	131.80	160.00	59.60	18.70	6.60	0.00	8.00	1.60	37.50	27.20	125.50	705.70
41	2004	162.60	191.00	80.40	47.00	7.60	8.20	4.20	12.00	51.60	28.90	92.40	98.40	784.30
42	2005	66.30	178.80	120.30	44.90	4.50	0.00	2.70	0.00	7.60	48.30	75.00	93.40	641.80
43	2006	151.20	120.80	92.80	99.00	3.30	5.70	0.00	10.30	23.30	45.40	111.30	102.00	765.10
44	2007	115.80	86.90	174.40	45.10	5.30	0.00	9.00	0.00	15.20	60.70	77.00	73.70	663.10
45	2008	137.30	133.50	117.90	21.60	7.00	0.70	0.60	0.60	2.60	84.10	61.60	149.00	716.50
46	2009	89.80	140.60	85.80	37.60	5.70	0.00	6.20	0.00	11.10	32.20	129.00	121.10	659.10
47	2010	161.00	95.80	118.00	48.40	2.60	0.00	0.00	5.70	2.40	62.80	46.60	125.10	668.40
48	2011	107.60	118.40	156.40	132.70	14.40	2.90	4.40	3.03	51.90	25.30	29.00	131.90	777.93
49	2012	155.20	184.80	103.00	49.00	0.50	3.20	0.80	0.00	14.20	36.40	38.70	149.80	735.60
50	2013	167.00	157.70	78.90	23.50	7.20	7.10	0.00	11.20	1.80	38.10	66.20	162.70	721.40
51	2014	146.90	134.30	55.40	36.70	9.50	0.00	0.20	6.30	24.50	49.20	31.20	156.40	650.60
52	2015	142.00	95.90	106.90	55.20	8.40	2.70	12.60	7.00	10.10	52.50	74.60	136.50	704.40
53	2016	131.40	260.00	53.80	82.80	3.20	0.00	0.30	6.90	19.90	79.00	51.84	77.00	766.14
54	2017	162.30	119.10	126.90	60.80	40.80	0.00	2.20	9.39	22.70	72.90	64.80	103.43	785.32

Fuente: Senamhi

Así como se ha obtenido en registro completo y extendido para la estación de Sicuani, de igual manera se ha procedido con las estaciones de Pomacanchi, Yauri y la Raya, teniendo como estación patrón a la estación de Kayra, presentadas todas en anexos.

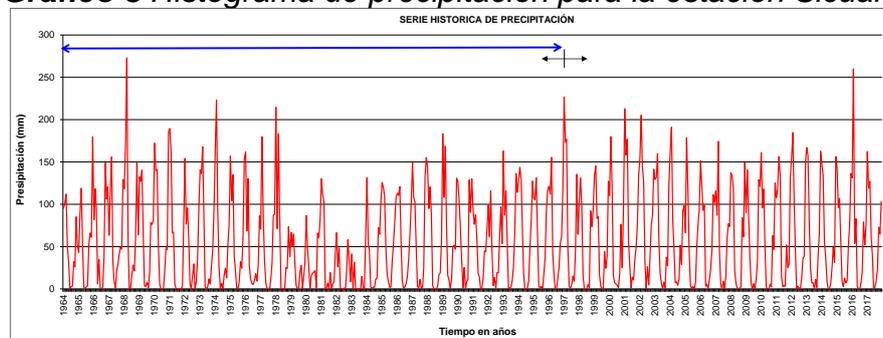
### B. Prueba de análisis de consistencia.

Para este procedimiento se ha seguido el procedimiento propuesto por Mejia A. (2001), para lo cual el registro se divide en dos bloques comparando estos en conjunto y verificando que no exista diferencias entre las comparaciones de los promedios, su desviación estándar y la varianza. Esta selección de bloques, este en función a la visualización del histograma viendo los saltos extremos en máximos y mínimos registrados. Para lo cual se sigue con los pasos siguientes:

#### Paso 01: Identificación del Salto

A través de la conversión de los valores de precipitación mensual del registro a histogramas, se verificó la ocurrencia continua de áreas de picos máximos y áreas de picos medios y mínimos, procediendo a separar los bloques de periodo que entraran en comparación entre si.

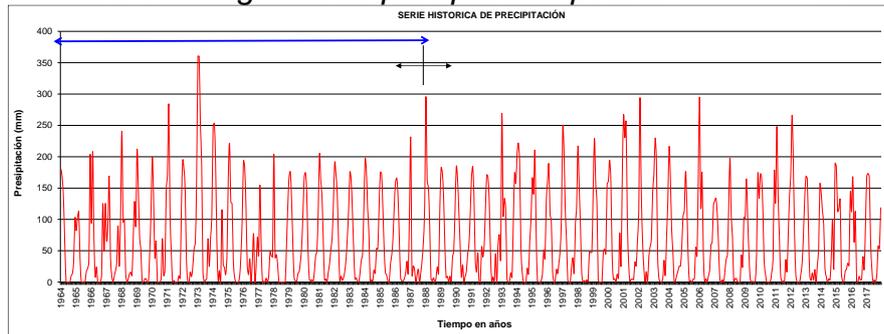
**Gráfico 3** Histograma de precipitación para la estación Sicuani



Primer periodo	1964-1989
Segundo periodo	1990-2017

Fuente: Senamhi

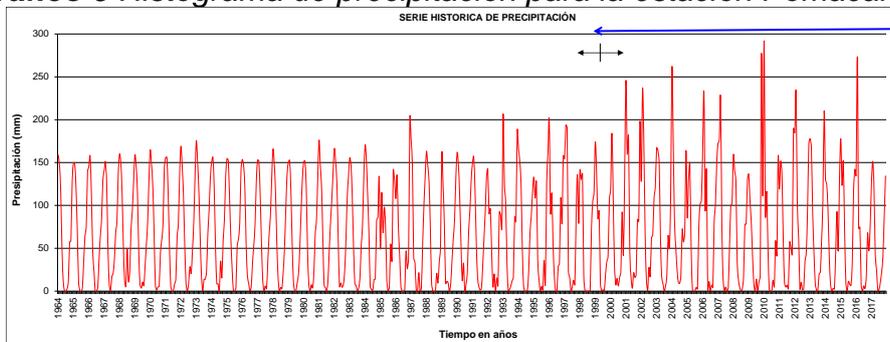
**Gráfico 4** Histograma de precipitación para la estación Yauri



Primer periodo	1964-1988
Segundo periodo	1989-2017

Fuente: Senamhi

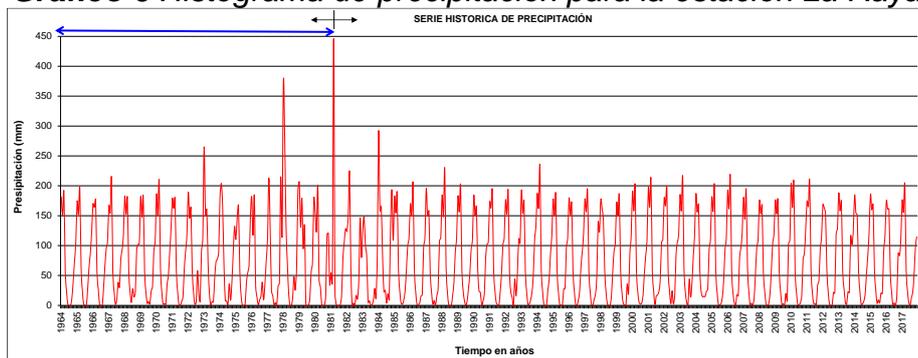
**Gráfico 5** Histograma de precipitación para la estación Pomacanchi



Primer periodo	1964-2000
Segundo periodo	2001-2017

Fuente: Senamhi

**Gráfico 6** Histograma de precipitación para la estación La Raya



Primer periodo	1964-1981
Segundo periodo	1982-2017

Fuente: Senamhi

## Paso 02: Evaluación y cuantificación

Luego de analizar los histogramas se ha observado saltos y periodos bajos de precipitación lo que amerita una corrección, estadísticamente consistente a través de la diferencia de medias y la desviación estándar. Los periodos seleccionados y sus variables estadísticas por estación, se presentan a continuación:

**Tabla 24** Selección, y cuantificación de los periodos a analizar

ESTACION	Periodos	Nro. Datos	Media	Desv. est.	Varianza
SICUANI	1964-1989	26	614.03	183.21	33566.01
	1990-2017	28	728.36	105.79	11191.11
YAURI	1965-1988	25	767.62	192.41	37021.61
	1989-2017	29	817.65	124.75	15562.85
POMACANCHI	1964-2000	37	797.30	64.17	4118.31
	2001-2017	17	867.22	109.30	11945.40
LA RAYA	1964-1981	18	916.40	106.83	11411.89
	1982-2017	36	905.53	85.37	7288.12

Fuente: Propia De Los Tesis

## Paso 3: Corrección y eliminación del salto.

### 1. Por diferencia de promedios.

Este procedimiento se hizo a través de la prueba estadística de "T" de Student, al nivel de significancia del 0.05, para ello la hipótesis planteada es:

H<sub>p</sub>:  $\mu_1 = \mu_2$  (media poblacional).

H<sub>a</sub>:  $\mu_1 \neq \mu_2$ .  $\alpha = 0.05$ .

La procedencia o no a la corrección de datos está sujeta al cumplimiento de las condiciones siguientes:

$$|T_c| \leq T_t(95\%) \Rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$|T_c| > T_t(95\%) \Rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

- Si  $T_c > T_t$ , entre los promedios de los bloque en comparación, existen diferencias estadísticas al 95 % de significancia, por lo tanto, procedería la corrección del bloque en análisis.

- Si  $T_c < T_t$ , entre los promedios de los bloques en comparación, no existen diferencias estadísticas al 95 % de significancia, por lo tanto, no procedería la corrección del bloque en análisis.

Por lo tanto, Mejía A. 2001, plantea la siguiente relación matemática para el cálculo de  $T_c$ :

$$T_c = \frac{(\overline{X_1} - \overline{X_2}) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d}$$

$T_c$ = T calculado;  $S_d$ = Desviación estándar;  $\mu_1 = \mu_2$  (por hipótesis),  $\overline{X_1}, \overline{X_2}$  : Promedios de las series 1 y 2.

Como resultado se tiene que los valores de "t" calculado ( $T_c = 2.83$ ) y para "t" teórico ( $T_t = 1.67$ ) entre la comparación del periodo 1 con respecto al periodo 2, hay diferencia estadística al 95% por lo tanto corresponde su corrección.

## 2. Por diferencia en la desviación estándar.

Este procedimiento se hizo a través de la prueba estadística de "F" de Fisher, al nivel de significancia del 0.05, para ello la hipótesis planteada es:

$H_p$ :  $\mu_1 = \mu_2$  (media poblacional).

$H_a$ :  $\mu_1 < > \mu_2$ .  $\alpha = 0.05$ .

La procedencia o no a la corrección de datos está sujeta al cumplimiento de las condiciones siguientes:

$$|F_c| \leq F_t(95\%) \Rightarrow Sd1 = Sd2$$

$$|F_c| > F_t(95\%) \Rightarrow Sd1 < > Sd2$$

- Si  $F_c > F_t$ , entre la desviación estándar de los bloques en comparación, existen diferencias estadísticas al 95 % de significancia, por lo tanto, procedería la corrección del bloque en análisis.
- Si  $F_c < F_t$ , entre la desviación estándar de los bloques en comparación, no existen diferencias estadísticas al 95 % de

significancia, por lo tanto, no procedería la corrección del bloque en análisis.

Para la comparación a través de la desviación estándar  $S_d$ , Mejía A. propone la relación matemática siguiente:

$$S_d = S_p \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{0.5}$$

$$S_p = \left[ \frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{0.5}$$

Dónde:

$S_d$  : desviación estándar de los promedios.

$S_p$  : desviación estándar ponderada.

$n$  : número de datos del periodo 1 y 2

Como resultado se tiene que los valores de “F” calculado ( $F_c = 0.33$ ) y para “F” teórico ( $F_t = 1.922$ ) entre la comparación del periodo 1 con respecto al periodo 2, NO hay diferencia estadística al 95% por lo tanto por este lado no corresponde su corrección.

#### **Paso 4: Corrección de datos dudosos.**

Según las pruebas estadísticas anteriormente realizadas le corresponde una corrección a los datos de la estación de Sicuani, , por la media, procede la corrección de datos para el primer periodo. Por lo tanto, Mejía A, 2001, en su propuesta estadística, plantea la relación matemática siguiente correspondiente para un primer periodo a corregir:

$$X't = \left[ \frac{x - \bar{X}_1}{S_1} \right] * S_2 + \bar{X}_2$$

Dónde:

$X$  = valor corregido de la información.

$x$  = valor a ser corregido.

**Tabla 25** Datos obtenidos para el Criterio de decisión, consistencia en la media

Año	$\bar{x}_t$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1964	713.90	115.63	122.42	135.75	60.60	38.54	0.00	3.03	3.88	39.03	31.27	103.15	60.60	713.90
1965	761.31	49.01	101.76	135.00	58.65	2.38	0.00	2.72	4.20	59.56	74.99	69.20	203.86	761.31
1966	808.02	87.68	127.01	101.22	6.45	37.61	0.00	0.00	2.47	41.80	159.89	113.90	130.01	808.02
1967	775.05	70.71	130.72	173.88	36.81	9.15	1.56	23.87	32.01	45.06	54.65	52.20	144.44	775.05
1968	927.66	114.31	165.67	263.93	53.77	0.00	0.00	15.47	27.27	20.70	60.06	144.39	62.09	927.66
1969	798.84	143.79	137.82	152.37	72.71	3.91	3.04	8.68	1.74	19.53	84.87	82.69	87.69	798.84
1970	841.34	179.03	144.95	146.82	52.27	5.82	0.00	0.00	0.00	21.20	50.19	48.42	192.64	841.34
1971	700.56	234.59	200.55	81.83	82.82	7.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	88.64	700.56
1972	705.13	189.49	94.01	117.48	71.40	7.74	0.00	19.54	36.37	0.00	9.83	43.26	116.01	705.13
1973	790.12	154.19	149.26	184.11	90.41	3.40	0.00	2.19	12.93	6.47	29.59	52.16	105.42	790.12
1974	776.44	187.62	248.64	101.44	27.95	0.89	7.24	0.00	17.82	27.28	14.48	57.34	85.74	776.44
1975	799.76	170.21	112.64	146.25	42.71	22.01	0.76	0.00	9.11	34.80	26.45	67.65	167.17	799.76
1976	699.35	200.82	85.22	161.75	34.11	14.14	8.31	6.33	11.91	22.20	11.54	35.97	107.05	699.35
1977	718.18	84.90	216.63	104.76	40.82	8.67	0.00	0.96	0.00	13.25	36.97	105.13	106.09	718.18
1978	785.68	236.37	78.53	202.01	91.42	0.00	0.00	0.00	0.00	28.09	26.66	80.85	41.75	785.68
1979	554.77	118.25	89.39	114.71	56.29	7.79	0.00	1.59	35.05	48.86	1.42	25.31	56.11	554.77
1980	632.49	122.26	69.60	36.85	0.00	22.02	26.26	28.09	30.49	2.26	93.04	84.99	116.61	632.49
1981	621.29	188.59	160.76	149.02	1.16	0.00	10.00	0.00	27.83	0.00	8.70	12.47	62.77	621.29
1982	527.74	131.24	52.06	95.81	0.00	0.00	0.00	1.78	0.00	47.51	115.01	67.30	17.02	527.74
1983	461.40	125.31	0.00	96.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.01	3.04	0.00	191.92	461.40
1984	661.30	174.26	69.20	60.17	3.98	0.00	2.74	2.73	15.49	16.95	96.26	85.69	133.82	661.30
1985	779.67	139.63	133.36	120.81	52.80	18.05	9.35	1.95	3.36	35.31	58.44	87.57	119.03	779.67
1986	738.47	132.22	129.14	141.26	62.58	10.36	0.87	2.84	7.26	16.80	41.85	75.51	117.77	738.47
1987	801.90	161.17	117.78	111.40	53.86	3.14	1.41	12.11	0.54	2.70	26.93	142.88	167.97	801.90
1988	689.65	181.30	119.65	152.05	110.19	5.04	0.00	0.00	0.00	4.29	21.43	23.58	72.12	689.65
1989	867.26	186.12	109.80	171.00	77.63	16.34	10.35	0.00	12.18	51.05	52.47	47.59	132.74	867.26

Fuente: elaborado por los tesisistas:

**Prueba de tendencias.**

Según Mejía (1991), las Tendencias son componentes determinísticas transitorias que se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información meteorológica en cualquier parámetro de la misma, que afectan las distribuciones y dependencias de series.

Paso 1: Tendencia en la media

**Tabla 26** Paso 1: Tendencia en la media

<b><math>T_{c_m} = 0.34</math></b>	<b><math>T_{t_m} = 1.645</math></b>
------------------------------------	-------------------------------------

Como  $T_c$  es menor a  $T_t$ , indica que por la comparación de medias no existe diferencias estadísticas al 95% de significancia, por tanto ya no procede su corrección.

**Tabla 27** Paso 2: Tendencia en la desviación estándar

<b><math>T_{c_{sd}} = 1.081</math></b>	<b><math>T_{t_{sd}} = 1.668</math></b>
--	--

Como  $T_c$  es menor a  $T_t$ , indica que por al análisis de desviación estándar, ésta, no muestran diferencias estadísticas al 95% de significancia, por tanto, ya no procede su corrección. Finalmente, luego de tratar el registro de Sicuani, por su análisis de constancia, se ha obtenido un nuevo registro completamente libre de saltos y tendencias (cuadro ). Este mismo procedimiento se ha realizado para las estaciones restantes (Pomacanchi, Yauri, La Raya y Kayra) presentados en anexos.

**Tabla 28 Registro corregido por tendencias de la estación Sicuani**

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETA (mm)														
Estacion : SICUANI			Latitud : 14° 15' 13" S			Departamento : CUSCO			Provincia : CANCHIS			Distrito : SICUANI		
Tipo: CO-884			Longitud : 71° 14' 14" W			Altitud : 3,574 msnm								
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	115.6	122.4	135.8	60.6	38.5	0.0	3.0	3.9	39.0	31.3	103.1	60.6	713.9
2	1965	49.0	101.8	135.0	58.6	2.4	0.0	2.7	4.2	59.6	75.0	69.2	203.9	761.3
3	1966	87.7	127.0	101.2	6.4	37.6	0.0	0.0	2.5	41.8	159.9	113.9	130.0	808.0
4	1967	70.7	130.7	173.9	36.8	9.1	1.6	23.9	32.0	45.1	54.7	52.2	144.4	775.1
5	1968	114.3	165.7	263.9	53.8	0.0	0.0	15.5	27.3	20.7	60.1	144.4	62.1	927.7
6	1969	143.8	137.8	152.4	72.7	3.9	3.0	8.7	1.7	19.5	84.9	82.7	87.7	798.8
7	1970	179.0	145.0	146.8	52.3	5.8	0.0	0.0	0.0	21.2	50.2	48.4	192.6	841.3
8	1971	234.6	200.6	81.8	82.8	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	88.6	700.6
9	1972	189.5	94.0	117.5	71.4	7.7	0.0	19.5	36.4	0.0	9.8	43.3	116.0	705.1
10	1973	154.2	149.3	184.1	90.4	3.4	0.0	2.2	12.9	6.5	29.6	52.2	105.4	790.1
11	1974	187.6	248.6	101.4	27.9	0.9	7.2	0.0	17.8	27.3	14.5	57.3	85.7	776.4
12	1975	170.2	112.6	146.2	42.7	22.0	0.8	0.0	9.1	34.8	26.5	67.6	167.2	799.8
13	1976	200.8	85.2	161.8	34.1	14.1	8.3	6.3	11.9	22.2	11.5	36.0	107.0	699.4
14	1977	84.9	216.6	104.8	40.8	8.7	0.0	1.0	0.0	13.2	37.0	105.1	106.1	718.2
15	1978	236.4	78.5	202.0	91.4	0.0	0.0	0.0	0.0	28.1	26.7	80.8	41.7	785.7
16	1979	118.2	89.4	114.7	56.3	7.8	0.0	1.6	35.0	48.9	1.4	25.3	56.1	554.8
17	1980	122.3	69.6	36.8	0.0	22.0	26.3	28.1	30.5	2.3	93.0	85.0	116.6	632.5
18	1981	188.6	160.8	149.0	1.2	0.0	10.0	0.0	27.8	0.0	8.7	12.5	62.8	621.3
19	1982	131.2	52.1	95.8	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	47.5	115.0	67.3	17.0	527.7
20	1983	125.3	0.0	96.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0	3.0	0.0	191.9	461.4
21	1984	174.3	69.2	60.2	4.0	0.0	2.7	2.7	15.5	16.9	96.3	85.7	133.8	661.3
22	1985	139.6	133.4	120.8	52.8	18.1	9.4	2.0	3.4	35.3	58.4	87.6	119.0	779.7
23	1986	132.2	129.1	141.3	62.6	10.4	0.9	2.8	7.3	16.8	41.9	75.5	117.8	738.5
24	1987	161.2	117.8	111.4	53.9	3.1	1.4	12.1	0.5	2.7	26.9	142.9	168.0	801.9
25	1988	181.3	119.6	152.1	110.2	5.0	0.0	0.0	0.0	4.3	21.4	23.6	72.1	689.7
26	1989	186.1	109.8	171.0	77.6	16.3	10.4	0.0	12.2	51.0	52.5	47.6	132.7	867.3
27	1990	127.1	104.8	71.2	33.8	1.5	25.2	0.0	9.0	11.2	128.8	90.5	130.3	733.4
28	1991	93.3	76.3	87.5	59.3	18.1	14.4	0.0	0.0	12.7	44.9	43.7	70.4	520.6
29	1992	99.2	61.4	115.8	44.3	4.0	13.6	1.1	19.5	19.1	62.8	96.8	53.6	591.1
30	1993	163.0	87.1	116.2	57.4	0.0	1.2	2.0	9.8	26.7	66.0	136.4	114.1	779.9
31	1994	127.5	143.8	128.4	74.9	18.8	0.3	0.0	1.2	9.3	50.5	81.0	127.4	763.1
32	1995	107.4	105.2	131.3	64.4	3.1	1.2	2.8	0.0	16.6	36.0	92.3	117.0	677.3
33	1996	121.3	112.0	155.5	42.7	16.3	0.0	0.0	12.0	24.5	54.2	61.6	115.7	715.8
34	1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0.0	5.2	15.2	8.9	45.5	135.5	64.6	905.7
35	1998	102.3	131.0	97.8	15.5	0.0	0.0	0.0	5.6	1.7	92.2	73.6	92.7	612.4
36	1999	133.3	145.4	83.4	85.7	17.6	3.2	0.3	0.0	44.1	24.4	38.5	127.2	703.1
37	2000	110.4	180.0	121.9	15.6	7.2	6.0	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6	660.0
38	2001	213.0	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	34.7	48.3	76.2	134.4	948.4
39	2002	154.7	205.2	145.7	126.4	32.9	0.0	26.1	4.7	37.4	75.9	87.3	141.5	1,037.8
40	2003	129.2	131.8	160.0	59.6	18.7	6.6	0.0	8.0	1.6	37.5	27.2	125.5	705.7
41	2004	162.6	191.0	80.4	47.0	7.6	8.2	4.2	12.0	51.6	28.9	92.4	98.4	784.3
42	2005	66.3	178.8	120.3	44.9	4.5	0.0	2.7	0.0	7.6	48.3	75.0	93.4	641.8
43	2006	151.2	120.8	92.8	99.0	3.3	5.7	0.0	10.3	23.3	45.4	111.3	102.0	765.1
44	2007	115.8	86.9	174.4	45.1	5.3	0.0	9.0	0.0	15.2	60.7	77.0	73.7	663.1
45	2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7.0	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149.0	716.5
46	2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0.0	6.2	0.0	11.1	32.2	129.0	121.1	659.1
47	2010	161.0	95.8	118.0	48.4	2.6	0.0	0.0	5.7	2.4	62.8	46.6	125.1	668.4
48	2011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4	3.0	51.9	25.3	29.0	131.9	777.9
49	2012	155.2	184.8	103.0	49.0	0.5	3.2	0.8	0.0	14.2	36.4	38.7	149.8	735.6
50	2013	167.0	157.7	78.9	23.5	7.2	7.1	0.0	11.2	1.8	38.1	66.2	162.7	721.4
51	2014	146.9	134.3	55.4	36.7	9.5	0.0	0.2	6.3	24.5	49.2	31.2	156.4	650.6
52	2015	142.0	95.9	106.9	55.2	8.4	2.7	12.6	7.0	10.1	52.5	74.6	136.5	704.4
53	2016	131.4	260.0	53.8	82.8	3.2	0.0	0.3	6.9	19.9	79.0	51.8	77.0	766.1
54	2017	162.3	119.1	126.9	60.8	40.8	0.0	2.2	9.4	22.7	72.9	64.8	103.4	785.3

Fuente: Senamhi

### 5.4.3. Regionalización de la información pluviométrica.

Para determinar la precipitación media en un área en específico, existen varios métodos, como promedio aritmético, inverso a la distancia, polígonos Thiessen;

todas de rápido y sencillo calculo, pero que sin embargo para obras de represamientos como el de nuestro caso ubicado a los 4600 msnm, necesitamos un método que se ajuste a esta realidad mas aun sabiendo que la precipitación en esta área de influencia de estas estaciones, el comportamiento es orográfico (a mayor altitud mayor precipitación).

### **Regionalización Precipitación - Altitud:**

Este modelo, es ampliamente utilizado por el PLAN MERIS II, (1989), permite determinar la precipitación a una altitud especifica (caso nuestro 4600 msnm) con ayuda de una red de estaciones, seleccionando aquella que tenga el mejor ajuste correlacional precipitación altitud. En el cuadro siguiente se presenta la lista de estaciones utilizadas para este fin con sus altitudes correspondientes y su régimen de precipitación anual.

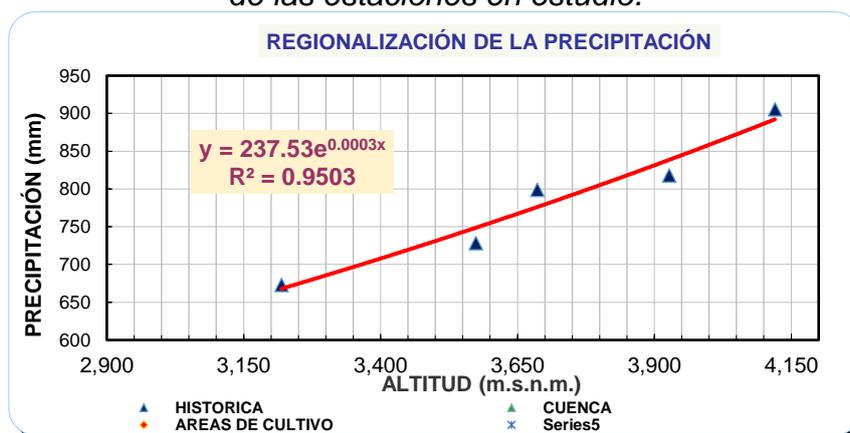
**Tabla 29** *Información básica de las estaciones en estudio para regionalizar*

ESTACION	ALTITUD	PRECIPITACION ANUAL
	msnm	mm
Kayra	3219	673.2
Sicuani	3574	728.4
Yauri	3927	818.1
Pomacanchi	3686	799.1
La Raya	4120	905.7

Fuente: Elaborado por los tesisistas

De la gráfica se deduce que el comportamiento regional de la precipitación en este sector en específico es directamente proporcional a la altitud estrechamente relacionado al factor orográfico de la lluvia.

**Gráfico 7** Comportamiento regional de la precipitación en área de influencia de las estaciones en estudio.



Fuente: elaborado por los tesistas

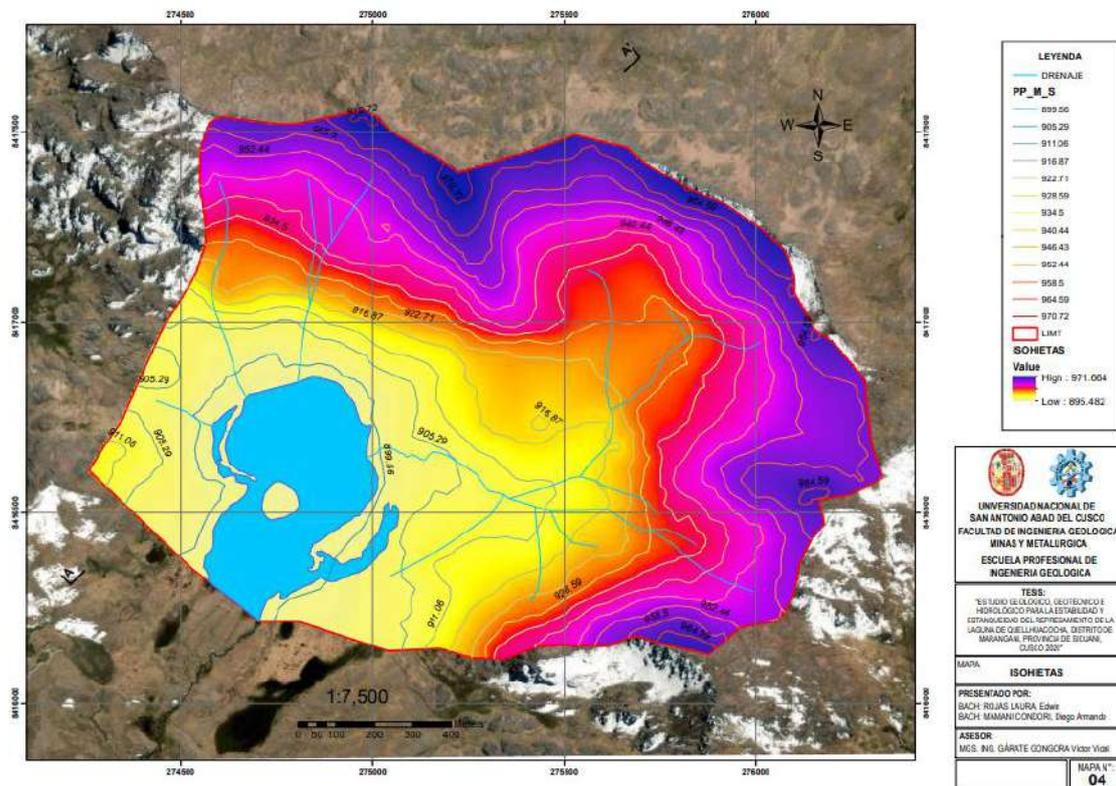
**Tabla 30** Ecuaciones de regresión que mejor se ajusta a la zona de estudio

Variables	1	2	3	4	5
	Lineal	Exponencial	Logarítmico	Polinómico	Potencial
	$y = a x - b$	$y = a e^{bx}$	$y = a \ln(x) - b$	$y = a x^2 - b x + c$	$y = a x^b$
a	0.2502	237.53	908.38	9.000000E-05	0.0531
b	-142.22	0.0003	-6676.5	-0.4374	1.1683
c				1110	
n	54	54	54	54	54
Parámetros de Regresión					
Coef. de correl. r	0.971	0.975	0.966	0.967	0.972
Coef. de determ. R <sup>2</sup>	0.9426	0.9503	0.933	0.9539	0.944

Fuente: elaborado por los tesistas

De acuerdo a este análisis, la precipitación anual de ajusta mejor a un tipo de regresión exponencial ( $y = a e^{bx}$ ), precipitación para la altitud, con un coeficiente de correlación muy alto de  $r = 0.975$ . en base a esta ecuación, se ha estimado los valores de precipitación para cada cambio de altitud, con el cual también se ha confeccionado el mapa de isohietas correspondiente:

Figura 67 Mapa De Isohietas



Fuente: elaborado por los tesistas

Tabla 31 Relación precipitación altitud (isohietas)

ISOHETAS	PP Anual por altitud	PE anual al 75% persistencia
4600	944.16	890.87
4620	949.84	896.55
4640	955.56	902.27
4660	961.31	908.02
4680	967.09	913.81
4700	972.91	919.63
4720	978.77	925.48
4740	984.66	931.37
4760	990.58	937.30
4780	996.54	943.26
4800	1,002.54	949.26
4820	1,008.58	955.29
4840	1,014.64	961.36
4860	1,020.75	967.47
4880	1,026.89	973.61
4900	1,033.07	979.79

Fuente: elaborado por los tesistas

#### 5.4.4. Regionalización mensual de la precipitación:

El método de regresión lineal múltiple, es el modelo que mejores resultados a generado, el cual combina factores de corrección: por altitud, por distancia y altitud-precipitación. En el siguiente cuadro de hoja de cálculo, se muestra el procedimiento, de aplicación de este método:

**Tabla 32** *Parámetros de regionalización precipitación, altitud – distancia*

ESTACIÓN	ALTITUD	COORDENADAS UTM		PRECIPITACIÓN HISTÓRICA (mm/año)	PRECIPITACIÓN CORREGIDA (mm/año)	DIST. HORIZ. CUENCA- ESTACION d <sub>i</sub> (m)	DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE PUNTO INTERES - ESTACIONES h <sub>i</sub> (m)	FACTOR DE PROPORCIONALIDAD DE PRECIPITACION		FACTOR DE INFLUENCIA POR TRANSPORTE DE PRECIPITACION POR ALTITUD	FACTORES DE INFLUENCIA POR DISTANCIA Y ALTITUD DE ESTACIONES A PUNTO INTEREZ						FACTOR DE INFLUENCIA TOTAL F <sub>t</sub> = F <sub>p</sub> * F <sub>ah</sub>	
		N° Ecuacion	2					Proporcion Inversa Distancia			Proporcion Inversa diferencia de alturas		FACTOR INFLUENCIA POR DIST. Y ALTITUD F <sub>ah</sub> = (F <sub>d</sub> + F <sub>a</sub> )/2					
								F <sub>d</sub> = Σ (d <sub>i</sub> )/d <sub>i</sub>	F <sub>a</sub> = (f <sub>1</sub> )/Σ f <sub>1</sub>		f <sub>2</sub> = Σ (h <sub>i</sub> )/h <sub>1</sub>	F <sub>a</sub> = (f <sub>2</sub> )/Σ f <sub>2</sub>						
KAYRA	3,219.00	188,781.00	8,499,423.00	673.25	623.90	119,430.34	1,381.00			1.402	2.17	0.0537	2.8921	0.1138	0.0838	0.117		
SICUANI	3,574.00	221,803.10	8,447,636.34	728.36	694.02	61,415.14	1,026.00			1.296	4.22	0.1045	3.8928	0.1532	0.1288	0.167		
YAURI	3,927.00	258,603.96	8,423,045.98	818.10	771.54	17,417.79	673.00	Constantes necesarias para extrapolar la precipitación: a = 1,345.2 b = 0,00005 c =			1.154	14.89	0.3683	5.9346	0.2336	0.3009	0.347	
POMACANCHI	3,686.00	222,103.32	8,447,639.62	799.11	717.73	61,158.15	914.00				1.182	4.24	0.1049	4.3698	0.1720	0.1384	0.164	
LA RAYA	4,120.00	279022.5	8399654.99	905.72	817.54	17,401.40	480.00				1.042	14.91	0.3686	8.3208	0.3275	0.3481	0.363	
				Σ		259,421.42	3,994.00							40.44	1.00	25.41	1.0000	1.0000

Fuente: elaborado por los tesisistas

Obteniéndose la ecuación de regresión múltiple para la regionalización mensual siguiente:

$$Y = 0.117 * E_1 + 0.167 * E_2 + 0.347 * E_3 + 0.164 * E_4 + 0.363 * E_5$$

Dónde: E1 = estación Kayra. E2 = estación Sicuani. E3 = estación Yauri, E4 = estación Pomacanchi, E5 = estación La Raya.

**Tabla 33 Registro de precipitación media mensual para la cuenca  
Quellhuacocha**

<b>PRECIPITACION MEDIA MENSUAL - QUELLHUACOCHA (mm)</b>															
					Latitud :	14° 18' 50"	S	Departamento :							CUSCO
QUELLHUACOCHA					Longitud :	71° 05' 17"	W	Provincia :							CANCHIS
					Altitud :	4,600	msnm	Distrito :							MARANGANI
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1	1,964	195.2	171.8	170.9	63.9	17.7	0.5	0.5	1.1	16.3	38.8	66.2	115.7	858.6	
2	1,965	139.3	148.2	169.1	69.2	11.2	0.5	1.0	1.5	36.5	61.3	73.5	198.9	910.0	
3	1,966	143.3	202.5	134.1	34.6	31.1	0.5	0.0	1.4	31.4	113.6	93.1	136.1	921.6	
4	1,967	125.8	150.7	204.9	51.8	15.0	1.1	15.4	31.5	40.2	90.0	71.3	143.8	941.3	
5	1,968	212.7	153.2	171.8	47.3	10.9	4.8	29.0	17.8	20.5	89.8	131.4	106.7	996.1	
6	1,969	213.3	167.1	148.4	61.6	10.5	2.7	8.3	4.8	19.8	38.6	85.1	125.8	886.1	
7	1,970	217.6	165.3	149.2	77.0	10.5	1.0	2.4	4.0	54.5	45.5	65.9	176.1	969.1	
8	1,971	207.0	238.9	146.8	66.4	10.5	1.4	0.0	4.6	7.6	42.7	54.7	138.0	918.6	
9	1,972	216.5	161.5	152.5	56.2	11.3	0.5	13.2	37.9	20.2	31.5	80.7	149.6	931.7	
10	1,973	279.8	223.0	191.5	114.2	17.1	0.0	7.1	9.6	43.1	56.9	83.1	113.2	1138.6	
11	1,974	213.9	241.2	171.5	63.0	5.9	12.4	0.4	63.4	20.1	38.6	65.6	111.1	1006.9	
12	1,975	167.5	190.5	154.6	90.3	28.1	3.1	0.0	2.6	34.4	43.3	70.3	159.8	944.6	
13	1,976	210.7	158.2	173.3	41.9	16.3	17.8	4.7	20.3	54.6	18.1	46.3	101.2	863.3	
14	1,977	115.0	227.0	120.3	30.9	10.9	0.0	6.5	0.5	28.4	62.2	137.6	110.2	849.5	
15	1,978	304.9	161.6	127.5	66.8	10.9	0.0	1.1	4.6	26.2	22.9	87.0	161.1	974.6	
16	1,979	188.4	164.7	161.0	79.3	52.4	0.7	0.9	13.3	22.9	42.6	75.9	143.2	945.4	
17	1,980	176.3	160.0	165.4	44.6	18.6	5.1	8.0	5.8	17.4	92.5	96.9	104.9	895.5	
18	1,981	177.8	130.6	266.4	47.4	2.9	4.5	0.2	13.9	29.7	74.1	96.7	140.1	984.5	
19	1,982	182.5	161.4	184.2	62.9	1.5	7.4	2.4	10.4	23.4	61.3	121.9	106.3	925.6	
20	1,983	172.0	148.8	119.0	61.9	5.3	7.2	0.4	1.3	19.1	35.8	39.0	139.5	749.4	
21	1,984	255.8	174.2	138.8	78.8	9.6	11.5	2.7	20.1	14.3	109.7	125.5	137.2	1078.1	
22	1,985	175.2	173.1	150.7	70.0	31.6	10.5	1.6	4.8	39.0	59.7	112.7	140.3	969.3	
23	1,986	170.3	171.4	176.2	73.6	14.4	1.3	1.9	5.4	22.9	32.3	67.6	146.9	884.4	
24	1,987	250.4	113.1	98.8	45.1	8.9	5.9	18.3	0.1	14.4	41.6	118.3	154.0	869.1	
25	1,988	247.0	165.4	201.7	99.1	13.3	1.1	2.4	0.0	13.8	32.1	52.3	114.7	942.9	
26	1,989	204.5	170.8	174.9	59.9	16.4	10.2	0.2	10.3	29.0	57.2	80.0	133.5	946.8	
27	1,990	196.7	164.0	136.8	63.3	14.7	30.9	0.2	9.2	20.0	86.5	98.3	126.8	947.5	
28	1,991	172.0	180.6	162.6	57.6	21.4	21.9	0.9	0.5	37.3	56.7	89.1	126.3	926.8	
29	1,992	176.7	150.9	161.8	53.1	10.1	15.6	0.2	40.2	11.1	72.4	111.5	78.5	882.1	
30	1,993	249.0	141.1	155.0	78.0	10.1	1.0	2.8	13.2	19.9	81.6	149.8	176.3	1077.9	
31	1,994	209.0	204.6	214.0	66.7	20.3	0.5	0.0	0.4	26.0	44.7	87.5	131.9	1005.6	
32	1,995	176.6	150.6	194.9	67.9	11.7	0.7	1.6	1.4	26.7	39.1	92.4	143.8	907.3	
33	1,996	189.8	166.1	153.5	74.8	21.7	0.5	0.0	17.6	24.7	67.5	79.6	140.8	936.5	
34	1,997	228.8	206.1	183.5	60.1	13.3	0.5	1.7	18.4	24.4	48.9	151.3	128.7	1065.6	
35	1,998	194.4	173.1	124.6	34.8	8.4	2.0	0.0	2.4	6.4	69.7	84.4	95.9	796.0	
36	1,999	173.4	193.5	161.7	100.0	14.0	2.2	0.7	0.3	45.6	37.7	65.3	149.7	944.1	
37	2,000	187.3	202.3	183.0	43.6	12.5	7.9	2.9	9.4	16.6	80.7	54.3	146.4	946.8	
38	2,001	262.8	210.4	238.2	76.1	28.2	1.5	14.5	13.3	20.8	50.6	82.9	124.4	1123.8	
39	2,002	164.7	254.0	186.3	77.8	27.6	1.6	26.3	4.4	36.8	82.6	103.9	150.4	1116.5	
40	2,003	194.4	202.1	213.6	61.1	16.1	5.4	0.0	22.9	20.7	37.5	70.7	140.9	985.5	
41	2,004	229.1	187.7	124.7	55.4	13.4	11.2	13.4	17.2	39.0	34.9	86.5	127.5	940.0	
42	2,005	148.4	186.4	175.4	56.1	10.2	1.4	1.0	3.9	9.4	59.8	84.6	143.7	880.4	
43	2,006	247.9	172.8	188.4	78.6	9.4	6.6	0.0	14.2	17.9	77.6	98.8	143.8	1056.0	
44	2,007	173.2	147.2	183.6	73.8	13.8	0.5	5.2	0.0	13.6	55.5	86.4	119.9	872.7	
45	2,008	195.1	151.2	134.2	30.2	14.8	4.1	0.1	2.0	11.9	68.1	79.5	140.7	832.0	
46	2,009	150.0	167.5	137.4	51.8	13.4	0.5	5.1	0.1	13.4	27.7	172.9	134.8	874.6	
47	2,010	238.1	168.8	169.6	50.0	14.1	0.5	0.6	5.1	8.8	61.5	63.7	174.7	955.5	
48	2,011	157.7	213.7	188.4	88.0	16.3	2.8	4.1	0.9	47.0	37.5	79.7	154.6	990.8	
49	2,012	184.2	239.5	162.2	72.2	13.7	2.9	0.3	0.4	22.5	33.5	107.4	166.0	1004.6	
50	2,013	204.7	184.2	129.0	35.6	16.8	9.3	2.1	21.9	13.5	80.4	92.8	178.0	968.3	
51	2,014	183.8	153.5	117.3	45.3	16.3	0.5	4.0	6.1	34.2	83.7	54.8	178.4	877.8	
52	2,015	205.0	151.1	152.6	98.1	19.8	2.5	8.9	10.8	19.7	34.0	77.5	151.0	931.0	
53	2,016	159.6	222.6	109.6	89.6	11.0	0.5	6.3	2.8	14.2	79.8	57.1	108.9	862.2	
54	2,017	185.3	177.9	190.3	68.9	29.3	2.7	1.9	9.1	21.7	64.4	87.4	136.1	975.0	
N° Datos		54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	
Media		196.3	178.1	164.0	64.2	15.5	4.6	4.3	10.0	24.5	57.2	87.9	137.5	944.16	
Desv. Estandar		37.97	30.15	32.13	18.53	8.37	6.12	6.41	12.03	11.66	22.36	27.33	23.55	78.94	
Coef. Variacion		0.19	0.17	0.20	0.29	0.54	1.32	1.48	1.20	0.48	0.39	0.31	0.17	0.08	
Prec. Max		304.9	254.0	266.4	114.2	52.4	30.9	29.0	63.4	54.6	113.6	172.9	198.9	304.9	
Prec. Min.		115.0	113.1	98.8	30.2	1.5	0.0	0.0	0.0	6.4	18.1	39.0	78.5	0.0	
.75% persisten		170.68	157.76	142.30	51.68	9.82	0.50	0.00	1.86	16.65	42.08	69.49	121.64	784.45	

Fuente: elaborado por los tesisistas

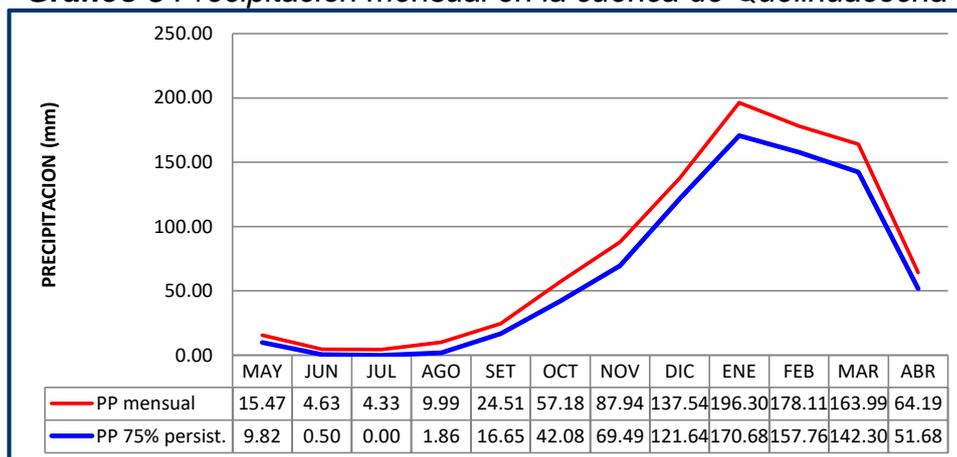
Cabe indicar que la precipitación que se usara para la presente zona es al 75 % de persistencia, pues indica un dato conservador, entendiendo la estacionalidad de las lluvias, la no homogéneas año a año y la tendencia de la mayoría de los meses de lluvia en sentido decreciente. Es decir, el total de precipitación anual que cae en la zona del proyecto a 4600 msnm oscila entre los 784.45 mm/año.

**Tabla 34** Resumen de precipitación media mensual para la cuenca de Quellhuacocha

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Media</b>	196.3	178.1	164.0	64.2	15.5	4.6	4.3	10.0	24.5	57.2	87.9	137.5	944.16
<b>PE. 75% persistencia</b>	<b>170.68</b>	<b>157.76</b>	<b>142.30</b>	<b>51.68</b>	<b>9.82</b>	<b>0.50</b>	<b>0.00</b>	<b>1.86</b>	<b>16.65</b>	<b>42.08</b>	<b>69.49</b>	<b>121.64</b>	<b>784.45</b>

Fuente: elaborado por los tesisistas

**Gráfico 8** Precipitación mensual en la cuenca de Quellhuacocha



Fuente: elaborado por los tesisistas

Indica que el 80.91 % de la precipitación anual cae en el periodo considerado húmedo (Ene, Feb, Mar, Nov y Dic); el 12.85 % de la precipitación anual cae en el periodo considerado sub húmedo (Abr, Oct), y el 6.24 % de la precipitación anual, cae en este periodo considerado de seca (May, Jun, Jul, Agos, Set).

#### 5.4.5. Regionalización de la Temperatura.

Este parámetro es vital para determinar las condiciones de evaporación y evapotranspiración en la cuenca; el método que se ha utilizado es el de regresión lineal simple, teniendo como variables las estaciones de Kayra, Sicuani, Yauri, Pomacanchi y La Raya.

### A. Temperatura máxima media mensual

Proviene de información originaria del SENAMHI, procesada por el método de regresión lineal simple para esta regionalización, a través de la relación matemática siguiente:

$$T = a + b * H$$

$$T = 39.6083 - 0.0058 * H$$

**Tabla 35** *Temperatura máxima media mensual cuenca Quellhuacocha*

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm	MES / TEMPERATURA MAXIMA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
KAYRA	3219.00	19.77	19.85	19.98	20.50	20.80	20.49	20.34	21.00	21.24	21.51	21.54	20.48	<b>20.62</b>
SICUANI	3574.00	19.04	18.95	19.14	19.41	19.32	18.99	18.69	19.61	20.61	20.82	20.68	19.57	<b>19.57</b>
YAURI	3927.00	16.45	15.93	16.17	16.26	16.27	16.01	15.84	16.41	17.52	18.05	18.51	17.44	<b>16.74</b>
POMACANCHI	3686.00	16.62	16.43	16.56	16.83	16.98	16.83	16.53	17.65	18.22	18.43	18.49	17.38	<b>17.25</b>
Promedio	3601.5	18.0	17.8	18.0	18.2	18.3	18.1	17.8	18.7	19.4	19.7	19.8	18.7	<b>18.5</b>
Desv. Estándar	294.5	1.7	1.9	1.9	2.0	2.1	2.0	2.1	2.0	1.8	1.7	1.5	1.6	<b>1.9</b>
Coefic.	<b>a</b>	36.3502	39.1108	38.8018	41.2100	42.6565	41.9848	41.9493	42.7522	39.4403	38.6683	36.6891	35.6890	39.6085
Coefic.	<b>b</b>	-0.0051	-0.0059	-0.0058	-0.0064	-0.0068	-0.0066	-0.0067	-0.0067	-0.0056	-0.0053	-0.0047	-0.0047	-0.0058
Coefic.	<b>r</b>	-0.892	-0.914	-0.905	-0.925	-0.950	-0.958	-0.958	-0.966	-0.908	-0.901	-0.893	-0.893	-0.928
<b>QUELLHUACocha</b>	<b>4,600</b>	<b>12.88</b>	<b>11.88</b>	<b>12.19</b>	<b>11.88</b>	<b>11.60</b>	<b>11.45</b>	<b>11.17</b>	<b>11.99</b>	<b>13.84</b>	<b>14.44</b>	<b>15.12</b>	<b>14.01</b>	<b>12.70</b>

Fuente: elaborado por los tesisistas

El mes de Noviembre la expresa el mes más caluroso del año con 15.12 °C, y el mes con menor valor máximo media mensual se da en Julio con 11.17 °C.

### B. Temperatura mínima media mensual:

Proviene de información originaria del SENAMHI, procesada por el método de regresión lineal simple para esta regionalización, a través de la relación matemática siguiente:

$$T = a + b * H$$

$$T = 33.6869 - 0.0089 * H$$

**Tabla 36** Temperatura mínima media mensual cuenca Quellhuacochoa

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / TEMPERATURA MINIMA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
KAYRA	3219.00	7.27	7.26	6.65	4.29	1.01	-0.86	-1.46	0.50	3.48	5.41	6.14	6.69	<b>3.9</b>
SICJANI	3574.00	5.60	5.60	5.11	3.41	-0.14	-2.61	-2.91	-0.74	2.02	3.92	4.43	5.19	<b>2.4</b>
YAURI	3927.00	1.71	1.74	1.46	-0.95	-6.01	-9.77	-9.75	-8.27	-4.80	-2.44	-1.04	0.52	<b>-3.1</b>
POMACANCHI	3686.00	5.37	5.35	5.08	3.68	0.83	-1.04	-1.34	0.04	2.49	4.00	4.45	4.95	<b>2.8</b>
Promedio	3601.5	4.99	4.99	4.57	2.61	-1.08	-3.57	-3.87	-2.12	0.80	2.72	3.49	4.34	1.5
Desv. Estándar	294.5	2.34	2.33	2.20	2.40	3.33	4.21	3.99	4.13	3.78	3.51	3.13	2.66	<b>3.1</b>
Coefic.	<b>a</b>	31.628	31.483	29.204	26.564	30.344	36.116	32.824	37.436	38.680	39.171	37.184	33.609	33.687
Coefic.	<b>b</b>	-0.0074	-0.0074	-0.0068	-0.0067	-0.0087	-0.0110	-0.0102	-0.0110	-0.0105	-0.0101	-0.0094	-0.0081	-0.0089
Coefic.	<b>r</b>	-0.929	-0.931	-0.915	-0.817	-0.772	-0.771	-0.752	-0.783	-0.820	-0.849	-0.880	-0.900	-0.838
<b>QUELLHUACOCHA</b>	<b>4,600</b>	<b>-2.40</b>	<b>-2.36</b>	<b>-2.25</b>	<b>-4.03</b>	<b>-9.79</b>	<b>-14.57</b>	<b>-14.04</b>	<b>-13.08</b>	<b>-9.71</b>	<b>-7.39</b>	<b>-5.85</b>	<b>-3.78</b>	<b>-7.44</b>

Fuente: elaborado por los tesisistas

El mes más frígido se da en Julio con -14.57 °C.

### C. Temperatura media mensual:

Proviene de información originaria del SENAMHI, procesada por el método de regresión lineal simple para esta regionalización, a través de la relación matemática siguiente:

$$T = a + b * H$$

$$T = 35.4324 - 0.0071 * H$$

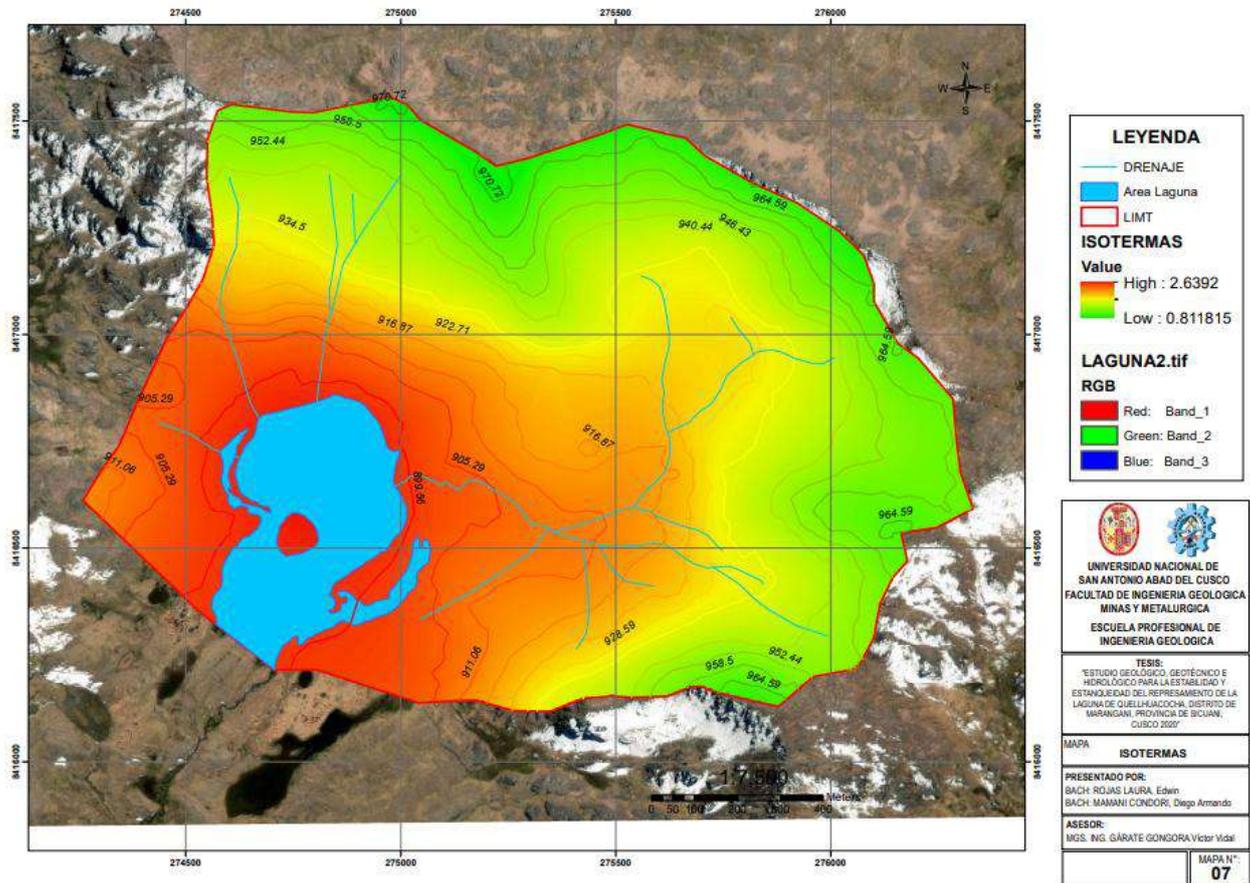
**Tabla 37** Temperatura media mensual cuenca Quellhuacochoa

ESTACION	ALTITUD msnm.	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL MICRICUENCA HUAYJOÑAN												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
KAYRA	3,219	13.43	13.49	13.20	12.25	10.73	9.62	9.33	10.63	12.17	13.37	13.89	13.53	<b>12.14</b>
CAICAY	3,150	14.38	14.34	14.33	13.95	13.08	12.20	11.82	12.81	13.96	14.41	15.04	14.58	<b>13.74</b>
YAURI	3,927	9.09	8.89	8.73	7.68	5.40	3.34	3.40	4.25	6.49	7.88	9.01	9.01	<b>6.93</b>
PISAQ	2,950	16.12	15.94	15.81	15.58	14.84	14.05	13.65	14.44	15.55	16.54	17.24	16.39	<b>15.51</b>
COLQUEPATA	3,729	10.08	10.08	10.15	10.12	9.97	9.46	8.91	9.21	9.78	10.64	11.15	10.72	<b>10.02</b>
Promedio	3395.0	12.62	12.55	12.44	11.92	10.80	9.74	9.42	10.27	11.59	12.57	13.27	12.85	11.67
Desv. Estándar	413.4	2.96	2.96	2.94	3.12	3.58	4.05	3.88	3.92	3.56	3.37	3.24	2.97	3.33
Coefic.	<b>a</b>	36.772	36.792	36.452	36.959	38.083	39.502	38.355	40.559	40.182	39.865	39.522	37.044	<b>38.3406</b>
Coefic.	<b>b</b>	-0.0071	-0.0071	-0.0071	-0.0074	-0.0080	-0.0088	-0.0085	-0.0089	-0.0084	-0.0080	-0.0077	-0.0071	<b>-0.0079</b>
Coefic.	<b>r</b>	-0.994	-0.997	-0.995	-0.978	-0.927	-0.895	-0.909	-0.942	-0.977	-0.986	-0.987	-0.992	<b>-0.974</b>
<b>HUAYJOÑAN</b>	<b>4,004</b>	<b>8.29</b>	<b>8.19</b>	<b>8.13</b>	<b>7.42</b>	<b>5.91</b>	<b>4.39</b>	<b>4.23</b>	<b>4.83</b>	<b>6.46</b>	<b>7.67</b>	<b>8.55</b>	<b>8.50</b>	<b>6.88</b>

Fuente: elaborado por los tesistas

El mes de Noviembre la expresa el mes más caluroso del año con 8.55 °C, y el mes con menor valor medio mensual se da en Julio con 4.23 °C.

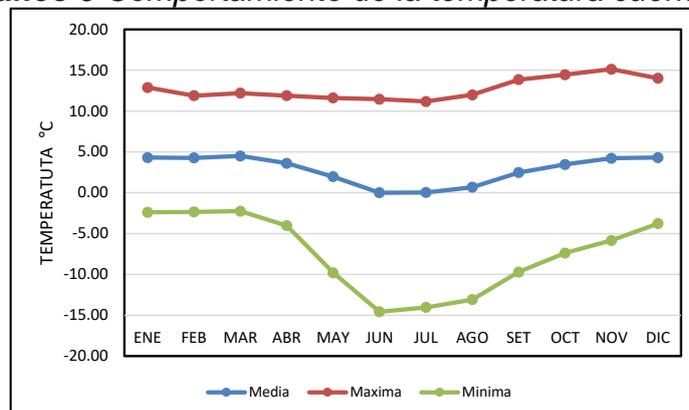
Figura 68 Mapa De Isotermas



Fuente: elaborado por los tesistas

Finalmente, en la gráfica siguiente se expresa de manera esquemática el comportamiento anual de la temperatura.

Gráfico 9 Comportamiento de la temperatura cuenca Quellhuacocha



Fuente: elaborado por los tesistas

#### 5.4.6. Regionalización de la Humedad relativa.

Por el método de la recta de regresión, se ha obteniendo la ecuación de regionalización siguiente:

$$HR = a + b * H$$

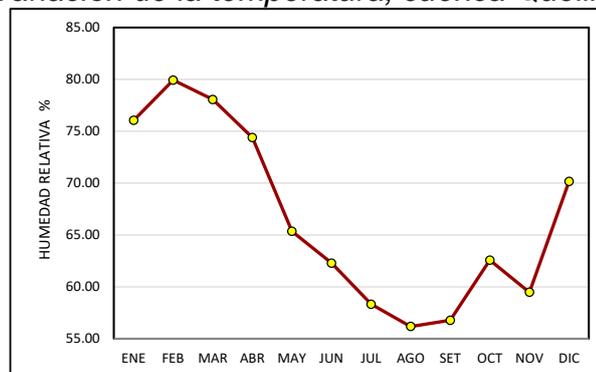
$$HR = 66.79 - 0.000035 * H$$

**Tabla 38** Humedad relativa, cuenca Quellhuacochoa

ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / HUMEDAD RELATIVA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
KAYRA	3,219	74.00	74.85	75.25	73.26	69.59	64.98	65.06	64.25	64.87	63.43	66.62	70.36	<b>68.88</b>
SICUANI	3,574	70.46	71.33	71.33	67.10	61.38	57.28	57.00	56.21	57.63	58.94	60.99	67.00	<b>63.05</b>
YAURI	3,927	75.65	77.84	77.16	75.03	70.03	67.16	64.57	63.10	62.51	64.09	63.28	70.45	<b>69.24</b>
POMACANCHI	3,686	74.15	76.78	76.13	72.17	63.12	56.55	56.65	55.22	58.73	61.35	64.30	70.63	<b>65.48</b>
Promedio	3601.5	73.56	75.20	74.97	71.89	66.03	61.49	60.82	59.70	60.94	61.95	63.80	69.61	66.66
Desv. Estándar	294.5	2.20	2.86	2.55	3.40	4.43	5.37	4.62	4.64	3.35	2.33	2.34	1.74	2.94
Coefic.	<b>a</b>	64.5994	58.1287	63.8281	62.8488	68.4844	58.6356	69.8308	72.3960	75.9598	59.7224	79.3843	67.6454	<b>66.7886</b>
Coefic.	<b>b</b>	0.0025	0.0047	0.0031	0.0025	-0.0007	0.0008	-0.0025	-0.0035	-0.0042	0.0006	-0.0043	0.0005	<b>-0.000035</b>
Coefic.	<b>r</b>	0.333	0.488	0.358	0.217	-0.045	0.044	-0.159	-0.224	-0.367	0.078	-0.546	0.092	<b>-0.004</b>
LAG. QUELLHUACOCHA	4,600	76.05	79.93	78.06	74.39	65.35	62.29	58.32	56.17	56.77	62.57	59.47	70.16	66.63

Fuente: elaborado por los tesistas

**Gráfico 10** Variación de la temperatura, cuenca Quellhuacochoa



Fuente: elaborado por los tesistas

#### 5.4.7. Regionalización de la Evaporación.

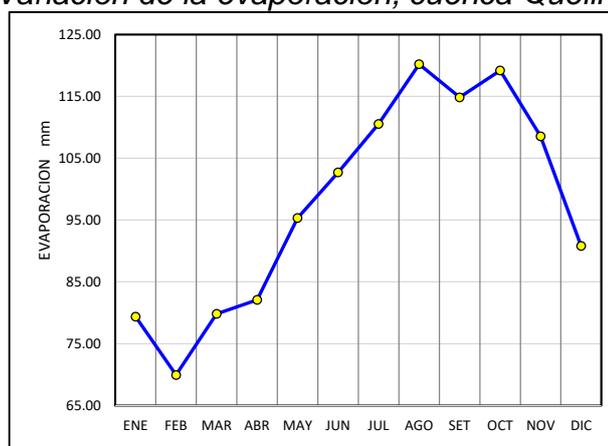
Por el método de la recta de regresión, se ha obteniendo la ecuación de regionalización siguiente, este parámetro es muy importante para determinar el balance hídrico de la laguna Quellhuacochoa.

**Tabla 39** Humedad relativa, cuenca Quellhuacochoa

ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / EVAPORACION												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
KAYRA	3,219	58.50	51.72	58.13	63.03	77.87	84.07	90.26	94.49	87.31	89.28	82.01	69.14	75.48
SICUANI	3,574	81.54	70.79	84.57	94.70	112.05	120.14	130.41	134.65	126.95	134.43	113.74	99.22	108.60
POMACANCHI	3,686	98.10	87.34	96.79	88.55	96.05	103.93	110.99	131.49	130.30	133.85	129.94	104.11	109.29
LAG. QUELLHUACOC HA	4,600	79.38	69.95	79.83	82.09	95.32	102.71	110.56	120.21	114.85	119.19	108.56	90.82	97.79
DIAS DEL MES		31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	
LAMINA EVAPORACION POR DIA		2.6	2.5	2.6	2.7	3.1	3.4	3.6	3.9	3.8	3.8	3.6	2.9	3.21

Fuente: elaborado por los tesisistas

**Gráfico 11** Variación de la evaporación, cuenca Quellhuacocha



Fuente: elaborado por los tesisistas

### 5.5. Clasificación Climática.

En función a los registros de regionalización precipitación y temperatura con relación a cada altitud de nuestra cuenca, se ha determinado que la cuenca del Quellhuacocha está en una zona de vida Tundra pluvial – Alpino Sub Polar

**Tabla 40** Clasificación de la Zona de Vida, cuenca Quellhuacocha

ALTITUD	COEF.	BIO	POTENCIAL	ISOHIETAS	RELACION	ZONA DE VIDA	CLAVE
	CORE C.	ISOTERMAS	EVAPORACION	ANUAL	EVAPORACION		
4600	58.53	2.82	164.89	890.87	0.19	Tundra pluvial - Alpino Sub Polar	Tp-ASP
4650	58.53	2.46	144.14	905.14	0.16		
4700	58.53	2.11	123.39	919.63	0.13		
4750	58.53	1.75	102.64	934.33	0.11		
4800	58.53	1.40	81.89	949.26	0.09		
4850	58.53	1.04	61.14	964.41	0.06		
4900	58.53	0.69	40.39	979.79	0.04		

Fuente: elaborado por los tesisistas

## **5.6. Generación de Máximas Avenidas.**

En este capítulo se desarrolla el cálculo Análisis de Máximas Avenidas, cuya finalidad es la de determinar los caudales máximos de diseños para diferentes periodos de retorno, estimaciones muy importantes para dimensionar las estructuras hidráulicas.

### **5.6.1. Información de Precipitación**

Máxima de 24 Hr Como no se dispone de información sobre eventos extremos máximos (ya sea precipitación o caudales) en el ámbito de estudio, para este análisis de máximas avenidas se utilizó información de precipitación máxima en 24 horas procedente de la estación de Sicuani por ser la más consistente y estar cerca de la zona de estudio, para ello se ha efectuado su análisis de frecuencias, y mediante el métodos convencionales, se determinaron los caudales máximos de diseño para distintos periodos de retorno en el punto de interés que es a la salida de agua de la presa.

Para el análisis de máximas avenidas, se utilizó información cartográfica de cuenca, así como registros de precipitación máxima en 24 horas primero originaria de la estación de Sicuani, correspondiente al periodo variable entre 1957 – 2017, tal como se presenta en el cuadro 42.

**Tabla 41** Registro de precipitación máxima de 24 horas estación Sicuani

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1957									7.3	11	43.5	17.1
1958	30.6	46.2	35	11.4	8.5	0	6.1	7.1	8.1	9.8	25.4	30.4
1959	27	28	29	14	3	0	0	14	10	40	70	70
1960	2.7		2.7	7	10	0	0	0	0	0	5.8	6
1961	8											
1962	6.7	48										
1963												12.7
1964	29	16.5	33	22	17	0	2.5	3.2	8.5	10.5	15.2	8.2
1965	7.3	20.3	20.5	15.2	1.1	0	1.5	2.8	15	23	12	24
1966	13	29.1	16.2	3	15.4	0	0	1.6	9.3	31.5	19	22
1967	14	28.3	22.2	10	3.2	1.4	9	10	11	11	9	29.8
1968	10.4	17	43.7	17	0	0	8	15.5	10	11.3	34	11.2
1969	20.1	14.4	17.8	13.8	3.6	1.8	8	1.6	10	18	14.2	17.9
1970	31	16.5	17.9	14.1	4.1	0	0	0	11.1	11.8	17.5	25
1971	25.2	29.9	24.8	31.8	4.5	0	0	0	0	0	1.5	9.8
1972	19.2	14.2	15.6	24.7	3.1	0	11	15.5	0	4.1	10.3	14.8
1973	26.8	22.2	19.9	18.4	3.1	0	1.6	7.3	4.1	10.9	9.3	18.6
1974	20.4	32.5	17.2	9.5	0.8	4.3	0	4.9	19.2	3.6	8.5	
1975	22.8	16.4	20.8	7.5	6.2	0.4	0	5.2	12.3	5.3	15.2	25.4
1976	22.6	9.8	19.8	8.1	8.8	4.1	3.7	7.5	6.1	7.8	10.7	16.5
1977	22.2	24.8	19.2	10.4	3.2	0	0.8	0	10.1	10.2	12	19.8
1978	24.5	17.8	42.8	18.8	0	0	0	0	16.7	12	20.4	11.9
1979	20.6	28.7	10.8	18.2	2.6	0	0.9	10.2	15.4	0.8	4.9	18
1980	26.8	18.2	12.6	0	11	15.2	10.6	18.8	1.6	34.8	37.2	16
1981	28.6	35.5	31.6	0.8	0	6.9	0	18.4	0	6	8.6	11.2
1982	23.8	10.9	20.2	0	0	0	0.9	0	10.6	21.3	11.2	7.9
1983	29.9	0	9.8	0	0	0	0	0	6.9	1	0	46.2
1984	34.8	20.7	22.5	3	0							
1987							7.7	0.5	2.5	5.5	21.4	
1988		18.1	22.9	14.4	4	0						
1989							0	5		14.1	6.5	34.6
1990	13.2	23.9	22	8.1								
1991	13.5	19.5	29.2	21.8	6.4	8	0	0	6.5	15	9.5	
1992	7.9	6.5						14.2	8.3	14.5	27.4	10
1993	27.7	17.5	29.5	12.7	0	1.2	1.5	4.8	11.5	20.2	30.4	21.5
1994	23.1	19.3	20	20	10	0.3	0	1.2	4.1	17.9	15.4	24.5
1995	18.8	16.6	14	17.5	3.1	1.2	1.6	0	6.5	8	23.4	27
1996	12.7	17.9	40.6	14.3	7.3	0	0	7.4	10.6	15	11.6	16.8
1997	20.6	40.5	28	16.1	2	0	5.2	6.5	5.8	7.7	17.5	14.5
1998	24.2	28.1	10.2	6.3	0	0	0	4.2	1.7	26.3	10	28.8
1999	16.4	18.2	10.8	18.8	13.9	3.2	0.3	0	16.5	6	10.6	24.8
2000	17.2	22.5	22.3	6.2	4	6	4.4	1.3	8.3	25.8	8.9	15.3
2001	35.4	18.6	31.6	16.5	10.2	1.2	5.7	4.4	14.8	17.1	14.5	36
2002	32.5	27.7	17.2	34.6	16	0	6	3.2	8.2	15.2	16.5	23.1
2003	26	12.3	24.8	15	6.6	6.6	0	6.1	1.2	9.7	9.5	30.4
2004	16.1	34.1	18.5	14.4	2.9	2.7	2.8	5.6	12	7.7	14	15.6
2005	12.8	44.4	23.5	9.1	4.5	0	1.6	0	6.2	11.1	18.1	15
2006	18.3	23.5	12.1	29.8	3.3	5.3	0	8	8.3	8.2	19	25.2
2007	24.5	12.5	28.8	8.4	1.9	0.0	6.8	0.0	12.5	12.6	20.2	18.6
2008	18.2	22.9	31.3	7.4	6.0	0.7	0.6	0.6	1.6	23.7	9.0	24.7
2009	13.6	15.5	11.9	10.1	5.2	0.0	3.7	0.0	4.8	12.3	18.4	20.0
2010	24.7	20.6	22.3	19.1	2.3	0.0	0.0	5.7	1.6	13.4	23.7	22.7
2011	12.7	11.4	22.8	32.5	12.4	2.9	2.9		11.0	14.6	6.8	34.1
2012	31.5	31.6	17.5	16.6	0.5	3.2	0.8	0.0	5.5	9.4	15.0	22.4
2013	15.8	25.8	11.2	5.8	6.3	3.5	0.0	7.4	0.9	7.0	13.2	20.7
2014	19.6	23.3	15.9	11.0	3.8	0.0	0.2	5.9	10.0	8.5	5.6	23.3
2015	28.5	20.2	17.9	12.4	3.8	2.4	9.4	5.5	5.5	14.1	19.7	21.0
2016	34.2	32.2	11.0	20.3	2.5	0.0	0.3	3.6	6.7	12.9		15.7
2017	22.2	27.4	18.0	20.8	14.9	0.0	2.2		11.3	40.1		

Fuente: elaborado por los tesisistas

Posteriormente a esta información nativa de Sicuani, esta información se tuvo que extrapolar a la zona de estudio, para ello se cuenta con la metodología de factor de corrección entre ambos puntos, obteniendo para la zona de estudio un valor de factor de corrección de **fc = 1.12**. con lo cual se procede a ajustar la información de la estación de Sicuani a la cuenca de Quellhuacocha, tal como se observa en el siguiente cuadro:

**Tabla 42** Registro de precipitación máxima de 24 horas para Quellhuacocha

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	35.47	20.18	40.36	26.91	20.79	0.00	3.06	3.91	10.40	12.84	18.59	10.03
1966	15.90	35.59	19.81	3.67	18.84	0.00	0.00	1.96	11.38	38.53	23.24	26.91
1967	17.12	34.61	27.15	12.23	3.91	1.71	11.01	12.23	13.45	13.45	11.01	36.45
1968	12.72	20.79	53.45	20.79	0.00	0.00	9.79	18.96	12.23	13.82	41.59	13.70
1970	37.92	20.18	21.89	17.25	5.01	0.00	0.00	0.00	13.58	14.43	21.40	30.58
1971	30.82	36.57	30.33	38.90	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	11.99
1973	32.78	27.15	24.34	22.51	3.79	0.00	1.96	8.93	5.01	13.33	11.38	22.75
1974	24.95	39.75	21.04	11.62	0.98	5.26	0.00	5.99	23.48	4.40	10.40	26.34
1975	27.89	20.06	25.44	9.17	7.58	0.49	0.00	6.36	15.04	6.48	18.59	31.07
1978	29.97	21.77	52.35	22.99	0.00	0.00	0.00	0.00	20.43	14.68	24.95	14.56
1979	25.20	35.10	13.21	22.26	3.18	0.00	1.10	12.48	18.84	0.98	5.99	22.02
1980	32.78	22.26	15.41	0.00	13.45	18.59	12.97	22.99	1.96	42.56	45.50	19.57
1981	34.98	43.42	38.65	0.98	0.00	8.44	0.00	22.51	0.00	7.34	10.52	13.70
1983	36.57	0.00	11.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.44	1.22	0.00	56.51
1991	16.51	23.85	35.72	26.66	7.83	9.79	0.00	0.00	7.95	18.35	11.62	26.34
1993	33.88	21.40	36.08	15.53	0.00	1.47	1.83	5.87	14.07	24.71	37.18	26.30
1995	22.99	20.30	17.12	21.40	3.79	1.47	1.96	0.00	7.95	9.79	28.62	33.02
1996	15.53	21.89	49.66	17.49	8.93	0.00	0.00	9.05	12.97	18.35	14.19	20.55
1997	25.20	49.54	34.25	19.69	2.45	0.00	6.36	7.95	7.09	9.42	21.40	17.74
1998	29.60	34.37	12.48	7.71	0.00	0.00	0.00	5.14	2.08	32.17	12.23	35.23
2000	21.04	27.52	27.28	7.58	4.89	7.34	5.38	1.59	10.15	31.56	10.89	18.71
2001	43.30	22.75	38.65	20.18	12.48	1.47	6.97	5.38	18.10	20.92	17.74	44.03
2002	39.75	33.88	21.04	42.32	19.57	0.00	7.34	3.91	10.03	18.59	20.18	28.25
2003	31.80	15.04	30.33	18.35	8.07	8.07	0.00	7.46	1.47	11.86	11.62	37.18
2004	19.69	41.71	22.63	17.61	3.55	3.30	3.42	6.85	14.68	9.42	17.12	19.08
2005	15.66	54.31	28.74	11.13	5.50	0.00	1.96	0.00	7.58	13.58	22.14	18.35
2006	22.38	28.74	14.80	36.45	4.04	6.48	0.00	9.79	10.15	10.03	23.24	30.82
2007	29.97	15.29	35.23	10.27	2.32	0.00	8.32	0.00	15.29	15.41	24.71	22.75
2008	22.26	28.01	38.28	9.05	7.34	0.86	0.73	0.73	1.96	28.99	11.01	30.21
2011	15.53	13.94	27.89	39.75	15.17	3.55	3.55	5.99	13.45	17.86	8.32	41.71
2012	38.53	38.65	21.40	20.30	0.61	3.91	0.98	0.00	6.73	11.50	18.35	27.40
2013	19.33	31.56	13.70	7.09	7.71	4.28	0.00	9.05	1.10	8.56	16.15	25.32
2015	34.86	24.71	21.89	15.17	4.65	2.94	11.50	6.73	6.73	17.25	24.10	25.69
2016	41.83	39.38	13.45	24.83	3.06	0.00	0.37	4.40	8.19	15.78	19.93	19.20
2017	27.15	33.51	22.02	25.44	18.22	0.00	2.69	5.99	13.82	49.05	19.93	26.34

Fuente: elaborado por los tesisistas

### 5.6.2. Prueba de Outliers o Datos Dudosos.

Los datos dudosos de Outliers son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. Estos pueden darse debido a errores en la toma del registro o en la recolección de datos que causan dificultad al momento de ajustar una distribución a los datos.

Las siguientes ecuaciones de frecuencia pueden utilizarse para detectar datos dudosos altos y bajos:

$$yH = \hat{y} + K_n * S_y$$

$$yL = \hat{y} - K_n * S_y$$

Donde  $y_H$  es el umbral de datos dudosos altos,  $y_L$  es el umbral de dato dudoso bajo y  $K_n$  es tal como se muestra en la tabla 1, para un tamaño de muestra  $n$ .

**Tabla 43** Valores de  $K_n$  para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra $n$	$K_n$						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

**Tabla 44** Parámetros estadísticos de registro de 24 horas

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (n)	21.00	21.000
Sumatoria	808.20	32.944
Valor Máximo	58.60	1.768
Valor Mínimo	18.20	1.260
Media:	38.49	1.569
Varianza:	106.41	0.016
Desviación Estándar:	10.32	0.127
Coeficiente Variación:	0.27	0.081
Coeficiente de Sesgo:	-0.10	-0.7386
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

Fuente: elaborado por los tesistas

Valor recomendado, varía según el valor de  $n$  (significancia:10%)  $K_n = 2.408$

➤ Umbral de datos dudosos **altos** ( $x_H$ : **unidad. Logarítmicas**)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$

$$x_H = 1.87$$

*Precipitación máxima aceptada*

$$PH = 10^{xH}$$

$$PH = 74.93 \text{ mm}$$

*Conclusión no existen datos dudosos altos que se pueda eliminar en el registro de datos.*

➤ *Umbral de datos dudosos bajos (xL: unidad. Logarítmicas)*

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s$$

$$xL = 1.26$$

*Precipitación mínima aceptada*

$$PH = 10^{xH}$$

$$PL = 18.32 \text{ mm}$$

*Conclusión no existen datos dudosos altos que se pueda eliminar en el registro de datos.*

### **Discusión resultados:**

Comparando con el registro de precipitaciones máximas resumidas de la estación de Quellhuacocha, el valor de 58.60 es menor al valor máximo aceptada 74.93, por tanto, no necesita corrección por eliminación del registro original. Comparando con el registro de precipitaciones mínimas resumidas de la estación de Quellhuacocha, el valor de 18.20 es menor al valor máximo mínimo aceptada 18.32, por tanto no necesita corrección por eliminación del registro original.

### **5.6.3. Distribuciones Teóricas**

Los estudios hidrológicos necesitan del análisis de muchísima información hidrometeorológica, como es el caso de data de precipitación, temperatura, evaporación, entre otros.

Los datos registros recopilados, solo presentan información en bruto, pero si se ordenan y analizan de forma eficiente entregan al especialista en hidrología,

información fidedigna de gran utilidad que nos permite realizar cálculos de alta precisión y con ello poder tomar decisiones y recomendaciones para el diseño de estructuras hidráulicas como es el caso de la altura de represamiento, diseño de aliviadero, obras de arte, etc. es por ello que se necesita del análisis de la información la hidrología utilizando procedimientos probabilidades y estadísticos, siendo este en un esfuerzo para analizar y explicar los fenómenos naturales.

Estos datos de Precipitación máxima de 24 hr, fueron procesados en el programa **Hidroesta**, para ello se usaron las pruebas probabilísticas de:

- Distribución Normal,
- Distribución Log Normal 2 Parámetros
- Distribución Log Normal 3 Parámetros
- Distribución Gamma 2 Parámetros
- Distribución Gamma 3 Parámetros
- Distribución Log Pearson Tipo Iii
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Gumbel

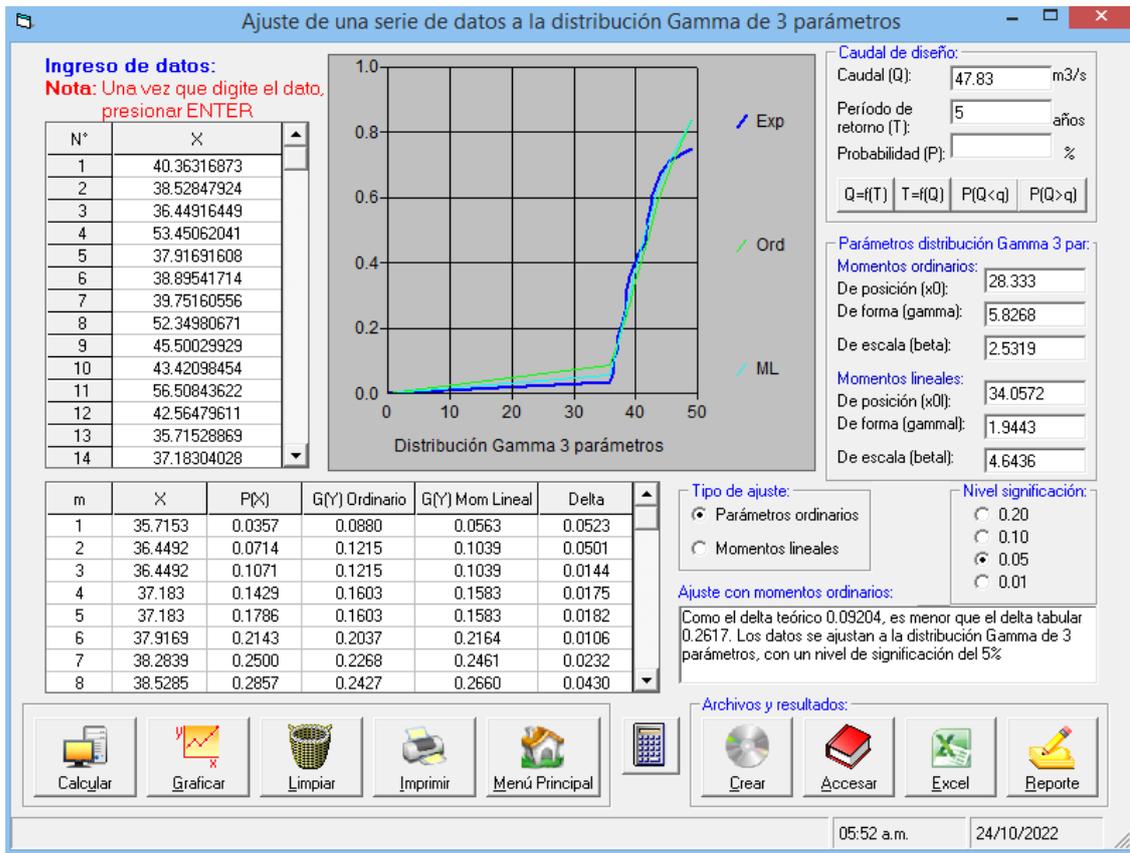
Para determinar a qué distribución probabilística se ajusta mejor este rango de datos, se ha recurrido a la prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov, obteniendo el cuadro siguiente.

**Tabla 45** Prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov para las diversas distribuciones teóricas

$\Delta$ TABULAR	$\Delta$ TEORICO DE LAS DISTRIBUCIONES							
	DISTRIBUCION NORMAL	DISTRIBUCION LOG NORMAL L 2 PARAMETROS	DISTRIBUCION LOG NORMAL L 3 PARAMETROS	DISTRIBUCION GAMMA A 2 PARAMETROS	DISTRIBUCION GAMMA A 3 PARAMETROS	DISTRIBUCION LOG PEARSON TIPO III	DISTRIBUCION GUMBEL	DISTRIBUCION LOG GUMBEL
0.2617	0.1411	0.1159	0.1076	0.1249	0.092004	0.09846	0.1016	0.1081
MIN $\Delta$	0.092004							

Fuente: elaborado por los tesistas

Figura 69 Captura de pantalla de hoja de Hidroesta, procesando información para Distribución Gamma 3 Parámetros o Pearson tipo III



Fuente: Procesado en Hidroesta.

**Tabla 46** cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	35.7153	0.0357	0.0880	0.0563	0.0523
2	36.4492	0.0714	0.1215	0.1039	0.0501
3	36.4492	0.1071	0.1215	0.1039	0.0144
4	37.183	0.1429	0.1603	0.1583	0.0175
5	37.183	0.1786	0.1603	0.1583	0.0182
6	37.9169	0.2143	0.2037	0.2164	0.0106
7	38.2839	0.2500	0.2268	0.2461	0.0232
8	38.5285	0.2857	0.2427	0.2660	0.0430
9	38.6508	0.3214	0.2507	0.2759	0.0707
10	38.8954	0.3571	0.2670	0.2957	0.0901
11	39.7516	0.3929	0.3257	0.3639	0.0671
12	40.3632	0.4286	0.3686	0.4111	0.0599
13	41.7086	0.4643	0.4629	0.5078	0.0014
14	41.7086	0.5000	0.4629	0.5078	0.0371
15	41.8309	0.5357	0.4714	0.5161	0.0644
16	42.3202	0.5714	0.5047	0.5482	0.0668
17	42.5648	0.6071	0.5210	0.5637	0.0861
18	43.421	0.6429	0.5764	0.6147	0.0664
19	44.0325	0.6786	0.6139	0.6483	0.0646
20	45.5003	0.7143	0.6958	0.7193	0.0185
21	49.0474	0.7500	0.8420	0.8420	0.0920
22	49.5366	0.7857	0.8568	0.8545	0.0711
23	49.6589	0.8214	0.8603	0.8575	0.0389
24	52.3498	0.8571	0.9211	0.9101	0.0640
25	53.4506	0.8929	0.9384	0.9259	0.0455
26	54.3068	0.9286	0.9494	0.9363	0.0208
27	56.5084	0.9643	0.9700	0.9570	0.0057

Fuente: Propia De Los Tesis

El registro de 24 horas de la estación Quellhuacocha se ajusta mejor a una distribución teórica de tipo Gamma de 3 parámetros, el cual a través de este se generó las intensidades máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno.

### Distribución gamma de 3 parámetros o Pearson tipo III

#### Función densidad

Figura 70 Su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$$

## Función acumulada

Figura 71 La función de distribución acumulada de la distribución gamma de 3 parámetros es:

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} dx$$

### 5.6.4. Análisis de Tormentas

Se define tormenta, al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. Una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días, y puede abarcar desde una zona pequeña hasta una extensa región. Desde las tormentas interesa conocer por tanto la Intensidad - Duración – Frecuencia.

- Intensidad: Se mide en mm/hora, y su valor, varía durante la tormenta
- Duración: Se mide en minutos o en horas, es el tiempo transcurrido entre el comienzo y el final de la tormenta.
- Periodo de Duración: es un concepto importante, es un periodo de tiempo dentro de la duración de la tormenta, se escogen periodos de duración tipos, por ejemplo: 10 min, 30 min, 60 min, 120 min, 240 min; lo que busca son las intensidades máximas para estos periodos de duración.
- Frecuencia: Una tormenta de frecuencia  $1/x$ , significa que es probable que se presente, como término medio, una vez cada  $x$  años. Los  $x$  años vienen a constituir el tiempo de retardo o periodo de retorno de dicha tormenta.

Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno:

**Tabla 47** *Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno*

T (años)	Probabilidad P	Distribución Normal X <sub>t</sub>
2	0.500	42.25
5	0.200	47.83
10	0.100	51.26
25	0.040	55.31
50	0.020	58.15
100	0.010	60.85
500	0.002	66.74
1000	0.001	69.11
$\Delta$	<b>0.2617</b>	<b>0.0920</b>

Fuente: Procesado en Hidroesta.

Según la Organización, Meteorológica Mundial (OMM), recomienda un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1.13; para el caso en específica de la estación de Quellhuacocha, según el SENAMHI, las lecturas de precipitación máxima de 24 horas se realizan al finalizar el día, lo cual lo consideramos como una medición al día. Entonces corrigiendo los valores de la tabla anterior se tiene:

**Tabla 48** *Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno corregido*

T (años)	Probabilidad P	Distribución Normal X <sub>t</sub>
2	0.500	49.4940
5	0.200	60.6471
10	0.100	66.4892
25	0.040	72.7155
50	0.020	76.7383
100	0.010	80.3543
500	0.002	87.6767
1000	0.001	90.4904

Fuente: elaborado por los tesisistas

### Intensidad de Diseño

Para ello se ha desarrollado a través de la distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gamma de 3 parámetros.

Para ello se ha utilizado los coeficientes de reducción para las relaciones lluvia y tiempo de duración, propuesta por D. F Campos A. 1978.

**Tabla 49** *coeficientes de reducción para las relaciones lluvia y tiempo de duración*

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Fuente: elaborado por los tesisistas

Obteniendo las precipitaciones máximas diarias de diseño para diferentes tiempos de duración de lluvia intensa, según se detalla en el cuadro siguiente:

**Tabla 50** *Precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes tiempos de duración de lluvias*

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración							
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años	Prob. Ocu.
24 hr	X24	41.58	51.88	58.69	67.31	73.69	80.04	94.69	66.84
18 hr	X18 = 91%	37.84	47.21	53.41	53.84	67.06	72.83	86.17	59.77
12 hr	X12 = 80%	33.27	41.50	46.95	53.84	58.96	64.03	75.75	53.47
8 hr	X8 = 68%	28.28	35.28	39.91	45.77	50.11	54.42	64.39	45.45
6 hr	X6 = 61%	25.36	31.64	35.80	41.06	44.95	48.82	57.76	40.77
5 hr	X5 = 57%	23.70	29.57	33.46	38.36	42.01	45.62	53.97	38.10
4 hr	X4 = 52%	21.62	26.98	30.52	35.00	38.32	41.62	49.24	34.76
3 hr	X3 = 46%	19.13	23.86	27.00	30.96	33.90	36.82	43.56	30.75
2 hr	X2 = 39%	16.22	20.23	22.89	26.25	28.74	31.21	36.93	26.07
1 hr	X1 = 30%	12.47	15.56	17.61	20.19	22.11	24.01	28.41	20.05

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

Ahora para estimar la intensidad máxima a tiempos de duración de minutos, se utilizó la ecuación exponencial siguiente:

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

Donde: I = Intensidad de precipitación mm/hora; P = precipitación máxima diaria (24 hr); t = tiempo de duración de tormenta que equivale al tiempo de concentración.

**Tabla 51** *Tabla de Intensidades – Tiempo de duración*

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	2.062	2.527	2.770	3.030	3.197	3.348	3.653
18 hr	1080	2.502	3.066	3.361	3.232	3.880	4.062	4.433
12 hr	720	3.300	4.043	4.433	4.848	5.116	5.357	5.845
8 hr	480	4.207	5.155	5.652	6.181	6.523	6.830	7.453
6 hr	360	5.032	6.166	6.760	7.393	7.802	8.169	8.914
5 hr	300	5.642	6.914	7.580	8.290	8.748	9.160	9.995
4 hr	240	6.434	7.884	8.644	9.453	9.976	10.446	11.398
3 hr	180	7.589	9.299	10.195	11.150	11.767	12.321	13.444
2 hr	120	9.651	11.826	12.965	14.180	14.964	15.669	17.097
1 hr	60	14.848	18.194	19.947	21.815	23.021	24.106	26.303

Fuente: elaborado por los tesisistas

### Curva intensidad duración frecuencia

Se ha utilizado la relación matemática polinómica exponencial siguiente:

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

Donde:

- I = Intensidad (mm/hr)  
t = Duración de la lluvia (min)  
T = Período de retorno (años)  
K, m, n = Parámetros de ajuste

Para determinar estos coeficientes se ha utilizado la aplicación análisis de datos del Excel, en su opción parámetros de regresión (cuadro 58), en función a sus logaritmos (cuadro 59) obteniendo el cuadro siguiente:

**Tabla 52** *Coefficientes de regresión lineal múltiple*

Resumen				
<i>Estadísticas de la regresión</i>				
Coefficiente de correlación múltiple		0.996132996		
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.992280946		
R <sup>2</sup> ajustado		0.992050527		
Error típico		0.02361818		
Observaciones		70		
ANÁLISIS DE VARIANZA				
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>
Regresión	2	4.804389909	2.402194954	4306.41009
Residuos	67	0.037373835	0.000557818	
Total	69	4.841763744		
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	2.28746206	0.018540631	123.375629	9.67046E-81
Variable X 1	0.098329221	0.003736284	26.31738375	4.79233E-37
Variable X 2	-0.61884879	0.006953702	-88.99559255	2.70594E-71

Fuente: elaborado por los tesistas

**Tabla 53 Logaritmos**

<b>I (mm/hr)</b>	<b>T (años)</b>	<b>t (horas)</b>	<b>LOG (I)</b>	<b>LOG (T)</b>	<b>LOG (t)</b>
2.062	2	1440	0.314	0.301	3.158
2.502	2	1080	0.398	0.301	3.033
3.300	2	720	0.518	0.301	2.857
4.207	2	480	0.624	0.301	2.681
5.032	2	360	0.702	0.301	2.556
5.642	2	300	0.751	0.301	2.477
6.434	2	240	0.808	0.301	2.380
7.589	2	180	0.880	0.301	2.255
9.651	2	120	0.985	0.301	2.079
14.848	2	60	1.172	0.301	1.778
2.527	5	1440	0.403	0.699	3.158
3.066	5	1080	0.487	0.699	3.033
4.043	5	720	0.607	0.699	2.857
5.155	5	480	0.712	0.699	2.681
6.166	5	360	0.790	0.699	2.556
6.914	5	300	0.840	0.699	2.477
7.884	5	240	0.897	0.699	2.380
9.299	5	180	0.968	0.699	2.255
11.826	5	120	1.073	0.699	2.079
18.194	5	60	1.260	0.699	1.778
2.770	10	1440	0.443	1.000	3.158
3.361	10	1080	0.527	1.000	3.033
4.433	10	720	0.647	1.000	2.857
5.652	10	480	0.752	1.000	2.681
6.760	10	360	0.830	1.000	2.556
7.580	10	300	0.880	1.000	2.477
8.644	10	240	0.937	1.000	2.380
10.195	10	180	1.008	1.000	2.255
12.965	10	120	1.113	1.000	2.079
19.947	10	60	1.300	1.000	1.778
3.030	25	1440	0.481	1.398	3.158
3.232	25	1080	0.509	1.398	3.033
4.848	25	720	0.686	1.398	2.857
6.181	25	480	0.791	1.398	2.681
7.393	25	360	0.869	1.398	2.556
8.290	25	300	0.919	1.398	2.477
9.453	25	240	0.976	1.398	2.380
11.150	25	180	1.047	1.398	2.255
14.180	25	120	1.152	1.398	2.079
21.815	25	60	1.339	1.398	1.778
3.197	50	1440	0.505	1.699	3.158
3.880	50	1080	0.589	1.699	3.033
5.116	50	720	0.709	1.699	2.857
6.523	50	480	0.814	1.699	2.681

7.802	50	360	0.892	1.699	2.556
8.748	50	300	0.942	1.699	2.477
9.976	50	240	0.999	1.699	2.380
11.767	50	180	1.071	1.699	2.255
14.964	50	120	1.175	1.699	2.079
23.021	50	60	1.362	1.699	1.778
3.348	100	1440	0.525	2.000	3.158
4.062	100	1080	0.609	2.000	3.033
5.357	100	720	0.729	2.000	2.857
6.830	100	480	0.834	2.000	2.681
8.169	100	360	0.912	2.000	2.556
9.160	100	300	0.962	2.000	2.477
10.446	100	240	1.019	2.000	2.380
12.321	100	180	1.091	2.000	2.255
15.669	100	120	1.195	2.000	2.079
24.106	100	60	1.382	2.000	1.778
3.653	500	1440	0.563	2.699	3.158
4.433	500	1080	0.647	2.699	3.033
5.845	500	720	0.767	2.699	2.857
7.453	500	480	0.872	2.699	2.681
8.914	500	360	0.950	2.699	2.556
9.995	500	300	1.000	2.699	2.477
11.398	500	240	1.057	2.699	2.380
13.444	500	180	1.129	2.699	2.255
17.097	500	120	1.233	2.699	2.079
26.303	500	60	1.420	2.699	1.778

Fuente: elaborado por los tesistas

Hallando sus valores de la ecuación central como se observa a continuación:

$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$	Parametros de la Regresión Multiple	
	B0 = 2.28746	K = 193.848
	B1 = 0.09833	m = 0.098
	B2 = -0.61885	n = 0.6188

A partir del desarrollo de estos cuadros, se tiene la ecuación de las curvas de intensidad duración frecuencia , para diversos periodos de retorno y tiempos de duración siguiente:

**Figura 35:** Ecuación de intensidad válida para la cuenca Quelhuacocha.

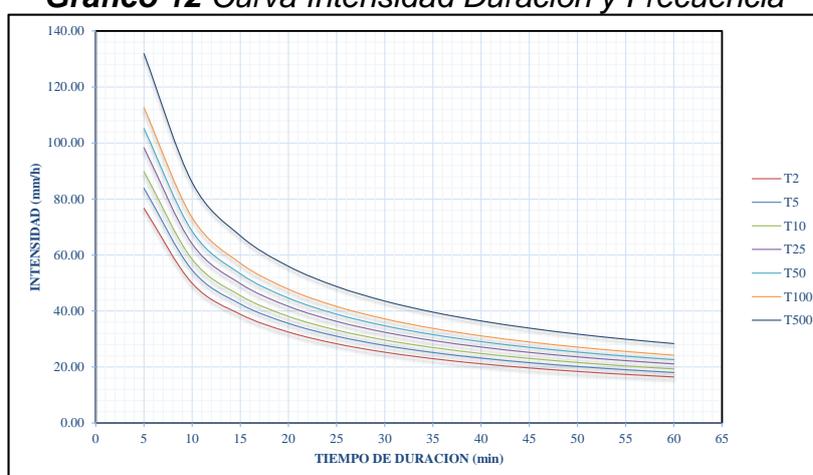
$I = \frac{193.858 \cdot T^{0.098}}{t^{0.619}}$	<p><b>Donde:</b></p> <p>I = intensidad de precipitación (mm/hr)</p> <p>T = Periodo de Retorno (años)</p> <p>t = Tiempo de duración de precipitación (min)</p>
---	---

Fuente: elaborado por los tesistas

**Tabla 54** Valores de intensidad de lluvia VS período de retorno

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	76.65	49.91	38.84	32.50	28.31	25.29	22.99	21.17	19.68	18.44	17.38	16.47
5	83.88	54.62	42.50	35.57	30.98	27.68	25.16	23.16	21.53	20.17	19.02	18.02
10	89.79	58.47	45.50	38.08	33.17	29.63	26.93	24.80	23.05	21.60	20.36	19.29
25	98.26	63.98	49.78	41.67	36.29	32.42	29.47	27.13	25.23	23.63	22.28	21.11
50	105.19	68.50	53.30	44.60	38.85	34.71	31.55	29.05	27.00	25.30	23.85	22.60
100	112.60	73.33	57.05	47.75	41.59	37.15	33.77	31.09	28.91	27.08	25.53	24.19
500	131.91	85.90	66.84	55.94	48.72	43.52	39.56	36.42	33.86	31.73	29.91	28.34

Fuente: elaborado por los tesistas

**Gráfico 12** Curva Intensidad Duración y Frecuencia

Fuente: elaborado por los tesistas

### 5.6.5. Caudal Máximo De Diseño.

#### a) Periodo de retorno:

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado por lo menos una vez, se llama Periodo de Retorno. Para el presente calculo nos hemos guiado en el Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito del MTC, pues para presas en específico no se tiene un documento oficial para un periodo de retorno, por lo tanto según este manual, recomienda adoptar periodos de retorno no inferiores a 175 años para puentes y pontones. Por lo tanto, tomando en cuenta experiencias anteriores de estudios de drenaje en carreteras, en la tabla 56 se indican los valores de periodo de retorno a ser considerados para el cálculo de caudales y diseño de estructuras de drenaje.

**Tabla 55** Periodos de retorno en función a las estructuras

PERIODO DE RETORNO - ESTRUCTURAS DE DRENAJE	
DESCRIPCIÓN	PERÍODO DE RETORNO
Puente y Pontones	175 años
Alcantarillas de paso y badenes	50 años
Cunetas y alcantarillas de alivio	10años

Fuente: Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito (MTC)

**b) Coeficiente de escurrimiento:**

Para ello se ha utilizado las tablas estandarizadas en las que interactúan: pendiente, uso de suelo, y textura de la misma; y habiéndose encontrado que para la cuenca de Quellhuacocha predomina pendientes fuertes, afloramientos rocosos y textura de suelos de cobertura franco limosos, se ha sumido un coeficiente de escorrentía  $C_e = 0.60$ .

**Tabla 56** Coeficientes de escorrentía, según Benítez et al. (1980), citado por Lemus y Navarro (2003)

Tabla II. Coeficientes de escorrentía, según Benítez et al. (1980), citado por Lemus & Navarro (2003)						
COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla para determinar 'indistintamente' caudales punta por el método racional y para dimensionar zanjas de infiltración

Fuente Benitez.et al.(1980)

**c) Tiempo de concentración  $t_c$ :**

Si bien existen numerosos métodos, desarrollados en este tema, para nuestro caso utilizaremos el modelo de watt Chow

$$T_c = 7.68 \times ((L/(S^{0.5}))^{0.79}$$

Donde  $L$  = longitud de cauce principal (km),  $S$  = pendiente del río (m/m).

Reemplazando valores este llega a  $T_c = 30$  minutos

### Caudales Máximos

Para ello hemos utilizado el método de hidrograma unitario para un tiempo de duración de 30 minutos para una cuenca de Quellhuacocha de 2.13 km<sup>2</sup>, para una longitud de cauce de 1825 m, con una diferencia de altitud de 190 m minutos. Este método del hidrograma unitario, es efectivo para cuencas pequeñas como es nuestro caso.

**Tabla 57** *parámetros para el programa*

$t_c$ Watt e Chow	30.09	min
$t_p$	18.1	min
$d$	21	min
$T_p$	28.6	min
$T_b$	76	min

Fuente: elaborado por los tesistas

**Tabla 58** *Comparación del HU Sintético Triangular SCS y HU Sintético Adimensional SCS*

$t$ (min)	HU TRIANGULAR SCS	HU ADIM. SCS
	$Q$ (m <sup>3</sup> /s/mm)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s/mm)
0	0	0.00
10	0.33	0.21
20	0.65	0.76
30	0.90	0.93
40	0.71	0.74
50	0.51	0.46
60	0.32	0.25
70	0.12	0.12
80	0.00	0.05
90	0.00	0.02
100	0.00	0.01
110	0.00	0.00
120	0.00	0.00
130	0.00	0.00

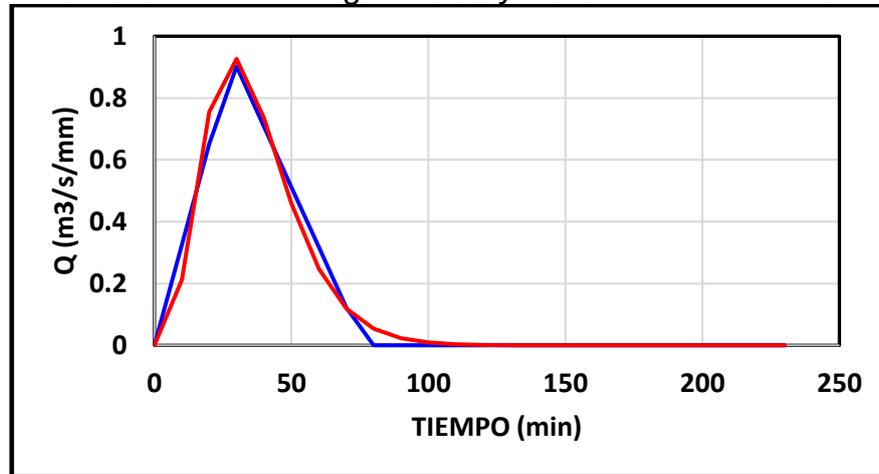
Fuente: elaborado por los tesistas

Obteniendo para la cuenca de Quellhuacocha:

Caudal pico  $q_p = 0.93$  m<sup>3</sup>/s/mm, para un tiempo pico  $t_p = 0.476$  hr

Recomendando por aproximación a  $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{mm}$  para diseño de los aliviaderos.

**Gráfico 13** HU Sintético Triangular SCS y HU Sintético Adimensional SCS



Fuente: elaborado por los tesistas

## 5.7. Hidrogeología

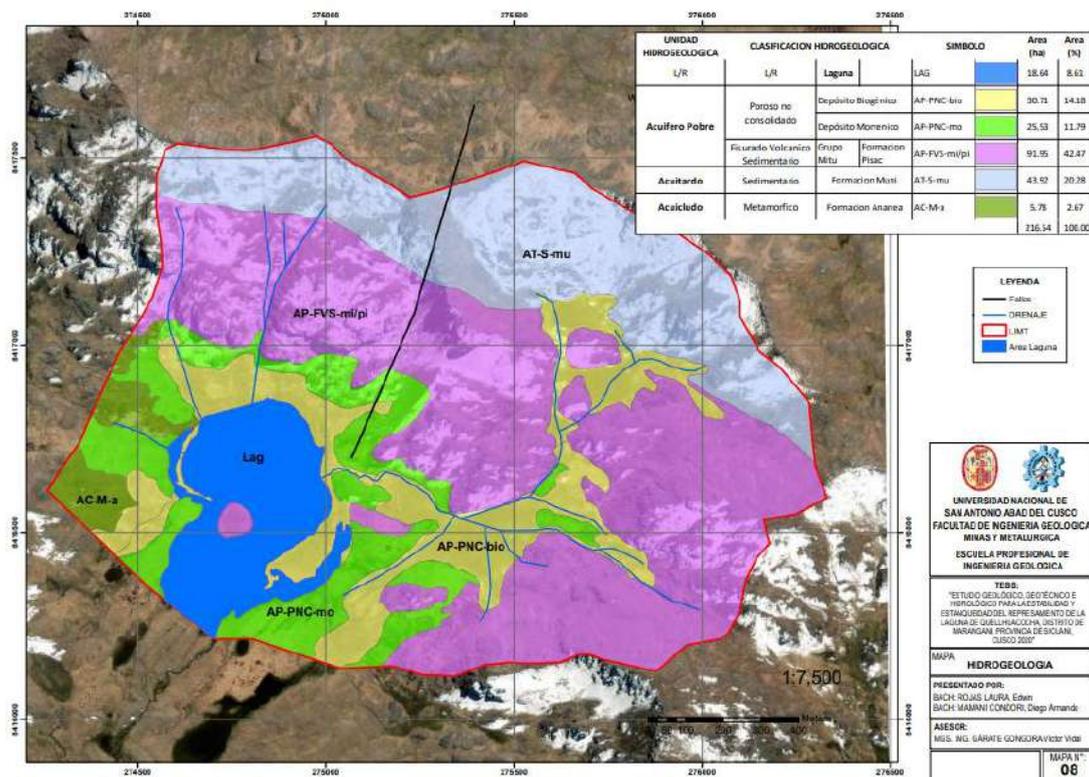
La hidrología subterránea caracteriza el subsuelo según el grado de infiltración, con el cual se determina el tipo de acuíferos constituyentes dentro del área de estudio, cuya recarga obedece a las condiciones de precipitación y permeabilidad del suelo y basamento rocoso y fundamentalmente las características estructurales. En las cuales caracterizaremos los acuíferos, acuitardo y acuífugo, según al tipo de material en base a la geología local y los ensayos de permeabilidad distribuidos en el vaso y eje de la presa.

**Tabla 59** Clasificación de unidades hidrogeológicas

UNIDAD HIDROGEOLOGICA	CLASIFICACION HIDROGEOLOGICA			SIMBOLO	Area (ha)	Area (%)
L/R	L/R	Laguna		LAG	18.64	8.61
Acuifero Pobre	Poroso no consolidado	Depósito Biogénico		AP-PNC-bio	30.71	14.18
		Depósito Morrenico		AP-PNC-mo	25.53	11.79
	Fisurado Volcanico Sedimentario	Grupo Mitu	Formacion Pisac	AP-FVS-mi/pi	91.95	42.47
Acuitardo	Sedimentario	Formacion Muni		AT-S-mu	43.92	20.28
Acuicludo	Metamorfico	Formacion Ananea		AC-M-a	5.78	2.67
					216.54	100.00

Fuente: elaborado por los tesistas

*Figura 72* Mapa Hidrogeológico



Fuente: elaborado por los tesistas

### 5.7.1. Identificación De Unidades Hidrogeológicas

Geológicamente la zona de emplazamiento de eje de represa, como el vaso de almacenamiento, presentan como basamento rocoso metamórfico de la formación Ananea, seguido de un proceso volcánico sedimentario del grupo Mitu

(form. Pisac) y de origen sedimentario continental conformado por areniscas y lutitas compactas de la formación Muni; sobre ello se tienen depósitos inconsolidados de diverso origen, entre los que destacan las Morrenas, y depósitos biogénicos

### 5.7.2. Clasificación Hidrogeológica.

#### A. Permeabilidad.

Como bien sabemos la permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atravesase sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

A nivel de la cuenca de Quellhuacocha, tomando como base la distribución de unidades geológicas, que mide la infiltración en rocas y suelos, para el caso del primero de ha utilizado el método de LEFRANC y GILG GAVARD a carga constante, y para el segundo se ha utilizado el método de anillos concéntricos a través de un Infiltrómetro. Todos estos resultados fueron comparados con la tabla convencional de permeabilidad de Benítez 1993 y Custodio Llamas 1996) ver tabla 61. Las pruebas de campo, fueron realizadas en los afloramientos rocosos y en suelo de origen morrénico en lado derecho e izquierdo del dique pues es el material de predominio en este sector.

**Tabla 60** *Clasificación de terrenos por la permeabilidad*

Valores (m/día)	Permeabilidad										
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipo de Materiales	Arcilla compacta Granito		Limo arenoso Limo Arcilla Limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava Arena fina		Grava limpia		

Fuente: Benítez 1993

#### Materiales:

Para la realización de estos ensayos, se ha utilizado los materiales siguientes: Gps. tubo PVC 0.50 m / 2 plg. diámetro, comba y cincel, cronometro, balde, cinta métrica, ficha de anotes y cartel de ubicación.

*Figura 73 Materiales utilizados para la prueba de permeabilidad*



Fuente: Propia De Los Tesis

### **B. Prueba de infiltración**

Esta prueba se realizó en diferentes unidades geológicas, para el caso de macizos rocosos, la metodología consiste en la apertura de un hoyo de 0.20 cm de profundidad en roca con diámetro adecuado para el ingreso de tubo de ensayo de 2 plg. El tipo de prueba seleccionado fue de carga constante procesado en hoja de cálculo según LEFRANC y GILG GAVARD, siendo el promedio de ambas, la permeabilidad que representará a la unidad geológica correspondiente. Para el caso de depósitos morrénicos, se ha realizado el método de Infiltrómetro de anillo concéntrico y procesado según la metodología de Kostiakov (1932) y mínimos cuadrados para determinar la infiltración básica (I<sub>b</sub>). A continuación, se presenta a manera de muestra una prueba realizada en unidad geológica volcano sedimentario de la formación Pisac del grupo Mitu

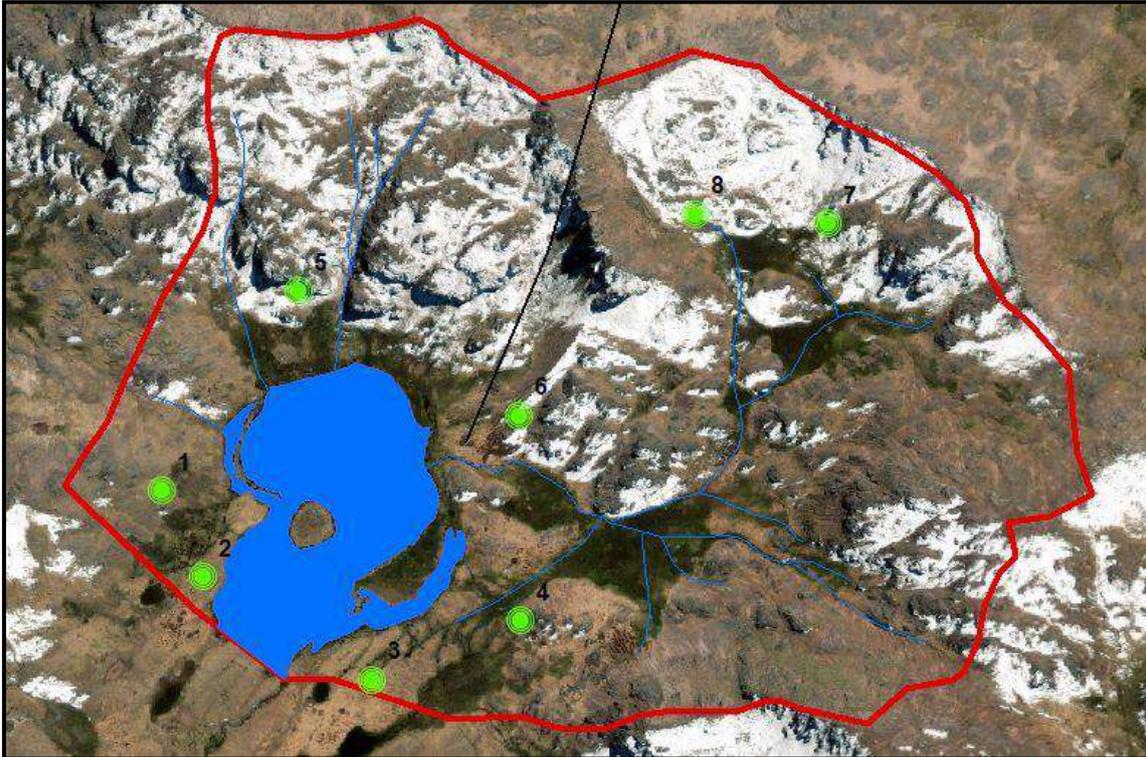
*Figura 74 : Ejemplo de prueba de infiltración realizadas en la cuenca Quellhuacocha*



Fuente: Propia De Los Tesis

En las siguientes imágenes se observa las pruebas de infiltración realizadas en las diferentes unidades geológicas para carga constante. En la imagen 19, se observa la ubicación de los puntos de infiltración realizados.

*Figura 75 Ubicación de las pruebas de infiltración*



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

**Tabla 61** *Ubicación de las pruebas de infiltración*

<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>CODIGO</b>	<b>FORMACION</b>
274460	8416601	1	ANANEA
274542	8416426	2	MORRENICO
274881	8416217	3	MORRENICO
275181	8416337	4	MITU
274735	8417007	5	MITU
275179	8416753	6	MITU
275800	8417144	7	MUNI
275533	8417163	8	MUNI

Fuente: elaborado por los tesistas

Como ejemplo del procesamiento de la prueba de infiltración para roca, se tiene el realizado para la formación Pisac del grupo Mitu, procesados en programa de hoja de cálculo por los métodos de LEFRANC y GILG GAVARD, realizada en litología volcano sedimentario en el lado Norte del vaso de almacenamiento de la presa Quellhuacochoa.

Sector: Lado Norte laguna Quellhuacochoa

ESTE: 274735 NORTE: 8417007, altitud .4690 msnm, Formación geológica Pisac.

**Tabla 62** Prueba N° 05: Método de Carga constante según Lefranc

	ALTURA h (M)	$\Delta h$ (cm)	t (MIN)	$\Delta t$ (min)	$\Delta h$ seg	K m/s	K m/dia	K cm/dia	K cm/hr
h0	0.5								
h1	0.46200	0.0380	2	2	120	0.0000013	0.109	10.9	0.46
h2	0.46200	0.0380	2	2	120	0.0000013	0.109	10.9	0.46
h3	0.46400	0.0360	2	2	120	0.0000012	0.103	10.3	0.43
h4	0.46500	0.0350	2	2	120	0.0000012	0.100	10.0	0.42
h5	0.46500	0.0350	2	2	120	0.0000012	0.100	10.0	0.42
h6	0.46800	0.0320	2	2	120	0.0000011	0.092	9.2	0.38

Fuente: elaborado por los tesisistas

**Tabla 63** Prueba N° 05: Método de Carga constante según Gilg Gavard.

	ALTURA h (m)	$\Delta h$ (cm)	t (sg)	$\Delta t$ (min)	$\Delta h$ seg	A	K m/s	K m/dia	K cm/dia	K cm/hr
	0.5					1.15566				
h1	0.462	0.038	2	2	120		0.00012	0.100	9.97	0.42
h2	0.462	0.038	2	2	120		0.00012	0.100	9.97	0.42
h3	0.464	0.036	2	2	120		0.00011	0.094	9.42	0.39
h4	0.465	0.035	2	2	120		0.00011	0.092	9.15	0.38
h5	0.465	0.035	2	2	120		0.00011	0.092	9.15	0.38
h6	0.468	0.032	2	2	120		0.00010	0.083	8.34	0.35

Fuente: elaborado por los tesisistas

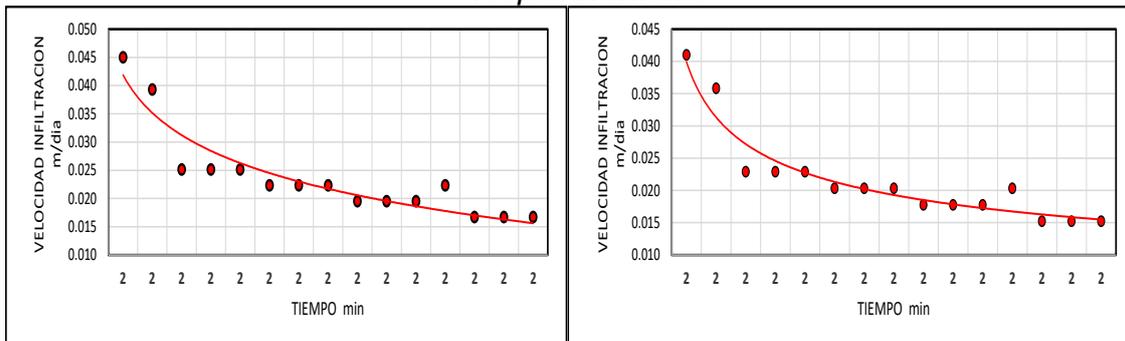
Como resultado del ensayo de permeabilidad, se puede decir que el afloramiento rocoso de la Formación Pisac en este sector, tiene una velocidad de infiltración promedio de:

**Tabla 64** Velocidad de infiltración de la formación Pisac

LEFRANC	GILG GAVARD	PROMEDIO
K m/día	K m/día	K m/día
1.02E-01	9.33E-02	9.79E-02

Fuente: elaborado por los tesistas

**Gráfico 14** Comportamiento de la infiltración Lefranc y Gilg Gavard respectivamente



Fuente: elaborado por los tesistas

### C. Modelo de anillos concéntricos:

Para depósitos inconsolidados, este método es recomendado pues al tener doble anillo, el anillo interior se encarga de la infiltración vertical, para ello es mesetario la apertura de calicatas para correlacionarlos con el perfil de suelo, en especial la textura y porosidad del mismo.

Depósitos morrénicos (pi-02): Presentan un perfil de textura Franco limoso a limoso en profundidad, con clase de infiltración Moderadamente Lenta a Moderada (0.5 a 6.00 cm/hr); según prueba de infiltración, se ha tomado como ejemplo a depósitos morrénicos por estar involucrados directamente con la ubicación de dique de represamiento y vaso del mismo, esta prueba se ubica al lado derecho del dique, en coordenadas E: 274542, N: 8416426.

Figura 76 Prueba de infiltración de depósitos morrénicos sector derecho del dique



Fuente: Propia De Los Tesis

Tabla 65 Cuadro matriz de Infiltración Básica (lb, cm/h), estribo derecho, Dep. Morrénicos

PRUEBA DE INFILTRACION							
COMUNIDAD CAMPESINA			CUYO CUYO				
SECTOR	QUELLHUACOCHA		ALTURA INFILTROMETRO:	25	cm		
DISTRITO:	MARANGANI		PROVINCIA	CANCHIS	REGION	CUSCO	
ESTE :	274542		NORTE :	8416426	FECHA:	nov-21	
SUELO COLUVIAL							
N°	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)			VELOC. INFILTRACION	
	Parcial	Acumulada	Lectura	Parcial	Acumulada	Instantanea	Promedio
1	0	0	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1	24.30	0.70	0.70	42.00	42.00
3	1	2	23.90	0.40	1.10	24.00	33.00
4	1	3	23.50	0.40	1.50	24.00	30.00
5	1	4	23.30	0.20	1.70	12.00	25.50
6	1	5	23.10	0.20	1.90	12.00	22.80
7	2	7	22.80	0.30	2.20	9.00	18.86
8	2	9	22.50	0.30	2.50	9.00	16.67
9	2	11	22.20	0.30	2.80	9.00	15.27
10	2	13	21.90	0.30	3.10	9.00	14.31
11	2	15	21.70	0.20	3.30	6.00	13.20
12	5	20	21.00	0.70	4.00	8.40	12.00
13	5	25	20.60	0.40	4.40	4.80	10.56
14	5	30	20.10	0.50	4.90	6.00	9.80
15	5	35	19.80	0.30	5.20	3.60	8.91
16	5	40	19.40	0.40	5.60	4.80	8.40
17	10	50	18.70	0.70	6.30	4.20	7.56
18	10	60	18.00	0.70	7.00	4.20	7.00
19	20	80	16.90	1.10	8.10	3.30	6.08
20	20	100	15.60	1.30	9.40	3.90	5.64
21	60	160	22.10	3.90	13.30	3.90	4.99

Fuente: elaborado por los tesisistas

Tabla 66 Calculo en función de la lámina infiltrada acumulada

PRUEBA DE INFILTRACION						
CALCULO DE LA FUNCION DE LA LAMINA INFILTRADA ACUMULADA						
Tiempo acumulado (min)	Lamina infiltrada acumulada (cm)	Log To=X	Log Icum=Y	X*Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
(To)	(Icum)					
1	0.70					
2	1.10	0.3010	0.0414	0.01246	0.0906	0.0017
3	1.50	0.4771	0.1761	0.08402	0.2276	0.0310
4	1.70	0.6021	0.2304	0.13874	0.3625	0.0531
5	1.90	0.6990	0.2788	0.19484	0.4886	0.0777
7	2.20	0.8451	0.3424	0.28938	0.7142	0.1173
9	2.50	0.9542	0.3979	0.37973	0.9106	0.1584
11	2.80	1.0414	0.4472	0.46567	1.0845	0.2000
13	3.10	1.1139	0.4914	0.54735	1.2409	0.2414
15	3.30	1.1761	0.5185	0.60982	1.3832	0.2689
20	4.00	1.3010	0.6021	0.78330	1.6927	0.3625
25	4.40	1.3979	0.6435	0.89951	1.9542	0.4140
30	4.90	1.4771	0.6902	1.01950	2.1819	0.4764
35	5.20	1.5441	0.7160	1.10556	2.3841	0.5127
40	5.60	1.6021	0.7482	1.19864	2.5666	0.5598
50	6.30	1.6990	0.7993	1.35806	2.8865	0.6389
60	7.00	1.7782	0.8451	1.50271	3.1618	0.7142
80	8.10	1.9031	0.9085	1.72893	3.6218	0.8253
100	9.40	2.0000	0.9731	1.94626	4.0000	0.9470
160	13.30	2.2041	1.1239	2.47710	4.8581	1.2630
		<b>24.1165</b>	<b>10.9739</b>	<b>16.7416</b>	<b>35.8104</b>	<b>7.8632</b>

Fuente: elaborado por los tesistas

**Tabla 67** *Calculo en función de la velocidad de infiltración instantánea*

PRUEBA DE INFILTRACION						
CALCULO DE LA FUNCION DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION INSTANTANEA						
Tiempo acumulado (min)	Velocidad infiltracion instantanea (cm/hr)	X=Log To	Y=Log I	X*Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
(To)	(I)					
1	42.00					
2	24.00	0.3010	1.3802	0.415484984	0.0906	1.9050
3	24.00	0.4771	1.3802	0.658528119	0.2276	1.9050
4	12.00	0.6021	1.0792	0.649731852	0.3625	1.1646
5	12.00	0.6990	1.0792	0.75431532	0.4886	1.1646
7	9.00	0.8451	0.9542	0.806428474	0.7142	0.9106
9	9.00	0.9542	0.9542	0.910578767	0.9106	0.9106
11	9.00	1.0414	0.9542	0.993741169	1.0845	0.9106
13	9.00	1.1139	0.9542	1.0629721	1.2409	0.9106
15	6.00	1.1761	0.7782	0.915176884	1.3832	0.6055
20	8.40	1.3010	0.9243	1.202515076	1.6927	0.8543
25	4.80	1.3979	0.6812	0.952334381	1.9542	0.4641
30	6.00	1.4771	0.7782	1.149423751	2.1819	0.6055
35	3.60	1.5441	0.5563	0.858968914	2.3841	0.3095
40	4.80	1.6021	0.6812	1.091389331	2.5666	0.4641
50	4.20	1.6990	0.6232	1.05888185	2.8865	0.3884
60	4.20	1.7782	0.6232	1.108231505	3.1618	0.3884
80	3.30	1.9031	0.5185	0.986778687	3.6218	0.2689
100	3.90	2.0000	0.5911	1.182129214	4.0000	0.3494
160	3.90	2.2041	0.5911	1.302777311	4.8581	0.3494
		<b>24.1165</b>	<b>16.0823</b>	<b>18.0604</b>	<b>35.8104</b>	<b>14.8290</b>

Fuente: elaborado por los tesistas

**Tabla 68** *Calculo en función de la velocidad de infiltración promedio*

PRUEBA DE INFILTRACION						
CALCULO DE LA FUNCION DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION PROMEDIO						
Tiempo acumulado (min)	Velocidad infiltracion promedio (cm/hr)	X=Log To	Y=Log I	X*Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
(To)	(Ip)					
1	42.00					
2	33.00	0.3010	1.5185	0.457118245	0.0906	2.3059
3	30.00	0.4771	1.4771	0.704765946	0.2276	2.1819
4	25.50	0.6021	1.4065	0.846821569	0.3625	1.9784
5	22.80	0.6990	1.3579	0.949155726	0.4886	1.8440
7	18.86	0.8451	1.2755	1.077902176	0.7142	1.6268
9	16.67	0.9542	1.2218	1.165940017	0.9106	1.4929
11	15.27	1.0414	1.1839	1.232922084	1.0845	1.4017
13	14.31	1.1139	1.1556	1.287239065	1.2409	1.3353
15	13.20	1.1761	1.1206	1.317897206	1.3832	1.2557
20	12.00	1.3010	1.0792	1.404047172	1.6927	1.1646
25	10.56	1.3979	1.0237	1.431020747	1.9542	1.0479
30	9.80	1.4771	0.9912	1.464161105	2.1819	0.9825
35	8.91	1.5441	0.9501	1.466998281	2.3841	0.9027
40	8.40	1.6021	0.9243	1.480750865	2.5666	0.8543
50	7.56	1.6990	0.8785	1.492582179	2.8865	0.7718
60	7.00	1.7782	0.8451	1.502712137	3.1618	0.7142
80	6.08	1.9031	0.7835	1.491159084	3.6218	0.6139
100	5.64	2.0000	0.7513	1.502558208	4.0000	0.5644
160	4.99	2.2041	0.6979	1.538217665	4.8581	0.4870
		<b>24.1165</b>	<b>20.6423</b>	<b>23.8140</b>	<b>35.8104</b>	<b>23.5260</b>

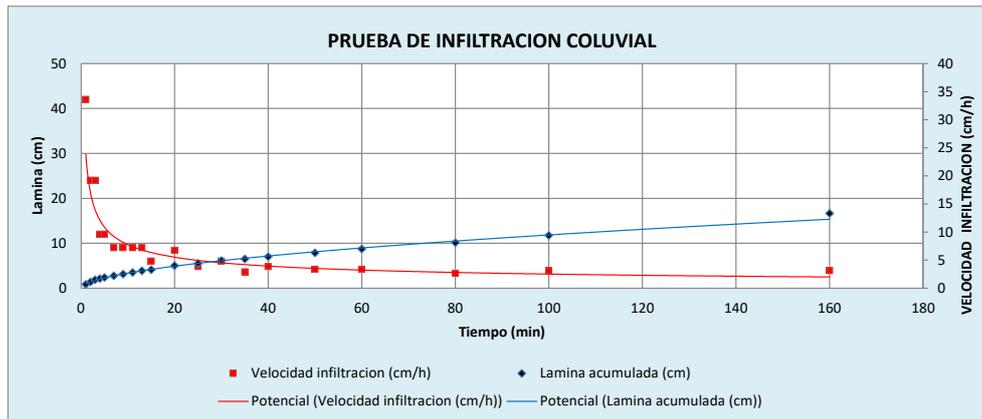
Fuente: elaborado por los tesistas

**Tabla 69** Resultados de Infiltración Básica (Ib, cm/h), depósitos morrénicos estribo derecho

FORMULAS							
Infiltracion acumulada (cm)		Infiltracion instantanea (cm/h)		Infiltracion promedio (cm/h)		Infiltracion básica (cm/h)	
Coeficiente B	0.54	Coeficiente b	-0.45	Coeficiente b	-0.46	<b>Ib</b>	<b>1.77</b>
Ao	-0.10	ao	1.35	ao	1.59		
Coeficiente A	0.78785	Coeficiente a	22.37253	Coeficiente a	38.52002	<b>Tiempo infiltracion basica</b>	
lcum	12.27	l	2.25	lp	3.75	<b>(min.)</b>	
r <sup>2</sup>	0.998	r <sup>2</sup>	0.875	r <sup>2</sup>	0.997	Tb	271.48

Fuente: elaborado por los tesistas

**Gráfico 15** Tiempo base (min) VS, Velocidad de infiltración (cm/h) y Lamina de infiltración (cm)



Fuente: elaborado por los tesisistas

Resultado del procesamiento en su hoja de cálculo, se tiene que este depósito morrénico en este sector, presentan un valor de infiltración Básica de  $I_b = 1.77$  cm/h; equivalente a  $4.25E-01$  m/día. Comparando con la tabla de Benítez y Custodio, estos depósitos presentan un comportamiento Algo Permeable, con una valoración hidrogeológica de Acuíferos pobres. El resto de las pruebas se presentan en Anexos.

Como resultado final del procesamiento de las pruebas de infiltración en número de 08, se ha elaborado el cuadro resumen siguiente:

**Tabla 70** Valores de Conductividad Hidráulica (K), Calificación por Permeabilidad y Clasificación Hidrogeológica de macizos rocosos

Prueba	Código	Unidad Geológica	Unidad Litológica	Coordenadas		Conductividad Hidráulica K(m/día)	Calificación	Clasificación Hidrogeológica
				Este	Norte			
1	pi-01	Form. Ananea	Pizarras esquistosas	784840	8437934	1.54E-04	Impermeable	Acuícludo
4	pi-04	Form. Pisac	Volcánico sedimentario	275181	8416337	4.71E-02	Algo permeable	Acuífero Pobre
5	pi-05	Form. Pisac	Volcánico sedimentario	274735	8417007	9.79E-02	Algo permeable	Acuífero Pobre
6	pi-06	Form. Pisac	Volcánico sedimentario	275179	8416753	1.06E-02	Algo permeable	Acuífero Pobre
7	pi-7	Form. Muni	Areniscas y Lutitas carbonosas compactas	275800	8417144	8.41E-03	Poco permeable	Acuitardo
8	pi-08	Form. Muni	Areniscas y Lutitas carbonosa	275533	8417163	9.52E-03	Poco permeable	Acuitardo

			s compactas				
--	--	--	-------------	--	--	--	--

Fuente: elaborado por los tesistas

**Tabla 71** Valores de Conductividad Hidráulica (K), Calificación por Permeabilidad y Clasificación Hidrogeológica de depósitos morrénicos

Prueba	Código	Unidad Geológica	Unidad Litológica	Coordenadas		Conductividad Hidráulica K(m/día)	Calificación	Clasificación Hidrogeológica
				Este	Norte			
2	pi-2	Dep. Morrénico	Textura Franco limoso a limoso	27454 2	84164 26	4.25E-01	Algo permeable	Acuífero Pobre
3	pi-3	Dep. Morrénico	Textura Franco limoso a limosos	27488 1	84162 17	5.01E-01	Algo permeable	Acuífero Pobre

Fuente: elaborado por los tesistas

Según estos resultados para depósitos morrénicos, de textura Franco limoso a Limosos correspondientes a los perfiles (pi-03) y (pi-02), tienen valores de 5.01E-01 m/día y 4.25E-01 m/día, los cuales se clasifican como materiales Algo permeables y corresponden un valor hidrogeológico de Acuíferos pobres.

Los depósitos de Volcáno sedimentarios fisurados del grupo Mitu (pi-4), (pi-5) y (pi-06), conformado material volcano sedimentario, tiene valores que van de 1.06E-02 a 9.79E-02 m/día, constituyen rocas algo permeables y asignándole una calificación hidrogeológica de Acuífero Pobre

Los depósitos Sedimentarios de la formación Muni, (pi-07) y (pi-08) constituidos por Areniscas y lutitas compactas, en general, tiene un valor puntual de 8.41E-03 m/día y 9.52E-03 m/día. que se clasifican como materiales Poco permeables y corresponde a Acuitardos.

De un ensayo realizado en un cuerpo de roca metamórfica de la formación Ananea, en el sondaje (pi-01), tiene un valor de 1.54E-04 m/día, cuya clasificación corresponde a materiales Impermeables, por lo tanto, su clasificación hidrogeológica es un Acuícludo.

### **Condiciones Hidrologicos para el represamiento de la laguna de Quellhuacochoa**

La hidrología de la zona, geomorfológicamente es un buen colector y que presenta un área de escurrimiento superficial de 2.5 km para recibir la precipitación media mínima que ocurre en el mes de julio de 4.6 mm y una máxima en el mes de enero de 196.3 mm esta precipitación es estimada al 75% de persistencia, según los datos obtenidos la laguna de Quellhuacocha presenta una precipitación anual de 784.45 mm/año, con estos datos de precipitación y área de escurrimiento superficial y la geoforma del vaso, que son los parámetros para el almacenamiento de agua requerida, cumplen todo las condiciones hidrológicas por lo cual es viable este proyecto.

## **CAPITULO VI: GEODINAMICA**

### **6.1. Geodinámica Interna**

#### **6.1.1. Amenaza Por Sismicidad**

En el territorio peruano existe una gran influencia en este campo, debido a la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, reflejada en las grandes fallas que se presentan en la Cordillera de los Andes, a las cuales se les atribuyen los sismos que se han presentado a través del tiempo en la región andina.

Según el modelo tectónico de la región Oriental y central de Suramérica, la placa de Nazca subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de la Costa Pacífica Peruano, teniendo asociado a este movimiento sismos de considerable magnitud en especial en zona de costa, y hacia la Sierra este se manifiesta por sismos profundos en el hipocentro con intensidades de hasta 8° en escala de Richter y disipados hacia el Epicentro. Este modelo establece que la placa de Nazca tenga un movimiento en dirección Noreste, el cual crea una zona de compresión entre esta placa y la placa Sudamericana, generando fallamientos intraplaca, algunos de los cuales se consideran activos como en el caso del Cusco.

Los modernos procedimientos de registro instrumental permiten realizar cálculos sismométricos, como las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, trayectorias seguidas por ondas, profundidad epicentral o focal, densidades en el interior de la tierra, naturaleza del movimiento sísmico, etc.

La Región del Cusco se encuentra localizado en una región catalogada como de Alto Riesgo Sísmico teniendo en cuenta características como son fallas geológicas activas, estructura geológica del suelo, características de los suelos blandos en pisos de valle y condiciones topográficas accidentadas hacia los flancos de piso de valle. Esta amenaza sísmica puede convertirse en un factor detonante cuando las condiciones morfológicas y propiedades geotécnicas de los materiales son vulnerables a la desestabilización de las laderas.

#### **6.1.2. Escalas Macrosísmicas**

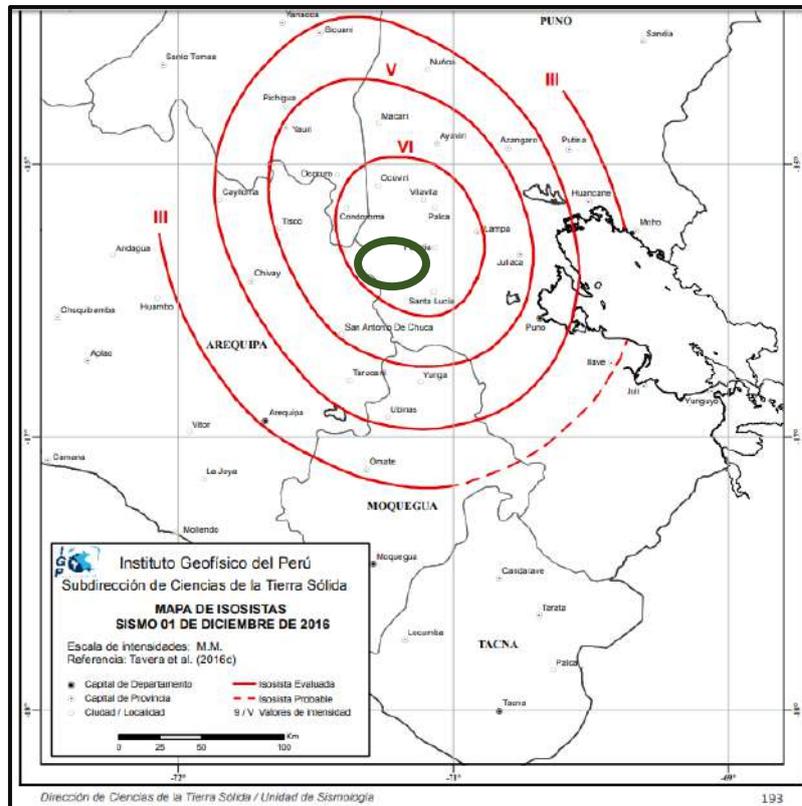
Existen varias escalas macrosísmicas que han venido siendo usadas de manera selectiva por los sismólogos para describir los daños y efectos de los diferentes

sismos ocurridos en el mundo: escalas de Rossi-Forel, Mercalli-CancaniSieberg, Mercalli-Wood-Newmann, Richter, Mercalli Modificada y MedvedevSponheuer-Karnik. Debe entenderse que las intensidades sísmicas son valores numéricos que relacionan a los sismos con el comportamiento de las personas, edificaciones y naturaleza, y aunque las descripciones sobre los daños y efectos son muy subjetivas, ellas dependen básicamente del movimiento del suelo y de las características físicas de todo elemento expuesto. Entonces, se puede afirmar que los valores de intensidad entre II y V se refieren al efecto sobre las personas y vibración de objetos, incluyendo a las viviendas. Las intensidades intermedias entre VI y VIII, son consideradas por todas las escalas como los efectos sobre las construcciones y de este modo, los valores mayores describirían los efectos sobre la naturaleza.

De acuerdo a estas consideraciones, es posible establecer equivalencias aproximadas entre todas las escalas. Los mapas de isosistas del presente catalogo fueron elaborados, en su mayoría, usando la escala de Mercalli Modificada (Wood-Neumann, 1931), a excepción de dos eventos sísmicos elaborados con las escalas de Rossi-Forel (Arrigoni, 1928) y MKS-64 (Ocola et al, 1997), solo para el segundo se ha visto por conveniente considerar su equivalencia en la escala de Mercalli Modificada. Por otro lado, usando la información de los catálogos sísmicos SISAN (Ocola, 1984) y SISRA (Huaco, 1985), los autores elaboraron los mapas de isosistas para algunos sismos históricos del Peru, todos en la escala MSK-64, que luego fueron convertidos a la escala de Mercalli Modificada. Por definición, debe entenderse que la escala MSK-64 es sensiblemente idéntica a la Mercalli Modificada (Wood-Neumann, 1931); por lo tanto, puede establecerse con mayor seguridad una equivalencia entre ellas.

Es así que se tiene las curvas isosistas de los sismos más importantes ocurridos en el Perú y su influencia en la zona de estudio tal como se ve en las imágenes siguientes:

Figura 77 Curva isosista al sismo de 01/12/2016



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

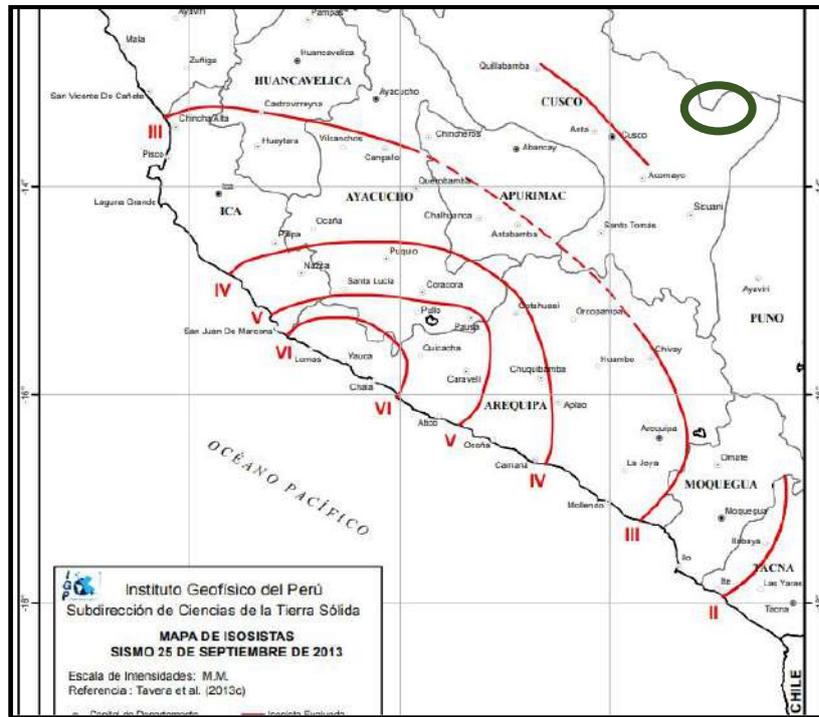
Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani entre una magnitud de IV-V MM (Mercalli modificada)

Figura 78 Curva isosista al sismo de 24/11/2015



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

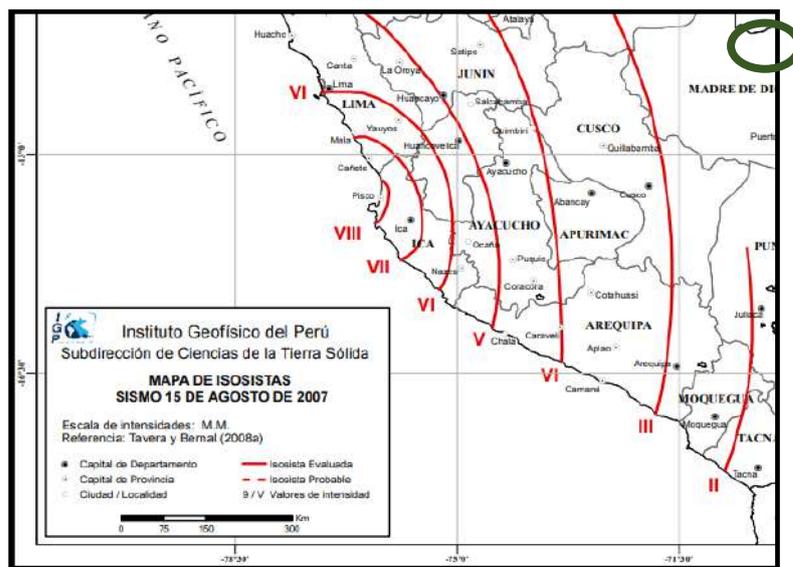
Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de III-IV MM (Mercalli modificada)  
 Figura 79 Curva isosista al sismo del 25/09/2013



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de III-II MM (Mercalli modificada)

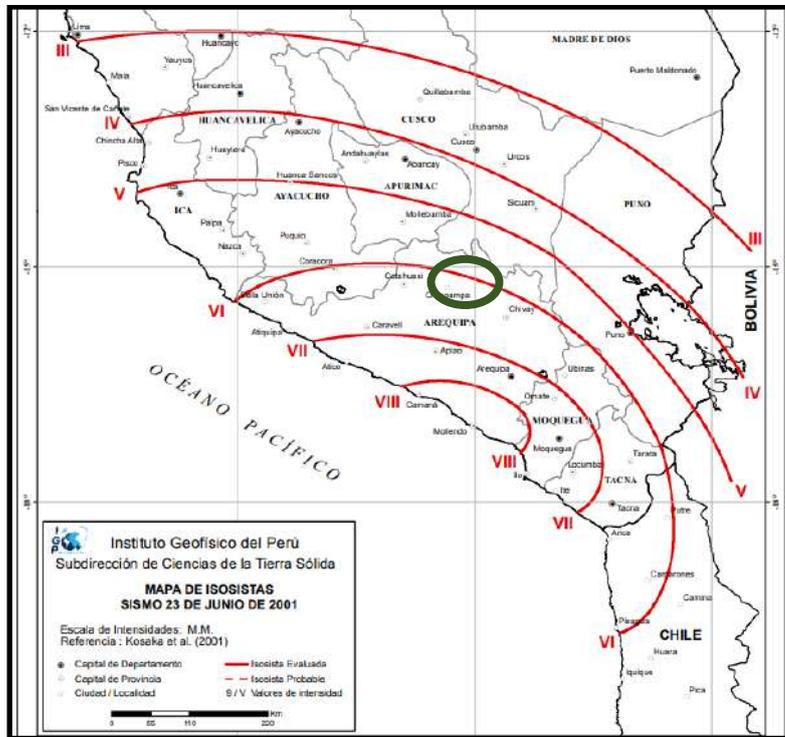
Figura 80 Curva isosista al sismo del 15/08/2008



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de III-II MM (Mercalli modificada)

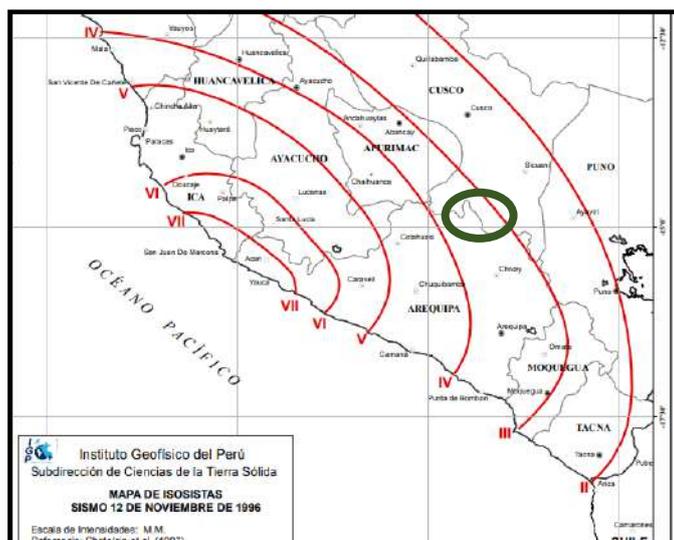
Figura 81 Curva isosista al sismo del 23/06/2001



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de V-IV MM (Mercalli modificada)

Figura 82 Curva isosista al sismo del 12/11/1996



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de V-VI MM (Mercalli modificada)

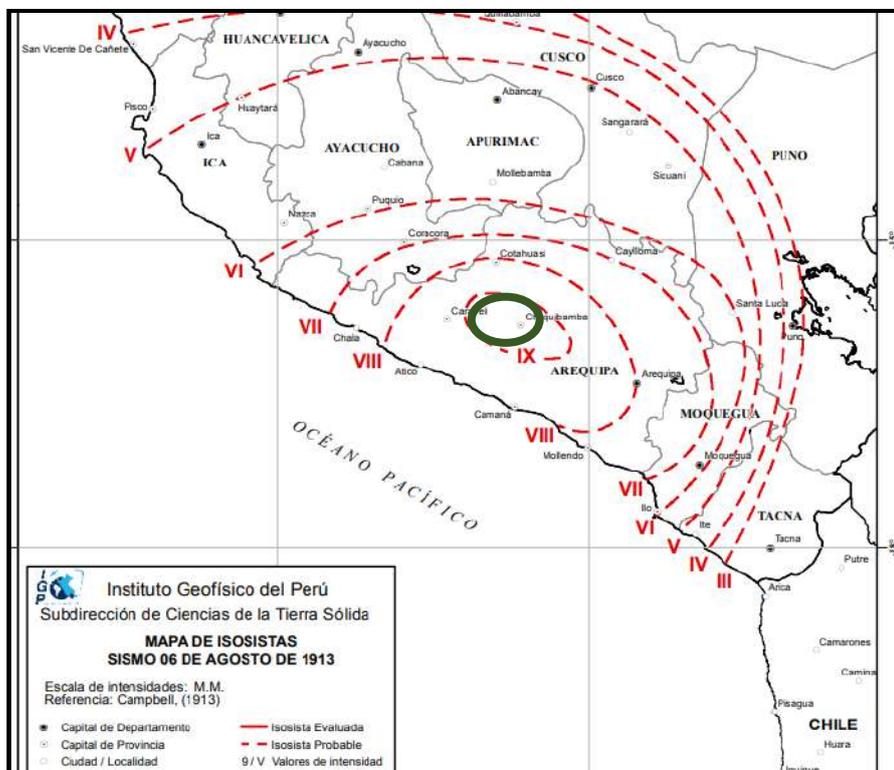
Figura 83 Curva isosista al sismo del 01/11/1947



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de IV-III MM (Mercalli modificada)

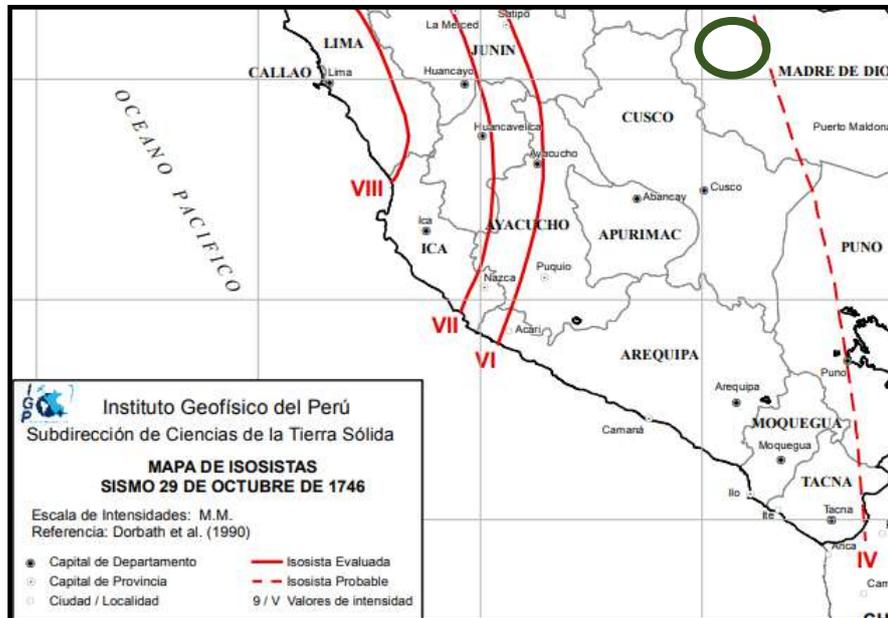
Figura 84 : Curva isosista al sismo del 06/08/1913



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de V-VI MM (Mercalli modificada)

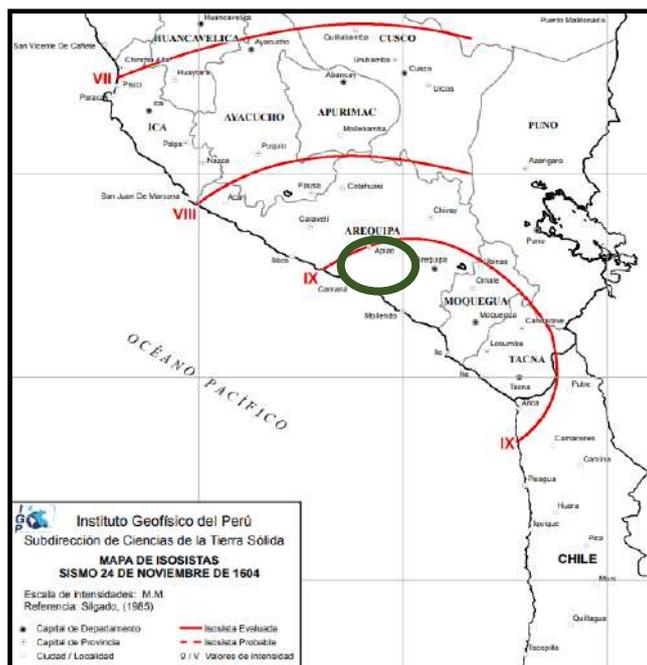
Figura 85 Curva isosista al sismo del 29/10/1746



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de VI – IV MM (Mercalli modificada)

Figura 86 Curva isosista al sismo del 24/11/1604



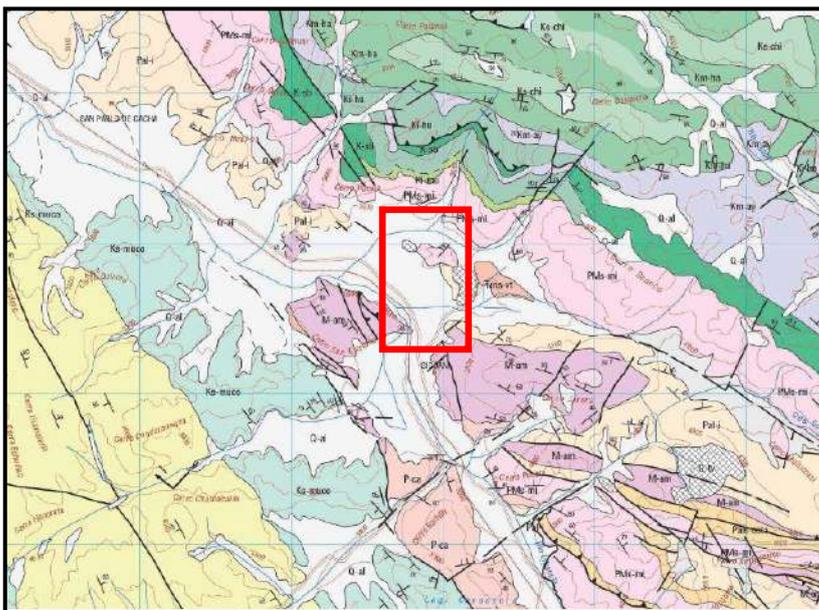
Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Indica una propagación de onda sísmica para Sicuani - Marangani entre una magnitud de VIII – VII MM (Mercalli modificada)

Según el Instituto Geofísico del Perú (IGP) se tiene registrado los últimos sismos para Sicuani y alrededores:

- 2008, sismo de 4.5 grados en la escala de Richter, a horas 22.08, el epicentro se localizó a 24 km al Suroeste del distrito, a una profundidad de 174 km. El IGP precisó que el temblor se sintió con una intensidad de II y III grados en la misma ciudad de Sicuani.
- 08/2008, sismo de 4.1 grados en la escala de Richter, a horas 02.05 am, el epicentro se localizó a 14 km al Noreste del distrito, a una profundidad de 45 km. El IGP precisó que el temblor se sintió con una intensidad de III grados en la misma ciudad de Sicuani.
- 21/04/2018, sismo de 3.5 grados en la escala de Richter, a horas 17.40, el epicentro se localizó a 17 km al Noreste del distrito, a una profundidad de 15 km. El IGP precisó que el temblor se sintió con una intensidad de II grados en la misma ciudad de Sicuani.
  - La presencia de sismos superficiales en la zona se explica por la presencia de Fallas y lineamientos estructurales.

*Figura 87 Mapa estructural: Presencia de fallas inversas y normales inactivas cerca de la zona de estudio*



Fuente: INGEMMET

### 6.1.3. Efecto del Sismo

De acuerdo a la Zonificación Sísmica del Perú, establecido en la Norma de Diseño Sismo Resistente E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, la Región Cusco se encuentra en la Zona 2.

*Figura 88 Mapa de Zonas Sísmicas*



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

A cada zona asigna un factor según se indica en la Tabla 73. Este Factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

**Tabla 72** de la Norma de Diseño Sismo Resistente

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: Instituto Geofísico del Perú

De acuerdo a la Zonificación Sísmica del Perú, establecido en la Norma de Diseño Sismo Resistente E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, la Región Cusco se encuentra en la Zona 2, y su correspondiente factor de zona "Z" = 0.25

**Tabla 73 Factores de Zona**

FACTORES DE ZONA	
ZONA	Z
2	0.25

Fuente: elaborado por los tesisistas

### **Condiciones geotécnicas.**

#### **Perfiles de suelo.**

Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte ( $V_s$ ), alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los  $N_{60}$  obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada ( $\bar{s}_u$ ) para suelos cohesivos. Estas propiedades se determinan para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación.

Para los suelos predominantemente granulares, se calcula  $N_{60}$  considerando solamente los espesores de cada uno de los estratos granulares. Para los suelos predominantemente cohesivos, la resistencia al corte en condición no drenada  $\bar{s}_u$  se calcula como el promedio ponderado de los valores correspondientes a cada estrato cohesivo. Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares). En tal caso, si a partir de  $N_{60}$  para los estratos con suelos granulares y de  $\bar{s}_u$  para los estratos con suelos cohesivos

se obtienen clasificaciones de sitio distintas, se toma la que corresponde al tipo de perfil más desfavorable.

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

- a. Perfil tipo  $S_0$ : Roca dura.
- b. Perfil tipo  $S_1$ : Roca o suelos muy rígidos.
- c. Perfil tipo  $S_2$ : Suelos intermedios.
- d. Perfil tipo  $S_3$ : Suelos blandos. (perfil de suelo del presente proyecto)
- e. Perfil tipo  $S_4$ : Condiciones excepcionales.

**Tabla 74 de la Norma de Diseño Sismo Resistente**

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$
$S_0$	> 1500 m/s	-	-
$S_1$	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
$S_2$	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
$S_3$	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
$S_4$	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: Norma de Diseño Sismo Resistente

De acuerdo a los ensayos de caracterización y ensayos de resistencia mecánica, el perfil del suelo en el presente proyecto corresponde a  $S_3$ .

Parámetros de sitio ( $S$ ,  $T_p$  y  $T_L$ ) Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo  $S$  y de los periodos  $T_p$  y  $T_L$  dados en las Tablas N°76 y N°77

**Tabla 75 de la Norma de Diseño Sismo Resistente**

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO ZONA	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$Z_4$	0,80	1,00	1,05	1,10
$Z_3$	0,80	1,00	1,15	1,20
$Z_2$	0,80	1,00	1,20	1,40
$Z_1$	0,80	1,00	1,60	2,00

Norma de Diseño Sismo Resistente

Para el presente proyecto se tienen los parámetros siguientes:

Para S3 y Z2, se tienen:

$$S = 1.40.$$

**Tabla 76 de la Norma de Diseño Sismo Resistente**

PERÍODOS " $T_p$ " Y " $T_L$ "				
	Perfil de suelo			
	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$T_p$ (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
$T_L$ (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

$$T_p = 1.00 \text{ y } T_L = 1.60.$$

## 6.2. Geodinámica Externa

A nivel de la geodinámica externa los peligros identificados en la zona de estudio están constituido por solo caída de bloques de roca, y pocas áreas de erosión de laderas.

### 6.2.1. Procesos de remoción en masa

#### Caída de rocas

Son movimientos individuales no masivos, que se presenta en el borde Norte de la laguna de Quellhuacocha, sobre afloramientos rocoso volcánico sedimentarios de la formación Pisac, en relieves de pendiente mayores a 45 grados. Este fenómeno se presenta de forma frecuente y no frecuente, debido al grado de fracturas en especial de dirección de buzamiento Sur (a favor de la pendiente), pero que no comprometen la estructura de la represa por estar ésta ubicada en una zona de cerrada de baja pendiente.

*Figura 89 Caída de bloques de roca*



Fuente: Propia De Los Tesis

*Figura 90 Caída de bloques de roca*



Fuente: Propia De Los Tesis

## **6.2.2. Procesos de Erosión de laderas**

### **Cárcavas**

Estos fenómenos se desarrollan a lo largo de las laderas circundantes al vaso de almacenamiento, pero que por estar en cabecera de cuenca no son tan representativos pero que sin embargo ameritan algunas acciones no estructurales para su estabilización.

### **Erosión laminar severa**

Este proceso que se genera arrastre de sedimentos de laderas superiores alrededor del vaso hacia la laguna de Quellhuacocha producto del lavado de laderas en época de lluvias.

*Figura 91 Erosión de laderas*



Fuente: Propia De Los Tesis

*Figura 92 Fotografía 45: Erosión de laderas*



Fuente: Propia De Los Tesis

### **Condiciones de la geodinámica para el represamiento de la laguna de Quellhuacocha**

La geodinámica interna de acuerdo a la zonificación sísmica del Perú, Cusco se encuentra en la zona 2 y tiene un factor de zona  $Z=0.25$ , y de acuerdo a las características de resistencia mecánica del suelo corresponde a un S3 con velocidades  $V_s < 180\text{m/s}$  y como periodos de propagación PT 1.0 y el periodo de longitud PL 1.6.

Según la Geodinámica externa la zona de estudio presenta la caída de rocas en el borde norte de la laguna de Quellhuacocha, también presenta erosión de laderas como cárcavas a lo largo de laderas y una erosión laminar severa que es un proceso de arrastre de sedimentos de ladera.

## **CAPITULO VII: GEOFISICA**

### **7.1. Generalidades**

El presente informe de prospección Geofísica consistió en la exploración del subsuelo por los métodos indirectos, mediante el método eléctrico (Tomografía de resistividad eléctrica) y el método sísmico (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales - MASW 1D), básicamente para conocer las características de los materiales que conforman el sub suelo en el área de estudio.

#### **7.1.1. Equipo e instrumentación utilizada**

##### **Prospección geofísica método eléctrico**

El equipo empleado para la metodología eléctrica comprende un Resistivímetro GD-10 Supreme multi-channel RES/IP 2D:

- Resistivímetro GD-10
- Cable Bi-direccional multicanal SR-20
- Laptop
- Software de Res2Divn
- Cables con conexión para 50 electrodos.
- 50 electrodos
- Batería de litio de 300 Z

##### **Prospección geofísica método sísmico**

El equipo empleado comprende un sismógrafo de 24 canales de la marca Dolang Geophysical detallados posteriormente:

Sismografo Dolang.

- Laptop
- Software de adquisición DBS280B V2.3
- Cables con conexión para 24 geófonos.
- Cable trigger de 80 m.
- 24 geófonos de 4.5 Hz.
- Comba de 10 kg.
- Placa de impacto de 30 cm de diámetro.

## 7.2. Ensayos geofísicos método eléctrico

### 7.2.1. Ubicación de las líneas tomográficas

#### Línea de tomografía TRE-01 en el eje de la presa

Se ubico en toda la extensión del eje de presa hacia el norte se puede observar la laguna Quellehuacocha, una línea con un total de 190 m lineales, se puede observar en el siguiente gráfico.

La ubicación de la línea de tomografía se realizó en las siguientes coordenadas UTM.

**Tabla 78** Ubicación de la línea tomográfica TRE-01.

UBICACIÓN DE LINEA TRE-01		
DESCRIPCION	INICIO	FINAL
NORTE	8416341	8416228
ESTE	274498	274649
ZONA	19L	

FUENTE: Elaboración propia

Figura 93 : Se muestra la línea roja, corresponde al eje de presa. Adaptado de Google earth.



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

#### Línea de tomografía TRE-02 en el vaso de la presa

Se realizo una línea de tomografía de 75 m lineales, ubicado en la extensión del vaso de la presa, ubicado al lado izquierdo de eje de presa.

La ubicación de la línea de tomografía se realizó en las siguientes coordenadas UTM.

**Tabla 79** Ubicación de la línea tomográfica TRE-02.

UBICACIÓN DE LINEA TRE-02		
DESCRIPCION	INICIO	FINAL
NORTE	8416229	8416228
ESTE	274683	274758
ZONA	19L	

FUENTE: (elaboración propia).

*Figura 94* Se muestra la línea amarilla, corresponde al vaso de la presa.  
Adaptado de Google earth.



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

### 7.2.2. Toma y registro de la información tomográfica

#### Línea de tomografía TRE-01

Para el registro de información se utilizaron un total de 19 electrodos distribuidos en toda la línea (TRE-01) con un espaciado de 10 m.

Los parámetros de adquisición para la línea tomográfica son los siguientes:

**Tabla 80** *Parámetros de adquisición de TRE-01.*

<b>PARAMETROS</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Tipo de parámetro (evaluar)</b>	Resistividad del terreno (Ohm)
<b>Numero de electrodos</b>	19
<b>Espaciado entre electrodos</b>	10 m
<b>Tipo de arreglo (dispositivo)</b>	Dipolo-dipolo
<b>Cantidad de datos</b>	161

Nota: Se muestra los parámetros de adquisición de la línea tomográfica TRE-01. (elaboración propia).

*Figura 95 Fotografía 46: toma de datos de parámetros*

Fuente: Propia De Los Tesis

### **Línea de tomografía TRE-02**

Para el registro de la información de la segunda línea tomográfica (TRE-02), se utilizaron 14 electrodos distribuidos en toda la línea con un espaciado de 5 m entre electrodos, este ensayo se realizó en el vaso de presa, considerando la zona más propensa a filtraciones u otras anomalías que presenten un riesgo al planteamiento de la presa.

**Tabla 81** *Parámetros de adquisición de TRE-02.*

<b>PARAMETROS</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Tipo de parámetro (evaluar)</b>	Resistividad del terreno (Ohm)
<b>Numero de electrodos</b>	14
<b>Espaciado entre electrodos</b>	5 m
<b>Tipo de arreglo (dispositivo)</b>	Dipolo-dipolo

<b>Cantidad de datos</b>	<b>99</b>
--------------------------	-----------

Nota: Se muestra los parámetros de adquisición de la línea tomográfica TRE-02. (elaboración propia).

*Figura 96 Fotografía 47: toma de datos de parámetros*



Fuente: Propia De Los Tesis

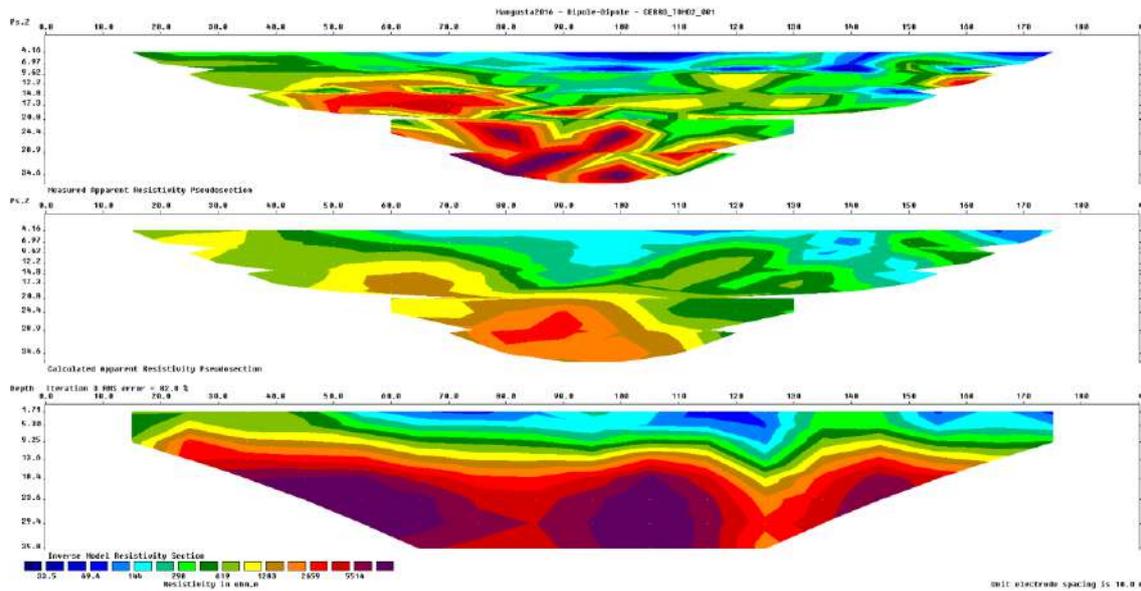
### **7.2.3. Procesamiento de datos**

#### **Línea de tomografía TRE-01**

Para realizar el procesamiento se utilizó el software RES2Dinv, se utilizaron las mediciones realizadas en campo, incluida la información topografía del terreno.

El programa permite realizar una inversión por mínimos cuadrados, se muestra una secuencia de tres imágenes, la primera muestra los valores de medición para la resistividad aparente, la segunda muestra una pseudosección de los valores de resistividad aparente calculados y finalmente un tercer grafico que muestra un perfil o sección de valores de resistividades Ohm-m.

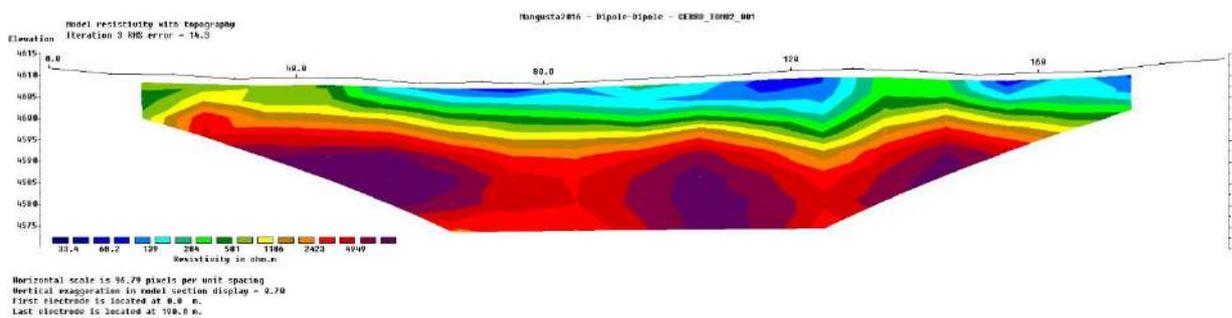
*Figura 97 Se muestra el procesamiento de la línea tomográfica TRE-01. (Elaboración propia).*



Fuente: Propia De Los Tesis

El perfil final obtenido a partir del procesamiento, incluyendo la información topográfica.

*Figura 98 Perfil final de tomografía eléctrica de la línea TRE-01 (elaboración propia)*



Fuente: Propia De Los Tesis

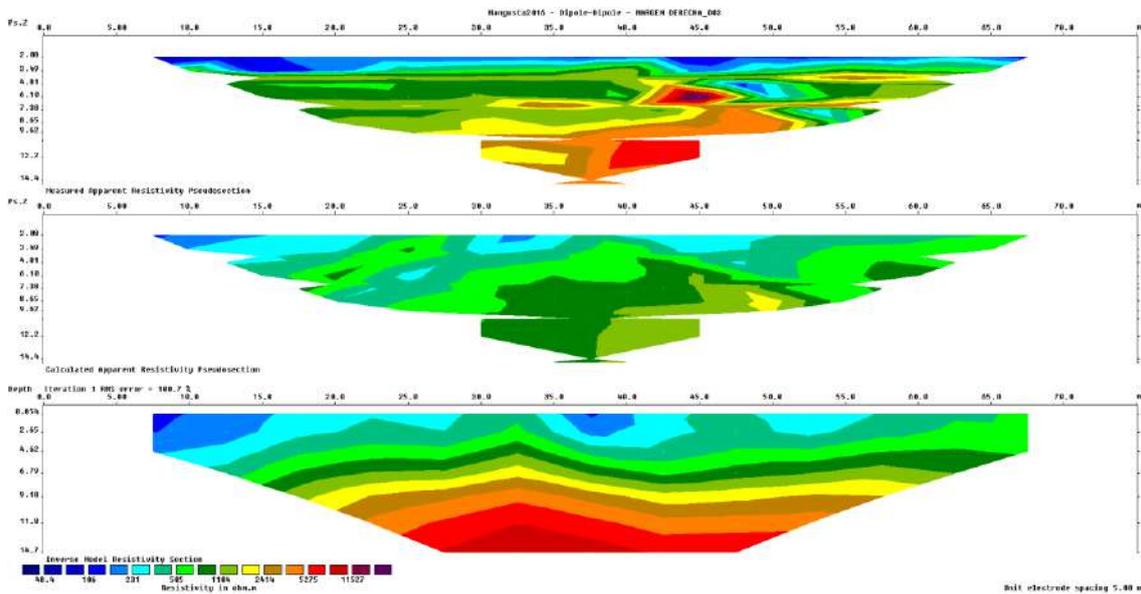
Comprende una línea de 190 metros de longitud con una profundidad aproximada de prospección de entre 40-50 metros de profundidad.

### Línea de tomografía TRE-02

Para realizar el procesamiento se utilizó el software RES2Dinv, se utilizaron las mediciones realizadas en campo, incluida la información topografía del terreno.

Se muestra los tres perfiles (pseudosección de resistividades aparentes, resistividades aparentes calculadas y resistividades reales).

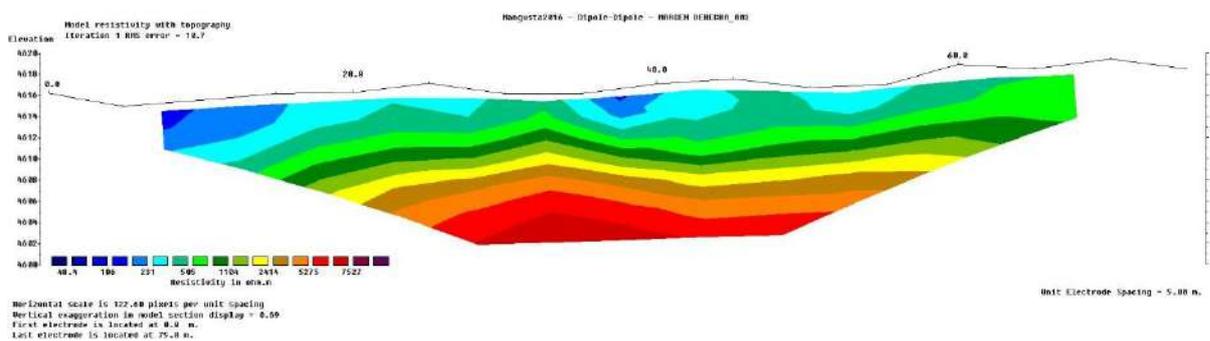
*Figura 99 Se muestra el procesamiento de la línea tomográfica TRE-02. (Elaboración propia).*



Fuente: Propia De Los Tesis

Se muestra un perfil de resistividades eléctricas ubicado en el vaso de la presa, con una longitud total de 75 m y una profundidad de 20 m aproximadamente.

*Figura 100 Perfil final de tomografía eléctrica de la línea TRE-02 (elaboración propia)*



Fuente: Propia De Los Tesis

### 7.2.4. Interpretación de resultados

Para la interpretación de resultados, se tiene información referencial en la siguiente tabla desarrollada por Sanz, 2011.

**Tabla 82** Características del terreno según su resistencia.

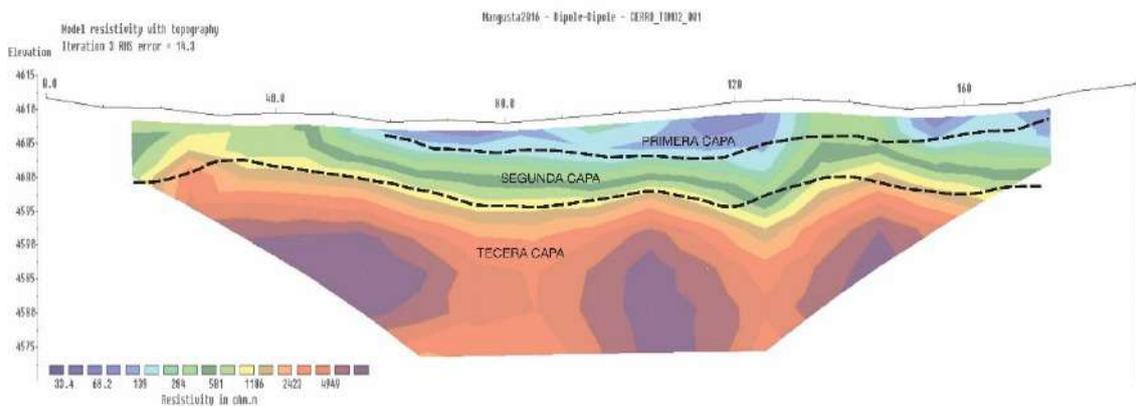
Naturaleza de terreno	Resistividad en (Ohm)
Terrenos pantanosos	Hasta 30
Arcillas y limos saturados	0 a 100
Turba húmeda	5 a 100
Arcillas plásticas	50
Arenas arcillosas	50-100
Arenas	500-1500
Gravas	1500 a 4000
Suelo pedregoso cubierto por césped	3000 a 5000
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactadas	1000 a 5000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800

Nota: Se muestra una tabla de resistividades eléctricas según los terrenos.  
(adaptado de Sanz, 2011).

### Línea de tomografía TRE-01

Figura 101 Perfil de tomografía eléctrica TRE-01, se muestra la delimitación de capas posibles. (elaboración propia).

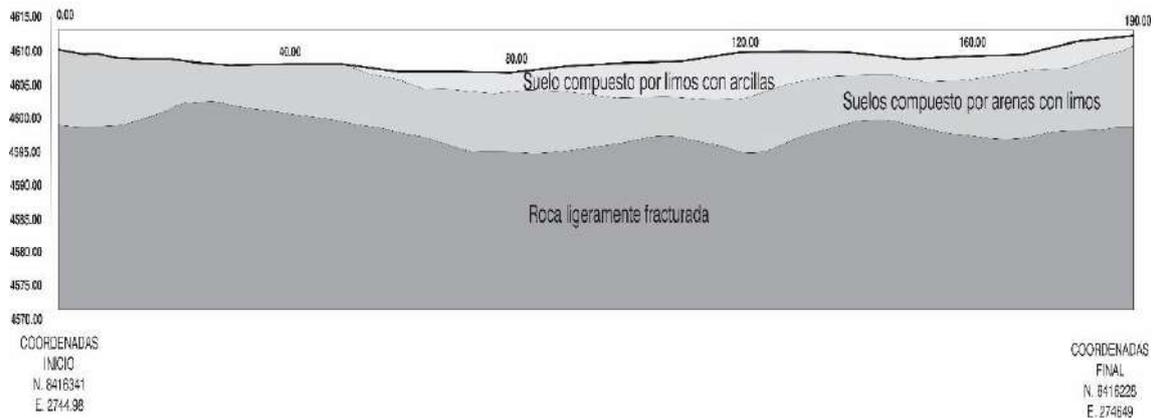
### INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE TOMOGRAFIA DE RESISTIVIDAD ELECTRICA TRE-01



Fuente: Propia De Los Tesis

Figura 102 Se muestra el perfil con la interpretación de los materiales existentes según la disposición del perfil tomográfico

### INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE TOMOGRAFIA DE RESISTIVIDAD ELECTRICA TRE-01



Fuente: Propia De Los Tesis

*Según la tomografía eléctrica TRE-01, se puede determinar tres capas:*

La primera que presenta un espesor de 0.00 m hasta 3.00 m, compuesto por materiales finos (limos y arcillas) saturados, ello corroborable con la información obtenida en el capítulo anterior.

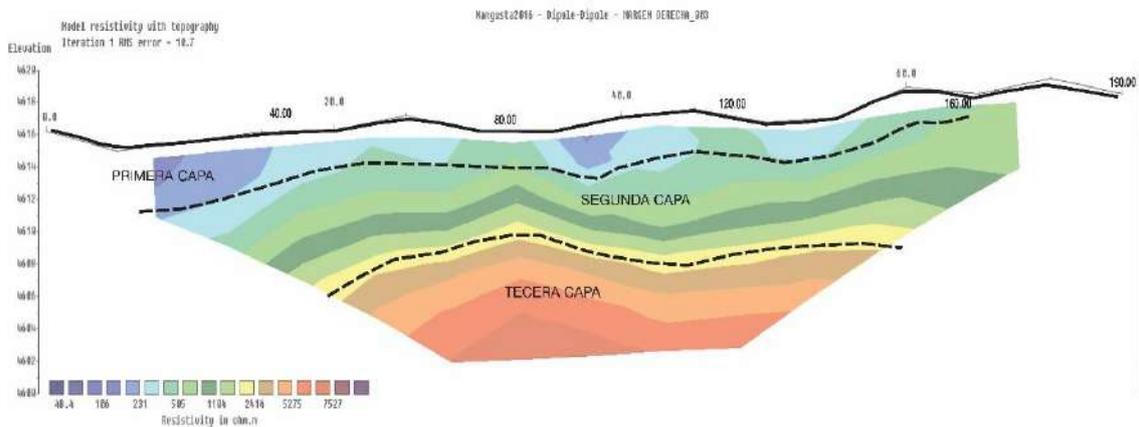
La segunda capa corresponde a materiales gruesos (arenas y limos) con un contenido mínimo de gravas y arcillas, presentan espesores desde 1.50 m hasta los 8.00 m.

La tercera capa corresponde a roca ligeramente fracturada a partir de los 10.00 m. Se observan afloramiento de Areniscas y conglomerados.

#### **Línea de tomografía TRE-02**

Figura 103 Perfil de tomografía eléctrica TRE-02, se muestra la delimitación de capas posibles. (elaboración propia).

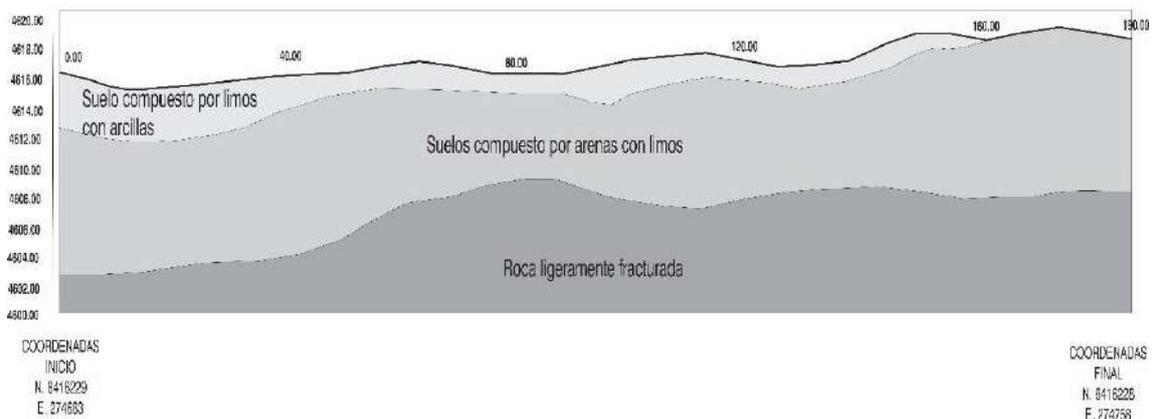
### INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA TRE-02



Fuente: Propia De Los Tesis

Figura 104 Se muestra el perfil con la interpretación de los materiales existentes según la disposición del perfil tomográfico.

### INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE TOMOGRAFIA DE RESISTIVIDAD ELECTRICA TRE-02



Fuente: Propia De Los Tesis

Según la tomografía eléctrica TRE-02. se puede determinar tres capas:

La primera que presenta un espesor de hasta 3.0 m, compuesto por materiales finos (limos y arcillas) saturados.

La segunda capa corresponde a materiales gruesos (arenas y limos) con un contenido mínimo de gravas y arcillas, presentan espesores de 8.0 m hasta los 10.0 m.

La tercera capa corresponde a roca ligeramente fracturada desde los 10.00 m de profundidad. Se observan afloramiento de Areniscas y conglomerados.

### 7.3. Ensayos geofísico método sísmico

#### 7.3.1. Ubicación de ensayo MASW 1D

Se realizó un ensayo MASW 1D, tomando como referencia el centro de la longitud total del eje de presa, empleando 24 electrodos, con una extensión de 48 m lineales.

La prospección se realizó en las siguientes coordenadas UTM, las cuales se muestran en la tabla a continuación.

**Tabla 83** Ubicación del ensayo MASW

<b>UBICACIÓN DEL ENSAYO MASW</b>	
<b>NORTE</b>	8416277
<b>ESTE</b>	274578
<b>ZONA</b>	19 L

Nota: Se muestra las coordenadas de la ubicación del ensayo MASW. (Elaboración propia).

Figura 105 : Se muestra la ubicación del ensayo MASW (adaptado de Google Earth).



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

### 7.3.2. Toma y registro de la información MASW 1D

Parámetros de adquisición de datos para MASW

**Tabla 84** *Parámetros de adquisición del ensayo MASW.*

PARAMETROS	DESCRIPCION
Tipo de onda	Ondas Superficiales (Rayleigh)
Numero de geófonos	24
Espaciado entre geófonos	2 m
Medida de geófonos	4.5 Hz
Fuente de impacto	10 kg
Intervalos de muestreo	0.5 ms
Longitud de registro	1.024 s

Nota: Se muestra los parámetros de adquisición del ensayo MASW.  
(Elaboración propia).

*Figura 106 Instalación de equipos, para la toma de datos*



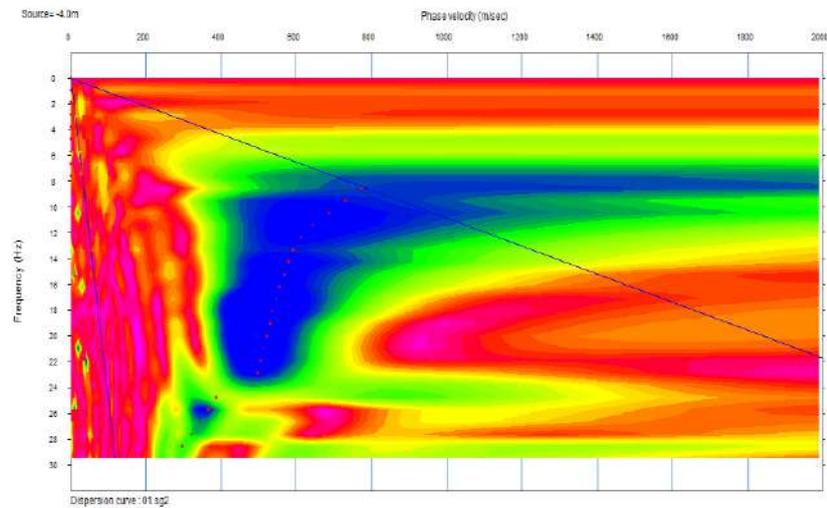
Fuente: Propia De Los Tesis

### 7.3.3. Procesamiento de datos

Para el perfil MASW 01 se ha prospectado con una longitud de 48m y una profundidad de 18 metros, el procesamiento se realizó en el programa SeisIMager, Masw 1D Fuente activa.

Se obtiene un gráfico, que relaciona la frecuencia (Hz) y la velocidad de fase (m/sec), este grafico nos ayuda a determinar la curva de dispersión. Considerando las tonalidades más oscuras(azul).

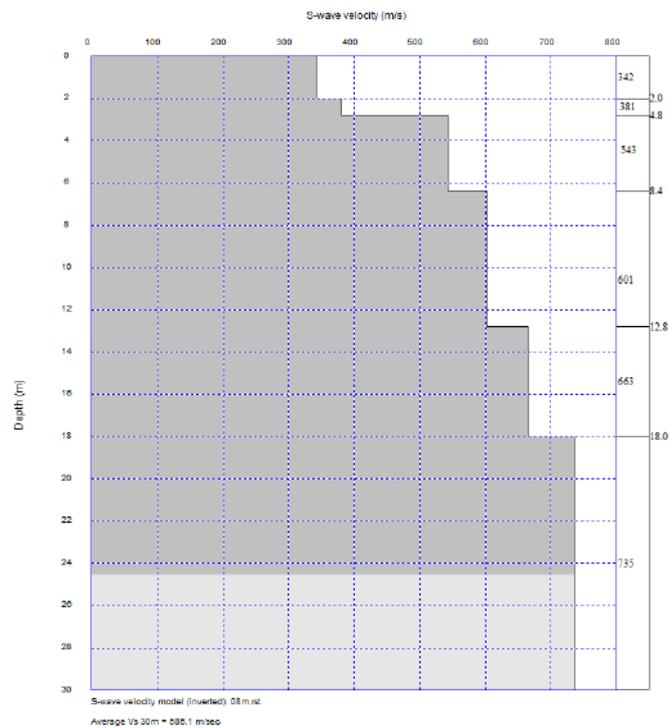
Figura 107 Se muestra la imagen de la velocidad de fase y la frecuencia. (Elaboración propia)



Fuente: Propia De Los Tesis

El programa realiza una inversión para obtener el modelo final, se muestra en la siguiente imagen.

Figura 108 Se muestra el perfil final del ensayo MASW-01 (elaboración propia).



Fuente: Propia De Los Tesis

### 7.3.4. Interpretación de resultados

Se puede determinar tres estratos predominantes según el perfil MASW, el primer estrato desde los 0.00 m hasta los 3.00 m con velocidades de onda S entre los 342.7 y 380.2 m/s, el segundo estrato corresponde a profundidades de 3.00 m hasta los 18.00 m con velocidades de 380.2 m/s a 732.1 m/s y el tercer estrato desde los 18.00 m hasta los 30.00 m con velocidades entre los 732.1 m/s hasta los 735.1 m/s.

Para realizar una primera interpretación, Según la norma E030 2018,  $V_s=30$  m/s\*, Velocidad promedio de ondas en los 30 m más superficiales, Podemos clasificar el suelo como tipo S1 comprende un suelo muy rígido o roca comprende parámetros de velocidad de corte de  $V_{s30}$  de  $500 < V_s < 1500$ .

Considerar la tabla 85 para la interpretación de la **International Building Code(IBC)**, en consecuencia se determina un tipo de suelo S1, roca dura o suelo muy rígido.

Se ha determinado un valor de  $V_s=585.1$  m/s, detallado en la siguiente tabla.

**Tabla 85** Tipo de suelo

TIPO DE SUELO		Velocidad ondas de corte $V_{s30}(m/s)$ *	N1(60) SPT	Resistencia al corte en condición drenada Su
<b>S0</b>	Roca dura	$V_s > 1500$	-	-
<b>S1</b>	Roca o suelo muy rígido	$500 < V_s < 1500$	$> 50$	$> 100$ kPa
<b>S2</b>	Suelos intermedios	$180 < V_s < 500$	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
<b>S3</b>	Suelos blandos	$V_s < 180$	$< 15$	25 kPa a 50 kPa
<b>S4</b>	condiciones excepcionales	Clasificación basada en el EMS		

Nota: Se muestra los valores del tipo de suelos, velocidad de ondas de corte, N1 y resistencia al corte en condición no drenada. (Norma E 030, 2018).

Simbolo	Tipo de suelo - E.030 2019
S0	Suelo Suelto / Suelo blando
S2	Suelo intermedio
S1	Roca o suelo muy rígido
S3	Roca dura

Fuente: E. 030-2018

Se ha determinado como periodo fundamental del suelo un valor de 0.25 detallado en la siguiente tabla.

Se toma en cuenta la información geológica y geotécnica obtenida en campo, se puede describir los siguientes materiales según la tabla 1, Norma E030.

Un terreno de tipo S1 (Roca o suelo muy rígido), muy cercano a un tipo de suelo S2 (Suelo intermedio) con un valor de onda entre  $500 \text{ m/s} < V_s < 1500 \text{ m/s}$ ,

El área de estudio presenta material grueso compuesto por gravas en matriz arcillosa, de compacidad densa, con presencia de bolones con un  $V_s$  30m igual a  $585.1 \text{ m/s}$  y un periodo fundamental de 0.25 s, tomando en cuenta los primeros 30 m de profundidad.

Corresponde a un perfil con ondas  $V_s$  desde  $342.7 \text{ m/s}$  hasta  $735.1 \text{ m/s}$ , y valores de onda  $V_p$  de  $1670 \text{ m/s}$  hasta  $2162.0 \text{ m/s}$ .

Para el cálculo de los parámetros elásticos, realizar en función las velocidades de onda P y onda S obtenidos mediante el programa SeisImager.

**Tabla 86** *Parámetros elásticos de suelo*

PROFUN(m)	VELOCIDAD DE ONDA S (m/s)	VELOCIDAD DE ONDA P(m/s)	DENSIDAD (g/cc)	COEFICIENTE DE POISSON $\nu$	MODULO DE YOUNG $E_e$ kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DE CORTE $G_d$ kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DE BULK $K_d$ kg/cm <sup>2</sup>	N
0.0	342.7	1670.5	1.8	0.5	6400.9	2164.7	49522.5	>50
2.0	380.2	1713.2	1.9	0.5	8073.0	2738.3	51870.7	>50
4.8	542.8	1893.0	1.9	0.5	16664.3	5725.3	62157.0	>50
8.4	602.8	1957.5	1.9	0.4	20567.9	7102.2	65910.9	>50
12.8	689.2	2026.8	1.9	0.4	25134.0	8725.9	70038.2	>50
18.0	732.1	2106.6	2.0	0.4	30865.4	10782.1	74908.6	>50
36.0	735.1	2162.0	2.0	0.4	31444.6	10959.0	80195.9	>50

Nota: Se muestra los valores de los parámetros elásticos obtenidos a partir del ensayo MASW. (elaboración propia).

## **Condiciones Geofísicas para el represamiento de la laguna de Quellhuacocha**

Según la toma y registro de información del ensayo MASW se prospecto 18 metros desde el nivel del terreno cota 0.00 m hasta los 3 m con velocidades de ondas S de 342.7 y 380.2 m/s lo cual se produce el primer estrato pero con velocidades bajas que indican que es un suelo altamente húmedo, de la cuota 3.00 m a 18.00 m se encuentra en segundo estrato con velocidades de 380.2 m/s a 732.1 m/s lo que podríamos indicar que ya hay una velocidad considerable e indicar que el estrato tiene aún una ligera humedad y por último se registró una variación muy notable de 732.1 m/s a 735.1 m/s lo que según la norma para las velocidades que se encuentran entre  $500 < V_s < 1500$  m/s es de roca, con lo cual concluimos que desde un aproximado de 15.00 metros tenemos roca.

## **CAPITULO VIII: GEOTECNIA**

### **8.1. Generalidades.**

Según los alcances de la presente tesis es determinar las condiciones geotécnicas del terreno de fundación en zona de ubicación del dique de represamiento, para ello se han realizado (06) calicatas, cuya auscultación se realizó con DPL (Penetración Dinámica Ligera de punta cónica ), verificación de los perfiles estratigráficos bajo condiciones naturales, para finalmente obtener muestras representativas para ser procesados en laboratorio obteniendo así datos de condiciones mínimas de cimentación, recomendando así la profundidad de excavación adecuada, capacidad portante admisible y asentamientos.

#### **Normativa.**

El procedimiento y resultados de la mecánica de suelos, está basada en las normas técnicas siguientes:

- Para los ensayos en campo y laboratorio
  - Manual De Ensayos De Materiales (EM-2016)
  - Normas Técnicas Peruanas (NTP)
- Para la Interpretación de resultados
  - Norma E - 050, Suelos y Cimentaciones.
  - Norma E - 030, Diseño Sismo resistente.

### **8.2. Auscultación De Calicatas**

Los procedimientos geotécnicos con fines de cimentación, se realizaron a través de 06 calicatas de exploración, ensayos de mecánica de suelos in situ, para conocer los parámetros geotécnicos de los materiales del terreno en perfil y zona de fundación. Estas actividades están organizadas secuencialmente en:

- Excavaciones exploratorias de calicatas (ASTM D420)
- Identificación de variación de capas tipo en el perfil de suelo.
- Ensayos de campo (Densidad natural, DPL)
- Toma de muestras y codificación para ensayos de laboratorio.

### 8.3. Datos generales del área de emplazamiento de la estructura:

#### a) Proyecto

“Estudio Geológico, Geotécnico e Hidrológico para la Estabilidad y Estanqueidad del Represamiento de la Laguna Quellhuacocha”, Distrito de Marangani, Provincia de Canchis - Cusco, 2020.

#### b) Topografía del Terreno

El sector de ubicación de la estructura proyectada se encuentra en una zona de topografía acolinada, de baja altitud hacia los flancos de la cerrada izquierda y derecha, y en forma de lomadas bajas hacia la zona media o de salida de la laguna.

*Figura 109 Topografía*



Fuente: Propia De Los Tesis

#### c) Edificación Especial

La edificación proyectada dique de represamiento no se clasifica como una edificación especial.

#### a) Usos anteriores.

El terreno donde se proyecta está libre para dar paso a las estructuras proyectadas, tal como se evidencia en las fotografías adjuntas.

*Figura 110 Lugar donde se proyecta la ubicación de los diques*



Fuente: Propia De Los Tesis

### **b) Restos Anteriores**

En los pozos de investigación no se ha hallado restos arqueológicos u obras semejantes que puedan afectar al EMS, tal como se evidencia en las fotografías adjuntas.

*Figura 111 Inexistencia de restos arqueológicos*



Fuente: Propia De Los Tesis

#### d) Movimientos de Tierra

Para el desarrollo del EMS se han realizado movimientos de tierra consistente en la excavación de seis (06) puntos, llegándose a una profundidad de investigación de hasta 3.00 m. con PDL.

#### e) Tipo de Edificación

Para los fines de la determinación del Programa de Exploración Mínimo (PM) del EMS, las edificaciones son calificadas, según la Tabla 88, donde I, II, III y IV designan la importancia relativa de la estructura desde el punto de vista de la exploración de suelos necesaria para cada tipo de edificación, siendo el I más exigente que el II, éste que el III y éste que el IV.

**Tabla 88: Reglamento Nacional de Edificaciones**

TIPO DE EDIFICACIÓN U OBRA PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE PUNTOS DE EXPLORACIÓN (TABLA 6)					
DESCRIPCIÓN	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS • (m)	NÚMERO DE PISOS (Incluidos los sótanos)			
		≤ 3	4 a 8	9 a 12	> 12
APORTICADA DE ACERO	< 12	III	III	III	II
PÓRTICOS Y/O MUROS DE CONCRETO	< 10	III	III	II	I
MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERÍA	< 12	II	I	---	---
BASES DE MÁQUINAS Y SIMILARES	Cualquiera	I	---	---	---
ESTRUCTURAS ESPECIALES	Cualquiera	I	I	I	I
OTRAS ESTRUCTURAS	Cualquiera	II	I	I	I
• Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior.					
TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES		≤ 9 m de altura		> 9 m de altura	
		II		I	
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA		III			
INSTALACIONES SANITARIAS DE AGUA Y ALCANTARILLADO EN OBRAS URBANAS.		IV			

**Fuente:** Reglamento Nacional de Edificaciones

Para el EMS se ha determinado que la edificación es del tipo **II**.

#### c) Exploración de Campo

- Se ha realizado Pozos a Cielo Abierto.
- Se ha realizado Ensayos con PDL In Situ.

Figura 112 Pozos a Cielo abierto



Fuente: Propia De Los Tesis

### **Programa Mínimo – PM**

El Programa de Exploración aquí detallado constituye el programa mínimo requerido por un EMS.

#### **a) Número «n» de puntos de Investigación**

El número de puntos de exploración se determina en la Tabla 89 en función del tipo de edificación y del área de la superficie a ocupar por ésta.

**Tabla 89** Reglamento Nacional de Edificaciones

<b>NÚMERO DE PUNTOS DE EXPLORACION</b>	
<b>Tipo de edificación u obra (Tabla 1)</b>	<b>Número de <i>puntos de exploración</i> (n)</b>
I	uno por cada 225 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso
II	uno por cada 450 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso
III	uno por cada 900 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso*
IV	uno por cada 100 m de instalaciones sanitarias de agua y alcantarillado en obras urbanas
Habilitación urbana para Viviendas Unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada hectárea de terreno por habilitar

**Fuente:** Reglamento Nacional de Edificaciones

El número de puntos de investigación determinado es de **06**.

#### **b) Profundidad «p» mínima a alcanzar en cada punto de Exploración**

La profundidad mínima de investigación se ha determinado tomando en consideración lo establecido en el RNE estableciéndose lo siguiente:

$$p = 2.50 \text{ m.}$$

(llegándose a una profundidad de exploración de hasta 3.00 m. con PDL).

### **Trabajos Realizados “In Situ”**

Para efectos de análisis del Estudio de Mecánica de Suelos, se ha realizado seis (06) puntos de investigación con PDL. Los puntos de prospección se ubican cubriendo el área de emplazamiento de la futura intervención y/o construcción de estructura. Se detalla a continuación las calicatas exploradas.

**Calicata 01.-** Calicata a cielo Abierto hasta una profundidad de 2.50 m. Denominándose: **P – 01.** (Habiéndose llegado a una profundidad de exploración de hasta 3.00 m. con PDL).

*Figura 113 Vista de ubicación de la calicata 01*



Fuente: Propia De Los Tesis

**Calicata 02.-** Calicata a cielo Abierto hasta una profundidad de 2.50 m. Denominándose: **P – 02.** (Habiéndose llegado a una profundidad de exploración de hasta 3.00 m. con PDL).

*Figura 114 Vista de ubicación de la calicata 02*



Fuente: Propia De Los Tesis

**Calicata 03.-** Calicata a cielo Abierto hasta una profundidad de 2.50 m. Denominándose: **P – 03.** (Habiéndose llegado a una profundidad de exploración de hasta 3.00 m. con PDL).

*Figura 115 Vista de ubicación de la calicata 03*



Fuente: Propia De Los Tesis

### **8.3.1. Ensayos Realizados “In Situ”**

#### **a) Descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual –manual)**

De acuerdo a la *Norma NTP 339.150 (ASTM D 2488)*

En los puntos de exploración se realizó un perfilaje minucioso, el cual incluyó el registro cuidadoso de las características de los suelos que conforman cada **estrato del perfil del suelo**, la clasificación visual de los materiales encontrados

de acuerdo con los procedimientos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**b) Sondeo con Penetrómetro Dinámico.**

*De acuerdo a la Norma NTP 339.159 (DIN 4094)*

Con el objeto de llegar a mayores profundidades y obtener -a través de correlaciones- propiedades de Resistencia Mecánica y Propiedades Índice, se han realizado ensayos con PDL (Penetrómetro Dinámico Ligero), en los lugares de ubicación de los puntos de exploración realizadas a la profundidad de excavación.

*Figura 116 Trabajos de campo realizados en la cuenca Quellhuacochoa*



Fuente: Propia De Los Tesis

*Figura 117 Trabajos de campo realizados en la cuenca Quellhuacochoa*



Fuente: Propia De Los Tesis

*Figura 118 Trabajos de campo realizados en la cuenca Quellhuacocha*



Fuente: Propia De Los Tesis

### **c) Extracción de Muestras Representativas**

*De acuerdo a la Norma NTP 339.159 (DIN 4094)*

Se han realizado la extracción de las muestras de suelo de acuerdo a lo establecido en la Tabla 86, realizándose la siguiente codificación:

PE-01: Muestra inalterada/alterada en bloque: **Mib- P-01/Mab C-01.**

PE-02: Muestra inalterada/alterada en bloque: **Mib- P-02/Mab C-02.**

PE-03: Muestra inalterada/alterada en bloque: **Mib- P-03/Mab C-03.**

*Figura 119 muestra de suelo seleccionado*



Fuente: Propia De Los Tesis

**Tabla 90 del Reglamento Nacional de Edificaciones**

TIPO DE MUESTRA	NORMA APLICABLE	FORMAS DE OBTENER Y TRANSPORTAR	ESTADO DE LA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS
Muestra inalterada en bloque (Mib)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	Bloques	Inalterada	Debe mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo (Aplicable solamente a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente cementados para permitir su obtención).
Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit)	NTP 339.169 SUELOS. Muestreo geotécnico de suelos con tubo de pared delgada	Tubos de pared delgada		
Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	Con bolsas de plástico	Alterada	Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en su estado natural al momento del muestreo.
Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	En lata sellada	Alterada	Debe mantener inalterado el contenido de agua.

#### 8.4. Ensayos de Laboratorio

Descripción de los ensayos efectuados, con referencia a las Normas empleadas.

##### 8.4.1. Ensayo de Contenido de Humedad.

*De acuerdo a la Norma NTP 339.127 (ASTM D-2216).*

En mecánica de Suelos se conoce como *Contenido de Agua o Humedad del Suelo* a la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de la fase sólida expresado en %. Se realiza el ensayo con fines de determinar la variación de la humedad en el terreno de fundación y también para ver si existe capa freática.

*Figura 120 horno para contenido de humedad*



Fuente: Propia De Los Tesis

### 8.4.2. Ensayo de Análisis Granulométrico.

*De acuerdo a la Norma NTP 339.128 (ASTM D-422-63).*

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o SUCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub-bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de este análisis.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

*Figura 121 Preparación de las mallas para lavado de muestra*



Fuente: Propia De Los Tesis

### 8.4.3. Ensayo de Límite Líquido.

*De acuerdo a la Norma NTP 339.129 (ASTM D-4318).*

A los suelos de grano fino se les pueden dar consistencias semilíquidas mezclándolas con agua. Cuando este contenido de humedad se reduce por evaporación y volvemos a mezclar la muestra, obtenemos un material plástico. Si el contenido de agua se reduce más, el material se hace sólido y se rompe o desmigaja cuando se deforma. Se realizan los Ensayos con fines de Clasificación de Suelos.

Figura 122 Análisis de límites de consistencia



Fuente: Propia De Los Tesis

#### 8.4.4. Ensayo de Límite Plástico.

De acuerdo a la Norma NTP 339.129 (ASTM D-4318).

Con fines de medición de la plasticidad se toma el criterio desarrollado por Atterberg, quien señala en primer lugar que la plasticidad no es una propiedad permanente, sino circunstancial y depende de su contenido de humedad.

El presente Estudio se ha realizado considerando la **Norma E-50** y los Ensayos de Laboratorio fueron realizados de acuerdo con las **normas ASTM** (American Society for Testing and Materials) respectivas y con los resultados obtenidos se procedió a efectuar una comparación con las características de los suelos obtenidas en el campo y las compatibilizaciones correspondientes en los casos en que fue necesario para obtener los perfiles de suelos definitivos, que son los que se presentan.

### 8.5. Resultados Obtenidos.

#### 8.5.1. Ensayos de caracterización.

Se presenta en los cuadros resumen, los resultados obtenidos a partir de los Ensayos realizados en Laboratorio en los niveles de fundación propuestos.

Tabla 91 Ensayos de caracterización

POZO	ESTRATO N°	PROFUNDIDAD	C. A. %	LP %	LL %	IP %
C-01	E-02	0,50 m.- 3,00 m.	15.20	16.59	19.57	2.98
C-02	E-02	0,50 m.- 3,00 m.	49.20	27.06	39.91	12.85

POZO	ESTRATO Nº	PROFUNDIDAD	C. A. %	LP %	LL %	IP %
C-03	E-02	0,50 m.- 3,00 m.	39.94	15.99	19.28	3.29
C-04	E-02	0.60 m.- 3,00 m.	21.31	19.17	33.77	14.60
C-05	E-02	0.40 m.- 3,00 m.	17.09	7.38	27.86	20.49
C-06	E-02	0.40 m.- 3,00 m.	21.31	8.02	25.06	17.03

Fuente: elaborado por los tesistas

La tabla muestra los parámetros mecánicos de las 06 calicatas, teniendo el porcentaje de LP (7.38-27.06%), LL (19.28-39.91)% y IP (2.98-20.49)%.

**Tabla 92** *Ensayos de Clasificación*

Pozo y/o Calicata	Nº	Cu	Cc	SUCS	Descripción	Color
C-01	E-02	2.43	0.84	<b>ML</b>	<b>Limo con arena</b>	Marrón Oscuro
C-02	E-02	2.19	0.85	<b>ML</b>	<b>Limo con arena</b>	Marrón Oscuro
C-03	E-02	34.07	0.11	<b>SM</b>	<b>Arena Limosa con Grava</b>	Marrón Oscuro
C-04	E-02	17.38	0.30	<b>SC</b>	<b>Arena Arcillosa con Grava</b>	Marrón Oscuro
C-05	E-02	88.35	0.20	<b>SC</b>	<b>Arena Arcillosa con Grava</b>	Marrón Oscuro
C-06	E-02	19.86	0.18	<b>SC</b>	<b>Arena Arcillosa con Grava</b>	Marrón Oscuro

Fuente: elaborado por los tesistas

Viendo los resultados obtenidos en la tabla 91, se clasificó el tipo de suelo que presenta las 06 calicatas, se obtuvo en su mayor parte el tipo de suelo arena arcillosa con grava (SC). Lo cual garantiza que el vaso es altamente impermeable.

### 8.5.2. Resumen de las Condiciones de Cimentación

#### Tipo de cimentación.

La naturaleza del sub suelo en el área del proyecto es heterogénea en los niveles de fundación y apoyo de la cimentación. Se recomienda que el tipo de cimentación se adopte en función del tipo específico de estructura a soportar.

#### Estratos de suelo en el área del proyecto.

La estratigrafía del sub suelo en el área de emplazamiento de la estructura de presa Quellhuacocha, es la siguiente:

**Tabla 93 Perfil de Suelos**

Perfil de Suelos			
Pozos y/o Calicatas (C)	Caracterización de Estratos		
	Estrato (E)	Profundidad	Composición
C-01	E – 1	0.00 m. – 0.50 m.	<b>Suelo Orgánico</b> ; Color Negro.
	E – 2	0.50 m. – 3.00 m.	<b>Limo con Arena (ML)</b> ; Color Marrón Oscuro.
C-02	E – 1	0.00 m. – 0.50 m.	<b>Suelo Orgánico</b> ; Color Negro.
	E – 2	0.50 m. – 3.00 m.	<b>Limo con Arena (ML)</b> ; Color Marrón Oscuro.
C-03	E – 1	0.00 m. – 0.50 m.	<b>Suelo Orgánico</b> ; Color Negro.
	E – 2	0.50 m. – 3.00 m.	<b>Arena Limosa con Grava (SM)</b> ; Color Marrón Oscuro.
C-04	E – 1	0.00 m. – 0.60 m.	<b>Suelo Orgánico</b> ; Color Negro.
	E – 2	0.60 m. – 3.00 m.	<b>Arena Arcillosa con Grava (SC)</b> ; Color Marrón Oscuro.
C-05	E – 1	0.00 m. – 0.40 m.	<b>Suelo Orgánico</b> ; Color Negro.
	E – 2	0.40 m. – 3.00 m.	<b>Arena Arcillosa con Grava (SC)</b> ; Color Marrón Oscuro.
C-06	E – 1	0.00 m. – 0.40 m.	<b>Suelo Orgánico</b> ; Color Negro.
	E – 2	0.40 m. – 3.00 m.	<b>Arena Arcillosa con Grava (SC)</b> ; Color Marrón Oscuro.

Fuente: elaborado por los tesisistas

### 8.5.3. Parámetros de diseño para la cimentación

Los parámetros de diseño de la cimentación son los siguientes.

**Tabla 94 Caracterización de estratos**

Pozos y/o Calicatas (C)	Caracterización de Estratos					
	Estrato (E)	Profundidad Media (m)	$\phi$ (°)	C Kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma$ tn/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ tn/m <sup>3</sup>
C-01	E – 2	0.50 m. – 3.00 m.	29.29	-	1.52	1.88
C-02	E – 2	0.50 m. – 3.00 m.	29.3	-	1.52	1.88
C-03	E – 2	0.50 m. – 3.00 m.	29.5	-	1.55	1.89
C-04	E – 2	0.60 m. – 3.00 m.	29.63	-	1.57	1.89
C-05	E – 2	0.40 m. – 3.00 m.	29.34	-	1.53	1.89
C-06	E – 2	0.40 m. – 3.00 m.	29.48	-	1.55	1.89

Fuente: elaborado por los tesistas

Los parámetros que se presentan corresponden a los obtenidos a partir de los Ensayos con PDL y de Laboratorio. Cabe referir, que, para los cálculos de Capacidad de Carga, se han tomado en cuenta los más desfavorables en los niveles de fundación propuestos. Obteniendo valores de 1.52 – 1.57 tn/m<sup>3</sup>.

#### 8.5.4. Agresividad del suelo a la cimentación

De acuerdo a las observaciones de campo, no se ha encontrado presencia de suelos sulfatados y yesos, y presencia de sal (muestreo de agua con conductivímetro portátil), por ello se puede indicar que el suelo no presenta agresión al concreto.

#### Nivel Freático

En las calicatas investigadas: C-01 y C-06 se detectó la presencia del Nivel Freático a la profundidad de investigación de 0.80 m, en la calicata C-02 a 0.70 m, en las calicatas C-03 y C-05 a 0.90 m y en la calicata C-04 a 1.00 m.

## 8.6. Estudio De Cantera

Este estudio se realiza con la finalidad de establecer el volumen necesario de material adecuado que satisfaga la demanda de construcción del proyecto en mención: en la calidad, y cantidad requerida, se determinó el estudio de las propiedades mecánicas y físicas de los materiales de la cantera.

### 8.6.1. Ubicación Y Accesibilidad

La cantera para suelos presenta un espesor que varía de 2.5 m hasta los 3.0 m, tiene un volumen aprovechable de 200 000 m<sup>3</sup>.

La cantera se encuentra ubicada al Oeste del eje de la presa, es necesario realizar una apertura de trocha carrozable con una longitud de 400 m, para el traslado del material.

*Figura 123 Ubicación de la cantera*



Fuente: Imagen satelital del Google Earth.

*Figura 124 Corte de talud de cantera para el relleno del dique*



Fuente: Propia De Los Tesis

*Figura 125 Acopio de muestra de material de cantera para laboratorio*



Fuente: Propia De Los Tesis

### **8.6.2. Explotación y muestreo**

La explotación se realizará con equipos pesados de carguío como Excavadoras, cargador frontal y volquete, además se debe llevar una zaranda mecánica.

#### **Situación legal**

La cantera no está incluida en ningún derecho minero

#### **Ensayos de laboratorio**

Con el objeto de determinar las características, propiedades y calidad del material, así como el uso del material de la cantera; con las muestras extraídas

en la investigación de campo se realizaron ensayos de clasificación y de calidad en laboratorio, considerando las normas técnicas vigentes.

Los ensayos de laboratorio que se han considerado para determinar las características físicas y mecánicas de los materiales de cantera son:

- Determinación de contenido de humedad natural MTC E 108
- Análisis Granulométrico por Tamizado MTC E 107
- Limite líquido MTC E 110
- Limite plástico e índice de plasticidad MTC E 111
- Proctor modificado MTC E 115
- Clasificación SUCS ASTM D-516
- Clasificación AAHSTO ASTM D-3282

### **8.6.3. Características para material de cantera**

El material necesario para un represamiento de tierra es necesario que el material sea una mezcla óptima de roca, arena gruesa, arena fina, limo y arcilla donde para que no haya infiltración es necesario que el mayor porcentaje sea arcilla plástica ya que esto hará que no haya infiltración y los otros materiales le darán consistencia al represamiento.

Las características que debe presentar la cantera será la que se muestra en la tabla.

**Tabla 95: Análisis granulométrico de la cantera**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO

Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia

INGENIERIA GEOLOGICA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO  
POR TAMIZADO (MATERIAL MEDIO) NTP-339.128 - ASTM D4318

Tesis : "ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y ESTANQUEIDAD DEL REFRESAMIENTO DE LA LAGUNA QUELLHUACCHA, DISTRITO DE MARANGANI, PROVINCIA DE CANCHIS-CUSCO, 2020"

Localización : **LAGUNA QUELLHUACCHA**  
Distrito : **MARANGANI**  
Provincia : **CANCHIS**  
Región : **CUSCO**

Fecha : **SEPTIEMBRE 2022**  
Capítulo : **Estudio Geotécnico**  
Tesisistas : **Darwin Rojas Laura**  
**Diego Armando Mamani Condori**

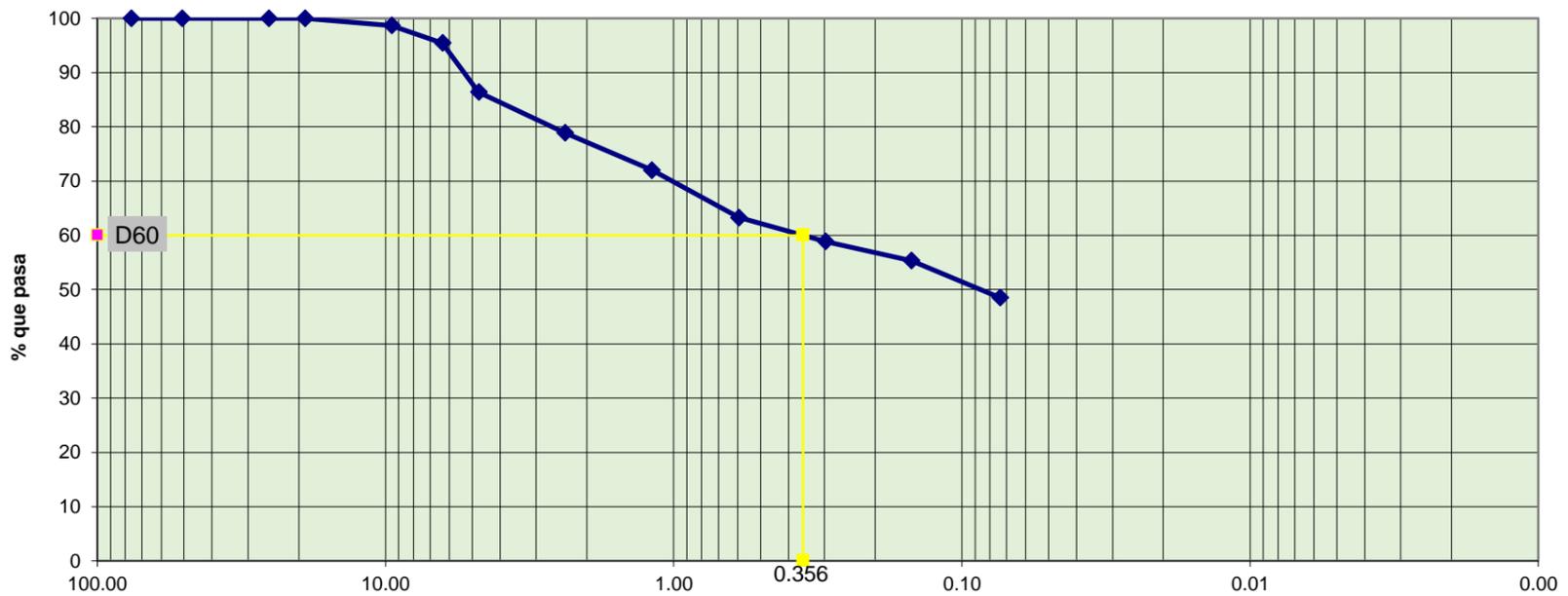
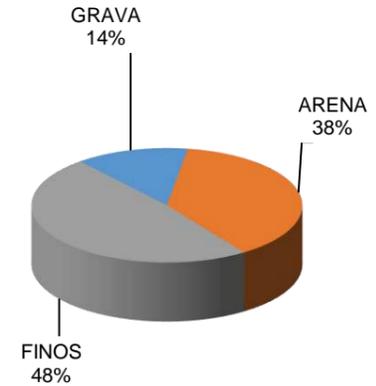
MUESTRA : **1**  
Codigo : **C01** Estrato : **E02** **Peso de la Muestra: (gr.)**  
Ubicación : **CANTERA** inicial : 477.00  
PROF. (m.): **0,00-2,00** desp de lavar : 246.78

CLASIFICACIÓN SUCS:

CS

ARCILLA ARENOSA

Abertura del Tamiz		Peso Retenido	Peso Corregido	Retenido %	Pasante %
Tamiz	mm				
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	5.43	5.43	1.35	98.65
1/4"	6.35	14.18	14.18	3.18	95.47
# 4	4.75	31.22	31.22	9.06	86.41
# 8	2.38	35.03	35.03	7.55	78.86
# 16	1.19	30.64	30.64	6.84	72.01
# 30	0.59	32.71	32.71	8.74	63.27
# 50	0.30	21.06	21.06	4.42	58.85
# 100	0.15	16.75	16.75	3.51	55.34
# 200	0.07	20.67	20.67	6.85	48.49
cazuela	0.0	26.09	26.09	48.49	0.00
		246.78	246.78	100.00	



GRUESA	MEDIA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	ARCILLA
GRAVA			ARENA			LIMO			

D60	D30	D10	Cu	Cc	GRAVA	ARENA	FINOS
0.356	-	-	-	-	13.59	37.92	48.49

Tabla 96 Propiedades físicas y mecánicas de la cantera



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia  
**INGENIERIA GEOLOGICA**

---

LIMITES DE CONSISTENCIA LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO - IP NTP-339.129 ASTM-D4318

---

Tesis : "ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA LAGUNA QUELLHUACOCHA, DISTRITO DE MARANGANI, PROVINCIA DE CANCHIS-CUSCO, 2020"

---

Localización : <b>LAGUNA QUELLHUACOCHA</b> Distrito: <b>MARANGANI</b> Provincia: <b>CANCHIS</b> Región : <b>CUSCO</b>	Fecha : <b>Estudio Geotécnico</b> Capítulo : <b>Darwin Rojas Laura</b> Tesistas : <b>Diego Armando Mamani Condori</b>
--	---

---

MUESTRA : **1**  
 Pozo : **C-01** Estrato : **E-02** Ubicación : **Cantera** PROF. (m.): **0,00 – 2.00**

**LIMITE LIQUIDO - ASTM 423-66**

PESOS	MUESTRA	1	2	3	4
Peso de la Capsula (gr)		14.46	14.59	14.53	14.64
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)		29.87	29.12	29.2	29.05
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)		26.99	26.48	26.95	27.17
Numero de golpes		5	6	12	10
Peso del Suelo Seco (gr)		12.53	11.89	12.42	12.53
Contenido de Humedad (w)		22.98	22.20	18.12	15.00

**LIMITE LIQUIDO (%)**

**10.5**

---

**LIMITE PLASTICO - ASTM D424-59**

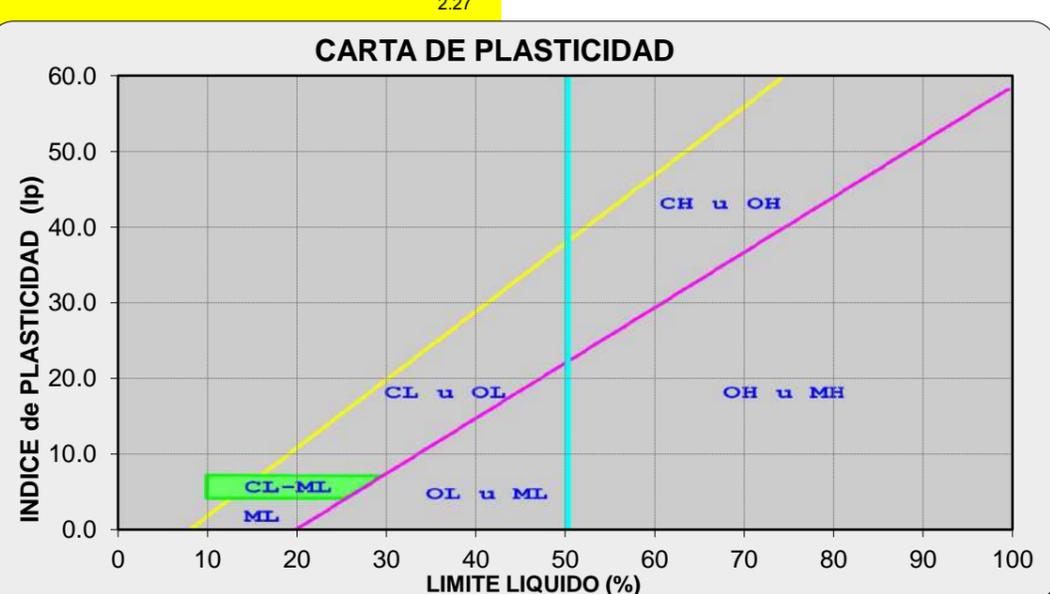
PESOS	MUESTRA	1	2
Peso de la Capsula (gr)		14.74	14.78
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)		28.77	28.94
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)		27.21	27.05
Peso del Suelo Seco (gr)		12.47	12.27
Contenido de Humedad (w)		12.51	15.40

	<b>LIMITE PLASTICO (%)</b>	<b>14.0</b>
	<b>INDICE PLASTICO IP=</b>	<b>-3.4</b>

	Clasif SUCS	LL - X	Ip - Y
		10.5	-3.4
	Linea A	15.29	-6.92
	Linea UL	4.18	2.27
	seco/humedo	0.90	

	<b>L</b>
CL u OL	<b>ML</b>
CL-ML	<b>ML</b>

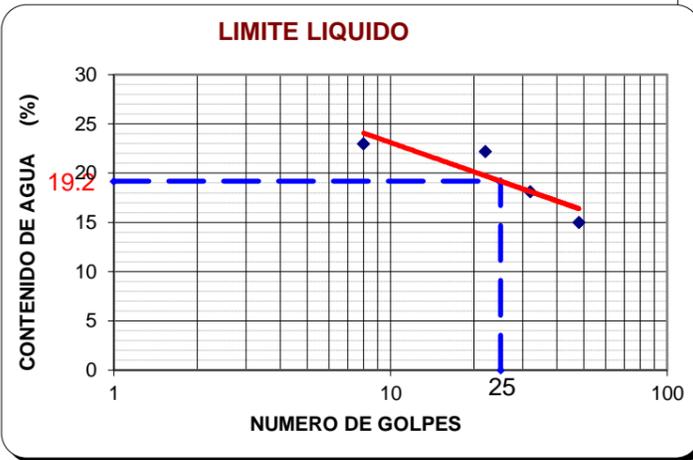
**CARTA DE PLASTICIDAD**



**CLASIFICACIÓN SUCS:**

**CL- ML**

**Arcilla de alta plasticidad**



#### 8.6.4. Resultados de las Propiedades físicas y mecánicas del material de la cantera

Según la clasificación SUCS, el material corresponde a un suelo CL-ML (suelo limoarcilloso), según las especificaciones de la normativa técnica peruana el material es óptimo para el objetivo planteado.

**Tabla 97** Resultado de las propiedades físicas y mecánicas de la cantera

MATERIAL	DMS (gr/cm <sup>3</sup> )	COA (%)	GRAVA (%)	ARENA (%)	Finos (%)	LL	LP	IP
CANTERA	1.91	11.43	13.59	37.92	48.49	10.5	14.0	3.4

Fuente: elaborado por los tesisistas

Cerca al área de estudio se encuentra esta cantera, apropiada para ser usada como material de préstamo para la conformación del cuerpo de la presa; esta, se encuentra aguas abajo al Sur Este de la Laguna, constituido por depósitos de naturaleza morrénica. Lo cual se clasifica como Arena Arcillosas con Grava en el sistema SUCS, presenta mucha grava 34.8%, mucha arena 36.5% y de pequeña a mucha cantidad de finos 28.7%, tiene un Límite Líquido de 26.8% y un índice plástico de 8.3%, presenta un Óptimo Contenido de Humedad de OCH =9.7% y una Máxima Densidad Seca de MDS =2.054 g/cm<sup>3</sup>. Esta cantera posiblemente tenga una permeabilidad media. Estas características hacen que pueda usarse para el relleno del cuerpo del dique.

#### Condiciones Geotécnicas para el represamiento de la laguna de Quellhuacocha

- Según los resultados obtenidos in\_situ y en laboratorio se concluye que en la mayoría de las 06 calicatas se obtuvieron las mismas características mecánicas y físicas obteniendo como resultados mínimos de LP (7.38%) en la calicata N° 05 ,LL(19.29%) en la calicata N° 04 e IP(2.98%) en la calicata N°01 y como resultados máximos se obtuvo LP(27.06%) en la calicata N°02, LL(39.91%) en la calicata N° 02 e IP(20.49%) en la calicata N°05, tomando esos datos máximos y mínimos podemos concluir que tanto el vaso como el dique tienen un alto contenido de agua así como el límite líquido corrobora que estamos en un tipo de suelo que cumplen con las características físicas y mecánicas requeridas para el represamiento ya que solo las arcillas tienen una propiedad característica que no permite la eliminación de agua la de adsorción así como el mismo índice plástico corrobora que tienen un índice plástico que garantiza dicho argumento.

## CONCLUSIONES

1. Se determino las unidades geológicas y litológicas en el vaso de almacenamiento y zona de emplazamiento del dique de represamiento lo cual garantiza que el volumen de almacenamiento sea constante y no haya perdida por infiltraciones, porque encontramos material volcánico sedimentario (brechas de areniscas arcósicas a sub arcósicas de grano fino a medio, así como grawackas), pertenecientes a la formación Pisac en el embalse de la laguna, y en la parte de la zona de emplazamiento del dique tenemos material morrenico y biogénico. Las condiciones geomorfológicas del vaso de almacenamiento y el área de escurrimiento superficial es óptimo para garantizar el represamiento debido a que se encuentra en un antiguo circo glaciar, con cumbres de pendiente de tipo acantilado, abrupta y muy fuerte a los extremos norte, este y oeste respectivamente y morrenas de pendiente moderada 5° a 15° hacia el sur. También se evaluó los procesos geodinámicos externos en el borde Norte del proyecto y alrededores obteniendo como resultados las caídas de rocas en su mayor parte. Donde no comprometen a la estructura de la represa por estar ubicada en una zona de baja pendiente.
2. Se determino las propiedades físico-mecánicas que tienen los suelos y rocas del vaso de almacenamiento y del eje de represamiento, los cuales presentan LL entre 19.57 a 39.91%; LP entre 7.38 a 27.06%; y como IP entre 2.98 a 20.49. Estos resultados nos indica que estamos trabajando en un tipo de suelo limo arenoso a arena arcillosa con grava. Lo cual garantiza la estanqueidad de la represa. Y adicional también se realizó los estudios de prospección geofísica al eje de la presa y vaso de almacenamiento, donde se observa anomalías hasta una profundidad promedio de 36 m con una velocidad de oscilación entre 0.222 a 5.712 para una frecuencia de 170Hz , por ende se identificó la presencia de circulación de aguas subterráneas en mínimas cantidades, lo cual no afecta la estanqueidad del almacenamiento del volumen de agua propuesto.
3. Se determino las características hidrológicas, donde el área de escurrimiento hídrico de la laguna de Quellhuacocha tiene 2.24 kilómetros cuadrados, con un coeficiente de escurrimiento de 0.60, asumiendo una precipitación total anual al 75% de persistencia de 750mm/año, lo cual garantiza un volumen total de

escurrimiento 1007738 metros cúbicos, de esta forma teniendo una demasía del volumen propuesto para el represamiento de 510000 metros cúbicos.

4. Se realizó el “Estudio geológico, geotécnico e hidrológico para la estabilidad y estanqueidad del represamiento de la laguna Quellhuacocha, distrito de Marangani, provincia de Canchis-Cusco, 2020”, para garantizar la estabilidad y estanqueidad de la estructura del represamiento, para un volumen de almacenamiento de aproximadamente 510000 metros cúbicos; para satisfacer la demanda actual de agua en la parte baja de la cuenca de Quellhuacocha.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda poner mallas geodinámicas para evitar caída de rocas al norte de la laguna debido al alta pendiente. Y así impedir cualquier desprendimiento futuro de la roca que pueda rellenarse en el vaso de la presa.
2. Para poder conocer adecuadamente las perdidas mínimas por infiltración tanto en la zona de cimentación como en el vaso de almacenamiento, es preferible realizar ensayos insitu de permeabilidad tipo Lefranc, los cuales deben hacerse a través de perforaciones diamantinas de por lo menos 12m por debajo del nivel base de cimentación.
3. Para incrementar la vida útil del talud del dique de represamiento aguas arriba, se recomienda el uso de geosintéticos con un espesor mínimo de 15cm (para asegurar la impermeabilidad del dique); así mismo, el cuerpo de la presa deberá tener un sistema de evacuación o de drenaje al exterior, con la finalidad de evitar la acumulación del agua y aire dentro del sistema de impermeabilización y la posibilidad de hinchamiento de la base de la geomembrana.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOLETIN N°25, Serie A: Carta Geologica Nacional, Geologia de los Cuadrangulos de Ocongate i Sicuani Hoja 28 t29 t, Diciembre, (1973).
- Espinoza, H. (2012). Tesis Consideraciones Geologicas para el emplazamiento de las Represas: Huarmislla, Angeles de Ccarahuasa, Papachacra y Huarichaca. Huancavelica.
- Flores B. R. (2008). Ingenieria Hidraulica en Mexico.
- Francis, P., & Higor, V. (2015). Tesis estudio geológico geotécnico para la construcción de la represa Quillca. Espinar-Cusco.
- Mejia, J.A. (2001). Hidrología aplicada V1, V2. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Manual de hidrología hidráulica y drenaje MTC.
- Palacios, O. (1994). Boletín n°51, Carta geológica nacional “geología de los cuadrángulos de chulca y cayarani”, hojas 30q y 30r.
- Pico, O.P. (2015) Tesis Estudio Geologico, Geotecnico y Geofisico de la presa Bufay, Provincia de Guyas.
- Plaza, O. (2008). *Geologia Aplicada a la Ingenieria Civil*. Madrid
- Raja, M. D. (2001). *Fundamentos de la Geotecnia*. Thomson Editores.
- Rildo, H. A., Cueva, H., Carlotto, V. (2010). Sociedad Geológica del Perú, XV Congreso Peruano de Geología. Dominios Y Estilos Estructurales En El Altiplano Y Borde Oeste De La Cordillera Oriental Del Sur Del Perú.
- Sanchez, A. W., & Zapata A. A. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Sicuani 29t, Ñunua 29u Macusani 29v, Limbani 29x, Sabdia 29y, San Ignacio 29z Yauri 30t, Azangaro, 30 v, Putina 30x, La Rinconada 30y, Condoroma 31r, Ocuwiri 31u, Juliaca 31v, Callalli 32t y Acora 32x, INGEMMET.
- Suarez, L. M. (1982). *Ingeniería de presas, Obras de Toma, Descarga y Desviacion*. Caracas: VEGA s.r.l.

- Villón, M. (2002). Cuenca hidrológica. *Hidrología* (2° ed.) (pp. 21 -63). Lima: Editorial Villón.
- Yngrid, A., & Igor, A. (2010). Tesis estudio geológico geotécnico para el proyecto construcción presa uchumayo sector sachac.

## ANEXO

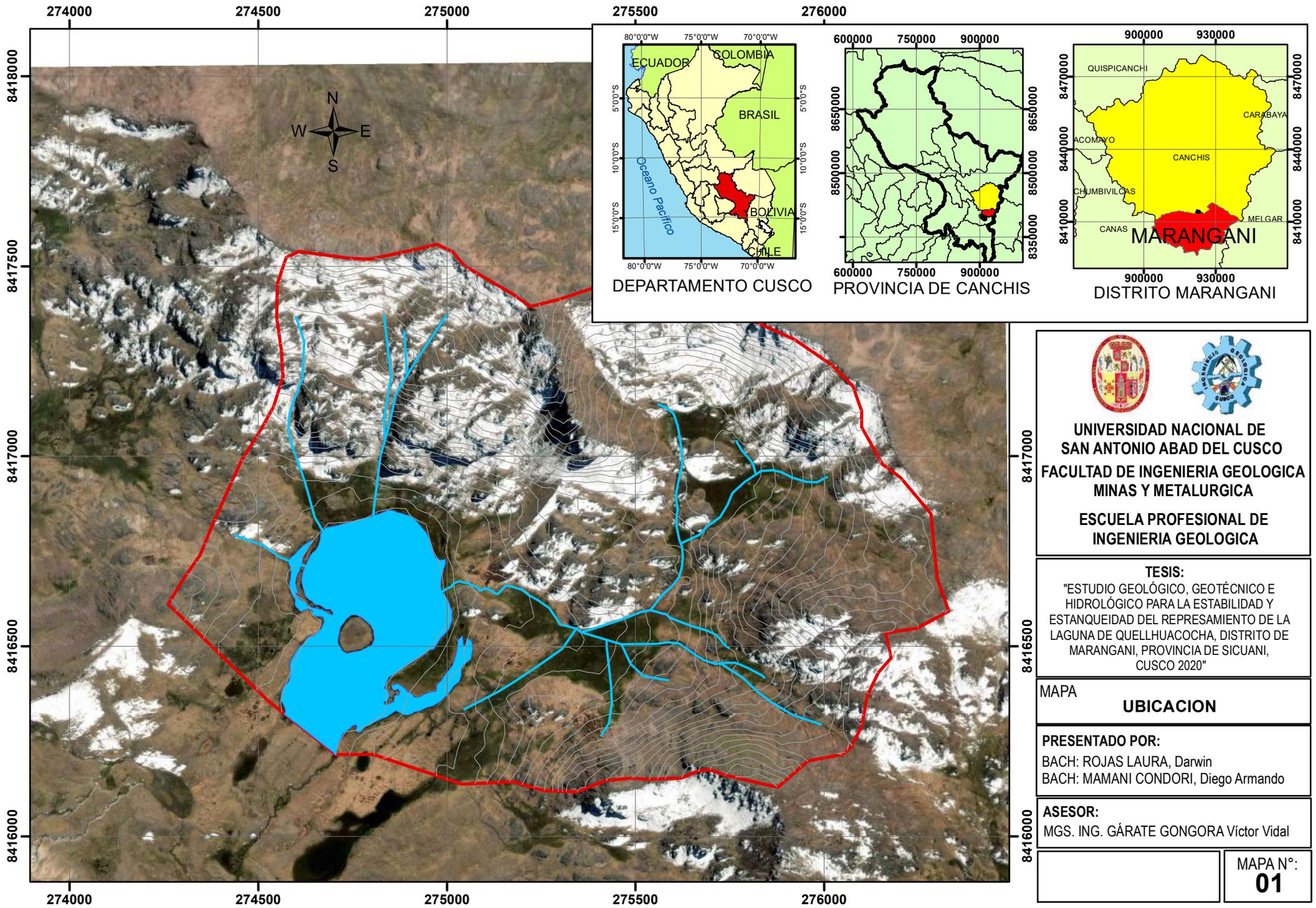
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETA														
(mm)														
Estacion : KAYRA		Latitud : 13° 33' 25" S		Departamento : CUSCO		Longitud : 71° 52' 31" W		Provincia : CUSCO		Distrito : SAN JERONIMO				
Tipo: CO-607		Altitud : 3219 msnm												
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	144.96	92.50	101.60	26.00	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	36.50	0.00	65.60	473.7
2	1965	101.80	100.50	112.40	88.00	5.80	0.00	0.40	1.00	29.60	58.30	42.50	153.00	693.3
3	1966	78.30	171.20	79.90	18.30	19.80	0.00	0.00	1.70	31.90	59.70	65.20	71.40	597.4
4	1967	59.10	118.40	140.30	19.00	1.80	0.60	11.00	19.00	32.80	70.90	57.20	125.60	655.7
5	1968	149.40	106.60	84.50	34.60	6.30	5.30	30.90	8.60	16.30	84.60	86.70	54.40	668.2
6	1969	144.40	77.80	88.10	16.80	2.90	3.30	7.20	3.90	22.80	29.80	54.70	72.90	524.6
7	1970	170.60	92.60	132.50	86.10	2.30	1.00	3.70	3.40	42.10	46.10	48.20	177.40	806.0
8	1971	128.90	161.60	83.60	40.00	1.50	0.10	0.00	5.70	3.50	55.70	51.00	127.50	659.1
9	1972	192.10	66.80	57.20	29.70	3.40	0.00	6.50	27.30	12.20	7.90	50.20	100.20	553.5
10	1973	221.30	120.90	99.60	75.20	14.00	0.00	9.10	11.80	14.50	65.10	88.80	96.50	816.8
11	1974	102.50	157.70	121.50	34.50	3.60	8.20	1.00	34.60	5.90	43.30	60.90	108.00	681.7
12	1975	124.70	131.00	55.30	66.80	22.50	0.70	0.30	0.60	51.10	47.50	51.00	170.10	721.6
13	1976	119.60	83.10	123.10	42.90	13.00	8.70	0.70	2.50	26.80	25.30	47.80	66.80	560.3
14	1977	116.70	122.80	69.30	47.60	7.90	0.00	4.40	0.00	29.90	65.00	71.50	78.00	613.1
15	1978	175.40	106.10	88.50	48.70	11.40	0.00	3.40	0.00	13.70	12.30	86.70	117.90	664.1
16	1979	101.10	131.60	108.80	46.80	6.20	0.00	0.90	8.10	11.50	18.40	85.60	81.80	600.8
17	1980	106.20	126.40	135.00	23.20	3.70	0.00	5.30	1.00	12.60	62.90	60.20	83.10	619.6
18	1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30	922.9
19	1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60	786.8
20	1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20	483.7
21	1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80	800.5
22	1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40	728.3
23	1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70	569.1
24	1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60	630.6
25	1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70	725.5
26	1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	48.14	60.70	88.50	685.7
27	1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50	641.1
28	1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00	682.4
29	1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00	609.3
30	1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50	799.9
31	1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90	798.4
32	1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60	560.0
33	1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	58.40	49.00	133.20	610.2
34	1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40	805.3
35	1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90	493.9
36	1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50	543.1
37	2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00	652.0
38	2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40	864.1
39	2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40	822.1
40	2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80	713.7
41	2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90	632.0
42	2005	140.80	130.60	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50	638.9
43	2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20	856.3
44	2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	48.14	70.31	88.40	618.1
45	2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90	592.4
46	2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90	525.5
47	2010	268.50	168.50	129.20	16.60	1.30	0.00	1.40	4.70	8.20	70.00	40.00	172.70	881.1
48	2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20	740.5
49	2012	70.50	167.70	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50	689.4
50	2013	180.50	137.20	75.50	13.00	25.30	6.10	2.00	12.40	17.69	105.00	86.00	159.40	820.1
51	2014	161.90	116.50	36.50	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	48.14	29.60	152.10	611.4
52	2015	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00	687.0
53	2016	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80	548.1
54	2017	111.20	122.42	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	17.69	48.14	70.31	110.80	676.4
Nº Datos	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Media	145.0	122.4	97.5	41.2	6.6	3.6	3.8	5.9	17.9	48.1	70.3	110.8	673.25	
Desv. Estandar	45.87	31.34	34.29	23.28	6.04	5.98	6.41	7.27	12.51	24.12	33.57	34.29	109.20	
Coef. Variacion	0.32	0.26	0.35	0.57	0.91	1.65	1.68	1.22	0.70	0.50	0.48	0.31	0.16	
Prec. Max.	268.5	184.6	173.9	108.9	25.3	31.8	30.9	34.6	51.1	114.6	201.5	201.5	268.5	
Prec. Min.	59.1	58.7	22.6	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	0.0	54.4	0.0	
FUENTE : SENAMHI														FECHA Y HORA 04/11/2022 08:17

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETA (mm)														
Estacion : SICUANI			Latitud : 14° 15' 13" S			Departamento : CUSCO			Provincia : CANCHIS			Distrito : SICUANI		
Tipo: CO-884			Longitud : 71° 14' 14" W			Altitud : 3,574 msnm								
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	115.6	122.4	135.8	60.6	38.5	0.0	3.0	3.9	39.0	31.3	103.1	60.6	713.9
2	1965	49.0	101.8	135.0	58.6	2.4	0.0	2.7	4.2	59.6	75.0	69.2	203.9	761.3
3	1966	87.7	127.0	101.2	6.4	37.6	0.0	0.0	2.5	41.8	159.9	113.9	130.0	808.0
4	1967	70.7	130.7	173.9	36.8	9.1	1.6	23.9	32.0	45.1	54.7	52.2	144.4	775.1
5	1968	114.3	165.7	263.9	53.8	0.0	0.0	15.5	27.3	20.7	60.1	144.4	62.1	927.7
6	1969	143.8	137.8	152.4	72.7	3.9	3.0	8.7	1.7	19.5	84.9	82.7	87.7	798.8
7	1970	179.0	145.0	146.8	52.3	5.8	0.0	0.0	0.0	21.2	50.2	48.4	192.6	841.3
8	1971	234.6	200.6	81.8	82.8	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	88.6	700.6
9	1972	189.5	94.0	117.5	71.4	7.7	0.0	19.5	36.4	0.0	9.8	43.3	116.0	705.1
10	1973	154.2	149.3	184.1	90.4	3.4	0.0	2.2	12.9	6.5	29.6	52.2	105.4	790.1
11	1974	187.6	248.6	101.4	27.9	0.9	7.2	0.0	17.8	27.3	14.5	57.3	85.7	776.4
12	1975	170.2	112.6	146.2	42.7	22.0	0.8	0.0	9.1	34.8	26.5	67.6	167.2	799.8
13	1976	200.8	85.2	161.8	34.1	14.1	8.3	6.3	11.9	22.2	11.5	36.0	107.0	699.4
14	1977	84.9	216.6	104.8	40.8	8.7	0.0	1.0	0.0	13.2	37.0	105.1	106.1	718.2
15	1978	236.4	78.5	202.0	91.4	0.0	0.0	0.0	0.0	28.1	26.7	80.8	41.7	785.7
16	1979	118.2	89.4	114.7	56.3	7.8	0.0	1.6	35.0	48.9	1.4	25.3	56.1	554.8
17	1980	122.3	69.6	36.8	0.0	22.0	26.3	28.1	30.5	2.3	93.0	85.0	116.6	632.5
18	1981	188.6	160.8	149.0	1.2	0.0	10.0	0.0	27.8	0.0	8.7	12.5	62.8	621.3
19	1982	131.2	52.1	95.8	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	47.5	115.0	67.3	17.0	527.7
20	1983	125.3	0.0	96.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0	3.0	0.0	191.9	461.4
21	1984	174.3	69.2	60.2	4.0	0.0	2.7	2.7	15.5	16.9	96.3	85.7	133.8	661.3
22	1985	139.6	133.4	120.8	52.8	18.1	9.4	2.0	3.4	35.3	58.4	87.6	119.0	779.7
23	1986	132.2	129.1	141.3	62.6	10.4	0.9	2.8	7.3	16.8	41.9	75.5	117.8	738.5
24	1987	161.2	117.8	111.4	53.9	3.1	1.4	12.1	0.5	2.7	26.9	142.9	168.0	801.9
25	1988	181.3	119.6	152.1	110.2	5.0	0.0	0.0	0.0	4.3	21.4	23.6	72.1	689.7
26	1989	186.1	109.8	171.0	77.6	16.3	10.4	0.0	12.2	51.0	52.5	47.6	132.7	867.3
27	1990	127.1	104.8	71.2	33.8	1.5	25.2	0.0	9.0	11.2	128.8	90.5	130.3	733.4
28	1991	93.3	76.3	87.5	59.3	18.1	14.4	0.0	0.0	12.7	44.9	43.7	70.4	520.6
29	1992	99.2	61.4	115.8	44.3	4.0	13.6	1.1	19.5	19.1	62.8	96.8	53.6	591.1
30	1993	163.0	87.1	116.2	57.4	0.0	1.2	2.0	9.8	26.7	66.0	136.4	114.1	779.9
31	1994	127.5	143.8	128.4	74.9	18.8	0.3	0.0	1.2	9.3	50.5	81.0	127.4	763.1
32	1995	107.4	105.2	131.3	64.4	3.1	1.2	2.8	0.0	16.6	36.0	92.3	117.0	677.3
33	1996	121.3	112.0	155.5	42.7	16.3	0.0	0.0	12.0	24.5	54.2	61.6	115.7	715.8
34	1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0.0	5.2	15.2	8.9	45.5	135.5	64.6	905.7
35	1998	102.3	131.0	97.8	15.5	0.0	0.0	0.0	5.6	1.7	92.2	73.6	92.7	612.4
36	1999	133.3	145.4	83.4	85.7	17.6	3.2	0.3	0.0	44.1	24.4	38.5	127.2	703.1
37	2000	110.4	180.0	121.9	15.6	7.2	6.0	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6	660.0
38	2001	213.0	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	34.7	48.3	76.2	134.4	948.4
39	2002	154.7	205.2	145.7	126.4	32.9	0.0	26.1	4.7	37.4	75.9	87.3	141.5	1037.8
40	2003	129.2	131.8	160.0	59.6	18.7	6.6	0.0	8.0	1.6	37.5	27.2	125.5	705.7
41	2004	162.6	191.0	80.4	47.0	7.6	8.2	4.2	12.0	51.6	28.9	92.4	98.4	784.3
42	2005	66.3	178.8	120.3	44.9	4.5	0.0	2.7	0.0	7.6	48.3	75.0	93.4	641.8
43	2006	151.2	120.8	92.8	99.0	3.3	5.7	0.0	10.3	23.3	45.4	111.3	102.0	765.1
44	2007	115.8	86.9	174.4	45.1	5.3	0.0	9.0	0.0	15.2	60.7	77.0	73.7	663.1
45	2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7.0	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149.0	716.5
46	2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0.0	6.2	0.0	11.1	32.2	129.0	121.1	659.1
47	2010	161.0	95.8	118.0	48.4	2.6	0.0	0.0	5.7	2.4	62.8	46.6	125.1	668.4
48	2011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4	3.0	51.9	25.3	29.0	131.9	777.9
49	2012	155.2	184.8	103.0	49.0	0.5	3.2	0.8	0.0	14.2	36.4	38.7	149.8	735.6
50	2013	167.0	157.7	78.9	23.5	7.2	7.1	0.0	11.2	1.8	38.1	66.2	162.7	721.4
51	2014	146.9	134.3	55.4	36.7	9.5	0.0	0.2	6.3	24.5	49.2	31.2	156.4	650.6
52	2015	142.0	95.9	106.9	55.2	8.4	2.7	12.6	7.0	10.1	52.5	74.6	136.5	704.4
53	2016	131.4	260.0	53.8	82.8	3.2	0.0	0.3	6.9	19.9	79.0	51.8	77.0	766.1
54	2017	162.3	119.1	126.9	60.8	40.8	0.0	2.2	9.4	22.7	72.9	64.8	103.4	785.3
N° Datos		54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Media		142.3	129.6	124.0	52.0	9.9	3.4	4.3	8.5	21.8	50.9	69.1	112.5	728.4
Desv. Estandar		41.66	48.16	41.51	30.16	10.39	5.81	6.93	9.80	16.56	32.00	34.68	38.99	112.77
Coef. Variacion		0.29	0.37	0.33	0.58	1.05	1.69	1.61	1.15	0.76	0.63	0.50	0.35	0.15
Prec. Max.		236.4	260.0	263.9	132.7	40.8	26.3	28.1	36.4	59.6	159.9	144.4	203.9	263.9
Prec. Min.		49.0	0.0	36.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0

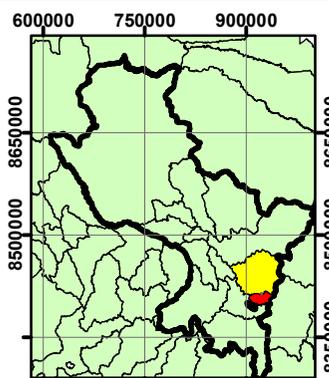
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETA														(mm)	
Estacion :		YAURI				Latitud :	14° 49' 01" S			Departamento :	CUSCO				
Tipo:		CO-884				Longitud :	71° 25' 01" W			Provincia :	ESPINAR				
						Altitud :	3,927 msnm			Distrito :	YAURI				
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1	1964	190.1	174.9	137.2	62.2	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	14.8	35.2	107.8	732.8	
2	1965	91.4	115.1	124.8	42.2	0.0	0.0	1.0	0.0	20.0	23.8	37.0	227.6	683.0	
3	1966	98.2	217.8	73.1	9.3	25.1	0.0	0.0	0.0	10.8	131.1	51.7	131.3	748.4	
4	1967	70.8	100.3	183.2	44.8	12.1	0.0	10.7	19.8	34.0	96.9	27.3	116.1	716.2	
5	1968	243.8	97.1	101.2	14.2	0.0	4.6	13.2	15.9	10.6	71.3	130.3	91.3	793.4	
6	1969	230.3	163.9	79.8	55.8	0.0	0.0	5.5	5.7	0.0	0.0	52.2	120.5	713.6	
7	1970	213.0	149.6	42.3	69.4	0.0	0.0	0.0	5.9	74.2	10.7	20.8	154.0	739.9	
8	1971	179.8	293.4	115.2	51.2	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	10.4	6.2	123.1	781.9	
9	1972	188.9	175.9	141.1	33.2	0.0	0.0	15.8	8.4	24.8	51.9	62.8	159.7	862.4	
10	1973	302.9	302.7	208.8	156.9	13.1	0.0	2.8	5.0	58.2	20.8	59.8	88.0	1,218.9	
11	1974	233.6	237.9	176.4	59.9	2.4	17.5	0.0	108.3	26.5	21.9	11.5	42.2	938.0	
12	1975	166.9	221.6	128.5	124.9	32.7	7.8	0.0	0.0	0.0	9.0	43.5	99.7	834.7	
13	1976	199.0	188.2	122.9	27.2	12.2	38.6	0.0	32.8	79.5	1.7	24.4	73.9	800.4	
14	1977	61.1	215.7	84.8	0.0	2.0	0.0	8.7	0.0	14.2	68.7	58.6	56.1	569.9	
15	1978	258.4	49.4	55.7	34.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.9	152.0	625.1	
16	1979	172.9	182.1	135.4	63.6	7.3	1.9	1.3	13.7	17.4	34.6	60.9	116.2	807.4	
17	1980	176.1	182.4	145.8	52.5	5.1	1.9	4.0	0.0	18.0	44.8	52.0	117.5	800.1	
18	1981	203.5	162.2	135.4	65.9	3.2	5.0	0.7	16.5	29.6	52.4	71.1	125.5	870.8	
19	1982	193.2	174.2	144.3	68.0	1.7	9.5	2.7	7.2	18.0	38.1	73.0	117.6	847.5	
20	1983	187.9	175.5	120.9	57.2	4.9	7.4	1.0	0.0	15.6	37.6	47.3	124.7	780.1	
21	1984	199.9	181.9	120.4	79.8	1.7	3.5	1.5	20.0	14.3	54.8	54.0	119.0	850.8	
22	1985	180.9	178.1	123.0	56.7	15.7	11.6	1.3	0.0	29.7	44.0	72.0	124.9	837.8	
23	1986	172.9	179.6	147.8	76.0	7.6	2.0	1.9	6.2	16.6	36.0	15.7	117.6	779.8	
24	1987	280.4	13.5	31.3	25.6	0.0	13.4	24.9	0.0	19.0	42.9	78.8	143.7	673.6	
25	1988	298.5	165.1	151.3	91.4	5.7	1.8	6.9	0.0	6.4	24.5	13.8	118.0	883.5	
26	1989	181.5	174.1	133.8	57.3	7.2	9.2	0.7	9.4	1.3	39.6	49.8	113.3	777.3	
27	1990	183.8	165.1	114.5	61.6	8.2	27.7	0.7	8.8	17.5	45.1	59.2	108.7	800.8	
28	1991	166.1	184.2	133.8	34.1	15.8	47.0	0.0	0.0	56.0	40.0	58.2	116.1	851.3	
29	1992	171.4	168.8	129.5	46.5	1.7	8.0	0.0	45.4	0.0	60.0	75.8	37.9	745.0	
30	1993	270.6	107.7	134.2	117.1	5.5	0.0	0.8	15.1	7.7	94.2	174.5	157.9	1,085.3	
31	1994	207.0	223.1	192.4	57.0	16.8	0.0	0.0	0.0	22.4	13.2	66.9	101.3	900.0	
32	1995	167.3	142.4	211.2	82.4	2.7	0.0	0.0	2.8	13.1	52.1	37.9	129.3	841.3	
33	1996	162.1	189.8	110.4	97.9	17.1	0.0	0.0	20.5	13.7	31.3	51.6	106.1	800.7	
34	1997	249.6	212.4	117.9	67.5	3.2	0.0	0.0	26.5	38.9	14.8	92.9	124.2	947.9	
35	1998	220.3	152.6	91.1	14.0	0.0	2.5	0.0	3.7	0.8	49.0	47.7	48.7	630.4	
36	1999	144.0	233.1	161.8	127.6	3.7	0.0	0.0	0.8	48.6	53.8	46.1	157.9	977.2	
37	2000	163.7	198.2	164.8	41.9	4.3	5.7	0.0	12.9	6.3	80.0	27.3	170.9	876.1	
38	2001	271.4	235.3	260.2	101.6	32.7	0.9	4.4	4.9	4.3	32.9	26.3	68.9	1,043.6	
39	2002	113.9	301.0	151.4	69.1	25.3	0.5	17.1	0.0	41.4	57.3	69.5	146.0	992.5	
40	2003	175.3	235.7	198.1	37.8	5.8	0.8	0.0	5.6	35.7	11.4	75.2	132.4	913.8	
41	2004	221.5	171.0	86.8	49.7	0.0	1.8	11.0	18.2	26.3	26.4	58.2	108.2	779.0	
42	2005	117.6	181.6	126.7	44.3	1.1	2.2	0.0	4.9	5.8	57.5	43.1	166.9	751.8	
43	2006	304.1	123.6	181.0	47.2	1.4	5.6	0.0	10.0	19.2	60.9	66.1	126.4	945.5	
44	2007	134.0	138.0	111.7	60.5	4.8	0.0	3.5	0.0	16.8	37.5	44.9	121.6	673.2	
45	2008	204.8	111.3	75.0	1.2	5.1	6.0	0.0	0.0	0.2	44.9	25.7	106.9	581.1	
46	2009	105.8	170.7	106.0	46.1	5.7	0.0	1.5	0.0	2.1	45.4	179.0	138.9	801.1	
47	2010	179.3	172.2	119.4	33.3	14.1	0.0	0.0	0.0	1.8	16.8	37.4	183.6	757.9	
48	2011	132.2	258.4	144.5	76.7	10.4	0.0	2.0	0.0	37.6	17.6	78.0	143.3	900.7	
49	2012	178.9	277.6	199.7	79.7	11.9	0.0	0.1	0.0	14.3	32.7	79.5	139.5	1,013.9	
50	2013	176.7	172.6	85.3	9.0	2.8	15.1	3.6	21.0	0.0	29.9	55.4	163.2	734.5	
51	2014	149.6	118.5	96.7	22.2	9.5	0.0	5.8	3.7	43.4	104.4	23.3	198.2	775.2	
52	2015	193.3	118.3	123.1	137.9	14.4	0.5	1.6	18.2	21.6	31.6	27.7	149.7	837.9	
53	2016	117.9	176.9	67.9	117.8	1.8	0.1	9.7	3.4	4.9	43.0	21.6	96.3	661.3	
54	2017	177.1	182.8	177.2	72.1	23.8	0.1	3.4	0.0	12.8	60.8	56.2	125.0	891.2	
N° Datos		54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	
Media		185.8	177.7	130.3	59.9	7.6	4.9	3.1	9.3	19.7	41.2	55.4	123.2	818.1	
Desv. Estandar		55.58	56.22	44.43	34.37	8.36	9.30	5.19	16.82	18.62	26.74	33.33	36.12	128.60	
Coef. Variacion		0.30	0.32	0.34	0.57	1.10	1.91	1.65	1.81	0.95	0.65	0.60	0.29	0.16	
Prec. Max.		304.1	302.7	260.2	156.9	32.7	47.0	24.9	108.3	79.5	131.1	179.0	227.6	304.1	
Prec. Min.		61.1	13.5	31.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	37.9	0.0	

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETA (mm)																	
Estacion : POMACANCHI CO			Latitud : 14° 01' 41" S			Longitud : 71° 34' 22" W			Departamento : CUSCO			Provincia : ACOMAYO			Distrito : POMACANCHI		
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL			
1	1964	171.0	159.0	126.6	54.0	12.4	0.1	0.0	3.0	11.7	61.4	63.4	138.5	801.1			
2	1965	160.7	159.6	128.1	75.1	11.6	0.1	0.0	4.0	37.3	68.7	81.4	149.6	876.2			
3	1966	154.8	168.4	122.0	51.1	26.2	0.1	0.0	4.7	39.2	68.9	90.8	138.5	864.8			
4	1967	150.0	161.0	132.3	51.1	7.4	0.7	17.8	21.9	39.9	72.6	87.2	145.2	887.2			
5	1968	170.1	159.0	122.2	56.3	12.1	5.9	51.9	11.5	25.6	77.0	99.4	135.5	926.5			
6	1969	168.5	154.8	122.5	50.1	8.5	3.7	11.2	6.9	31.1	58.3	85.6	137.5	838.6			
7	1970	174.0	156.3	129.9	73.4	7.9	1.2	5.2	6.4	47.5	63.6	82.6	150.7	898.5			
8	1971	164.1	164.8	121.0	57.7	7.0	0.2	0.0	8.6	14.5	66.6	83.6	143.8	831.8			
9	1972	177.8	152.1	116.1	54.0	9.0	0.1	9.9	29.8	21.8	50.4	83.0	139.9	843.9			
10	1973	183.9	158.7	123.1	69.1	19.8	0.1	14.3	14.5	23.7	69.4	98.9	139.0	914.5			
11	1974	156.8	162.9	126.5	55.3	9.1	8.9	0.6	36.7	16.4	62.0	87.0	140.1	862.4			
12	1975	161.4	159.1	114.8	66.0	28.3	0.8	0.0	3.5	54.4	63.2	82.7	147.7	881.8			
13	1976	159.8	152.5	126.1	57.8	18.6	9.4	0.0	5.4	33.8	55.6	81.1	134.1	834.4			
14	1977	158.7	157.2	116.5	59.2	13.4	0.1	6.2	2.9	36.3	68.6	90.7	135.1	845.1			
15	1978	171.2	154.6	119.5	59.4	16.9	0.1	4.6	2.9	22.7	51.0	96.7	139.8	839.6			
16	1979	154.4	157.4	122.6	58.6	11.6	0.1	0.4	10.7	20.8	52.9	96.0	134.9	820.5			
17	1980	155.1	156.3	126.8	50.7	9.1	0.1	7.7	3.9	21.7	67.4	85.3	134.7	818.7			
18	1981	180.8	150.2	124.6	61.6	7.1	4.2	0.0	12.3	49.2	82.2	109.9	142.0	924.3			
19	1982	170.2	154.1	127.5	62.1	5.3	9.8	4.5	7.6	22.7	58.9	110.3	135.9	868.8			
20	1983	158.7	149.8	112.2	52.5	8.7	6.6	0.0	3.7	15.7	54.8	78.2	135.7	776.5			
21	1984	173.5	156.6	114.6	69.6	5.3	2.2	1.0	13.7	14.5	83.4	88.1	135.7	858.4			
22	1985	49.7	116.7	69.0	99.4	77.1	13.2	0.0	5.6	55.8	36.5	143.1	131.9	798.1			
23	1986	109.3	136.6	76.9	43.5	5.1	0.0	0.0	1.5	47.1	26.3	39.5	204.4	690.2			
24	1987	177.7	148.7	39.4	33.8	0.0	0.5	21.7	0.0	3.0	54.4	100.5	135.2	714.8			
25	1988	164.2	147.8	129.3	77.2	9.8	0.1	0.0	0.0	21.0	9.6	34.2	51.5	644.8			
26	1989	161.1	124.7	79.7	8.9	11.5	9.5	0.0	8.6	35.8	61.0	83.5	132.1	716.5			
27	1990	162.0	147.8	111.0	57.1	12.5	32.9	0.0	8.3	21.7	69.0	93.7	129.1	845.2			
28	1991	148.8	156.3	118.2	56.2	15.9	5.3	1.3	2.8	28.2	61.1	92.2	133.3	819.6			
29	1992	141.4	90.1	95.6	46.5	5.2	20.0	0.0	15.4	6.5	91.9	88.6	72.7	674.1			
30	1993	205.4	124.2	101.8	31.3	0.0	2.0	6.0	11.9	16.4	86.4	80.5	185.5	851.4			
31	1994	164.5	150.1	123.9	47.1	5.4	0.0	0.0	1.0	25.3	67.9	87.2	115.4	787.7			
32	1995	131.4	107.2	125.5	36.6	13.3	0.0	5.4	1.5	35.6	8.9	124.5	159.1	749.1			
33	1996	197.6	90.2	113.0	54.7	16.8	0.0	0.0	28.4	31.8	106.5	78.4	155.7	873.0			
34	1997	151.8	190.7	187.3	22.6	15.7	0.0	4.9	12.3	7.4	81.6	133.5	77.7	885.5			
35	1998	138.3	127.8	134.1	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	70.6	102.5	112.8	704.2			
36	1999	169.7	137.5	82.4	91.3	9.0	0.0	1.6	0.0	18.7	33.6	39.8	104.0	687.5			
37	2000	116.3	179.7	109.3	29.9	7.3	14.4	5.9	15.7	21.9	90.0	40.3	134.7	765.4			
38	2001	205.0	133.0	150.7	37.7	13.1	2.7	17.7	13.2	15.7	70.0	67.7	165.2	891.8			
39	2002	107.9	199.0	146.8	58.1	11.5	0.5	23.4	14.6	52.5	55.2	91.3	102.7	863.6			
40	2003	152.0	149.5	136.9	57.7	14.9	7.9	0.0	5.5	15.5	58.5	45.6	100.0	744.1			
41	2004	221.2	148.7	69.1	43.4	21.5	8.6	7.5	14.3	60.6	48.5	57.0	139.0	839.6			
42	2005	82.2	124.8	141.8	49.8	2.0	0.0	0.2	4.1	2.5	71.1	97.3	101.3	677.1			
43	2006	138.3	196.2	80.7	118.7	0.9	9.4	0.0	6.2	3.6	67.7	85.6	126.1	833.4			
44	2007	148.3	150.9	194.7	66.7	12.1	0.0	4.1	0.0	3.4	45.1	85.7	88.3	799.4			
45	2008	144.7	128.4	117.0	30.7	11.8	4.0	0.0	2.8	15.5	71.1	71.4	118.1	715.7			
46	2009	123.2	95.1	72.5	37.7	7.7	0.0	12.7	0.0	9.9	16.4	250.1	100.1	725.4			
47	2010	259.6	78.6	103.6	47.8	2.1	0.0	0.0	11.4	4.7	52.4	37.4	139.3	737.0			
48	2011	105.5	134.5	120.2	53.3	8.2	4.2	6.3	2.5	50.6	45.1	37.9	168.0	736.3			
49	2012	155.8	196.3	84.7	53.9	2.2	8.6	0.9	2.4	29.4	38.0	80.6	145.6	798.5			
50	2013	151.8	142.5	78.3	39.4	7.6	1.1	0.0	17.0	19.0	51.6	89.6	179.3	777.1			
51	2014	122.1	116.2	87.6	36.3	7.0	0.0	3.0	2.3	40.4	86.5	43.4	122.0	666.9			
52	2015	154.7	107.3	131.4	62.1	8.4	0.0	9.7	6.9	5.7	28.2	100.3	123.8	738.7			
53	2016	121.1	245.1	65.7	67.1	6.4	0.0	5.5	2.9	15.4	60.4	42.0	67.7	699.2			
54	2017	112.5	136.6	109.3	38.4	22.5	0.5	2.0	9.6	20.2	36.3	78.5	121.2	687.7			
Nº Datos		54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54			
Media		155.0	147.5	114.1	53.7	11.5	3.7	5.1	8.2	24.9	59.5	84.9	131.1	799.1			
Desv. Estanda		33.23	29.04	27.75	18.81	11.04	6.10	8.77	7.85	15.52	19.94	33.07	27.76	76.44			
Coef. Variacio		0.21	0.20	0.24	0.35	0.96	1.65	1.72	0.96	0.62	0.33	0.39	0.21	0.10			
Prec. Max.		259.6	245.1	194.7	118.7	77.1	32.9	51.9	36.7	60.6	106.5	250.1	204.4	259.6			
Prec. Min.		49.7	78.6	39.4	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	8.9	34.2	51.5	0.0			

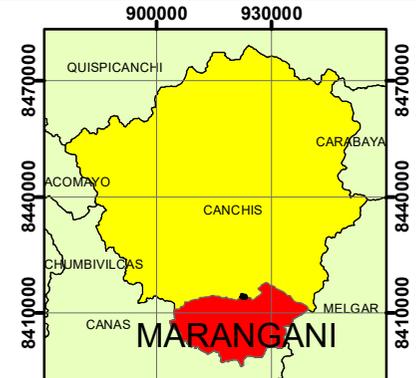
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETA																	
(mm)																	
Estación : LA RAYA CO			Latitud : 14°28' S			Longitud : 71° 3' 00" W			Departamento : CUSCO			Provincia : CANCHIS			Distrito : MARANGANI		
Tipo:			Altitud : 4,120 msnm														
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL			
1	1964	178.83	148.08	187.18	55.99	23.25	1.32	0.00	0.00	11.48	38.86	72.79	104.07	821.85			
2	1965	168.54	146.90	190.30	60.93	22.69	1.30	0.32	0.00	27.54	61.77	84.93	119.41	884.63			
3	1966	165.50	159.73	172.22	54.59	26.11	1.31	0.00	0.00	28.95	63.63	92.58	103.99	868.61			
4	1967	159.49	148.17	204.18	53.73	21.50	1.65	9.49	37.08	28.95	74.51	88.51	112.70	939.95			
5	1968	175.25	146.87	172.73	55.45	22.65	4.56	26.83	13.40	20.09	89.56	98.14	99.38	924.90			
6	1969	178.46	145.33	178.88	55.01	22.36	3.41	6.37	2.68	24.18	31.44	90.18	105.37	843.68			
7	1970	179.82	145.37	201.77	60.67	21.84	1.92	3.21	1.48	34.35	48.51	86.61	124.02	909.56			
8	1971	174.73	158.74	175.12	56.90	21.89	1.38	0.00	6.86	13.33	59.52	88.44	115.51	872.44			
9	1972	186.37	143.28	160.34	56.20	22.46	1.32	5.75	57.52	18.25	7.38	88.64	110.67	858.17			
10	1973	255.81	145.41	155.43	67.40	19.67	0.00	6.56	5.40	44.74	70.77	74.44	85.33	930.97			
11	1974	175.68	198.09	160.74	67.32	8.25	7.37	0.58	35.12	8.15	36.86	84.40	128.05	910.62			
12	1975	110.45	146.90	166.23	58.28	15.92	0.00	0.00	1.20	37.85	54.78	67.19	146.40	805.21			
13	1976	187.15	120.86	188.70	33.66	14.21	1.13	9.78	15.85	40.25	9.78	35.62	76.90	733.89			
14	1977	110.09	208.72	127.13	24.19	15.67	0.00	4.90	0.00	32.42	36.73	210.78	115.09	885.73			
15	1978	350.24	258.00	122.62	66.15	18.73	0.00	0.00	11.37	44.72	23.76	59.17	177.96	1132.72			
16	1979	196.93	124.90	170.92	90.32	126.72	0.00	0.00	0.00	10.96	53.83	68.22	170.26	1013.05			
17	1980	156.73	123.09	198.52	42.39	30.95	0.00	0.00	0.00	15.92	118.41	120.21	35.33	841.54			
18	1981	54.01	36.96	439.64	20.89	1.18	0.00	0.00	0.99	16.56	77.66	103.97	126.54	878.40			
19	1982	123.11	147.24	221.60	61.36	0.00	3.97	0.00	16.88	10.62	40.74	145.65	79.43	850.61			
20	1983	123.42	147.36	99.97	82.48	4.97	7.75	0.00	1.49	8.25	28.22	12.62	83.27	599.79			
21	1984	291.00	157.53	164.89	80.76	22.48	25.46	3.78	19.39	9.85	130.78	192.44	108.30	1206.66			
22	1985	181.37	153.98	186.81	58.93	23.86	3.82	2.13	9.09	23.72	59.07	99.15	113.24	915.19			
23	1986	169.13	149.78	203.91	60.52	23.46	1.34	1.59	3.43	15.86	17.95	96.22	112.79	855.97			
24	1987	194.80	149.16	157.63	55.44	22.49	2.17	8.27	0.00	16.27	28.21	106.74	113.87	855.05			
25	1988	184.51	148.66	228.85	64.89	23.11	1.34	0.00	0.00	17.24	39.05	89.24	113.18	910.07			
26	1989	182.52	156.21	200.56	58.03	23.57	7.18	0.00	7.97	29.04	52.41	93.57	110.20	921.27			
27	1990	183.75	149.98	165.04	58.95	23.85	21.77	0.00	7.26	19.20	81.01	102.17	105.84	918.82			
28	1991	173.51	162.91	192.38	58.77	24.72	4.62	1.33	0.00	23.81	53.80	101.18	112.51	909.55			
29	1992	176.52	152.33	191.82	55.85	22.08	13.83	0.00	44.56	16.22	55.41	112.28	104.10	944.99			
30	1993	192.73	153.88	174.91	56.28	22.31	1.35	2.42	9.91	21.92	50.42	110.58	133.49	930.20			
31	1994	187.74	163.38	234.50	58.96	24.98	1.35	0.00	0.00	26.32	43.74	87.37	117.04	945.38			
32	1995	178.34	151.39	187.03	56.28	22.13	1.35	0.52	0.00	28.11	28.63	97.15	113.63	864.55			
33	1996	180.22	152.08	172.13	57.76	24.83	1.35	0.00	8.49	22.89	64.25	90.30	119.95	894.24			
34	1997	178.87	157.43	193.12	57.68	23.34	1.35	0.00	10.42	18.74	48.57	140.28	123.14	952.94			
35	1998	177.81	162.58	143.30	57.73	22.58	2.58	0.00	0.00	14.19	54.68	90.68	105.02	831.15			
36	1999	173.25	151.44	185.66	58.95	22.52	3.56	0.88	0.00	36.38	19.84	87.48	117.46	857.42			
37	2000	192.26	159.52	202.57	55.83	22.86	5.11	2.43	4.19	17.88	54.21	84.15	109.91	910.93			
38	2001	198.65	165.98	213.65	58.41	25.05	1.36	15.85	17.92	23.56	41.86	106.38	111.52	980.18			
39	2002	181.60	168.15	198.77	56.99	26.22	2.98	24.73	2.27	17.68	87.48	106.80	120.40	994.06			
40	2003	186.90	159.62	217.38	60.51	22.77	5.52	0.00	44.73	13.91	37.75	82.32	118.74	950.14			
41	2004	188.77	158.04	170.87	57.03	22.89	14.69	15.53	15.07	24.25	27.61	94.84	111.50	901.07			
42	2005	183.17	159.02	203.87	58.28	23.11	1.62	1.07	3.00	14.39	42.91	94.39	114.58	899.40			
43	2006	194.31	163.57	219.77	59.11	22.39	4.55	0.00	18.73	16.13	80.76	97.27	123.85	1000.44			
44	2007	183.48	146.54	196.31	64.42	23.78	1.36	3.64	0.00	12.40	53.22	98.19	111.89	895.24			
45	2008	178.02	155.63	170.17	55.89	24.52	2.74	0.00	2.77	19.84	57.31	104.84	120.92	892.63			
46	2009	178.82	155.61	179.34	57.30	23.70	1.37	3.00	0.00	20.55	8.09	104.43	110.95	843.16			
47	2010	206.43	166.44	210.27	56.88	22.74	1.37	1.26	4.71	16.59	78.20	88.41	129.52	982.83			
48	2011	177.53	168.51	212.11	62.04	23.40	3.46	3.38	0.00	34.33	42.10	95.18	116.76	938.79			
49	2012	171.88	166.59	156.79	60.14	23.57	2.16	0.00	0.00	22.51	20.86	121.11	131.15	876.73			
50	2013	191.44	161.30	177.74	56.67	28.72	5.37	1.81	23.46	22.12	118.27	103.90	127.11	1017.91			
51	2014	188.32	157.74	153.85	58.93	24.99	1.37	2.92	7.41	19.19	53.55	85.26	125.71	879.25			
52	2015	189.88	163.24	172.62	62.47	27.11	3.93	9.49	4.49	21.24	20.45	91.65	117.74	884.31			
53	2016	178.40	164.56	165.11	57.96	23.28	1.37	4.13	0.00	15.98	89.46	84.88	113.05	898.17			
54	2017	179.83	159.21	207.59	60.34	25.33	5.25	0.00	13.78	22.19	53.68	99.04	117.49	943.73			
Nº Datos		54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	45			
Media		180.9	155.0	187.1	58.1	23.5	3.7	3.4	9.1	21.7	52.3	96.5	114.4	905.72			
Desv. Estandar		39.68	25.62	43.83	10.66	15.46	4.95	5.82	13.05	8.80	26.91	29.24	20.26	90.33			
Coef. Variacion		0.22	0.17	0.23	0.18	0.66	1.35	1.71	1.44	0.41	0.51	0.30	0.18	0.10			
Prec. Max.		350.2	258.0	439.6	90.3	126.7	25.5	26.8	57.5	44.7	130.8	210.8	178.0	439.6			
Prec. Min.		54.0	37.0	100.0	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	7.4	12.6	35.3	0.0			



DEPARTAMENTO CUSCO

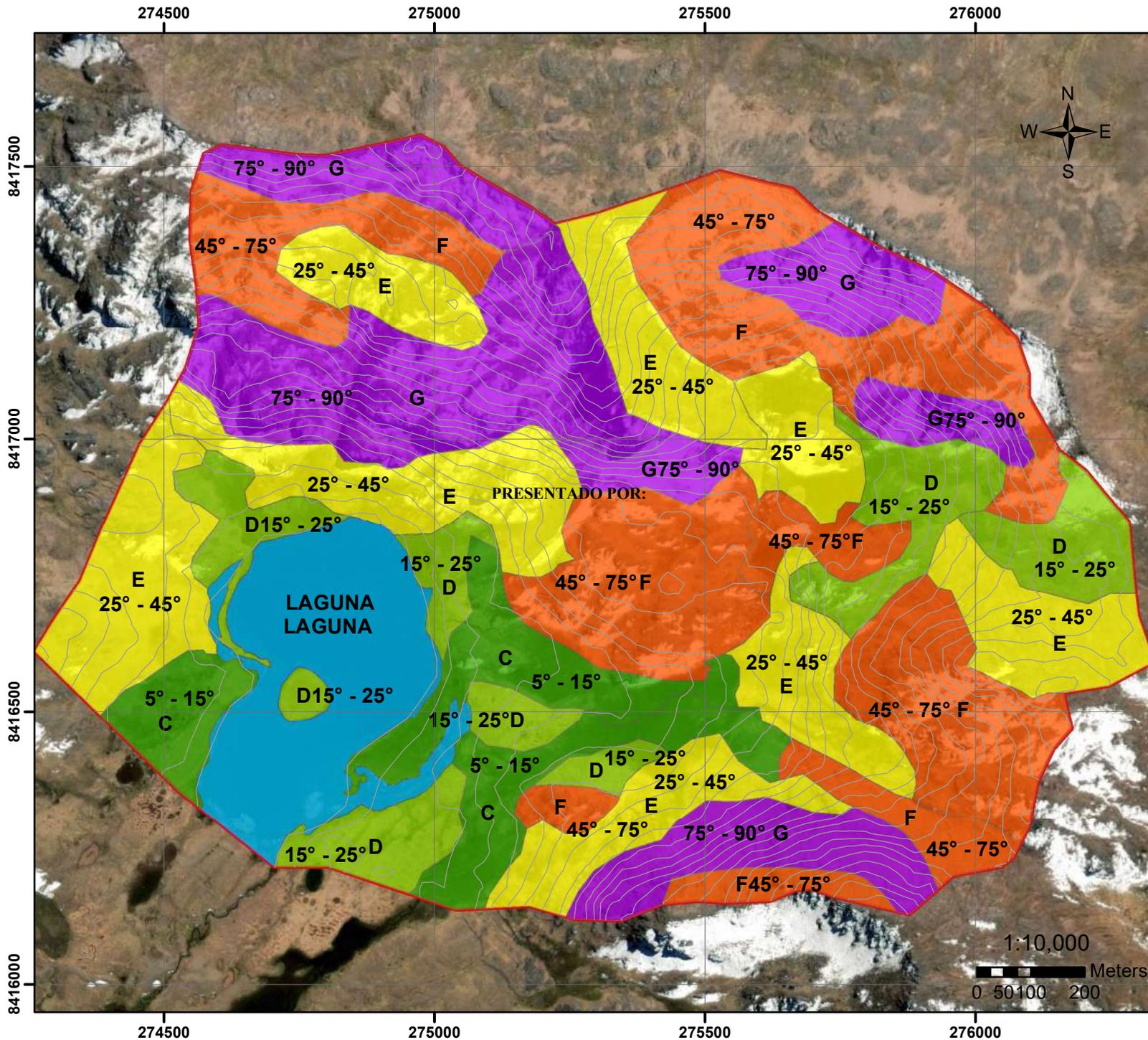


PROVINCIA DE CANCHIS



DISTRITO MARANGANI

	
<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINAS Y METALURGICA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</b></p>	
<p><b>TESIS:</b> "ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA LAGUNA DE QUELLHUACOCCHA, DISTRITO DE MARANGANI, PROVINCIA DE SICUANI, CUSCO 2020"</p>	
<p>MAPA <b>UBICACION</b></p>	
<p><b>PRESENTADO POR:</b> BACH: ROJAS LAURA, Darwin BACH: MAMANI CONDORI, Diego Armando</p>	
<p><b>ASESOR:</b> MGS. ING. GÁRATE GONGORA Víctor Vidal</p>	
	<p>MAPA N°: <b>01</b></p>

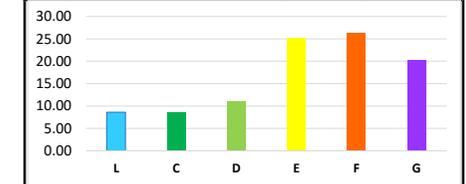





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA  
MINAS Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERIA GEOLOGICA**

**PENDIENTES**

Símbolo	Gradiente de	Descripción	Área (Km2)	Porcentaje de Área
	Pendiente (°)			
	LAGUNA	LAGUNA	0.186	8.61
C	5° - 15°	Moderada	0.188	8.68
D	15° - 25°	Fuerte	0.239	11.02
E	25° - 45°	Muy Fuerte	0.544	25.13
F	45° - 75°	Abrupta	0.569	26.27
G	75° - 90°	Acantilado	0.439	20.29
<b>Total</b>			<b>2.165</b>	<b>100.00</b>

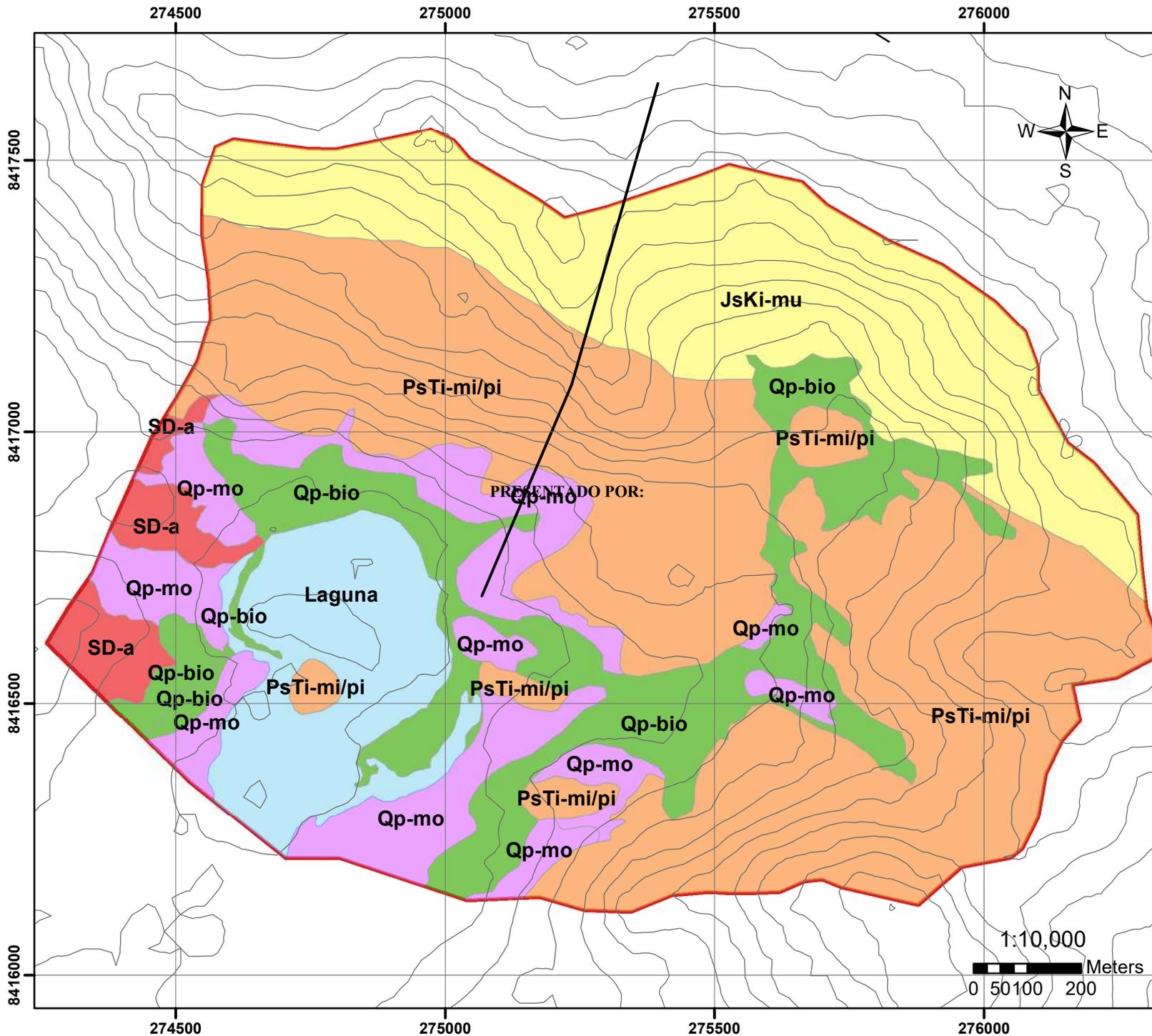


**TESIS:**  
"ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E  
HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y  
ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA  
LAGUNA DE QUELLHUACOA, DISTRITO DE  
MARANGANI, PROVINCIA DE SICUANI,  
CUSCO 2020"

**PRESENTADO POR:**  
BACH: ROJAS LAURA, Darwin  
BACH: MAMANI CONDORI, Diego Armando

**ASESOR:**  
MGS. ING. GÁRATE GONGORA Víctor Vidal

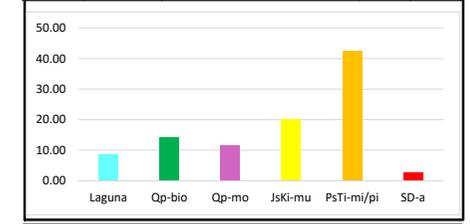
MAPA N°:  
**02**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA  
MINAS Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERIA GEOLOGICA**

**GEOLOGIA**

COLOR	SIMBOLO	FORMACION GEOLOGICA	AREA (KM2)	AREA (%)
Light Blue	Laguna	Laguna	0.19	8.61
Green	Qp-bio	Depositos Biogenicos	0.31	14.18
Purple	Qp-mo	Depositos Morrenicos	0.26	11.79
Yellow	JsKi-mu	Formacion Muni	0.44	20.28
Orange	PsTi-mi/pi	Grupo Mitu - Formacion Pisac	0.92	42.47
Red	SD-a	Formacion Ananea	0.06	2.67
Total:			2.17	100.00

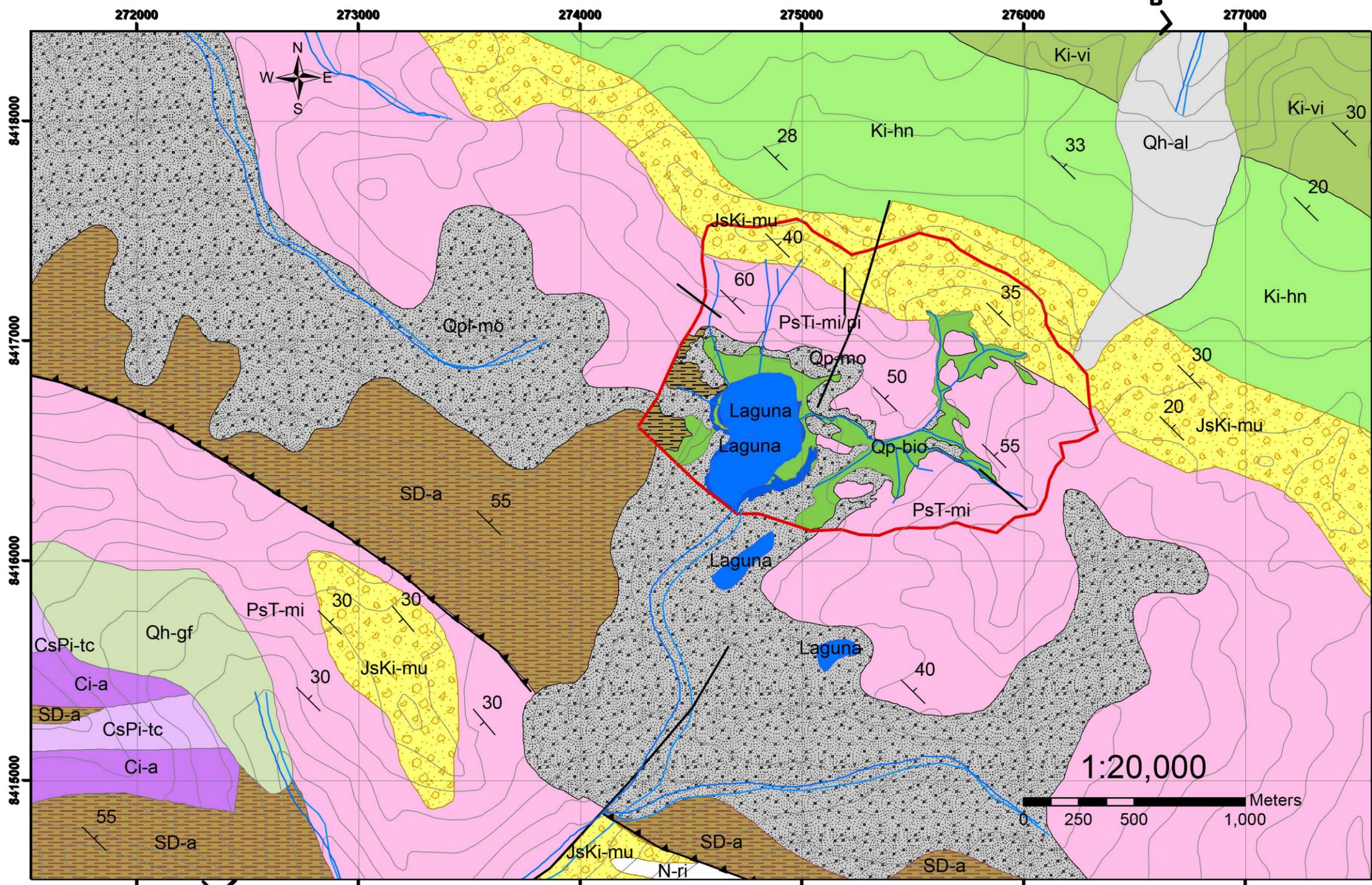


**TESIS:**  
"ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E  
HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y  
ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA  
LAGUNA DE QUELLHUACocha, DISTRITO DE  
MARANGANI, PROVINCIA DE SICUANI,  
CUSCO 2020"

**PRESENTADO POR:**  
BACH: ROJAS LAURA, Darwin  
BACH: MAMANI CONDORI, Diego Armando

**ASESOR:**  
MGS. ING. GÁRATE GONGORA Víctor Vidal

MAPA N°:  
**03**



### LEYENDA

pliegues  
**TIPO**  
 Inversa  
 Normal  
 LIMITE AREA DE ESTUDIO  
**GEOLOGIA**  
 Laguna  
 Qh-al - Deposito Aluvial  
 Qh-co - Deposito Coluvial  
 Qpl-mo - Deposito Morrenico  
 Qh-gf - Deposito Glacio fluvial  
 Ki-vi - Fotmacion Viluyo  
 Ki-hn - Formacion Huancane  
 JsKi-mu - Formacion Muni  
 PsT-mi - Grupo Mitu  
 CsPi-tc - Grupo Tarma  
 Ci-a - Grupo Ambo  
 SD-a - Formacion Ananea

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINAS Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA**

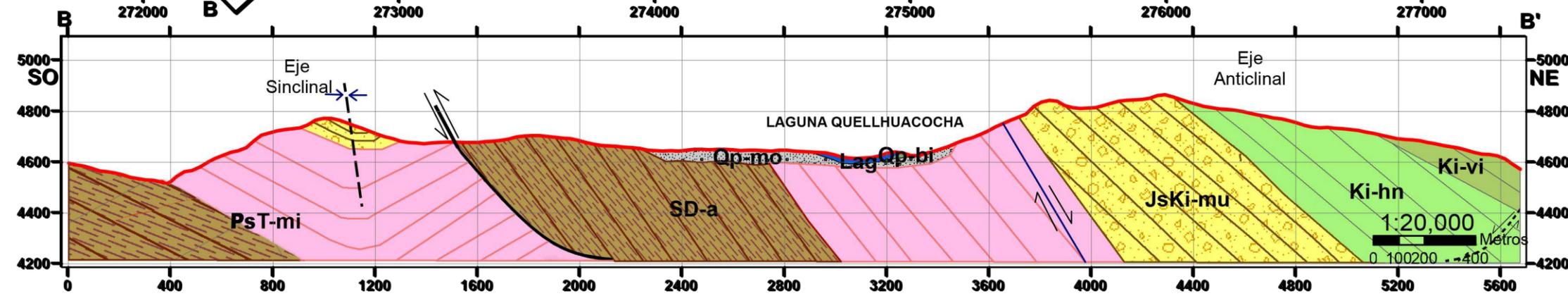
**TESIS:**  
 "ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA LAGUNA DE QUELLHUACCHA, DISTRITO DE MARANGANI, PROVINCIA DE SICHUANI, CUSCO 2020"

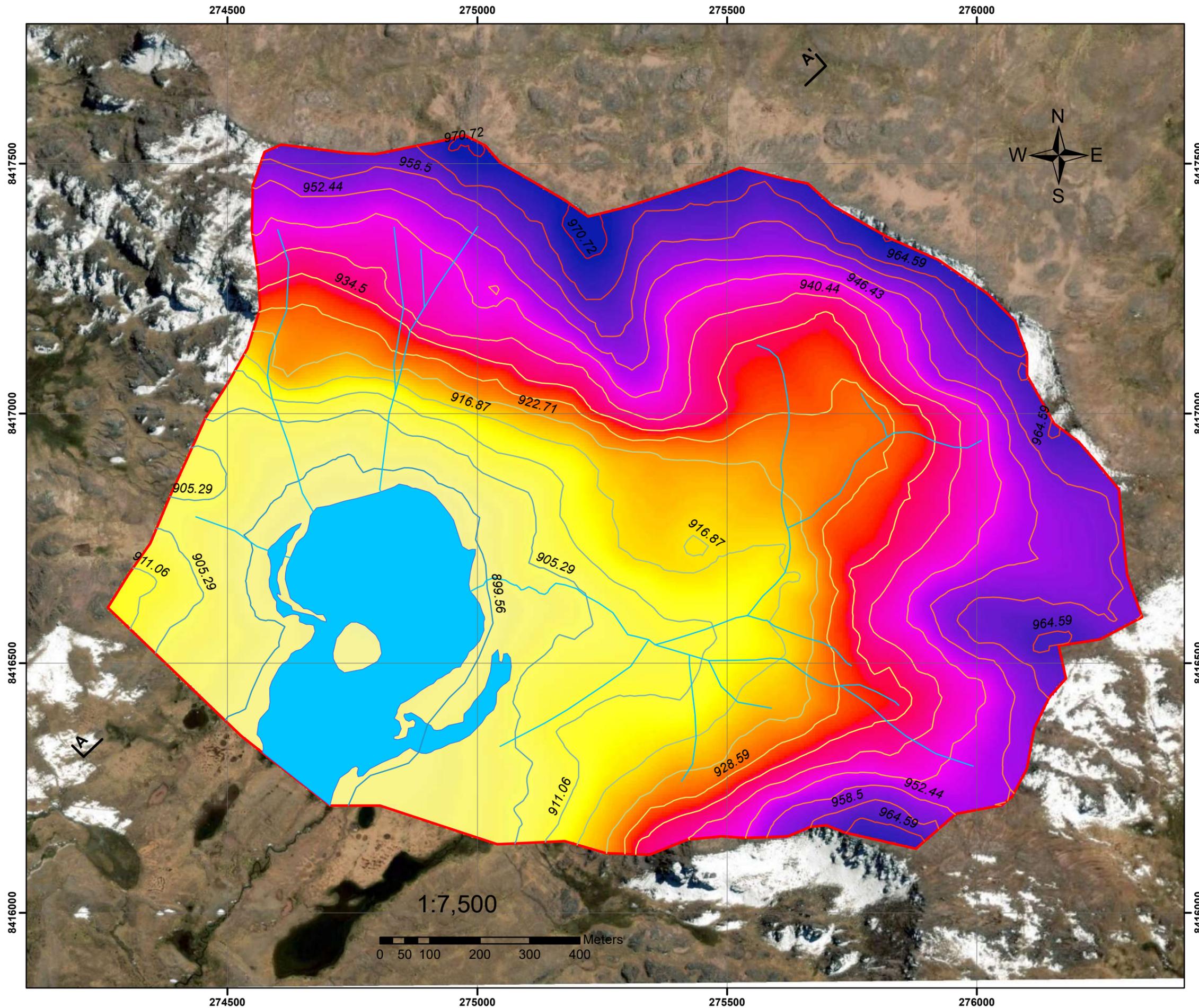
**MAPA ESTRUCTURAL**

**PRESENTADO POR:**  
 BACH: ROJAS LAURA, Darwin  
 BACH: MAMANI CONDORI, Diego Armando

**ASESOR:**  
 MGS. ING. GÁRATE GONGORA Victor Vidal

**MAPA N°: 05**





**LEYENDA**

— DRENAJE

**PP\_M\_S**

- 899.56
- 905.29
- 911.06
- 916.87
- 922.71
- 928.59
- 934.5
- 940.44
- 946.43
- 952.44
- 958.5
- 964.59
- 970.72

□ LIMT

**ISOHIETAS**

**Value**

- High : 971.664
- Low : 895.482

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA  
MINAS Y METALURGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERIA GEOLOGICA

---

**TESIS:**  
"ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E  
HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y  
ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA  
LAGUNA DE QUELLHUACocha, DISTRITO DE  
MARANGANI, PROVINCIA DE SICUANI,  
CUSCO 2020"

---

MAPA **ISOHIETAS**

---

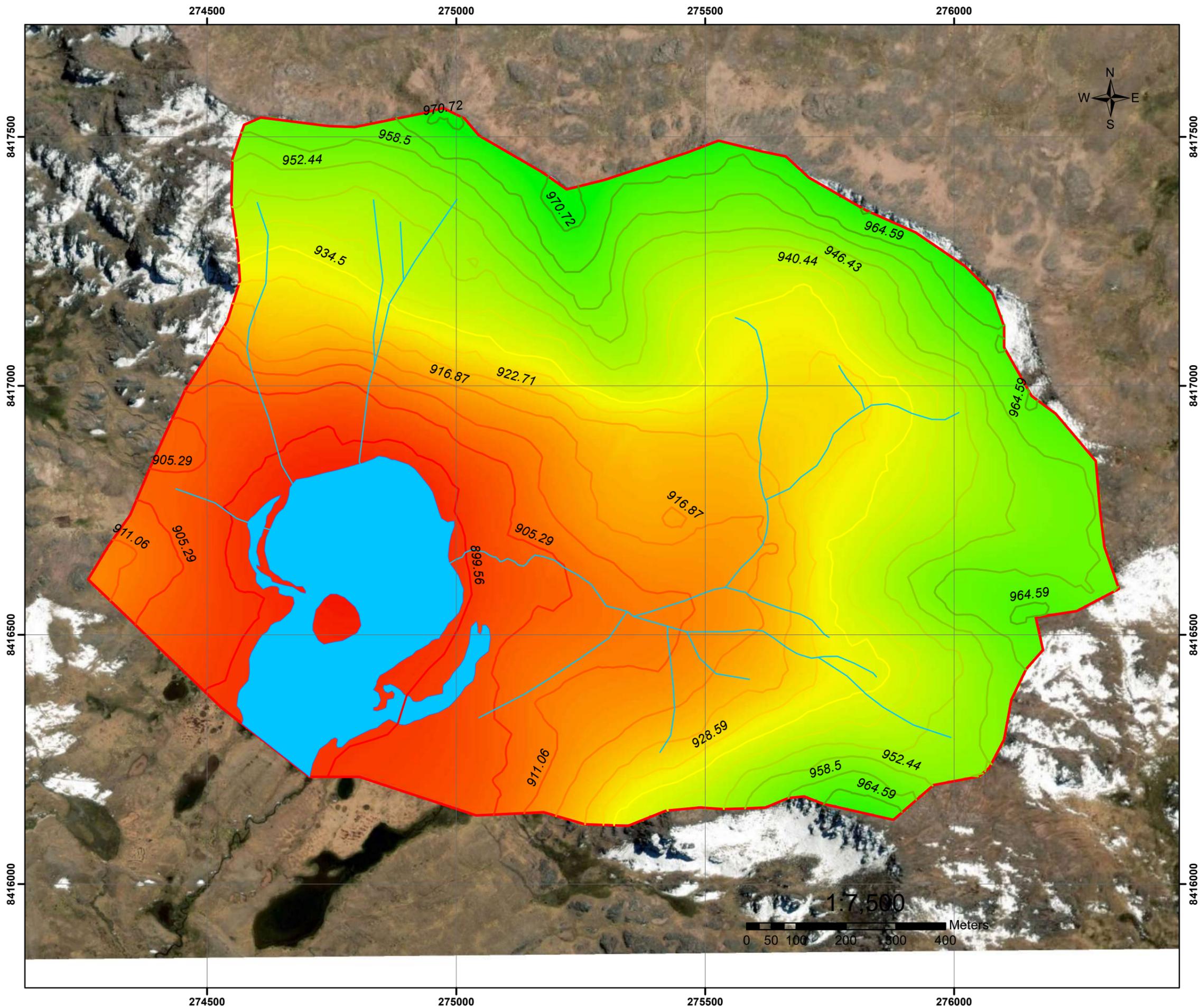
**PRESENTADO POR:**  
BACH: ROJAS LAURA, Darwin  
BACH: MAMANI CONDORI, Diego Armando

---

**ASESOR:**  
MGS. ING. GÁRATE GONGORA Víctor Vidal

---

	MAPA N°: <b>05</b>
--	-----------------------



**LEYENDA**

- DRENAJE
- Area Laguna
- LIMIT

**ISOTERMAS**

Value

- High : 2.6392
- Low : 0.811815

**LAGUNA2.tif**

RGB

- Red: Band\_1
- Green: Band\_2
- Blue: Band\_3

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINAS Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA**

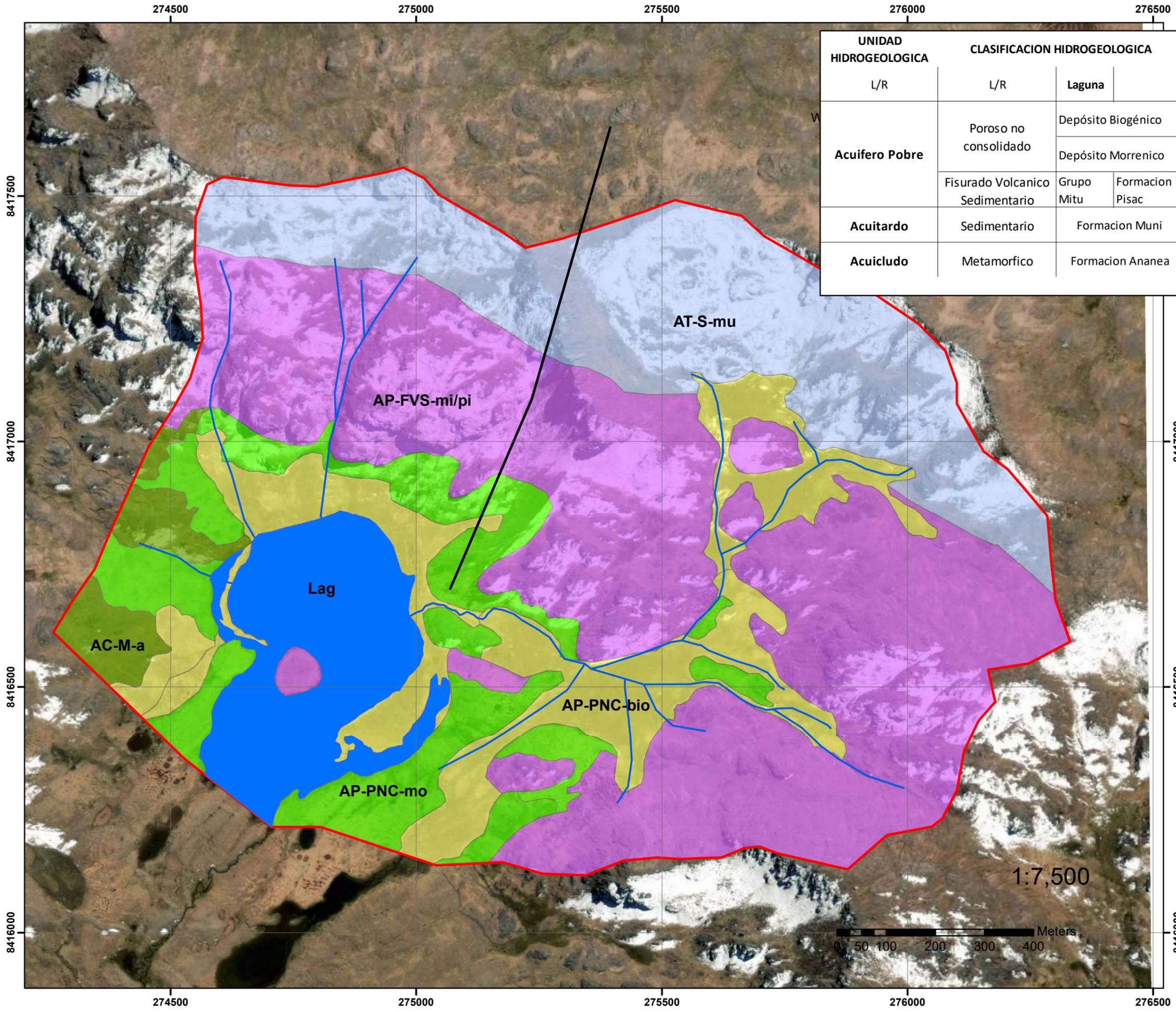
**TESIS:**  
 "ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA LAGUNA DE QUELLHUACOCHA, DISTRITO DE MARANGANI, PROVINCIA DE SICUANI, CUSCO 2020"

MAPA **ISOTERMAS**

**PRESENTADO POR:**  
 BACH: ROJAS LAURA, Darwin  
 BACH: MAMANI CONDORI, Diego Armando

**ASESOR:**  
 MGS. ING. GÁRATE GONGORA Victor Vidal

MAPA N°:  
**06**



UNIDAD HIDROGEOLOGICA	CLASIFICACION HIDROGEOLOGICA			SIMBOLO	Area (ha)	Area (%)
	L/R	L/R	Laguna			
	L/R			LAG	18.64	8.61
Acuifero Pobre	Poroso no consolidado	Depósito Biogénico		AP-PNC-bio	30.71	14.18
		Depósito Morrenico		AP-PNC-mo	25.53	11.79
	Fisurado Volcanico Sedimentario	Grupo Mitu	Formacion Pisac	AP-FVS-mi/pi	91.95	42.47
Acuitardo	Sedimentario	Formacion Muni		AT-S-mu	43.92	20.28
Acuicludo	Metamorfico	Formacion Ananea		AC-M-a	5.78	2.67
					216.54	100.00

**LEYENDA**

- Fallas
- DRENAJE
- LIMT
- Area Laguna

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINAS Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA**

**TESIS:**  
 "ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIDAD Y ESTANQUEIDAD DEL REPRESAMIENTO DE LA LAGUNA DE QUELLHUACocha, DISTRITO DE MARANGANI, PROVINCIA DE SICUANI, CUSCO 2020"

MAPA **HIDROGEOLOGIA**

**PRESENTADO POR:**  
 BACH: ROJAS LAURA, Darwin  
 BACH: MAMANI CONDORI, Diego Armando

**ASESOR:**  
 MGS. ING. GÁRATE GONGORA Víctor Vidal

MAPA N°: **07**

1:7,500

